

NATANČNOST IZRAČUNA VOLUMNOV ZEMELJSKIH MAS PRI LINIJSKIH OBJEKTIH

dr. Aleš Breznikar

FGG-Oddelek za geodezijo, Ljubljana

Prispelo za objavo: 1995-04-24

Pripravljeno za objavo: 1995-06-07

Izвлеček

Opisan je postopek izračuna volumna zemeljskih mas pri gradnji linijskih objektov. Podana je natančnost izračuna z analizo posameznih pogreškov, ki vplivajo na izračun.

Ključne besede: linijski objekti, pogrešek, prečni profil, volumen zemeljskih mas

Zusammenfassung

Die Verfahren der Erdmengenberechnung beim Bau von linienförmigen Bauwerken wird beschrieben. Die Genauigkeitsanalyse wird dargestellt und einzelne Teilfehler, die die Grösse der Erdmengen beeinflussen, werden beschrieben.

Stichwoerter: Erdmenge, Fehler, linienförmige Bauwerke, Querprofil

1 UVOD

Gradnja linijskih objektov, predvsem cest in železnic, je v zadnjem času v naši državi še posebno aktualna, saj je v izgradnjo cestnega križa in v posodabljanje železniškega omrežja vključen velik del gradbeništva. V povezavi s tem ima svojo vlogo tudi geodezija, ki sodeluje pri gradnji v tem smislu, da ureja lastninske odnose na zemljiščih, kjer gradnja poteka, nudi podlage za projektiranje, sodeluje pri prenosu projekta v prostor in kontrolira geometrijsko pravilnost izgradnje.

Ena izmed nalog geodezije pri gradnji prometnic je tudi izračun obsega zemeljskih del pri planiranju in urejanju zemljišča. Ta so pri hribovitem terenu, kakršen je v večini v naši državi, običajno še posebno obsežna in imajo velik vpliv na končni izračun stroškov izvedbe projekta. Obseg zemeljskih del je tudi eden izmed kriterijev za izbiro med različnimi variantami poteka trase pri linijskih objektih. Zato morajo biti opravljena strokovno in z ustrežno natančnostjo.

2 NAČIN IZRAČUNA VOLUMNA ZEMELJSKIH DEL PRI LINIJSKIH OBJEKTIH

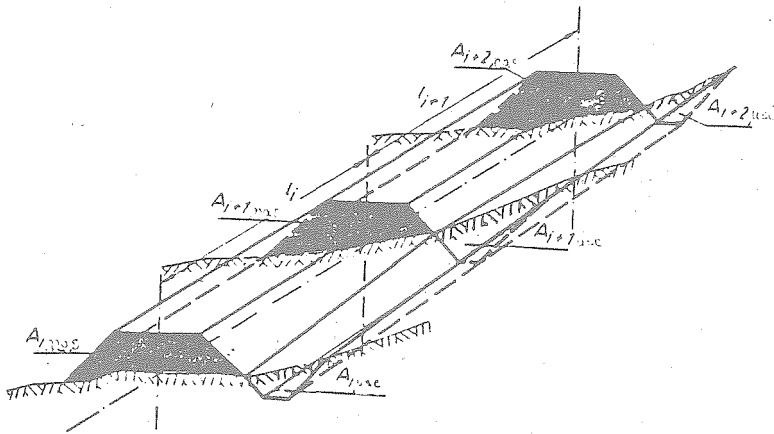
Stališča geodezije je pri zemeljskih delih spremenjen naravni relief zemljišča v sumetni relief. Pri izračunu volumna aproksimiramo zemeljske mase z geometrijskim telesom, katerega volumen lahko izračunamo. Običajno računamo volume zemeljskih mas na osnovi površine prečnih profilov projekta prometnice in

razdalje med sosednjimi profili. Pri tem ločujemo deleže posameznega profila, ki ležijo v nasipu in v useku (Slika 1).

$$V_{\text{nas}} = (A_{i \text{ nas}} + A_{i+1 \text{ nas}}) \frac{l_i}{2} \quad (1)$$

$$V_{\text{use}} = (A_{i \text{ use}} + A_{i+1 \text{ use}}) \frac{l_i}{2} \quad (2)$$

$A_{i \text{ nas, use}}$ površina prečnega profila v nasipu ali useku
 l_i razdalja med profili



Slika 1

Enačbi (1) in (2) nista popolnoma strogi, saj predpostavljata, da je povezava med posameznimi točkami dveh sosednjih profilov linearna in vzporedna. To pa v splošnem ne velja. Natančnost enačb je odvisna od razlike površine dveh sosednjih profilov in dolžine profila. Večja kot je razlika med dvema sosednjima profiloma, manjša je natančnost volumna, izračunanega po enačbah (1) in (2). Pogrešek je sistematične narave, saj je volumen, računani po zgornjih enačbah, vedno večji od dejanskega. Skupni volumen zemeljskih del na trasi dobimo s seštevanjem volumnov med posameznimi profili. Če so razdalje med profili enake, lahko zapišemo skupni volumen:

$$V = (A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{n-1} + A_n) \frac{1}{2} \quad (3)$$

3 IZRAČUN POVRŠINE PREČNIH PROFILOV

Iz enačbe (3) je razvidno, da je treba za izračun volumna poznati površino posameznega prečnega profila, oziroma delež useka in nasipa v profilu. Prečni profil je omejen na eni strani z obstoječim terenom, na drugi strani pa s projektiranim oziroma novozgrajenim stanjem. V odvisnosti od obsega zemeljskih del in glede na razpoložljivo mersko tehniko in tehniko za izvednotenje lahko dobimo podatke za izračun površine profila:

- direktno iz geodetskih merjenj terena
- s fotogrametričnim izvednotenjem terena
- na osnovi digitalnega modela reliefa
- na osnovi obstoječih načrtov terena, ki morajo biti opremljeni z višinsko predstavo terena.

Postopek izračuna površine useka ali nasipa v profilu je lahko:

- mehanski s planimetrom na osnovi izrisanih prečnih profilov v ustreznem merilu
- računski na osnovi lokalnih koordinat lomnih točk profila.

Izračun površine iz koordinat je seveda natančnejši in glede na to, da je običajno računalniško podprt, je tudi ekonomičnejši.

4 NATANČNOST RAČUNANJA VOLUMNOV

Na rezultat izračunanih volumnov vplivajo naslednji pogoški:

- pogrešek snemanja profila
- pogrešek nanašanja profila v določenem merilu
- pogrešek pri določanju ploščine izkopa in nasipa na profilu
- pogrešek zaradi odstopanja dolžine objekta od izračunanih vrednosti pri zakrivljenih objektih
- pogrešek zaradi generalizacije terena pri snemanju terena
- pogrešek približne enačbe (1) in (2) glede na njeno strogo rešitev.

Prvi štiri naštetih pogoški so slučajni, pogrešek generalizacije je lahko delno slučajne delno sistematične narave, medtem ko je pogrešek uporabe približne enačbe sistematičen. Poleg tega se lahko pojavijo razlike med izračunanimi in dejansko opravljenimi zemeljskimi deli tudi zaradi geoloških lastnosti zemeljskih mas, kot so razni zdrsi pri usekih in posedanje tal pri nasipavanju.

Iz različnih raziskav natančnosti izračuna volumna izhajajo zaključki, ki jih lahko strnemo v naslednje ugotovitve:

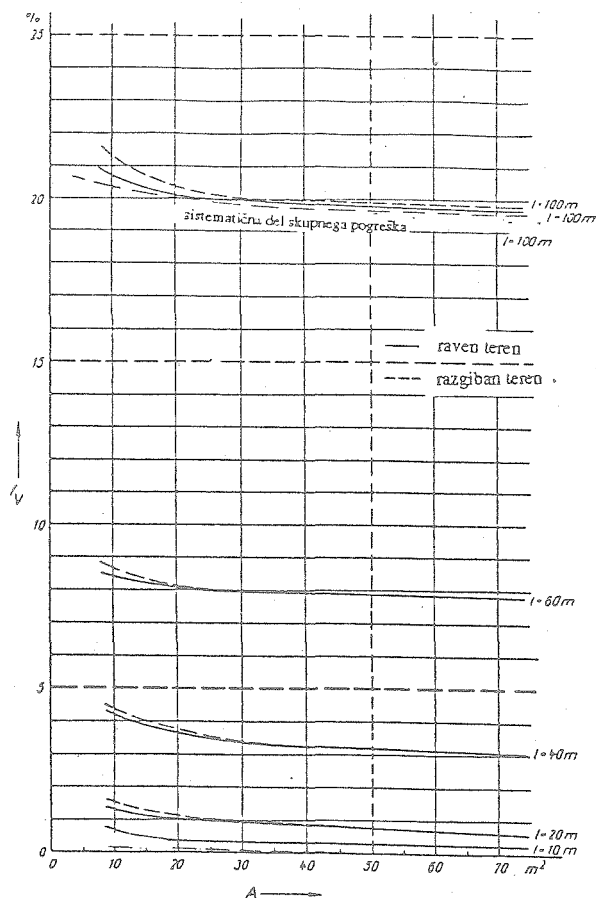
- 1) Zadovoljivo natančnost lahko dosežemo tudi s tahimetričnim snemanjem profilov. Komponenta pogreška izmere terena in predstava terena v merilu imata zelo majhen vpliv na skupni pogrešek določitve volumna. Zato zahteva iz prakse, da s ciljem povečanja natančnosti izračuna volumna uporabimo natančnejšo metodo posnetka terena, ni upravičena. Izbor natančnejše metode merjenja je tako smiseln le v povezavi z avtomatizacijo postopka merjenja in izvednotenja.
- 2) Določitev ploščine s polarnim planimetrom je tudi z enkratnim obkrožanjem površine dovolj natančna. Seveda pa moramo imeti predhodno preizkušen planimeter.
- 3) Numerično določanje ploščine iz koordinat točk profila s stališča natančnosti nima pomena. V povezavi z avtomatizacijo izračuna oziroma uporabo programskih orodij, ki delajo na tem načelu, pa ima svoj pomen predvsem ekonomičnost izračuna.
- 4) Merilo prečnih profilov 1:200 v primerjavi z merilom 1:100 ne izgubi bistveno v natančnosti izračuna volumnov.

5) Med pogreške, ki so odvisni od razdalje med prečnimi profili, spada pogrešek zaradi generalizacije neravnin med profili. Pri računanju volumna vzamemo povezavo med profili linearno. Pogrešek raste z večanjem razdalje med profili in lahko doseže pri neravnem zemljišču in večjih dolžinah znatno vrednost.

6) Pogrešek, ki je posledica generalizacije oblike trase linijskega objekta se pojavi, kadar je trasa projektirana v krivini, volumne pa računamo kot da so povezave med profili preme. V primeru, da sta nasip ali usek vedno na isti strani ukrivljene trase, lahko pride pri daljših razdaljah med profili do znatnega sistematičnega vpliva tega pogreška. Zato je smiselno v krivinah računanje volumnov med profili, ki so na krajših razdaljah.

7) Pogrešek zaradi računanja volumna po približnih enačbah (1) in (2) ima predvsem sistematični vpliv, ki je odvisen od razdalje med profiloma in od razlike površine sosednjih profilov.

8) Največji vpliv na natančnost izračunanih zemeljskih mas imajo pogreški generalizacije terena med profili in pogrešek generalizacije trase objekta v krivini.



Slika 2: Odstotkovni skupni pogrešek izračuna zemeljskih mas na 1 km trase iz prečnih profilov

Slika 2 (Nitsche, 1974) prikazuje odstotkovni pogrešek volumna glede na povprečno površino profila in glede na razdaljo med profili na 1 km dolžine. Iz slike 2 je razvidno, da z običajnimi postopki izmere profilov in izračuna volumna lahko dosežemo natančnost, ki je pod 5%, če je le razdalja med profili krajša kot 50 m. To natančnost lahko dodatno v največji meri povečamo s krajšanjem razdalje med prečnimi profili, pri čemer pa moramo najti ustrezno razmerje med razdaljami med profili in natančnostjo. Zavedati se moramo, da se nam s krajšanjem razdalje lahko zelo povečajo dela pri izmeri in izračunu volumnov, medtem ko je povečanje natančnosti minimalno. Pogreški delnih volumnov, izračunanih med sosednjimi prečnimi profili, se nam pri računanju skupnega volumna seštevajo po zakonu o prirastu pogreškov. Pri tem se moramo zavedati, da je rast sistematičnega pogreška linearna s številom profilov, kar pomeni, da nam pri daljših trasah lahko bistveno pokvari rezultat, če nismo dovolj pozorni na izvore sistematičnega pogreška.

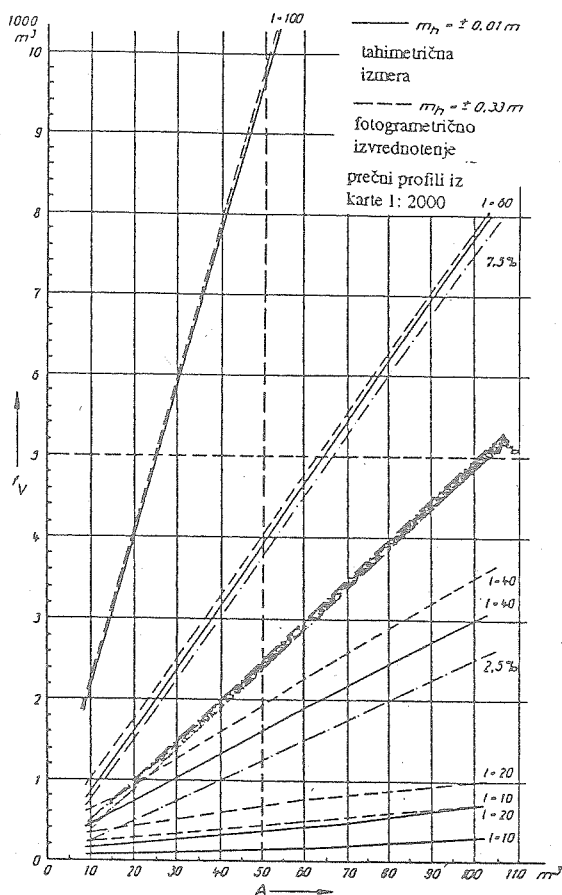
Iz slike 2 je tudi razvidno, da je pretežni del pogreška pri razdalji med profili $l = 100$ m sistematične narave. Razmerje med pogreškom pri nagnjenem in ravnem terenu je minimalno, kar pomeni da uporaba elektronskega tahimetra za snemanje profila s stališča povečanja natančnosti ni rentabilna. Ima pa svoj smisel v okviru visoke produktivnosti, kontinuiranega zajemanja podatkov in interaktivne obdelave rezultatov izmere.

Na sliki 3 (Nitsche, 1974) so prikazane absolutne vrednosti pogreškov na 1 km dolgi trasi pri različnih razdaljah med profili. Za primerjavo so prikazani pogreški, računani na osnovi tahimetrične izmere profilov z natančnostjo $m_h = 0,01$ m in fotogrametričnega iz vrednotenja oziroma odčitavanja višin iz načrta v merilu 1:2 000, kjer dosežemo natančnost višin $m_h = 0,33$ m. Ugotovimo lahko, da pri razdalji med profili $l = 60$ m praktično ni več razlike v natančnosti med načini pridobivanja podatkov za izračun površine prečnih profilov.

5. ZAKLJUČEK

Pri računanju volumnov zemeljskih mas nastopa vrsta pogreškov, ki pa nimajo enakakega doprinosa k skupnemu pogrešku. Zaradi tega je treba glede na zahteve po natančnosti neobhodno poznati deleže pogreškov, da lahko izberemo najracionalnejšo metodo izmere prečnih profilov. Kadar se za izračun ne zahteva maksimalno dosegljiva natančnost, je smiselno razmišljati tudi o uporabi postopkov določanja površin prečnih profilov na osnovi:

- odčitavanja višin prečnih profilov z načrtov do merila 1:2 000
- uporabi stereoizvrednotenja terestričnih ali aerofotogrametričnih posnetkov
- uporabi interpolacije digitalnega modela reliefa, ki pa mora biti izdelan z ustreznim rastrom in s primerno natančnostjo.



Slika 3: Absolutne vrednosti pogreška izračunanih volumnov zemeljskih mas na 1 km trase

Literatura:

- Cvetković, Č., *Primena geodezije u inženjerstvu. Građevinska knjiga*, Beograd, 1970
 Henneche, F. et al., *Handbuch Ingenieurvermessung. Band 1 Grundlagen*. Wichmann Verlag, Heidelberg, 1994
 Janković, M., *Inženirska geodezija II. Sveučilište u Zagrebu*, Zagreb, 1981
 Nitsche, N., *Die Genauigkeit die Erdmassenermittlung fuer den Bau und Verkehrswegen*. Dresden, Dissertation, Technische Universitaet Dresden, 1974

Recenzija: dr. Dušan Kogoj
 mag. Pavel Zupančić (v delu)