

Nikolina Mijić, mag. ing. geod., Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Stepe Stepanovića 77/3, Banja Luka, BiH, e-mail: nikolinamijic7@gmail.com
Prof. dr. Milorad Janić, dipl. ing. geod., Šumarski fakultet, Kneza Višeslava 1, Beograd, Srbija, e-mail: miloradjanic@sfb.bg.ac.rs

RAČUNANJE VOLUMENA KUBATURA MASA IZ DIGITALNOG MODELA TERENA

SAŽETAK: Točan proračun volumena iskopa i nasipa ima bitan značaj u mnogim područjima. Ovaj rad pokazuje novu metodu u kojoj se ne vrši aproksimacija terena, već se računaju volumeni kubatura masa na temelju Digitalnog Modela Terena. U tu svrhu je razvijen novi matematički model koji je implementiran u softversko rješenje. Matematički model i softversko rješenje testirani su u praksi na nekoliko najvećih površinskih kopova rudnika. Ovaj je program razvijen u programskom jeziku AutoLISP, a radi u AutoCAD okruženju.

Cljučne riječi: izmjera, kubature masa, softver, kompleksne prizme

Volume calculation from Digital Terrain Model

ABSTRACT: Accurate calculation of cut and fill volume has an essential importance in many fields. This article shows a new method, which has no approximation, based on Digital Terrain Model. A relatively new mathematical model is developed for that purpose, which is implemented in the software solution. Both of them has been tested and verified in the praxis on several large opencast mines. This application is developed in AutoLISP programming language, and works in AutoCAD environment.

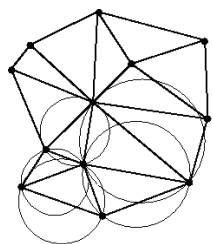
Keywords: surveying, earthwork, volume calculation, software, complex prisms

UVOD

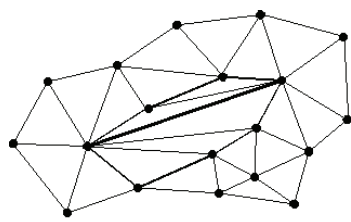
Koncipiranjem programskog sustava usvojeno je da se čitav sadržaj digitalnog plana prikazuje u ravnini, izuzev Digitalnog Modela Terena. To znači da se entiteti prostora: točke, linije, lukovi, polilinije itd. prikazuju u 2 dimenzije, tako da predstavljaju konture ili rubove objekata. Proces generiranja mreže nepravilnih trokuta riješen je primjenom Delaunay triangulacije, koja se pokazala veoma efikasnom, s uzimanjem u obzir strukturnih linija terena: vodoslavnica, vododijelnica, grebena, škarpi itd. Predstavljanje DMT-a entitetom tipa 3D modela omogućuje da se dobije nagib, ekspozicija, osunčanost (zasjenjenost) terena i slivovi, što se koristi u prostornom planiranju, pejzažnoj arhitekturi, reguliranju erozijskih područja itd.

1. DIGITALNO MODELIRANJE TERENA

Kao osnova za modeliranje terena služi skup rasutih točaka u trodimenzionalnom prostoru. Za modeliranje površine terena iz tog skupa točaka, mogu se koristiti različite matematičke funkcije. Predstavljanje površine terena svodi se na prikaz pomoću mreže malih površinskih elemenata. U tu svrhu koriste se dva tipa mreže – mreže četverokuta ili mreže trokuta. Najčešći način modeliranja terena je pomoću mreže četverokuta (GRID), zbog pogodnosti u organizaciji i smještaju podataka u vidu matrice i kasnije jednostavne primjene raznih algoritama u obradi. Međutim, tjemena četverokuta dobivaju se konstrukcijom i interpolacijom skupa okolnih originalnih točaka, što ima za posljednju gubitak preciznosti. Mreža trokuta definirana je na način da su trokuti formirani između



Slika 1. Mreža trokuta



Slika 2. Utjecaj strukturne linije na sklop mreže trokuta

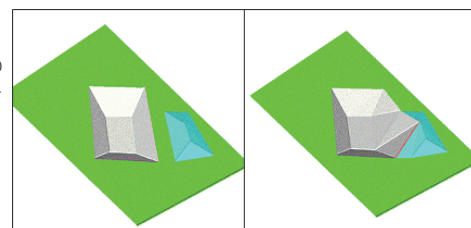
originalnih točaka. Osim toga, trokut kao element, za razliku od četverokuta, jednoznačno predstavlja ravninu u prostoru. Za modeliranje površine terena mrežom trokuta definitivno je usvojena tehnika Delaunay triangulacije (Janić, M., 1998).

Mreža nepravilnih trokuta, poznata je pod imenom TIN (Triangulated Irregular Network). Po definiciji, TIN je mreža nepravilnih trokuta, koji se međusobno ne preklapaju, konstruiranih tako da niti jedna točka ne pada unutar kruga opisanog oko trokuta. (Slika 1.).

Delaunay triangulacijom kod modeliranja terena nastoji se postići takav sklop trokuta da su oni što pravilniji. To odgovara modeliranju prirodnih terena gdje su površine kontinuirane i bez izraženih strukturnih linija, kao što su vododijelnice, vodoslavnice itd.

Za prikaz površinskih kopova mora se odstupiti od principa Delaunay triangulacije da bi se poštivale strukturne linije terena (kopa), kao što su rubovi etaža, odlagališta jalovine, odlagališta, škarpi, litica itd. (Slika 2. i Slika 3.)

Slika 3. Površinski kop i odlagalište modelirani a) sa i b) bez respekta strukturnih linija

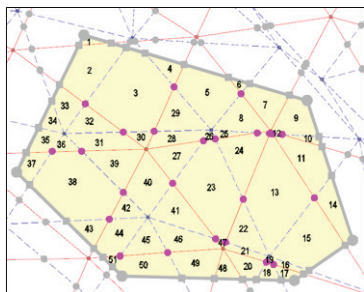


2. RAZVIJENI SOFTVER I TEHNOLOGIJA

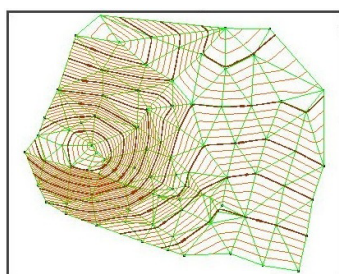
Godine 1996. razvijen je potpuno novi softver s dinamičkom konstrukcijom mreže trokuta gdje je primijenjen inkrementalni algoritam.

Aplikacija je pisana u programskim jezicima C i VisualLISP i funkcionira unutar AutoCAD-a. Zahvaljujući primijenjenom algoritmu, razvijeno softversko rješenje ima sljedeće karakteristike:

- + broj točaka – neograničen
- + broj strukturnih linija – neograničen
- + broj digitalnih modela – neograničen.



Slika 4. Mreža numeriranih poligona



Slika 5. Digitalni model terena prije iskopa

Jedino ograničenje je slobodan prostor na hard disku, ali je to ograničenje beznačajno, čak i za najveći površinski kop rudnika. Kao logična nadogradnja softvera za digitalno modeliranje terena, razvijen je i softver za računanje volumena iz digitalnog modela terena (DMT). Računanje volumena iz digitalnih modela konstruiranih TIN metodom, provodi se na osnovi:

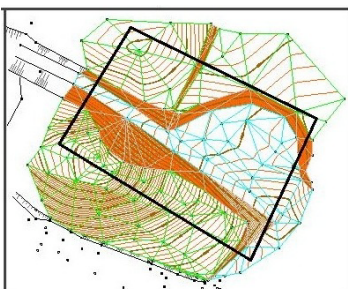
1. prizmi
2. modela debljine sloja
3. kompleksnih prizmi (Terje, M., 1993.).

2.1. METODA PROSTIH PRIZMI

Ova metoda temelji se na zbrajanju volumena prostih trostranih prizmi nastalih iz mreže trokuta. Trokuti TIN-a služe za formiranje vertikalnih trostranih prizmi do nulte nivo površine, a njihova razlika predstavlja volumen iskopa odnosno nasipa. Nedostatak ove metode je što oba modela moraju imati identičnu vanjsku granicu i što se ne dobiva informacija razdvojeno za iskop i nasip. Ako se iskopana ruda ili zemlja odlaže unutar zajedničke granice, dobit će se volumen 0, što nije ispravno. Ova se metoda primjenjuje samo kada se iskop odvozi izvan te granice.

2.2. METODA DEBLJINE SLOJA

Kod ove metode u izmjerenim točkama gornjeg modela, računaju se visinske razlike do površine donjeg modela, čime se dobivaju debljine sloja u tim točkama. Isto tako se i u izmjerenim točkama donjeg modela na sličan način dobivaju visinske razlike do gornjeg modela što također daje debljine sloja u tim točkama. Kao treći skup točaka služe granične točke područja u kojima se računa debljina sloja iz razlike kota gornjeg i donjeg modela. Tako dobivene rezultante služe sada kao ulazni podaci za formiranje modela debljina (visinskih razlika), pa se slučaj svodi na prethodni gdje se od točaka oba modela i debljinom sloja u njima, kao Z varijablom, formira model čiji volumen treba odrediti. Ova metoda ima

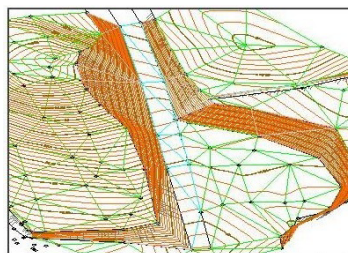


Slika 6. Digitalni model terena poslije iskopa

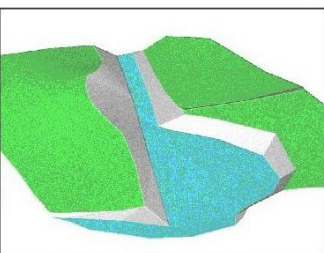
prednost nad prethodnom zato što modeli ne moraju imati identičnu vanjsku granicu i što se dobiva posebno informacija za iskop i nasip. Nedostatak ove metode je što gornji i donji model ne smiju imati velike promjene u visinama. Preporučuje se u računanju volumena ležišta iz podataka istražnih bušotina (Autodesk, Inc. 1990.).

2.3. METODA KOMPLEKSNIH PRIZMI

Ova metoda daje najbolje rezultate jer uzima u obzir sve ulazne podatke od oba modela terena: detaljne točke i strukturne linije. Sastoji se u



Slika 7. Izometrijski pogled na dio kopa



Slika 8. Modelirano odlagalište rude s izraženim strukturnim linijama

projektiranju mreže trokuta gornjeg modela na mrežu trokuta donjeg modela, čime se dobiva mreža poligona. Nad svakim poligonom formira se vertikalna prizma čija je visina jednaka visinskoj razlici težišta poligona gornje i donje površine. Za svaku pojedinačnu vertikalnu prizmu, čije su točke osnove međusobno planarne, a također i točke vrha, računa se volumen. Zbroj svih pozitivnih volumena je iskop, a zbroj negativnih je nasip, odnosno obrnuto, zavisno od toga da li se gornji ili donji model uzima kao prvi (Janić, M., 1993.). Za izračunavanje volumena unutar zadanog područja, njegove granične linije treba uključiti u formiranje spomenute mreže poligona. Metoda kompleksnih prizmi daje najveću preciznost, ali je sporija od prethodnih, zbog obrade preklopa dviju mreža trokuta i granične polilinije.

3. PRAKTIČNI PRIMJER

Izložena metodologija računanja volumena potvrđena je na nekoliko najvećih površinskih kopova rudnika u posljednjih 4 godine. Na sljedećem ilustriranom primjeru, (Slika 5. i Slika 6.) prikazan je digitalni model terena prije i poslije iskopa rude.

Računanje volumena na ograničenom dijelu, kao i izlazni rezultat, ilustrativno su prikazani na sljedećem primjeru (Slika 7. i Slika 8).

Ulazni i izlazni rezultati proračuna volumena kubatura masa su prikazani u tablici (Tablica 1.).

ZAKLJUČAK

Razvijena tehnologija računanja volumena metodom kompleksnih prizmi superiorna je u odnosu na sve prethodne. Objašnjenje za to se nalazi u činjenici da se čitav sloj između gornje i donje površine, pravilno rastavlja na vertikalne prizme kao volumne primitive. Računanje volumena prizme matematički je točno i nema aproksimacija. Obje površine (i gornja i donja) dobivaju se na osnovi originalnih izmjerenih točaka čime se eliminiraju pogreške prostorne interpolacije i aproksimacije nastale glačanjem površine. Promjenjiva se gustoća izmjerenih točaka korektno odražava na mrežu trokuta, tako da se manji trokuti dobivaju na gusto izmjerenim točkama, a veći na rijetko izmjerenim. Svaki prekid kontinuiteta površine terena, što je karakteristično upravo za površinske kopove, poštuje se i ulazi u proračun. Izmjera izlomljenih površina, kakve su površinski kopovi, izvodi se s minimalnim brojem karakterističnih visinskih točaka i visinskih linija.

Tablica 1. Izlazni rezultati računanja volumena

Autodesk Development Network: DEYU0001
 Dr M. Janić, Survey, Belgrade, SERBIA

VOLUME REPORT

User: MJ
 Date & Time: 04.01.2010. 16:58

Boundary line coordinates:
 516082.24 961205.19
 516124.44 961273.60
 516233.77 961220.06
 516195.06 961136.77
 516082.24 961205.19
 Area: 1ha 08a 92m2

Model #1 - LAYER name: TERENCE
 Model #2 - LAYER name: KOP

Cut area.....: 9009.45
 Fill area.....: 1628.82
 No earthwork area: 253.59
 Total area.....: 10891.86

Cut.....: 31384.28
 Fill.....: 13.73
 Difference.....: 31370.55

LITERATURA

- + Autodesk, Inc.: „AutoLISP, Programmer's Reference", 1990.
- + Autodesk, Inc.: „ObjectARX for AutoCAD Release 14, Developer's Guide", 1997.
- + Janić M: „Softverska podrška geodetskom praćenju stanja rudnika", Zbornik radova Oktobarskog savjetovanja rudara i metalurga, Borsko jezero, 1993.
- + Janić M.: „AutoLISP 10,11 i 12 - Tehnike programiranja", Šumarski fakultet, Beograd, 1994.
- + Janić M.: „Digitalni geodetski plan površinskog kopa", Zbornik radova, Savjetovanje Ugalj 98, Beograd, 1998.
- + Terje M.: „Spatial Modelling by Delaunay Networks of Two and Three Dimensions", PhD thesis, Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim, 1993.
- + URL 1: Autodesk Developer (2007.), www.autodesk.com/AutoCAD2007
- + URL 2: Autodesk Developer (2007.), www.autodesk.com/AutoCAD2007/Polygon
- + URL 3: Autodesk Developer (2014.), [www.autodesk.com/AutoCAD-Map3D/Formiranje digitalnog modela terena](http://www.autodesk.com/AutoCAD-Map3D/Formiranje%20digitalnog%20modela%20terena)
- + URL 4, 5, 6: Autodesk Developer (2014.), www.autodesk.com/AutoCAD-Map3