

**ID 03**

Topografski posnetki in kartiranje površinskih kopov

DRAGO POTOČNIK, MATJAŽ VERTAČNIK

PV INVEST d.o.o., Koroška 62b, VELENJE
drago.potocnik@rlv.si, matjaz.vertacnik@rlv.si

POVZETEK

Za pravilno izvajanje rudarskih del in racionalno izkoriščanje mineralnih surovin ter zagotavljanje varnega dela mora izvajalec na podlagi meritev izdelati rudarske načrte in karte na podlagi katerih je razvidno stanje rudarskih del, njihov medsebojni položaj, kakor tudi položaj glede na stara rudarska dela, objekte in vodotoke. Avtorja bosta v tem članku predstavila metode topografske izmere odprtih kopov z kombinacijo RTK – GPS metode in klasične tahimetrične metode ter postopek izdelave topografskih načrtov in nadaljnje računalniške obdelave, ki vsebuje izdelavo profilov ter različne izračune površin in volumnov s programskim orodjem PLATEIA 6.0, ki deluje v ACAD okolju.

Ključne besede: GPS (Global Positioning System), RTK (Real Time Kinematic), topografska izmera.

UVOD

Osnova vsakega topografskega posnetka je izmera karakterističnih točk na terenu, ki so predstavljene s prostorskimi koordinatami (x, y, z). Izmero podatkov potrebnih za pridobitev koordinat točk, s katerimi prikazujemo teren obravnavanega območja, lahko izvedemo s pomočjo elektronskega tahimetra, s pomočjo sodobne GPS opreme in s pomočjo laserskega skeniranja.

V današnjem času je vse bolj prisotna kombinacija omenjenih metod izmere na terenu. Najpogostejša je kombinacija klasične tahimetrične metode in GPS RTK (Real-Time Kinematic) metode. RTK je metoda GPS izmere, ki postaja pri različnih geodetskih nalogah določanja položaja vse pomembnejša. To je metoda, ki uspešno zamenjuje tahimetrično snemanje v topografski izmeri in je kot taka primerna tudi za geodetske posnetke površinskih kopov.

Najsodobnejši pristop izvedbe posnetka predstavlja lasersko skeniranje, ki omogoča zajem zelo velikega števila točk v relativno kratkem času.

V članku je poleg opisa posameznih merskih metod za zajem podatkov meritev prikazan tudi postopek izdelave topografskega načrta od obdelave merskih podatkov do končnega rezultata – topografske karte posnetega terena. Programska oprema za obdelavo podatkov omogoča izdelavo topografske karte s katero je omogočen avtomatski izris vzdolžnih in prečnih profilov ter avtomatski izračuni zahtevanih površin in volumnov. Takšna oblika topografske karte je idealna osnova za nadaljnje projektiranje.

METODE TOPOGRAFSKIH POSNETKOV POVRŠINSKIH KOPOV

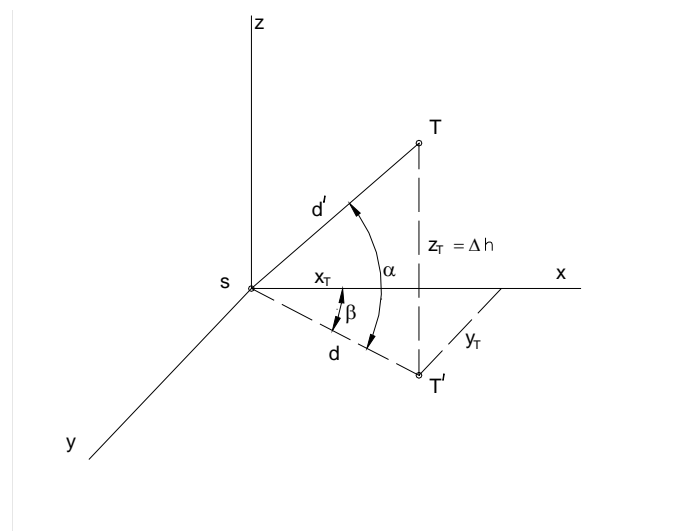
Za pridobitev koordinat točk površine je v praksi na voljo več merskih metod. Najbolj razširjena je klasična tahimetrična metoda – polarna metoda, ki nam s snemanjem kotov in dolžin stranic poda koordinate posnetih točk. V zadnjih letih se vse bolj uveljavljata GPS–RTK metoda in lasersko skeniranje. GPS se je trdno zasidral kot metoda merjenja in je na številnih področjih, predvsem pri najbolj natančnih meritvah že popolnoma nadomestil klasična geodetska merjenja. Naj sodobnejša metoda je lasersko skeniranje, ki nam z zajemom ogromnega števila točk zagotavlja najbolj natančne posnetke vseh detajlov in se najbolj približa realnemu stanju.

TAHIMETRIČNA IZMERA

Osnova tahimetrične izmere so točke z znanimi koordinatami, ki omogočajo umestitev naših meritev v prostor. Koordinate izhodiščnih točk za izvajanje tahimetričnih meritev pridobimo z meritvami v trigonometričnih mrežah ali z meritvami poligonov. Potrebno gostoto točk za detajlni prikaz merjenega območja si zagotovimo s polarno metodo meritev.

POLARNA METODA

Na zelo razgibanem terenu, kar površinski kopi vsekakor so, se posnetki izvajajo s polarno metodo oz. tahimetrijo. S polarno metodo dobimo horizontalni in višinski položaj izmerjenih točk. Položaj neke točke v prostoru lahko določimo s pravokotnimi koordinatami x_t , y_t in z_t ali pa s prostorskimi polarnimi koordinatami, ki so horizontalni kot β od neke znane smeri, vertikalni kot α in poševna razdalja d' . Vsi ti elementi so določeni od neke znane točke S (slika 1).



Slika 1.: Točka v prostoru – polarne in pravokotne coordinate.

Če v točki S postavimo instrument in zmerimo horizontalni kot β od neke dane smeri, poševno razdaljo d' od točke S in vertikalni kot α , dobimo elemente za predstavitev točke T v horizontalni ravnini in višinsko razliko Δh med točko S in T .

OPREMA ZA TERENSKO IZMERO

Za izvedbo meritev na terenu se na Premogovniku Velenje uporablja Leica TCR 1101 (slika2), ki omogoča veliko avtomatizacijo meritev. Podatki se shranjujejo na PCMCIA pomnilniške kartice, kar omogoča prenos podatkov v osebni računalnik. Meritve se lahko izvajajo ali z uporabo odbojnih prizem (infrardeče valovanje), ali pa z uporabo laserja, ki za meritve ne potrebuje prizem. Tako lahko izmerimo razdalje do težko dostopnih točk. Razdaljemer omogoča merjenje do 5000 m. Dvoosni kompenzator zagotavlja najvišjo preciznost tudi pri zelo strmih vizurah. Vgrajeni uporabniški programi olajšajo delo pri merjenju in zakoličevanju.



Slika 2.: Leica TCR 1101.

PROGRAMSKA OPREMA ZA PRENOS PODATKOV

Podatke, ki so shranjeni na pomnilniških karticah je potrebno naprej prenesti v računalnik. To izvedemo s pomočjo kabla za prenos podatkov in ustrezne programske opreme. Leica Survey Office je programski paket, ki omogoča urejanje in upravljanje z merskimi podatki.

Programski paket Survey Office združuje module za:

- izmenjavo podatkov med osebnim računalnikom in tahimetrom (Data Exchange Manager)
- nameščanje novih programov v tahimeter
- napredno konfiguriranje

Prenosu podatkov sledi pretvorba le teh v obliko, ki zagotavlja nadaljnjo obdelavo. Pretvorba podatkov iz GSI formata, ki ga podpira merska oprema, podatke prevedemo v ASCII format (kolonsko tekstovno datoteko), ki ga uporabljajo programi za delo s podatki.

GPS RTK METODA IZMERE

GPS (Global Positioning System) RTK (Real Time Kinematic) metoda izmere temelji na satelitskem sistemu za globalno določanje položajev točk na zemlji in pomeni nov korak pri praktični uporabi GPS-a. Položaj določamo v primeru RTK-GPS metode na osnovi faznih opazovanj, kar pomeni, da lahko pričakujemo visoko natančnost položajev točk. Zaradi enostavnosti je to ena izmed metod GPS izmere, ki se bo močno uveljavila na številnih področjih. Uspešnost RTK metode izmere je odvisna od kvalitete uporabljenega instrumentarija v povezavi s kvalitetno programsko opremo, ki omogoča hitro in zanesljivo določitev neznanega začetnega števila celih valov.

RTK metoda GPS izmere sloni na opazovanju faze nosilnega valovanja in omogoča pridobivanje položaja v realnem času s centimetrsko natančnostjo. Podatki opazovanj pridobljeni na referenčnem GPS sprejemniku se računalniku, ki predstavlja del opreme s katero je opremljen premični GPS sprejemnik, ki izvaja detajlno izmero, pošilja po radijski zvezi. Opazovanja se med izmero avtomatsko tudi shranjujejo, tako da jih v primeru prekinitve radijske zveze lahko uporabimo za izračun položajev točk z naknadno obdelavo. RTK-GPS metoda izmere zahteva za doseganje centimetre natančnosti položajev točk zanesljivo izvedbo inicializacije. Po uspešno opravljeni inicializaciji pa naj bi bil omogočen neprekinjen sprejem signala oddanega z vsaj štirih satelitov. Slednja zahteva je osnovna za vse kinematične metode GPS izmere. Enofrekvenčni sprejemniki morajo biti inicializirani z nekaj sekundno postavitvijo sprejemnika na znano točko. Prednost dvofrekvenčnih sprejemnikov je v tem, da lahko postopek inicializacije opravimo tudi s postavitvijo enega ali obeh sprejemnikov na neznano točko. Način inicializacije z metodo OTF (on the fly) omogoča avtomatizacijo postopka inicializacije, kjer tudi mirovanje premikajočega se sprejemnika ni več pogoj.

Opremo za izvedbo RTK-GPS metode izmere sestavlja:

- oprema potrebna za terensko izmero,
- programska oprema za pripravo izmere in obdelavo podatkov opazovanj.

OPREMA ZA TERENSKO IZMERO

Oprema za samostojno terensko izmero, kjer imamo en referenčni in en premikajoč se GPS sprejemnik je naslednja:

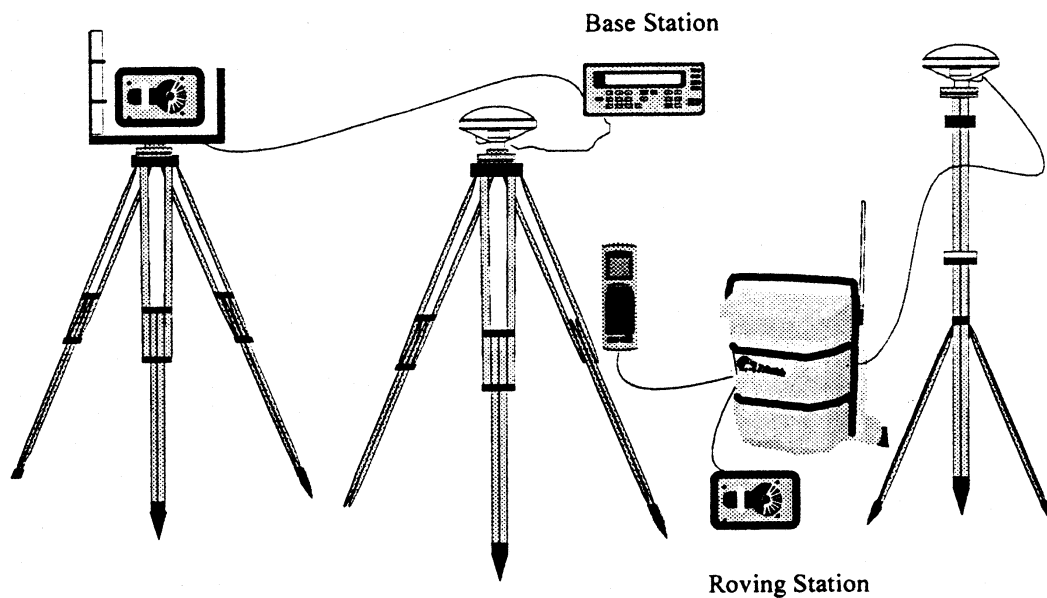
Referenčna točka:

- GPS sprejemnik s pripadajočo programsko opremo, GPS antena,
- radio-modem, radijska antena.

Mobilni sprejemnik:

- GPS sprejemnik s pripadajočo programsko opremo, GPS antena,
- radio-modem, radijska antena,
- ročni računalnik za obdelavo podatkov opazovanj
- nahrbtnik za prenašanje celotne opreme.

Na sliki 3 je prikazana oprema za izvedbo meritev z GPS RTK metodo.



Slika 3.: Osnovna sestava opreme za RTK metodo izmere.

Z razvojem GPS tehnologije in z vzpostavitvijo permanentnih GPS postaj, ki pokrivajo celotno območje Slovenije je uporaba RTK GPS metode še enostavnejša in uporabniku prijaznejša. Za delo na terenu potrebujemo le sprejemnik in GPS anteno, vlogo bazne postaje pa prevzame najbližja permanentna postaja. V praksi najbolj pogost sprejemnik je LEICA GPS 1200, ki zagotavlja natančnost do 3 cm, kar je za izvedbo posnetkov terena dovolj. Omenjena opram je prikazana na sliki 4.



Slika 4.: Leica GPS 1200.

PROGRAMSKA OPREMA

Programska oprema ni nujna za izvedbo RTK-GPS izmere, olajša pa nam delo. Obstajajo programi, ki so namenjeni predhodni pripravi izmere in tudi obdelavi podatkov opazovanj. Pripravo podatkov predstavlja vnos položajev danih točk in izračun transformacijskih parametrov za transformacijo koordinat iz WGS84 sistema v lokalni koordinatni sistem. Transformacija zahteva dane položaje najmanj treh točk v obeh koordinatnih sistemih. Koordinate točk in transformacijske parametre nato prenesemo v ročni računalnik, ki nadzira GPS-RTK izmero. Po opravljenih meritvah je tok podatkov obraten. Sledi pregledovanje podatkov opazovanj in na njihovi osnovi izračunani položaji točk. Lahko pregledujemo in izpisujemo koordinate posnetih točk, lahko jih izrisujemo, računamo razdalje, površine, ... Datoteke lahko pretvarjamo v različne oblike primerne za nadaljnjo uporabo z različnimi programskimi paketi. Imamo dve vrsti programske opreme za obdelavo GPS podatkov. Starejši TRIMMAP in novejšo LEICA GEO OFFICE.

OSNOVNI PRINCIP RTK IZMERE

Med izmero referenčni GPS sprejemnik preko radijske zveze pošilja podatke opazovanj ročnemu računalniku ob premikajočem se GPS sprejemniku. Prav tako pošilja podatke opazovanj ročnemu računalniku premični GPS sprejemnik.

RTK-GPS metoda izmere je uporabna že skoraj na vseh področjih geodezije. V odvisnosti od namena izmere se postopki med seboj razlikujejo, vendar pa so si v osnovi podobni. Zelo pomembno je dobra priprava izmere.

Glavni koraki postopka RTK izmere so:

- izdelava plana terenskih opazovanj in pridobitev podatkov potrebnih za delo na terenu (koordinate referenčnih točk, koordinatni sistem, transformacijski parametri med koordinatnimi sistemi,...),
- določitev načina kontrole izmere in določitev natančnosti položajev točk,
- priprava koordinat točk, pretvorba v ustrezno projekcijo,
- določitev položajev referenčnih točk,
- opremo (GPS sprejemnike, GPS antene, radio-modeme...) pripravimo za delo,
- inicializiramo merski sistem, glede na možnosti inicializacije, ki jih imamo na razpolago:
 - inicializacija na znanem vektorju,
 - inicializacija z inicializacijsko ploščo,
- po inicializaciji začnemo z izmero in pazimo, da ne izgubimo sprejema GPS signala. V primeru izgube sprejema GPS signala postopek inicializacije ponovimo,
- po opravljeni izmeri prenos podatkov na računalnik,
- transformacija položajev točk v željeno kartografsko projekcijo.

LASERSKO SKENIRANJE

Prihodnost topografskih posnetkov predstavlja lasersko skeniranje terena. S to metodo pridobljeni podatki omogočajo mnogo realnejšo sliko posnetega stanja. Lasersko skeniranje se uporablja za meritve na gradbiščih, za inženirske meritve, za posnetke industrijskih obratov, merjenje profilov, izračun volumnov in površin, za topografske in detajlne posnetke, za kontrolo velikih konstrukcij

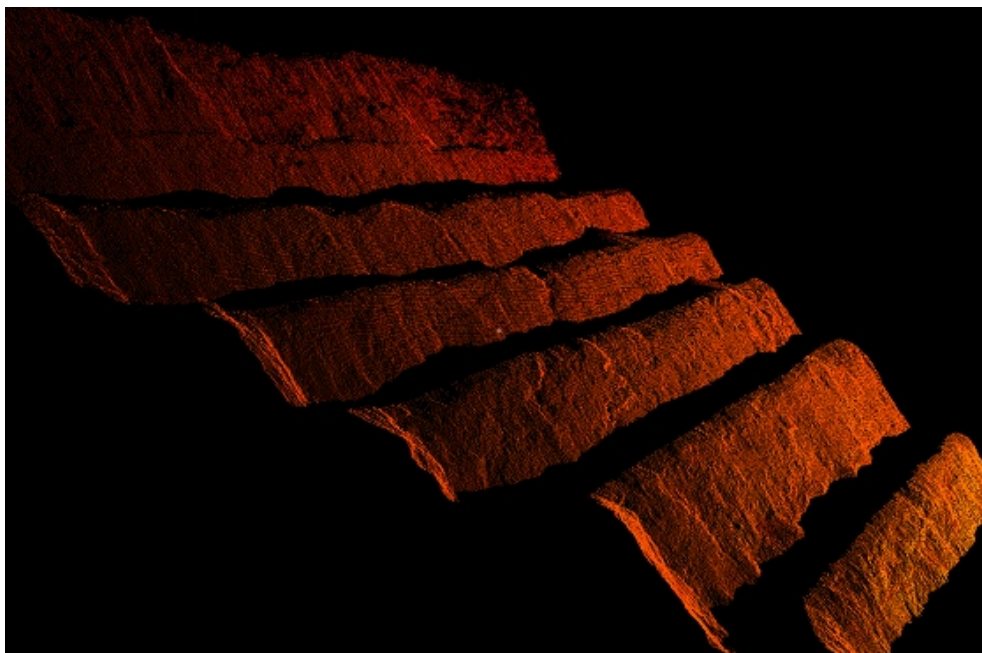
(mostov, naftnih ploščadi...), za proizvodnjo in reverzni inženiring, za arhitekturo, za navidezno resničnost, kulturna dediščina (spomeniki...)

LASERSKI SKENER



Laserski skener nam omogoča zajem preko 100.000 točk v samo 5 do 15 minutah. Izmera generira 3D oblake točk z natančnostjo < 6 mm pri oddaljenosti 50 m z ločljivostjo < 1 mm. Natančnost modelirane površine znaša 2 mm pri oddaljenosti 50 m. Zajem površine ne moti dela na objektu in tudi zagotavlja vso varnost. Objekte lahko posnamete iz večih stojišč, tako da vedno zajamete vse podrobnosti. Posamezne detajle na objektih dodatno posnamete z višjo ločljivostjo! Vse skenograme nato združite v en sam celovit oblak točk, ki je lahko geo-referenciran. To predstavlja najboljšo osnovo za izdelavo natančnega 3D modela.

Slika 5.: Laserski skener Leica Scan Station.



Slika 6.: etaže kamnoloma posnete z laserskim skenerjem.

Na sliki 6 je vidno, da lahko z laserskim skenerjem posnamemo stanje 99% realno, torej so tudi nadaljnje obdelave kot so izračuni volumnov in profili 99% natančni. V samem skenerju lahko nastavimo gostoto točk oz. gostoto mreže s katero želimo posneti objekt.

PROGRAMSKA OPREMA ZA OBDELAVO PODATKOV PRIDOBLENIH Z LASERSKIM SKENIRANJEM

Kaj vse lahko delamo s programsko opremo, bo predstavljeno na primeru programske opreme CYCLONE, ki je kompatibilna s Leica Scan Station. Cyclone predstavlja najširši nabor možnosti za 3D lasersko skeniranje v inženirskih, geodetskih in konstrukcijskih aplikacijah.

Cyclone-VIEWER

- vizualizacij oblakov točk in 3D modelov s celovito podporo za vrtenje, zumiranje in navigacijo

Cyclone-SCAN

- modul, ki deluje na terenskem računalniku, za upravljanje z laserskim skenerjem Cyrax
- uporabniku omogoča določitev področja za zajem, nastavitve ločljivosti zajema, skeniranje, samodejno določanje tarč na "posnetkih", vizualno spremljanje napredovanja skeniranja v 3D in opravljanje kontrole

Cyclone-MODEL

- zmogljivo orodje, ki omogoča profesionalcem, da neposredno uporabijo oblake točk
- omogoča obdelavo oblakov točk in tvorbo 3D modelov ter izvoz v CAD aplikacije
- vsebuje nabor orodij za topografske meritve

Cyclone-MANAGE

- namenjen je upraviteljem, odjemalcem in vsem, ki želijo nadzirati ali komentirati napredovanje celotnega projekta skeniranja

Cyclone-SERVER

- modul omogoča velikim delovnim skupinam, da hkrati delajo na istem 3D oblaku točk ali modelu brez podvojevanja podatkov

PROGRAMSKA OPREMA ZA OBDELAVO PODATKOV PLATEIA 6.0

Ko so podatki pripravljene v tekstovni datoteki se lahko začne z nadaljnjo obdelavo. Zato uporabljamo programski paket PLATEIA 6.0, ki je v osnovi namenjen za projektiranje cest, vendar nam z svojimi moduli omogoča delo tudi na projektih, ki niso vezani direktno na projektiranje cest. Uporabljajo se moduli SITUACIJA, OSI, VZDOLŽNI in PREČNI PROFILI ter modul QUICKSURF za digitalno modulacijo terena.

MODUL SITUACIJA

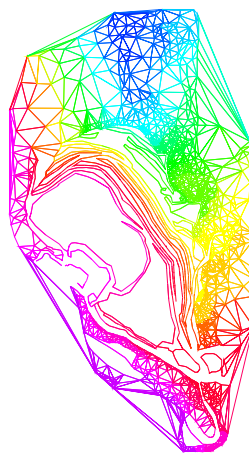
Modul SITUACIJA programa PLATEIA 6.0 je namenjen izrisu in obdelavi geodetskih posnetkov in podlog oz. izdelavi topografskih načrtov. Načrte lahko obdelujemo v poljubnem merilu, ki ga lahko naknadno tudi spremenimo. Skladno z merilom se samodejno popravijo izbrani elementi načrta.



Slika 7.: Točke in povezave na osnovi katerih se vrši nadaljnja obdelava.

Ko točke prenesemo v ACAD okolje moramo najprej definirati povezave med točkami oz. povezati moramo točke, ki definirajo robove (ceste, etaže, useki...). Točke, ki jih prenesemo lahko imajo poleg podatkov o koordinatah nase vezane še dodatne atribute, ki nam olajšajo izris povezav. Ko imamo tridimenzionalno sliko z izrisanimi povezavami in točkami nam ta predstavlja osnovo za nadaljnjo obdelavo.

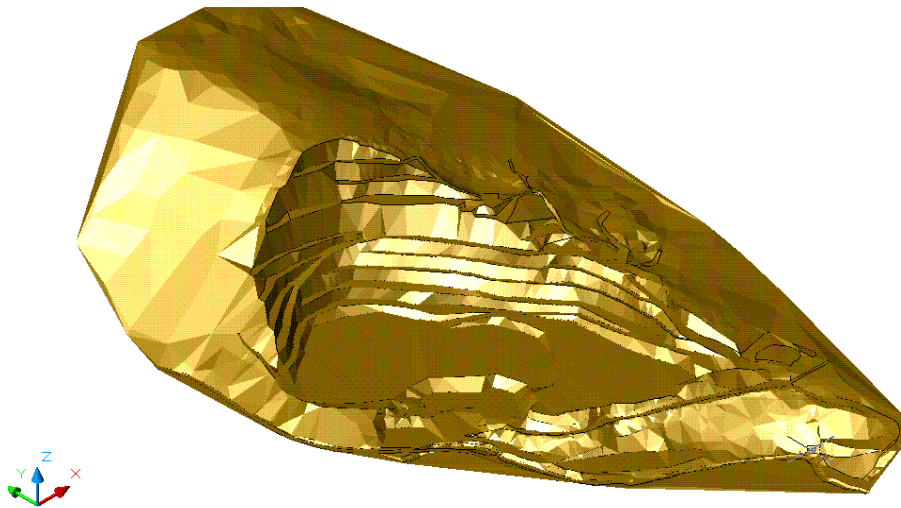
Povezave lahko uporabljamo tudi za prikaz objektov, meja, terenskih črt in podobno, lahko pa z njimi ponazarjamo tudi cevi in vode za komunalne in druge naprave.



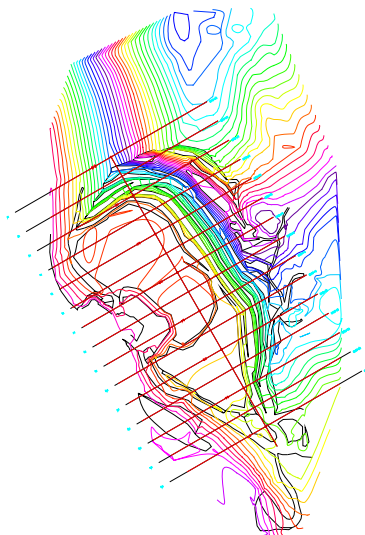
Slika 8.: Digitalni model terena s kreirano trikotno mrežo

Za sam izris topografske karte je pomembno, da je v program PLATEIA 6.0 vgrajenih preko 500 točkovnih simbolov za temeljni topografski načrt, ki so veljavni pri nas. Šrafure za vkope in nasipe izrisujemo s posebnimi funkcijami, ki med danimi štirimi točkami ali vzdolž dveh podanih poligonskih črt izrišejo ustrezno šrafuro in podano območje tudi pobarvajo. Za potrebe obdelave situacijskih načrtov so na voljo številne funkcije, na primer izris in kotiranje geodetskih križev, risanje in digitalizacija pravokotnih objektov, šrafiranje objektov.

Če potrebujemo poleg topografskega načrta tudi druge podatke moramo teren najprej modelirati. To storimo s programom Quicksurf, ki je program za obdelavo in analizo digitalnih modelov terena. Omogoča generacijo trikotnih, štirikotnih in mešanih mrež, izris plastnic, izračun površin in volumnov tudi po terenu z ostrimi prehodi (terase, grebeni, jarki...).



Slika 9.: Digitalni model terena – 3D pogled.



Slika 10.: Kreiranje plastnic in določitev vzdolžnih in prečnih profilov

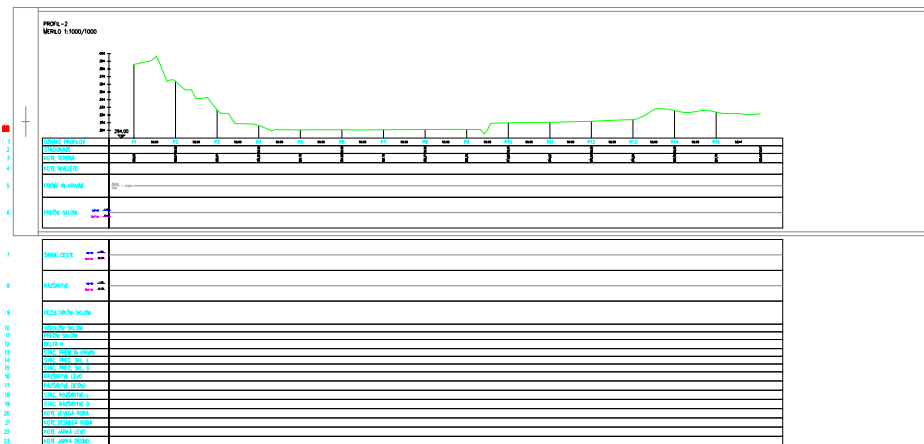
MODUL OSI

Kreiranje digitalnega modela terena nam omogoča določitev lokacije vzdolžnih in prečnih profilov. To storimo z modulom Osi. Vzdolžna os je osnova za določitev prečnih osi, ki določajo lego prečnih profilov. Prečne osi lahko postavljamo na poljubnih mestih ali pa jih razvrstimo na enakomernih medsebojnih razdaljah. Prečne osi so lahko poljubne poligonske črte, tudi lomljene. Z uporabo funkcij programa Quicksurf lahko te osi projiciramo na digitalni model terena.

Modul osi je z ostalimi moduli – vzdolžni profili in prečni profili povezan preko podatkovnih datotek v katerih se hranijo vsi podatki v numerični obliki.

Vzdolžni profili

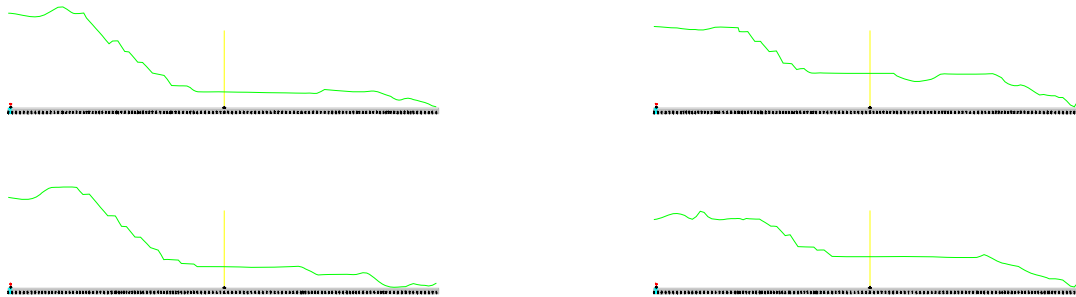
Modul vzdolžni profili je namenjen določanju vertikalnih elementov terena. Najprej določimo tabelo, v kateri se nahajajo rubrike za tabelarni numerični izpis različnih podatkov in rezultatov v vzdolžnem profilu. Teren vnesemo v obliki podatkovne datoteke, ki smo jo shranili v modulu osi in na podlagi tega se kreira vzdolžni profil. Med dodatnimi orodji so na voljo ukazi za merjenje stacionaže in višine, za kotiranje nagibov in višin, za vnos poljubnih simbolov na znanih stacionažah in višinah in druge funkcije.



Slika 11.: Vzdolžni profil – shematski prikaz..

Prečni profili

Obdelava prečnih profilov je vedno veljala za zelo zamudno opravilo. PLATEIA 5.0 ima vgrajenih precej funkcij in izboljšav glede na prejšnje verzije, ki bistveno olajša izris prečnih profilov, določanje karakterističnih točk, planimetriranje in izračun mas. Preden začnemo izrisovati prečne profile, si pripravimo liste ali tabele, na katere jih razporedimo po vrsticah in stolpcih. V eni risbi imamo lahko poljubno mnogo tabel. Program samodejno določi območje za posamezni profil na osnovi terenskih podatkov. Tako se ne more zgoditi, da bi se kateri izmed teh elementov izrisal zunaj območja profila. Pri razgibanih profilih je to pomemben pripomoček. Tabela za izris profilov običajno vsebuje podatke o višinskih kotah in oddaljenostih posameznih točk terena. Teren vnesemo iz podatkovne datoteke. Vnos lahko kasneje ponovimo, če pride do sprememb v posnetku terena.



Slika 12.: Prečni profili – shematski prikaz.

Izračuni površin in volumnov

Ko imamo izrisane prečne profile, lahko na osnovi le-teh začnemo s projektiranjem oz. lahko izrišemo kje naj bi potekale nove brežine, kje naj bi bili izkopi ali nasipi, ceste in program nam izračuna potrebne površine in volumne.

Planimetriranje se izvrši tako, da kliknemo na točko znotraj poligona katerega površino potrebujemo. Volumni se izračunajo na osnovi planimetriranih količin. Pri tem lahko uporabimo običajno metodo izračuna volumnov, ko izbrano količino množimo z razdaljo med dvema profiloma, lahko pa izberemo tako imenovano EALLING metodo, kjer program izračuna razdaljo med dvema težiščnima točkama izbrane količine v dveh sosednjih prečnih profilih. Rezultati se izpišejo v podatkovno datoteko.

ZAKLJUČEK

Osnovni namen članka je predstavitev celotnega postopka izdelave topografske karte od posnetka terena do kartiranja površinskih kopov in nadaljnje obdelave. Razvoj merskih metod in merske opreme nam omogoča hitrejši zajem podatkov in detajlnejši posnetek terena. Uvedba laserskega skeniranja omogoča zajem ogromnega števila podatkov, pri tem pa je delo na terenu hitrejše in varnejše.

Programska oprema, ki je na voljo nam omogoča veliko avtomatizacije pri obdelavi posnetkov. Podatki, ki jih dobimo z obdelavo posnetkov nam omogočajo poleg samega izrisa topografske karte tudi tridimenzionalno modulacijo terena, avtomatizirane izrise vzdolžnih in prečnih profilov ter izračune potrebnih površin in volumnov. Tako pripravljene podatki so lahko podlaga za primerjavo s končnim stanjem, ki je predvideno s projektom. Podatke je možno uporabiti tudi za izračun rezerv v danem trenutku, kjer primerjamo obstoječe izmerjeno stanje površinskega kopa in končno stanje, ki je določeno s projektom.

LITERATURA

1. **Real Time Kinematic (RTK) GPS. What it is? What its uses in Hydrography?**, Trimble Navigation, objavljeno na simpoziju Tri-Service Symposium, St. Luis, 1997.
2. **Leick, A. GPS Satellite Surveying**, Second edition, John Wiley&Sons, inc., 1995.
3. **Stopar, B. RTK metoda GPS izmere**, Geodetski vestnik, številka 4, 1997.
4. **Stopar, B., Pavlovčič, P. RTK – GPS metoda izmere**, FGGLjubljana 1999.
5. **Sumpter, C. W., Asher, G. W. Real Time Kinematic GPS for Cadastral Surveys**, USDA Forest Service, ASPRS/ACSM, 1994.
6. **Sluga, C. Geodezija 1**, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 1986.
7. **Sluga, C. Geodezija 2**, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 1987.
8. **Plateia, Civil Engineering Software for AutoCAD**, Priročnik, Ljubljana 1998.
9. www.geoservis.si