

PRIMJENA FOTOGRAMetriJE I ELEKTRONSKOG RAČUNANJA KOD PROJEKTIRANJA I GRADNJE KOMUNIKACIJA

Ing. SLAVKO MESARIĆ — Vermessungsbüro H. Leupin, Bern

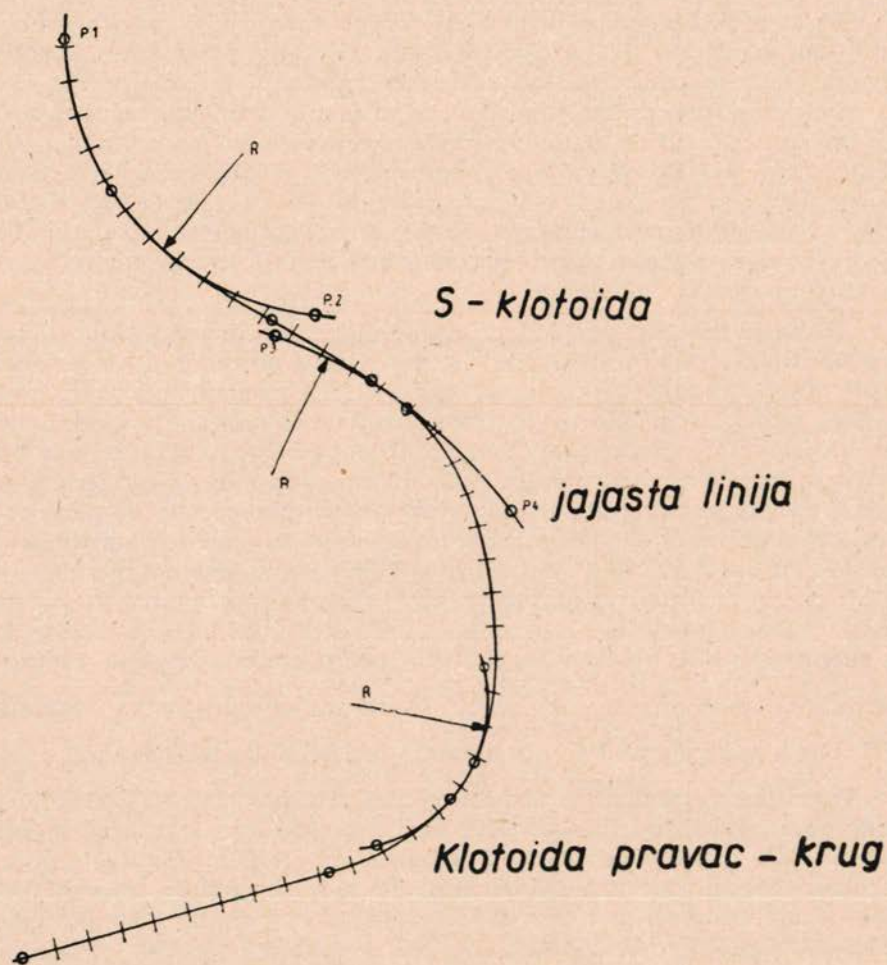
Elektronski način računanja se već primjenjuje u gotovo svim područjima geodezije. Ta se činjenica ima zahvaliti prikladnim konstrukcijama elektronskih računskih automata. U novije vrijeme se ide za tim da se na izvjesnim područjima (relativno manja tehnička računanja) primijene manji računski automati, koji ne samo da su jednostavni u rukovanju, nego je i sav posao oko programiranja jednostavan i brz. Starije konstrukcije imaju istina veći kapacitet, ali pripremni radovi iziskuju, toliko vremena da se računanja u našoj struci gotovo ne isplaćuju. To je ujedno i razlog zašto se elektronski način računanja tek sada u većoj mjeri uvodi u geodetska računanja.

Teško je dati širi pregled primjene elektronskih računskih automata u geodeziji i srodnim strukama, jer to ovisi u prvom redu o automatu, o prirodi računanja, o propisima koji važe za promatrano područje itd. Sasvim bi pogrešno bilo u elektronskom načinu računanja gledati nešto sasvim novo. Obična računska mašina ili log. tablice su zamijenjene brzim i sigurnijim načinom računanja. Svakako da se za rješavanje jednog problema mogu uzeti i nešto kompliciranije formule, jer na vrijeme računanja nije potrebno gledati, a osim toga gotovo sve novije elektronske računске mašine same sebe kontroliraju. Tom samokontrolom otpada u geodeziji toliko primjenjivano dvostruko — kontrolno računanje. Za malu ilustraciju se navodi da na primjer $\sin x$ neće biti vađen iz tablice, koja bi eventualno bila ugrađena u mašini (interpolacija!), nego se računa po formuli: $\sin x = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} \dots$ Dakle uvijek od početka i računanje vrijednosti funkcije na 8 decimala traje tek nekoliko milisekunda.

Elektronsko računanje našlo je veliku primjenu baš na području primijenjene geodezije i to specijalno kod projektiranja i gradnje komunikacija. Razlog tome je prilično jednostavan. Razvoj tehnike uopće, a naročito tehnike prevoznih sredstava sili nas na gradnju komunikacija, koje su opet u direktnoj vezi sa privredom neke zemlje. To je dakle u neku ruku neposredan kontakt između geodezije i privrede. Poznato je da se u novije vrijeme u privredi nastoji ostvariti djelomična, a negdje čak i gotovo potpuna automatizacija rada zbog smanjenja troškova i, što

je najvažnije zbog uštede na vremenu. Slične tendencije javljaju se i kod primijenjene geodezije, odnosno kod geodezije uopće. Može se na primjer dozvoliti da se sa detaljnim premjerom u katastarske svrhe kasni nekoliko godina, ili da u nekom privredno neinteresantnom području nema detaljne triangulacije. Mnogo bi međutim bilo nezgodnije da gradnja neke privredno važne ceste ili željeznice mora biti odgođena na izvjesno vrijeme, jer nisu gotovi, detaljni planovi, ili nisu mjereni ni izračunati svi poprečni profili itd. Trebamo voditi računa o modernim građevinarskim mašinama i o njihovom kapacitetu!

Nemoguće je dati neka stroga pravila i upute o primjeni elektronskog računanja u geodetskim radovima, jer je to jedno sasvim novo područje,



Slika 1 — Računanje osi

gdje se još traže najpogodnija rješenja. Jedno je ipak sigurno područje projektiranje i gradnja komunikacija povezala je u novije vrijeme fotogrametriju i elektronsko računanje u jednu nerazdvojivu cjelinu.

Prema generalnom projektu priprema se pojas buduće trase za snimanje iz zraka. Signaliziraju se sve postojeće trig. tačke, a dakako i one koje će kasnije kod restitucije služiti kao orijentacione. Ukoliko se pretpostavlja da grubo projektirana os neće pretrpiti velika pomicanja, postavlja se već prije snimanja i operativni poligon. Tačke se dobro stabiliziraju (beton) i to tako da prilikom građevinskih radova po mogućnosti ne budu uništene, kako bi mogle poslužiti i za iskolčenje. Obično se ukopa svakih 70—80 m po jedna tačka. Na tu se udaljenost postižu optimalni rezultati sa optičkim daljinomjerima, a osim toga za iskolčenje nije na odmet imati po koju tačku više, jer će vjerojatno neke ipak biti uništene zbog građevinskih radova. Fotogrametrijsko snimanje se izvodi redovito sa kamerom RC 8 Wild u mjerilu 1 : 5000. Za orijentaciju modela služi signalizirani operativni poligon i na rubovima snimaka se još odredi po koja orijentaciona tačka, često samo visinski. Restitucijom sa originalnih negativa dobivamo planove pojasa u mjerilu 1 : 1000 sa ekvidistancijom slojnica u pravilu 1 m. U te se planove polaže osovina buduće komunikacije. U crtaju se glavne tangente, kružni lukovi i pravocrtni dijelovi trase. Vođenjem linija nastoji se sasvim izostaviti pravocrtne dijelove (sl. 1).

Poligonski vlakovi koji služe kao geodetska osnova kod snimanja terena, a također i kod iskolčenja saobraćajnice, računaju se elekronmašinom (čvorne tačke također). Kao rezultat se dobiva ne samo sračunati vlak (ispisane koordinate) nego i perforirana traka sa koordinatama, čime se direktno ulazi u račun elemenata za iskolčenje.

Sa programom se poligoni vlak računa na slijedeći način: Uzet je slučaj da se na početnoj i završnoj tački ne raspolaže samo sa jednom vizurom na poznatu trig. tačku u svrhu računanja početnog smjernjaka, nego da se izvrši orijentacija pravaca. Pogreške $v = v - \varphi$ će biti ispisane. Svrha nije neko naročito povećanje tačnosti, nego isključivanje grubih pogrešaka. Događalo nam se da je za priključak uzet krivi crkveni toranj, ili pak su bile zamijenjene koordinate dvaju tornjeva. Da bi se takve neugodnosti izbjegle uzimamo po dvije ili tri vizure na poznate tačke. (Oni koji mjere vlakove nisu uvijek naročito kvalificirani stručnjaci). Sistem uvađanja mjerenih podataka u automat je »prepisivanje terenskih zapisnika«. Jasno da ćemo već na terenu izračunati sredine kod mjerenja kuteva u vise girusa ili ponavljanja; također će se izračunati i srednje vrijednosti dužina (Redta) ili pak srednje vrijednosti paralaktičkih kuteva (bazisna letva) kod mjerenja dužina tamo i natrag. Dakle u automat se uvađaju pravci (ne poligonski kutevi) i dužine. Već prema načinu mjerenja, mjereni podaci za dužine su: dužina direktno, paralaktički kut, odsječak na vertikalnoj letvi i vertikalni kut (busolni vlakovi). Kad se ima automat nastoji se stručnjaka osloboditi od rutinerskih računanja.

Kao prvo automat ispiše pogreške f_β , f_y , f_x ; uzdužnu i poprečnu pogrešku f_l , f_q kao i f_s . Ovi su podaci sasvim dovoljni da stručnjak ocijeni dali ima koja gruba pogreška, i dali je vlak dovoljno tačan za svrhu kojoj je namijenjen. Ako se ove pogreške akceptiraju prelazi se na izjednačenje, a poslije toga na ispisivanje rezultata, kako na papiru tako i na perforiranoj traci u obliku rupica. Kod čvornih tačaka je postupak sličan. — Postoji program i za nepriključene vlakove, ili priključene samo po smjeru ili samo po koordinatama.

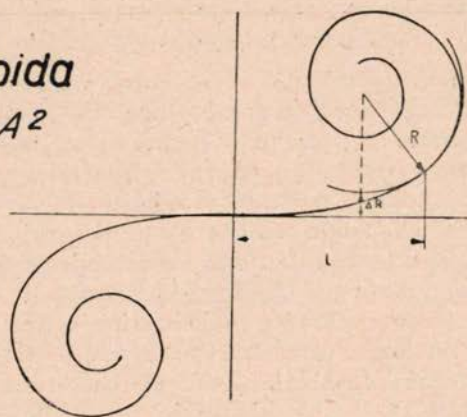
Sada se pristupa računanju horizontalne osovine. U mašinu se ubacuje elemenat po elemenat osi. Pravac (glavna tangenta) definira se koordinatama dviju tačaka. Kružni luk je definiran opet koordinatama dviju tačaka i radijem. Dakle trasa se rastavlja na pravocrtne dijelove i kružne lukove. Koordinate tačaka očitavaju se u pravilu sa plana. Radi li se o križanju dvaju puteva na određenom mjestu, ili ako se trasa ima voditi tačno na određenoj udaljenosti od na pr. nekog historijskog spomenika ili slično, onda se koordinate tih prisilnih tačaka određuju na osnovu mjerenja na terenu.

Izračunata horizontalna os definirana je koordinatama niza tačaka. Udaljenost između tih tačaka je konstantna (stacionaža) i bira se po volji. Kod autoputeva ona iznosi obično 20 m.

Na pravocrtnom dijelu osi koordinate se računaju nanašanjem dužina na poznati smjer. Kod kružnica se prvo računaju koordinate središta i prema centralnomj kutu za datu dužinu (stacionažu) se računaju koordinate na kružnom luku. Kao prelazna krivulja uzima se klotoida (sl. 2).

klotoida

$$L \cdot R = A^2$$

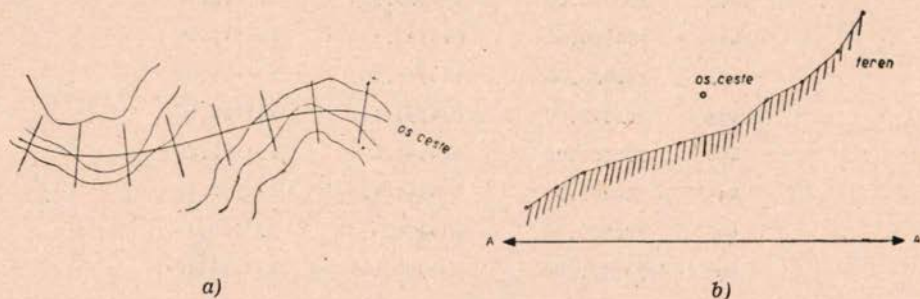


Slika 2

Najprije se određuje udaljenost između pravca i kružnog luka ΔR i prema tom podatku (R je poznat) određuju se ostali elementi klotoida po postupku Kasper—Schürba—Lorenz (jedinična klotoida). U sistemu dotične klotoida računaju se koordinate jednakih odsječaka, koje se opet transformacijom koordinata svode u koordinatni sistem u kojem se računa čitava

os. Ako uzastopce dolaze dva suprotna luka imat ćemo slučaj S linije ili ostale oblike klotoide. Sva se ova računanja izvode potpuno automatski. Mašini se daju samo početni elementi, dakle položaj pravaca i kružnih lukova koordinatama. Rezultat predstavlja spisak koordinata tačaka osi, svakih na pr. 20 m. Na posebnoj su listi ispisane koordinate glavnih tačaka PPK, KPK = KKL itd.; radiusi kružnih lukova, parametri klotoida, smjerni kut tangente u svakoj tački, itd. Glavne se tačke smatraju kao neki međurezultat, jer ako je os data koordinatama svakih na pr. 20 m svedjedno je dali slijedeća tačka leži na pravcu klotoidi ili na kružnom luku.

Slijedeći je korak mjerenje poprečnih profila. U tu se svrhu nanaša os komunikacije na planšetu (koordinatografom). Poprečni profili mjere se fotogrametrijskim načinom na A 7 ili A 8 pomoću profiloskopa (Wild). Taj se uređaj sastoji iz jedne staklene ploče sa ugraviranim paralelnim linijama koje pod pravim kutem siječe jedna središnja linija. Iznad ploče montiran je mikroskop, čije je vidno polje projicirano na ekran, tako da je pomoću jednog zrcala vidljivo sa mjesta restitutora kod autografa. Ako



Slika 3 — Poprečni profil

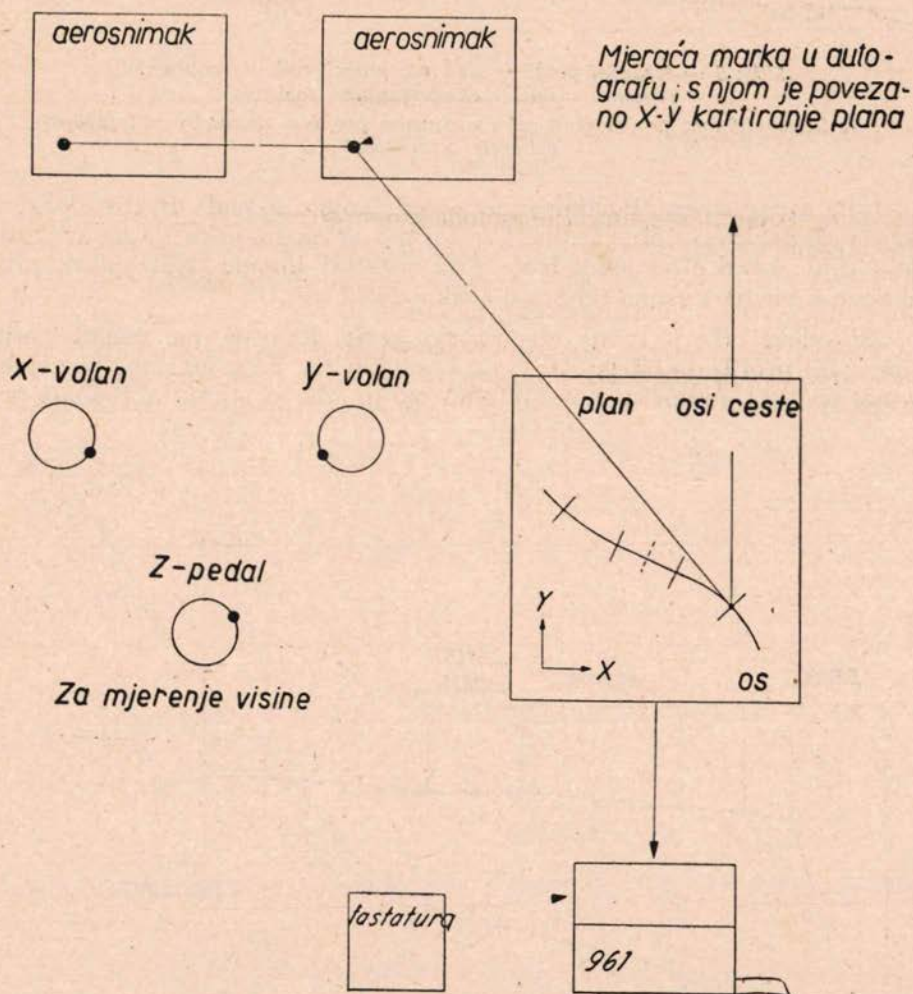
se uzdužna (središnja) linija staklene ploče poklopi sa osi ili jednim njenim dijelom (lukovi) onda nam poprečne linije predstavljaju smjer poprečnih profila. Kako je razmak poprečnih linija jednak stacionaži osi u mjerilu plana, to treba autografom samo na tim linijama mjeriti koordinate visine. Gustoću tačaka diktira teren. Mašinske koordinate i visine. (nadmorske) će se automatski registrirati uređajem EK 3 — Wild); one se zapisuju na listu i unose na perforiranu vrpcu ili na perforirane kartice. Kako se ništa ne zapisuje ručno, a dakako niti ne očitava, to je izvor pogrešaka isključen. Postoji način da se ili korigiraju ili pak ponište grubo pogrešna opažanja na autografu.

Kao rezultat restitucije na autografu imamo dakle perforiranu vrpcu (ili kartice), a poslije obrade na računskom automatu imamo na raspolažanju pisani uzdužni i pisane poprečne profile. Područja pod šumom ili grmljem ne mogu se naravno mjeriti fotogrametrijskim načinom. U tom se slučaju grubo iskolči os i prema njoj se snimaju poprečni profili poznatim terestričkim metodama (tahimetrija, geod. stol). Rezultati se ručno

unose u perforiranu vrpcu,, tako da za daljnju obradu imamo sve rezultate u istom obliku.

Redovito se uzdužni profil nanaša na papir kako bi se mogla položiti niveleta. Ona se opet rastavlja, slično kao i kod horizontalne osi na pravce

Autograf



Slika 4 — Shematski prikaz postupka mjerenja poprečnih profila na autografu

i kružne lukove (sl. 5). Između pravaca i kružnih lukova se ne umeću prelazne krivine. Podaci za daljnji račun su dakle koordinate dviju tačaka na pravcu i koordinate dviju tačaka na kružnom luku, kao i radius. Kao

koordinate uzimaju se stacionaža i nadmorska visina. Kako su radiusi vertikalnih lukova redovito veliki, to se metoda računanja projektiranih visina za svaku tačku stacionaže preko centra kružnice i centralnog kuta

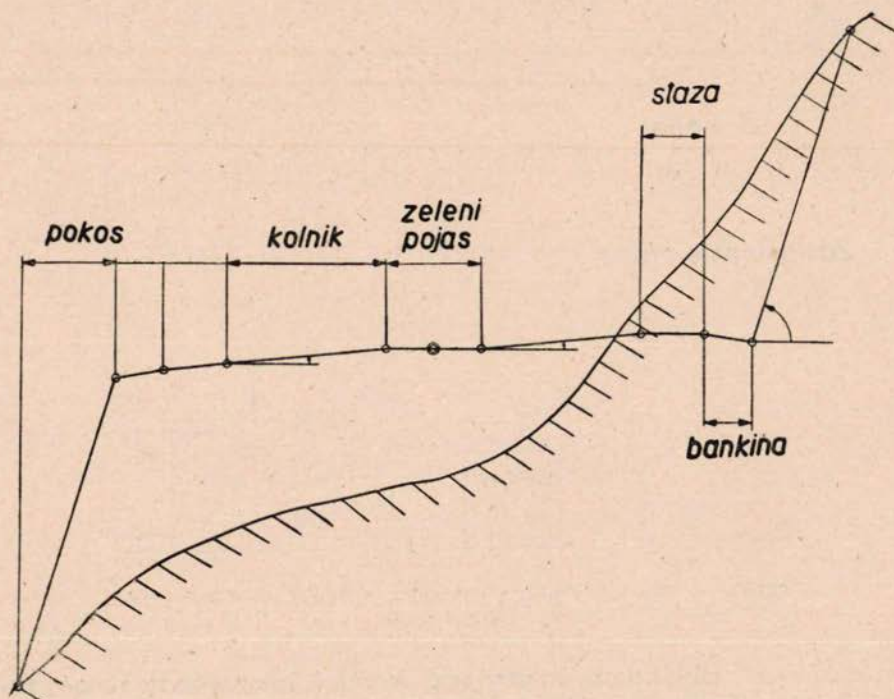


*Slika 5 — Uzdužni profil — Zadano: pravci, radiusi zaobljenja.
Traženo: visine u ekvidistantnim tačkama*

Sa horizontalnom projekcijom osi i uzdužnim profilom definiran je položaj osi ceste u prostoru

pokazala nepogodnom. Pogodnija je metoda kojom se nađe diralište pravca i kružnice naravno s obje strane i za taj dio se računaju tačke na kružnici rješavajući kvadratne jednačbe. Kao rezultat imamo opet spisak projektiranih visina i visina terena u svakoj tački osi.

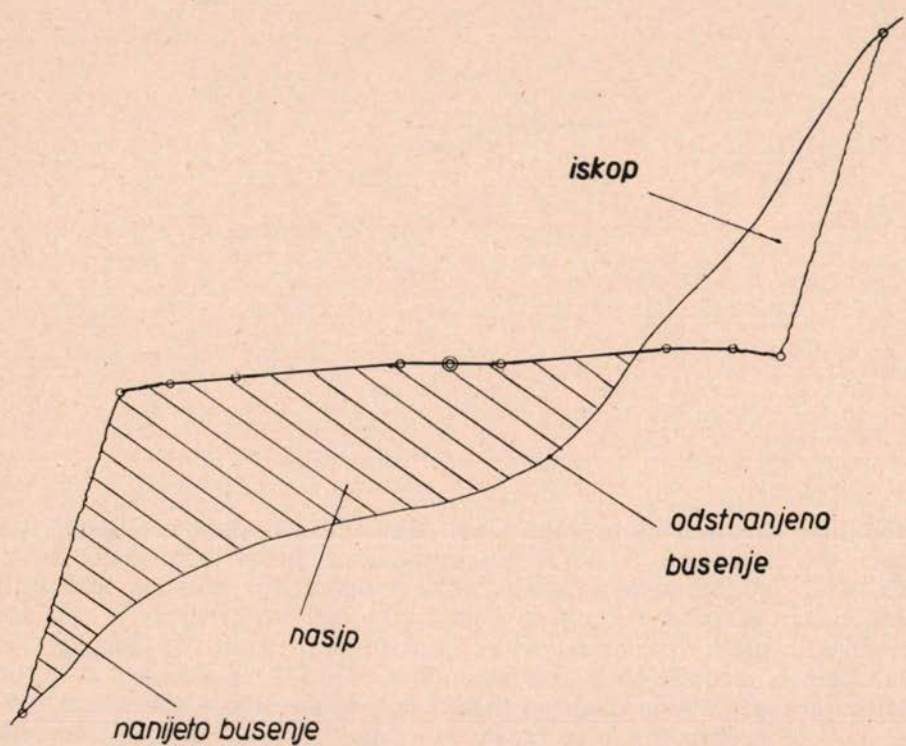
Slijedeća faza je račun tzv. rubova ceste. Imajući na raspolaganju »normalni profil« za određenu vrstu ceste (širina, propisani nagibi usjeka — nasipa itd.), niveletu, horizontalnu os, to smo u stanju sračunati po-



Slika 6 — Računanje rubova

prečni nagib kolovoza, usjeka odnosno nasipe, odvodne jarke, banket itd. Za taj račun predviđena su dva programa. Prvi je normalni, za jednostavan teren, a kod drugog se mogu pojedini podaci mijenjati po volji. Zna se na pr. da cesta prolazi kroz kameniti teren, gdje nagib usjeka neće biti normalan, nego će ga zamijeniti potporni zid; ili će zbog pomanjkanja prostora središnja traka između dva kolovoza autoputa biti nešto uža; zbog geološkog sastava tla predviđa se na nekoj dionici neki drugi nagib usjeka odnosno nasipa itd. Kao rezultat imamo za svaku glavnu tačku poprečnog profila ceste (na svakoj stacionaži) projektirane visine ili pak nagibe.

Dalje je na redu račun zemljanih masa. Svi podatci stoje nam na raspoloženju iz prijašnjih računanja registrirani na perforiranim karticama

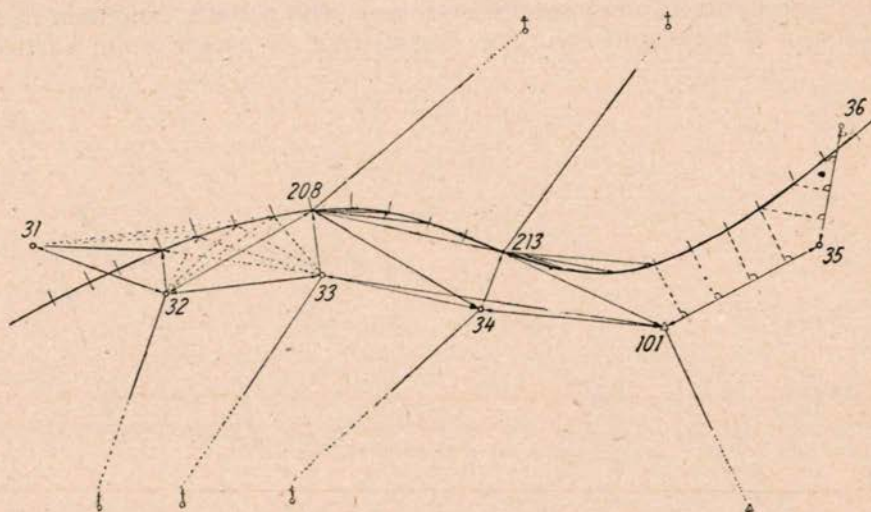


Slika 7 — Nasip i usjek

ili vrpci. Kubatura se računa prema Simpsonovoj formuli. Sloj humusa se kod računanja zemljanih masa izdvaja kao neupotrijebljiv (sl. 7). Jasno je da se ne samo kod računanja kubature, nego i kod poprečnih profila mora računati sa izvjesnom interpolacijom. Strogo uzevši sva su ta računanja u neku ruku približna, pa će se kod gradnje ipak naići na probleme koji nisu računanjima bili obuhvaćeni.

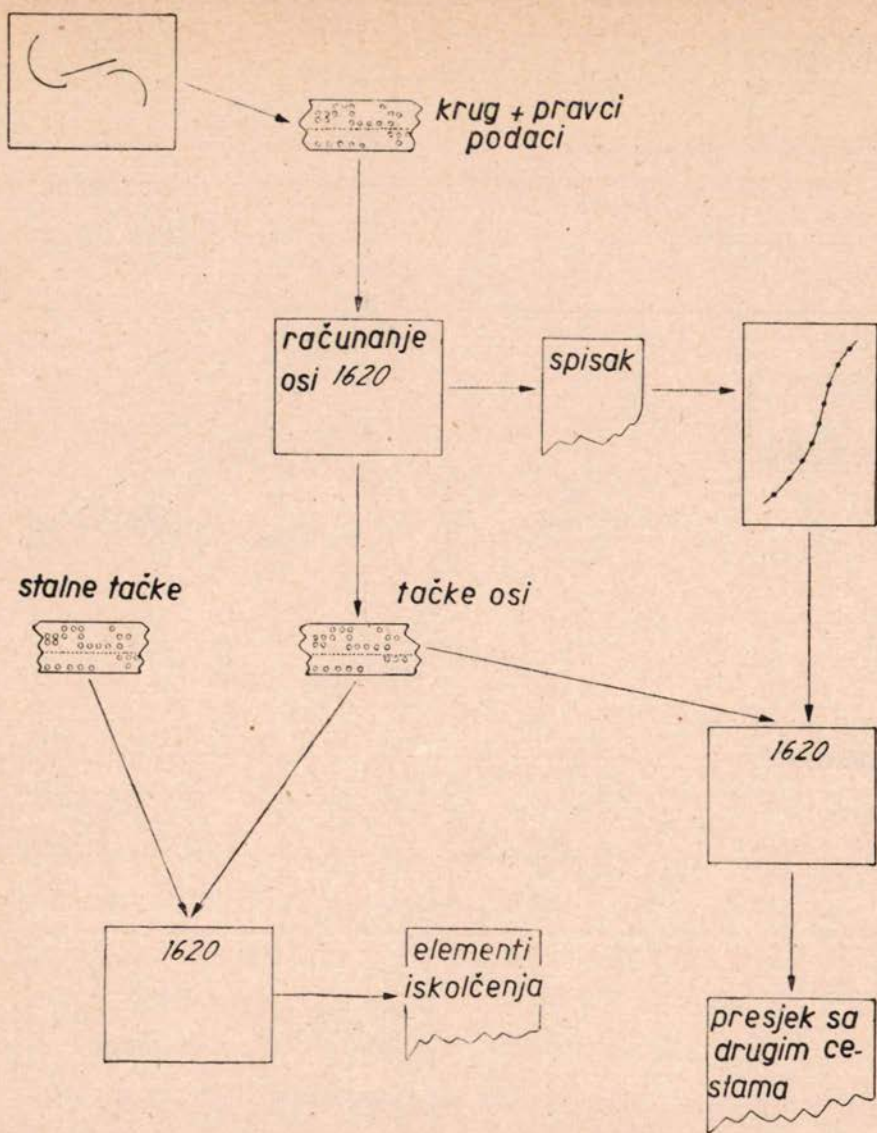
Vrlo povoljna strana čitave metode se sastoji u tome, da se u svakoj fazi računanja mogu uvesti izvjesne korekcije, pa i premještanje jednog dijela osi trase, dakle ponovno se mjere poprečni profili, a da pretežni dio trase ostane netaknut.

Kad su projektanti i investitor zadovoljni sa dobivenim rezultatima prelazi se na računanje elemenata za iskolčenje. Tačke operativnog poligona, stabilizirane već prije snimanja, koje su služile kao orijentacione za restituciju, poslužit će sada kao polazne tačke za iskolčenje. Najčešće se os iskolčava polarno, na svakih 20 m dolazi po jedna tačka (sl. 8). Kod



Slika 8 — Iskolčenje

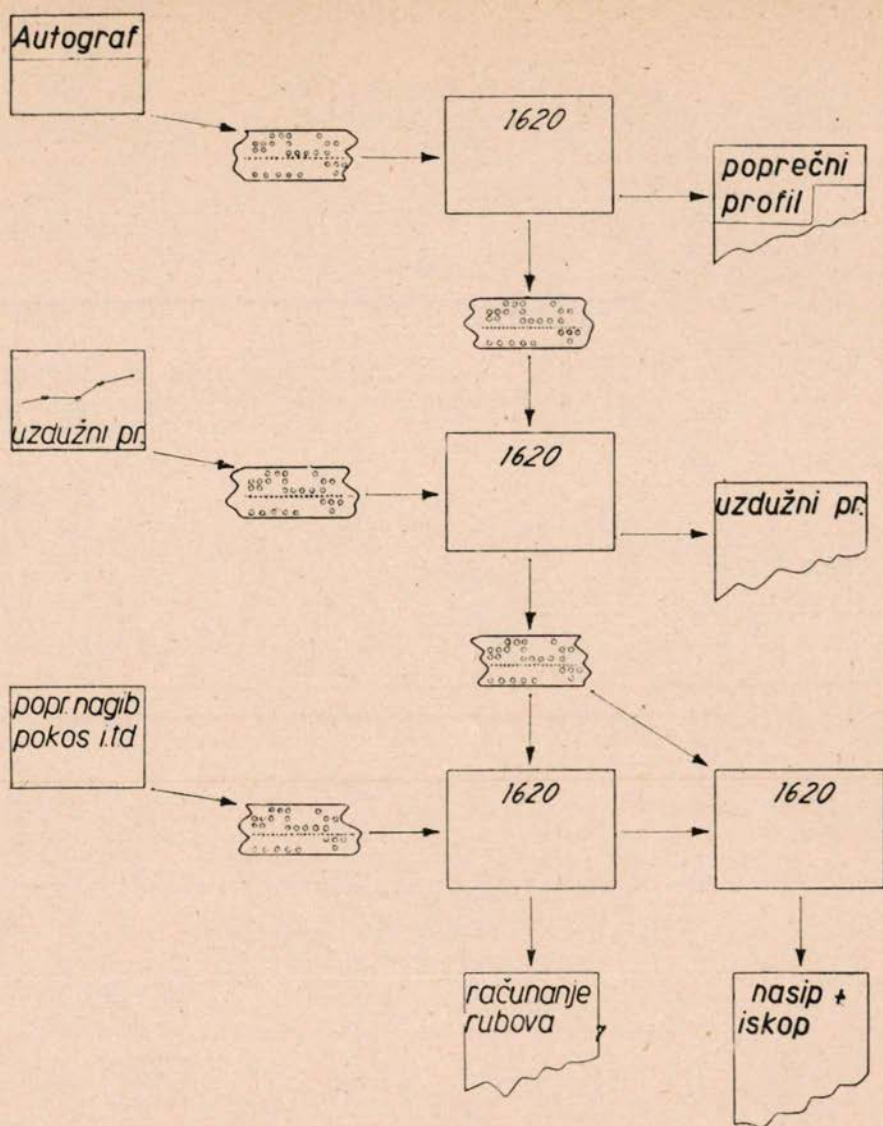
autoputeva sa dvostrukim kolovozom pokazao se praktičan slijedeći postupak: Po završetku grubih zemljanih radova, pošto je os grubo iskolčena, ostaje sredina ceste — zeleni pojas — uglavnom pošteđen od daljnjih građevinskih zahvata. Na tom se dijelu, koji zapravo predstavlja os ceste, sa poligoničnih tačaka iskolči na svakih cca 100 m osi trase po jedna glavna tačka iskolčenja. Te se tačke solidno stabiliziraju i služe kao baza za daljna iskolčenja. One se sada mogu, u neku ruku, smatrati kao operativni poligon, koji je premješten u os trase. Stare poligone tačke neće sada više smetati i biti zapreka upotrebe građevinskih mašina. Za orijentaciju, kod polaznog iskolčenja, služe susjedne poligone tačke, kao i daleke trigonometrijske tačke, koje su sa stajališta vidljive (crkveni tornjevi). Sa glavnih tačaka iskolčenja iskolčuju se ostale tačke osi polarnom ili ortogonalnom metodom. Nastoji se da tačnost iskolčenja bude u granicama $\pm 1.5 - 2$ cm. Ukoliko se ustanove veća neslaganja, a pretpostavlja se da dolaze zbog lošeg mjerenja operativnog poligona, to se isključene glavne tačke iskolčenja (koje leže u osi) izmjere kao poligoni vlak i eventualno korigiraju. Prema izloženom nije dakle potrebno posebno iskolčavati glavne tačke osi



Slika 9a — Šematski prikaz postupka računanja elemenata iskolčenja elektronskom mašinom

(PKK, KKK itd.) jer nisu potrebne. U slučaju ortogonalnog iskolčenja, potrebno je koordinate tačaka na osi transformirati na postojeće linije iskolčenja (sl. 9).

Osim elemenata za iskolčenje horizontalne osi računaju se elementi iskolčenja za nožice nasipa i gornjeg ruba skarpe usjeka ortogonalnom ili najčešće polarnom metodom; ukoliko je to na gradilištu potrebno.



Slika 9b — Šematski prikaz postupka računanja kubature zemljanih masa elektronskom mašinom

Kako je već napomenuto ne može se a niti se ne bi smjelo čitav postupak potpuno automatizirati. Im adijelova trase koje zahtijevaju ručnu obradu, što je i sasvim ispravno. Novom se metodom želi izbjeći mnoga dosadna »ručna računanja«, koja zahtijevaju mnogo vremena, pa su već i zbog toga skupa. Mnoga grafička određivanja također otpadaju. Naro-

čito to dolazi do izražaja kod iskolčenja. Tabele više nisu potrebne, a novim načinom računanja elemenata za iskolčenje imamo na raspolaganju daleko više mogućnosti kontrole, a i na gradilištu se lakše možemo prilagoditi situaciji.

Kao vrlo prikladan tip elektronskog računskog automata pokazao se za ovu svrhu IBM 1620. Za razliku od drugih prilično je jednostavan kako u rukovanju tako i u programiranju a i po cijeni je kako tako pristupačan. Prednost mu je i to što može koristiti perforirane vrpce a i perforirane kartice (ne istovremeno!), jer je praksa pokazala da je u nekom slučaju bolji jedan, a u drugom drugi sistem.

Ova u grubim crtama opisana metoda se primjenjuje u Švicarskoj. — i već se može govoriti o izvjesnim praktičkim iskustvima. Treba naročito podvući da je taj način tretiranja problema projektiranja i gradnje komunikacija u stalnom razvoju. Gotovo svakodnevno se unose dopune i korekture postupaka sa svrhom da se problem riješi što elegantnije, brže i jeftinije.