

## ELEKTRONIČKI ČITAČI KOORDINATA

Mladen BOLT — Zagreb\*

*SUMMARY — The digitizers are instruments of automatization in geodesy and cartography. They are instruments for measurement of plane coordinates, conversion of the measured data into digital form and their recording onto a computer compatible medium. They consist of digitizing surface with tracing and measuring device, processing and control electronics and recording device. There are different possibilities in modes of controlling tracing operation, accuracy, speed of tracing, recording devices etc.*

### UVOD

Elektronička računala već su dobro poznata u obradi podataka. Svoj pravi smisao primjene u geodeziji dobivaju izumom novih instrumenata baziranih na kompjutorskoj tehnologiji. To su u prvom redu elektronički čitači koordinata i elektronički crtači. Upotrebljavaju se najviše u kartografiji i fotogrametriji. Automatizacija kartografije omogućena je izumom upravo tih instrumenata.

Ovdje ćemo se osvrnuti na elektroničke čitače koordinata i to upravo one, koji se upotrebljavaju u kartografiji, tj. koji omogućuju čitanje koordinata u ravnini karte. U Zavodu za fotogrametriju u Zagrebu instaliran je elektronički čitač koordinata Hewlett-Packard 9864 A, jedan od manjih iz već velike porodice čitača koordinata, međutim po svojoj jednostavnosti i upotrebljivosti neobično koristan instrument.

### ELEKTRONIČKI ČITAČI KOORDINATA

Za ove instrumente postoji u našoj stručnoj literaturi još i termin digitalizator prema engleskom originalu digitizer izvedenom od riječi digit (brojka, znamenka). Digitalizirati prema tome znači pretvoriti analogne podatke (u našem slučaju lokaciju ili položaj) u brojčane podatke tj. koordinate. Elektronički čitač koordinata ili digitalizator je instrument za čitanje (mjerenje) položaja, njegovo pretvaranje u digitalni oblik tj. koordinate i njihovo registriranje na nosioce pogodne za kompjutorsku obradu.

\* Adresa autora: Mladen Bolt dipl. inž., Zavod za fotogrametriju, Zagreb, Borongajska 71.

### Glavni djelovi čitača koordinata jesu:

- ploha za digitalizaciju s mjernom markom i sistemom za mjerenje;
- elektronički uređaj za obradu i kontrolu;
- uređaj za registraciju koordinata i komandni pult;

Ploha za digitalizaciju je obično ravna, dok u nekih čitača ima oblik valjka. Radna ploha je obično veličine od  $50 \times 50$  cm do  $120 \times 160$  cm, a ima i većih radnih ploha. Mjerna marka postavlja se na točku, koju želimo izmjeriti ili se vodi duž linije. Sistem za mjerenje omogućuje mjerenje koordinatnih razlika između mjerne marke i unaprijed definiranog ishodišta koordinatnog sistema. Mjerni sistem pretvara ove koordinatne razlike u električne impulse.

Uređaj za obradu i kontrolu prima te impulse i pretvara ih u digitalni oblik.

Vrijednosti koordinata registruju se na medije sposobne za daljnju obradu (magnetne trake, diskovi i dr.). Tastatura komandnog pulta služi operateru za razne intervencije kao unošenje šifri, mijenjanje intervala mjerenja i druge.

Elektroničko računalo može biti direktno priključeno na čitač koordinata. U tom slučaju mnoge funkcije, koje obavljaju uređaji za obradu i kontrolu mogu biti zamijenjene programskim naredbama. To je slučaj i kod čitača HP 9864 A, gdje su te funkcije svedene na jednostavnu spravu (interface) između uređaja za obradu i kontrolu te računala. Za vrijeme digitalizacije mogu biti uključeni i obavljati svoje funkcije i svi ostali priključci računala (elektronički crtač, uređaji za spremanje podataka i drugi). Ova kombinacija naročito je pogodna pri ručnom načinu digitaliziranja, za otkrivanje eventualnih grešaka, te kao kontrola brzine i gustoće čitanja točaka.

*Radne karakteristike* — Postoje dva načina mjerenja — stacionaran tj. točka po točka i dinamički ili kontinuiran.

U prvom slučaju koordinate se mogu očitati tek kad mjerna marka miruje, dok se u drugom načinu položaj mjerne marke automatski registrira u unaprijed određenim intervalima za vrijeme vođenja mjerne marke.

Postoje dva načina kontrole vođenja mjerne marke — ručno i automatski.

Kod ručnog načina operator ručno navodi mjernu marku na točku ili je vodi po liniji. Kod automatskog načina vođenja mjerne marke izvodi se programom s računala ili uređajem na principu fotočelije. Identifikacija grafičke linije dobiva se njenim postojanjem ili nepostojanjem. Nadalje mjerna marka može se voditi — duž stvarne linije, rasterskim prelaženjem (skaniranjem).

Vođenjem duž linije mjerna marka pomiče se duž stvarne linije, koja se digitalizira i u određenim vremenskim ili dužinskim intervalima registriraju se koordinate. U drugom načinu mjerna marka automatski prelazi čitav list, koji se digitalizira duž unaprijed definiranih paralelnih linija. U svakom položaju mjerne marke, registrira se postojanje ili nepostojanje bilo kojeg grafičkog elementa, kojeg se koordinate očitavaju. Mjerna marka je kod ovog tipa zapravo poseban fotoelektrični uređaj.



*Mjerni sistem* — Najčešće se primjenjuje sistem ravnih pravokutnih koordinata  $x$  i  $y$ . Smjer pojedinih osi određen je unaprijed konstruktivno u mjernoj plohi na kojoj se vrši digitalizacija. Koordinatne razlike od ishodišta do traženih točaka mjere se:

— linearnim pretvaračima (konverterima)

— rotirajućim pretvaračima.

Pretvarači nadalje mogu davati apsolutne ili djelomične (inkrementalne) iznose.

Druga vrsta su matični čitači koordinata. Koordinatne osi i udaljenosti definirane su ovdje matričnom pozicijom žica ugrađenih u radnoj plohi i osjetljivim na elektroindukcijskom principu.

U valjkastim čitačima koordinata mjerna marka pomiče se duž osi paralelne osi valjka. Njen položaj mjeri se na jedan od naprijed opisanih načina i predstavlja jednu koordinatnu razliku. Rotacija valjka na kojoj je podloga, koja se digitalizira, mjeri se pomoću rotacionih pretvarača i predstavlja drugu koordinatnu razliku.

*Točnost* — Za svaki mjerni sistem točnost ima važno značenje. Kod elektroničkih čitača koordinata možemo govoriti o više vrsta točnosti, iako je najvažnija ukupna točnost.

*Korak ili rastvor* (engl. resolution) je najmanja udaljenost, koja se može mjeriti duž koordinatnih osi. Ona zavisi od sposobnosti pretvarača. Mjernu plohu čitača koordinata možemo zamisliti prekrivenu mrežom kvadrata. Stranica tog kvadrata je mjera rastvora ili koraka. Pološaj na radnoj plohi mjeri se od presjeka do presjeka, a ne unutar tog prostora. Korak mora dakle biti manji od ukupno tražene točnosti. Većina čitača koordinata ima korak od 0.1 mm do 0.01 mm.

*Točnost ponavljanja* je odstupanje unutar kojeg se dobivaju koordinate od više ponavljanja jedne te iste točke.

*Statička točnost* je točnost koja se dobije pri mjerenju pojedinačnih točaka tj. kod mirovanja mjerne marke, a daje se razlikom izmjerenih i datih koordinata točaka koje se digitaliziraju. Može se vrlo lako provjeriti mjerenjem mreže kvadrata. Ovu točnost proizvođač obično i navodi, a kreće se od 0.2 do 0.1 mm, a često i manje.

Pri svim gore navedenim ispitivanjima točnosti treba utjecaj operatora svesti na najmanju moguću mjeru. Ukupnu radnu točnost svakako dobijemo testiranjem gornjih točnosti u normalnim radnim uvjetima.

*Brzina rada* — Jedno od vrlo važnih osobina čitača koordinata je brzina digitaliziranja. Brzina rasterskih čitača, koji prelaze cijeli list karte zavisi od površine lista i kreće se za list veličine  $1 \times 1$  m oko 5 minuta. Gustoća linija nema utjecaja na brzinu.

Brzina prilikom vođenja mjerne marke po liniji zavisi od brzine kojom operater vodi tu marku i iznosi u srednjem oko 2—3 mm/sek.

Automatsko vođenje duž linije tek je neznatno brže od ručnog vođenja.

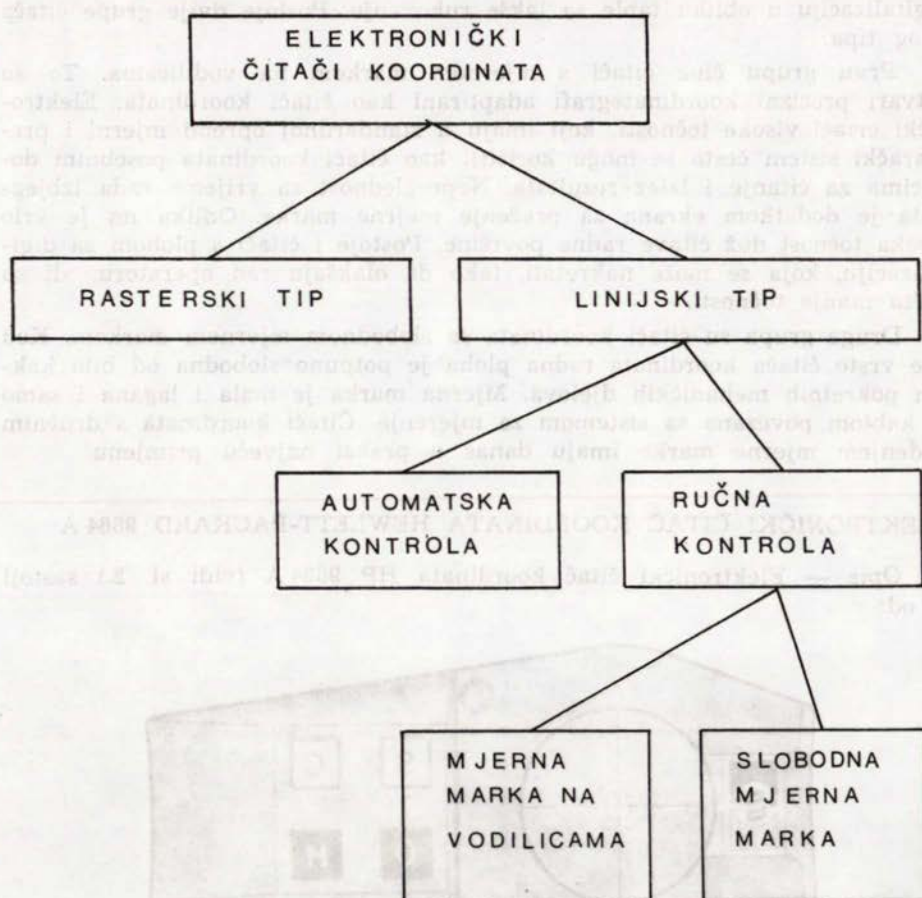
*Uređaji i mediji za spremanje podataka* — Izbor uređaja i medija za spremanje digitaliziranih podataka zavisi od više faktora:

— brzine čitanja) kapaciteta medija za spremanje; kompatibilnosti s računalom, cijene i pouzdanosti.

Od poznatih uređaja i medija za prenos podataka, bušene kartice su najmanje pogodne. Bušena papirna traka se upotrebljava u specijalnim slučajevima, gdje brzina digitaliziranja nije velika (ručno vođenje, čitanje pojedinačnih točaka kod karata krupnog mjerila). Najpogodniji mediji za spremanje digitaliziranih podataka su magnetna traka, kasetna traka i magnetni disk.

## KLASIFIKACIJA ELEKTRONIČKIH ČITAČA KOORDINATA

Postoji više načina za klasifikaciju čitača koordinata. Kao kriterij može se uzeti točnost, radna površina ili neka druga osobina. Jedan od najpogodnijih kriterija, koji je manje ili više već prihvaćen u praksi je način na koji se vodi mjerna marka. Ta klasifikacija prikazana je na slici 1.



*Rasterski tip:* Čitači koordinata ovog tipa konstruirani su pomoću valjka na koji se stavlja karta za digitalizaciju, a mjerna marka je poseban



fotoelektrični uređaj. Kreće se automatski u linijama paralelnim osi valjka. Upotreba čitača ovog tipa još je danas ograničena, u prvom redu zbog njihove cijene i potrebe za spremanjem mnogo većeg broja podataka nego kod ostalih. Obrada na računalu je isto kompliciranija. Glavne prednosti su visoka točnost i velika brzina.

*Linijski tip — automatska kontrola:* Mjerna glava ovog tipa s mjernom markom pokreće se u koordinatnom sistemu duž stvarne linije. Ona može raspoznati postojanje neke linije i zatim je slijediti. Izlazni podaci su niz koordinata točaka na toj liniji. I ovdje je potrebno prisustvo operatora, jer se može dogoditi, da mjerna marka krene pogrešnim pravcem. Ovaj tip čitača koordinata također se još malo upotrebljava.

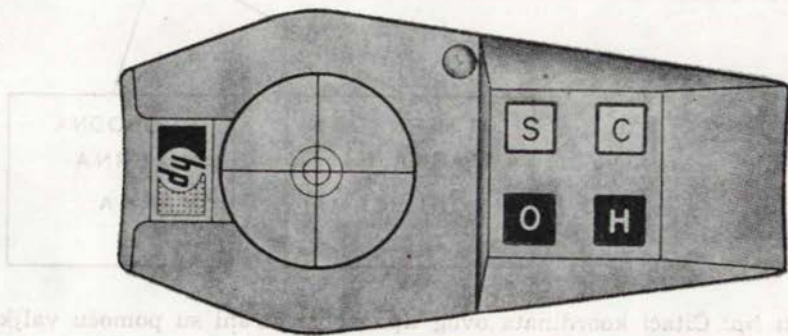
*Linijski tip — ručna kontrola:* Kod ovog tipa čitača koordinata mjerna marka vodi se rukom duž linije, koja se digitalizira. On ima plohu za digitalizaciju u obliku table za lakše rukovanje. Postoje dvije grupe čitača ovog tipa:

Prvu grupu čine čitači s mjernom markom na vodilicama. To su ustvari precizni koordinatografi adaptirani kao čitači koordinata. Elektro-nički crtači visoke točnosti, koji imaju u standardnoj opremi mjerni i pretvarački sistem često se mogu koristiti kao čitači koordinata posebnim dodacima za čitanje i izlaz rezultata. Nepreglednost za vrijeme rada izbjegnuta je dodatkom ekrana za praćenje mejrne marke. Odlika im je vrlo visoka točnost duž čitave radne površine. Postoje i čitači s plohom za digitalizaciju, koja se može nakretati, tako da olakšaju rad operatoru, ali su nešto manje točnosti.

Druga grupa su čitači koordinata sa slobodnom mjernom markom. Kod ove vrste čitača koordinata radna ploha je potpuno slobodna od bilo kakvih pokretnih mehaničkih djelova. Mjerna marka je mala i lagana i samo je kablom povezana sa sistemom za mjerenje. Čitači koordinata s dručnim vođenjem mjerne marke imaju danas u praksi najveću primjenu.

## ELEKTRONIČKI ČITAČ KOORDINATA HEWLETT-PACKARD 9864 A

*Opis* — Elektronički čitač koordinata HP 9864 A (vidi sl. 2.) sastoji se od:



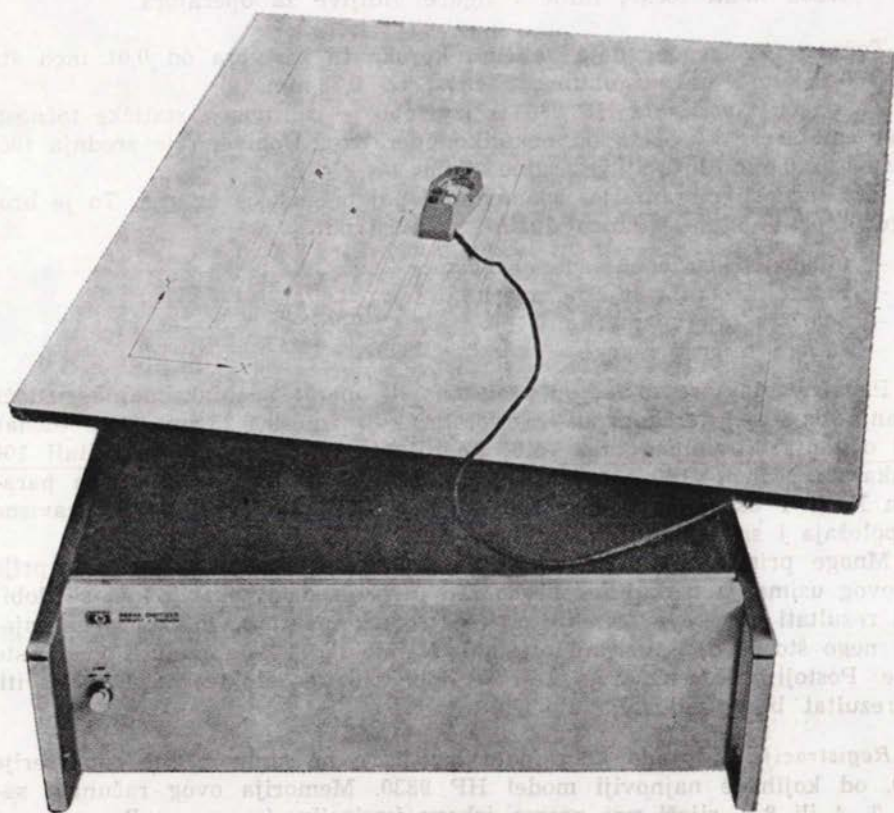
Sl. 2

- plohe za digitalizaciju sa slobodnom mjernom markom
- elektroničkog uređaja za obradu i kontrolu.

Radi isključivo povezan sa stolnim računalom HP serije 9800. Najnoviji model ove serije je računalo 9830. Na računalu se registriju koordinate, a tastatura računala služi kao komandni pult za čitač koordinata.

Ploha za digitalizaciju je ravna u obliku table, dimenzija  $0,50 \times 0,50$  m, a postoje i veće izvedbe radnih ploha. Radna površina iznosi  $0,43 \times 0,43$  m i markirana je na tabli. Položaj table može se mijenjati i postaviti u najpovoljniji položaj za operatora. Karta, plan ili drugi dokument, koji se digitalizira učvršćuje se na mjernu plohu. Ukoliko su dimenzije plana ili karte veće od radne plohe, digitalizacija se vrši u dijelovima. Mjerna marka (engl. cursor) je slobodna, male težine i neobično pokretna. Vezana je uz čitač jedino kablom.

Mjerna marka (vidi sl. 3.) ima oblik nitnog križa. Na mjernoj marki nalaze se 4 prekidača i kontrolno svjetlo. Prekidači na mjernoj marki služe:



Sl. 3

- |                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| O — (origin)    | za uspostavljanje lokalnog ishodišta |
| S — (single)    | za očitavanje pojedinačnih točaka    |
| C — (continous) | za kontinuirano očitavanje točaka    |
| H — (hold)      | za prenos ishodišta                  |



Aktiviranjem bilo kojeg od spomenutih prekidača registrira se momentani položaj mjerne marke. Mjerna marka je elektromagnetski odašiljač, a ploha za digitalizaciju služi kao prijemnik.

Uređaj za obradu i kontrolu pretvara dobivene informacije u digitalni oblik tj. koordinate. Sva daljnja obrada kao i spremanje koordinata vrši se isključivo na računalu.

Čitač koordinata HP 9864 A spada dakle u grupu čitača koji slijede faktučnu liniju, koji se kontroliraju ručno i imaju slobodnu mjernu marku. Omo- gućeno je očitavanje pojedinačnih točaka kao i kontinuiranih linija. Budući da čitač radi na elektromagnetskom principu neprozirnost karte, boja i sas- tav materijala nemaju utjecaja na očitavanje. Jedina ograničenja su da karta, plan ili drugi dokument:

- ne smije biti deblji od 0,7 mm,
- treba biti ravan,
- ne smije biti magnetiziran,
- treba imati točke, linije i figure vidljive za operatora.

*Točnost:* Proizvođač daje veličinu koraka ili rastvora od 0,01 inch što iznosi 0,25 mm i navodi ukupnu točnost od 0,38 mm.

Na čitaču koordinata HP 9864 A izvršeno je ispitivanje statičke točnosti očitanjem mreže kvadrata od nekoliko operatera. Dobivena je srednja toč- nost od 0,10 mm duž čitave radne plohe.

Kod točnosti moramo još spomenuti i pojam gustoće čitanja. To je broj mogućih očitavanja na jedinicu dužine a zavisi od:

- unaprijed tražene (zadane) gustoće
- brzine kretanja mjerne marke
- položaja mjerne marke
- smjera mjerne marke

Prva dva faktora zavise od programa ili operatera. Maksimalna gustoća očitavanja dana je korakom ili rastvorom, koji iznosi 0,25 mm (0,01 inča). Kod očitavanja paralelnog bilo kojoj koordinatnoj osi moguće je očitati 100 točaka na 1 inch (100 točaka na 25 mm). Ako smjer očitavanja nije paralelan X ili Y osi moguće je očitati od 60 do 140 točaka na 1 inch zavisno od položaja i smjera kretanja mjerne marke.

Mnoge primjene zahtjevaju da se dobivene koordinate poprave prije njihovog uzimanja u daljnje obrade. To je prije svega slučaj, kad se dobi- veni rezultati koriste za crtanje na elektroničkom crtaču u krupnijem mje- rilu, nego što je digitalizirani original. Naime tad se dobivaju stepeničaste linije. Postoji više načina na koji se dobivene koordinate mogu popraviti, da rezultat bude zadovoljavajući.

*Registracija i obrada koordinata* izvodi se na stolnom računalu serije 9800, od kojih je najnoviji model HP 9830. Memorija ovog računala sa- drži 2, 4 ili 8 K riječi već prema izboru korisnika (za usporedbu poznato računalo IBM 1130 ima maksimalno 32 K riječi). Tastatura računala sa- drži uobičajenu tastaturu pisačeg stoja za alfanumerički ulaz podataka i programskih naredbi, te tastaturu za decimalne znamenke za ulaz nume- ričkih podataka. Postoji i tastatura sa specijalnim funkcijama za konstante, tekst, razne funkcije pa i cijele programe.

Računalo ima ekran za ispis rezultata, kontrolu i korekturu te ispis raznih tekstova. Time je ovo računalo svrstano u red konverzionih računala, jer je omogućen dijalog s računalom. Računalo posjeduje eksternu memoriju na magnetnoj kaseti veličine 40 K riječi. Na njoj se mogu spremati podaci i programi. Omogućen je priključak više perifernih jedinica kao čitača i bušača papirne trake i kartica, brzog termalnog printera, električnih crtača raznih firmi i već spomenutog čitača koordinata. Nadalje ovo računalo može raditi kao terminal većeg računala.

Dobiveni podaci (koordinate) sa čitača koordinata mogu se obrađivati direktno na računalu ili spremati na bušenu papirnu traku, kartice ili magnetnu kasetu.

*Namjena čitača koordinata HP 9864 A* je velika. Pored upotrebe u geodeziji i kartografiji, može se upotrebljavati kod analize različitih krivulja i figura u matematici, biologiji, statistici, medicini i drugdje.

*Primjena čitača koordinata HP 9864 A u geodeziji i kartografiji.* Upotreba čitača koordinata HP 9864 A u kartografiji je ograničena zbog nešto manje točnosti. Pritom je nužno imati u konfiguraciji i električni crtač. Moguće ga je upotrebiti pri izradi raznih tematskih karata za prostorno određivanje elemenata raznih režima za izradu raznih preglednih karata i svagdje gdje je originalna karta krupnijeg mjerila od konačno tražene karte. Nadalje se upotrebljava za izradu spiska koordinata za razne svrhe kao račun udaljenosti, iskolčenja, račun površina i kubatura.

Kako je prvenstvena namjena čitača koordinata HP 9864 A, koji je instaliran u Zavodu za fotogrametriju bila obračun površina, to ćemo se detaljnije osvrnuti na tu mogućnost primjene.

Obračun površina izvodi se za katastarsko topografski premjer na klasičan način polarnim i nitnim planimetrima. Ukoliko su poznate koordinate lomnih točaka računanje se može izvoditi numerički po poznatim formulama za površinu zatvorenog lika.

Prilikom fotogrametrijske izrade katastarsko topografskih planova, koordinate detaljnih točaka mogu se registrirati na medije sposobne za dalju obradu na računalu. Dobivene koordinate i izračunate površine koriste se dalje u izradi operata, a memorirane mogu služiti za niz daljih potreba, za izradu raznih datoteka u prostornom informacionom sistemu. Ovaj način računanja površina je sveobuhvatan i točan po dobivenim rezultatima, ali iziskuje niz međuoperacija kao:

- numeraciju detaljnih točaka kod kartiranja,
- bušenje koordinata detaljnih točaka i njihova transformacija na računalu,
- pisanje i bušenje plana računanja,
- račun površina na računalu,
- pregled i kontrola rezultata.

Neosporno je da će ovakav način uz poboljšanje i smanjenje nekih operacija biti sve više tražen i da se na njegovom usavršavanju radi. Međutim kad se traži vremenski kraća izrada operata za veće površine, onda račun površina na čitaču koordinata HP 9864 A traje vremenski neusporedivo kraće.



Postupak računanja započinje tek kad je katastarski plan definitivno dovršen. Mjerna marka postavlja se na lomne točke svakog lika, kojemu želimo računati površinu. Dolaskom na početnu točku automatski dobijemo površinu tog lika. Budući da je čitač koordinata povezan sa stolnim računalom ovdje imamo niz pogodnosti koje ubrzavaju i olakšavaju rad i daju kvalitetne rezultate i funkcionalan izgled izlazne liste.

Očitane koordinate detaljnih točaka služe samo za račun koordinatnih razlika, a plan računanja izvodi operator obilaskom lomnih točaka. Tada je potrebno na neke točke dolaziti dva ili više puta u zavisnosti koliko likova omeđuju. Pritom kao i kod klasičnog računanja dolazi do neiz-

K.O. BARBAN

STR. 5

RACUNANJE POVRŠINA GRUPA

\*\*\*\*\*

BROJ LISTA: 5

BR GRUPE	MJERENA POVRŠINA M2	SREDINA M2	POPR M2	IZJEDNACENA POVRŠINA M2
12	80873 80842	80858	-26	80832
13	119179 119245	119212	-38	119174
DIO 14	83400 83314	83357	-27	83330
DIO 15	76702 76725	76714	-25	76689
	IMA TREBA	360141 360025	-116	360025
	ODST		-116 ( 588)	

U ZAGREBU, 15.V.1975. GOD.

RACUNAO:

bježnih pogrešaka mjerenja odnosno potrebno je izvršiti izjednačenje na unaprijed zadanu površinu cijelog lista, ivičnih kvadrata ili grupa.

Računanje se izvodi slijedom kao kod klasičnog računanja: ivični kvadrati (površina sa i bez), grupe, parcele.

Budući da je računalo konverzaciono, na ekranu se pojavljuju ispisane razne upute, koje olakšavaju rad operatoru. Tako računalo vodi operatora, što treba kojeg momenta učiniti. Od njega se traži, da sa tastature utipkava razne indikatore kao broj lista, grupe ili parcele i da obilazi navedene likove mjernom markom. Ukoliko je rezultat unutar dozvoljenog odstupanja na printeru računala pojavljuje se pregledna izlazna lista sa svim podacima (vidi sl. 4.).

## ZAKLJUČAK

Mogućnosti nabave čitača koordinata za kartografske potrebe još su u nas ograničene u prvom redu zbog svoje cijene (oko 100 000 dolara), načina i organizacije rada i niza drugih uvjeta. Tu je slična situacija kao i za nabavu elektroničkih računala većih kapaciteta, pri današnjoj organizaciji geodetske struke, kad postoji niz geodetskih organizacija sa međusobno nezadovoljavajućom suradnjom. U tom momentu opravdana je nabava pristupačnijih instrumenata. Tako čitač koordinata HP 9864 A iako nešto manje točnosti opravdava svoju nabavku u prvom redu zbog pristupačne cijene (oko 6000 dolara) i mogućnosti primjene.

S druge strane suvremena stolna elektronička računala svojom veličinom memorije i različitoušću konfiguracije pomalo se približuju većim računalima. Ovaj pravac razvoja je sve veći. Fizička veličina računala se smanjuje uz smanjenje cijene i zadržavanjem ili čak povećavanjem svojih osobina.

## LITERATURA

1. Christ: Nachrichten aus dem Karten und Vermessungswesen, Heft № 41., IfAG Frankfurt a. M. 1969.
2. Frančula: Automatizacija u kartografiji, skripta Geodetskog fakulteta, Zagreb (rukopis).
3. HP 9830 A Calculator Operating and Programing i HP 9864 A Digitizer Periferal Manual, priručnici firme Packard.
4. Štesanović: Automated Cartography, ITC Enschede, 1973.
5. The Cartographic Journal, 12/1966, London.