

Suvremene mogućnosti fotogrametrije

Na svojim putovanjima po Jugoslaviji i kroz interesantne diskusije s vodećim stručnjacima ove zemlje imao sam prilike upoznati probleme jugoslavenske fotogrametrijske djelatnosti. Sada kada trebam obraditi temu: »Suvremene mogućnosti fotogrametrije«, mogu to učiniti imajući u vidu jugoslavenske probleme, i da ih pri tom usporedim s prilikama u drugim evropskim i vanevropskim zemljama, koje se intenzivno bave fotogrametrijom.

Želim pri tom poći s postojećeg stanja fotogrametrijskog instrumentarija u Jugoslaviji, to jest prodiskutirati o onim instrumentima, koji su bili izrađivani do po prilici pet godina nakon rata, i usporediti to stanje s onim mogućnostima, koje će Jugoslavija imati u skoroj budućnosti. Momenti koji nas uvijek interesiraju kod primjene jedne metode jesu: ekonomičnost, brzina rada, usporedba cijena, raspodjela cijena, radne mogućnosti.

Kod fotogrametrije interesira nas u prvom redu uvijek ekonomičnost u usporedbi s t. zv. klasičnim geodetskim metodama.

Najprije se moramo zapitati o kojim pojedinim glavnim procesima fotogrametrijske djelatnosti ovisi ekonomičnost.

To je 1) planiranje i izvedba lijeta prema zadatku i zemljištu, 2) određivanje potrebnih orijentacionih ili oslonih točaka na terenu i 3) izmjera snimaka u fotogrametrijskom stereoinstrumentu ili restitucija. Zadnji posao dijeli se opet u predradnje, a to je manje ili više neproduktivno uklapanje snimaka na osnovu relativne i apsolutne orijentacije u stereoinstrumentu, zatim faktični produktivni posao, koji se sastoji u crtanju slojnice i situacije, kao i u nekim slučajevima u očitavanju koordinata. Terenski posao, restitucija i konačno kartografsko izvlačenje ovise mnogo o identifikaciji terenskih pojedinosti i interpretaciji sadržaja fotografskih snimaka.

U fotogrametriji može se razmjerno lako naći dobra i jednostavna mjera za ekonomičnost. To je relacija između mjerila ili razmjere kartiranja i snimanja.

Ako trebamo neku površinu obuhvatiti snimcima u svrhu stereoskopske restitucije, koja predstavlja najvažniju fotogrametrijsku metodu, tada odabiremo 60—70% uzdužnog preklapanja susjednih snimaka, i već prema upotrebljenoj kameri i snimanom području 20—30% poprečnog preklapanja nizova. Iz takove dispozicije proizlaze stereomodeli koji, grubo računajući, iznose cca trećinu površine, koja se obuhvaća jednim snimkom. Za svaki model, koji podvrgavamo izmjeri, trebamo okruglo četiri orijentacione ili oslone točke, da bi sadržaj snimka mogli kontrolirano interpolirati između tih točaka. Te se točke moraju na bilo koji način prethodno položajno i visinski odrediti. U prvom redu treba riješiti na koji način, da se te točke identificiraju na terenu i geodetski izmjere. Svaki pojedini model uklapa se kasnije u stereoinstrumentu u te četiri orijentacione točke, te se već prema postavljenom zadatku vrši kartiranje.

* Predavanje održano 8. XII. 1953. na I. Kongresu geod. i inž. i geom. FNRJ u Zagrebu.

Ako trebamo snimiti neku površinu, koju označimo sa F , bit će nam potrebno n -modela. U svakom modelu potrebne su četiri orijentacione točke, od kojih međutim uvijek dvije možemo preuzeti iz prethodnog modela. U mnogim slučajevima uspijeva nam da preuzmemo orijentacione točke iz susjednih nizova, te tada dostaje samo jedna nova orijentaciona točka. Kako međutim nizovi najčešće nisu tako pravilno porazdjeljeni da sve orijentacione točke susjednog niza mogu poslužiti i kao orijentacione točke novog niza, računamo time, da je za svaki model potrebno dvije nove orijentacione točke. Računamo dakle grubo n do $2n$ orijentacionih točaka. Uzmimo, da treba snimiti područje iz dvije različite visine. Nazovimo ih na primjer H_1 i H_2 . Jasno je, da obuhvaćena površina raste s kvadratom visine. Prema tome možemo zaključiti, da će broj potrebnih modela, a time i potrebnih geodetskih mjerenja opadati s kvadratom odabrane visine lijeta. Vidimo dakle iz tog posve jednostavnog razmatranja, da će za svaki zadatak biti najekonomičnije da se visina lijeta odabere što je moguće veća. Imamo prema tome mogućnosti, da forsiramo ekonomičnost do stanovitog stupnja. Sada se međutim postavlja pitanje, koliko možemo uopće povećavati visinu lijeta, i čime je dana granica. U tom pogledu je za visinu lijeta mjerodavno s jedne strane raspoznavanje pojedinosti na snimku, koje su potrebne za određeno mjerilo kartiranja, zatim točnost s kojom možemo namjestiti pojedine točke u stereoinstrumentu. Zahtjevi koji se postavljaju na fotogrametrijski instrumentarij, a koji iz tog proizlaze, su vrlo jednostavni. Što je bolji slikovni kvalitet snimka, to više smijemo letjeti a da ipak raspoznamo određene potrebne pojedinosti. Što je točka oštrije definirana, i što je vjernost preslikavanja objektiva veća, to su sigurnije točke fotografski definirane. Ekonomičnost bit će to veća, što je bolji objektiv za snimanje. Moć razlučivanja objektiva za slabe kontraste predmeta je pri tom izvanredno važna, jer mi u aerofotogrametriji za razliku od ostale fotogrametrije imamo posla samo sa prividno vrlo slabim svjetlosnim kontrastima zemljišta. Objektiv mora imati i odgovarajuću svjetlosnu jakost, njegova distorzija odnosno deformacija mora biti što manja, te je najbolje primjenjivati objektivne, koji preslikavaju nedeformirano. Veliku važnost treba polagati i na justiranje objektiva u kameri kao i na stabilnost te justifikacije. Istovremeno mora fotografska emulzija reagirati na vrlo slabe svjetlosne kontraste i iste naglasiti. Osim toga mora nosilac fotosloja biti vrlo stabilan. Već prema zadatku stoje nam na raspolaganju staklene ploče i filmovi.

Nadalje mora međutim i fotogrametrijski stereoinstrument biti snabdjeven odličnom opservacionom optikom, da bi sve što fotografija pruža moglo u cijelosti biti iskorišteno. I ta optika mora dakle posjedovati visoku moć razlučivanja za slabe kontraste. Zatim mora stereoinstrument biti što jednostavnije građen i mora omogućiti visoku mehaničku točnost za prevođenje centralne perspektive fotografskog snimka u ortogonalnu projekciju karte sa što manje pogrešaka. Instrument treba međutim biti i tako univerzalan, da se na njemu mogu izmjeriti sve vrste snimaka sa različitim kamerama, objektivima, žarišnim daljinama i slikovnim formatima. Time su dane principijelne smjernice za konstrukciju fotogrametrijskog stereoinstrumenta.

Prije nego zađemo u pojedinosti, na koji način je gradnjom instrumenata podignuta ekonomičnost da odgovara današnjim zahtjevima, i na koji način treba napredak ekonomičnosti uslijediti u jugoslavenskoj fotogrametrijskoj

praksi, moramo ustanoviti objektivni kriterij prema kojem ćemo o uspjehu i napretku moći ne samo diskutirati već ga i kvantitativno izraziti. Mi polazimo pri tom od relacije razmjere snimka i karte, kao što se to u čitavom svijetu prakticira i kako je to već u literaturi ustaljeno. Ako ustanovimo kako u pojedinim zemljama za određeno mjerilo kartiranja biva odabirano mjerilo snimanja, to u toj statistici zapažamo jednu zakonitost, na koju je već profesor Gruber pred više od petnaest godina ukazao. Broj razmjere snimanja jednak je drugom korjenu broja razmjere kartiranja pomnoženog sa nekom određenom konstantom. Izraženo u formuli imamo $m_s = C\sqrt{m_k}$. Svi odnosi dosada objelodanjeni u literaturi navode veličinu C između 100 i 130. To znači da bi za brojeve mjerila kartiranja trebali odabrati brojeve mjerila snimanja navedene u 2. odnosno 3. stupcu sljedeće tabele:

m_k	$c = 100$	$c = 130$	$c = 200$	$c = 250$	$c = 300$	$c = 350$
500	2230	2900	4500	5600	7000	8000
1000	3170	4100	6500	8000	9500	11000
2500	5000	6500	10000	12500	15000	17500
5000	7000	9200	14000	18000	21000	25000
10000	10000	13000	20000	25000	30000	35000
25000	15800	20600	32000	40000	47000	55000

Pri tom je pretpostavljeno da se pojedinosti koje su potrebne za odgovarajuću kartu mogu identificirati, i s druge strane da se može postići točnost restitucije, koja odgovara grafičkoj točnosti od $\pm 0,1$ milimetra. Ja ću se još vratiti na tu tabelu, kada ću na koncu govoriti o rezultatima, koji se postizavaju novim fotogrametrijskim instrumentima.

Ponajprije htio bih kratko prikazati o čemu ovisi mjerilo snimanja. Ono je funkcija žarišne daljine aerokamere i korištene visine lijeta. Mjerilo snimanja jednako je: $M_s = 1 : m_s = f : h$. Možemo dakle birati dva elementa, da dobijemo određenu veličinu za mjerilo snimanja. Mi možemo smanjiti mjerilo snimanja leteći s više visine ili prmjenujući umjesto normalne kamere takozvane širokokutne kamere sa kraćom žarišnom daljinom. Prvospomenute kamere imaju slikovni kut od 60° , a druge od 90° . Pod slikovnim kutem razumijevamo kut što ga zatvaraju dvije zrake, koje pripadaju sredinama rubova dviju nasuprotnih stranica. Ako nadovežemo na odnose u Jugoslaviji, to moram ustanoviti, da je ovdje do sada u prvom redu bio korišten normalni objektiv sa slikovnim kutem od 60° jer kvalitet starih širokokutnih objektivna nije zadovoljavao za ovdašnje fotogrametrijske zahtjeve. Tu je kvalitet slike određivao granicu mjerila snimanja. Ako međutim ispitamo staereoinstrumente koji stoje u Jugoslaviji na raspolaganju, moći ćemo ustanoviti, da bi oni i u optičkom pogledu i u pogledu točnosti mogli više pružiti nego što je dosada pružao kvalitet slike.

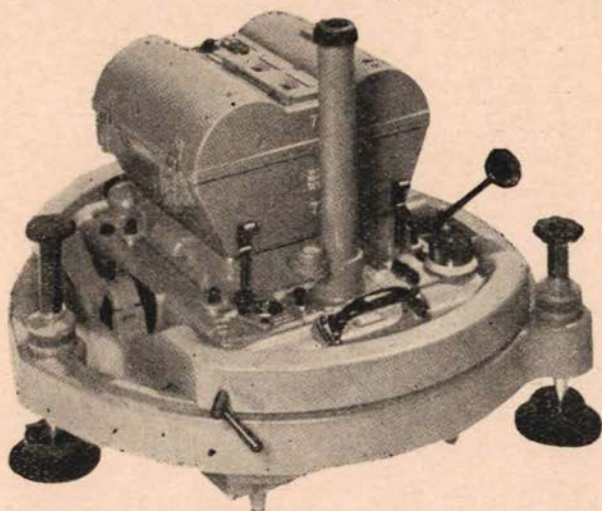
Osim toga naišao sam u Jugoslaviji na poteškoće s kojima se dosada moralo boriti, a to je kod krupnih razmjera nepravilni usuh filma.

Ista situacija i poteškoća na koje se ovdje stalno nailazi potakla je prije nekoliko godina firmu Wild, da točno analizira fotogrametrijsku ekonomičnost.

Ona je najprije preduzela da poboljša objektiv, te joj je uspjelo stvoriti dva nova tipa objektiva, koja potpuno odgovaraju zahtjevima prakse. Jedan je normalni objektiv imenom Aviotar, a drugi širokokutni imenom Aviogon. Svojstva obih objektiva su izvanredna slikovna kvaliteta čak i za slabe kontraste, te naročito kod širokokutnog objektiva Aviogona takova dobra svjetlosna izjednačenost od sredine do uglova, kakova se dosada dapače smatrala teoretski nemogućom. Pri tom su oba objektiva svjetlosno toliko jaka, koliko to praksa zahtijeva, te su opterećeni preostalim deformacijama manjim od jedne stotine milimetra. Da dobijemo sliku o tome što predstavlja taj red veličine, predložimo za usporedbu kod instrumentalnih podataka, koje sada i u buduće navodim, da čovječja vlas ima debljinu od cca sedam stotinka milimetra.

Ne bi imalo smisla da govorim o mnogim pojedinostima o slikovnim pogreškama objektiva. Treba pogledati negative, diapozitive i papirnate kopije, dobivene novom optikom, pa će se odmah uočiti sva razlika u slikovnoj kvaliteti prema onome što se postizavalo dosada u Jugoslaviji sa starijom optikom.

Fotogrametri Jugoslavije moći će također u budućnosti operirati s tim slikovnim kvalitetom, jer će civilne i vojne ustanove uskoro primiti naše nove kamere, koje su snabdjevene sa tim visokovrijednim objektivima.



Sl. 1. Aerooprema RC 5a Wild

Ja bih sasvim kratko spomenuo, da firma Wild gradi objektivne i za infracrvenu fotografiju, koji se zovu Infratar i Infragon. Ti su objektivni također praktički oslobođeni deformacije, i mogu biti korišteni u Wildovim aerokamerama sa crvenim filterima. Ovo pitanje interesira možda šumare u Jugoslaviji, jer se naročito u šumarstvu upotrebljava infracrvena fotografija za različite zadatke.

Na sl. 1 prikazana je aerooprema RC 5 a Wild, u koju se ugrađuju objektivni Aviotar i Aviogon. To je univerzalna oprema, kod koje možemo izmjenjivati kamere s različitim objektivima. Firma je proizvodi za evropske potrebe

za film širine 19 cm, za Ameriku širine filma 23 cm. Ova će se kamera moći povoljno upotrijebiti u Jugoslaviji u prvom redu za snimanje u sitnijim mjerilima i za tehničke potrebe.

U Geodetskom listu br. 5—8/1953, str. 184 i 185 prikazana je oprema, koja radi s pločama 14×14 centimetra; ona posjeduje također izmjenljive kamere sa različitim objektivima, te je namjenjena visoko preciznom snimanju. Ova kamera pruža prednost, da su pogreške usuha filma, s kojima na primjer Geodetska Uprava u Beogradu ima mnogo poteškoća, potpuno osujećene. Povrh toga pruža mogućnost da se geodetski radovi mnogo reduciraju, jer se zahvaljujući preciznoj i nepromjenljivoj registraciji snimljene situacije na staklenoj ploči mogu s dobrim uspjehom primjeniti metode aerotriangulacije čak i kod krupnih mjerila. S tom kamerom mogu se geodetski radovi na terenu reducirati sigurno na manje od polovicu. Ako se ima u vidu da troškovi terenskih radova iznose do 30 i 40% od sveukupnih fotogrametrijskih radova, doći ćemo do spoznaje kolika je prednost primjene aerotriangulacije čak i kod krupnih mjerila. Nadalje mi se sa aerotriangulacijom mnogo oslobađamo od nevremena, te uštedujemo mnogo napora.

Ako se postavi pitanje zašto ova optika nije već prije bila uvedena, i zašto nije postala opće dobro fotogrametrijskih firmi na čitavome svijetu, htio bih samo na to upozoriti, da objektiv koji omogućuju ovakove rezultate počivaju na posve novim optičkim istraživanjima, i da objektiv kao Aviogon predstavlja sistem od 60 nepoznanica, te je potrebno k tome ispuniti uvjete, za koje se u stručnoj literaturi još danas govori da ih je nemoguće istovremeno ispuniti. Naročito je kod Aviogona jasno, da je ono što je dosada izgledalo nemoguće ipak postalo moguće.

Bitna je samo jedna principijelna činjenica, koja će se kod snimanja u Jugoslaviji uskoro spoznati, ali s kojom treba unapred računati: gotovo svagdje tamo gdje su se dosada primjenjivali normalni objektiv, može se danas prema iskustvima u ostalim zemljama snimati sa Aviogonom, dakle sa širokokutnim objektivom. Od krupnog mjerila 1 : 1000 sve do topografskog mjerila 1 : 25 000, dakle od mjerila snimanja 1 : 6000 do 1 : 50 000 pokazat će se Aviogon u većini slučajeva ekonomičniji od normalnih objektiv. Ja sam mišljenja, da će u buduće normalni objektiv ostati ograničeni za snimanje visokogorja i gradova.

Novi objektiv i njihovi rezultati imali su međutim svoj utjecaj na građu instrumenata.

Veći slikovni format, koji se zbog interpretacionih razloga naročito pretpostavlja u anglosaksonskim zemljama, kao i povećanje točnosti za aerotriangulaciju potakli su firmu Wild da Autograph A5 konstruira u novom obliku, a to je Autograph A7. Taj je instrument prikazan u Geodetskom listu br. 5—8 1953, str. 200, 201 i 203. Jedan od ovih instrumenata bit će za kratko vrijeme dostavljen ovdje Tehničkom Fakultetu u Zagrebu, gdje će se moći detaljno upoznati njegove pojedinosti. Ja bih samo spomenuo, da točnost ovog stereoinstrumenta proćirana na ravninu snimka daje srednju pogrešku koordinata od 6 mikrona; ako instrument ispitujemo sa rešetkastim pločama (Gitterplatten). Relativna visinska točnost leži pri tom kod visine lijeta od 1000 m ispod 10 cm, tako da kod te visine možemo za signalizirane točke računati sa visinskom točnošću od cca ± 10 cm. U budućnosti bit će taj instrument snabdjeven sa

električnim uređajem za registraciju koordinata, tako da će modelne koordinate moći biti sa sigurnošću registrirane na 0,01 mm. Registracija se vrši na jednoj papirnatoy vrpci kao i kod registrirajućih računskih adicijonih strojeva. Naročito u vezi sa snimcima na pločama bit će sa stereoinstrumentom A7 postignuta maksimalna točnost, koja je danas u svijetu uopće moguća. Katastarski radovi u Austriji i Švicarskoj pokazali su, da se dospjelo do srednje koordinatne pogreške, koja već leži ispod ± 10 cm, što za većinu katastarskih radova zadovoljava. Susjedna točnost za bliske točke leži već također ispod ± 10 cm.

Instrument koji se pokazao vrlo dobrim i raširio po čitavom svijetu je stereoinstrument Wild A6, od kojeg Vi u Jugoslaviji imate više primjeraka u upotrebi. Firma Wild je i taj stereoinstrument pregradila, jer se pokazalo, da se na primjer za mjerilo 1:5000 danas može s dobrom optikom snimati s takovih visina, da odnosi dimenzija kod A6 više nijesu dovoljne, da bi se mogla postići maksimalna ekonomičnost. Sada je eto nastao stereoinstrument A8. Kod razvoja A8 bio sam već unaprijed mišljenja, da će se jedan instrument druge vrste moći zaista afirmirati u svijetu samo onda, ako on za izmjeru pojedinačnog modela posjeduje istu točnost kao i precizni stereoinstrument prve vrste.

A8 kojeg smo pred nepunu godinu dana prvi put pokazali, postao je ubrzo još više obljubljen kod fotogrametara nego A6. I Jugoslavija će naskoro primiti te instrumente, a jedan je već postavljen u Zavodu za fotogrametriju u Beogradu. U toku sljedeće godine sljedit će daljnjih 6 do 10 instrumenta za Jugoslaviju. Na A8 mogu se, zahvaljujući njegovim prenosnim mogućnostima od snimka na koordinatograf i njegovoj visokoj točnosti, kartirati snimci u svim mjerilima, pri čemu kod mjerila 1:1000 svakako dospijevamo na granicu racionalnih prenosa. Za 1:2000 do 1:2500 on je jednako dobro prikladan.

U prvom redu interesantne su mogućnosti tih novih instrumenata, a o tome možemo najbolje diskutirati na temelju naših formula za razmjere i navedene tabele. Novi objektiv imali su za posljedicu, da je faktor C u formuli za razmjere mogao bez bojazni biti povišen od 100—130 na 200—250. Prema tome je moguće letjeti na dvostrukoj visini, ili umjesto normalnog objektiva primjeniti širokokutni na dosadanjoj visini i dapače još sa veće visine, što opet povećava površinu snimka najmanje četiri puta. U tabeli su sadržani i stupci za faktor $C = 300$ i $C = 350$. Za tehničke svrhe zadovoljavat će u mnogim slučajevima da se primjeni visina lijeta koja proizlazi iz tih faktora, na primjer za pregledne snimke kod građevinskih radova, kod elektrifikacije, za projektiranje cesta i željeznica, za određivanje pregrađenog uspornog prostora, kod regionalnih planiranja i tako dalje.

Možda će netko upitati dali brojke koje navodim potiču iz vlastitih pokusa ili da li one proizlaze već iz praktičkih iskustava u drugim zemljama. Mogu reći da se radi o jednom i drugom. Firma Wild vrši momentalno sama velika istraživanja ispitujući ploče i filmove u kamerama RC5 i RC7 snimajući iz različitih visina snimanja između 1000 i 3000 metara iznad polja od okruglo 600 orijentacionih točaka, koje su višestrukim presjekom naprijed određene sa centimetarskom točnošću. Ti pokusi još nisu završeni. Firma će međutim svakako svim interesentima staviti na raspolaganje materijal, i to koordinate i diapozitive, kao i velika povećanja sa identifikcionim krokijem. Prema tome bit će svaka ustanova koja raspolaže univerzalnim stereoinstrumentom kao na

primjer Wildovim autografofom biti u stanju, da sama ispituje podatke o točnosti kao i prikladnosti materijala, te time da školuje vlastite opservatore.

Iskustva firme počivaju međutim više na praksi u Švicarskoj i u inozemstvu. Jedan dio ispitivanja sa Aviogonom i Aviotarom potiče iz Austrije; opsežna ispitivanja Aviogona izvršio je također fotogrametrijski Institut Tehničke Visoke Škole u Hannoveru u Njemačkoj. Važna iskustva potiču iz Norveške i Kanade; Holandija i Belgija su također snabdjeveni novim instrumentima. Vrlo vrijedna bila su za nas isto tako i iskustva iz Juž. Afrike, Meksika, Central. Amerike i Australije. Iz države Izrael dobivamo obavijesti o vrlo vrijednim istraživanjima. Također i u USA nalaze se momentalno već nekoliko instrumenata u praktičnoj upotrebi kod privatnih organizacija, a osim toga vrše se ispitivanja i kod državnih ustanova.

Sve u svemu nalazi fotogrametrijski napredak, kojeg smo postigli svojim novim instrumentima svoj vrhunac u tome, da mi podvostručujemo visinu lijeta, te primjenjujemo širokokutne objektivne tamo, gdje se prije koristilo samo normalne objektivne. Možemo nadalje prepustiti samom korisniku instrumenata, da li daje prednost filmu ili pločama, jer konačno instrumenti su prikladni i za aerotriangulaciju u krupnom mjerilu naročito kod snimanja na ploče. Na koncu htio bih napomenuti, da su u Austriji i Švicarskoj pokusi u toku da se triangulacija IV. i V. reda, te poligoniranje nadomjesti fotogrametrijskim određivanjem čvrstih točaka, i da se također fotogrametrijskim putem stvori vrlo gust stabilizirani sistem čvrstih točaka za čitavu daljnju katastarsku izmjeru. Ovi uspjesi fotogrametrije s modernim instrumentima pokazat će se po mom mišljenju i u Jugoslaviji u naročitoj mjeri. Ja ne bih htio završiti svoje predavanje, a da ne spomenem, da sam prilikom svoja dva putovanja u Jugoslaviji i posjeta jugoslavenskih stručnjaka u Heerbrugg-u stekao uvjerenje, da Jugoslavija raspolaže izvanrednim praktičnim fotogrametrima, kao što sam ih tek rijetko sreo na svojim putovanjima u ostalim zemljama. Time su u Jugoslaviji i personalno stvoreni svi preduvjeti, da fotogrametrija u budućnosti bude primjenjena na najširoj bazi u interesu zemlje.

Trebalo bi još nešto reći o nabavnim troškovima za fotogrametrijske instrumente, koji izgledaju razmjerno visoki u usporedbi s geodetskim instrumentima. Ako ih međutim promatramo obazirući se na sveukupne troškove produkcije karte oni izgledaju naprotiv relativno niskim.

To je naročito slučaj, ako zajedno promatramo sniženje sveukupnih troškova i brzinu izmjere.

Rentabilnost je vrlo visoka. U Austriji je na primjer ispitivanjem ustanovljena, da se jedan A7 amortizira unutar jedne godine intenzivne katastarske izmjere.

Istovremeno se međutim pojavljuje pitanje, da li bi se za sitna mjerila na primjer 1 : 25 000 moglo izaći sa jeftinim pomoćnim instrumentima. Ja velim: Ne! pokušajmo samo iz snimaka 1 : 40 000 kartirati s pomoćnim instrumentom veće područje u 1 : 25 000, i dajmo tu kartu ozbiljno verificirati. Rezultat će nas sigurno uvjeriti o tome, da je precizni stereoinstrument doduše skuplji u cijeni, ali pri istoj točnosti dozvoljava mnogo veće visine lijeta, te je pri intenzivnoj upotrebi najekonomičniji.