

ZNAČAJ OPTIČKO-FIZIOLOŠKIH SVOJSTAVA OKA PRI MJERENJU

Doc. Dušan BENCIC, dipl. inž. — Zagreb*

Mjerenja koja vršimo u tehničkoj praksi vrlo su različita. Način kako se ta mjerenja izvode ovisi u prvom redu o veličini mjere i tačnosti kojom se ona određuje. Najjednostavnija mjerenja vršimo prostim okom, a pri tačnijim mjeranjima služimo se instrumentom. U geodetskim mjeranjima prostim okom vrše se samo najjednostavnije operacije, dok se za većinu mjerenja upotrebljavaju instrumenti.

Glavni sastavni dijelovi većine geodetskih instrumenata su durbin i mikroskop, a to su subjektivni instrumenti, što znači, da u njihovoj funkciji sudjeluje subjekt-opažać, odnosno oko opažača. Dakle, oko je izvršilac naših mjerenja, bilo neposredno, bilo posredno pri mjeranju sa instrumentima. Znači, da će tačnost izvršenih mjerenja svakako ovisiti o optičko-fiziološkim svojstvima oka u bilo kojem vidu mjerenja. Ova konstatacija ima naročiti značaj upravo pri mjeranju instrumentima.

Nekako smo navikli gledati instrument kao neki konstruirani uređaj koji nam sam po sebi treba da osigura određenu tačnost mjerenja, a mi treba da smo samo dobri operatori, tj. da dobro i pravilno rukujemo instrumentom. Po toj navici često smo skloni neku neočekivanu pojavu nesuglasica pripisivati nepoznatim vanjskim uplivima, a da uopće ne obraćamo pažnju i na stvarni subjekt mjerenja — oko i njegovo optičko-fiziološko i psihološko stanje. Pri mjeranjima instrumentom oko čini sa durbinom, odnosno mikroskopom, jednu optičku cjelinu, pa će nesumnjivo tačnost izvršenih mjerenja, ovisiti i o svojstvima oka i to ne samo s obzirom na instrument, već i na čitav složen kompleks mjernog toka.

Činjenici, da konačna slika pri mjeranju sa durbinom ili mikroskopom nastaje na mrežnici oka, moramo pokloniti punu pažnju, pa samo u analizi cjeline možemo naći ispravan put pri traženju nekih nesuglasica koje se pri mjeranju pojavljuju. S druge strane, ako već govorimo o vanjskim uplivima, moramo se upitati, kako oni utječu na mjerne sposobnosti oka, da li u određenim uslovima koristimo optimalno optička i fiziološka svojstva oka, odnosno, da li je u određenim vanjskim i subjektivnim uslovima izvođenje preciznog mjerenja moguće.

Vidimo, da je već s ovih nekoliko postavki dotaknuta jedna složena problematika, koja je u našoj stručnoj literaturi vrlo malo obrađivana, a koji puta, na žalost, i tretirana pogrešno. Već sama činjenica, da u našim stručnim udžbe-

* Geodetski Fakultet — Zagreb, Kačićeva 26

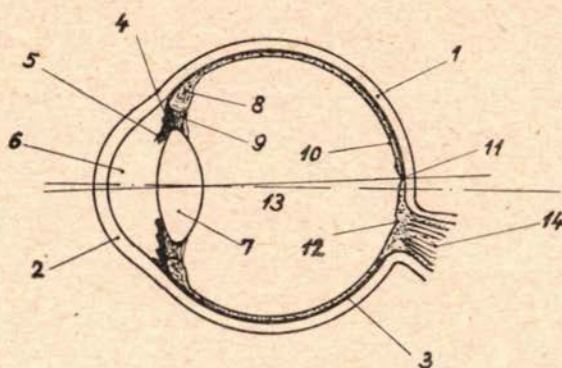
nicima rijetko nailazimo na opise oka, a pogotovo njegovih fizioloških funkcija, koje su vrlo značajne za mjerenja, ukazuje da se uložci oka pripisivalo premalo potrebne pažnje, pa zbog toga i neke važne činjenice nisu dovoljno poznate. U okviru jednog članka nemoguće je, naravno, dati iscrpniji prikaz, ali će, nadam se, i samo ukazivanje na neke činjenice koristiti za pravilnije tretiranje nekih funkcija oka i značaja uloge oka kod mjerenja.

OKO — SUBJEKT OPAŽANJA

Fiziološka optika je kao i ostale grane nauke u stalnom razvoju. Neka tumačenja koja su nekad izgledala neprikosnovena, danas su zastarjela. Već i s te strane, a ne samo što je ova tematika malo obrađivana, potrebno je upoznati u kratkim crtama fiziološku građu i optičku funkciju oka, kako bi se mogle ispravno interpretirati pojave vezane uz oko kao živ organizam, kao i neka važna svojstva oka, koja su povezana uz probleme mjerenja.

1 — Fiziološka građa oka

Oko — organ vida sastoji se od očne jabučice sa svojim sastavom, zatim vidnog živca i za vid odgovarajućeg dijela mozga. Očna jabučica se sastoji od tri ovojnice i sadržine. Vanjska očna ovojnica je vrlo čvrsta i služi zaštiti oka, a čini



Sl. 1 — Shematski presjek oka

1. bjeloočnica, 2. rožnica, 3. žilnica, 4. šarenica, 5. zjenica, 6. prednja očna sobica, 7. leća, 8. zrakasto tijelo, 9. zonula Zinnii, 10. mrežnica, 11. centralna jamica, 12. slijepa pjega, 13. očna staklenina, 14. vidni živac.

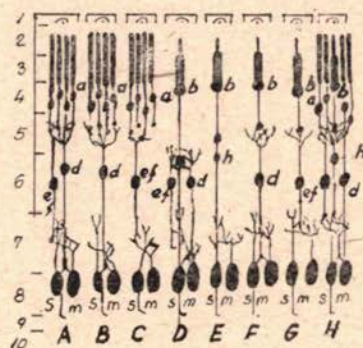
je bjeloočnica, koja s prednje strane prelazi u prozirnu rožnicu. Rožnica je glatka, sjajna i prozirna. Srednja očna ovojnica se sastoji od žilnice (splet krvnih žila za ishranu oka) i zrakastog tijela (corpus ciliare) koje zahvaća leću oka (sl. 1).

U samom zrakastom tijelu nalazi se akomodacioni mišić, koji se sastoji od meridionalnih, radijalnih i cirkularnih niti. Oko ekvatora leće oka (tjemena leće smatramo polovima) nalazi se suspenzorni aparat — brojne niti tzv. zonule Zinnii koje su obješene o muskulaturu zrakastog tijela. Unutarnja očna ovojnica ima

oblik čaške sa dva lista. Vanjski list je pigmentni epitel čvrsto srastao sa žilnicom. Pigmentni epitel tvori crnu glatku zonu koja štiti mrežnicu od difuznog svjetla. Unutarnji list je sama mrežnica, najvažniji dio, jer se tu nalaze vidni receptori. Mrežnica je zapravo razgranati vidni živac u oku.

Optički dio mrežnice završava na tzv. nazubljenoj liniji i tu je jedino mrežnica srasla s pigmentnim epitelom i žilnicom. Od nazubljene linije nastavlja se slijepi dio mrežnice u dva dijela i to cilijarni i šarenični. Šarenični dio se sastoji iz pigmentnih stanica vršeci ulogu crnog zastora iza šarenice, a služi kao zapreka prolazu svjetlosti u oko izvan otvora šarenice koji nazivamo zjenicom. Optički dio mrežnice debljine 0,3 do 0,4 mm sastoji se od 9 slojeva. Svjetlost mora proći kroz sve slojeve da bi došla do vidnih stanica devetog sloja, čunjića i štapića, nazvanih po njihovom obliku, a koji su receptori svjetlosti.

Imamo, dakle, dva različita sistema vidnih stanica — čunjići, osjetljivi na svijetlo i boje i — štapići, osjetljivi na slabo svijetlo. Na sl. 2 vidimo kako su čunjići i štapići priključeni različitim putevima preko bipolarnih stanica na ganglijske stanice — relejne stanice za prenos podražaja u mozak (s, m).



Sl. 2 — Histološka slika mrežnice prema Polyak-u

U slučaju A imamo tipičan vid preko sistema štapića. Više štapića obuhvaćeno je završnim vlaknima bipolarnih stanica (d, e, f). Slučajevi B i C prikazuju još jednostavniji slučaj, prenos preko jedne bipolarne stanice. Slučajevi D do G prikazuju mogućnost različitog prikapćanja čunjića preko jedne ili više bipolarnih stanica na odgovarajuće ganglijske stanice. Slučaj H je tipično prikapćanje na periferiji mrežnice t.j. čunjića i štapića zajedno preko bipolarnih stanica na ganglijske stanice.

Čunjići i štapići nisu na mrežnici jednako raspoređeni. Čunjići su koncentrirani u centralnom dijelu mrežnice — centralnoj jamici veličine 1–2 mm (oko 135.000 čunjića). U srednjem dijelu jamice nalazi se udubina veličine 0,4 mm (prema Polyak-u), a vidnog kuta oko 1° 20' koju nazivamo foveolom.

Foveola sadrži oko 34 000 čunjića, dužine 0,07 mm i promjera 0,0015 mm. U samom centralnom dijelu foveole na plohi od oko 0,1 mm² (vidni kut 20') nalazi se oko 2500 čunjića prikopćanih na po jedno nervno vlakno. To je područje centralnog vida. Na tom području i okolišu nema nijednog štapića, a najvažnije

je za oštri vid. Idući dalje prema periferiji mrežnice čunjići su sve deblji i kraći, njihov broj stalno pada i prikapčaju se u većim grupama na jedno nervno vlakno zajedno sa štapićima kojih je udio postepeno sve veći. Na mrežnici ima ukupno oko 125 milijuna štapića. Ako uzmemo da foveola čini 1/300 dio mrežnice, a povezana je s istim brojem nervnih vlakana kao i ostali dio mrežnice, onda je njen značaj za vid očit. Svojstvenost prikapčanja čunjića i štapića na nervna vlakna objašnjava razlike između vida uz punu rasvjetu (aktivnost čunjića), uz slabiju rasvjetu — prelazno područje (vid čunjića i štapića) i slabu rasvjetu i noću (vid štapića).

Vidni živac sa oko 800 000 vlakana debljine 1—2 mikrona, a pojedinačno 1 8—10 μ izlazi iz oka na mjestu slijepe pjege i čineći zavoj sastaje se na mjestu tzv. *chiasme* sa živcem drugog oka. Dalje vodi vidni put u unutrašnju plovu okcipitalnog režnja, gdje je vidni centar u sivoj kori mozga. Sa ovog mjesta vode daljnje veze u ostale centre mozga, a koje još ni do danas nisu detaljno proučene.

Ako uzmemo u obzir ovu složenu fiziološku građu i ako napomenemo da se svaka biološka stanica sastoji iz tisuća različito građenih molekula, ne treba se čuditi, ako u određenom slučaju pojedino pravilo zakaže, te ne dobivamo očekivane rezultate. Svako stanje i svaki proces na jednom biološkom objektu uvjetovani su jednim čitavim nizom međusobno povezanih uzročnosti i okolnosti, ako se samo jedan uzrok promijeni ili nastaje samo jedna smetnja biološkog toka, djelovanje i rezultati će se promijeniti. Ove činjenice moramo imati nužno pred očima razmatrajući primjenu oka u složenoj operaciji, kao što je mjerenje.

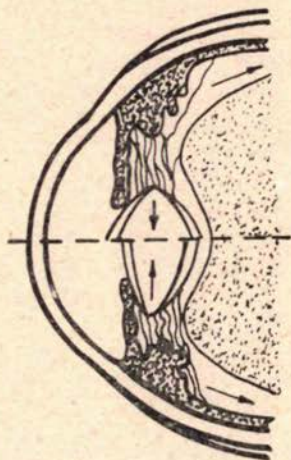
2 — Optička funkcija oka

Slika vanjskih predmeta na mrežnici oka nastaje optičkom funkcijom posebnog optičkog sistema. Ovaj se sistem sastoji od rožnice, očne vodice u prednjoj i stražnjoj očnoj sobici i leće. Unutrašnjost oka između leće i mrežnice ispunjena je prozirnom galertnom masom koju nazivamo očnom stakleninom (indeksa loma 1,336), a koja svojim tlakom pritište većim dijelom neučvršćenu mrežnicu na pozadinu oka. Promjer rožnice iznosi 11—12,5 mm, debljina 0,5 mm, radiusi ploha su $r_1 = 7,7$ mm i $r_2 = 6,8$ mm (u srednjem dijelu). Centralna zona veličine 4 mm je sferna. Čitava rožnica je u vertikalnom smjeru jače zakrivljena, nego li u horizontalnom, što uzrokuje fiziološki astigmatizam do 1 dioptrije (dptr). Indeks loma rožnice je 1,376 do 1,377. Svako oštećenje rožnice ostavlja trajne tragove i može vrlo štetno djelovati na mjerne sposobnosti oka. Kao primjer, možemo navesti podatak Dürrbauma koji je našao pogrešku kod jednog opažača pri mjerenju preciznim daljinomjerom (Redta) +0,51 m na udaljenosti 78 m, uzrokovanu ožiljkom na rožnici!

Između rožnice i leće, dubine oko 3,1 mm nalazi se prednja sobica ispunjena tekućinom indeksa loma $n = 1,336$. Neposredno uz leću nalazi se otvor šarenice — *zjenica*, a prstenasti otvor oko leće — stražna očna sobica, ispunjen je vodicom istog indeksa loma. Leća oka je bikonveksna. To je prozirno tijelo zatvoreno u kapsuli — elastičnoj membrani.

U stanju mirovanja akomodacije radiusi imaju veličinu $r_3 = 10,0$ mm, $r_4 = 6,0$ mm, a debljina 3,6 mm. Leća je slojevito građena, pa indeks loma nije stalan, već raste od polova prema središtu od 1,386, odnosno ekvatora (ruba) od 1,375 do 1,406 u jezgri. Do 30 god. starosti ovaj je prelaz kontinuiran, a kasnije skokovit od sloja do sloja. Na taj način masa leće u cjelini ima prividni indeks loma (totalni indeks loma) 1,409.

Prema Nordenson-u prednja ploha leće je u stvari dio rotacionog paraboloidea, a stražnja ploha elipsoida, naravno, aproksimativno i to samo u srednjem dijelu. Interesantno je da leća pokazuje izvjesni astigmatizam približno iste veličine kao i rožnica, ali suprotnog predznaka, tako da se u većini slučajeva oba astigmatizma u djelovanju gotovo poništavaju. Leća ima tzv. zrakastu strukturu. Prednja i stražnja ploha sastavljene su iz tri sektora, tako da sastavna mjesta predočuju slovo Y. Leća je povezana, mogli bismo reći obješena sa mnogo sponica — zonule Zinnii o muskulaturu zrakastog tijela (sl. 3).



Sl. 3 — Presjek kroz oko u neakomodiranom i akomodiranom stanju

Zarišne daljine optičkog sistema oka iznose:

— 17,055 mm (ž. daljina predmeta)

+ 22,785 mm (ž. daljina slike)

Kod oka normalne refrakcije (emetropija) stvara optički sistem oka oštru sliku daleke tačke na mrežnici. (To je starija definicija, gdje se izvjesna negativna akomodacija ne predpostavlja). Bliže tačke oko vidi pomoću akomodacije (vidi: akomodacija oka).

Ako slika daleke tačke nastaje ispred mrežnice, oko nazivamo kratkovidnim (miopija oka). Nastane li slika daleke tačke iza mrežnice, oko je dalekovidno (hipermetropija oka). Naravno, podrazumijeva se oko u neakomodiranom stanju.

Izraz »dalekovidno oko« nije adekvatan pojmu kojeg definira, što uzrokuje i pogrešne interpretacije. Naime, dalekovidno oko, ukoliko ne akomodira (a to svojstvo se starenjem postepeno gubi), ne vidi jasno ni bliske, ali ni daleke predmete. No izraz se općenito upotrebljava, pa ga moramo koristiti.*

Anomalija je, da pri različitim ispitivanjima za povećanje tačnosti mjerenja, ne tražimo uopće da se ispitaju vidna svojstva oka opažača, naročito početnika. Za to postoje mogućnosti i kod oftalmologa i u mjernim laboratorijima. Provjeravanje na samom terenu u mjernom procesu svakako je najskuplje.

* Nije loš izraz koji se počeo upotrebljavati: prekovidnost [1].

Ukoliko kod oka postoji samo ametropija, onda je u toku mjerenja sa durbinom i mikroskopom poželjno, da se skinu naočale, kako bi pupila oka došla bez smetnje u izlaznu pupilu, a što ima određeni značaj (vidi: oko i instrument).

Kao glavna os optičkog sistema oka definira se pravac koji prolazi tjemenom rožnice i središtem oka. Sa vidnom osi koja prolazi sredinom foveole i pupile oka, ona zatvara kut koji individualno varira i do 8°. Ova pojava uzrokuje stereoskopiju boja.

Optički sistem oka ima niz nedostataka. Centralni sferni dio rožnice nije s obzirom na glavnu os centričan. Vanjski dijelovi leće nisu s obzirom na leću centrirani, a sama leća je decentrirana s obzirom na glavnu os. Osim toga ona je nestabilna, budući visi o nitima. U akomodiranom stanju ove su niti otpuštene pa dolazi do spuštanja leće (prema Hess-u za 0,25 do 0,30 mm) i tzv. podrhtavanja leće. Ako k tome uzmemo, da pojedini sektori leće nemaju jednake žarišne daljine, a koji put ni sektori rožnice, onda ćemo dobiti već priličan uvid u nesavršenost optičkog sistema oka.

Zbog ovakove nesimetrije u građi optičkog sistema oka, došlo je do priličnih odstupanja u tačnosti mjerenja u onim slučajevima gdje snopovi zraka nisu prolazili istim zonama oka. Na pr. daljinomjeri s klinom (koji je prekrivao gornju ili donju polovinu objektiva). Konstruktori su vrlo brzo uočili razloge odstupanja u mjerenjima, pa su konstruirani instrumenti kod kojih imamo, dodatnim prizmatskim djelovanjem, preklapanje izlaznih pupila snopova. Takova rješenja nalazimo kod daljinomjera s ugrađenim klinovima, kao i kod mikroskopa s optičkim mikrometrom s ko incidencijom dijametralnih crta limba.

Posljedice nedostatka optičke građe oka su i aberacije preslikavanja. Promotrimo ukoliko neke od tih aberacija. Sferna aberacija je pogreška u preslikavanju pojedinih zona. Kod oka je najveća u zoni 1—2 mm od osi, gdje uzrokuje skraćenje ž. daljine prema centralnim zrakama za 1—2 dptr., što nije malen iznos. Vrlo je značajno, što, prema Černingu i Ivanovu, sferna aberacija znatno ovisi i o udaljenosti objekta tj. o akomodacionom stanju oka. Za udaljenost 1—2 m ona mijenja predznak, pa se za promatranje na bliže udaljenosti opet povećava. Za udaljenost 1—2 m može se kod većine ljudi zanemariti. Na ovu činjenicu osvrnut ćemo se i u kasnijem razmatranju.

Značajan upliv kod preslikavanja ima i kromatska aberacija. Ovisnost optičke jakosti u valnoj dužini svjetlosti iznosi za normalno oko prema Y. Le Grand-u:

Valna dužina u $m\mu$	687	656	589	527	486	431
Promjena optičke jakosti u dptr.	+0,34	+0,25	0	-0,3	-0,58	-1,07

Između crvenog i ljubičastog imamo razliku približno 1,5 dptr. Kromatska aberacija oka uzrokuje, dakle, da se tačke objekta, preslikane u svjetlosti dugih, odnosno kratkih valnih dužina, ne mogu vidjeti istovremeno oštro. Ova činjenica ne samo što je dokazana, već se koristi i za primjenu jedne od najpreciznijih metoda za određivanje refrakcije oka pomoću crveno-zelenih testova. Kako već promjena refrakcije za 0,25 dptr. kod ove metode utiče na rezultat, očito je, da će kromatska aberacija oka imati i upliv pri mjerenjima kod promjene spektralnog sastava svjetlosti (pojava paralakse nitnog križa). Kromatska aberacija oka morala bi uzrokovati kod promatranja obojenost rubova predmeta. Što se ta pojava ne opaža, nije još ni do danas potpuno objašnjeno, ali se smatra da tu ulogu

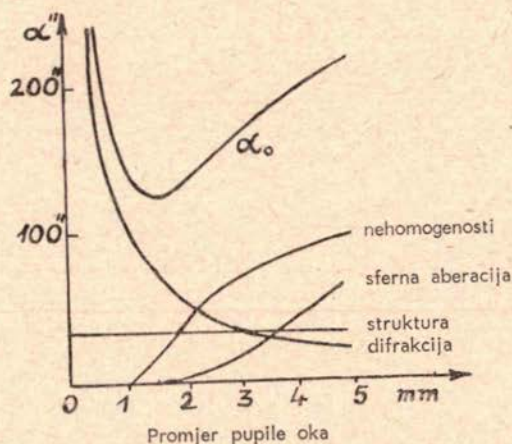
igraju složena fiziološka svojstva pri opažanju boja. Svakako rubovi predmeta nisu uslijed ove aberacije preslikani oštro.

Pojava astigmatizma i kome optičkog sistema oka može se za fovealno promatranje i male pupile (malo skošenje zraka, uski snopovi), kao što je to slučaj kod mjerenja sa geodetskim instrumentima, zanemariti. Izvjesni nepravilni astigmatizam posljedica je nepravilnosti ploha rožnice i leće, zrakaste strukture leće, deformacije leće uslijed vlakna niti zonula, kao i nehomogenosti. Očituje se u zrakastoj nejasnoći slike.

Različite ž. daljine sektora leće uzrokuju tzv. monokularnu poliopiju. To je pojava preklapanja više slika gotovo iste oštine.

Osim aberacija na kvalitetu slike utiče i ogib svjetlosti na pupli i česticama. Ova pojava naročito dolazi do izražaja pri malim promjerima pupile oka.

Smanjivanjem pupile smanjuju se utjecaji aberacija optičkog sistema do izvjesne granice, kada utjecaj ogiba svjetlosti pogorša kvalitetu slike. Ovaj otvor pupile naziva se kritičnim. D. D. Maksutov daje pregledno, na osnovu svojih ispitivanja, sumaran utjecaj fiziološke strukture mrežnice, ogiba, nehomogenosti i sferne aberacije oka na moć razdvajanja oka (sl. 4). Prema njegovim ispitivanjima moć razdvajanja oka je optimalna za veličinu promjera pupile oko 1,5 mm. Ta veličina upravo i odgovara redu veličine izlaznih pupila đurbina geodetskih instrumenata.



Sl. 4 — Moć razdvajanja oka (α_0) prema Maksutovu

Uslijed aberacija i nehomogenosti građe optičkog sistema oka nastaje na mrežnici oka figura raspršenja, kao slika tačke, koja u presjeku nije ni kružnog oblika.

Oftalmolog Helmholtz je rekao: »Kada bi optičar nekom ponudio tako porvršno konstruiran instrument, kao što je oko, taj bi to morao odbaciti sa protestom«.

Analiza građe i funkcije optičkog sistema oka koja bazira na činjenicama i ovako porazno mišljenje glasovitog oftalmologa moralo bi razočarati svakog stručnjaka koji koristi oko kod preciznih mjerenja. Odmah se postavlja i pitanje: nije li najbolji put u daljnjem razvoju instrumenata u potpunom isključenju oka

iz same operacije mjerenja sa operatorima umjesto opservatora? Ovakovo statičko promatranje funkcije oka svakako nas neosporno navodi na takav zaključak. Ali ovakovo razmatranje je pogrešno.

3 — Oko — živ organizam

Fiziološki kontrast

Stvaranje slike na mrežnici oka, ili, bolje rečeno, raspodjela različitih intenziteta svjetlosti na vidnim receptorima samo je jedna međufaza u složenom vidnom procesu. Osim fizikalno-optičkih uslovljenosti (podražaja) i fizioloških uslova (osjet), do konačnog registriranja pri promatranju imamo i psihološke uvjete. Zato govorimo, ne o primanju, već o doimanju osjeta. Oko je živ organizam koje na optičke procese reagira fiziološkim i psihološkim aktivnostima.

Jedna od najznačajnijih fizioloških reakcija oka je pojava fiziološkog kontrasta. Fiziološki kontrast je u stanju da lošu optičku sliku na mrežnici pretvori u oštru. Pretpostavka pojavi kontrasta je razlika u rasvjeti pojedinih mjesta. Područje veće rasvjete mrežnice utječe na ono slabije i obratno i to na taj način, da je okoliš mjesta jače rasvjete neosjetljiviji na svijetlo. Tu postoji neka indukcija u utjecaju jednog mjesta mrežnice na drugo. (Lijep primjer za ovu pojavu su bijele pahuljice snijega koje pri padu prema svjetlom nebu izgledaju tamnije.) Reakcijom fiziološkog kontrasta odsjećaju se osvijetljeni, uslijed aberacija optičkog sistema oka, nejasni periferni dijelovi slike tačke, pa nam ona unatoč pogreškama izgleda oštra.

Pojava fiziološkog kontrasta umanjila je vrijednost Helmholtz-ove zamjerke oku. Zato prof. Schober kaže: »Ovo mišljenje (misli na spomenutu izreku Helmholtza) odnosi se na fizikalna svojstva preslikavanja oka, što se često previča. Jačina oka leži u njegovoj fiziološkoj strani. Svojom velikom osjetljivošću i izvanrednom mogućnošću prilagodavanja na vremenske i mjesne promjene svjetlosne raspodjele, svojim svojstvima kontrasta, oko nadmašuje ne samo svaki fizikalni instrument, već je u mogućnosti retuširati, bolje i od najgenijalnijeg fotografa, fizikalno nejasne slike u svrsishodne oštre slike vidnog osjeta.« [2]

Dakle, samo ekonomičnost i brzina rada rješavati će u budućnosti primjenu oka kod mjerenja, odnosno registraciju i automatizaciju mjerenja. Činjenica je, da svako automatiziranje i mehaniziranje nekog procesa unosi i određene sistemske uplive. Regulatorni mehanizam jednog stroja ili instrumenta uvijek će biti daleko jednostavniji od složenog biološkog sastava živog organa. To nekad može biti prednost, ali i nekad ozbiljan nedostatak. Interesantno je, spomenimo samo za komparaciju, da se i danas najpreciznije leće obrađuju ručnim radom, a ne automatski pomoću stroja.

Fiziološki nystagmus

Oko ne može duže vrijeme fiksirati određeno mjesto tj. zadržavati sliku na određenom mjestu mrežnice. Čim vrijeme podražaja traje duže od 0,01 sek., dolazi do neizbježnog pokreta pogleda za 20" do 30" u vremenskom intervalu do 1—3 sek., a za duže promatranje i oko 5' (Pravilo Riggs-a, Armington-a i Ratliffa). Ova kolebanja su još veća pri smanjenju rasvjete vidnog polja. Ta se pojava naziva fiziološkim nystagmusom. Fiziološki nystagmus je fiziološka nužda zbog trošenja tj. raspadanja materije na mrežnici; vidnim stanicama je na taj način pružena mogućnost za regeneraciju.

Postavlja se odmah pitanje: ne utiče li ova pojava na tačnost mjerenja — viziranja s obzirom na neizbježne pojave paralakse nitnog križa? Račun pokazuje da ovaj utjecaj možemo i kod preciznih mjerenja zanemariti, ako se radi o povoljnim uslovima za mjerenje. Svakako fiziološki nystagmus daje jednu fiziološku granicu mogućih tačnosti mjerenja okom.

Još ćemo spomenuti jednu činjenicu u vezi pokreta oka, a koja nas može interesirati u vezi promatranja terena prostim okom i traženja neke slabije uočljive tačke. Opažać koji lagano okom kruži horizontom, misli da kontinuirano promatra detalje horizonta, međutim, oko se u određenom položaju zadržava nekoliko sekundi (kolebanja uslijed nystagmusa ovdje zanemarujemo), a zatim, kao prenapeto pero prelazi na drugu tačku koju fiksira i tada se čitava igra ponavlja. Ovaj tok promatranja ne bi imao posebnog značenja, kada bi oko moglo vidjeti oštro i one tačke koje se nalaze u prostornom kutu unutar dva sukcesivna fiksiranja.

Oko vidi oštro samo u području centralne jamice unutar vidnog kuta 2° — 3° (tzv. centralni vid), a skokovi između dviju tačaka fiksiranja pri laganom pregledavanju po horizontu iznose najmanje 8° — 10° . Na taj način moguće je, da inače vidljivu tačku ne opazimo. Zato se pri takovom pregledavanju terena moramo držati ovog pravila: Prislino ćemo izabrati razmak dviju susjednih tačaka fiksiranja u iznosu vidnog kuta najviše 5° (dakle, ne lagano kruženje, već fiksiranje). U svakoj fiksiranoj tački oko moramo zadržati bar 1 sek. Ako traženu tačku još nismo uočili, novo pregledavanje vršit ćemo uz početni pomak od ishodišne tačke za 2° — 3° (Pravilo Schobera).

Akomodacija oka

Slika tačke koju daje optički sistem nije tačka. Svjetlosna energija raspodijeljena je po kaustičnoj krivulji. Već je Gauss slutio, a Flüge dokazao, da je najpovoljnije mjesto slike najuži dio kaustike. Kod oka nemamo samo plohu slike, već i dubinu određenu dužinom čunjića pri centralnom vidu. Zato se smatra da je na mrežnici nastala oštra slika, ako je najuži dio snopa pao na čunjić (Helmholtz, Gullstrand, Jung, Schober).

Sama dužina čunjića (oko 0,07 mm) predstavlja prema tome fiziološku granicu dubinske oštine. Međutim, pri promatranju različito udaljenih predmeta dolazi do znatnijeg pomjeranja uskog dijela kaustike, nego li što to dozvoljava fiziološka granica. Posljedica je neoština slike. Kad bi optički sistem oka bio kruti sistem, mi ne bismo mogli vidjeti oštro sve tačke u dubini vidnog polja. Ali kod oka dolazi do regulacije oštine djelovanjem posebnog vegetativnog sistema u mišiću zrakastog tijela.

Kontrakcijom meridionalnih, radijalnih i cirkularnih niti žilnica je povučena naprijed, a sa žilnicom i nazubljena linija; cilijarne resice također su povučene naprijed. Na taj način olabave niti zonula Zinnii o kojima visi leća, pa se elastična leća izboči (naročito prednji dio) (sl. 3). Leća na taj način povećava svoju optičku jakost promjenom radiusa zakrivljenosti i povećanjem totalnog indeksa loma. Time se najuže mjesto kaustike i za bliže tačke od položaja koje odgovara mirovanju akomodacije pomjera na čunjić. Ovu pojavu nazivamo pozitivnom akomodacijom. (Pri maksimalnoj akomodaciji debljina leće poraste od 3,6 na 4 mm; radiusi leće iznose 5,33 mm; optička jakost čitavog optičkog sistema oka poraste od 58,64 do 70,57 dptr.)

Do pred petnaestak godina smatralo se da je položaj mirovanja akomodacije u slučaju najjačeg otpuštanja mišića zrakastog tijela. Istraživanja Y. Le Granda, Olmsteda, Morgana, Kühla i Schobera pokazala su, da akomodacija ne djeluje

samo u povećanju zakrivljenosti leće, već i u smanjenju (negativna akomodacija). Dakle, za postojanje negativne akomodacije nije se prije znalo. Zato su opisi akomodacije u starijim udžbenicima zastarjeli. Ispitivanja su pokazala da položaj mirovanja akomodacije odgovara promatranju predmeta na udaljenosti 1—2 m od oka. To znači da negativna akomodacija iznosi 0,5 do 1 dptr. Na udaljene predmete mora, dakle, oko također akomodirati. Ove konstatacije imaju svoj značaj i za mjerenje okom.

Sa akomodacijom nastaje i niz drugih promjena. Kod pozitivne akomodacije npr. uvijek je vezan refleks konvergencije oka, a isto tako i impuls suženja pupile oka. Vrijedi i obrat ovog fiziološkog procesa: konvergencija oka djeluje na akomodaciju oka, kao i na veličinu pupile. Ovaj složen mehanizam u mnogom je isključen iz našeg voljnog djelovanja. Akomodaciju mogu, dakle, mijenjati i drugi impulsi osim optičkih.

Najudaljenija tačka koju oko vidi jasno (uz pomoć negativne akomodacije) naziva se daljnjom tačkom oka, a najbliža tačka koju optički sistem oka može preslikati oštro (uz maksimalnu pozitivnu akomodaciju) bliskom tačkom oka. Ako je bliska tačka oka više od 30 cm udaljena od oka, oko nazivamo starovidnim. Starovidno oko korigira se za čitanje naočalnim staklom, odgovarajuće jakosti u dioptrijama u ovisnosti o starosti. Uz primjenu maksimalne akomodacije oko se znatno napreže. Onu najkraću udaljenost od oka na koju oko može duže vrijeme promatrati bez naprezanja nazivamo daljnom jasnog vida. Ponegdje nailazimo na krivo tumačenje ovog pojma. Naime, tumači se da oko najjasnije vidi na daljini jasnog vida, a time dolazi i do krive interpretacije pri podešavanju instrumenta za mjerenje (detaljnije o ovom u opisu: akomodacija i mjerenje). Oko će naime, vidjeti jednako oštro sve tačke u području između bliske i daljnje tačke oka. Pojam daljine jasnog vida ima kod subjektivnih instrumenata drugi značaj i važan je kod nekih definicija povećanja.

Razlika udaljenosti daljnje i bliske tačke izraženih u dioptrijama daje širinu akomodacije. Širina akomodacije oka nije stalna, već pada sa godinama starosti. Ona iznosi npr. za 8 god 13,8 dptr., 20 god. 11,2 dptr., 40 god. 5,8 dptr., a 60 god god. 1,20 dptr. U ovisnosti o širini akomodacije promjenljiva je i daljina jasnog vida i postepeno je sve veća. Za optička računanja usvojena je zato veličina u iznosu od 25 cm.

Značajno je da širina akomodacije ovisi o rasvjeti vidnoga polja. Širina akomodacije sa smanjivanjem rasvjete stalno pada i pri sjaju 0,02 asb ona je nula. Pri tome daljnja tačka je sve bliže oku, a bliska tačka dalje od oka, dok konačno ne padnu zajedno na udaljenosti 1—2 m, koja odgovara položaju mirovanja akomodacije. Snižanjem nivoa rasvjete može se, dakle, pojaviti neoštrina slike; ako je oko prethodno bilo akomodirano. Činjenica, o kojoj, također treba voditi računa kod mjerenja.

Kromatska aberacija optičkog sistema oka podupire tok akomodacije. Kod bijele svjetlosti, oko se pri promatranju na daljinu više prilagođuje na crveni dio spektra, jer time odtirećuju svoju negativnu akomodaciju. Pri promatranju na blizinu, oko se analogno prilagođuje na plavi dio spektra. Time je širina akomodacije veća.

Iz iznijetih pojava i uzročnosti akomodacije oka možemo zaključiti, da je akomodirano oko labilno i podložno različitim uplivima i promjenama. Ako k tome uzmemo, da u akomodiranom oku leća oka ne visi sapeta o nitima zonula, već se

spušta, prema Hess-u i do 0,30 mm, te dolazi do pojava poznatih pod imenom podhrhtavanja leće, to slijedi, da akomodirano oko nije ni najmanje poželjno pri mjerenjima sa optičkim instrumentima.

Adaptacija

Adaptacija je jedno od vrlo važnih fizioloških svojstava oka. Iako ona kao takva ima naročiti značaj kod mjerenja, ipak o njoj gotovo nema riječi u udžbenicima geodezije.

Adaptacija oka je prilagođivanje mrežnice oka na određeno svjetlosno stanje. Ovo prilagođavanje ne zbiva se odjednom, već postepeno i tim duže, čim su nastale veće promjene svjetlosnog stanja u vidnom polju, a bez obzira da li je ta promjena nastala u smislu nižeg ili višeg svjetlosnog nivoa. Svakako adaptacija na viši nivo teče brže. Prilagođavanje može obuhvatiti čitavu mrežnicu (totalna adaptacija) ili samo njene pojedine dijelove (lokalna adaptacija). Pri adaptaciji se zbivaju tri karakteristične promjene: promjena svjetlosne osjetljivosti čunjića i štapića, prelaz vida od čunjića na štapiće i promjena promjera pupile oka. Prelazno područje vida od čunjića na štapiće kreće se u području 0,02 do 50 asb.* Ovo područje predstavlja kod mnogih ljudi izvjesne poteškoće.

Pri adaptaciji na tamno polje (vid štapića) raste osjetljivost mrežnice prvo brzo, zatim nakon 5—10 min. nešto sporije, pa opet brže, a nakon 25—30 min. dalje vrlo sporo. Nakon 25 min. dostiže oko 80% osjetljivosti mjerene pri 1 satu adaptacije. Pri potpunoj adaptaciji štapića osjetljivost poraste u omjeru 1:1000. Za područja višeg nivoa od 50 asb (vid čunjića) ustanovilo se ispitivanjem, da je dovoljno trajanje adaptacije od 5 min, pa da se postigne optimalna osjetljivost čunjića. Ona u tom slučaju poraste u omjeru 1:50. Oko na taj način posjeduje jedan vrlo fini aparat koji omogućuje promatranje pri mjesečini, kao i uz sunčanu svjetlost, iako se sjaj ovih izvora odnosi u omjeru 1:10.000.000.

Adaptacija se zbiva u dvije karakteristične faze i to: momentalna ili α -adaptacija i postepena ili β -adaptacija. α -adaptacija je u stvari jedna nervozna reakcija na promjenu na čitavoj mrežnici, makar se promjena zbila samo na jednom dijelici. To je psihološki proces, a u stanju je da trenutačno promijeni osjetljivost mrežnice u omjeru 1:5. β -adaptacija je duži fotokemički proces uspostavljanja ravnoteže stvaranja i raspadanja vidne materije.

Složen proces adaptacije obuhvaća četiri važne funkcije oka:

apsolutnu osjetljivost

(sposobnost mrežnice na osjet svjetlosnog podražaja)

osjetljivost razlikovanja sjaja

oštrinu vida

osjetljivost spoznaje i razlikovanja boja.

* Za orijentaciju navest ćemo neke podatke za sjaj izvora svjetlosti, odnosno rasvjetu. [Vrijedi pravilo: sjaj u asb (apostilb) = stepen propusnosti (odnosno refleksijske) \times rasvjeta u lx (luks)].

Prema Schoberu:

sumrak	0,01—50 asb
svjetao dan	3000 asb
dobra umjetna rasvjeta	200 asb

Prema Königu:

noćno nebo uz puni mjesec	0,2 lx
dovoljna rasvjeta za čitanje	20 lx
na slobodnom u sjeni	1000 lx
kod izlaza i zalaza sunca	300 lx
u podne ljeti, sunčan dan	10000 lx

Ovisnost ovih značajnih funkcija oka o stanju adaptacije ukazuje, da je optimalno opažanje u određenim uslovima moguće tek onda, kada je oko u potpunosti adaptirano na određeno prosječno svjetlosno stanje vidnog polja. Ova činjenica ima poseban značaj pri mjerenju sa vizuelnim instrumentima.

Za razliku od totalne adaptacije, lokalna adaptacija mijenja osjetljivost na ograničenom području smanjujući veličine razlika rasvjete na vidnim elementima mrežnice. Time i lokalna adaptacija ima značajnu ulogu i utječe na opisane funkcije oka svojom regulacijom mjestimične osjetljivosti vidnih receptora.

Kako je adaptacija jedan složen fiziološko-psihološki proces, pokazuje ne samo zavisnost osjetljivosti pojedinih mjesta mrežnice, već i činjenica da je miran pogled sve teži, čim su veće mjestimične razlike sjaja u vidnom polju. I ne samo to. Svojim pokusom još 1920. god. Dunlap je dokazao da i promjena adaptacionog stanja jednog oka utječe na drugo.

Smetnja adaptacije

Ako nastane značajniji iznenadni poremećaj stanja adaptacije, onda takovu pojavu nazivamo smetnjom adaptacije. Ukoliko iznenadna promjena svjetlosnog nivoa (povišenje ili sniženje) nastaje u čitavom vidnom polju govorimo o potpunoj smetnji adaptacije. Međutim, ako dolazi do mjestimičnih promjena svjetlosnih razlika na koje se oko ne može prilagoditi lokalnom adaptacijom (bar ne za kraće vrijeme), govorimo o relativnoj smetnji. Ako su promjene takove, da se oko ne može više prilagoditi na novo stanje, nastaje apsolutna smetnja adaptacije ili šok.

Pojava potpune smetnje adaptacije ili čak apsolutne smetnje ovisit će u prvom redu o postojećem svjetlosnom nivou adaptacije, a zatim o veličini promjene ovog nivoa. Pri nižim svjetlosnim nivoima mogu izazvati šok takove promjene, koje pri visokom nivou neće uopće izazvati smetnju. Isto je tako važno i trajanje promjene. Važna je činjenica, da kratkotrajna promjena svjetlosnog nivoa u vidnom polju nije štetna za daljnje promatranje. Pri kratkotrajnoj promjeni nastaje nervozna reakcija u obliku α -adaptacije, koja momentalno promijeni osjetljivost mrežnice, a vjerojatno su uz to i brzo mobilizirane izvjesne rezerve vidne materije. Međutim, trajnije promjene, ili, pulzirajuće promjene uzrokuju smetnju adaptacije, što nužno dovodi i do utjecaja na druga važna svojstva oka.

Relativna smetnja adaptacije dovodi do lokalnih promjena adaptacionog stanja mrežnice. Lokalne promjene rasvjete mrežnice dovode, međutim, ne samo do mjestimičnih promjena koncentracije vidne materije (β -adaptacija), već i do nervozne reakcije na čitavoj mrežnici. Ukoliko lokalna adaptacija ne može izravnati ove razlike rasvjete dolazi do osjeta umora. Relativna smetnja adaptacije predočuje, prema tome, kompleksan proces mjestimičnih i općenitih smetnji adaptacionog stanja koje dovode nakon određenog perioda vremena do pojave umora, a time smanjenja osjetljivosti i vidnih sposobnosti. Kod umora ne igraju više fotokemički procesi nikakvu ulogu. Kod vrlo jakog podražaja (šok) umor nastupa već za nekoliko sekundi.

Iz izloženog slijedi, da pojavom izvora smetnji adaptacije (neki primarni ili sekundarni svjetlosni izvor) i izvan vidne osi, odnosno vizurne osi kod mjerenja, dolazi do promjena ne samo na određenim mjestima mrežnice izvan foveole, već i na čitavoj mrežnici tj. i u samoj foveoli. Ovakovi poremećaji uzrokovat će promjenu čitavog adaptacionog stanja i time smanjenja osjetljivosti i vidnih sposobnosti na centralnom mjestu slike; što je važno pri mjerenjima.

Osim ovog fiziološkog uzroka smanjenja osjetljivosti u vidnoj osi postoje i čisto fizikalni uzroci. Svjetlost koja dolazi sa nekog postranog izvora raspršuje se u znatnoj mjeri na rožnici, leći, u očnoj staklenini, a isto tako i odbija na mjestu slike. Ova difuzna svjetlost pogađa zatim foveolu i smanjuje tamo relativne razlike rasvjete.

Fiziolozi su postavili približno pravilo, da pri djelovanju tačkastih izvora svjetlosti u blizini vidne osi raste opasnost smetnje adaptacije sa trećom potencijom sjaja ovih izvora. Slijedi, svaki izvor smetnji adaptacije nužno je iz vidnog polja ukloniti, odnosno izbjeći.

Iz ovog kratkog prikaza adaptacije, jednog od osnovnih fizioloških svojstava oka, možemo zaključiti kako stanje adaptacije kao i smetnje adaptacije mogu imati značajan upliv na izvjesne rezultate mjerenja. Tim više, što su uz proces adaptacije povezana svojstva, kao što je apsolutna osjetljivost, osjetljivost razlikovanja sjaja, oštrina vida, a koja su usko povezana uz kvalitet mjernog procesa.

4 — Apsolutna osjetljivost

Osjetljivost razlikovanja sjaja

Apsolutna osjetljivost je u uskoj vezi s pojmom »minimum perceptibile«, tj. sjaja izraženog u odgovarajućim jedinicama, kojeg je oko, uz odgovarajuće prosječno stanje sjaja vidnog polja i adaptaciono stanje oka, u mogućnosti zamijetiti.

Osjetljivost razlikovanja sjaja uobičajeno se izražava izrazom:

$$O = \frac{S}{\Delta S}$$

gdje je S sjaj vidnog polja, a ΔS razlika sjaja koja se još može zamijetiti.

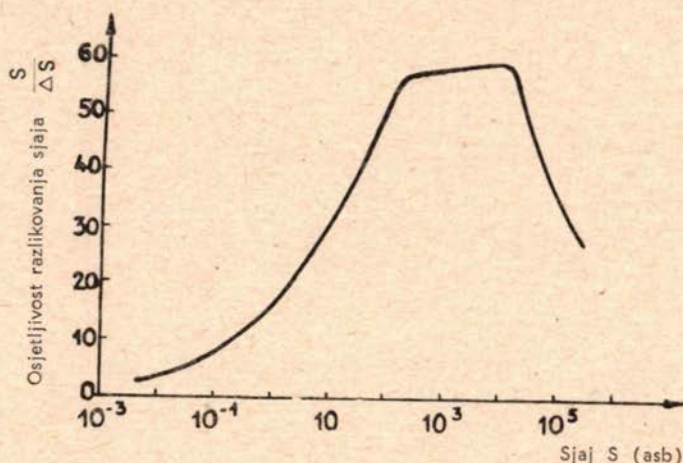
Oba svojstva ovise uglavnom o istim faktorima. U prvom redu o adaptacionom stanju. Apsolutna osjetljivost i osjetljivost razlikovanja sjaja biti će najveće, kada je adaptaciono stanje oka prilagođeno svjetlosnom stanju vidnog polja. Ova svojstva oka ovise zatim o rasprostranjenosti podražene plohe na mrežnici. Tako su npr. pri fovealnom vidu osjetljivosti obrnuto proporcionalne produktu sjaja objekta i kvadrata vidnog kuta za vidni kut objekta do 20' (Pravilo Riccò—Schönwaldt). Za veće vidne kuteve (srednja rasprostranjenost objekta) osjetljivost ovisi o sjaju i vidnom kutu (Piperovo pravilo), a za vrlo rasprostranjene objekte ovisi samo o sjaju objekta (Weberovo pravilo).

Iz ovog slijedi, da su vrlo nepovoljne veličine ploha do vidnog kuta 20'. Prema ispitivanjima Arndt-a, pri dobroj rasvjeti postoji ovisnost o vidnom kutu samo za polja do veličine vidnog kuta 1°. Pri promatranju durbinom povećanja 30 ×, to bi značilo realno polje vidnog kuta 2'.

Osjetljivost razlikovanja dostiže, uz odgovarajuću adaptaciju, maksimum u području sjaja 200—10000 asb i iznosi 1—2% sjaja polja. U tom području može se ona uzeti približno konstantnom. (Weber—Fechnerovo pravilo) (sl. 5).

Interesantno je spomenuti da i fiziološki kontrast ima utjecaj na osjetljivost razlikovanja sjaja. Naime, fiziološki kontrast ne utiče samo na neposredni okoliš mjesta kojeg pogodi svjetlost, nego, prema Čermak-u, i na vrlo udaljena mjesta vidnog polja. Npr. uslijed takovih djelovanja kontrasta, polje određenog sjaja izgleda u svijetloj okolini tamnije, a u tamnoj okolini svjetlije, ili, granica svjetlog polja izgleda prema tamnom svjetlija od samog polja, a mala svjetla

polja u tamnom okolišu izgledaju svjetlija nego li velika svjetla polja istog sjaja u istom okolišu. Zbog toga i okoliš dvaju polja, utjecajem kontrasta, utječe na osjetljivost razlikovanja sjaja ovih polja.



Sl. 5 — Ovisnost osjetljivosti razlikovanja sjaja o sjaju vidnog polja (prema König-u i Brodhun-u)

Veći sjaj od 10000 asb dovodi do smanjenja osjetljivosti razlikovanja. Ovo navodimo da istaknemo vrlo složenu isprepletenu povezanost različitih svojstava oka u određenoj funkciji vida.

5 — Oštrina vida i mjerenja

Oštrina vida, kao vrlo značajno svojstvo oka, pri mjerenjima, nije jednoznačan pojam. Ona sadrži zapravo više osebina koje je praktički teško međusobno odvojiti. To su u prvom redu moć razdvajanja, oštrina koincidencije i sposobnost zamjećivanja oblika.

Moć razdvajanja, »minimum separabile«, označava graničnu sposobnost vida da dvije susjedne tačke ili crte spozna odvojeno. Moć razdvajanja ovisi o fizikalnim, fiziološkim i psihološkim okolnostima. U fizikalnom smislu utječu kvaliteta optičkog preslikavanja u ovisnosti o aberacijama i ogibu svjetlosti, a s time u vezi i o akomodaciji i veličini zjenice. Fiziološki ima utjecaj raspored čunjića i štapića, adaptaciono stanje, osjetljivost razlikovanja i iradijacija. U psihološkom smislu utječe kontrast, oblici i pažnja opažača.

Oštrina vida u oftalmologiji je definirana pojmom visusa. Visus je određen recipročnom vrijednosti vidnog kuta izraženog u minutama pod kojim na određenoj udaljenosti vidimo položaj određenog znaka (npr. Landolt-ov prsten) ili raspoznamo određeni znak. Normalna oštrina vida ima visus 1, a fiziološka granica oštrine vida iznosi 2,7. Fizikalno definiramo oštrinu vida — moć razdvajanja pojmom fiziološkog graničnog kuta. Pod time podrazumijevamo najmanji kut (izražen u minutama ili sekundama) pod kojim još vidimo dvije tačke odvojeno.

U osnovi jednostavan zadatak ispitivanja oštine vida u svojoj je suštini složen, ovisan o mnogim fiziološkim i psihološkim svojstvima oka, ovisan o načinu izvođenja mjerenja, o rasvjeti i kontrastu, a podvrgnut različitim uplivima, kao npr. iradijacija, ogibi. To je razlog što su pri mjerenjima dobiveni po različitim autorima tako različiti rezultati.

Oština vida, kao svojstvo oka, odavna je privlačila pažnju i geodeta. Struktura mrežnice i dimenzije čunjića dale su povod za računanja graničnog kuta. Tako npr. Jordan—Egert vrše račun uzevši promjer čunjića $4,5\mu$ i dobivaju vidni kut $60''$, pa razdvajanje dviju tačaka tumače na taj način, što smatraju da za razdvajanje mora između dva nadražena čunjića jedan ostati nenadražan. Takvo tumačenje, iako se javlja i u modernoj literaturi, zastarjelo je, tim više što danas znamo, da je promjer čunjića u foveoli $1,5\mu$. Slaganje starih podataka o promjeru čunjića sa rezultatima ispitivanja dovelo je do prejednostavne geometrijsko-optičke predodžbe u biti složenog fizikalno-fiziološkog procesa.

Prema valnoj teoriji svjetlosti slika tačke nije geometrijska tačka u kojoj bi bila koncentrirana svjetlosna energija (ni kod optičkog sistema bez oberacija), već ima izgled kružne mrlje određene dimenzije oko koje su raspoređeni svijetli i tamni prstenovi. Intenzitet svjetlosti naglo pada od centra mrlje prema rubovima mrlje. Maksimalni intenzitet u prvom prstenu iznosi $1/57$ centralnog maksimuma, u drugom $1/240$, trećem $1/625$ itd. Ova raspodjela se mijenja, ako postoje aberacije preslikavanja.

Kod preslikavanja dviju blizih tačaka dolazi do izvjesnog preklapanja ovih difrakcionih slika obih tačaka. Fizičari upotrebljavaju za tumačenje razdvajanja tzv. Rayleigh-ovo pravilo koje kaže: Da se dvije tačke mogu vidjeti odvojeno potrebno je, da razmak difrakcionih mrlja iznosi najmanje veličinu radiusa mrlje. Ako bismo usvojili ovaj optički kriterij za razdvajanje dviju tačaka, onda bi anatomaska granica moći razdvajanja iznosila oko $20''$, budući vidni kut koji bi odgovarao dijametru čunjića $1,5\mu$ iznosi $18''$. Praktična ispitivanja pokazuju, međutim, da se i u najpovoljnijim slučajevima postiže iznos oko $60''$. To je i logično, budući već iz izloženog zaključujemo, da je čisto fizikalno tumačenje u odnosu na sliku na mrežnici oka neprihvatljivo.

Polyak je dokazao, da je uključivanje čunjića u jedan elemenat osjeta u foveoli vrlo varijabilno i ovisno o rasvjeti, kao i adaptaciji a koja je dijelom regulirana iz mozga. Mala je vjerojatnost, da će on biti uključen upravo u onom momentu, kad na njega padne sedlasti dio difrakcione slike dviju tačaka. U sedlu osim toga iznosi intenzitet svjetlosti (za Rayleigh-ov kriterij) 75 do 80% obih maksimuma, a to je premalo za registraciju razdvajanja, tim više, što je osjetljivost razlikovanja za tačkaste objekte znatno lošija (Riccó—Schönwaldt-ovo pravilo), nego li što to zahtijeva Weber—Fechner-ovo pravilo. Osim toga treba uzeti u obzir i stalno pokretanje oka (fiziološki nystagmus).

Ogle je svojim pokusima pokazao, da nije bitan kontrast u sedlu difrakcionih slika, tj. razlika intenziteta dvaju maksimuma i sedla, već čitava raspodjela svjetlosne energije po cijelom zahvaćenom sistemu čunjića (znači i svih rubnih dijelova difrakcione figure). Uleknuce na stranama difrakcione figure važnije je nego li kontrast u centralnom dijelu. Ogle-ova razmatranja odlično objašnjavaju činjenicu, da moć razdvajanja za dvije svjetle tačke (primarni izvori) pada, ako se njihov sjaj prema tamnoj pozadini povećava (Pravilo Berger-a i Buchtal-a).

Između sjaja dviju svjetlih tačaka i sjaja okolnog polja mora zato postojati jedan optimalni odnos, da bi se postigao fiziološki granični kut. Ispitivanja po-

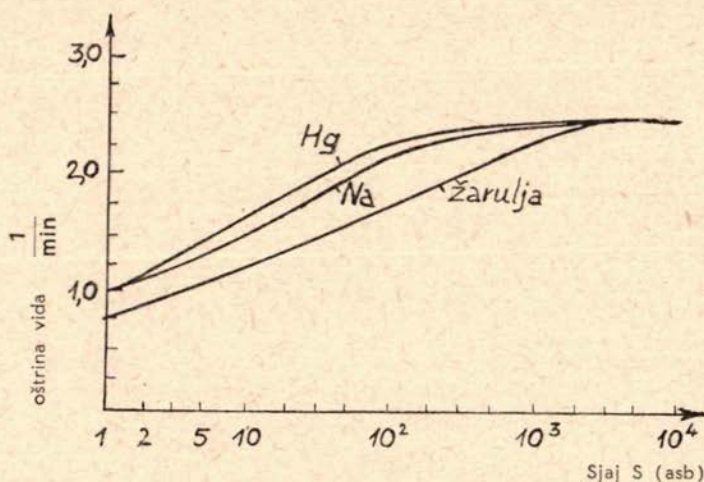
kazuju da su najbolji rezultati postignuti pri odnosima 50/1 do 100/1. Oštrina vida usko je povezana sa svojstvom osjetljivosti razlikovanja sjaja. Tek uz uslove optimalnih osjetljivosti moguće je postići optimalne moći razdvajanja.

Ovim osvrtom na neke kriterije za razdvajanje dviju tačaka izvodimo važan zaključak, da je za razdvajanje tačaka bitna raspodjela svjetlosti u slici na mrežnici i fiziološko-psihološko stanje i procesi. Na ovisnost i uslovljenost ovih faktora već smo ukazali.

Oštrina koincidencije je samo jedan vid oštine vida. Ona je oko 3 do $10 \times$ veća od moći razdvajanja. Ovo se može objasniti činjenicom da pri koincidenciji sudjeluje mnogo veći broj vidnih elemenata mrežnice. Oštrinu koincidencije mjerimo vidnim kutem pod kojim još možemo razlikovati odvojenost dviju crta. Različite vrijednosti koje dobivaju pojedini autori uzrokovane su složenostima fizikalnih, fizioloških i psiholoških upliva. Tako npr. uzima Hultsch oštrinu koincidencije $\pm 15''$, a tek uz najpovoljnije uslove $\pm 10''$.

Flügge uzima za mjerenja sa mikroskopom $\pm 15''$, dok E. Grödel tvrdi da se u laboratoriju može postići $\pm 1''$ do $\pm 2''$, a u terenskim uslovima $\pm 8''$ do $\pm 16''$. Schober i Hartridge su računskim putem dobili moguću vrijednost od $4''$. U literaturi koja obrađuje tačnost mjerenja sa instrumentima na principu koincidencije većinom je usvojena vrijednost od $\pm 10''$.

Oštrina vida ovisi općenito o sjaju polja kojeg promatramo i uz veći sjaj raste, te uz odgovarajuću adaptaciju doseže fiziološku granicu za sjaj 5000 asb. Od 5000 do 10000 asb ostaje približno konstantna, a nakon toga opet pada. Schober smatra da do sjaja 5000 asb nisu još svi čunjići u centru foveole pojedinačno uključeni u svoj element osjeta, što uzrokuje manju oštrinu vida (sl. 6). Veći sjaj od 10000 asb dovodi također do smanjenja oštine vida, a napomenimo da u ljetnim danima na cesti, uz obale mora, na kamenjaru, ili, zimi na snijegu, sjaj doseže i 50000 do 100000 asb.



Sl. 6 — Ovisnost oštine vida o sjaju i boji svjetlosti (prema Schoberu i Wittmannu)

Oštrina vida veća je za tamne objekte na svjetloj pozadini nego li obratno.

Oštrina vida ovisi i o starosti. Ako prema Luckiesch-u uzmemo oštrinu vida u 20 god. 100⁰/₀, ona iznosi za 40 god. 90⁰/₀, za 60 god. 74⁰/₀, a za 80 god. 47⁰/₀.

Ovisnost moći razdvajanja o veličini pupile prikazana je na sl. 4. Iz ovih činjenica možemo povući odgovarajuće zaključke.

U geodetskoj literaturi nailazimo češće na opise oštrine vida. To je i razumljivo, jer je ovo svojstvo oka važno za mjerenja. Međutim, ponegdje nailazimo na neispravno povezivanje pojma fiziološkog graničnog kuta neposredno sa tačnošću viziranja. Uzrok tome leži vjerojatno iz vremena prvih ispitivanja tačnosti viziranja sa okom, kada se polazilo od krive pretpostavke, da se najmanji kut pod kojim se neki objekt još mogao vidjeti, uzelo kao vjerojatnu granicu tačnosti viziranja. (Mayer, Brugge, Winkler i drugi). Taj kut se kretao u iznosu 1' do 2'.

Međutim, već je Noetzi u svojoj dizertaciji 1915. god. [3] pokazao, da je tačnost viziranja u prvom redu ovisna o veličini intervala koji nastaje sa obe strane nitnog križa na vizurnoj marki, ili pak simetričnim obuhvaćanjem sa dvostrukim nitima. Njegova su ispitivanja pokazala, da će tačnost viziranja biti tim veća, čim je ovaj interval manji.

Noetzi je pri svojim pokusima pomicao nit ispred samog vizurnog objekta. To je bilo moguće konstrukcijom specijalnog uređaja koji se nalazio uz opažača, a promatranje je vršeno preko preciznog ravnog zrcala. Srednja pogreška viziranja koju je postigao iznosila je $\pm 0,2''$.

Da postigne ekstremne mogućnosti izrezao je iz lima pukotinu, a kao nit pomicao je »nit« iz lima toliko manje širine, da je svjetlost tek mogla mimo rubova proći. Iza otvora stavio je acetilen svjetiljku. Tačnosti koje je postigao, kako sa prostim okom, tako i durbinom povećanja 1 \times , iznosile su prosječno $\pm 0,02''$ (mjerenja su vršena na udaljenosti 20 m). Ova su nam ispitivanja nedvojbeno pokazala, ne samo kako je moguće uz specijalne uslove postići iznadaujuće tačnosti viziranja prostim okom, već i pogrešnost povezivanja tačnosti viziranja neposredno sa veličinom fiziološkog graničnog kuta.

Svakako, da će tačnost viziranja biti u konkretnim uslovima veća, ako je i oštrina vida veća. Ali viziranje je jedan kompleksniji optičko-fiziološki proces, ovisan ne samo o svojstvima i određenom stanju oka, već i o obliku vizurnog objekta, obliku i debljini nitnog križa, paralaksi nitnog križa, kontrastu, a da ne govorimo i o optičkim kvalitetama instrumenta, ako se pri toj operaciji primjenjuje.

Svojim ispitivanjima Noetzi je potvrdio postojanje određenih zakonitosti pri viziranju u ovisnosti o obliku i veličini (odnosno udaljenosti) vizurnih marki. Pri viziranju na marke oblika paralelnih crta, pravokutnika ili krugova srednja pogreška viziranja približno je proporcionalna drugom korjenu razmaka, širine, odnosno promjera, uz uslov, da vidni kut (pri mjerenju instrumentom prividni vidni kut) ne prelazi veličinu 1⁰.

Za vidne kuteve prema markama veće od 1⁰ pogreška je proporcionalna veličini intervala. Razlog ovom prelazu je u tome, što se oko, pri većim vidnim kutevima mora kod ispitivanja jednakosti intervala sa obe strane nitnog križa, okretati oko svoje okretne tačke.

Pri viziranju sa durbinom veličina slike marke ovisi o udaljenosti, pa će se i tačnost viziranja mijenjati sa udaljenošću vizurne marke. Za viziranja na različitim udaljenostima najpovoljnije su zbog toga marke u obliku klina, jer se tu zadržava povoljnost odnosa niti i vidljivih intervala sa obje strane. Iz istog razloga upotrebljava se i nitni križ u obliku klina kod preciznih nivelira.

Primjenom durbina tačnost viziranja se povećava približno proporcionalno s povećanjem durbina, odnosno, srednja pogreška bit će:

$$m = \frac{c}{P}, \text{ gdje je } P \text{ povećanje durbina}$$

Ova zakonitost, data još po prof. Stampferu nije općenito prihvaćena, pa imamo i drugih oblika ove funkcije, ipak najviše je u skladu sa svojstvima oka. U prvom redu je ispitivanjem ustanovljeno da se i moć razdvajanja povećava proporcionalno sa povećanjem durbina, a i utjecaj paralakse nitnog križa slijedi tu zakonitost.

Neispravno povezivanje fiziološkog graničnog kuta sa pogreškom viziranja nailazimo u onim slučajevima, kada se veličina c interpretira, kao fiziološki granični kut. Navesti ćemo samo jedan karakterističan primjer iz literature. Dr Happach: »Zur Leistungssteigerung bei Nivellieren und Tachymetern« (Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 1952/1) kaže: »Ako to stvarno uspije (misli se smanjenje pogrešaka očitavanja, odnosno procjene, na povoljno malu mjeru, op. prev.) ostaje kao jedini izvor pogrešaka koji djeluje na rezultat mjerenja ograničena moć razdvajanja našeg oka, a koju označujemo sa fiziološkim graničnim kutem φ .

Za efekte koincidencije iznosi obično $\varphi_k = 50''$, a za efekte simetrije $\varphi_s = 30''$. Kod kasnije izvršenih pokusa određen je sa $\varphi = 40''$. Da smanjimo utjecaj fiziološkog graničnog kuta, upotrebljavamo durbine i mikroskope. Ako je njihovo

povećanje P , to se računa upliv nedostatnosti našeg oka koji je ostao $\psi = \frac{40''}{P}$. «

Ovakovom interpretacijom fizioloških svojstava oka i njihove povezanosti sa tačnostima mjerenja ne možemo se zadovoljiti. Ne samo što to dovodi do krivih pojmova o funkciji oka pri mjerenjima, već može navesti i na krive zaključke.

U vezi povezanosti svojstava oka i rezultata opažanja spomenimo još neke činjenice poznate iz zapažanja fiziologa:

- 1 — Kod raspolavljanja dužine ili intervala, oko čini sistematsku pogrešku. Većina ljudi to čini tako, da je u vertikali gornji dio manji, a u horizontali strana prema nosu (dakle nije za oba oka u istom smislu).
- 2 — Veličina pogreške podjele dužine od oka proporcionalna je veličini dužine i iznosi oko 1% dužine, za dužine pod kutem većim od 1°. Za manje dužine pogreška je veća. Za dužine ispod 20' pogreška je konstantna i iznosi 11" (Pravilo Volkmanna). Veličina od 11" odgovara redu veličine oštine koincidencije.
- 3 — Pogreška podjele dužine okom najmanja je u horizontalnom smjeru. U svojim opažanjima otkrio je Noetzi sistematsku pogrešku viziranja, koja je u uskoj vezi sa ovim pravilima. On je konstatirao pri viziranju raspolavljanjem intervala otklon niti u desno u iznosu 1/40 intervala. Pri viziranju sa dvostrukim nitima prividnog razmaka niti 40", može nastati sistematska pogreška reda veličine 1".
- 4 — Tačnost usporedbe dužine paralelnih crta je manja kod većeg razmaka crta. Još je netačnija usporedba dužina koje su nagnute; tu se pojavljuju i sistematske pogreške. Tako npr. vertikalne linije procjenjujemo kao dulje od horizontalnih (objektivno jednako dugih).
- 5 — Prenos mjera sa polja objekta u polje vida nije vjerno ni po dužini, ni po kutevima.

Značajno je, da se ove pogreške, kad ih spoznamo, mogu svijesno i vježbom umanjiti (Schober).

6 — Doimanje »horizontalno« i »vertikalno« ne slaže se sa stvarnim položajem horizontale i vertikale. Volkmann je našao odstupanje od objektivnog horizontalnog smjera oko $0,2^\circ$, a vertikalnog oko 3° .

Sachs i Meller našli su pojedinačna odstupanja okomito (subjektivno) — vertikalno / objektivno) i do 7° .

Za ocjenu »horizontalno« i »vertikalno« igraju ulogu i psihološki momenti. Oko je uvijek spremno uspoređivanju. Ako u prostoru ima horizontalnih linija (rub krova, prozori) i vertikalnih (zidovi, stupovi) i ako ove u prostoru ne stoje horizontalno, odnosno vertikalno, doći će do znatnih pogrešaka. Ova usporedba može biti direktna ili indirektna putem pamćenja ili komparacije u svijesti.

OKO I INSTRUMENT

Optički instrumenti olakšali su oku izvršenje njegovog zadatka pri mjerenju. To su u prvom redu durbin i mikroskop, osnovni subjektivni instrumenti koji su primijenjeni i kod geodetskih mjerenja. Dakle, subjektivni instrument pomaže oku, kao osnovnom subjektu mjerenja. Imajući u vidu optičko-fiziološka i psihološka svojstva oka, razumljivo je, što se različiti opažači razlikuju i što je svako mjerenje sa instrumentom podvrgnuto individualnim kolebanjima, u ovisnosti o konkretnim uslovima opažanja i načinu kako je oko na njih prilagođeno.

1 — Adaptacija oka prilikom mjerenja

Optimalna oštrina vida, a time i optimalna funkcija oka pri viziranju postići će se, ako je oko adaptirano na svjetlosno stanje vidnog polja.

Spomenuli smo, da je za adaptaciju čunjića potrebno vrijeme od oko 5 min., a ako se radi o naglom prelazu (npr. iz tame na svijetlo) i duže.

Oko se pri mjerenju mora nalaziti u izlaznoj pupili durбина, odnosno mikroskopa, kako bi zahvatilo cjelokupno vidno polje i adaptiralo se na njegovu rasvjetu. Iz ovog razloga poželjno je skinuti naočale koje korigiraju ametropiju oka, kako one ne bi smetale pravilnom položaju oka. (Naočale koje korigiraju astigmatizam moraju se zadržati). Ukoliko se izvan vidnog polja instrumenta nalaze izvori svjetlosti kojih se sjaj znatno razlikuje od sjaja u vidnom polju, poželjno je da s okom u toku mjerenja ne skrećemo na te plohe, a isto tako, da je u toku mjerenja drugo oko zatvoreno, kako ne bi njegovim utjecajem došlo do promjena adaptacije oka kojim mjerimo.

Adaptaciji mnogo smeta blještavo svjetlo, bilo primarnog izvora, bilo refleksi. Ako se radi o kratkotrajnom djelovanju (nekoliko sekundi) i ako nije prejako da izazove šok ili umor, to nije štetno, jer je stupila u akciju trenutačna α -adaptacija. Međutim, duže djelovanje prelazi u smetnju adaptacije i time doводи do smanjenja osjetljivosti mrežnice, kao i ostalih vidnih svojstava. Ovakav slučaj se može pojaviti prilikom očitavanja limba pomoću mikroskopa, kada po desimo prejaku rasvjetu pomoću zrcala. Smetnju adaptacije može izazvati i preslaba rasvjeta.

Općenito vrijedi pravilo, da rasvjeta očitavanja mikroskopa mora odgovarati rasvjeti vidnog polja durбина.

U protivnom slučaju, oko stalno mijenja stanje adaptacije i u času mjerenja nije adaptirano na odgovarajući svjetlosni nivo, što, kako je više puta istaknuto, umanjuje sposobnosti subjekta mjerenja — oka opažača. Pravilo koje smo istakli

vrijedi, naravno, kako za dnevnu, tako i umjetnu rasvjetu. Slijedi, pogrešno je jarko osvjetljavanje limba; pogrešno je pri mjerenjima uz lošu rasvjetu na terenu, umjetnom rasvjetom povoljno osvjetljivati limb. Takova mjerenja nužno moraju biti lošija, jer je poremećena adaptacija oka. Ispitivanja su pokazala općenito, da promjena rasvjete očitavanja mijenja tačnost mjerenja. Opaženi su čak i izvjesni sistematski uplivi.

Štetne reflekske u vidnom polju durbin (plohe snijega, cesta, kamenjar), kao i općenito preveliki sjaj vidnog polja (preko 10000 asb) poželjno je spriječiti pomoću filtera.

Duži ukrućeni pogled u instrument (dugo namještanje prilikom izvođenja mjerenja) smanjuje osjetljivost oka zbog djelovanja lokalne adaptacije; tačnost mjerenja se smanjuje.

Pri mjerenjima u laboratorijima noću, pogrešno je, ako čitav prostor nije osvjetljen, već samo vizurna marka. Oko adaptirano na tamu, nije u stanju da se u času viziranja, ako ono neposredno slijedi) adaptira na nivo rasvjete vidnog polja, a da ne govorimo i o mogućnosti pojava smetnji adaptacije.

Nepovoljno je, ako je oko, neposredno prije mjerenja, adaptirano na nivo rasvjete koji se znatnije razlikuje od nivoa u vidnom polju, odnosno mjernog objekta. O ovom treba voditi računa npr. pri mjerenjima noću.

2 — Akomodacija oka i mjerenje

Akomodirano oko nije poželjno pri mjerenjima. U akomodiranom oku ne postoji ravnoteža. Leća oka je labilna. Promjena rasvjete smanjuje širinu akomodacije. Ako je npr. oko akomodirano za promatranje na daljinu jasnog vida, a rasvjeta se u nekom drugom mjernom položaju smanji, pojavit će se neoštrina slike, jer se širina akomodacije smanjila. To je razlog što jednom izoštren nitni križ durbin može opet izgledati neoštar, ili, kod mikroskopa jednom izoštrena slika podjele postaje neoštra.

Loše je stoga češće spominjano pravilo, da okular prije mjerenja treba podešiti tako da slika nitnog križa bude u daljini jasnog vida tj. 25 cm od oka (npr. Kostić—Svečnikov: Nivelman 1936, str. 83). Vjerojatno do toga dolazi pogrešnim interpretiranjem pojma daljine jasnog vida. Međutim, oko u tom slučaju pozitivno akomodira bar za 3 dptr. Tačnost mjerenja će biti manja.

Pri mjerenju subjektivnim instrumentom treba opažanja vršiti sa okom u stanju mirovanja akomodacije, tj. uz okular podešen tako, da se za oko normalne refrakcije, slika nitnog križa nalazi na udaljenosti 1 do 2 m.

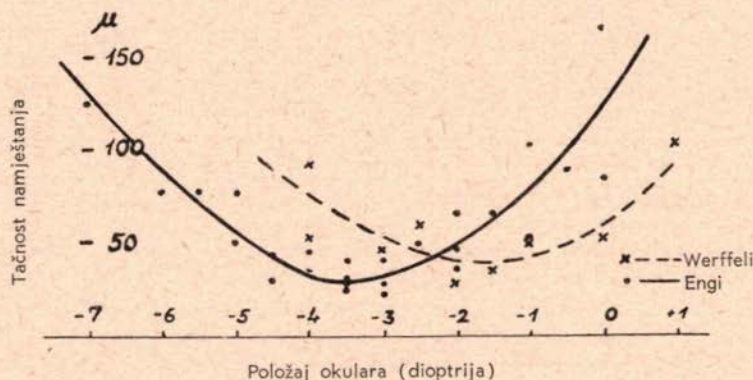
U tom slučaju, ne samo što postoji neovisnost o širini akomodacije, ne samo što je optički sistem u normalnom položaju i stabilniji, već je i utjecaj sferne aberacije oka najmanji. A da i ne govorimo da pri proizvoljnom namještanju uz akomodirano oko može doći i do umaranja oka.

Ispravnost ovog fiziološkog pravila i ovisnost tačnosti mjerenja o položaju okulara durbin, odnosno mikroskopa, pokazala su i praktična ispitivanja. Tako npr. P. Engi još 1921. god. [4] ispituje utjecaj položaja okulara durbin na tačnost viziranja i konstatira da postoji optimalan položaj okulara, ali ističe da su »fiziološki i psihološki procesi kod viziranja još premlao istraženi i u tolikoj mjeri ovisni o opažaču, da bi bilo teško postaviti zakonitosti«.

U daljnjem istraživanju ovih utjecaja ispitivao je tačnost namještanja nitnog križa u ravninu slike (durbin s vanjskim izoštravanjem) u ovisnosti o položaju okulara, odnosno akomodacionog stanja oka. Rezultati su prikazani na sl. 7 za dva opažača. Ovisnost tačnosti uklanjanja paralakse nitnog križa, a time i tačnosti

viziranja, o položaju okulara je iz slike očita. Optimalni položaj okulara ovisi naravno, o refrakcionom stanju oka, a prema modernim tumačenjima zakonitosti fiziološke optike, on odgovara položaju mirovanja akomodacije.

Konstatacije P. Engi-a potvrđene su kasnijim ispitivanjima. Postavlja se pitanje, kako postići optimalan položaj okulara? Pri podešavanju okulara okretati ćemo okular izvana prema unutra, sve dok ne opazimo ostru sliku niti. U tom slučaju će se nitni križ nalaziti u žarišnoj ravnini (za oko normalne refrakcije), odnosno njegova slika će biti u daljnjoj tački oka. Taj položaj preći ćemo najviše za 0,5 do 1 dptr. Ako je dioptrijska skala okulara ispravno justirana pročitati ćemo na skali $-0,5$ do -1 dptr. (za oko normalne refrakcije).



Sl. 7 — Ovisnost tačnosti namještanja nitnog križa u ravninu slike o položaju okulara

Isto pravilo vrijedi i za namještanje okulara mikroskopa. Pri mjerenjima treba nastojati izbjeći svaku mogućnost pojave akomodacije oka. Impuls konvergencije oka, promjena promjera pupile oka (a na promjenu veličine pupile utječe promjena svjetlosnog nivoa) utjecat će na akomodaciono stanje oka. Iako se neke stvari nužno zbivaju bez naše volje, ipak moramo, uklanjanjem bar onih uzročnosti koje poznajemo, pomoći oku u njegovoj složenoj funkciji u procesu mjerenja, a što će se očitovati i u konačnim rezultatima.

3 — Entoptičke pojave i umor oka

Umor oka je jedan vrlo važan faktor koji smanjuje tačnost mjerenja. Umor se najčešće pojavljuje postepeno i neko vrijeme neprimjetno. Vrlo jasan znak umora su entoptičke pojave.

Očna staklenina, koja ima ulogu optičkog medija između optičkog sistema oka i plohe slike-mrežnice, nije homogena, a ni posve prozirna. Odumrla i oštećena mjesta spriječavaju put zrakama svjetlosti i na mrežnici se javljaju dosta jasno ocrtane sjene. Čak i mikroskopski sitna oštećenja, zbog njihovog položaja između leće i mrežnice, mogu se ocrtati jasno. Sličnu pojavu mogu izazvati i čestice krvi na mrežnici. Te smetnje oko nesvjesno pri promatranju projicira u prostor i vidi ih u obliku tzv. »letećih mušica«. Ove pojave nazivamo entoptičkim pojavama. Ako su u vidnoj osi, miruju, i mogu prilično smetati opažanju okom i viziranju. Položene izvan osi stalno se pokreću, kad ih oko želi fiksirati.

Ove pojave naročito dolaze do izražaja pri promatranju svjetlih ploha (npr. neba) i izrazitije su pri malim pupilama, što je slučaj kod viziranja durbinom. Djelovanjem lokalne adaptacije brzo nestaju. Međutim, naročito dolaze do izražaja nakon bolesti oka i u umornom oku, kada je djelovanje lokalne adaptacije bitno smanjeno. Entoptičke pojave se ne mogu spriječiti ni ukloniti, jer su im uzrok fiziološke promjene u oku. Njihova jasna pojava i smetnje u toku mjerenja najbolji su signal opservatoru, da zbog umora oka mora prekinuti s opažanjem i odmoriti oko.

Umor oka može biti posljedica ne samo dužeg rada okom, već i psihičkog stanja, kao i neracionalnog rada, a naročito prisiljavanja oka za rad uz nepovoljne fiziološke i fizikalne uslove.

4 — Ispitivanje i vježbe vida

Za opservatora je nužno povremeno ispitivanje vida. Astigmatizam oka, koji se može razviti, smanjuje kvalitetu optičkog preslikavanja, a da ove činjenice nismo svijesni. Promjenom raspodjele svjetlosti uslijed aberacije dolazi i do promjene oštine vida i ostalih svojstava oka značajnih za proces mjerenja.

Još jedno ne smijemo izgubiti iz vida. Fiziološko pravilo kaže, da neupotrebljavanje, ili, neiskorištavanje sposobnosti osjetila može s vremenom dovesti do smanjenja tih sposobnosti. Ispitivanja su pokazala, da u fiziološkoj građi oka kod različitih ljudi nema razlika, iako u oštini vida postoji razlika. Npr. vanredno oštar vid kod ljudi na niskom stepenu civilizacije postignut je samo trajnom vježbom i potpunom upotrebom organa vida. Analogno zaključujemo i za mjerne sposobnosti oka.

Značaj formiranja manjih mjernih laboratorija pri geodetskim poduzećima i ustanovama ne leži samo u mogućnostima svestranijih ispitivanja instrumenata, već i u mogućnostima vježbi mjerenja, naročito za neiskusnije opservatore. Ispitivanja i vježbe na terenu, iako ponekad neizbježne, uvijek su skuplje.

ZAKLJUČAK

Na tačnost mjerenja utječu vrlo različiti uplivi. Jedan njihov dio formira se u fizikalnom stanju velikog mjernog laboratorija — terenu, drugi dio u svojstvima i stanju instrumenta i pribora, a treći, ne manje važan dio, u malom vidnom organu opservatora — njegovom optičkom, fiziološkom i psihološkom stanju. Oko, dakle, nije samo registrator određenog stanja sa deformacijama nastalim izvan njega, već i samo aktivan učesnik, koji unosi svoja subjektivna svojstva, sposobnosti i nedostatke u mjerni proces.

Kao živ organizam, oko ne sudjeluje pri tom statički, već se prilagođuje svojim izvanrednim mehanizmom na promjene i iznenadne smetnje složenom međuigrom optičke i fiziološke funkcije. Oko fiziološki nastoji da se prilagodi, da stvori što povoljnije uvjete promatranja u danim uslovima, što znači, nametnemo li oku nepovoljne uslove promatranja, ono će se umoriti, a time i svoje sposobnosti znatno smanjiti. Mijenjaju li se vanjski uvjeti, nastaje jedan složeni impulsni slijed promjena stanja. Opservator može svijesno znatno pomoći oku u toj njegovoj funkciji i obrnuto — odmoći.

Obraćamo li kod mjerenja pažnju samo na vanjske i instrumentalne uplive, a zanemarujemo okolnosti vezane uz složenu funkciju oka, zanemarujemo optimalnu adaptaciju oka, uzroke eventualnih smetnji, ne vodimo računa o utjecaju stanja rasvjete na vidne sposobnosti, o stanju akomodacije itd., tačnost mjerenja će se nužno smanjiti.

Pri analizi i ispitivanju rezultata mjerenja moramo uvijek imati u vidu i funkciju oka, što proširuje razmatranja, ali ih čini realnijim. Ali ne izgubimo pri tom iz vida, da fizikalno promatrati uzrok i posljedicu može biti jednostavno, biološki promatrati uzrok i posljedicu uvijek je složeno, jer i u najjednostavnijem slučaju postoji više uzročnosti. Ako samo jedan uzrok ne uzmemo u obzir, ili jednu smetnju biološkog toka, rezultati će se izmijeniti.

Konstruktori su uočili, da i najbolji subjektivni optički instrument može imati samo tada korisnu praktičnu primjenu, ako je potpuno prilagođen oku i njegovim svojstvima. Slijedi, da i stručnjak pri radu sa instrumentom, mora poznavati osnovna fiziološka i optička svojstva oka, kako bi optimalno primijenio ne samo vidnu funkciju oka, već i pravilno ocijenio terenske okolnosti opažanja, način signalizacije, pravilno rukovao sa mjernim instrumentom i u potpunosti koristio njegov kvalitet.

LITERATURA

- 1 — Prof. dr Zvonimir PAVIŠIĆ: Oftalmologija, Beograd—Zagreb 1957.
- 2 — Prof. dr Herbert SCHOBER: Das Sehen, Band I. Leipzig 1957, Band II. Leipzig 1958.
- 3 — Alfred Noetzi: Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernröhren (Dis. Zürich 1915.)
- 4 — Dr. Paul Engi: Zur optischen Distanzmessung, Schweizer. Z. Vermessungsw. 1922.

SADRŽAJ

U kraćem prikazu opisana su optička i fiziološka svojstva oka. Istaknuto je, da pri mjerenjima sa subjektivnim optičkim instrumentima, kao što su durbini i mikroskop, a koji su važni sastavni dijelovi geodetskih instrumenata, oko opažača čini sa optičkim instrumentom jednu cjelinu, pa o optičko-fiziološkim svojstvima i stanju oka nužno ovisi i tačnost izvršenih mjerenja. O ovim činjenicama pri mjerenjima često ne vodimo dovoljno računa.

Jedno od vrlo važnih svojstava oka je adaptacija tj. prilagođavanje oka na određeno svjetlosno stanje. Adaptacija oka je vrlo složen fiziološko-psihološki proces na što ukazuje i činjenica, da i adaptaciono stanje jednog oka utječe na drugo. Optimalna funkcija oka pri mjerenjima postići će se, međutim, samo onda, ako je oko adaptirano na postojeće stanje rasvjete. Poznavanje ovih činjenica je naročito važno u slučajevima, kada u toku mjerenja nastaju promjene stanja rasvjete u vidnom polju durbina ili mikroskopa, kada se pojavljuju izvori smetnje adaptacije, zatim, ako postoji različitost svjetlosnih nivoa vidnog polja i prostora instrumenta, kao i pri prelazu opažača u prostor drugog svjetlosnog nivoa. Iz ovog slijedi i jedno pravilo: Rasvjeta očitavanja treba odgovarati rasvjeti vidnog polja durbina.

Pri adaptaciji uz vrlo slabu rasvjetu (prelazno područje vida od činjica na štapiće — 0,02 do 50 asb) dolazi kod mnogih ljudi do izvjesnih poteškoća. Osim toga pri nižim svjetlosnim nivoima smanjuje se i moć razdvajanja oka, kao i ostala svojstva oka, što je dato grafičkim prikazima (sl. 5 i sl. 6), pa će se u ovim uslovima i tačnost mjerenja smanjiti. Ispitivanja su npr. pokazala, da postoji ovisnost tačnosti očitavanja o rasvjeti limba.

Isto tako tačnost mjerenja će se smanjiti i pri vrlo visokim svjetlosnim nivoima (preko 10 000 asb), a napomenimo da u ljetnim danima na cesti, uz obale mora, na kamenjaru, ili, zimi, na snijegu, sjaj doseže i vrijednosti od 50 000 do 100 000 asb. U ovim uslovima može doći do smetnji adaptacije i do brzog umora oka.

U daljnjem prikazu ukazano je na činjenicu, da akomodirano oko nije poželjno pri mjerenjima. U akomodiranom oku, prema ispitivanjima fiziologa, ne postoji ravnoteža, leća oka je labilna (prema Hess-u leća se u akomodiranom oku spušta i do 0,30 mm). Širina akomodacije smanjuje se promjenom rasvjete na niži nivo, što uzrokuje neoštrinu slike. Loše je stoga, ponekad spominjano pravilo, da okular pri mjerenjima treba prethodno podesiti tako, da slika nitnog križa bude na daljini jasnog vida (25 cm od oka).

Prema najnovijim ispitivanjima, položaj mirovanja akomodacije odgovara za oko normalne refrakcije daljini 1 do 2 m od oka, pa okular treba prije mjerenja podesiti, da slika bude na toj daljini. Na ovisnost tačnosti mjerenja o položaju okulara, a to znači i o akomodaciji oka, ukazao je već P. Engi 1922. god. (sl. 7), a to su potvrdila i kasnija ispitivanja. Značajan faktor koji može utjecati na tačnost mjerenja je i umor oka opservatora, koji može biti naročito uzrokovan mjerenjima uz nepovoljne fiziološke i fizikalne uslove, a što može biti i posljedica nepoznavanja fizioloških i optičkih svojstava oka. Na umor ukazuju entoptičke pojave pri mjerenjima, a koje su opisane.

Mjerenje sa instrumentima — opažanja, vrlo su složeni optičko-fiziološki i psihološki procesi. Vrlo složena funkcija oka sa relativno nesavršenom optičkom građom, a vanrednim svojstvima prilagođavanja — fiziološkim kontrastom, adaptacijom, lokalnom adaptacijom, akomodacijom, kao i svojstvima, kao što su fiziološki nystagmus, iradijacija, entoptičke pojave, zatim složena ovisnost moći razdvajanja oka, uvjetuju znalačko prilagođavanje operacijama mjerenja, kao i poznavanje optičko-fiziološke funkcije i svojstava oka, kako bi se optimalno koristilo mogućnosti oka i svojstva oka kao aktivnog učesnika mjerenja.