

FOTOGRAFIJA, zapisivanje pomoću svjetla, odnosno umijeće da se djelovanjem svjetla na nekoj na svjetlo osjetljivoj podlozi dobije vjerna slika predmeta. U užem smislu znači dobivanje crno-bijele ili obojene slike snimanog predmeta.

Osnovne osobitosti fotografije jesu: univerzalnost u registriranju zračenja, jer se registrira zračenje u širokom spektru, od kozmičkog do dalekog infracrvenog zračenja, uključujući i korpuskularno zračenje; sumativno djelovanje, jer za razliku od drugih primača koji registriraju proporcionalno intenzitetu zračenja (oko, foto-element, foto-čelija i dr.), fotografski materijal registrira ukupno primljenu količinu zračenja, pa je osim intenziteta zračenja važno i trajanje ozračivanja; učinak zračenja može se npr. razvijanjem, senzibiliziranjem i na druge načine pojačati više milijuna puta; fotografske su snimke objektivne, pa uz određenu kritičnost koriste kao dokazni materijal; vrlo brze pojave koje se ne mogu pratiti okom mogu se zapaziti fotografski uz ekstremno kratka trajanja ekspozicije, i do $\sim 10^{-6}$ sekunda; registriraju se okom nevidljive pojave, u rendgenografiji, ultraljubičastoj i infracrvenoj fotografiji i drugdje; nizom brzih snimaka prate se pokreti (kinematografija), što omogućava osim normalnog i ubrzano, odnosno usporeno reproduciranje (vremenska lupa).

Glavni aspekti fotografije jesu: *znanstvena fotografija*, kao zasebna grana prirodnih znanosti, koja zalazi u fiziku i kemiju i u uskoj je vezi s optikom, elektricitetom, kvantnom mehanikom, fotokemijom, koloidnom kemijom, fizikalnom kemijom i mnogim drugim disciplinama; *profesionalna fotografija* koja se primjenjuje u mnogim društvenim, privrednim i stručnim djelatnostima; *umjetnička fotografija* koristi se tehničkim mogućnostima fotografije za postizanje specifičnog likovnog izraza; *dokumentarna fotografija* daje kroz fotografije objektivne dokumente o događajima i dobu.

U ovom je stoljeću fotografija postala moćnim oruđem ljudskog rada i istraživanja. Primjenjuje se, u većoj ili manjoj mjeri, gotovo u svim područjima ljudskog djelovanja: u društvenom životu (amaterska, profesionalna, umjetnička fotografija, kinematografija, žurnalistika), u prirodnim i tehničkim znanostima (astronomija, rendgenografija, nuklearna istraživanja, spektroskopija, svemirska istraživanja), u medicini (radiografija, filmska dozimetrija, snimanje preparata, pacijenata), u tiskarstvu (fototisak, višbojni tisak, cinkografija, elektrofotografsko umnažanje, sito-tisak, foto-gravira), u industriji (industrijska radiografija, metalografija, registriranje kemijskih i mehaničkih industrijskih operacija, kinematografija), u bibliotekarstvu i informatici (mikrofilmovi, kopiranje dokumenata i dr.).

Zbog mnogih svojstava fotografija je, i pokraj najnovijih izuma i primjene elektroničke obrade i memoriranja informacija, čini se ostala nezamjenjiva.

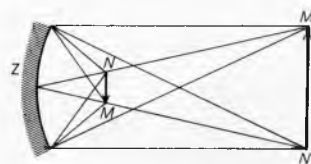
RAZVOJ FOTOGRAFIJE

Fotografski postupak sastoji se od dva bitno različita dijela: optičkog i kemijskog. Kemijski dio fotografskog postupka zaoštajao je za optičkim dijelom gotovo dva i pol stoljeća. Njihovom koordinacijom došlo je do neočekivanog razvoja fotografije. Fotografija spada među velike pronalaskе čovječanstva, te je polovicom XIX st. predstavljala veću senzaciju nego danas svemirski letovi. Fotografija se širila nevjerovatnom brzinom, i zahvatila je mase poklonika i oduševljenih istraživača.

Camera obscura. Osnovu optičkog dijela čini *camera obscura*, tamna komora. To je prostorija koja je potpuno zamračena, a sunčano svjetlo ulazi samo kroz rupicu načinjenu na stropu ili pobočnim stjenkama. Takvu komoru spominje arapski učenjak Ibn Al-Haitham (polatinjeno Alhazen) već prije 1038 godine. Njom su se služili astronomi za motrenje pomrčine Sunca. Girolamo Cardano u djelu objelodanjenom 1550 spominje upotrebu konveksne leće u otvoru na drvenom zaklopcu prozora, te kako se uz sunčano vrijeme može u sobi opažati sve što se zbiva na ulici. Još jasnije se vide slike na bijelom zastoru. Dakle, tamna je komora već služila radi dobivanja realnih slika predmeta izvan komore, na zastoru.

Giovanni Battista Porta u svom velikom djelu »Magiae naturalis« (1588) prikazuje primjenu kombinacije leće i konkavnog zrcala za dobivanje na zastoru uspravne i povećane slike, prema

konstrukciji na sl. 1. U zatamnjenoj prostoriji gledaocima je prikazivao slike onog što su glumci izvodili izvan te prostorije. Taj se postupak može smatrati pretečom kinematografije.

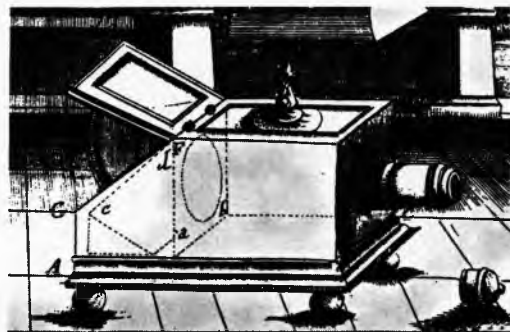


Sl. 1. Konstrukcija G. B. Porte za dobivanje uspravne realne slike na zastoru. MN Realna slika predmeta dobivena lećom; konkavno zrcalo Z tu realnu sliku preobrće i daje povećanu projekciju M'N' na zastoru

Daniel Barbaro (1568) spominje primjenu zaslon (dijafragme) uz leću, kako bi se postigla veća oštšina slike.

Kaspar Schott u svom djelu »Magia universalis naturae et artis« (1657) opisuje prijenosnu cameru obscuru (box-camera) koja se sastoji od dvije kutije bez po jedne plohe. Jedna kutija, nešto manja, može se pomicati unutar druge i nosi na sebi leću, a na drugoj kutiji je proziran zastor. Izvlačenjem ili uvlačenjem manje kutije izostrava se slika. Da bi se još dobila i uspravna slika upotrijebljene su dvije konveksne leće kojima se položaj mogao mijenjati da bi se dobila oštra slika na zastoru.

Prvu refleksnu, prijenosnu cameru obscuru opisao je i slikovno prikazao 1676 godine Johan Christoph Sturm, matematičar iz Nürnberga. Zrcalom pod kutem od 45° snop svjetla je iz horizontalnog smjera skrenut u vertikalni smjer, te je realna slika nastajala na horizontalno postavljenom navoštenom papiru.



Sl. 2. Refleksna boks-kamera Johanna Zahna, 1685

Godine 1685 njemački redovnik iz Würzburga, Johann Zahn, prikazao je nekoliko tipova malenih refleksnih boks-kamera s izvlačivim tubusom u kojem su se nalazile leće. On je prvi primijenio kombinaciju konveksne dugofokalne i konkavne kratkofokalne leće (teleobjektiv). Na sl. 2 prikazan je jedan tip nje-



Sl. 3. Prijenosna camera obscura s početka XIX st.

gove refleksne kamere. Otraga sa strane su štitnici od postranog svjetla da bi se nesmetano mogla motriti slika na prozračnom zastoru (navošten papir, mutno staklo). Na sl. 3 prikazana je takva prijenosna refleksna kamera iz početka XIX st.

I tako se može reći da je 1685 kamera već bila spremna i čekala fotografiju. Godine 1758 objavio je John Dollond nov sustav leća, kojima je uklonjena kromatična aberacija. Upotrijebio je jednu leću od flintskog stakla (velike disperzije) i drugu od krunskog stakla (malene disperzije), te je time načinjen prvi *akromat*.

Fotokemijska otkrića. Ideji i otkriću fotografije prethodila su otkrića o kemijskom učinku svjetla.

Johann Heinrich Schulze (1687—1744), profesor anatomije na Univerzitetu u Altdorfu blizu Nürnberga, otkrio je 1725 prvi fotokemijski učinak. Pokušavajući praviti fosfor, Schulze je prašak krede prelio dušičnom kiselinom, u kojoj je bilo otopljeno nešto srebra. Tu je suspenziju mučkao u bočici i stavio na prozor obasjan Suncem. Strana okrenuta Suncu postala je nakon nekog vremena zagasitocrvena, tj. purpurna, dočim je druga strana ostala bijela. S vanjske strane bočice stavljaov je zatim tamne papire s izrezima i onda ih je izložio svjetlu. Na bijeloj površini sedimenata krede pojavile su se odgovarajuće tamne figure.

Ponovio je pokus načinivši novu suspenziju krede i dušične kiseline, no efekt potamnjena na svjetlu je izostao. Onda se sjetio da je kod prvog pokusa dušična kiselina sadržavala i nešto srebra. Načinio je zato jaču otopinu srebra u dušičnoj kiselini, tj. srebro-nitrat i dodao kredu kao i prije. Učinak na svjetlu bio je sada pojačan. Uspješno je pravio pokuse i s drugim bijelim praškastim tvarima. Našao je da je potamnjeno to jače što je više srebra u dušičnoj kiselini. Pokazao je da ne samo direktno Sunčevo svjetlo već i na zrcalu ili zidu reflektirano svjetlo daje isti učinak. Taj učinak da svjetlom nastaje potamnjeno činio se čudan. Dalje je pokusima pokazao da potamnjeno nije nastalo indirektnim zagrijavanjem Sunčevim zrakama, jer se nikakvim zagrijavanjem nije mogao proizvesti učinak potamnjena, nego samo djelovanjem svjetla, tj. da se radi zaista o fotokemijskom učinku.

Giacomo Battista Beccaria, profesor fizike na Univerzitetu u Torinu, načinio je oko 1750 slične pokuse sa srebro-kloridom kao što je Schulze načinio sa srebro-nitratom, te je otkrio da je i srebro-klorid osjetljiv na svjetlo.

Carl Wilhelm Scheele (1742—1786), švedski kemičar, objavio je 1777 svoje pokuse o djelovanju svjetla na srebro-klorid. On je prašak posuo po papiru i izložio ga djelovanju svjetla dva tjedna. Prašak je pocrnio. Od Glaubera i drugih kemičara znao je da amonijak otapa srebro-klorid. Zato je nešto pocrnjelog praška nasuo u amonijak. Djelomično se prašak otopio, ali je ostao i neotopljen kao crni talog. Dokazao je da je taj crni talog metalno srebro reducirano utjecajem svjetla. Svojim je pokusima još pokazao da se pocrnjeli prašak nakon kupanja u amonijaku više ne mijenja pod utjecajem svjetla, tj. da je prašak postao fiksiran. Time je bila otkrivena prva fiksna supstancija amonijak. No, to je otkriće ostalo nezapaženo od kasnijih istraživača.

Dalje je Scheele otkrio spektralnu osjetljivost srebro-klorida. Na papir naprašen sa srebro-kloridom pustio je da djeluje spektar Sunčevog svjetla. Otkrio je da je ljubičasti dio spektra znatno aktivniji od svjetla ostalih boja.

Jean Senebier (1742—1809), knjižar u Ženevi, načinio je vrijedna kvantitativna otkrića spektralne osjetljivosti srebro-klorida. Našao je da za potamnjeno crvenim svjetlom treba toliko minuta koliko za potamnjeno ljubičastim svjetlom treba sekunda.

Godine 1800 otkrio je glasoviti astronom William Herschel, prilikom svojih termodinamičkih istraživanja Sunčevog spektra, infracrveno zračenje. To je navelo J. W. Rittera (1776—1810), kemičara u Jeni, da godine 1801, slijedeći metodu Scheela, ispita Sunčev spektar na strani koja se nastavlja na ljubičasti dio. Otkrio je ultraljubičasto zračenje i ustanovio da je ono još aktivnije nego ljubičasto zračenje s obzirom na redukcije srebra iz srebro-nitrata ili srebro-klorida.

Pronalazači fotografskog postupka. Istraživač koji je uspostavio vezu između otkrivača fotokemijskog učinka i prvog tražioca fotografskog učinka bio je dr William Lewis (1714—1781) u Kingstonu na Temzi. On je ponovio pokuse Schulzea i u svom djelu *Philosophical Commerce of Arts*, prvi je u Engleskoj opisao te pokuse. Poslije njegove smrti otkupio je Josiah Wedgewood, glasoviti lončar u Engleskoj, njegove bilješke o tim pokusima kao i kompilacije drugih autora. On je također preuzeo u svoju službu Lewisovog pomoćnika A. Chisholma. Nadao se, da bi se

fotokemijskim učinkom eventualno mogao koristiti pri oslikavanju porculanskih proizvoda. Tako je njegov četvrti sin Thomas od mladosti bio upoznat i s camerom obscurum i s fotokemijskim učinkom srebro-nitrata i srebro-klorida.

Thomas Wedgewood (1771—1805), engleski kemičar, ponovio je pokuse Schulzea sa srebro-nitratom. Namakao je papir ili bijelu kožu u otopini srebro-nitrata, te stavljaov na njih uzorke crteža ili plosnate predmete i izložio ih djelovanju svjetla. Na mjestima gdje je dopiralo svjetlo, papir ili koža su pocrnili. Dobivao je i polutonove, tj. zacrnjenje je nastajalo proporcionalno intenzitetu svjetla, što je prošlo kroz predložak. Pokušao je osvijetljavati papir i u cameri obscuri, ali nije uspio. Nije dovoljno dugo eksponirao, a srebro-nitrat je slabo osjetljiv na svjetlo. On je prvi osjetljivost srebrnih soli na svjetlo nastojao primijeniti kao fotografski postupak. Nažalost, dobivene slike nije uspio fiksirati. Bio je bolehljiv i mlad je umro, pa tako nije uspio fotografski postupak do kraja razraditi. On sam nije objavio rezultate svojih pokusa, nego o njima saznajemo iz pisama suvremenika i iz publikacije, što ju je objavio njegov prijatelj i suradnik H. Davy.

Humphry Davy (1778—1829), isprva apotekarski pomoćnik, kasnije (1801) postaje direktor kemijskog kraljevskog instituta u Londonu i 1802 profesor kemije. Te je godine boravio u Londonu Wedgewood s kojim se već od prije poznao, i te su godine vjerojatno i zajednički ponovili pokuse u vezi fotografskog postupka. Davy je bio jedan od urednika časopisa *Journal of the Royal Institution*, pa je u njemu objavio Wedgewoodove pokuse.

On je pokušao dobiti mikroskopske snimke pomoću camere obscurae, no nije uspio. Ni on nije uspio fiksirati slike, te su one za kratko vrijeme pocrnile.

Joseph Nicéphore Niepce (1765—1833) je 1816 dobio prvu sliku pomoću camere obscurae na papiru natopljenom sa srebro-kloridom uz ekspoziciju od barem jednog sata. Slika je bila negativna, tj. svjetlinama predmeta odgovarale su tamnine slike i obrnuto. Nije uspio slike fiksirati, pa zato nije mogao niti kopirati. Zato je tražio postupak kojim bi direktno dobio pozitivnu sliku. Tražio je tvari koje bi djelovanjem svjetla izbljeđivale. Tako je 1822 načinio prvu kopiju po postupku koji je on nazvao heliografijom, a koji čini osnovu za sve kasnije postupke reprodukcije slika (v. prilog u bakrotisku).

Louis Jaques Mandé Daguerre (1787—1851), bio je scenski slikar i jedan od izumitelja i organizatora uređaja nazvanog »Diorama«. To su bile scenske slike izrađene s obje strane prozirnog zastora, te se mijenjanjem osvijetljenja postupno mijenjala i scena. Za ono doba (1822) bila je to svoje vrste senzacija. Pri slikanju scena Daguerre se služio camerom obscurum, pa je vjerojatno tako došao i na ideju da bi se direktno djelovanjem svjetla mogla dobiti slika. U tom smislu je izvodio i neke pokuse na bazi srebro-klorida i fosfora. Od zajedničkog dobavljača Chevaliera u Parizu doznao je da se takvim pokusima bavi Niepce, te se počeo s njim dopisivati. Konačno je došlo do ugovora (14. XII 1829) da zajednički rade na problemu dobivanja slika djelovanjem svjetla. Tako je upoznao Niepceovu metodu izrade gravira pomoću metalnih ploča izloženih parama joda da bi se dobio pojačani efekt slike. Radeći s takvim pločama otkrio je 1831 osjetljivost srebro-jodida na svjetlo. Međutim, ta je osjetljivost bila suviše slaba da bi se mogla u kameri izazvati slika. Nakon što je umro Nicéphore Niepce (1833) on se vratio na pokuse sa srebro-jodidom. Uspjeh je doživio tek 1835, kad je slučajno otkrio proces *razvijanja slike*. On je, naime, jednog dana nakon dugotrajnog a bezuspješnog eksponiranja stavio takvu jodiziranu ploču u sandučić s priborom i kemikalijama. Kad je nakon nekoliko dana otvorio kutiju da ploču ponovno polira, našao je na svoje veliko začuđenje na ploči izrazitu sliku. Ispitujući s drugim pločama koja bi kemikalija mogla biti uzrokom »izvlačenja« slike, otkrio je konačno da se u sandučiću nalazilo nekoliko kapljica žive iz nekog razbijenog termometra i da su živine pare izazvale sliku. Tako je Daguerre spoznao da je dovoljno ploču manje osvijetliti, a onda nevidljivu—latentnu sliku živinim parama izvući—razviti.

1839 godine Daguerre je pokazao svoje umijeće Aragou, glasovitom fizičaru i astronomu, koji je uvidio svu važnost fotografskog postupka, te je izvjestio članove akademije o izumu Daguerre. Kao član akademije i kao poslanik u skupštini isposlovao je kod vlade da Daguerre dobije godišnju rentu od 6000 franaka, a Isi-

dor Niepce (kao nasljednik) 4000 franaka, s tim da objelodane postupak. To je i učinjeno, prvo jednim predavanjem (19. VIII 1839), a nešto kasnije je Daguerre objelodanio knjižicu s detaljnim uputama pod naslovom: *Historique et description des procédés du Daguerreotype et du Diorama*.

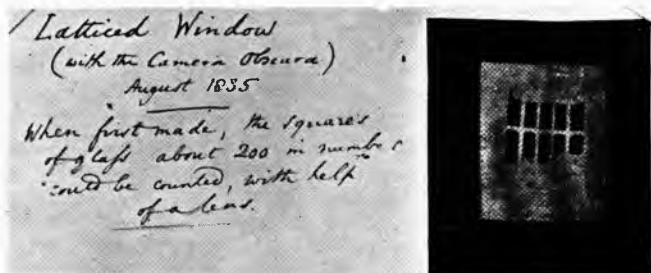


Sl. 4. Daguerreova kamera (proizveo Giroux) iz 1839

Postupak *dagerotipije* je slijedeći: bakrena posrebrana ploča dobro se polira i zatim pere slabom otopinom dušične kiseline, pa destiliranom vodom. U posebnoj se kutiji posrebrana strana izloži djelovanju para joda. Površina se prevuče mjedenožutim slojem srebro-jodida. Tako priredena ploča stavlja se u kameru obscuru i eksponira. U prvo je vrijeme uz Suncem obasjan objekt ekspozicija trajala oko 20 minuta. Nakon ekspozicije ništa se još ne raspoznaje na ploči. U drugom sandučiću izloži se sloj djelovanju živinih para koje se zagriju na 62 °C. Živa se hvata na osvijetljenim mjestima ploče i to proporcionalno osvijetljenju. Na tim mjestima nastaje živino zrcalo, dok ostala površina ostaje žućkaste boje i mat. Da bi se ploča fiksirala (ustalila), kupa se u vrućoj otopini natrijum-tiosulfata (u prvo vrijeme u koncentriranoj otopini natrijum-klorida).

Slika se sastoji od sjajnih i manje-više mat površina te se mora promatrati u određenom smjeru, kako bi se razabrale zrcalne površine. Budući da je slika direktni pozitiv, dobiven preslikavanjem pomoću objektiva, to su na njoj strane desno-lijevo preokrenute. Dagerotipijom se dobivaju vrlo oštre snimke (v. prilog u bakrotisku). Kontrasnost se može regulirati trajanjem razvijanja. Veliki je nedostatak u tome što se slika dobiva samo kao unikat, a ne može se umnožiti. Osim toga je površina slike vrlo osjetljiva na dodir i ogrebotine, pa se mora zaštititi. Velika je prednost tih slika što su trajne i nepromjenljive.

William Henri Fox Talbot (1800—1877) u prvim pokusima premazivao je fini pisači papir otopinom kuhinjske soli, a nakon sušenja otopinom srebro-nitrata. Izlažući cijele površine djelovanju svjetla, opazio je da rubovi znatno brže zacrne. Pretpostavio je da je na rubovima bila manja koncentracija natrijum-klorida, pa je ponovio pokuse premazujući papire s otopinom natrijum-klorida znatno manje koncentracije. Papiri su jednolično crnili,



Sl. 5. Talbotov najraniji sačuvani negativ na papiru

i to u znatno kraćem vremenu. On je tako otkrio da otopina natrijum-klorida velike koncentracije smanjuje osjetljivost papira i da bi kupanjem u otopini natrijum-klorida velike koncentracije mogao fiksirati slike. Pravio je kontaktne kopije tankih predmeta i crteža te ih fiksirao kupanjem u koncentriranoj otopini natrijum-

-klorida ili kasnije kalijum-jodida. Na taj je način dobio negativske slike (sl. 5). Tako je došao do važnog otkrića negativ-pozitiv postupka, što Niepceu nije uspjelo jer nije negativne mogao fiksirati. Pravio je snimke i s kamerom obscurum. Nedostaci su tog postupka bili vrlo duga ekspozicija, slike slabe jasnoće (zbog kopiranja kroz papir) i što su slike bile nedovoljno fiksirane, pa su s vremenom izbljebile.

Doznajući za uspješne pokuse Daguerrea, Talbot pospješuje svoje pokuse snimanja s kamerom. Nabavlja znatno bolju kameru s akromatskim objektivom i nastoji povećati osjetljivost svojih papira. Dočuo je da je J. B. Reade povećao osjetljivost kod svojih pokusa premazivanjem papira s galonitratom, te i on na taj način povećava osjetljivost svojih fotografskih papira. Neke nedovoljne eksponirane papire, na kojima se slika nije niti nazirala, htjede nanovo upotrijebiti te ih je zato ponovno premazao otopinom galonitrata. Na njegovo veliko začuđenje postepeno se pojavila slika nedovoljno eksponiranog objekta. Tako je Talbot otkrio proces kemijskog razvijanja latentne slike. Kemijsko razvijanje omogućilo mu je snimanje uz znatno kraću ekspoziciju.

Tako usavršen postupak patentirao je pod imenom *kalotipija*, a sastoji se u slijedećem: jedna strana papira premaže se otopinom srebro-nitrata i osuši. Zatim se premaže otopinom srebro-jodida, ispere i osuši. Tako *jodizirani* papir može stajati pohranjen. Prije upotrebe treba ga *senzibilizirati* premazivanjem otopinom *galonitrata*. To je otopina srebro-nitrata nešto zakišljena s octenom kiselinom i pomiješana zasićenom otopinom galne kiseline. Prije eksponiranja, papir treba osušiti, a nakon eksponiranja *razviti* u istoj otopini galonitrata i zatim *fiksirati* kupanjem u otopini kalijum-jodida. Kasnije je Talbot fiksirao svoje negativske papire u vrućoj otopini natrijum-tiosulfata (hiposulfit sode po tadašnjoj terminologiji). Nakon fiksiranja papir se pere i zatim osuši, te konačno navošti da postane proziran. Kopije od tako priređenih negativa dobivene su kontaktnim kopiranjem na klorosrebrnom papiru po prvotnom postupku.

Sir John Frederic William Herschel (1792—1871), sin glavovitog astronoma Williama Herschela, mnogo je pridonio razvoju fotografije sa znanstvenog stanovišta. On je, naime, još 1819 otkrio topljivost srebro-halogenida u otopini natrijum-tiosulfata, što je bilo nepoznato ostalim istraživačima, te im je fiksiranje stvaralo velike poteškoće. Doznajući krajem januara 1839 samo za suštinu Daguerreovog otkrića, odmah je u roku od nekoliko tjedana razradio fotografski postupak u namjeri da imitira postupak Daguerrea. Upotrijebio je papir sa slojem srebro-karbonata i snimio je sliku što je daje teleskop. Pokušao je fiksirati pomoću natrijum-tiosulfata što mu je potpuno uspjelo. Tako je u kratkom roku izradio postupak različit od postupaka ostalih istraživača, a toga nije bio svjestan. Već u martu iste godine čita u Royal Society radnju pod naslovom *On the Art of Photography; or the application of the chemical rays of light to the purpose of pictorial representation*. On je u toj radnji svratio pozornost na velike prednosti natrijum-tiosulfata za fiksiranje. Daguerre je taj način fiksiranja odmah prihvatio u svom postupku, dok se Talbot još dugo vremena uporno držao svog načina fiksiranja, premda se pokazao kao nedovoljno djelotvoran.

Herschel je prvi upotrijebio riječi *photographed* i *photographie* (1839), dok je imenicu *fotografija* prvi upotrijebio njemački astronom Mädler. Herschel je dalje uveo nazive *negativ* i *pozitiv*, te opisao postupak direktnog dobivanja pozitivne slike na papiru. Pravio je pokuse s fotografskim slojem na staklu i dobivene negativne kopirao na papir. Još je otkrio da je srebro-bromid osjetljiviji na svjetlo od svih drugih srebrnih soli. On je također otkrio da se negativ na staklu vidi kao pozitiv, ako se staklena ploča sa stražnje strane počadi ili se stavi tamna podloga.

Abel Niepce de Saint-Victor (1805—1870), rođak Nicéphore'a Niepce'a, razradio je i objelodanio 1847 i 1848 fotografski postupak uz primjenu stakla kao podloge i albumina kao veziva. Staklena ploča premaže se tankim slojem bjelanjka u kojem se nalazi nekoliko kapi otopine kalijum-jodida. Pošto se sloj osuši, ploča se kupa u kiseloj otopini srebro-nitrata. Nakon ekspozicije latentna slika se razvije s galnom kiselinom. Takve su ploče imale prednost pred papirima u tome što su bile savršeno providne, a slike na njima pokazivale su fine detalje. Osim toga, tako priređene ploče mogle su stajati neko vrijeme, a i nakon ekspozicije nisu se morale

odmah razvijati, nego tek nakon dva do tri tjedna. Veliki je nedostatak tih ploča bila vrlo slaba osjetljivost (ekspozicije 5 do 15 minuta), pa za portrete nisu dolazile u obzir. No, zato su bile prikladne za snimanje krajobraza, arhitekture i reprodukcije. Osobito su takve ploče bile prikladne za dijapozitive. Premda su neki profesionalni fotografi uspješno primijenili takve albuminske ploče, ipak, općenito nisu bile prihvaćene, pogotovu kad se pojavio znatno osjetljiviji, tzv. mokri postupak.

Frederic Scott Archer (1813—1857) radio je kao skulptor, pa upoznavši kalotipski postupak, služio se njime da dobije sliku osobe za koju je pravio poprsje. Pokušao je popraviti površinu papira premazujući papir tankim slojem kalodija (praskavi pamuk otopljen u alkoholu i eteru). Uvidjevši da kožica kolodija ne prijanja za papir nego se daje odvojiti, pokušao je kolodij nanositi na staklo i upotrijebiti taj sloj ne kao podlogu (što se do tada činilo) već kao vezivo za srebrne soli. No, kako osušeni kolodij nije više permeabilan za vodu i ostale fotografske otopine, to se je cijeli postupak morao izvoditi dok je kolodij još bio mokar. God. 1851 objavio je svoj *kolodij-postupak mokrih ploča*. Taj je postupak brzo potisnuo i dagerotipiju i kalotipiju. Po tom postupku mogle su se dobiti oštre snimke iste kao dagerotipijom, a mogle su se kopiranjem umnažati pozitivni kao kod kalotipije.

Postupak je sljedeći: na čistu se staklenu ploču nalije i jednolično nanese kolodij, kome je dodana otopina kalijum-jodida. Zatim se ploča kupa u otopini srebro-nitrata i time *sensibilizira*. Još mokra se ekspozira i odmah nakon ekspozicije razvije i to polijevajući sloj otopinom pirogalola i srebro-nitrata (galonitratom). Konačno se fiksira otopinom natrijum-tiosulfata (kasnije kalijum-cijanidom) dok ne postane prozirna. Sve je trebalo obaviti u roku od 10 do 12 minuta. Za cijelog postupka nije se kolodij smio osušiti (sl. 6). Unatoč razmjerno kompliciranog postupka, velika je prednost bila znatno veća osjetljivost *mokrih ploča*. Ekspozicije su bile od 10 s do 1,5 min.



Sl. 6. Prijenosna šatorska tamna komora za fotografsku obradu po mokrom postupku (oko 1865)

Razvoj tehnologije fotografskih materijala. Dok su otkrića fotokemijskog učinka i fotografskog postupka slijedila u razmjerno velikim vremenskim razmacima, različita usavršenja u postupku priređivanja fotografskih materijala uslijedila su znatno brže.

Dva mlada člana Amaterskog fotografskog društva u Liverpoolu, W. B. Bolton (1848—1889) i B. J. Sayce (1839—1895), uspjeli su 1864 prirediti kolodij-emulziju i to sa srebro-bromidom umjesto sa srebro-jodidom. U otopini kolodija koja je sadržavala neki bromid dodavana je otopina srebro-nitrata. Emulziju je trebalo samo naliti na ploču. Isprva su savjetovali da se tako nalivena ploča prelije otopinom tanina, te kolodij ostane i nakon sušenja permeabilan za razvijanje. Kasnije su i tanin dodali emulziji. Ploče s takvom emulzijom imale su manju osjetljivost od mokrih ploča, pa se nisu mnogo upotrebljavale, osim za vanjska snimanja.

Dr Richard Leach Maddox (1816—1902), engleski liječnik, izvrstan mikroskopičar i amater fotograf, opisao je 1871 u British Journal of Photography svoje pokuse koje je izveo tražeći zamjenu za kolodij. On je priređivao emulziju sa želatinom, koja

je sadržavala nešto dušične kiseline, i otopinom kadmijum-bromida i otopinom srebro-nitrata. Tu je emulziju nanosio na ploče koje je upotrebljavao osušene. No, kako je precipitacija izvedena uz suvišak srebra, a nije ni pranjem bio uklonjen nastali nitrat, to su te ploče bile vrlo male osjetljivosti.

John Burger, londonski fotograf, proizvodio je i prodavao 1873 želatinsku bromosrebrnu emulziju, koju su fotografi mogli sami nanositi na ploče. Kako se ljeti, uz povišene temperature, želatina razgrađivala (fermentirala) unatoč primjene različitih antiseptičnih sredstava, Burger je počeo proizvoditi suhe fotografske ploče. Može se uzeti da je on prvi uveo praktičan postupak proizvodnje suhih želatinskih fotografskih ploča.

Iste godine u jesen neovisno su J. King i J. Johnston otkrili i objelodanili potrebu pranja emulzije, da se isperu nastale soli (nitrat). Johnston je to činio tako da je emulziju osušio, zatim kidao u komadiće i te komadiće ispirao.

R. Kennett, foto-amater u Londonu, 1874 počeo je prodavati *suhe ploče*, kojih je emulzija bila ispirana po Johnstonovoj metodi. Da bi se odstranio suvišak vode što ga je emulzija primila za vrijeme ispiranja, on je nakon ispiranja emulziju rastalio i na povišenoj temperaturi držao je više sati, čak do 24 sata. Te su ploče bile daleko osjetljivije od svih dotadašnjih fotografskih ploča. I baš ta velika osjetljivost smetala je fotografe te su odbijali upotrebu takvih ploča (često su preeksponirali, a žuto svjetlo u tamnoj komori izazivalo je jaku mrenu). Kennett nije bio svjestan da je velika osjetljivost bila postignuta dugotrajnom digestijom (kuhanjem). 1876 firma Liverpool Dry Plate Co. počela je proizvoditi suhe ploče po Kennettovom postupku.

C. Bonnett, stručni fotograf u Londonu, objelodanio je 1877 u časopisu The British Journal of Photography, da je svoje ploče velike osjetljivosti dobio na taj način, što je emulziju priređivao uz suvišak kalijum-bromida i kuhao je 2 i više dana, već prema željenoj osjetljivosti.

Godine 1880 proizvode se fotografske ploče strojno, a 1884 tvrtka George Eastman (Rochester) proizvodi *stripping film*. Na papir prevučeni tankim slojem topljive želatine nanosi se sloj emulzije. Nakon razvijanja i fiksiranja emulzijski sloj se odvaja od papira i hvata na staklo i tako suši. Na taj se način dobiva negativ na staklu, a pri snimanju je podloga bila laka i gipka (smotani film).

1889 ista tvrtka Eastman uvodi *filmsku* podlogu iz nitroceluloze (celuloid), koja je i gipka, laka, providna i stabilna s obzirom na fotografske kemikalije. Uz sva dobra svojstva celuloid se kasnije morao zamijeniti drugim prozirnim tvarima, jer je vrlo eksplozivan te su nastale teške nesreće uslijed eksplozija. Tako su od 50-tih godina uvedene tzv. sigurnosne podloge.

Optička senzibilizacija. Sasvim slučajno pronašao je 1873 god. H. W. Vogel, da se područje spektralne osjetljivosti može proširiti. On se pri svojim istraživanjima Sunčevog spektra služio fotografskim pločama koje su imale nekakav crvenkasti antihalo-sloj nanesen neposredno ispod emulzije. Pri snimanju spektra pokazalo se, da osjetljivost normalno opada prema modrozelenom području, kao i kod svih ostalih fotografskih ploča toga vremena. No, njegove su ploče pokazivale ponovni porast osjetljivosti u zelenom području. Vogel je bio naslutio da je proširenje područja osjetljivosti nastalo utjecajem onog bojila, što je bilo upotrijebljeno za antihalo-sloj. I zaista, kad je ploče oprao u alkoholnoj otopini i uklonio antihalo-sloj, nestalo je osjetljivosti u zelenom. Dalje je ispitivao djelovanje niza bojila. Pokazalo se, da neka bojila proširuju područje osjetljivosti, a druga ne proširuju. Djelotvorna bojila daju osjetljivost u onom spektralnom području, u kojem ta bojila sama apsorbiraju svjetlo: crvenkasta bojila apsorbiraju svjetlo zelenog područja, pa zato fotografski sloj čine osjetljivim u zelenom području.

Bojila koja proširuju područje spektralne osjetljivosti nazvana su kasnije *optički senzibilizatori*, jer senzibiliziraju (čine osjetljivim) fotografski sloj za optičko zračenje, tj. vidljivo svjetlo. Već od prvih dana primjenjivali su se optički senzibilizatori na dva načina: pridodavanjem malene količine bojila emulziji ili, pak, kupanjem fotografskih ploča u otopinama bojila. Ovaj drugi način je bio naročito prikladan za ispitivanja djelotvornosti različitih bojila.

Cijeli niz istraživača počeo se baviti sustavnim traganjem za senzibilizatorima. Praktična primjena počela je otkrićem eozina (tetrabromfluoroscena) i naročito eritrozina (tetraodfluoroscena). Osobito odlučnu ulogu za pronalaženje praktički primjenjivih senzibilizatora odigrala je tvrtka Farbwerke, Höchst, koja je kroz neko razdoblje jedina proizvodila senzibilizatore. Godine 1902 otkriveno je etilno crvenilo kao dobar senzibilizator, a zatim je 1904. ista tvrtka proizvela cio niz senzibilizatora za zeleno i žuto područje, kao što su: ortokrom, pinaverdol i pinakrom. Prvi praktički primjenljiv senzibilizator za crveno područje proizvela je ista tvrtka 1906 pod imenom pinacianol. Te su iste godine proizvedene i prve pankromatski senzibilizirane ploče. Onda je došlo razdoblje, u kojem su pojedine tvornice fotografskih materijala u svojim istraživačkim laboratorijima počele sistematska istraživanja na području senzibilizatora. U razdoblju od 1928 do 1930 nastaje prava prekretnica, jer su se uz senzibilizatore počeli primjenjivati i tzv. supersenzibilizatori. To su dodaci koji sami za sebe ne senzibiliziraju, ali u prikladnoj kombinaciji s nekim senzibilizatorom znatno pojačavaju spektralnu osjetljivost.

Čim se je našla mogućnost proširenja spektralne osjetljivosti na područje crvenog svjetla, počelo je traganje i za infracrvenim senzibilizatorima. Kratko vrijeme iza otkrića pinacianola, otkriven je prvi takav senzibilizator dicijanin. Bio je to slab senzibilizator, a uz to je izazivao mrenu fotografskog sloja. Tek godine 1919 otkriven je mnogo bolji senzibilizator nazvan kriptocijanin. On nije izazivao mrenu a davao je maksimum osjetljivosti u području oko 750 nm. Poslije su još otkriveni neocijanin (1925) s maksimum osjetljivosti pri 850 nm i ksenocijanin (1930) s maksimum osjetljivosti pri 1100 nm. Naravno, za slikovne snimke takva senzibilizacija nije potrebna, ali je zato potrebna za znanstvena i tehnička snimanja.

OPTIČKI UREDAJI ZA FOTOGRAFIJU

Za izradu fotografskih snimaka služe različiti uređaji koji se nazivaju već prema namjeni. Tako razlikujemo fotografske aparate za snimanje, kontaktno kopiranje, kopiranje uz povećavanje, projiciranje i sl. U većini slučajeva radi se o projekciji realne slike predmeta na fotografski sloj pomoću objektiva, optičkog uređaja koji se sastoji najčešće od više leća prikladno složenih da bi se dobila što bolja slika snimljenog predmeta.

Fotografski postupak sastoji se od dvije bitne faze: *optičke*, stvaranja realne slike na fotografskom sloju, i *fotokemijske*, odnosno *fotofizikalne*, izazivanje (proizvođenje) vidljive i trajne slike na fotografskom materijalu. Ako se u prvoj fazi ne stvori što savršenija realna slika, to se u drugoj fazi ni na kakav način ne može ta slika poboljšati. Za dobivanje dobrih fotografskih snimaka bitan je preduvjet dobar objektiv.

Da bi se moglo što bolje shvatiti sva opsežnost problema pri izradi objektiva i značajke pojedinih tipova objektiva, potrebno je, makar i u najkraćim crtama, osvrnuti se na optička svojstva leća i probleme preslikavanja pomoću leća.

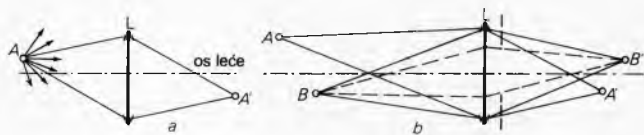
Predmet kao izvor svjetla. Bilo da predmet direktno svijetli, bilo da samo reflektira svjetlo drugog nekog izvora, mora ga se shvatiti kao skup svijetlih točaka, obično različitog intenziteta i različite udaljenosti od fotografskog aparata. Skupine svijetlih točaka čine plohe predmeta. Geometrijski se postavlja problem preslikavanja tih pojedinačnih točaka u prostoru na ravnu plohu određene veličine.

Za to preslikavanje dolazi u obzir direktno emitirano svjetlo (direktni izvori svjetla) ili difuzno reflektirano svjetlo s predmeta koji sami ne svijetle (indirektni izvori svjetla) dok usmjereno reflektirano svjetlo ne dolazi u obzir, šta više ono smeta.

Preslikavanje pomoću leća. Samo se s idealnom lećom točke predmeta preslikava u točke slike, pravce predmeta kao pravce na slici, bez obzira na vrstu svjetla, kojim se preslikava. U geometrijskoj optici uzima se da se takvom idealu približava tanka leća (debljina teži 0).

Za preslikavanje dolazi u obzir samo konvergentna (pozitivna) leća. Svijetla točka *A* na sl. 7 a zrači u svim smjerovima. Leća hvata samo razmjerno uzak snop svjetla, te se tim uhvaćenim snopom formira svijetla točka *A'* kao slika točke *A*. Svakoju točki

A, B itd. odgovara pripadni snop svjetla kojemu je vrh u određenoj točki predmeta, a ograničen je konturom leće (sl. 7 b). Stavi li se uz leću neki zaslon, smanjit će se otvor leće, a time će se suziti i snop svjetla te smanjiti svjetloća slike.



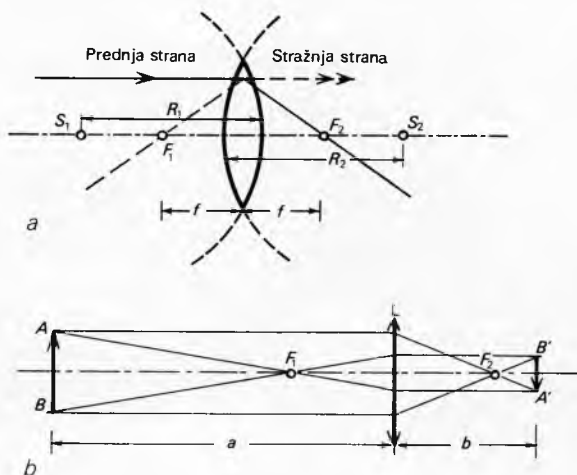
Sl. 7. Preslikavanje pomoću leće. a) Leća zahvaća snop svjetla što izlazi iz točke *A* predmeta, te stvara realnu sliku te točke *A'*; b) svaka se pojedina točka preslikava posredstvom cijele leće

Preslikavanje se može izvesti uz različite udaljenosti predmeta od leće, uz različite jakosti leće, uz različite otvore leća, te u tim različitim slučajevima nastaju i različiti odnosi između predmeta i slike.

Svojstva konvergentnih leća. Konvergentne leće su bikonveksne ili konkavno-konveksne; omeđene su kuglinim plohama (sl. 8 a). *S*₁ je prednje središte, *S*₂ stražnje središte, *R*₁ i *R*₂ radijusi kuglastih ploha, *F*₁ i *F*₂ prednje, odnosno stražnje žarište (fokus), *f* žarišna (fokalna) daljina, *n* indeks loma tvari leće. Za male *f* vrijedi formula:

$$f = \frac{1}{(n-1) \left(\frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2} \right)}$$

Za konkavno-konveksnu leću drugi će član biti negativan. Na sl. 8 b prikazan je način konstruiranja slike pomoću leće.



Sl. 8. Konvergentna tanka leća: a) njene značajke s obzirom na preslikavanje, *S*₁, *S*₂ središta sfernih ploha, *R*₁, *R*₂ radijusi tih ploha, *F*₁, *F*₂ prednje, odnosno stražnje žarište, *f* žarišna daljina; b) konstrukcija slike *A'B'* udaljenog predmeta *AB*, a i *b* udaljenost predmeta, odnosno slike od leće

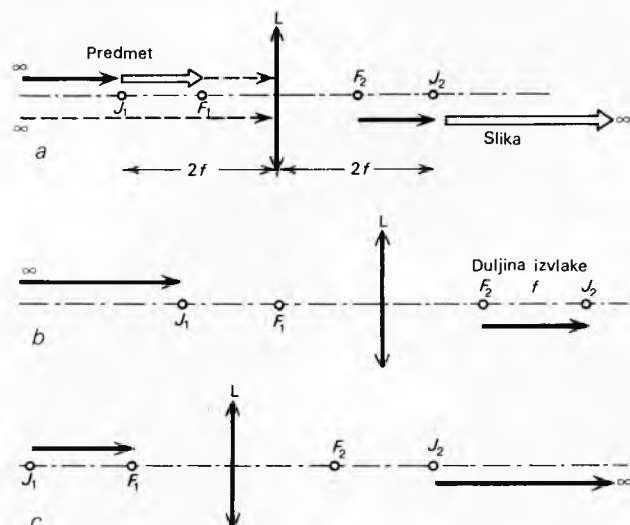
Lijevo od leće je strana predmeta, a desno je strana slike. *a* i *b* su udaljenosti predmeta, odnosno slike od ravnine leće. Ravnina kroz *A'* i *B'* okomita na os leće zove se ravnina izoštravanja (fokusiranja). Da bi se računski mogle odrediti udaljenosti i veličine predmeta i slike služi se izrazom za tanke leće (tzv. jednadžbom konjugacije):

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Sve točke predmeta, koje leže u ravnini okomitoj na os leće, preslikavaju se opet u ravnini okomitoj na os leće. Svakoju udaljenosti *a* odgovara posebna ravnina preslikavanja ili kako se u fotografiji kaže ravnina izoštravanja. Predmeti različito udaljeni od leće imaju različite ravnine izoštravanja.

Odnosi daljina. Na sl. 9 a grafički je prikazano pomicanje predmeta i odgovarajuće pomicanje slike. Iz nje se razabira da se od predmeta koji se nalazi u beskonačnosti stvara slika u stražnjem žarištu *F*₂. Kako se predmet pomiče prema prednjoj točki dvo-

struke žarišne daljine f_1 , tako se slika pomiče od F_2 prema f_2 stražnjoj točki dvostruke žarišne daljine. Ako se predmet nalazi u f_1 slika se nalazi u f_2 . Pri daljem pomicanju predmeta iz f_1 do F_1 slika se udaljuje od f_2 do u beskonačnost. Ako predmet dođe još bliže leći, dakle između F_1 i leće, tada uopće više ne nastaje realna slika, nego imaginarna. To je slučaj *lupe* koja za fotografsko preslikavanje nema značenja.



Sl. 9. Grafički prikaz pomicanja predmeta i odgovarajuće slike pri preslikavanju konvergentnom lećom. a) Opći slučaj F_1, F_2 žarišta, f_1, f_2 točke jednakosti, $2f$ dvostruka žarišna daljina; b) obični fotografski slučaj: udaljenosti predmeta veća od dvostruke žarišne daljine, slika umanjena između F_2 i f_2 ; c) slučaj projektor, odnosno snimanja uz povećanje: predmet između f_1 i F_1 , slika uvećana iza f_2

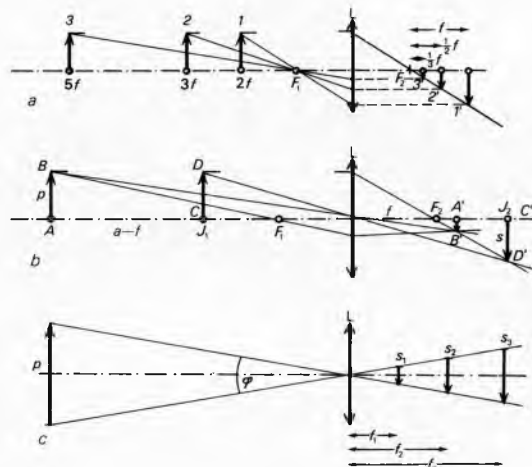
Posebno je na sl. 9 b prikazan slučaj, koji se odnosi na makrosnimanje. Ako je udaljenost predmeta $d > 2f$, slika nastaje negdje između F_2 i f_2 , pa dužina $F_2 f_2 = f$ odgovara najvećoj izvlaci objektiv. Cijeli prostor ∞ do f_1 preslikava se na prostor $F_2 f_2$. Točke predmeta koje se nalaze u različitoj udaljenosti od leće, dati će i slike u različitim udaljenostima u prostoru $F_2 f_2$. No, fotografski se sloj nalazi u jednoj određenoj udaljenosti, pa se zato ne mogu sve točke predmeta točno preslikati na fotografski sloj.

Na sl. 9 c prikazan je slučaj mikrosnimanja, odnosno slučaj projektor. U tom se slučaju prostor $F_1 f_1$ preslikava u prostor f_2 do ∞ . Predmet leži točno ili barem približno u jednoj ravnini (dijapozitivska slika, mikroskopski preparat), pa se opet preslikava u ravninu.

Izračunavanje se udaljenosti b slike od leće kao i veličine slike pojednostavljuje, ako se udaljenost a predmeta od leće izrazi u žarišnim daljinama f . Na sl. 10 a je prikazana konstrukcija slike za slučajeve da je udaljenost predmeta od leće $a = 2f, 3f$ i $5f$. Razabira se da se slika isprva naglo pa sve sporije primiče žarištu. Izvlaka objektiv (tj. koliko se objektiv mora izvući da se

izoštri slika na mutnom staklu fotografskog aparata) $i = b - f$ bi u slučaju $a = 2f$ bila baš $i = f$, a već za $a = 3f$ bila bi samo $\frac{1}{2}f$ kako se to razabira iz tabl. 1 gdje su navedene udaljenosti slike b i odgovarajuće izvlake i za nekoliko udaljenosti a predmeta, sve izraženo u žarišnim daljinama f . Kod običnih fotografskih aparata je najveća izvlaka samo dio žarišne daljine, jer se snimaju predmeti u većoj udaljenosti ($a \gg 2f$). No, za snimanje uz povećanje slike (mikrosnimanje) izvlaka mora biti veća od žarišne daljine.

Odnosi veličina. Prema sl. 10 b razabira se da je $C'D' = CD$ tj. da su slika i predmet po veličini jednake kad se predmet nalazi u točki f_1 (a slika u točki f_2). Zato se točke f_1 i f_2 zovu točke



Sl. 10. Konstrukcije za određivanje udaljenosti i veličine slike dobivene konvergentnom lećom. a) Isti predmet u više udaljenosti i odgovarajući položaji slike; b) konstrukcije preslikavanja po kojima se iz sličnosti trokuta izvedu formule za određivanje odnosa udaljenosti i veličina slike i predmeta; c) konstrukcija određivanja veličine slike vrlo udaljenog predmeta

jednakosti. Ako se predmet udaljuje od dvostruke žarišne daljine (iz točke f_1), slika po veličini opada od prave veličine do minimalne veličine u žarištu koja ovisi o vidnom kutu φ i žarišnoj daljini f kako je to prikazano na sl. 10 c. Za daleki predmet bit će slika to veća, što je žarišna daljina veća. Leće velike žarišne daljine daju veće slike u žarištu od onih malene žarišne daljine. Općenito, veličina slike s ovisna je o veličini predmeta p , udaljenosti predmeta od središnje ravnine leće a i o žarišnoj daljini f .

Iz sličnosti trokuta (sl. 10 b) slijede relacije:

$$s : p = b : a \quad s : p = (b - f) : f \quad s : p = f : (a - f)$$

$$s = \frac{b}{a} \cdot p \quad s = \frac{b - f}{f} \cdot p \quad s = \frac{f}{a - f} \cdot p$$

Tablica 2

POVEĆANJE, ODN. SMANJENJE LEĆE U OVISNOSTI O UDALJENOSTI PREDMETA

Udaljenost a predmeta od leće	Povećanje m
$2f$	1 (prava veličina)
$3f$	$\frac{1}{2}$
$4f$	$\frac{1}{3}$ (smanjenje)
nf	$\frac{1}{n-1}$
$\frac{3}{2}f$	2
$\frac{4}{3}f$	3 (povećanje)
$\frac{5}{4}f$	4
$\frac{n+1}{n}f$	n

Tablica 1

IZVLAKA RAVNINE IZOŠTRAVANJA OD STRAŽNJEG ŽARIŠTA U OVISNOSTI O UDALJENOSTIMA PREDMETA I SLIKE

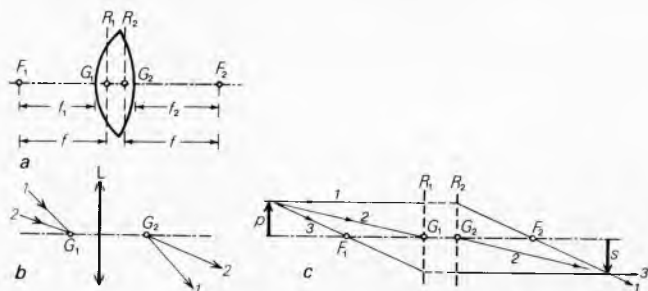
Udaljenost predmeta a	Udaljenost slike b	Izvlaka objektiv $i = b - f$
$2f$	$2f$	f
$3f$	$\frac{3}{2}f$	$\frac{1}{2}f$
$4f$	$\frac{4}{3}f$	$\frac{1}{3}f$
$5f$	$\frac{5}{4}f$	$\frac{1}{4}f$
$11f$	$\frac{11}{10}f$	$\frac{1}{10}f$
$101f$	$\frac{101}{100}f$	$\frac{1}{100}f$

Izraz $m = \frac{b}{a} = \frac{b-f}{f} = \frac{f}{a-f}$ daje omjer smanjenja, odnosno povećanja slike s obzirom na predmet. U tabl. 2 dano je povećanje m za niz udaljenosti a opet izražene u žarišnim daljinama.

Iz tablice se razabira da će od dviju leća različitih žarišnih daljina, za istu udaljenost predmeta, manju sliku dati leća manje žarišne daljine (ako je $a > 2f$). Obrnuto će za $a < 2f$ leća manje žarišne daljine dati veću sliku, nego leća veće žarišne daljine.

Debela leća. Idealna leća preslikava savršeno točku u točku, pravac u pravac, ravninu u ravninu.

U stanovitoj mjeri ti su zahtjevi ispunjeni za tzv. *tanke leće*, i to ako se iskorišćuje samo njihov središnji dio, dakle, uz vrlo malen otvor zasлона. Ali i u tom slučaju tanke leće pokazuju odstupanje u odnosu na idealnu leću. Za praktičan rad ne dolaze u obzir tanke leće nego se upotrebljavaju tzv. *debele leće*. Za debelu leću moraju se uvesti posebne veličine i oznake, kako je to obilježeno na sl. 11 a. F_1 i F_2 su prednje i stražnje žarište, f_1 i f_2 su prednja i stražnja žarišna daljina, a mjeri se od površine leće do fokusa. G_1 i G_2 su glavne točke, R_1 i R_2 su glavne ravnine, tj. ravnine kroz glavne točke, a okomite na os leće. Žarišne daljine f_1 i f_2 su općenito različite, no ako se mjere od glavnih točaka, tada je $F_1G_1 = F_2G_2 = f$. Onda se f naziva *ekvivalentna žarišna daljina*. Na sl. 11 b definirane su glavne točke: sve ulazne zrake usmjerene prema G_1 pri ulazu u leću izlaze usmjereno od točke G_2 pri izlazu iz leće i to paralelno s ulaznom zrakom.



Sl. 11. Značajke debele leće. a) Glavne oznake: F_1 , F_2 prednje i stražnje žarište; f_1 , f_2 prednja i stražnja žarišna daljina; G_1 , G_2 glavne točke; R_1 , R_2 glavne ravnine; b) prikaz značenja glavnih točaka, c) konstrukcija određivanja položaja i veličine slike s određenog predmeta p

Kod debele leće, odnosno kod sustava leća, glavne točke i glavne ravnine imaju osobitu ulogu. Pri konstrukcijama i proračunima odnosa predmeta i slike sve se udaljenosti određuju s obzirom na R_1 i R_2 , i to na strani predmeta od R_1 (prednje glavne ravnine), a na strani slike od R_2 (stražnje glavne ravnine). Za konstrukciju slike služi se istim zrakama kao i kod tanke leće, samo na način kako prikazuje sl. 11 c. Uz takvo određivanje udaljenosti vrijedi i za debelu leću odnos:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

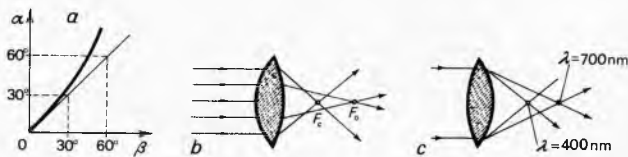
kao i ostali odnosi što su spomenuti za tanku leću. Pri tome se mjeri a od R_1 , b od R_2 , f od R_1 , odnosno R_2 .

Pogreške leća. Pri preslikavanju predmeta debelim lećama nastaju različite pogreške preslikavanja. Da se one koliko je moguće umanje, jer se potpuno ne mogu ukloniti, kombiniraju se sustavi od više leća. Prilikom projektiranja kombinacija leća unaprijed se mora odlučiti koje se pogreške želi naročito smanjiti i do koje mjere ih se želi smanjiti.

Pogreške debelih leća, a isto tako i sustava leća, koje nastaju pri preslikavanju jesu: sferna aberacija, kromatska aberacija, astigmatizam, koma, zakrivljenost polja slike i distorzija slike. Astigmatizam i koma su zapravo lateralne aberacije. Glavni razlozi nastajanja pogrešaka leća su slijedeći: 1 Kut loma nije strogo proporcionalan kutu upadanja (kako to pokazuje sl. 12 a). 2 Uz isti kut upadanja, kut loma je različit za različite duljine vala (dispersija). 3 Svaki površinski element leće daje svoju posebnu sliku točke, te od iste točke objekta nastaje niz slika koje se ne podudaraju. Indeksi loma nekih optičkih stakala dani su u tabl. 3.

Sferna aberacija. Kod leća sa sfernim plohama, a takve je najjednostavnije izrađivati, ne podudara se žarište za rubne i

osne zrake (sl. 12 b) te tako nastaje pogreška u preslikavanju, koja se naziva sferna aberacija. Kod konvergentnih leća rubne zrake se sijeku bliže leći od osnih zraka. Kod divergentnih leća produženja zraka također se sijeku bliže leći za rubne zrake negoli za osne zrake. Doda li se konvergentnoj leći negativnu leću od stakla većeg indeksa loma, to će negativna leća pomaknuti sjecište rubnih zraka više nego sjecište osnih zraka. Takvom se kombinacijom može u dobroj mjeri ukloniti sferna aberacija.



Sl. 12. Sferna i kromatična aberacija. a) Prikaz razmjernosti kuta upadanja α i kuta loma β , b) različita žarišta za osne F_0 i rubne F_R zrake (sferna aberacija), c) različita žarišta za ljubičasto i crveno svjetlo (kromatična aberacija)

Druga je mogućnost uklanjanja sferne aberacije asferičnom lećom, tj. lećom koja nije omeđena kuglastim plohama. No, takve se leće teško izrađuju pa su i vrlo skupe.

Kromatična aberacija. Indeks loma ovisan je o valnoj duljini. Radi toga su različita i žarišta, odnosno žarišne daljine iste leće za različite valne duljine, kako je to prikazano na sl. 12 c. Ako se izoštava s obzirom na modro svjetlo (~ 400 nm) dobiju se oko slike točke žuti i crveni kolobari. Ako li se izoštava s obzirom na crveno svjetlo (~ 700 nm), tada će oko slike točke nastati zeleni i modri kolobari. Isto tako, sliku cijelog predmeta prate kolobari u ostalim bojama. Takva pogreška leća ili sustava leća zove se kromatična aberacija.

Tablica 3

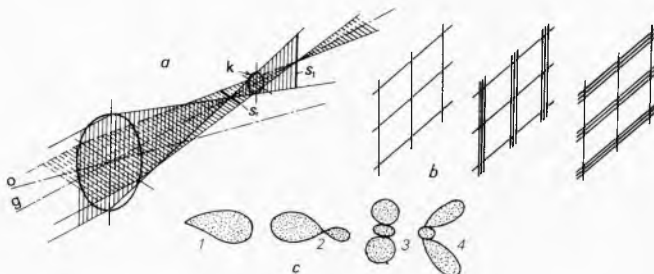
INDEKSI LOMA S OBIZIROM NA ZRAK

Vrst stakla	Duljine vala nm						
	400	450	500	550	600	650	700
Silikatno flintsko staklo	1,6528	1,6391	1,6302	1,6240	1,6193	1,6157	1,6129
Borato flintsko staklo	1,5938	1,5858	1,5812	1,5761	1,5730	1,5705	1,5685
Teško krunsko staklo	1,5917	1,5855	1,5812	1,5780	1,5755	1,5736	1,5720
Lagano krunsko staklo	1,5232	1,5174	1,5134	1,5104	1,5082	1,5064	1,5049
Kremeno staklo	1,5577	1,5519	1,5488	1,5460	1,5438	1,5421	1,5407

Uslijed kromatične aberacije žarište je kod konvergentnih leća više udaljeno od leće za crveno svjetlo nego za modro. Doda li se k pozitivnoj leći slabija negativna leća od stakla veće disperzije ona će jače udaljiti sjecište za plavo svjetlo, a manje za crveno. Kromatična aberacija se dakle uklanja kombinacijom konvergentne leće od krunskog stakla i divergentne leće od flintskog stakla, slijepljenih kanadskim balzomom.

Kombinacija leća, kod koje je uklonjena kromatična aberacija naziva se *akromat*.

Astigmatizam. Točke predmeta izvan osi leće, iz kojih snopovi svjetla koso upadaju na leću, ne preslikavaju se opet u točke nego u male dužine, i to nastaju u dvije različite udaljenosti kako to



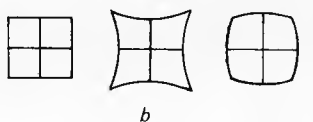
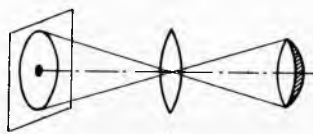
Sl. 13. Astigmatizam. a) Prikaz nastanka astigmatičke slike: o optička os leće, g glavna zraka, s_r radijalna, s_t transverzalna slika točke koja se preslikava, k kružnici najpovoljnijeg izoštravanja; b) rešetkasti predmet i njegove dvije slike izoštrene radijalno, odnosno transverzalno; c) neki oblici kome

prikazuje sl. 13 a. Jedna slika je postavljena radijalno s obzirom na os sustava (radijalna slika), a druga transversalno (transverzalna slika). Radijalna slika (dužina) leži u ravnini položenoj kroz točku što se preslikava i os leće. Transverzalna slika je na tu ravninu okomita. Obje su slike (dužine), dakle, međusobno okomite. U međuprostoru između dviju oštro ograničenih dužina nastaju disperzijske elipse, odnosno krug. Predmet koji se sastoji od sustava paralelnih i okomitih pravaca, npr. kakva mreža, rešetka na prozoru i slično, neće se moći izoštriti u cijelosti. Ili će biti oštri radijalni elementi ili transversalni elementi, ali ne mogu biti i jedni i drugi (kako je to prikazano na sl. 13 b). Pogreška astigmatizma naročito se očituje na rubovima formata preslikavanja. Smanjivanje otvora leće (zaslona) nema utjecaja na pogrešku astigmatizma. Ona nastaje otuda, što svaki plošni element leće daje svoju posebnu sliku, a ta se slika razlikuje osobito po položaju za koso upadne snopove svjetla, dakle za točke znatno udaljene od osi leće.

Leće korigirane s obzirom na astigmatizam nazivaju se *anastigmati*.

Koma (rep). Astigmatičko preslikavanje nastaje unatoč vrlo malenog otvora zaslona. Ako se još otvor zaslona poveća, nastaju neoštrine u obliku disperzijskih likova vrlo različitog oblika, koji se nazivaju koma, a neki su prikazani na sl. 13 c. Koma nastaje uglavnom zbog preslikavanja uz velik otvor zaslona i uz kosi upadni snop svjetla, dakle za točke izvan osi objektiva (sferna aberacija za koso upadne snopove svjetla). Leće, odnosno objektivi, kojima je u znatnoj mjeri uklonjena pogreška kome nazivaju se *aplanati*.

Zakrivljenost polja slike. Ta se pogreška odnosi na raspored točaka predmeta i odgovarajućih točaka slike. Točke predmeta smještene u ravnini okomitoj na osi objektiva preslikavaju se na zakrivljenu plohu, kako to prikazuje sl. 14 a. Zakrivljenost polja slike u uskoj je vezi s pojavom astigmatizma.

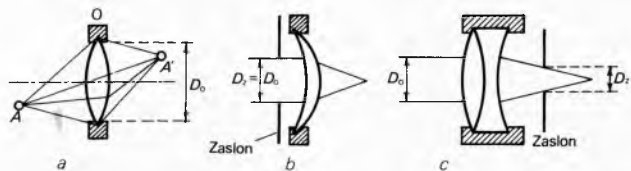


Sl. 14. Zakrivljenost polja i distorzija slike. a Zakrivljeno polje izoštrene slike, b slike rešetkastog predmeta uz pozitivnu, odnosno negativnu distorziju

Distorzija slike. Ako je povećanje za različito velike objekte jednako, tada je preslikavanje vjerno. Ako je za točke dalje od osi povećanje veće ili manje nego ono za točke bliže osi, tada nastaje iskrivljenje slike (distorzija).

Ako je za točke udaljenije od osi povećanje veće, nastaje tzv. pozitivna distorzija (»poput jastučića«), ako li je za udaljenije točke manje povećanje, nastaje tzv. negativna distorzija (»poput barilca«), kako je to prikazano na sl. 14 b. Distorzija nije pogreška u smislu preslikavanja pojedine točke, nego se odnosi na međusobni smještaj točaka predmeta i odgovarajućih točaka slike.

Otvor leće, odnosno objektiva. Snopovi svjetla kojima se preslikava kroz objektiv nužno su ograničeni. Slobodna leća ograničuje snop prolaznog svjetla svojim rubom (sl. 15 a). U tom

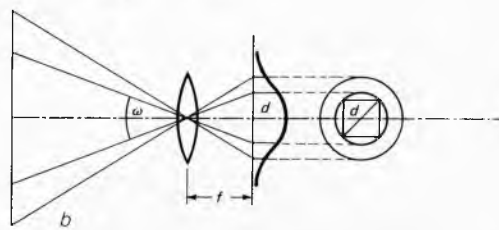
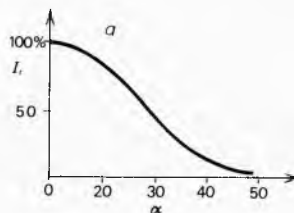


Sl. 15. Otvor objektiva: a određen okvirom, b određen zaslonom u paralelnom snopu ispred objektiva, c određen zaslonom u konvergentnom snopu iza ili unutar objektiva; D_0 promjer prolaznog snopa, D_z promjer zaslona

slučaju promjer leće odgovara djelotvornom otvoru leće. Leće se, međutim, nalaze smještene u nekim okvirima te umjesto ruba leće promjer okvira određuje otvor leće (sl. 15 a). No, i mimo okvira leće postavljaju se uz fotografske objektivne posebni zasloni ili dijafragme, koje još dalje sužuju djelotvorni otvor ob-

jektiva. Ti se zasloni stavljaju iz više razloga: da se izluče zrake, koje bi višestrukom refleksijom ili ogibom smetale čistoći slike (sporedne slike), da se smanji svjetloća slike, da se poveća tzv. dubinska oština slike. U najjednostavnijem slučaju stavlja se zaslon ispred leće (sl. 15 b). Tada promjer zaslona D_z odgovara promjeru djelotvornog otvora objektiva D_0 ($D_0 = D_z$). Kod složenih objektiva stavlja se zaslon negdje između dijelova, gdje je ulazni snop svjetla već sužen prijelazom kroz prednji sastavni dio objektiva. U tom će slučaju (sl. 15 c) promjeru otvora zaslona D_z odgovarati neki veći promjer otvora objektiva D_0 ($D_0 > D_z$). Kao promjer D_0 definira se promjer ulaznog snopa svjetla paralelnog s osi objektiva, što prolazi kroz otvor zaslona objektiva. Uz najveći otvor zaslona D_0 odgovara promjeru okvira leće.

Kutni otvor objektiva. Preslikava li se jednolično svijetla površina, pokazuje se da ravnina slike nije jednolično osvijetljena.



Sl. 16. Kutni otvor objektiva. a Relativni raspored intenziteta osvijetljenja I_r u ovisnosti o upadnom kutu α snopa zraka prema osi objektiva, b određenje kutnog otvora ω po dopustivom smanjenju intenziteta osvijetljenja

Sredina (oko probodišta optičke osi) je najsvjetlija, te osvijetljenje radijalno opada. Naime, za točke svijetle ravnine, koje se nalaze dalje od optičke osi objektiva, prolazi samo uski snop svjetla kroz objektiv (naročito ako je složen), tj. za kose snopove objektiv djeluje kao zaslon. To opadanje osvijetljenja u ravnini slike postoji za svaki objektiv bez obzira na žarišnu daljinu, otvor ili duljinu tubusa objektiva. Na sl. 16 a grafički je dan relativni raspored intenziteta osvijetljenja u ovisnosti o upadnom kutu snopa zraka prema osi objektiva. Osvijetljeno područje kontinuirano prelazi u tamu. Zato se za sliku može upotrijebiti samo dovoljno osvijetljeno područje, te se iskorišćuje samo središnji dio.

Iskorištenim svijetlim područjem određen je i kutni otvor objektiva, a time i format slike kako to prikazuje sl. 16 b. Kao normalni kutni otvor uzima se $\omega = 53^\circ$. U tom je slučaju promjer d iskoristivog područja jednak žarišnoj daljini ($d = f$), a intenzitet osvijetljenja u uglovima iznosi oko 65% intenziteta u središtu slike. Kod objektiva velike žarišne daljine radi duljine tubusa objektiva može se koristiti samo manji kutni otvor i to $20^\circ \dots 37^\circ$. Za njihov format vrijedi odnos $1,5 d < f < 2,5 d$. Specijalni širokokutni objektivi vrlo zbijene građe (kratak tubus objektiva) iskorišćuju kutni otvor $76^\circ \dots 90^\circ$ ($0,5 d < f < 1,5 d$).

Odnosi svjetloće. Svjetloća slike S proporcionalna je površini otvora objektiva, dakle kvadratu promjera otvora D_0 :

$$S \sim D_0^2.$$

Slika dalekog predmeta je u žarištu i njezina je površina to veća što je veća žarišna daljina f objektiva. Uz jednak otvor objektiva biti će svjetloća slike to manja, što je površina slike veća.

Površina slike raste s kvadratom žarišne daljine, pa svjetloća slike opada s kvadratom žarišne daljine:

$$S \sim \frac{1}{f^2}.$$

Prema tome će biti:

$$S = k \left(\frac{D_0}{f} \right)^2,$$

gdje je k koeficijent proporcionalnosti.

Omjer f/D_0 nazvan je *relativni otvor objektiva* r . Prema tome je:

$$S = \frac{k}{r^2}.$$

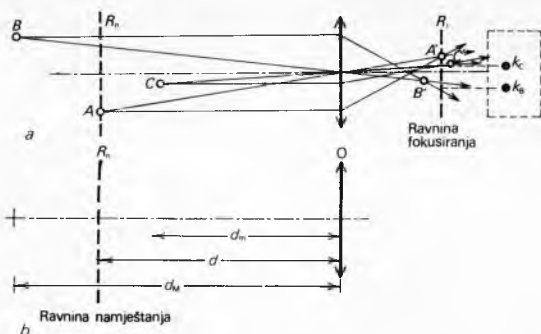
Svjetloća slike u žarištu obrnuto je proporcionalna kvadratu relativnog otvora objektiva. Običaj je, da se relativni otvor izražava tzv. *f-brojevima*: $f/2,8$; $f/4,5$; $f/22$ itd., odnosno $1:2,8$; $1:4,5$; $1:22$.

Na fotografskim aparatima obilježene su oznake zaslona s odgovarajućim relativnim otvorima. Te su oznake tako postavljene, da svaka slijedeća znači smanjenje površine otvora na polovicu, a time i smanjenje svjetloće slike na polovicu. Dijametar otvora D_0 smanjuje se, naravno, u omjeru $1:\sqrt{2}$. Različiti sustavi obilježavanja relativnog otvora prikazani su u tabl. 4, gdje su r_1 , r_2 i r_3 oznake za tri različita sustava što se susreću u praksi.

Tablica 4
TRI SUSTAVA OZNAKA RELATIVNIH OTVORA

log r	r_1	r_2	r_3	log r	r_1	r_2	r_3
0,00	1,0	—	—	0,75	5,6	—	—
0,05	—	1,12	—	0,80	—	6,3	—
0,10	—	—	1,25	0,85	—	—	7,1
0,15	1,4	—	—	0,90	8,0	—	—
0,20	—	1,6	—	0,95	—	8,9	—
0,25	—	—	1,8	1,00	—	—	10,0
0,30	2,2	—	—	1,05	11,2	—	—
0,35	—	2,2	—	1,10	—	12,6	—
0,40	—	—	2,5	1,15	—	—	14,1
0,45	2,8	—	—	1,20	16,0	—	—
0,50	—	3,2	—	1,25	—	17,8	—
0,55	—	—	3,5	1,30	—	—	20,0
0,60	4,0	—	—	1,35	22,4	—	—
0,65	—	4,5	—	1,40	—	25,1	—
0,70	—	—	5,0	1,45	—	—	28,2

Odnosi oštine. Posve oštro preslikava se samo jedna ravnina predmetnog prostora, i to ravnina okomita na os objektiva. Obično su predmeti prostorni, pa nije moguće sve točke predmeta posve oštro preslikati. Međutim, s obzirom na ograničenu sposobnost razdvajanja oka, nije ni potrebno da su sve točke savršeno preslikane. U ravnini izoštavanja dobivaju se dobro izoštrene samo točke, koje leže u određenoj ravnini namještanja, kako je to prikazano na sl. 17 a. Točke izvan ravnine namještanja preslikavaju



Sl. 17. Oština slike. a) Raspored točaka A' , B' , C' točaka različitih udaljenosti od objektiva; R_1 ravnina namještanja; R_2 ravnina izoštavanja; k_1 , k_2 kružići neoštine; b) prikaz određene dubinske oštine; O objektiva; R_1 ravnina namještanja; d_M , d_m maksimalna, odnosno minimalna udaljenost u predmetnom prostoru unutar kojih će točke predmeta biti preslikane uz dopustive veličine kružića neoštine

se u ravnini izoštavanja kao manji ili veći kružići (kružići neoštine). Do stanovite veličine oko ne razlikuje savršeno oštre točke i kružići neoštine, te nam se čini, da se i točke izvan ravnine namještanja jednako oštro preslikavaju. To vrijedi samo do izvjesne udaljenosti ispred i iza ravnine namještanja. U tom smislu govori se o dubinskoj oštini. Koliko se dubina predmetnog prostora može smatrati da je oštro preslikana ovisi o tome, koliki

se promjer c kružića tolerira. Može se uzeti da je prosječna sposobnost razdvajanja oka 3 lučne minute. Uzme li se kao normalnu udaljenost motrenja pozitivne kopije 25 cm, to se za kružić neoštine može uzeti:

$$c = \frac{f}{1000}.$$

Na temelju određenog promjera kružića neoštine, žarišne daljine i relativnog otvora može se dalje izračunati područje oštine.

Od neke izvjesne udaljenosti od objektiva pa nadalje, sve do ∞ svi predmeti se preslikavaju oštro. Ta udaljenost se naziva hiperfokalna udaljenost, bilježi sa H i izražava u metrima. Ta je udaljenost približno određena izrazom:

$$H = \frac{f^2}{cr} = \frac{1000 f}{r},$$

gdje je f izražen istom mjerom kao i H .

(Npr. $f = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$; $r = f/4,5$;

$$H = \frac{1000 \cdot 0,1}{4,5} = 20 \text{ m}).$$

Pomoću H može se izračunati dubinska oština za bilo koju udaljenost d ravnine namještanja (sl. 17 b) pomoću slijedećih formula:

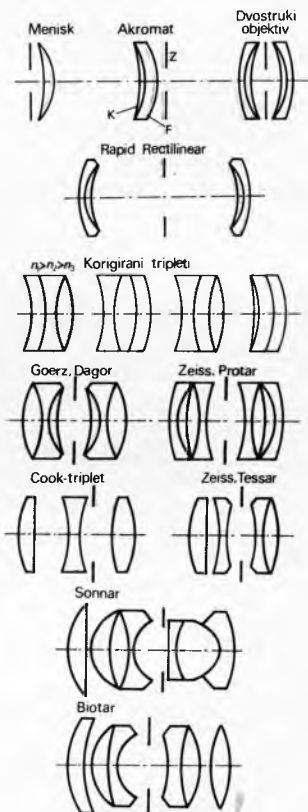
$$d_M = \frac{Hd}{H-d}; \quad d_m = \frac{Hd}{H+d};$$

gdje su d_M i d_m maksimalna, odnosno minimalna udaljenost za koju je preslikavanje oštro. Njihova razlika $d_M - d_m$ je *dubinska oština*. Po tim se formulama izračunavaju tablice dubinske oštine. Što je žarišna daljina objektiva manja, to je kružić neoštine manji s obzirom na istu udaljenost točke od ravnine namještanja. Dakle, za objektivne manje žarišne daljine je dubinska oština veća, nego za objektivne velikih žarišnih daljina. Što je relativni otvor veći, to će dubinska oština biti veća. Za isti objektiv dubinska oština se povećava povećanjem relativnog otvora (f -broja).

Glavni tipovi objektiva.

Kao najjednostavniji objektiv može poslužiti i običan *menisk*. Pogreške preslikavanja mogu se donekle smanjiti smanjenjem otvora zaslona i njegovim položajem. Ako se stavi iza meniska, nastaje negativna (bačvasta) distorzija, ako ispred meniska, nastaje pozitivna (jastučasta) distorzija.

Slijepljena jaka konvergentna leća iz krunskog stakla (malene disperzije) i slaba divergentna leća iz flintskog stakla (velike disperzije) čine jednostavan *akromat* kojim je u dobroj mjeri korigirana i sferna aberacija. Takav dublet sam za sebe ugrađuje se samo u najjeftinije fotografske aparate, a zaslon se stavlja iza

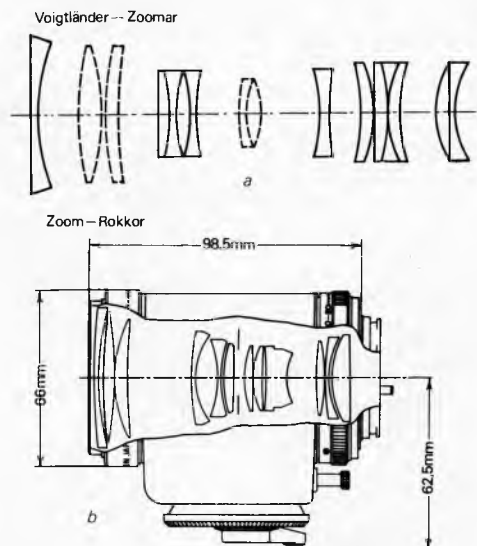


Sl. 18. Tipovi objektiva od najjednostavnijeg meniska do vrlo složenih Sonnara i Biotara

objektiva. Mnoge se pogreške preslikavanja mogu u znatnoj mjeri ukloniti primjenom *dvostrukog objektiva*. Zaslon se u tom slučaju stavlja između prednjeg i stražnjeg dijela objektiva. Na taj se način dobiva veći otvor leće, nestaje distorzija slike (suprotno djelovanje zaslona), a i sferna aberacija je bolje korigirana. Dvostruki objektiv mogu biti simetrični i asimetrični. Prvi takvi

rišne daljine u zoom-objektivu ostvaruje se pomicanjem jedne ili više leća ukomponiranih u sustavu — objektivu.

Prvi zoom-objektiv za fotografski aparat, *Voigtländer-Zoomar* pojavio se na tržištu 1959. On je predviđen za 35 mm jednooku refleksnu kameru i ima žarišnu daljinu 36...82 mm i otvor $f/2,8$. Izgled tog objektiva je na sl. 24 a. Sastoji se od 14 leća u pet grupa, tri stabilne a dvije pomične. Karakteristike objektiva su vrlo dobre, ali ipak ne takve kao objektiva s fiksnom žarišnom daljinom. Kod većih žarišnih daljina pojavljuje se pozitivna distorzija, a kod manjih negativna distorzija.



Sl. 24. Zoom-objektiv. a Prvi takav objektiv s dva pomična elementa, b suvremeni zoom-objektiv s namještanjem oštine pomicanjem cijelog objektiva, s unaprijed odabranom žarišnom daljinom, i to za različite žarišne daljine



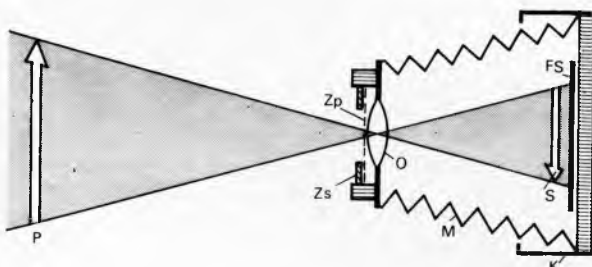
Sl. 25. Zoom-Rokkor objektiv, jakosti 2,8, kojemu se žarišna daljina može mijenjati od 4 do 8 cm, a kutni otvor od 59° do 31°

Presjek suvremenog objektiva s promjenjivom žarišnom daljinom (*Zoom-Rokkor*) prikazan je na slici 24 b, a njegov izgled na sl. 25.

Fotografski aparati

Fotografski aparati, nazivani i kamere, izrađeni su na principu *camere obscurae*. Princip fotografskog aparata prikazan je na sl. 26. Glavni su mu dijelovi: kućište K, objektiv O, zaslon Zs, zapor Zp, i neka spremnica za fotografski sloj FS, koja se nalazi u dnu tamne komore. Kućište aparata izgrađeno je od laganog ali čvrstog materijala (metala), te nosi sve ostale dijelove. Na prednjoj se strani nalazi objektiv koji je s kućištem spojen pomoću nekog sustava za pomicanje objektiva, koji je na slici samo simboliziran mijehom M. Pomoću držača može se objektiv

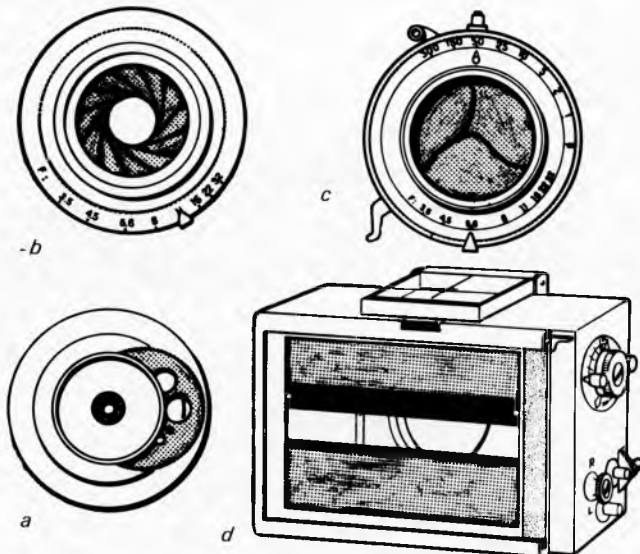
pomicati bliže kućištu ili dalje od njega. Na aparatima manjeg formata nema mijeha nego se objektiv nalazi na tubusu, koji se onda izvlači ili uvlači u kućište i tako podešava oštrinu slike.



Sl. 26. Princip fotografskog aparata za snimanje. P Predmet; S slika; K kućište; O objektiv; Zp zapor; Zs zaslon; M mijeh (ili pomična cijev); FS fotografski sloj

Objektiv je najvažniji dio aparata i u najvećoj mjeri o njemu ovisi vrijednost fotografskog aparata. Učvršćen je na posebnom nosaču bilo pomoću navoja, bilo pomoću tzv. »bajonet-ležišta«. Na svakom je objektivu naznačen naziv tipa, žarišna daljina i svjetlosna jačina. Na mnogim vrstama fotografskih aparata mogu se objektiv izmjenjivati.

Zaslonom se regulira tok svjetla što pri ekspoziciji pada na fotografski sloj. Najjednostavniji zaslon je okrugli otvor u limenoj pločici, koji se kod nekih aparata može i mijenjati (sl. 27 a). Danas se gotovo isključivo upotrebljava tzv. iris-zaslon (sl. 27 b). Sastoji se od tankih čeličnih pločica (lamela) srpastog oblika, koje su učvršćene na dva koncentrična prstena. Okretanjem jednog od tih prstenova u jednom smjeru, lamele ulaze u prsten i stvaraju širi kružni otvor. Skala zaslona označena je na objektivu i kazuje veličinu relativnog otvora r.



Sl. 27. Uređaji za ograničavanje intenziteta i trajanja osvjetljavanja. a Jednostavan zaslon; b iris-zaslon; c centralni zapor i d zapor na razrez

Zapor (zatvarač) općenito zatvara put svjetlosti u tamnu komoricu, a samo prilikom okidanja (ekspoziranja) otvara put svjetlosti do fotografskog sloja. Zapor se na neki način »navije« i u času snimanja okidačem otpušta. Okidač se nalazi ili na objektivu ili na kućištu. Za dulje ekspozicije stavlja se fotografski aparat na stalak, a zapor se otpušta pomoću pružnog okidača, tako da se pri okidanju ne uzdrma aparat. Na svakom je fotografskom aparatu naznačena skala trajanja ekspozicije. Obično se nalaze naznake: T (time) ili Z (Zeit), B (bulb) ili D (Dauer), te I (instant) ili M (Moment), a uz to još skala brojeva, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100....; T, odnosno Z znači da se pritiskom okidača otvara zapor i ponovnim pritiskom zatvara. B, odnosno D znači da se pritiskom okidača otvara zapor i dok se okidač drži pritisnutim, zapor ostaje otvoren, kad se otpusti okidač, zapor se zatvori. I, odnosno M znači pritiskom okidača zapor se otvori, a zatvara se

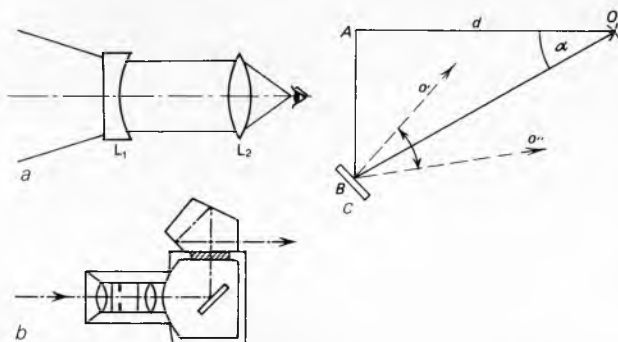
automatski prema tome na koji se broj skale namjesti trajanje ekspozicije. Brojevi skale zatvarača znače dijelove sekunde. Dva se tipa zapora primjenjuju: centralni i na razrez. Centralni zapor je ugrađen u objektiv, a sastoji se od 3 do 5 lamela, koje se razmiču da čine zvjezdast otvor (sl. 27 c). Zapor se počinje otvarati u sredini i konačno opet zatvori u sredini. Prednost je takvog zapora što se cijela snimka osvjetljava istovremeno. No, nedostatak je u tome što je znatno ograničena mogućnost vrlo kratkih trajanja ekspozicije, obično samo do 1/100 s, a rjeđe do 1/500 s.

Zapor na razrez čine dva pružna zastora (poput »roleta«) koji se pomiču u istom smjeru jedan iza drugog (sl. 27 d). Jednim se otvara prolaz svjetlu, a drugim zatvara. U slučaju trajanja od 1 sekunde i manje, oba zastora se pomiču istovremeno, istom brzinom samo drugi s malim zakašnjenjem u fazi, tako da njihovi rubovi čine razrez. Budući da se taj razrez može načiniti po volji malen, moguće je takvim zaporom ostvariti trajanja i do 1/2500 s. Nedostatak je takvog zapora u tome što se cijela snimka ne osvjetljuje istodobno nego uzastopno, pa nije prikladan za snimanje predmeta u brzom pokretu.

Tražilo je uređaj po kojem se vidi koji će dio predmeta biti snimljen i u kakvom će biti položaju. To je neophodan uređaj bez kojeg nismo u mogućnosti snimiti određeni predmet i u određenom položaju. Primjenjuju se više vrsta tražila, u nekim slučajevima i više njih na istoj kameri.

Okvorno tražilo je najjednostavnije, a čine ga dva pravokutna paralelno postavljena žičana okvira na kućištu od kojih je jedan formata snimke, a drugi proporcionalno umanjen. Oko se kod promatranja postavlja uz sredinu manjeg okvira, tako da se pri gledanju jednim okom oba okvira poklapaju. Prednost mu je u jednostavnosti izvedbe.

Optičko tražilo sastoji se od dvije leće koje djeluju tako da umanjuju sliku promatranog predmeta (sl. 28 a). Prednja leća L_1 ograničuje vidno polje razmjerno formatu snimke. Stražnja leća L_2 djeluje kao okular. Kod traženja bliskih predmeta uslijed paralakse dolazi do razlike između dijela predmeta koji je kroz tražilo vidljiv i onoga na snimci, pa to treba uzeti u obzir.



Sl. 28. Pomoćni uređaji na fotografskom aparatu. a Optičko tražilo, b tražilo s pentagonalnom prizmom, c princip optičkog daljinomjera

Tražilo s mutnim staklom: svjetlost koja prolazi kroz objektiv vidljiva je na mutnom staklu, pa se na taj način može birati željeni dio predmeta, kao i podešavati oštrinu. Za točnije podešavanje oštine služi pomoćna lupa iznad mutnog stakla. Prednost je ovog tražila u tome što točno pokazuje sliku koja će biti na snimci. Slika se pojavljuje u prirodnim bojama, što je prednost u kolor-fotografiji. Nedostatak je tražila tog tipa što su strane na slici obrnute, a i promatrati se mora uz zasjenjivanje okolne rasvjete, tako da ne pada svjetlo na mutno staklo, jer je tada slika jedva vidljiva.

Tražilo s pentagonalnom prizmom prikazano je na sl. 28 b. To je suvremena vrsta tražila kroz koji se vidi jasna slika predmeta u prirodnim bojama i kojoj strane nisu obrnute (tj. gore-dolje, odnosno lijevo-desno).

Podešavanje oštine snimke čini se na nekoliko načina. Kod kamera s tubusom objektiv se pomiče zakretanjem odgovarajućeg prstena na njemu. Uz prsten se nalazi i skala (u metrima) koja naznačuje udaljenost objektiv do snimanog predmeta. Kod

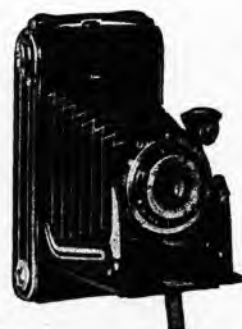
kamera s mijehom oština se namješta na onu vrijednost, koja se odredi ili na temelju ocjene odoka, ili (točnije) određivanjem daljinomjerom. Kod modernih aparata daljinomjer je povezan s tubusom, te uz namještenje na određenu udaljenost automatski se izoštruje slika. Za određivanje dubinske oštine postoji kod većine fotografskih aparata posebna skala uz skalu za daljinu. A budući da ovisi i o broju zaslona (relativnom otvoru) označena je dubinska oština za sve brojeve zaslona, označujući najveću i najmanju udaljenost pri kojoj će još predmet biti oštro snimljen. Dubinsku je oštrinu važno odrediti osobito pri snimanju bliskih predmeta. Ukoliko na aparatu nije naznačena dubinska oština, možemo se poslužiti posebnom tablicom za dubinsku oštrinu. Kod nekih aparata nalazi se takva tablica pričvršćena na stražnjoj strani kućišta.

Daljinomjer (telemetar) služi za određivanje udaljenosti od objektiv do snimanog predmeta (sl. 28 c). Uređajem se zapravo određuje kut α koji se mijenja s udaljenosti d do predmeta O s obzirom na stalnu bazu AB. Zrcalo kod B zakreće se prstenom uređaja tako dugo, dok se dvostruka slika predmeta ne slije u jednostruku. Tada se na skali prstena može očitati udaljenost u metrima. Daljinomjer je izveden ili kao zasebna sprava ili je ugrađen u fotografski aparat, i tada je najčešće vezan s tražilom i prstenom na tubusu objektiv, tako da se istodobno s određivanjem udaljenosti izoštruje i slika za snimanje. (V. Daljinomjer, TE 3, str. 163.)

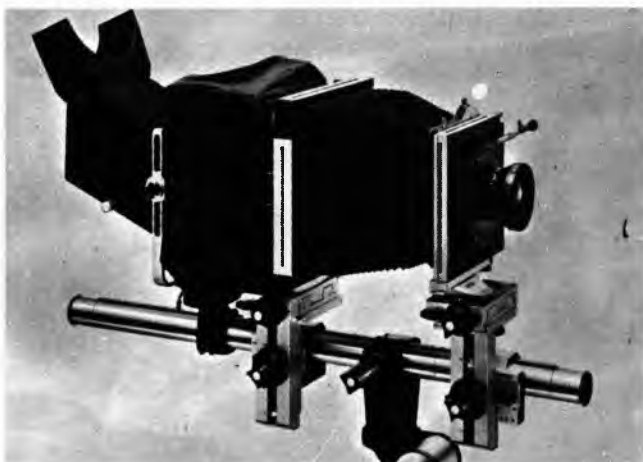
Tipovi fotografskih aparata za snimanje. Boks-kamera je prvi, najjednostavniji tip aparata, a zadržao se do danas. Snima



Sl. 29. Jedna od prvih boks-kamera



Sl. 30. Stariji tip fotografskog aparata s mijehom

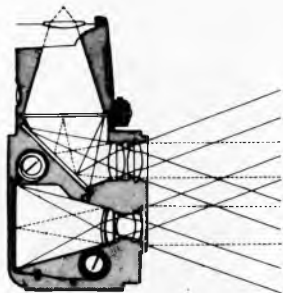


Sl. 31. Suvremeni profesionalni fotografski aparat s mijehom s velikim mogućnostima namještanja (Sinar)

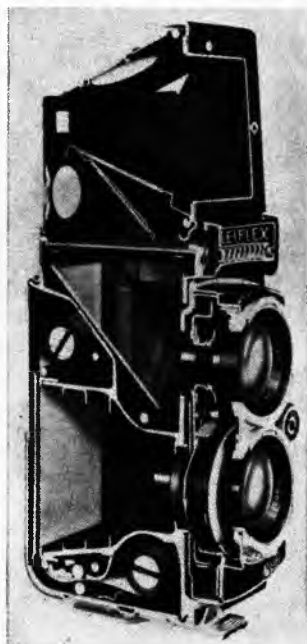
se najčešće na smotani film, ali i na uski (perforirani) film. Objektiv je vrlo jednostavan. Može se snimati samo uz jedno, a kod boljih boks-kamera uz najviše tri trajanja ekspozicije, koje se biraju u ovisnosti o uvjetima rasvjete kod snimanja (sunčano, lagano zastro i oblačno nebo). Oštrinu nije potrebno posebno podešavati, jer ima tri unaprijed određena položaja za snimanje pokreta, grupe i krajolika (pejsaža).

Aparat s mijehom (sl. 30) upotrebljava se za smotane, plan-filmove i foto-ploče. Ranije su se mnogo upotrebljavali u amaterskoj, a zadržali su se do danas u profesionalnoj fotografiji. Bolje izvedeni atelijerski aparati upotrebljavaju se najčešće za snimanje iz blizine s masivnih stativa. Profesionalni aparati konstruirani su tako, da se objektiv i spremnica za film mogu neovisno pomicati u horizontalnom i vertikalnom smjeru, pa se već kod snimanja mogu praviti potrebne korekcije slika. Na sl. 31 prikazana je takva svestrano upotrebljiva profesionalna kamera.

Dvooki refleksi aparat (sl. 32) ima pomoćni objektiv kojim se realna slika uz pomoć ugrađenog zrcala pod kutem od 45° projicira na mutno staklo smješteno na gornjoj strani aparata. Snima se na smotani film, a snimke su najčešće formata 6×6 ili 6×9 cm. Objektiv ima ugrađeni zapor i iris-zaslon. Uređaj za transportiranje filma nakon svake snimke pomiče film za slijedeću ekspoziciju. Kod boljih aparata taj je uređaj povezan s okidačem tako da je onemogućeno dvostruko osvjetljavanje snimke. Pokazivač broja snimaka povezan je s uređajem za transpor-



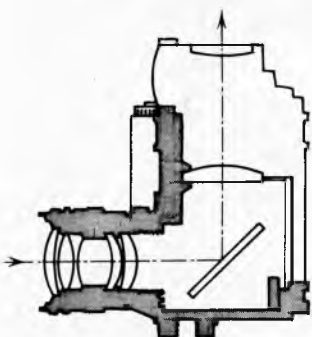
Sl. 32. Shematski prikaz refleksnog fotografskog aparata s posebnim objektivima za snimanje i izoštravanje (tzv. dvočka kamera)



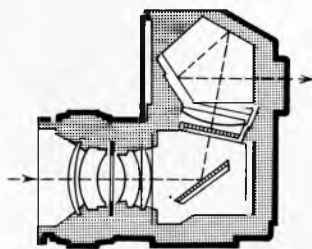
Sl. 33. Dvooki refleksi fotografski aparat Rolleiflex (presjek)

tiranje filma, pa pokazuje koliko je snimaka snimljeno, odnosno koliko je još filma na raspolaganju. Nedostatak tih aparata je u tome što kod snimanja izbliza dolazi do pojave paralakse. Međutim, kod boljih se aparata to uklanja na taj način da se gornji objektiv na određeni način naginje prema optičkoj osi donjeg (glavnog) objektiva. Izmjena objektiva kod tih aparata nije jednostavna.

Jednooki refleksi aparati (sl. 34) imaju tražilo s mutnim staklom slično kao i dvooki, samo nemaju pomoćnog objektiva, nego



Sl. 34. Shematski prikaz refleksnog fotografskog aparata s jednim objektivom i pokretnim zrcalom



Sl. 35. Shematski prikaz refleksnog jednookog aparata s polupropusnim zrcalom i pentagonalnom prizmom

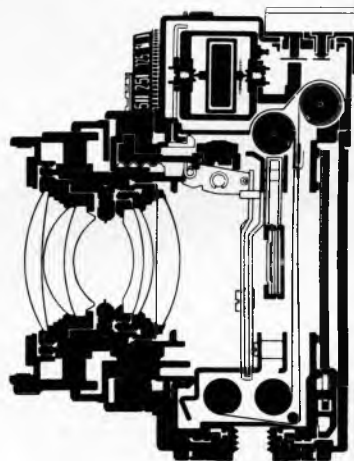
se koriste istim objektivom i za dobivanje slike na mutnom staklu i za osvjetljavanje filma. Naime, neposredno prije eksponiranja, posebnim mehanizmom zaokreće se zrcalo prema gore i tako omogućuje prolaz svjetlosti do fotografskog sloja. Objektori su obič-

no velike svjetlosne jakosti i dobre sposobnosti razdvajanja, imaju ugrađeni iris-zaslon, a zapor im je na razrez. Noviji modeli umjesto tražila s mutnim staklom imaju pentagonalnu prizmu. Prednost je tog tipa aparata što se na snimci dobiva točno onakva slika kako se vidi u tražilu. Nedostatak je što se u času snimanja mora zrcalo zakrenuti pa se više ne prati predmet. Na sl. 35 prikazan je u presjeku refleksi jednooki aparat s polupropusnim zrcalom i pentagonalnom prizmom, koji ima sve prednosti refleksnog aparata, a zrcalo se ne pomiče, čime je uklonjen glavni nedostatak jednookih aparata. Naravno, ima zapor na razrez.

Minijturni fotografski aparati snimaju na perforirani (uski) film, pa se zbog ekonomičnosti mnogo upotrebljavaju u amaterskoj fotografiji. Prvi takav fotografski aparat konstruiran je još 1913, ali ga je zbog rata tvrtka Leitz počela proizvoditi tek 1926, pod nazivom *Leica* (sl. 36). Taj je aparat značio revoluciju u konstruiranju, pa se i danas takvi tipovi aparata i format filma popularno nazivaju *lajka*. Format slike je najčešće 26×34 mm, ali i manji. Objektiv je velike svjetlosne jačine, izrađen s posebnom pažnjom u pogledu oštine i sposobnosti razdvajanja. Iako se može izmjenjivati širokokutni ili teleobjektiv umjesto normalnog objektiva. Zapor je najčešće na razrez, ali može biti i centralni. Na sl. 37 prikazan je presjek suvremenog minijturnog aparata, dok je na sl. 38. suvremeni minijturni refleksi fotografski aparat.



Sl. 36. „Leica“ — prvi minijturni fotografski aparat za film širine 35 mm



Sl. 37. Presjek suvremenog minijturnog fotografskog aparata Leica CL



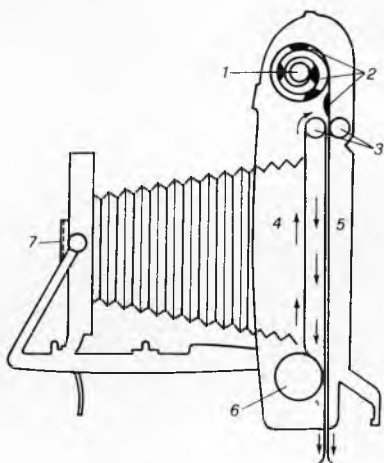
Sl. 38. Suvremeni minijturni, refleksi fotografski aparat s jednim objektivom (jačine 1,4), polupropusnim zrcalom i pentagonalnom prizmom

Subminijturni fotografski aparati imaju snimku formata najčešće 10×10 mm. Upotrebljavaju se za specijalne svrhe, a posljednjih godina sve više i u amaterskoj fotografiji. Zbog ekonomičnosti sve se više upotrebljavaju u kolor-fotografiji. Uz njih se obično nalazi i minijturna bljeskalica pa se može snimati uz svaku rasvjetu.



Sl. 39. Primjer subminijturnog fotografskog aparata, tzv. džepne kamere, zajedno s minijturnom bljeskalicom

Polaroid-fotoaparat (sl. 40) omogućuje poseban postupak brzog dobivanja snimaka (v. dalje, *Posebni postupci*).



Sl. 40. Fotografski aparat za Polaroid-Land postupak. 1. Kazeta s pozitivskim materijalom, 2. jastučić s razvijanjem, 3. kotačić za pritisivanje, 4. negativski materijal na mjestu osvjetljavanja, 5. priljubljen negativski i pozitivski materijal, 6. kazeta s negativskim materijalom, 7. objektiv

Pribor i pomagala uz fotografski aparat. Za snimanja u posebnim uvjetima i za postizanje posebnih efekata, uz fotografski aparat upotrebljavaju se različita pomagala.

Stativ (tronožac) upotrebljava se pri snimanju da bi se aparat osigurao od potresanja i time postigla dobra oštrina snimke. To je osobito važno pri eksponiranju uz duža trajanja osvjetljavanja.

Sjenilo (zaslon) protiv Sunčevog svjetla štiti objektiv od ulaza postrane svjetlosti, jer bi to kvarilo konačnu sliku.

Svjetlomjer (fotometar) daje potrebne podatke za snimanje u odnosu na intenzitet osvjetljenja predmeta pri snimanju. Uz odabrani zaslon, svjetlomjer pokazuje koliko je potrebno trajanje osvjetljavanja za ispravnu ekspoziciju pri upotrebi filma određene osjetljivosti. Vrijedi i obrnuto, tj. da se uz odabrano trajanje osvjetljavanja određuje potrebna veličina zaslona, tj. relativni otvor. Izrađuje se ili kao zaseban uređaj ili je ugrađen u kućištu fotografskog aparata. Automatizirani fotografski aparati imaju fotoelektrični svjetlomjer koji je povezan s mehanizmom zaslona, pa mu za izabrano trajanje osvjetljavanja odabire (namješta) ispravnu veličinu zaslona.

Optički filtri za snimanje (korekcijski filtri) pri snimanju učvršćuju se ispred objektiva. To su bezbojna ili obojena stakla učvršćena u metalnom okviru, a upotrebljavaju se kako u crno-bijeloj

tako i u kolor-fotografiji. Prema njihovom djelovanju možemo ih svrstati u dvije grupe:

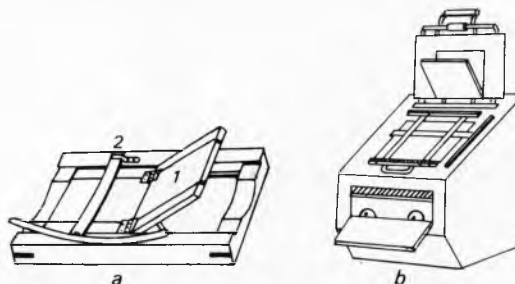
a) Filtri koji prilagođuju sastav svjetlosti; pri prolazu svjetla kroz te filtre jedan se dio svjetla apsorbira, dok preostali dio filter propušta, pa se na taj način mijenja spektralni sastav svjetla. Time se postiže da skala sivih tonova na negativu bude što sličnija odnosu svjetloća ploha snimanog predmeta kako ih vidimo okom. Tako djeluju žuti i žutozeleni filter. **Žuti filter** koji zadržava ultraljubičastu, ljubičastu i modru boju upadnog svjetla djeluje izjednačavajuće s obzirom na nešto veću osjetljivost emulzijskog sloja na ta zračenja. Upotrebljava se pri snimanju uz rasvjetu bogatiju ultraljubičastim zračenjem i plavim svjetlom, kao npr. u planinama, na snijegu ili morskoj obali. **Žutozeleni filter** djeluje analogno žutom, samo zadržava i dio crvenog dijela spektra, uslijed čega su na snimci fino nijansirani zeleno obojeni dijelovi predmeta. Upotrebljava se najčešće za snimanja u prirodi.

b) Filtri za specijalne efekte: najčešće su to crveni i narančasti filter. **Crveni filter** prigušuje modri dio spektra, a crveni propušta. Na taj se način veoma pojačava kontrast snimke i postiže tzv. »efekt mjesečine«, tj. snimka načinjena uz Sunčevu rasvjetu izgleda kao da je načinjena po mjesečini. **Narančasti filter** djeluje poput crvenog, samo mu je djelovanje razmjerno slabije. Upotrebljava se također za snimanje na snijegu, i onda kada se želi postići oštre konture oblaka.

Posebne vrste filtera jesu filtri, za snimanja u nevidljivim dijelovima spektra, ultraljubičasti i infracrveni. **Ultraljubičasti (UV) filter** propušta samo ultraljubičasti dio spektra dok svjetlost većih valnih duljina u potpunosti apsorbira. Upotrebljava se u fotografiji ultraljubičastim zračenjem. **Infracrveni (IR) filter** je crne boje, a propušta samo nevidljive infracrvene zrake, dok ultraljubičasti i vidljivi dio spektra u potpunosti apsorbira. Upotrebljava se za snimanje u fotografiji infracrvenim zračenjem. **Polarizacijski filtri** imaju posebnu upotrebu jer utječu na poboljšanje kvalitete snimke u slučajevima kada pojedine plohe snimanog objekta jako reflektiraju svjetlo (»blješte«). Naime, usmjereno reflektirano svjetlo je većim dijelom polarizirano, te ga takvi filtri ispravno orijentirani, ne propuštaju već propuštaju samo ono svjetlo koje je s plohe predmeta difuzno (raspršeno) reflektirano. Budući da svjetlo prolazom kroz filter uslijed djelomične apsorpcije oslabi, to se kod snimanja uz njihovu upotrebu to oslabljenje nadoknađuje odgovarajućim produženjem trajanja osvjetljavanja. Već prema tome kolika je optička gustoća filtera, povećanje ekspozicije može biti i do nekoliko puta. **Faktor produženja ekspozicije** naznačen je na metalnom okviru svakog filtera i kazuje koliko puta treba povećati ekspoziciju trajanja osvjetljenja (koja bi bez upotrebe filtera bila ispravna), pa da se dobiju jednako korektno osvijetljeni negativ. Ako je npr. faktor nekog žutog filtera $F = 2$, ekspozicija pri njegovoj upotrebi treba biti dvostruka.

Uređaji za kopiranje i reprodukciju. Pozitivske slike dobiju se kopiranjem negativskih, i to na dva načina: kontaktno i projekcijom, pa tako postoje posebni uređaji za obje vrste kopiranja.

Kontaktno se kopira tako, da se negativ emulzijskim slojem stavi u tijesni kontakt s emulzijskim slojem pozitivskog materijala (filma za dijapozitiv, fotografskih papira za slike). Zato moraju oba fotografska sloja biti dobro pritisnuti jedan uz drugi.



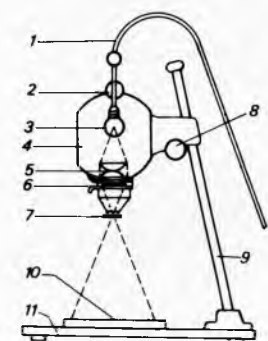
Sl. 41. Uređaji za kontaktno kopiranje. a. Jednostavni okvir, b. ormarić s okvirom i ugrađenim automatom za osvjetljavanje

Najjednostavniji je uređaj okvir za kopiranje (sl. 41 a) koji služi za amatersko kopiranje pojedinačnih snimaka, najčešće sa smo-

tanog i plan-filma. Za serijski rad služi posebni ormarić za kopiranje (sl. 41 b) koji ima ugrađenu uru za automatsko isključivanje svjetla, tako da se trajanje osvjetljavanja namješta na uri. Može se podešavati i rasvjeta, koja mora biti potpuno difuzna. Posebnim prekidačem uključuje se crveno svjetlo, tako da se može prikladno namjestiti negativ. Za profesionalni rad, naročito za izradu razglednica, služe strojevi za kopiranje, koji su u nekim slučajevima i potpuno automatizirani.

Projekcijom se kopira tako da se negativ intenzivno osvijetli, a objektivom se načini realna slika na fotografskom sloju pozitivskog materijala. Za takvo kopiranje služe aparati za povećavanje,

kako se obično nazivaju. Shema takvog uređaja prikazana je na sl. 42. Svjetlo matirane žarulje 3 skuplja kondenzor 5, te intenzivno osvijetljuje negativ 6 stavljen između dva planparalelna stakla. Objektivom 7 projicira se slika na podložni okvir 10 na koji se stavlja pozitivski materijal i pritisne limenim omedivačima. Vijkom 2 žarulja se učvršćuje u žarištu kondenzora. Da bi se spriječilo postrano osvjetljavanje pozitivskog materijala, žarulja se nalazi u zatvorenom metalnom kućištu 4. Cijelo se kućište može pomicati duž nosećeg stupa 9 i učvrstiti u određenom položaju



Sl. 42. Shema aparata za povećavanje

vijkom 8. Vertikalnim pomicanjem objektiva izoštrava se slika. Posebni crveni filtar stavlja se pred objektiv za vrijeme podešavanja formata i oštine slike.

Fotografski se mogu reproducirati slike, crteži, tekstovi i dr. radi umnažanja arhiviranja itd.

Za reprodukciju mogu poslužiti fotografski aparati i s jednostavnijim objektivom budući da je predložak plošan. Inače apa-

rat za snimanje može biti bilo koje vrste. Najpogodniji su ipak jednooki refleksi aparati ili pak inače aparati s direktnim izoštravanjem na mutnom staklu.

Za kvalitetnu reprodukciju služe posebni uređaji za osvjetljavanje predložaka i snimanje. Jedan takav uređaj prikazan je na sl. 44. Na takvim se uređajima gotovo isključivo primjenjuju



Sl. 44. Suvereni uređaj za reprodukciju snimanja

fotografski aparati za uski film, pa ako su to refleksi aparati, na uređaju se nalazi poseban dodatak na kojem se nalazi mutno staklo i lupa. Veoma je važno, naime, da se snimka dobro izoštri. Pri snimanju se na objektiv stavlja sjenilo da zaštiti od postranog, reflektiranog svjetla. Rasvjeta snimanog predloška mora biti intenzivna, jednolična i difuzna. Dovoljne su dvije opalne žarulje postavljene s obje strane predloška, tako da ga osvijetljavaju pod kutom od 45°. Za snimanje predloška s grubom površinskom strukturom, kao i kod predloška koji nisu pokriveni staklom, svjetiljke je dobro postaviti pod malim kutom s obzirom na optičku os objektiva aparata (oko 150°). Što su svjetiljke udaljenije od predloška, intenzitet osvijetljenja je doduše slabiji, ali je predložak to jednoličnije osvijetljen. Za blisku rasvjetu upotrebljavaju se četiri svjetiljke postavljene prema uglovima predloška.

Difuznost rasvjete postiže se upotrebom opalnih žarulja, koje se u pravilu smještaju u reflektore. Snaga pojedine žarulje obično je 150–200 W. Za snimanje uz upotrebu kolor-materijala upotrebljavaju se specijalne fotografske žarulje koje daju potrebnu temperaturu boje svjetla (npr. Nitraphot 400 W i sl.). Jednoličnost rasvjete može se lako ispitati fotoelektričnim svjetlomjerom. Treba paziti da direktno reflektirano svjetlo ne dolazi u objektiv.

Ekspozicija ovisi o nizu faktora kao npr. osjetljivosti fotografskog materijala, intenzitetu osvijetljenja, bjelini predloška i dr. Zato se ispravna ekspozicija može odrediti samo pokusnim snimanjem. Uz odabrani zaslon (obično oko 8) načini se nekoliko snimaka uz rastuća trajanja osvjetljavanja prema geometrijskoj progresiji. Nakon razvijanja pokusnog dijela filma, ispravno trajanje ekspozicije se odredi vizuelnom procjenom. Uz takvo određivanje može se istovremeno obaviti i mjerenje osvijetljenja predloška fotoelektričnim svjetlomjerom. Kod promjene uvjeta snimanja, novo ispravno trajanje osvjetljavanja može se približno odrediti procjenom prema relativnom otklonu kazaljke svjetlomjera s obzirom na ranije izmjereni otklon. Izbor fotografskog materijala za snimanje ovisi o tome kakav predložak treba snimiti. Rendgenske snimke se reproduciraju snimanjem predloška u prolaznom svjetlu. Da bi se to postiglo, potrebno je imati bijelu difuznu, jednoličnu rasvjetu, kakvu daje npr. niska kutija s nekoliko paralelnih fluorescentnih cijevi ili niz pravilno raspoređenih minjon-žarulja. Iznad svjetiljaka postavlja se još i mliječno (opalno) staklo kako bi rasvjeta bila što jednoličnija i difuznija. S umanjene (pozitivske) mikrofilmske snimke izrađuje se, prema potrebi, ili dijapozitiv (kontaktnim postupkom) ili foto-kopija na papiru željenog formata (pomoću aparata za povećavanje).



Sl. 43. Suvereni profesionalni aparat za povećavanje (Durst)

FAZE FOTOGRAFSKOG POSTUPKA

Da bi se prikazale faze fotografskog postupka sa srebrnim solima, potrebno je makar i u najjednostavnijem obliku prikazati kako su građeni fotografski materijali, te u čemu se sastoji fotografski učinak. Zatim će biti prikazane faze: ekspozicija, razvijanje, fiksiranje, ispiranje, sušenje i konačno naknadna obrada.

Grada fotografskih materijala. Na sl. 45 shematski je prikazano kako su općenito građeni fotografski materijali. Posebne vrste bit će posebno prikazane. Na podlozi 4 (staklo, film, papir i drugo) nanesen je podsloj 3 kao vezivni sloj, koji veže emulzijski sloj 2 uz podlogu. Konačno se s gornje strane nanosi zaštitni sloj 1, kojim se štiti emulzijski sloj od ogrebotina. Kod filmova se s donje strane nanosi još tzv. NC-sloj protiv uvijanja filma, a tako obojen sloj služi kao antihalo-sloj 5.

Podloge mogu biti neprovidne kao: papir, porcelan, svila, metal ili pak providne kao: staklo i film. Podloge treba da imaju određena svojstva. Staklo treba da je planparalelno, bezbojno, jednolično, debljine 1...1,5 mm za manje formate, a 2...3 mm za veće formate. Film treba da je jednoličan, providan, čvrst, a dovoljno gibak, otporan prema fotografskim kemikalijama, dimenzionalno konstantan s obzirom na kemijsku obradu i konačno da polagano gori (sigurnosna podloga); debljine 0,085 mm za smotani film, 0,135 mm za kinofilm, 0,210 mm za plan-film, te 0,2 mm za rendgenski film. Papir treba da je specijalno priređen



Sl. 45. Presjek fotografskog materijala, shematski prikazan. 1 Zaštitni sloj, 2 emulzijski sloj, 3 vezivni sloj, 4 podloga, 5 antihalo-sloj, odnosno NC-sloj protiv uvijanja filma

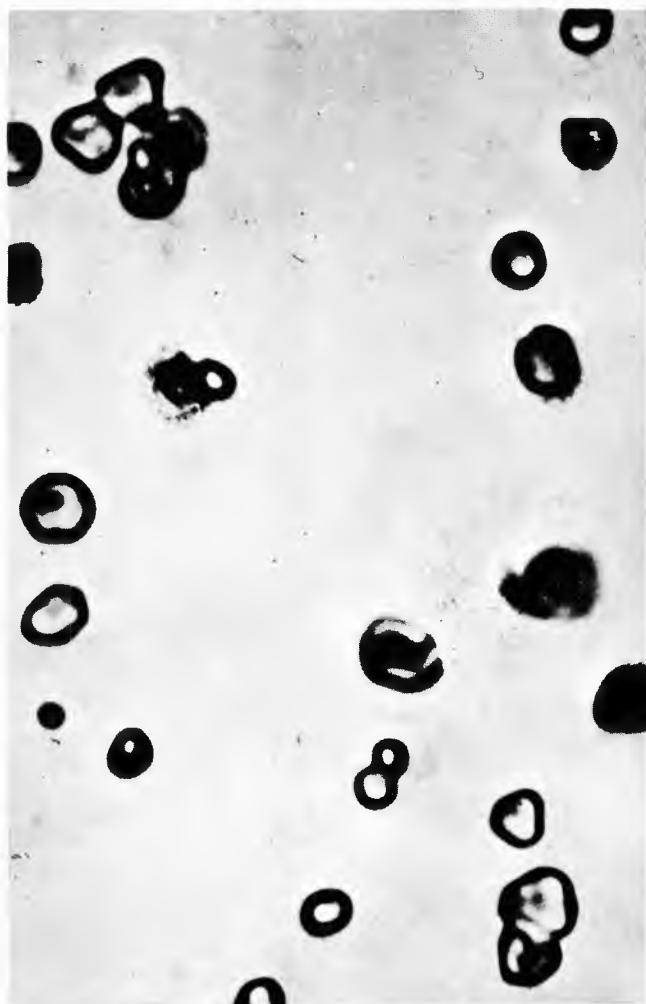
kao fini crtači papir, čist od kemijskih primjesa koje bi mogle utjecati na fotografski sloj, otporan prema fotografskim kemikalijama, dovoljno čvrst i krut. Umjesto debljine daje se za papir masa u gramima po 1 m². Tako je podloga za: *dokumentni papir* 80 g/m², *papir* 135 g/m² i *karton* 220 g/m².

Emulzijski sloj se sastoji od želatine u kojoj su uklopljeni sitni kristalići srebro-halogenida: AgCl, AgBr, AgBr+AgJ, AgCl+AgBr. Maksimalna veličina tih kristalića je različita već prema vrsti fotografskog materijala. Za tzv. sitnozrne materijale oko 0,1 μm, dok kod krupnozrnih može iznositi i do 6 μm. Debljina emulzijskog sloja je različita, već prema vrsti fotografskog materijala, te iznosi ~ 8...24 μm.

Srebro-halogenidi AgCl, AgBr i AgJ imaju to izuzetno svojstvo da pod utjecajem svjetla pocrne. No nije aktivno svako svjetlo nego samo modro i ljubičasto, te nevidljiva zračenja: ultraljubičasto, rendgensko i gama-zračenje, kao i korpuskularna zračenja. Ti halogenidi nastaju precipitacijom (obaranjem, taloženjem) iz srebro-nitrata (AgNO₃) i kalijum-, natrijum-, ili amonijum-halogenida.

Srebro-halogenidi su praktički netopljivi u vodi, pa zato se talože u obliku sitnih kristalića teseralnog sustava, najčešće u obliku oktaedara. Zbog toga što su netopljivi i u drugim otapalima, nastale su poteškoće u razvoju fotografije kako da se uklone neiskorišteni kristalići srebro-halogenida. Kasnije se otkrilo da natrijum-tiosulfat (Na₂S₂O₃) stvara sa srebro-halogenidima kompleksne soli koje su topljive u vodi. Na sl. 46 prikazani su mikrofotografski snimci kristalića srebro-bromida (povećanje ~1500 puta), i to lijevo krupna zrnca (> 1 μm), desno sitna zrnca (~0,1 μm i manje).

Vezivo (želatina). Da bi se kristaliće srebro-halogenida pričvrstilo uz neku podlogu, te da bi se spriječila aglomeracija



Sl. 46. Kristalići srebro-halogenida, mikroskopska snimka uz povećanje ~1500 puta. a Krupnozrna, b sitnozrna emulzija

kristalića, precipitacija se izvodi u želatinskoj otopini. Naknadno se otkrilo da neke želatine sadrže u vrlo malenim količinama neke tvari koje povećavaju osjetljivost fotografskih slojeva. Želatina ima, dakle, trostruku funkciju: 1 služi kao vezivač kristalića srebro-halogenida; 2 sprečava aglomeraciju kristalića; 3 povećava osjetljivost fotografskih slojeva. Želatina ima vrlo pogodna svojstva: osušena — dovoljno je čvrsta; navlažena — prima vodu, nabubri, i ostaje propusna za sve fotografske kemikalije (gel-stanje); zagrijana — rastali se, postaje tekuća (sol-stanje).

Fotografski učinak. Fotografski sloj pod utjecajem svjetla, odnosno drugog kojeg kratkovalnog zračenja, postupno pocrni. U sloju nastaje srebro u koloidnoj formi, tj. u obliku vrlo sitnih zrnaca. Na tim se zrnima svjetlo raspršava, pa nam koloidno srebro izgleda crno. No, ne izgleda nam osvijetljeni fotografski sloj uvijek crn, nego mu se boja mijenja prema stupnju disperznosti koloidnog srebra u njemu. Kako se zrnca smanjuju, tako sloj postaje smeđ, crvenkastosmeđ, pa konačno žut.

Proces nastajanja koloidnog srebra iz srebro-halogenida direktno djelovanjem svjetla naziva se fotoliza. Fotoliza se zbiva polagano, pa se fotografski sloj mora kroz dulje vremena izložiti, (eksponirati) djelovanju svjetla velikog intenziteta. Ako bi, dakle, htjeli načiniti fotografsku snimku direktno fotolizom, morali bi fotografski sloj eksponirati u fotografskom aparatu i po više sati uz jaku sunčanu rasvjetu. Međutim, već su otkrivači fotografije slučajno naišli na pojavu fotografskog razvijanja. Fotolizom je potrebno samo započeti snimanje, tako da nastane početna još nevidljiva slika koja se zove latentna slika. Tek daljim kemijskim ili pak fizikalnim razvijanjem dobiva se vidljiva slika. Za današnje fotografske materijale velike osjetljivosti dovoljno je uz sunčanu rasvjetu eksponirati svega 1/100, pa i do 1/1000 sekunde da se dobije dovoljna latentna slika.

Eksponiranje (izlaganje svjetlu). Pomoću fotografskog objekta stvara se na fotografskom sloju realna slika predmeta. Na površini sloja nastaju na taj način područja različitog osvijetljenja. Na predmetu se razlikuju mjesta najveće svjetljivosti (najsvećlija mjesta) i mjesta najmanje svjetljivosti (najtamnija mjesta). Tim mjestima ekstremne svjetljivosti odgovaraju na fotografskom sloju mjesta najvećeg i najmanjeg osvijetljenja. Omjer svjetljivosti najtamnijeg i najsvjetlijeg mjesta predmeta naziva se »raspon svjetljivosti predmeta«. Njemu odgovara »raspon osvijetljenja« realne slike bačene na fotografski sloj. Uz isti raspon svjetljivosti može predmet, uzet u cjelini, biti veće ili manje svjetljivosti (svijetlao ili taman predmet). Osvjetljenje na fotografskom sloju ovisi o općoj svjetljivosti predmeta i još o veličini otvora objektiva. Ako se zaslonom smanji otvor objektiva, smanjuje se osvijetljenje na fotografskom sloju. Fotografski učinak ovisi o ukupnoj količini svjetla što upadne na neko mjesto fotografskog sloja, pa pri eksponiranju uz intenzitet osvijetljenja I dolazi u obzir i trajanje osvijetljavanja t . Ukupna količina svjetla naziva se kratko *ekspozicija* i bilježi E . Prema tome je

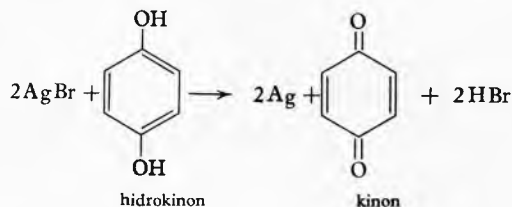
$$E = I \cdot t,$$

gdje je I u luksima, t u sekundama, a E u lukssekundama. Trajanje osvijetljavanja podešava se uređajem na fotografskom aparatu. No, osvijetljenje na fotografskom sloju ne može se direktno mjeriti, nego se pomoću svjetlomjera mjeri neko srednje osvijetljenje na mjestu fotografskog aparata iz smjera predmeta koji se snima. Ne izražava se u luksima, nego se otklon kazaljke svjetlomjera povezuje s otvorom zaslona objektiva i osjetljivošću fotografskog materijala, te odredi potrebno trajanje osvijetljavanja, da fotografski sloj bude dovoljno osvijetljen. Fotografski materijali su različite »osjetljivosti«, tj. da se postigne određen stupanj zacrnljenja, potrebne su različite količine svjetla (različite ekspozicije). Što je neki materijal osjetljiviji, to je potrebna manja ekspozicija.

Trajanje osvijetljavanja t uvjetovano je: svjetloćom predmeta, otvorom leće (otvorom zaslona), osjetljivošću fotografskog materijala; posebno još kvalitetom svjetla (bojom svjetla).

Razvijanje. Proces prevođenja latentne slike u vidljivu sliku naziva se razvijanje. Razvija se u nekim otopinama koje se kratko nazivaju *razvijajući*. Pri razvijanju se Ag-ion reducira u Ag-atom, a razvijачka tvar se oksidira. Razvijanje je, dakle, oksido-reduk-

cijski proces. Kao primjer neka posluži razvijanje hidrokinonom koji oksidacijom prelazi u kinon:



Ima mnogo tvari koje reduciraju (reducenci), ali nisu sve prikladne za fotografsko razvijanje, jer bi reducirali sve Ag-ione, bez obzira da li se nalaze u osvijetljenom ili neosvijetljenom kristaliću AgBr, pa bi cijeli fotografski sloj pocrni. Za razvijanje se traže takvi reducenci koji će fotografski sloj razviti selektivno, tj. samo na onim mjestima koja su bila osvijetljena. Takvo selektivno razvijanje nastaje zbog različite brzine razvijanja. Na osvijetljenim zrnima srebro-halogenida nalaze se fotolizom nastale nakupine Ag-atoma, koje se nazivaju centri razvijanja. Baš ti centri razvijanja čine latentnu sliku. Kristalići na kojima se nalaze centri razvijanja brže se razvijaju od onih na kojima nema centara razvijanja. Što je na nekom kristaliću više centara razvijanja, i što su ti centri veći, to brže će se on razvijati. Trajanje razvijanja podesi se onda tako, da se upravo razvije snimka. Ako bi se razvijanje znatno produljilo, cijeli bi fotografski sloj pocrni. Kad se fotografski sloj stavi u razvijач, slika se pojavi tek nakon nekog određenog vremena, koji se naziva period indukcije.

Sastav razvijачa. Razvijачi uz razvijачku tvar otoplenu u vodi sadržavaju još i neke druge tvari, od kojih svaka ima svoju posebnu ulogu. Obično razvijачi sadržavaju sljedeće sastojke: jednu ili dvije razvijачke tvari, konzervansi (antioksidansi), alkalne tvari (alkalije) te usporivač (sredstvo protiv mreže).

Razvijачke supstancije su karakteristične po hidroksilnim i amino-skupinama vezanim na benzenskom prstenu. Već same takve skupine međusobno vezane čine razvijачke supstancije, ali je njihova sposobnost razvijanja vrlo slaba te nemaju praktične važnosti. Najmanje dvije takve skupine vezane na benzensku jezgru, i to samo u *orto* i *para* položaju, čine praktične razvijачke supstancije, kako se to razabira iz formula za dalje navedeni niz razvijачkih supstancija. Zadnja navedena supstancija, koja je tek prije 20 god. pronađena, sasvim je različite strukture od ostalih.

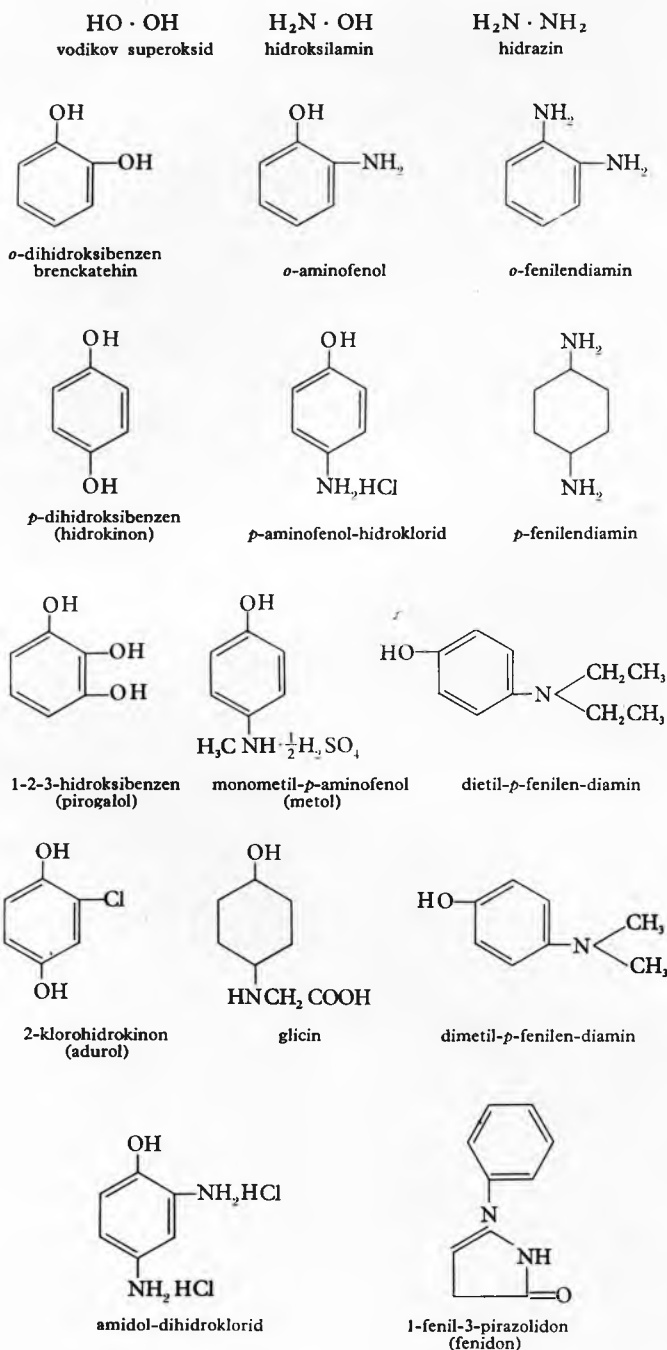
Različite razvijачke supstancije razlikuju se znatno po sposobnosti ili moći razvijanja (aktivitetu), što je pak u vezi s njihovom konstitucijom. One supstancije sa OH i NH₂ skupinama u *para*-položajima razvijaju energičnije od onih koje imaju te skupine u *orto*-položaju. Nadalje, dihidroksibenzeni razvijaju energičnije od aminofenola, a ovi energičnije od diaminobenzena. Supstitucijom H-atoma jezgre s atomom klora i broma povećava se aktivitet (primjer *aduro*!), dok se supstitucijom s kiselinskim grupama (COOH, SO₃H i sl.) smanjuje aktivitet. Isto se tako povećava aktivitet supstitucijom vodikovih atoma i amino-skupina nekim alkolima.

I topljivost razvijачkih supstancija u vodi, tako važna za praktičnu primjenu ovisna je o njihovoj konstituciji. Razvijачke supstancije sa OH-skupinom su općenito lakše topljive od onih sa NH₂-skupinama. Onima s jednom NH₂-skupinom povećava se topljivost uvođenjem alkila u aminoskupinu (metol). Osim toga zbog topljivosti upotrebljavaju se kao kompleksne soli (hidrosulfati, hidrokloridi). Za neke je razvijачke tvari topljivost podjednaka u vodi kao i u otopini natrijum-sulfita i karbonata, te redosljed otapanja nema znatnijeg utjecaja na sposobnost otapanja. No, za neke je tvari redosljed bitan, jer im je topljivost u vodi znatno veća (npr. *p*-aminofenol) ili pak znatno manja (npr. glicin). Za neke je tvari općenito topljivost malena, te se od takvih tvari ne mogu prirediti razvijачke otopine veće koncentracije. Za vrlo koncentrirane razvijачke otopine je osobito pogodan *p*-aminofenol. U praksi se najčešće upotrebljavaju metol, hidrokinon i fenidon. Svaka od tih triju tvari ima svoja posebna svojstva.

Metol razvija uz kratak period indukcije, slika se brzo pojavi i to sva, ali slabo kontrastna: razvija i uz niže temperature.

Hidrokinon razvija uz dug period indukcije, slika se pojavljuje postupno, najprije na mjestima najjače osvijetljenim, pa sve kasnije na mjestima slabije osvijetljenim, slika je vrlo kontrastna. Hidrokinon je na temperaturu vrlo osjetljiv, a ispod 14 °C gotovo više i ne razvija.

Fenidon ima slična svojstva kao i metol, djeluje energično, slabo se iscrpljuje pa su potrebne samo male koncentracije. Da se iskoriste dobra svojstva različitih razvijajućih tvari, upotrebljavaju se često u kombinaciji, npr. metol-hidrokinon ili fenidon-hidrokinon.



Konzervansi su tvari koje sprečavaju autooksidaciju razvijajućih tvari, tj. oksidaciju kisikom iz zraka. Kao konzervans gotovo se isključivo upotrebljava natrijum-sulfit (Na_2SO_3). On služi, ne samo kao konzervans, nego ima još i druge sporedne uloge; djelomično regenerira razvijajuću tvar, djeluje kao slaba alkalija i kao slabo otapalo srebro-halogenida. Dolazi u dva oblika: *a* kao bezvodni (oznaka: *anh.* ili *sicc.*); *b* kao kristalan, $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (oznaka: *cryst.*).

Alkalije su tvari koje se dodaju razvijajućoj otopini da bi se razvijanje ubrzalo i postiglo veće zacrnjenje fotografskog sloja. To su tvari kojih vodene otopine djeluje lužnato. Što je, naime, otopina lužnatija, to u većoj mjeri disociraju molekule razvijajućke tvari, pa razvijanje postaje energičnije. Razlikuju se slabe (boks, natrijum-bikarbonat), srednje (kalijum-karbonat i natrijum-karbonat) i jake (kalijum-hidroksid i natrijum-hidroksid) alkalije.

Usporivači su takve tvari koje ponešto usporuju razvijanje, osobito onih zrna sa slabim centrima razvijanja. Dodatkom usporivača sprečava se u prvom redu nastajanje mreine, tj. jednoličnog sivila neosvijetljenog dijela fotografskog sloja. Kao usporivač najčešće se u razvijajuć dodaje kalijum-bromid (KBr). U novije vrijeme se često umjesto kalijum-bromida upotrebljavaju i neke organske tvari za suzbijanje mreine, a zovu se *stabilizatori*.

Otapalo za te tvari je voda. Za priređivanje razvijajućke može se upotrijebiti: destiliranu vodu, kad se radi o manjim količinama i za posebno definirano razvijanje, a inače kišnicu, odnosno snježnicu, samo je treba filtrirati, te vodovodnu, odnosno bunarsku vodu, koju treba zagrijati barem do 80 °C, da bi se istaložile otopljene tvari (tvrda voda). Radi lakšeg otapanja kemikalija početni volumen vode ($\sim 70 \dots 75\%$ konačnog volumena) zagrije se na temperaturu 40–50 °C, a tokom otapanja potrebno je stalno miješanje. Razvijajućke se otopine pripremaju u staklenim, emajliranim ili plastičnim posudama, a nikako u metalnim, jer u tom slučaju može razvijajuć izazvati jaku mreinu. Razvijajući se čuvaju u dobro začepjenim tamnim (smeđim) bocama. Preporuča se da razvijajuć prije upotrebe stoji 24 sata radi stabiliziranja otopine.

Vrste razvijajućke. Razvijajući se obično svrstavaju po trajanju razvijanja i po materijalu za koji se primjenjuju. S obzirom na trajanje razvijanja razvijajući se nazivaju: vrlo brzi, brzi, spori i sitnozrni.

Vrlo brzi razvijajući upotrebljavaju se samo u specijalnim slučajevima, kad je potrebno brzo dobiti snimku, kao npr. za razvijanje kirurških rendgenskih snimaka. Redovno se ne primjenjuju, jer se stupanj razvijenosti teško kontrolira. Velika brzina razvijanja postiže se velikom koncentracijom razvijajućke tvari i alkalija, a prema potrebi i povišenom temperaturom. Trajanje razvijanja je od nekoliko sekundi do pola minute.

Brzi razvijajući upotrebljavaju se za razvijanje fotografskih papira dijapozitivskih filmova, rendgenskih filmova, te negativskih filmova većeg formata, ako se ne želi praviti veća povećanja. Kao alkalije sadržavaju sodu ili potašu. Razvijaju kontrastno uz krupno zrno. Trajanje razvijanja uz 20 °C je 4–5 minuta za filmove, a 1–2 minute za papire.

Spori razvijajući služe samo za razvijanje negativskih, posebno uskih filmova. Sadržavaju slabe alkalije i više konzervansa. Daju sitnije zrno razvijenog srebra, te se iz negativa mogu dobiti znatna povećanja. Trajanje razvijanja uz 20 °C je od 8–16 minuta.

Sitnozrni razvijajući služe samo za negativske filmove ukoliko se želi praviti kopije velikog povećanja (10 puta ili još i više). Sadržavaju slabe alkalije, i to u manjim koncentracijama, a uz to još i neko blago otapalo za srebro-halogenide, ili natrijum-sulfit u znatnoj koncentraciji, ili kalijum-rodanid (KCN) u maloj koncentraciji. Radi otapanja zrna srebro-halogenida smanjuje se i zacrnjenje, te se za takvo razvijanje mora film 2 do 4 puta jače osvijetliti, nego što bi bilo potrebno uz razvijanje u brzom razvijajuću. Trajanje razvijanja uz 20 °C je više od 20 minuta.

Faktori koji utječu na razvijanje. Na razvijanje utječu: sastav razvijajućke, stupanj iscrpljenosti, trajanje razvijanja, temperatura razvijajućke, način razvijanja.

Isti fotografski materijal bit će, uz jednake druge uvjete, različito razvijen već prema tome kakav je sastav razvijajućke u kojem se izvodi razvijanje. U prvom redu odlučna je koncentracija razvijajućke tvari. Kod kombiniranih razvijajućke važan je omjer količine metola i hidrokinona, odnosno fenidona i hidrokinona. Što je veća količina hidrokinona u odnosu na metol, odnosno fenidon, to će fotografske snimke biti kontrastnije razvijene, to veće će biti maksimalno zacrnjenje. Kontrast se još povećava, ako je alkaličnost veća, tj. veća vrijednost pH, a to ovisi o vrsti upotrebene alkalije i njene koncentracije. Ako neki razvijajuć u cijelosti razređujemo vodom, smanjujemo koncentraciju svih sastojaka,

pa će tako razređeni razvijatelj i sporije i manje kontrastno razvijati. Tijekom upotrebe smanjuje se koncentracija aktivnih sastojaka razvijatelja, a skupljaju se neaktivni sastojci nastali procesom razvijanja. Time se smanjuje aktivnost razvijatelja. Da bi se postigao isti stupanj razvijenosti fotografskog materijala može se do stanovite mjere duže razvijati, a mogla bi se iscrpljenost kompenzirati i povišenjem temperature. Tako je npr. kod razvijanja smotanih filmova uobičajeno zbog kompenziranja iscrpljenosti razvijatelja, trajanje razvijanja nakon svakog filma produžiti za oko 10%. Na važno praktično pitanje — kada je jedna razvijateljska otopina potpuno iscrpljena — teško je dati jednoznačan odgovor, budući to ovisi o nizu faktora, koji se odnose jednako na razvijatelj i način njegove upotrebe, kao i na vrstu razvijenog fotografskog materijala. Za orijentaciju može se uzeti da je razvijateljska otopina potpuno iscrpljena kada je trajanje razvijanja potrebno udvostručiti da bi joj djelovanje bilo jednako kao kod svježeg razvijatelja.

Ischrpljenost razvijatelja može se kompenzirati i na taj način da se razvijatelju dodaje određena količina regeneratora. To je posebna, koncentrirana razvijateljska otopina. Tako se npr. može pri razvijanju u rendgenskim laboratorijima svakog dana dodati određena količina regeneratora, jer se ionako svakim filmom iznosi nešto razvijatelja, te se smanjuje ukupna količina. Za svaki se razvijatelj uz ostale uvjete propisuje određeni raspon (od-do) trajanja razvijanja, a ne neko određeno trajanje, jer se produženim razvijanjem dobiva kontrastnija slika. Onaj koji razvijatelj mora odabrati najpogodnije trajanje. Produženim razvijanjem preko granice propisanog trajanja obično u znatnoj mjeri raste mreža. Prekratkim pak razvijanjem ne postiže se kontrast snimke, a ne iskoristi se ni moguća osjetljivost fotografskog materijala.

Temperatura razvijatelja pri razvijanju znatno utječe na stupanj razvijenosti snimke. Običaj je da se kao standardna temperatura za razvijatelj uzima 20 °C, te se za tu temperaturu propisuje trajanje razvijanja. Uz promjenu temperature u velikoj se mjeri mora promijeniti i trajanje razvijanja, da bi se postiglo odgovarajući kontrast snimke. Povišenjem temperature ubrzavaju se kemijske reakcije, a ubrzava se i proces difuzije razvijatelja u emulzijski sloj, pa će biti potrebno znatno kraće razvijati.

Razvijati se može na različite načine, već prema tome da li se radi o povremenom razvijanju ili o profesionalnom trajnom razvijanju, a i prema tome o kojoj se vrsti fotografskog materijala radi.

Prvi je način razvijanja u tavama. To je najjednostavniji način, ali je i najmanje definiran. Tako se razvijaju fotografski papiri i plan-filmovi, a može se za nuždu razviti i smotani film. Prednost je takvog razvijanja da ne treba nikakvih posebnih priprava, da se može pratiti nastajanje slike, da se mogu upotrijebiti tave koje odgovaraju formatu papira, odnosno plan-filma i tako štediti razvijatelj. No u tavama je teško održavati konstantnu temperaturu, a osim toga je razvijatelj velikom površinom u kontaktu sa zrakom, te brže oksidira. Zato se razvijateljima za tavu dodaju veće količine natrijum sulfita.

Drugi je način razvijanja u kutijama za razvijanje. To su cilindrične kutije iz bakelita ili nekog drugog sintetičkog materijala koje imaju jezgro za namatanje filma, te poklopac koji tako zatvara kutiju, da se bez otvaranja mogu nalijevati i izlijevati razvijatelj, fiksir i voda. Da bi razvijatelj dopirao do svakog dijela filma, te da se film u početnoj fazi ne slijepi, on se namata zajedno s plastičnom vrpcom navoranom na rubovima (koreks-vrpca) ili se spiralno uvlači u dva paralelna držača smještena na jezgri. Jezgra se zajedno s filmom stavlja u kutiju i poklopi. To se sve obavlja uz zaštitnu rasvjetu. Zatim se pri punoj rasvjeti ulije razvijatelj kroz šuplju osovinu jezgre, te dodatnim utikačem zakreće jezgra s filmom u oba smjera. Nakon završenog razvijanja razvijatelj se izlije bez otvaranja poklopca. U takvim se kutijama razvijaju smotani (6 cm širine) i uski filmovi (35 mm širine).

Treći je način razvijanja u kadama (tankovima). To su velike kvadratske posude od keramike, sintetičkog materijala ili od nerđajućeg čelika, a služe za razvijanje svih vrsta filmova. Uski i smotani filmovi se opterete i objese pomoću držača, da vertikalno vise u razvijatelju, rendgenski filmovi se u metalnim okvirima također vertikalno postavljaju u razvijatelj. Filmovi se povremeno horizontalno i vertikalno pomiču, da bi došli u dodir sa svježim količinama razvijatelja. U kadu se može stavljati električno grijalo

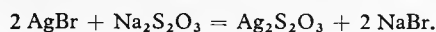
da se razvijatelj zagrije do određene temperature. Izvan upotrebe se kada sa razvijateljem drži poklopljenom, da se spriječi oksidacija razvijateljske tvari.

Četvrti je način razvijanja u posebnim uređajima, tzv. strojno razvijanje. Ono se u prvom redu primjenjuje u kinematografskim laboratorijima, zatim pri proizvodnji različitih vrsta fotografskih razglednica, a u novije doba i u rendgenskim laboratorijima. Kod svih spomenutih načina važan je faktor pomicanja filma relativno prema razvijatelju. Što je pomicanje brže, to je izrazitije prilagođenje vrijeme razvijatelja fotografskom sloju, to brže i energičnije je razvijanje.

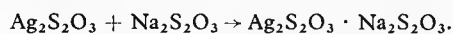
Dalja obrada fotografskih materijala. Nakon što je fotografski materijal razvijen, a prije fiksiranja, potrebno je proces razvijanja u sloju potpuno zaustaviti. To tzv. prekidanje razvijanja postiže se upotrebom kisele kupke (pH vrijednosti < 7). Uloga ove prekidne kupke je višestruka. Ona osigurava naglo zaustavljanje razvijanja, a time i točno održavanje trajanja razvijanja, sprečava eventualni nastanak mrlja oksidacijske mreže, te produžuje trajnost fiksirane kupke (čak i do dva puta). Trajanje prekidanja je obično 20–30 s. To je dovoljno da se neutraliziraju alkalni sastojci razvijatelja zaostali u fotografskom sloju i da se tako proces razvijanja zaustavi. Kod materijala debljeg sloja ili nakon razvijanja u jako alkalnom razvijatelju trajanje prekidanja potrebno je nešto produžiti. Za prekidnu kupku uzima se 2% otopina octene kiseline ili 4% otopina kalijum-metabisulfita.

Fiksiranje. Nakon razvijanja fotografskog materijala, u emulzijskom sloju je u prosjeku svega oko 25% AgHal reducirano u metalno srebro koje daje zacrtnjenje u slici. Preostale srebrne soli treba ukloniti iz sloja, jer bi djelovanjem svjetla cijela slika pocrnjela. Fiksiranje je, dakle, proces uklanjanja preostalih srebrnih soli iz emulzijskog sloja, kako bi se dobila trajna slika (fiksirati = učvrstiti). Uklanjanje srebro-halogenida izvodi se prevodenjem u topljivu kompleksnu sol, koja se u sljedećoj fazi obrade ispire vodom. Kao fiksirna supstancija upotrebljava se gotovo isključivo natrijum-tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), kako zbog vrlo snažnog djelovanja, tako i zbog niske cijene te soli, no u nekim se slučajevima (brzo fiksiranje) upotrebljava i amonijum-tiosulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$). Natrijum-tiosulfat dobro otapa srebro-halogenide i to prema ovom redoslijedu topljivosti: $\text{AgCl} > \text{AgBr} > \text{AgI}$. Najsporije se AgI prevodi u topljivi kompleks. Tiosulfat djeluje na taj način da sa srebro-halogenidima stvara topljive kompleksne tiosulfatne soli srebra. U tom se procesu mogu razlikovati tri faze:

U prvoj se fazi srebro-halogenid prevodi u srebro-tiosulfat

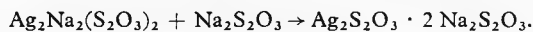


Srebro-tiosulfat je žuta, vrlo teško topljiva sol, pa i dalje ostaje u sloju. Daljim djelovanjem tiosulfata stvara se slabo topljiva bezbojna kompleksna sol:



Uslijed slabe topljivosti i ova sol ostaje u sloju, iako se zbog bezbojnosti ne primjećuje.

U trećoj fazi fiksiranja nastaje kompleksna sol srebro-tiosulfata s vezane dvije molekule natrijum-tiosulfata.



Ova je sol odlično topljiva u vodi.

Emulzijski sloj je mutan medij, jer su u želatini uklopljeni kristalići srebro-halogenida. Ti kristalići raspršuju svjetlo pa je fotografski sloj doduše proziran ali nije providan — nije bistar nego mutan. Dokle god se u sloju nalaze kristalići on je mutan, ako se razbistri, znači nestalo je kristalića, a nastala je molekularna disperzna otopina.

U fotografskoj praksi se upotrebljavaju ove vrste fiksirnih otopina: neutralni fiksir, kisel fiksir, kisel otvrdjujući fiksir.

Neutralni fiksir upotrebljava se uglavnom u obradi fotografskog materijala u boji, dok se **kisel fiksir** upotrebljava najčešće u obradi crno-bijelih fotografskih materijala. Prednost kiselog fiksira je u tome, što do kraja neutralizira alkalne tvari u fotografskom sloju, pa se tako sprečava pojavljivanje žutosmedih mrlja, kao i drugih smetnji koje mogu nastati uslijed prisutnosti tvari iz razvijateljske otopine u sloju. Kiselost otopini daje octena

kiselina ili neka kiselina sol, najčešće kalijum-metabisulfat ($K_2S_2O_5$). *Otvrdjujući fiksir* sadrži pored tiosulfata još i kalijum-alauin ($K_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24 H_2O$), koji uz prisutnost octene kiseline ili borne kiseline jako štavi želatinu i tako otvrdjuje sloj.

Trajanje fiksiranja ovisi o više faktora: o vrsti fotografskog materijala, o koncentraciji tiosulfata, o temperaturi fiksirne kupke i konačno o miješanju otopine, odnosno pomicanju fotografskog materijala u fiksiru. Za većinu fotografskog materijala je dovoljno da trajanje bude 10...15 min. Trajanje fiksiranja određuje se jednostavno tako da se izmjeri trajanje razbistravanja fotografskog materijala u fiksirnoj kupki. Kao najmanje trajanje fiksiranja uzima se tada dvostruko izmjereno trajanje razbistravanja. Za materijale bogate srebrnim solima (npr. rendgenski filmovi) uzima se da najmanje trajanje fiksiranja treba biti trostruko od izmjerenog trajanja razbistravanja. Prekratko trajanje fiksiranja fotografskog materijala može pokvariti snimku nakon sušenja zbog zaoštalih srebrnih soli u sloju. Suviše dugo fiksiranje oslabljuje sliku, jer dolazi do otapanja metalnog srebra. Pored toga može doći i do promjene tona slike.

Ispiranje. Ispiranje je faza fotografske obrade u kojoj se iz fotografskog sloja uklanjaju sve kemikalije koje su u sloj ušle u toku prethodnih faza obrade. Ako se želi postići trajnost snimke, iz sloja se ispiranjem treba ukloniti svaki trag supstancija koje su sadržavale kupke pri obradi. Proces ispiranja zavisi o brzini difuzije soli iz sloja u ispirnu vodu. Na brzinu difuzije pak općenito utječu: razlika koncentracije soli u sloju i u ispirnoj vodi, debljina fotografskog sloja, temperatura pri kojoj se proces difuzije odvija, te otvrdnutost fotografskog sloja. Prema tome nema smisla naglo provoditi velike količine vode, jer se time ni u kojem slučaju ne može preko neke granice ubrzati ispiranje. Dva su postupka ispiranja fotografskih materijala: ispiranje s kontinuiranim protokom vode i stacionarno ispiranje. Kod prvog postupka voda stalno protiče kroz kupku s fotografskim materijalom i odnosi isprane soli, u drugom slučaju nekoliko se puta promijeni voda u posudi za ispiranje.

Trajanje ispiranja ovisi o vrsti fotografskog materijala i to s obzirom na debljinu sloja, otvrdnutost slojeva, vrstu podloge (kompaktna ili šupljikava) i dr. U prosjeku se uzima da je dovoljno trajanje ispiranja od 20 min kod kontinuiranog postupka za fotografske materijale na kompaktnoj podlozi. Za fotografske papire (šupljikava podloga) trajanje ispiranja je barem dvostruko. Kod stacionarnog postupka potrebno je 5...6 izmjena vode kroz svakih 5 min za filmove, odnosno barem dvostruko kod fotografskog papira.

Sušenje. Sušenjem ispranog fotografskog materijala završava proces obrade. U toj se fazi materijalu oduzima suvišna voda, sve dok ne poprimi normalan sadržaj vlage. Fotografski materijal je suh kada sadrži otprilike 10...15% vlage. Veći sadržaj vlage od navedenog može dovesti do nepoželjnih posljedica, kao npr. do promjena u zacrtnjenju, zamućenju podloge, ljepljivosti sloja itd. Ukoliko je vlažnost manja od normalne, fotografski materijal postaje krhak, pa može doći do oštećenja emulzijskog sloja i podloge. Prije početka sušenja filmova preporuča se ukloniti uz materijal prionulu vodu nježnim potezima čiste mekane spužve (prirodne ili sintetičke), jer, se na taj način ubrzava sušenje. Kod fotografskog papira sušenje se ubrzava ako im prethodno suvišak vode uklonimo npr. filter-papirom.

Sušenje fotografskog materijala provodi se u praksi na ovih nekoliko načina: slobodno na zraku, u struji zraka, pomoću alkohola te sa zagrijanom pločom.

Sušenje slobodno na zraku kod filmova se najjednostavnije provodi vješanjem pomoću kvačica (izrađenih od nerđajućeg čelika ili plastične mase). S donje se strane objesi štipaljka s utegom, kako bi se spriječio pokretanje materijala uslijed gibanja zraka ili uvijanja dijelom osušenog filma. Uslijed toga moglo bi doći do sjepljivanja ili oštećivanja sloja.

Sušenje u struji zraka najjednostavnije se izvodi pomoću ventilatora, a za sušenje većih količina materijala upotrebljavaju se ormarci za sušenje s ugrijanim uređajem za upuhivanje zraka. Zrak za sušenje može imati temperaturu okoline ili može biti zagrijan najviše do 35 °C. Više se temperature u pravilu ne smiju upotrijebiti, jer može doći do taljenja i cijedenja emulzijskog

sloja. Ukoliko je sloj prije toga obrađen u kupki za otvrdjivanje (alauin, formalin) može se zrak zagrijati i do 60 °C.

Brzo sušenje pomoću alkohola upotrebljava se iznimno kada je potrebno izraditi hitne kopije (npr. u žurnalistici i dr.). Nakon redovitog ispiranja materijal se kupka kroz 3...4 min u 96% alkoholu razrijeđenom s vodom u omjeru 4 : 1. Nakon toga se film suši u snažnoj struji hladnog zraka. Pri tome se smije upotrijebiti samo etilni alkohol, a nikako metilni alkohol ili aceton, jer može doći do djelomičnog otapanja filmske podloge. Nedorodno razrijeđeni etilni alkohol izaziva pojavu mlječnog obojenja podloge.

Sušenje uređajem sa zagrijanom pločom upotrebljava se za sušenje fotografskog papira nakon obrade, budući da bi usred šupljikavosti podloge trajanje sušenja na drugi način bilo suviše dugo. Fotografski papiri imaju veoma otvrdnuti emulzijski sloj pa ih je moguće sušiti i pri temperaturama do 90 °C. Upotrebom uređaja sa zagrijanom sjajnom kromiranom pločom postiže se velika glatkoća zaštitnog sloja, što slici daje jaki («visoki») sjaj.

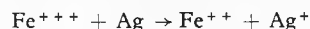
Trajanje sušenja općenito ovisi: o količini upijene vode, o relativnoj vlazi zraka pri sušenju, o brzini strujanja zraka i o temperaturi zraka.

Sadržaj vode u fotografskom materijalu nakon obrade ovisi o vrsti (tipu) materijala, o vrsti njegove podloge, te o stupnju nabubrenosti slojeva, koji su opet u vezi s uvjetima obrade, posebno temperaturom kupki i alkaličnosti razvijaa. Zrak manje relativne vlažnosti može primiti veću količinu isparene ili ishlapljele vode, pa je i sušenje brže. Boljom ventilacijom s površine fotografskog materijala djelotvornije se uklanja vlagom zasićeni zrak i dovodi u dodir sa svježim, «suhim» zrakom. Povišenjem temperature zraka smanjuje mu se relativna vlažnost a ubrzava ishlapljivanje iz fotografskog materijala. Kod sušenja zrak treba biti čist, bez sadržaja agresivnih plinova i para, te ne smije sadržavati prašinu. Neispravan način sušenja ne dovodi samo do mehaničkih grešaka na fotografskom materijalu, nego i do nepoželjnih fotografskih promjena (kao npr. pada zacrtnjenja).

Naknadna obrada. Pod naknadnom obradom razumijevaju se oni postupci kojima se ispravljaju stanoviti nedostaci negativna kao i pozitivna ili ih se oplemenjuje. Ti su postupci: oslabljivanje (redukcija), pojačavanje (intenzifikacija), prebojavanje (toniranje) i popravljivanje (retuširanje).

Oslabljivanje. Postupak oslabljivanja se u prvom redu primjenjuje na negativne koji su pretamni bilo uslijed prevelike ekspozicije, bilo uslijed predugog razvijanja. No, primjenjuje se i kod pozitivna mjestimično da se dobiju izrazite bjeline.

Najčešće je primjenjivan Farmerov oslabljivač. U njemu se pomoću kalijum-fericijanida ponovno oksidira Ag u Ag-ion, a da se izbjegne stvaranje srebro-ferocijanida, dodaje se otopini KBr, tako da nastaje ponovno AgBr. Ionska reakcija je slijedeća:



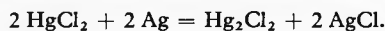
ili kao bruto reakcija



Kako se u otopini nalazi i natrijum-tiosulfat, to se AgBr odmah prevodi u topljivi kompleks koji se vodom ispire. Oslabljivanje se izvodi oprezno, tako da se fotografski sloj kratkotrajno (10...20 s) uroni u oslabljivač, zatim ocijedi i kratko vrijeme ispere, te se onda snimka pregleda dali li je dovoljno oslabljena. Ako nije, postupak se ponavlja. Na kraju je potrebno fotografski materijal temeljito isprati i onda staviti sušiti.

Pojačavanje (intenzifikacija). Postupkom pojačavanja ispravljaju se premalo zacrtnjeni negativni, što je moglo biti posljedica prekratke ekspozicije ili prekratkog razvijanja. Brojni postupci pojačavanja osnivaju se na taloženju nekog metala ili nekih metalnih spojeva tamne boje na koloidno srebro što čini negativsku sliku. Na taj se način povećava gustoća zacrtnjenja. Kako postojeće srebro čini podlogu za taloženje, to će se taložiti više tamo gdje ima i više srebra, tj. na mjestima veće gustoće zacrtnjenja. Tako se pojačanjem ujedno povećava kontrastnost negativa, što je i poželjno. Iz toga slijedi da tamo gdje nema srebra nema ni pojačanja. Dakle, samo postojeći, ali vrlo «tanak», negativ može se pojačati.

Najbrže i u najvećem stupnju se pojačava živinim pojačivačem. Merkuriklorid HgCl_2 (sublimat) oksidira srebro, a sam prelazi u netopljivi merkuroklorid. Negativ prvo izbljedi, jer se na mjestu snimke stvori AgCl i Hg_2Cl_2 . Bruto reakcija jest:



Nakon toga je potrebno snimku nanovo razviti, te se izluči kolidno srebro i živa. Na kraju se negativ dobro ispiri. Nezgodna je strana takvog pojačavanja u tome što je sublimat veoma otrovan, pa se s njim mora vrlo oprezno raditi.

Bikromatnim pojačivačem se uz srebro taloži i krom. Prvo se slika izbljedi u otopini kalijum-bikromata i solne kiseline, a zatim se nanovo razvije. Stupanj pojačanja je malen pa se za znatnije pojačanje treba postupak i više puta ponoviti.

Najjednostavnije je pojačavanje naknadnim fizikalnim razvijanjem. Iz otopine se srebro-nitrata pomoću razvijачke tvari reducira Ag^+ u Ag i taloži na već postojeću sliku. Stupanj se pojačavanja podešava trajanjem. Taloženje srebra iz otopine naziva se *fizikalnim razvijanjem*. Na taj se način, naime, može i latentna slika razviti u vidljivu sliku.

Toniranje. Ovim se postupkom crno-bijela pozitivna slika prevodi u jednobojnu sliku, tj. promijeni se ton slike. To se postiže tako, da se srebro slike prevede u neki srebrni spoj (npr. Ag_2S) ili zamijeni nekim drugim metalom.

Retuširanje obuhvaća niz operacija kojima je cilj ukloniti ili ublažiti nesavršenosti ili pogreške kako na negativu, tako i na pozitivu. Kod retuša je običaj slijediti ovu postupnost:

a Kemijsko retuširanje obuhvaća lokalno ili djelomično oslabljivanje, odnosno pojačavanje na dijelovima slike (koji to zahijevaju) pomoću finoga kista;

b pokrivanje »tankih« mjesta negativa izvodi se otopinom žute ili crvene boje. Uslijed obojenja želatinskog sloja dolazi prilikom kopiranja do oslabljivanja aktivnog svjetla. Na taj način obojeni sloj djeluje poput zaštitnog filtra;

c mehaničko retuširanje obuhvaća oslabljivanje mjesta negativa prevelike gustoće zacrnjenja mehaničkim putem, struganjem (brisanjem) vrlo finim specijalnim prahom (npr. plovućcem). Kod vještog se rada pojedina popravljena mjesta ne primjećuju;

d retuširanje olovkom: upotrebljava se diskretno, i to ne za »uljepšavanje« snimke, već isključivo za popravljivanje grešaka negativa ili pozitivu. Da bi olovka ostavljala trag, nanosi se lagani sloj specijalnog matirajućeg laka. Svi radovi na retušu obavljaju se na za to prilagođenom, iznutra difuznom osvijetljenom stoliću s matiranim staklom.

Strojna obrada. I u fotografski postupak uvedena je u novije doba strojna obrada u različitim fazama postupka. U prvom redu, pri kinematografskom postupku uvedena je strojna obrada kemijskog dijela i sušenja, te kopiranja. Zatim je uvedena pri izradi razglednica i u dokumentacijskoj tehnici. Konačno je zadnjih nekoliko godina uvedena strojna obrada i pri razvijanju rendgenskih filmova za dijagnostičke svrhe. Pri strojnom razvijanju filmova, odnosno papira fotografski se materijal na neki način pomiče kroz razvijач, prekidnu kupku, fiksirnu kupku, kroz vodu za ispiranje i konačno kroz sušionik. Put i brzina prolaza podešeni su tako da se postigne potrebno trajanje. Naravno da se pri takvoj obradi moraju održavati konstantnim i sastav i temperatura kupki. U tu su svrhu kupke cijevima spojene s rezervoarima u kojima se održavaju konstantni uvjeti, a crpkama se izvodi cirkulacija.

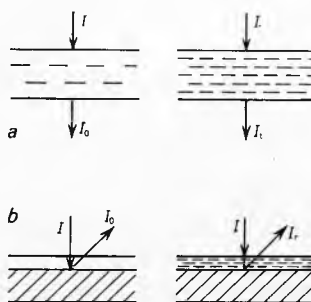
SENZITOMETRIJA

Riječ *senzitivometrija* u užem smislu znači mjerenje osjetljivosti fotografskih materijala, no u širem smislu znači općenito nauku o metodama određivanja karakteristika fotografskih materijala. Da se odrede karakteristike nekog fotografskog materijala, potrebno je na uzorku tog materijala niz polja različito osvijetliti, tako da se nakon razvijanja dobije niz različito zacrnjenih polja. Treba zatim izmjeriti gustoće zacrnjenja tih polja i odrediti ovisnost gustoće zacrnjenja o osvjetljenju i po tom odrediti karakteristike. Uzorak fotografskog materijala potrebno je definirano, tj. na točno određen način, osvijetliti, razviti i premjeriti. U tu

svrhu služe posebni senzitivometrijski uređaji: senzitivometar, razvijalo i denzitivometar.

Mjerenje fotografskog učinka (denzitivometrija). Fotografski učinak u crno-bijeloj fotografiji sastoji se u nekom zacrnjenju fotografskog sloja. Takav zacrnjeni sloj ne propušta više sve svjetlo, odnosno ne reflektira više sve svjetlo u slučaju fotografskog papira, nego samo stanoviti dio. Ostalo upija (apsorbira) ili pak raspršuje. Fotografski učinak se onda određuje po udjelu propuštenog (transmitiranog), odnosno odbijenog (reflektiranog) svjetla.

Na sl. 47 a prikazan je princip određivanja faktora transmisije T , koji je definiran kao omjer intenziteta I_0 prolaznog svjetla kroz prazan medij, tj. nezacrnjeni fotografski sloj, i intenziteta



Sl. 47. Princip određivanja: a faktora transmisije T , b faktora difuzne refleksije R_d . Intenziteti: I upadnog svjetlosnog snopa, I_0 prolaznog kroz prazan medij, odnosno reflektiranog na bijeloj površini, I_r prolaznog kroz zacrnjeni fotografski sloj, I_t reflektiran na zacrnjenom fotografskom sloju

I_t prolaznog svjetla kroz zacrnjeni fotografski sloj, uz isti intenzitet upadnog svjetla I , dakle $T = I_t/I_0$. Slično se definira i faktor difuzne refleksije $R = I_r/I_0$, kako je prikazano na slici 47 b. Upadno svjetlo intenziteta I upada okomito ili uz određeni kut na bijelu površinu. U nekom određenom smjeru mjeri se intenzitet I_0 reflektiranog svjetla. Zatim se na mjesto bijele površine stavlja zacrnjena površina i u istom smjeru mjeri intenzitet I_r reflektiranog svjetla. Za obje ove veličine vrijedi odnos $0 \leq T, R \leq 1$, jer one pokazuju udio prolaznog, odnosno raspršeno odbijenog svjetla. Opći faktor refleksije R može se rastaviti na dva pribrojnika: (v. *Fotometrija*, str. 608) R_u faktor usmjerene ili pravilne refleksije i R_d faktor difuzne ili raspršne refleksije

$$R = R_u + R_d.$$

Oba pribrojnika su važna za fotografiju: po difuzno reflektiranom svjetlu se i vidi, i snima predmete, a i određuje stupanj zacrnjenja na fotografskom papiru; po usmjereno reflektiranom svjetlu određuje se pak stupanj sjajnosti fotografskog papira. Za površinu na kojoj se sve svjetlo reflektira usmjereno je $R_u = 1$ (apsolutno sjajna površina), naprotiv ako se sve svjetlo reflektira difuzno onda je $R_d = 1$ (apsolutno bijela površina). Velika vrijednost faktora R_u znači sjajnu površinu (metalna zrcala, ugladeni fotografski papir), a velika vrijednost faktora R_d znači bijelu površinu (kreda, sitno hrapavi papir, magnezijum-oksidi nadimljena površina), naravno, samo ako je refleksija neutralna, tj. za sve duljine vala optičkog zračenja podjednaka. Za površine koje selektivno reflektiraju, faktor refleksije je ovisan o duljini vala λ zračenja.

Pri mjerenju zacrnjenja fotografskog papira za određivanje I_0 uzima se kao usporedna bijela površina ili površina nadimljena magnezijum-oksidi, ili fotografski papir samo premazan barijum-sulfatom (baritirani papir) ili pak neugladen fotografski papir zajedno s emulzijskim slojem, koji je samo fiksiran. Pri mjerenju zacrnjenja uz providnu podlogu (filmovi, ploče) najbolje se za određivanje I_0 primjenjuje samo fiksiran uzorak (kao providan medij). Faktor transmisije T poprima vrijednosti od 1 do 10^{-6} , pa je ta veličina neprikladna za grafičko predočavanje. Zato je uvedena veličina *gustoća zacrnjenja* D (densitas) definirana logaritmom recipročne vrijednosti faktora transmisije

$$D_t = \log \frac{1}{T} = \log \frac{I_0}{I_t},$$

kojom se izražava stupanj zacrnjenja. Sa D_t je označena transmisijska gustoća zacrnjenja za razliku od refleksijske gustoće zacrnjenja D_r , definirane logaritmom recipročne vrijednosti faktora difuzne refleksije

$$D_r = \log \frac{1}{R_d} = \log \frac{I_0}{I_r}.$$

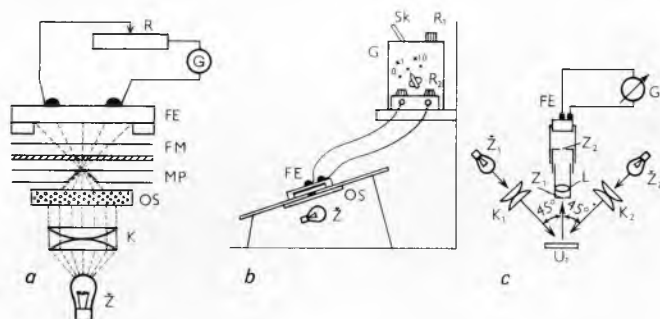
Faktori T i R_d zornije označuju stupanj zacrnenja nego logaritamske vrijednosti gustoće zacrnenja D_t i D_r . Neka zato za orijentacije posluži tabl. 5.

Tablica 5
PRIPADNE VRIJEDNOSTI FAKTORA TRANSMISIJE
I GUSTOĆE ZACRNIJENJA

Faktor transmisije T	1,00	0,5	0,25	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
Recipročna vrijednost faktora transmisije	1,00	2	4	10	10^2	10^3	10^4
Gustoća zacrnenja	0,00	0,30	0,60	1,00	2,00	3,00	4,00

Važno je da se vrijednostima gustoće zacrnenja znade odmah pružiti odgovarajuća propustljivost. Za određenu vrijednost $D_t = \log 1/T$ antilogaritmiranjem se odredi $1/T$, a računanjem recipročne vrijednosti odredi se T .

Denzitometri su uređaji kojima se mjeri gustoća zacrnenja. To je vrsta fotometara, pa se i u ovom slučaju razlikuju vizuelni (subjektivni) i fotoelektrični (objektivni) denzitometri. No, kako se vizuelni denzitometri praktički više ne nalaze u upotrebi, bit će prikazani samo fotoelektrični denzitometri. Prema tome koja se gustoća zacrnenja određuje služe transmisijski, odnosno refleksijski denzitometri. Na sl. 48 a prikazana je shema jednostavnog transmisijškog fotoelektričnog denzitometra. Svjetlo žarulje Z niskog napona skuplja se kondenzorom K i usmjeruje na pločicu opalnog stakla OS . U metalnoj pločici MP , koja je prislonjena uz OS , nalazi se u sredini kružna ili pravokutna pukotina.



Sl. 48. Shema denzitometara. a Princip transmisijškog denzitometra; b crtež fotoelektričnog denzitometra; c princip refleksijskog denzitometra; R otpornik, Sk skala galvanometra; U_z uzorak fotografskog papira, L leća kojom se stvara realna slika površine uzorka na površini fotoelementa, Z_1, Z_2 zaštitni zasloni od postranog svjetla; Z žarulja, K kondenzor, OS opalno staklo, MP metalna pločica s pukotinom, FM fotografski materijal, FE fotoelement, G galvanometar

Na tu se pločicu stavlja fotografski materijal FM sa zacrnenim slojem prema pukotini. U OS svjetlo se raspršuje te kroz pukotinu prolazi u svim smjerovima. Snop svjetla što prođe fotografski materijal pada ili direktno na površinu fotoelementa FE ili se hvata malim objektivom i uvećana realna slika pukotine baca na površinu fotoelementa. U krugu FE — otpornik R — galvanometar G teče struja proporcionalna intenzitetu snopa svjetla što upada na površinu fotoelementa. Neka su G_0 i G_t otkloni galvanometra što odgovaraju intenzitetima I_0 i I_t prolaznih snopova, onda je

$$T = \frac{I_t}{I_0} = \frac{G_t}{G_0} \quad D = \log \frac{I_0}{I_t} = \log \frac{G_0}{G_t}$$

Da bi se omjer G_t/G_0 mogao što jednostavnije izračunati, podese se pomoću otpornika jakost fotostruje tako da bude $G_0 = 100$ dijelova skale. Onda G_t direktno određuje T izražen u postocima. Da se pak ne bi moralo tražiti logaritme omjera G_0/G_t načinjena je druga paralelna skala na kojoj se direktno očitava D .

Na sl. 48 b prikazan je fotoelektrični denzitometar po autoru, pojedinačno izrađen u doba kad su se teško nabavljali instrumenti, a koji još i danas dobro služi za vježbe.

Na sličan način određujemo refleksijsku gustoću zacrnenja D_r . Snopom svjetla intenziteta I obasjava se površina fotografskog papira (sl. 47 b). U određenom smjeru mjeri se intenzitet

I_0 kad je podloga bijeli uzorak i intenzitet I_r kad je podloga zacrneni fotografski papir. Intenzitet reflektiranog snopa može se opet mjeriti fotoelektričnim denzitometrom. Na sl. 48 c prikazana je shema takvog refleksijskog denzitometra (po E. Drvodeliću). Opet će biti

$$R_d = \frac{I_r}{I_0} = \frac{G_r}{G_0}$$

$$D_r = \log \frac{1}{R_d} = \log \frac{I_0}{I_r} = \log \frac{G_0}{G_r}$$

Senzitometrijsko osvjetljavanje. Za fotografski učinak je odlučna ekspozicija E , tj. cjelokupna količina svjetla što padne na fotografski sloj, a ta je određena intenzitetom I (lx) i trajanjem osvjetljenja t (s). Prema tome je

$$E = I \cdot t$$

Da se na uzorku fotografskog materijala dobije niz različitih zacrnenih polja, osvjetljavaju se ta polja nizom ekspozicija $E_1, E_2, E_3 \dots E_n$. Radi lakše kasnije obrade uzima se da je taj niz pravilan, tj. da čini neku skalu ekspozicija. Ako je omjer ekspozicija susjednih polja stalan, tj. $E_2/E_1 = E_3/E_2 = \dots$ onda se kaže da je uzorak osvjetljen po geometrijskoj skali. Ako li su razlike ekspozicija susjednih polja stalne, tj. $E_2 - E_1 = E_3 - E_2 = \dots$ onda se kaže da je uzorak osvjetljen po aritmetičkoj skali. Pritom može intenzitet ostati stalan ($I = \text{konst.}$), a samo se trajanje mijenja (vremenska skala), ili pak trajanje može biti stalno ($t = \text{konst.}$), a samo se intenzitet mijenja (intenzitetna skala). Prema gornjoj bi relaciji učinak morao biti jednak bez obzira po kojoj se skali osvjetljavalo, no pokusi pokazuju da su učinci različiti. Pri praktičnom snimanju je trajanje stalno za cijelu snimku, a pojedini dijelovi objekta daju na fotografskom sloju osvjetljenje različitog intenziteta. Zato se pri određivanju karakteristika fotografskih materijala treba služiti intenzitetnom skalom. No, pri različitim senzitometrijskim kontrolama, kao i za određivanje trajanja ekspozicije pri kopiranju, može se služiti i vremenskom skalom koju je lakše ostvariti. **Senzitometrijski klinovi** služe za praktično ostvarivanje intenzitetne skale. Oni predstavljaju niz neutralno sivih filtera sve veće gustoće zacrnenja, tako da propuštaju sve manji dio upadnog svjetla. Moraju biti neutralno sivi da podjednako slabe svjetlo svih duljina vala, sve do u blisku ultraljubičasto zračenje. Ti klinovi mogu biti načinjeni od sloja želatine i tuša nanesenog na staklenu podlogu (tuš-želatinski klin), ili pak to može biti traka filma s različito zacrnenim poljima (fotografski klin), ili još može biti na staklo direktno napareni sloj srebra (srebrni klin). Klinovi mogu biti kontinuirani, tj. da im gustoća zacrnenja jednolično raste od jednog kraja do drugog, ili stepenasti, tj. da su razdijeljeni u polja sve većeg zacrnenja. Traži se da senzitometrijskom klinu gustoća zacrnenja raste pravilno. Za stepenasti klin traži se da razlika gustoće zacrnenja ΔD susjednih polja bude konstantna

$$D_2 - D_1 = D_3 - D_2 = \dots = D_n - D_{n-1} = \Delta D.$$

ΔD je stepenica klina, koja je obično 0,05 ili 0,10 ili 0,15 pa čak može u nekim posebnim slučajevima biti i do 0,30. Imajući ΔD i broj polja može se odrediti i *raspon gustoće klina*.

$$R_D = D_n - D_1 = n \cdot \Delta D.$$

Kontinuirani klin karakterizira konstanta klina k koja označuje porast gustoće zacrnenja po jedinici duljine klina:

$$k = \frac{\Delta D}{\Delta l}$$

Uz poznatu konstantu klina jednostavno je odrediti raspon gustoće klina duljine l :

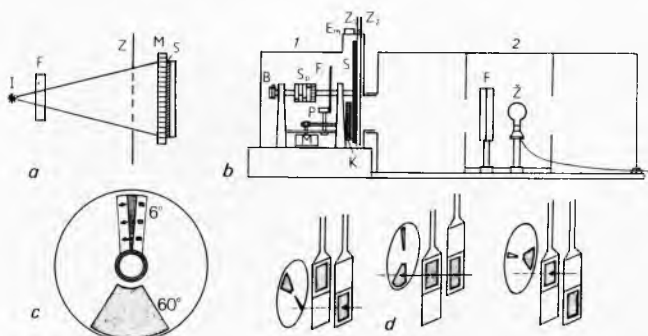
$$R_D = k \cdot l.$$

Kontinuirani klin je lakše načiniti nego li stepenasti, ali je stepenasti prikladniji za rad, pogotovu ako su mu polja potpuno odvojena neprozirnom maskom. Prikladnom maskom može se i kontinuirani klin pretvoriti u stepenasti, samo u tom slučaju zacrnenje unutar jednog polja nije jednolično.

Senzitometri su uređaji za definirano osvjetljavanje uzoraka fotografskog materijala. U principu takav uređaj (sl. 49 a) sa-

stoji se od izvora svjetla I , filtra za podešavanje kvaliteta svjetla F , zapora Z za točno odmierivanje trajanja osvjetljavanja, M senzitometrijskog klina kao modulatora osvjetljavanja i kazete ili spremnice u kojoj se nalazi fotografski materijal, osjetljivim slojem pritisnut uz senzitometrijski klin. Kao izvor svjetla služi baždarena žarulja s volframovom niti temperature boje $T_b = 2850$ K. Temperatura boje je određena jakošću struje propisane u baždarnom atestu i ona se mora održavati. Jakost struje se zato kontrolira preciznim ampermetrom.

Za postizavanje temperature boje $T_b = 5400$ K, tj. za imitaciju Sunčeva svjetla, propisan je tekućinski filtar po Davisu i Gibsonu (tzv. D-G-filtar). Za praktičan rad izrađeni su i želatinski modri filtri za imitaciju Sunčeva svjetla. Zapor je najteži problem svakog senzitometra.



Sl. 49. Senzitometar. a Princip senzitometra; I izvor svjetla, F optički filtar, Z zapor, M modulator osvjetljavanja (senzitometrijski klin), S fotografski sloj; b precizni senzitometar sa sektorskim kotačem koji se jednolično vrti i služi kao zapor; S sektorski kotač, Z_1, Z_2 pomoćni zapori na slobodni pad, E_m elektromagnet za otpuštanje pomoćnih zapora, K kazeta s filmom, M motor, P prijenosni kotačić, F_r frikcijski kotač, S_p klizna spojišta za elektromagnete, B kotačić bljeskovnog brojila, Z izbaždarena žarulja, F tekućinski filtar; c sektorski kotač s dva izreza za eksponiranje, i to od 6° za negativske i od 60° za pozitivske materijale, d faze djelovanja pomoćnih zapora; 1 oba zapora podignuta, svjetlo ne dopire do sektorskog kotača; 2 stražnji zapor spušten, svjetlo prolazi kroz sektor; 3 prednji zapor spušten, svjetlo ne dopire do sektora

Na sl. 49 b prikazan je precizan senzitometar domaće konstrukcije (K. Kempni, 1953.). Tri takva senzitometra su u uporabi u tvornici »Fotokemika«. Žarulja i filtar nalaze se u posebnom prostranom kućištu 2 (iluminatoru) iznutra pocrnljenom da se spriječe refleksi. Uređaj za osvjetljavanje 1 (eksponitor) ima sektorski kotač kojega jednolično okreće malen električni motor. Trajanje osvjetljavanja određeno je jednokratnim prolazom sektora ispred fotografskog sloja. Da se postigne samo jednokratno osvjetljavanje služe posebni zapori na slobodan pad.

Senzitometrijsko razvijanje. Da bi se uzorci fotografskih materijala mogli definirano razviti služe posebni uređaji: senzitometrijska razvijala koja omogućavaju razvijanje uz strogo određene uvjete. Razvijalač mora biti propisanog sastava, pomno priređen od čistih kemikalija i još neupotrijebljen; pomoću termostata mora biti osigurana stalna temperatura razvijalača ($20 \pm 0,2^\circ\text{C}$); svi se uzorci trebaju razvijati na jednak način i jednolično po cijeloj površini; trajanje razvijanja mora biti točno određeno; senzitometrijski uzorci se moraju razviti do određenog roka nakon osvjetljavanja. Osobito se mora paziti da se uzorci nepoželjno ne osvijetle fotoaktivnim svjetlom. Zato je propisano da se pankromatski materijali razvijaju u potpunoj tami, ostali uz crvenu prigušenu rasvjetu.

Prizmatsko razvijalo je jednostavan i priručan laboratorijski uređaj za takvo senzitometrijsko razvijanje (K. Kempni, 1952) a prikazano je na sl. 50. Uzorci se učvršćuju na nosače, a ovi na strane šesterostrane prizme. Cijela se prizma s uzorcima stavlja u valjkastu posudu u kojoj se nalazi odmjeren količina razvijalača prethodno temperiranog na točno 20°C . Posuda se stavlja u termostad radi održavanja stalne temperature razvijalača. U tijeku razvijanja prizma se (rukom ili motorom) na određeni način zakreće u oba smjera. (Npr. jedan zakret za vrijeme 1 s, a zatim jednako u suprotnom smjeru). Trajanje razvijanja određuje se zapornom ili signalnom urom. Nakon isteka određenog vremena, s prizme (u pokretu) skida se nosač s uzorkom i polaže u prekidnu kupku. Nakon takvog naglog prekidanja stavlja se u fiksir, slojem okre-

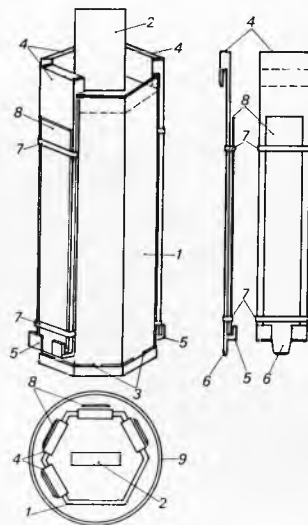
nutim prema dolje. Tek nakon završnog ispiranja uzorci se skidaju s nosača i stavljaju na sušenje. Ako se svi uzorci razvijaju jednako dugo, na signal ure vadi se iz razvijala cijela prizma i stavi najprije u valjak s prekidnom kupkom, a zatim u valjak s fiksirnom otopinom.

Trajanja razvijanja senzitometrijskih uzoraka u prizmatskom razvijalu određuju se tako da obuhvaćaju raspon od pojave slike, pa do ekstremnog stupnja razvijenosti.

Tako se npr. uzorci fotografskog papira (kojih je standardno trajanje razvijanja 2 min) razvijaju prema ovoj skali:

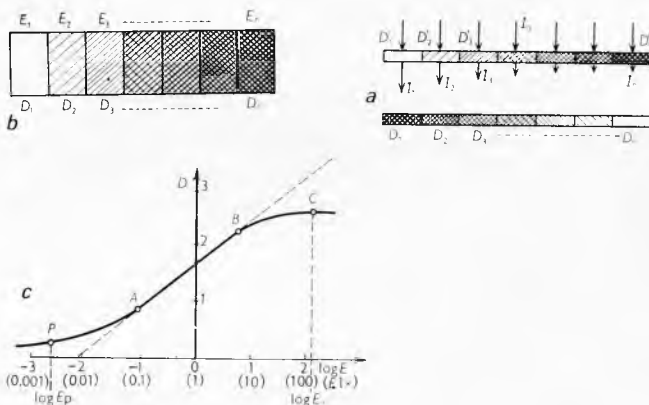
0,5; 1,0; 1,5; 2,0;
3,0; 6,0 min.

Na taj se način razvijaju uzorci zato da bi se dobili potrebni podaci za praćenje promjena karakteristika fotografskog materijala tijekom procesa razvijanja.



Sl. 50. Prizmatsko razvijalo. 1 Šesterostrana prizma (plastificirana), 2 hvataljka prizme, 3 utori za nosače uzoraka, 4 nosači uzoraka fotografskog materijala, 5 zavijeni okrajci koji pridržavaju uzorak, 6 jezičac koji pristaje u utor (3), 7 gumenica za pričvršćivanje, 8 senzitometrijski uzorci fotografskog materijala, 9 valjkasta posuda od plastičnog materijala

Krivulja zacrnjenja. Nakon razvijanja bit će na uzorku niz polja različite gustoće zacrnjenja (sl. 51 b). Da bi se od polja do polja znatnije povećala gustoća zacrnjenja potrebno je da ekspozicije rastu po geometrijskom nizu. Da se onda grafički prikaže ovisnost gustoće zacrnjenja D o ekspoziciji E , mora se primijeniti logaritamska skala ekspozicija, $\log E$. Krivulja koja se na taj način dobije naziva se krivulja zacrnjenja. Ona predstavlja grafički prikaz ovisnosti gustoće zacrnjenja o logaritmu ekspozicije.



Sl. 51. Krivulja zacrnjenja. a Shema osvjetljavanja kroz senzitometrijski klin $D_1', D_2', D_3' \dots D_n'$ gustoće zacrnjenja polja senzitometrijskog klina; I_0 intenzitet osvjetljenja upadnog svjetla, $I_1, I_2, I_3 \dots I_n$ intenziteti nakon prolaza svjetla kroz odgovarajuća polja klina, $D_1, D_2, D_3 \dots D_n$ gustoće zacrnjenja polja na uzorku b uzorak fotografskog materijala s nizom polja osvjetljenih uz ekspozicije $E_1, E_2, E_3 \dots E_n$, kojima je gustoća zacrnjenja nakon razvijanja $D_1, D_2, D_3 \dots D_n$; c tipična krivulja zacrnjenja; P prag zacrnjenja, AB pravčasti dio, C točka crnine

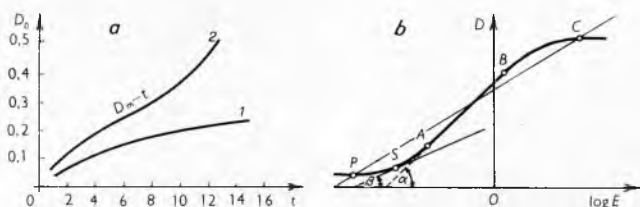
Na sl. 51 c prikazana je tipična krivulja zacrnjenja. Uz logaritamsku skalu ekspozicija nanese su u zagradi i numeričke vrijednosti samih ekspozicija, da bi se lakše pratila logaritamska skala. Na krivulji su označene neke važne točke: točka P označuje prag zacrnjenja, tj. odgovara prvom zamjetljivom zacrnjenju; točka crnine C označuje početak maksimalnog zacrnjenja, odnosno granicu sivog i potpuno crnog (prag sivoće). Uz dalje povećanje ekspozicije ne bi se više povećavala gustoća zacrnjenja. Dio krivulje zacrnjenja između točaka A i B je pravčasti. Sama krivulja podsjeća na brijeg, pa se tako dio krivulje od P do A može nazvati podnožje, od A do B pravčasti dio i od B do C privršje krivulje zacrnjenja.

Senzitometrijske karakteristike. Po krivulji zacrnnjenja može se doznati većina karakteristika određenog fotografskog materijala kao: mrena, maksimalno zacrnnjenje, područje i raspon ekspozicije, gradacija općenito i posebno gama-vrijednost, te osjetljivost.

Mrena. Ako se fotografski materijal razvija a da prije toga nije osvijetljen, može se dogoditi da ipak ima neko zacrnnjenje koje se naziva mrena. Većinom takvu mrenu imaju negativski materijali visoke osjetljivosti i rendgenski materijali. Uzrok mreine može biti nepoželjno difuzno osvjetljenje pri rukovanju s fotografskim materijalom ili dugotrajno uskladištenje u toplom i vlažnom prostoru. Ako se dobije na upotrebu materijal za koji se ne zna karakteristike ili se zna da je starijeg porijekla, dobro je za orijentaciju načiniti slijedeći pokus: od određenog materijala odreže se 5 do 6 malenih uzoraka i razvije ih se različito dugo (npr. 2, 3, 4, 5, 7, 10 min). Uz to jedan se uzorak samo fiksira. Osušanim uzorcima izmjeri se gustoća zacrnnjenja. Ako je D_0 gustoća zacrnnjenja neosvijetljenog, a razvijenog uzorka, D_t gustoća zacrnnjenja samo fiksiranog uzorka (podloge), D_m gustoća zacrnnjenja mreine, tada je

$$D_m = D_0 - D_t.$$

U navedenom pokusu dovoljno je odrediti D_0 za sve uzorke i dobivene vrijednosti nanijeti u ovisnosti o trajanju razvijanja t , kako je to prikazano na sl. 52 a. Dobivena krivulja naziva se



Sl. 52. Senzitometrijske karakteristike. a) Krivulje mrena-trajanje (D_m-t), 1 za stabilan, 2 za nestabilan fotografski materijal, b) važne točke i pravci na krivulji zacrnnjenja za određivanje osjetljivosti i gradacije; S točka osjetljivosti, pravac PC određuje srednji gradijent $\bar{g}$

krivulja mrena-trajanje (D_m-t). Ako je fotografski materijal svjež, bit će stabilan, tj. i nakon duljeg razvijanja neće mrena znatno porasti (krivulja 1). No, ako je materijal stariji, bit će nestabilan, tj. iznos mreine bit će znatan (npr. $D_m = 0,3$), a nakon duljeg trajanja razvijanja mrena će se naglo povećavati (krivulja 2). I takav nestabilan materijal može se u nekim slučajevima upotrijebiti i to na taj način, da se razvijaju doda tzv. stabilizator. No u tom se slučaju smanjuje osjetljivost fotografskog materijala, pa ga treba jače osvijetliti, ili dalje razvijati.

Maksimalno zacrnnjenje. Kako se razabire iz krivulje zacrnnjenja, povećanjem ekspozicije raste i gustoća zacrnnjenja, ali samo do neke maksimalne vrijednosti, D_M . Ta je maksimalna vrijednost gustoće zacrnnjenja karakteristična za pojedine vrste fotografskih materijala. Na negativskom materijalu neće doseći vrijednost $D_M = 3$, dok će na dijapozitivskom i premašiti tu vrijednost i eventualno doseći vrijednost $D_M = 4$. Za rendgenske i grafičke materijale doseže i vrijednost $D_M = 6$.

Koliko će biti maksimalno zacrnnjenje ovisi u prvom redu o koncentraciji srebro-halogenida u fotografskom sloju, o jednočesti veličine kristalica tih halogenida, o debljini emulzijskog sloja, ali i o energičnosti razvijaa i trajanju razvijanja.

Područje ekspozicije. Točkama P i C na krivulji zacrnnjenja (sl. 51 b) odgovaraju vrijednosti apscise $\log E_p$ i $\log E_c$ iz kojih se onda mogu odrediti i odgovarajuće ekspozicije E_p i E_c . Vrijednosti ekspozicije između E_p i E_c , dakle,

$$E_p \leq E \leq E_c$$

čine područje ekspozicije određenog fotografskog materijala. Samo unutar toga područja fotografski materijal registrira promjene ekspozicije odgovarajućim promjenama zacrnnjenja. Za vrijednosti ekspozicije $E < E_p$ fotografski materijal uopće ne reagira, a za vrijednosti $E > E_c$ nastaje maksimalno zacrnnjenje ili čak nastaje smanjenje zacrnnjenja. Zato se mora imati posebne fotografske materijale za različita područja ekspozicije, i to cijeli

niz materijala različite osjetljivosti tako da im se područja ekspozicije nadovezuju.

Raspon ekspozicije. Razlika apscisa točaka C i P naziva se rasponom ekspozicije i označuje sa R_E , pa je dakle

$$R_E = \log E_c - \log E_p.$$

Taj je raspon izražen logaritamski, pa tako npr. $R_E = 1,0$ znači $E_c/E_p = 10$, ili $R_E = 1,5$ znači $E_c/E_p = 32$, ili $R_E = 2,0$ znači $E_c/E_p = 100$.

Općenito se može reći da negativski materijali imaju velik raspon ekspozicije ($R_E \leq 3$), dok pozitivski imaju malen raspon ekspozicije ($R_E \leq 1$). Specijalni grafički materijali i neki fotografski papiri imaju sasvim malen raspon ekspozicije ($R_E \leq 0,5$).

Gradacija. Ako malenim promjenama ekspozicije odgovaraju znatne promjene u gustoći zacrnnjenja nekog fotografskog materijala, kaže se da je takav materijal kontrastan, odnosno da je tvrde gradacije. Naprotiv, ako znatnim promjenama ekspozicije odgovaraju samo neznatne promjene u zacrnnjenju kaže se da je materijal slabo kontrastan, odnosno da je mekane gradacije. Pod gradacijom općenito smatra se raspored gustoće zacrnnjenja na fotografiji u odnosu na raspored svjetloće na objektu. Gradaciju pokazuje krivulja zacrnnjenja svojim oblikom, osobito svojom strmišom. Strmišu krivulje u pojedinoj njezinoj točki kvantitativno određuje gradijent g . Definiran je ovako: gradijent u nekoj točki krivulje je tangens kuta što ga tangenta u toj točki čini s apscisnom osi. Ako se taj kut obilježi sa β , (sl. 52 b), tada je $g = \tan \beta$. Kako se razabire iz slike u točki P je $g = 0$, zatim u podnožju gradijent raste, u pravčastom dijelu je konstantan i poprima svoju najveću vrijednost, a zatim u privršu opet opada, te je u točki C opet $g = 0$. Posebno je važan stalni gradijent pravčastog dijela krivulje zacrnnjenja, koji se posebno označuje ne sa g nego sa γ (gama). Pravčasti dio čini s apscisnom osi kut α , pa je onda

$$\gamma = \tan \alpha.$$

Gama-vrijednost je reprezentant gradacije (barem za neke fotografske materijale). Kao dalji reprezentant gradacije može poslužiti i srednji gradijent $\bar{g}$. To je tangens kuta β , što ga s apscisnom osi čini pravac kroz točke C i P

$$\bar{g} = \tan \beta.$$

No, potpunu gradaciju daje samo cijela krivulja zacrnnjenja svojim oblikom.

Osjetljivost. Da se na različitim fotografskim materijalima uz jednako razvijanje dobije jednako zacrnnjenje treba ih osvijetliti uz različite vrijednosti ekspozicije. Tada se kaže da je osjetljiviji onaj materijal za koji je potrebna manja ekspozicija, a to znači što je krivulja zacrnnjenja više smještena ulijevo. Može se reći da krivulja zacrnnjenja svojim položajem u koordinatnom sustavu određuje osjetljivost fotografskog materijala. No, budući da su krivulje zacrnnjenja različitog oblika, mora se na njima izabrati neka određena točka i po apscisi te točke odrediti položaj krivulje zacrnnjenja određenog fotografskog materijala, a time i osjetljivost tog materijala. Ta se točka označava sa S (sensitas = osjetljivost). Ona se može odabrati ili po određenoj vrijednosti gustoće zacrnnjenja ili po određenoj vrijednosti gradijenta. Nekada prije točka P , tj. prag zacrnnjenja, uzimala se kao točka osjetljivosti, ali se pokazalo da to nije prikladno, jer je bilo nezgodno koristiti se negativskim materijalom, počevši od samog praga zacrnnjenja, budući da je gradijent u blizini točke P vrlo malen. Tražila se točka s većim zacrnnjenjem i s većim gradijentom, tako da se na negativu registriraju i razlike u svjetloći najtamnijeg dijela objekta.

Točka osjetljivosti S (sl. 52 b) ima neku apscisu $\log E_s$ iz koje se može odrediti pripadna ekspozicija E_s . Osjetljivost o se tada uzima da je obrnuto proporcionalna ekspoziciji E_s

$$o = \frac{k}{E_s}.$$

Faktor proporcionalnosti k , kao i točka S uzimaju se različito u različitim sustavima.

Promjene krivulje zacrnnjenja. Za isti fotografski materijal dobit će se različite krivulje zacrnnjenja u ovisnosti o uvjetima os-

vjetljanja, razvijanja pa i premjeravanja. Razlike u uvjetima osvjetljavanja koji daju različite krivulje zacrnenja jesu:

a različit kvalitet svjetla (različita temperatura boje T_b),

b različit intenzitet svjetla; uz velik intenzitet I , a vrlo kratko trajanje osvjetljavanja t , dobije se drugačija krivulja zacrnenja nego uz vrlo slab intenzitet i dugotrajno osvjetljavanje makar je umnožak $E = I \cdot t$ u oba slučaja jednak. Samo za manje omjere povećanja, odnosno smanjenja intenziteta (1 : 10) vrijedi zakon recipročnosti koji glasi: fotografski učinak ostaje jednak ako se intenzitet poveća (smanji), a u istom omjeru trajanje skрати (poveća);

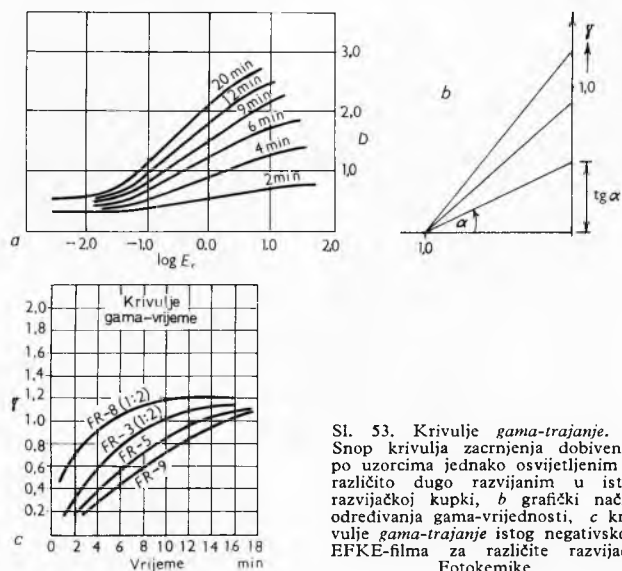
c različit način osvjetljavanja; po intenzitetnoj ili po vremenskoj skali osvjetljavanja; kontinuirano ili isprekidano.

Razlike u uvjetima razvijanja koje daju različite krivulje zacrnenja jesu: različite vrste razvijача, različita temperatura razvijача, različit način razvijanja (u tavi, vertikalno u tanku, prizmatiskim razvijalom, u stroju za razvijanje), različito trajanje razvijanja, te različiti stupanj iscrpljenosti razvijача. Razlike u uvjetima određivanja gustoće zacrnenja koje daju različite krivulje zacrnenja jesu: različiti tipovi denzitometara i različiti kvaliteti izvora svjetla u denzitometru.

Da se pri određivanju karakteristika fotografskih materijala izbjegnu sve te različitosti, točno je propisan kvalitet svjetla ($T_b = 5400 \text{ K}$, odnosno 2850 K); intenzitet, takav da je trajanje oko $1/20 \text{ s}$ za negativske materijale te kontinuirano osvjetljavanje po intenzitetnoj skali. Za razvijanje je propisan određeni razvijач, određena temperatura, vertikalno razvijanje uz dobro miješanje razvijача, te upotreba samo svježeg, još neupotrijebljenog razvijача.

Međutim, različitost se trajanja razvijanja ne izbjegava, nego se čak iskorišćuje da bi se pronašlo najpogodnije trajanje razvijanja.

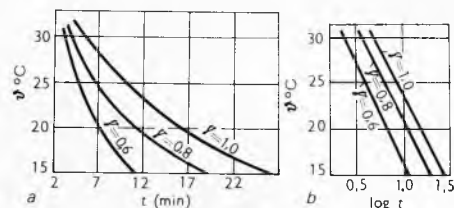
»Gama-trajanje« (γ - t) krivulja. Nekoliko se uzoraka fotografskog materijala osvijetli na jednak način. Zatim ih se razvije uz jednake ostale uvjete ali različita trajanja. Za svaki se uzorak odredi krivulja zacrnenja. One se međusobno razlikuju te čine snop krivulja (sl. 53 a). Za svaku se krivulju odredi grafički gama-vrijednost kako je to prikazano na sl. 53 b. Na apscisnoj osi označi se jedinična dužina apscise. Na desnom se kraju te dužine



Sl. 53. Krivulje gama-trajanje. a Snop krivulja zacrnenja dobivenih po uzorcima jednako osvijetljenim a različito dugo razvijanim u istoj razvijачkoj kupki, b grafički način određivanja gama-vrijednosti, c krivulje gama-trajanje istog negativskog EFKE-filma za različite razvijачe Fotokemike

gama-trajanje. Po tim se krivuljama može onda za određenu gama-vrijednost odrediti pripadno trajanje razvijanja. Za isti fotografski materijal a različite razvijачe bit će i različite te krivulje. Na sl. 53 c prikazano je nekoliko takvih krivulja za negativski EFKE-film i to za nekoliko razvijача (rapidni, spori, sitnozrni). Prema toj slici slijedi da se razvijanjem tog materijala postigne $\gamma = 1,0$ trebalo bi u prvom razvijачu razvijati 4, u drugom 9, u trećem 13, a u četvrtom 15 min. Kako se uz svaku krivulju zacrnenja može odrediti i gustoća zacrnenja mrene D_m , to se na istom grafu može prikazati i krivulja D_m - t koja pokazuje stabilnost tog fotografskog materijala.

Odnos trajanja razvijanja i temperature razvijача. Trajanja razvijanja, odnosno gama-trajanje krivulje, daju se za sobnu temperaturu $\vartheta = 20^\circ \text{C}$. Ako se temperatura poveća, proces razvijanja se ubrza, ako li se temperatura snizi, razvijanje se uspori. Ako treba neki fotografski materijal razviti do neke određene gama-vrijednosti, a uz temperaturu različit od sobne, mora se znati koliko treba trajanje razvijanja skratiti, odnosno produžiti prema trajanju uz temperaturu od 20°C . Zato se određuju i u prospektima daje zavisnost trajanja razvijanja t od temperature razvijача ϑ tzv. t - ϑ krivulje i to za određene gama-vrijednosti (sl. 54 a). Zavisnost nije jednostavna. Naime, ako se temperatura



Sl. 54. Krivulje trajanje-temperatura. a Uz aritmetičku skalu trajanja, b uz logaritamsku skalu trajanja

mijenja po aritmetičkom nizu, trajanje se mijenja po geometrijskom nizu. To znači, ako se temperatura snižuje za određene iznose, trajanje treba množiti određenim faktorom. Jednostavniji se odnos dobije, ako se uzmu logaritmi trajanja ($\log t$) kao apscise. Onda se, naime, dobiju pravci, kako to pokazuje sl. 54 b. Takvi se pravčasti grafovi daju u prospektima proizvođača fotografskih materijala.

Sustavi osjetljivosti. Za negativski materijal neophodno je potrebno poznavati osjetljivost, inače ga se ne može ispravno koristiti. Zato su se s razvojem fotografije razvijali i različiti sustavi određivanja i iskazivanja osjetljivosti negativskih materijala. Neke su države izradile i propisale svoje posebne sustave. Općenito su raširene: njemačka oznaka po sustavu DIN i američka po sustavu ASA.

DIN je kratica za »Deutsche Industrie Norm«. Cijeli postupak je određen u DIN 4512 izdanom 1932. God. 1939 prešlo se na preinačeni sustav Neo-DIN. Propisuje se standardni izvor svjetla, žarulja s volframovom niti i odgovarajući tekućinski filtar po Davisu i Gibsonu, tako da temperatura boje bude 5400 K . Za osvjetljavanje po intenzitetnoj skali služi neutralno sivi klin sa 30 polja, kojih su gustoće zacrnenja 0,1, 0,2, 0,3, ... 3,0 označene na klinu. Traži se da izvor svjetla bude najmanje 80 cm udaljen od fotografskog sloja, te da na površini klina bude intenzitet osvjetljenja baš 40,0 luksa. U tom je slučaju iz polja klina gustoće $D = 0,10$ intenzitet osvjetljenja $I_1 = 4,4$ luksa. Osvjetljavanje treba biti kontinuirano, a trajanje $t = 0,05 \text{ s}$. Prema tome ekspozicija iz polja gustoće 0,10 iznosi

$$E_{0,10} = I_1 \cdot t = 4,4 \cdot 0,05 = 0,22 \text{ lx.s.}$$

postavi okomito pravac na kojem se nanosi skala jednaka kao i za D . U početak jedinične dužine nanose se pravci paralelni s pravčastim dijelom krivulja zacrnenja. Oni sijeku okomiti pravac te čine pravokutne trokute. Kako je $\gamma = \tan \alpha$, a tangens kuta je omjer suprotne katete i katete uz kut, to odrezak na okomitom pravcu direktno daje gama-vrijednost, jer kateta uz kut iznosi baš 1. Na okomitom se pravcu očitaju gama-vrijednosti za sve krivulje zacrnenja, a onda se te vrijednosti unesu u sporednom grafu u ovisnosti o trajanju razvijanja i tako se dobiju krivulje

Za razvijanje senzimetrijskih uzoraka propisan je poseban razvijач, kao i način razvijanja. Na razvijenim se senzimetrijskim uzorcima odredi ono polje klina kojega je gustoća zacrnenja najbliža vrijednosti 0,10 iznad mrene i podloge. To se može načiniti vizuelno usporedbom s posebnim uzorkom ili, pak, mjerenjem gustoće zacrnenja polja slabog zacrnenja. Broj obilježen na polju, za koje se našlo da ima gustoću zacrnenja 0,10 iznad mrene i podloge, označuje stupnjeve DIN-a. Ako je takvo polje bilo oz-

načeno npr. sa 1,7, tada je osjetljivost tog materijala $17/10^\circ$ DIN. Po ovom sustavu uzima se, dakle, točka osjetljivosti S po određenom zacrtnjenju i to 0,10 iznad mreine i podloge.

Sustav ASA je uveden u Americi 1947, a cijeli je postupak određen u standardu Z.38.2.1-1947. ASA je kratica za »American Standard Association« (Američko društvo za standarde). Za izvor svjetla jednaki su uvjeti kao i za sustav DIN. Također se traži kontinuirano osvjetljavanje po intenzitetnoj skali, a trajanje ekspozicije da bude 1/20 do 1/80 s. Za senzimetrijski klin traži se da bude neutralno siv za spektralno područje 350...700 nm. Ako je klin kontinuiran, konstanta klina ne smije premašiti vrijednost 0,3, ako li je stepenast, stepenice ne smiju premašiti vrijednost 0,15.

Za razvijanje je propisan poseban razvijatelj za smotani film i ploče, a poseban za uski film. I trajanje razvijanja je različito propisano za različite vrste negativskih materijala. Razvijeni se uzorci premjere i nacrtaju se odgovarajuće krivulje zacrtnjenja. Točka osjetljivosti S određuje se ne po zacrtnjenju nego po gradijentu. Kako se po tom propisu određuje točka osjetljivosti S prikazano je na sl. 55 a. Na apscisu točke S dodaje se 1,5, što odgovara rasponu ekspozicije normalnog objekta (32 : 1). Tako

deks primjenjuje i britanski sustav BSI. 1960 prihvaćen je novi sustav, po kojem se točka S određuje po zacrtnjenju 0,10 iznad mreine i podloge kao i kod sustava DIN, a razvijati treba tako da se postigne određeni prosječni gradijent za područje normalnog objekta kako je to prikazano na sl. 55 b. Taj prosječni gradijent određen je razlikom točkama T i S pripadnih gustoća zacrtnjenja D_T i D_S , te treba iznositi 0,80, dakle, $\Delta D = D_T - D_S = 0,80$. Osjetljivost je određena izrazom $\sigma = 0,8/E_s$, a ne upotrebljava se više indeks ekspozicije.

U Sovjetskom Savezu je određen sustav osjetljivosti po propisu GOST 10691—63 (ГОСТ, Государственный общесоюзный стандарт). Točka osjetljivosti S odgovara gustoći zacrtnjenja 0,85 iznad mreine i podloge. Toj točki pak odgovara ekspozicija E_s , pa je osjetljivost definirana izrazom $\sigma = 10/E_s$.

Radi orijentacije navedene su u tabl. 6 odgovarajuće vrijednosti osjetljivosti u nekoliko sustava.

Spektralna osjetljivost. Kad se govori o osjetljivosti negativskih materijala, onda se uvijek pomišlja na neki broj, koji se očita na svjetlomjeru ili iz tablice za ekspoziciju. Takav broj zaista postoji za svaki negativski materijal, ali se njime iskazuje tzv. opća osjetljivost ili globalna osjetljivost, ili, mogla bi se još nazvati osjetljivost na sivo. Mimo te osjetljivosti razlikuje se još osjetljivost na boje ili spektralna osjetljivost. Ta se osjetljivost ne može iskazati jednim brojem, nego se kratko označuje jednim nazivom, a detaljnije se izražava krivuljom spektralne osjetljivosti. Ona u prvom redu određuje spektralno područje osjetljivosti, tj. područje u spektru na koje određeni fotografski sloj reagira. Uz područje osjetljivosti potrebno je još odrediti raspon osjetljivosti unutar tog područja, a to baš pokazuje krivulja spektralne osjetljivosti. Kao apscise nanose se duljine vala svjetla, a kao ordinata može u najjednostavnijem slučaju poslužiti spektrom proizvedeno zacrtnjenje.

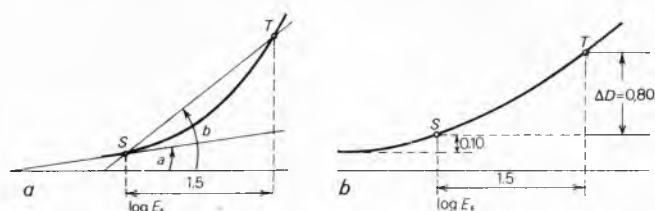
U spektrografu svjetlo se rastavlja u spektar i fokusira na fotografski sloj kojemu se želi odrediti spektralna osjetljivost. Nakon ekspozicije i razvijanja dobije se spektrogram, koji neće biti po cijelom području spektra jednako zacrtnjen. Za stanoviti niz vrijednosti λ odrede se pomoću denzitometra gustoće zacrtnjenja D i nanesu kao ordinate.

Tako dobivena krivulja pokazuje raspored spektralne osjetljivosti, ali samo s obzirom na upotrijebljeni izvor svjetla. Upotrebom drugog izvora svjetla dobio bi se i drugačiji raspored, jer različiti izvori svjetla imaju i različit raspored intenziteta zračenja. Takva krivulja pokazuje, dakle, kako određeni fotografski sloj reagira s obzirom na spektar nekog posebnog izvora svjetla.

Izvor svjetla kojemu bi intenzitet zračenja bio jednak za cijelo spektralno područje što za fotografiju dolazi u obzir (ekvivalentni spektralni izvor), dao bi pravi raspored spektralne osjetljivosti. Približno je takav spektar Sunčevog, odnosno dnevnog svjetla, pa se većinom i daje krivulja spektralne osjetljivosti za »srednje Sunčevo svjetlo«. Iz praktičnih razloga dodaje se u prospektima još i krivulja za svjetlo žarulje temperature boje $T_b = 2850$ K kao reprezentanta umjetne rasvjete. Još nije ušlo u običaj, da se daju krivulje spektralne osjetljivosti i za ostale izvore svjetla, kao za fluorescentne i živine svjetiljke, pa za magnezijumove i elektronske bljeskalice.

Na krivulji rasporeda spektralne osjetljivosti zanimljiva su područja maksimalne i minimalne osjetljivosti, te završetak krivulje na dugovalnoj strani.

Na najjednostavniji se način dobije krivulja osjetljivosti tako, da se neposredno pred fotografski sloj stavi neutralno sivi klin, kojemu propustljivost opada po visini spektra (sl. 56). Bez klina je snimak spektra po visini jednakog zacrtnjenja, s klinom opada zacrtnjenje prema gore, gdje je propustljivost klina manja. Gdje je osjetljivost veća, doprijet će i zacrtnjenje do veće visine. Na sl. 57 date su na taj način načinjene snimke pankromatskog filma i to uz osvjetljavanje žaruljom i dnevnim svjetlom. Drugi je način dobivanja spektrograma da se ulazna pukotina spektrografa izreže stepenasto. Osvjetljenje na fotografskom sloju razmjerno je širini pukotine, pa se spektrogram sastoji od pruga sve manjeg zacrtnjenja. Što je u kojem području spektra osjetljivost veća, to više će se pojaviti pruga na spektrogramu (sl. 58).



Sl. 55. Princip određivanja točke osjetljivosti S po sustavu ASA. a Stariji način (1947), b novi način (1960)

se dobije apscisa točke T . Pravac kroz S i T određuje srednji gradijent $\bar{g} = \tan b$ za cijelo područje ST , dok je tangentom u točki S određen pravi gradijent u toj točki $g_s = \tan a$. Točka S određuje se tako da bude

$$g_s = 0,30 \bar{g},$$

tj. gradijent u točki osjetljivosti S da bude 3/10 srednjeg gradijenta s obzirom na raspon ekspozicije normalnog objekta. Točki S odgovara određena ekspozicija E_0 , pa je osjetljivost $\sigma = 1/E_0$. No, za praktičnu upotrebu određuje se indeks ekspozicije $I_e = 1/4E_0$ i to zaokružene vrijednosti (npr. 200; 160; 125; 50). Taj je indeks ekspozicije aritmetička vrijednost. Uz to se primjenjuje i logaritamski indeks ekspozicije u stupnjevima, koji je u jednostavnom odnosu sa stupnjevima sustava DIN. Osim toga, taj logaritamski in-

Tablica 6

USPOREDBA OSJETLJIVOSTI FOTOGRAFSKIH NEGATIVSKIH MATERIJALA U RAZLIČITIM SUSTAVIMA

DIN	B. S. A. S. A. Log.	B. S. A. S. A. Aritm.	GOST
30°	40°	800	720
29°	39°	640	560
28°	38°	500	450
27°	37°	400	360
26°	36°	320	280
25°	35°	250	220
24°	34°	200	180
23°	33°	160	140
22°	32°	125	110
21°	31°	100	90
20°	30°	80	70
19°	29°	64	56
18°	28°	50	45
17°	27°	40	35
16°	26°	32	28
15°	25°	25	22
14°	24°	20	18
13°	23°	16	14
12°	22°	12	11
11°	21°	10	9
10°	20°	8	7
9°	19°	6	5,5
8°	18°	5	4,5
7°	17°	4	3,5
6°	16°	3	2,8
5°	15°	2,5	2,2
4°	14°	2	1,8

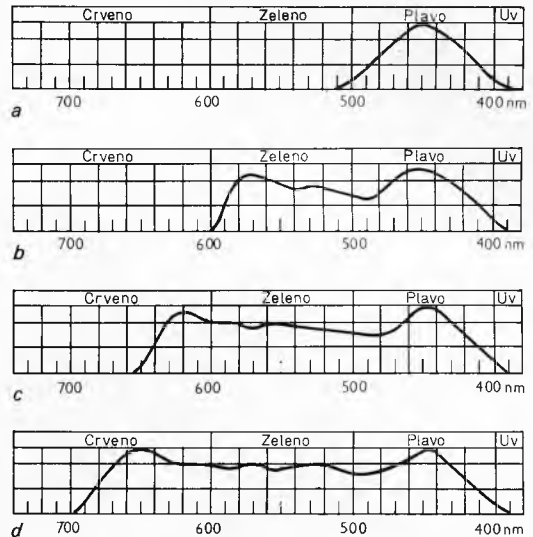
Područje vlastite osjetljivosti. Svjetlo može djelovati na fotografski sloj, samo ako bude u njemu apsorbirano i to na površini ili u unutrašnjosti »zrna«, tj. kristalića srebro-halogenida. Ti su kristalići potpuno prozirni za gotovo sve vidljivo svjetlo. Apsorbiraju samo modri i ljubičasti dio vidljivog svjetla i naročito nevidljivo ultraljubičasto zračenje. Prema tome i fotografski učinak može nastati samo ako na fotografski sloj dopiru modre, ljubičaste ili ultraljubičaste zrake (aktinčno svjetlo). Za ostalo svjetlo fotografski je sloj »slijep«, ne »vidi« ga. Spektralno područje koje apsorbiraju zrna srebro-halogenida, bez pomoćnih dodataka, naziva se područje vlastite osjetljivosti. Ono ima svoj maksimum osjetljivosti i to u području oko 360 nm za srebro-klorid, oko 440 nm za srebro-bromid te oko 480 nm za srebro-jodid (u većini slučajeva negativskih emulzija, to je ujedno i glavni maksimum osjetljivosti). Dugovalna granica područja vlastite osjetljivosti je negdje blizu, 420 nm za srebro-klorid, 510 nm za srebro-bromid i 570 nm za srebro-jodid. Granica u ultraljubičastom nije oštro označena, ali svakako seže i ispod 200 nm. Međutim, ta granica nije toliko važna za praktičnu fotografiju. Staklo fotografskog objektiva već ne propušta zrake ispod 350 nm duljine vala, a i taj dio što ga propušta samo smeta pri praktičnom snimanju, te ga je dobro isključiti kakvim laganim žutim filtrom.

Ortokromatski materijali. Prvi fotografski materijali nisu bili senzibilizirani, pa su zato bili »slijepi« za boje. Na pozitivnim kopijama su se plava i ljubičasta boja reproducirale kao svjetlosive, dok su se sve ostale boje reproducirale kao da su bile vrlo tamne. Boje se po svjetloći nisu ispravno reproducirale. Materijali, koji su pomoću optičkih senzibilizatora učinjeni osjetljivim i na modrozeleno, zeleno, žutozeleno i žuto područje, ispravno su reproducirali boje predmeta po svjetloći (izuzevši narančastu i crvenu), pa su zato bili nazvani ortokromatski (pravobojni). Na sl. 59 prikazane su tipične krivulje rasporeda spektralne osjetljivosti i to za nesenzibiliziran materijal *a* kao i za ortokromatski materijal *b*. Iz njih se razabira da osim glavnog maksimuma osjetljivosti u modrom, postoji još jedan u žutozelenom području. Osim toga postoji područje relativno slabe osjetljivosti (minimum osjetljivosti u modrozelenom području). Ortokromatski materijali imaju, dakle, osim područja vlastite osjetljivosti, još jedno područje osjetljivosti od modrozelenog do žutog. Upravo po tom proširenom području međusobno se razlikuju ortokromatski materijali.

Za dobar ortokromatski materijal postavlja se zahtjev: krivulja spektralne osjetljivosti treba da na dugovalnoj granici (u žutom) strmo završava, tj. osjetljivost u narančastom naglo prestane. To je potrebno, da bi se takav materijal mogao sigurno obrađivati uz crveno zaštitno svjetlo. Takva se strma granica osjetljivosti postizava dodatkom prikladnih supersenzibilizatora.

Pankromatski materijali. Materijali koji su osjetljivi na cijelo područje vidljivih zraka nazivaju se pankromatski, tj. svebojni materijali. Tek s takvim materijalima mogu se dobro reproducirati svjetloće različito obojenih predmeta.

Na sl. 56 c prikazana je krivulja spektralne osjetljivosti prosječnog pankromatski senzibiliziranog fotografskog sloja. Po toj se krivulji razabira, da osjetljivost nije jednolična po cijelom području spektra, nego postoje opet područja maksimalne i minimalne osjetljivosti. Pankromatski materijali različitog porijekla međusobno se razlikuju u prvom redu po dugovalnoj granici.



Sl. 59. Tipične krivulje rasporeda spektralne osjetljivosti: *a* nesenzibiliziranog, *b* ortokromatski, *c* i *d* pankromatski senzibiliziranog fotografskog materijala

To ovisi, naravno, o primijenjenim senzibilizatorima. Dobro pankromatski senzibiliziranim materijalima seže područje osjetljivosti do 680 nm ili čak 700 nm (sl. 56 d). Dalje proširenje područja nije više poželjno za normalnu fotografiju. Ako li se pak granica osjetljivosti nalazi već pri 640 nm, tada se takvi materijali nazivaju i ortopankromatski.

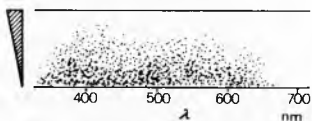
Od dobro senzibiliziranog materijala traži se da senzibilizacija bude što jednoličnija. To se postiže prikladnom kombinacijom od više senzibilizatora i još supersenzibilizatora.

Infracrveni materijali služe u posebne svrhe, naime, kad se žele dobiti snimke samo s infracrvenim zrakama. Prema tome, za njih nije potrebno da su osjetljivi po cijelom spektralnom području, štaviše, to bi samo smetalo. No, područje vlastite osjetljivosti se ne može ukloniti, pa tako infracrveni materijali imaju dva sasvim odvojena područja spektralne osjetljivosti. Različiti infracrveni materijali razlikuju se i po dugovalnoj granici i po maksimumu osjetljivosti. Najčešće primjenjivani infracrveni materijali imaju maksimum osjetljivosti između 700 i 750 nm. Naravno, raspored spektralne osjetljivosti može biti vrlo različit, već prema tome kakvi su senzibilizatori primijenjeni.

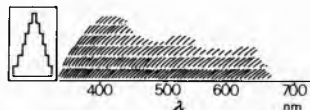
Da se dobije snimka s infracrvenim zrakama potrebno je pomoću prikladnih filtera potpuno isključiti pristup ultraljubičastim, ljubičastim i modrim zrakama, te tako isključiti vlastitu osjetljivost. Ukoliko se pak želi snimati s infracrvenim zrakama različitog spektralnog područja, moraju se upotrijebiti materijali odgovarajuće senzibilizacije.

Ostale značajke. Ako se na fotografski sloj fokusira slika svijetle točke, te ako se to mjesto jako osvijetli, nakon razvijanja opazit će se da je osim slike svijetle točke nastao još i neki vijenac. Taj fotografski učinak naziva se općenito *halo-efekt*, jer po izgledu slični halo-pojavama, što se zapažaju oko Sunca i Mjeseca, kad ih se motri kroz tanki sloj visokih oblaka.

Halo-efekt nastaje iz dva razloga: 1 uslijed difuzije svjetla u fotografskom sloju ono se rasprostire na sve strane, pa tako ulazi i u podlogu pod različitim kutovima; 2 na donjoj strani podloge svjetlo izlazi iz gušćeg sredstva u rjeđe sredstvo, pa uz malo veći kut upadanja dolazi do totalne refleksije (sl. 60 a). Baš



Sl. 56. Shematski prikaz dobivanja spektrograma fotografskih materijala uz primjenu sivog klina



Sl. 58. Shematski prikaz dobivanja spektrograma fotografskih materijala primjenom stepenaste pukotine



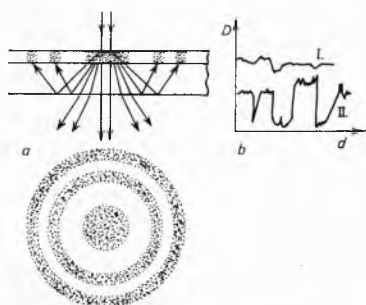
Snimak svjetlom žarulje ($T_b \approx 2660$ K).



Snimak imitiranim dnevnim svjetlom ($T_b = 5400$ K)

Sl. 57. Spektrografski snimci (pozitivi) na pankromatskom materijalu uz primjenu sivog klina rastuće gustoće u smjeru ordinate.

to svjetlo što se totalno reflektira, daje vijenac oko slike svijetle točke. Izraziti vijenac nastaje samo oko slike vrlo svijetle točke, inače se u slici očituje kao smetnja time što od svijetlih dijelova objekta nastaje zacrnjenje i u području tamnih dijelova objekta. Na taj se način smanji kontrastnost slike, a često se i sliju sitne pojedinosti, te se umanjuje raspoznavljivost slike.



Sl. 60. Posebne značajke fotografskih materijala. a) Nastajanje halo-efekta, b) mikrodensitogrami fotografskog sloja: 1 "sitnog zrna", 2 "krupnog zrna"

Halo-efekt predstavlja, svakako, veliku smetnju na snimkama, pa ga se zato nastoji što više suzbiti. Halo-efekt se sprečava tzv. antihalo-slojem. To je sloj koji treba da potpuno ili djelomično apsorbira svjetlo, što je neiskorišteno prošlo kroz fotografski sloj. Tri su načina kako se zaštićuje od halo-efekta: 1 posebni antihalo-sloj lijeva se na podlogu ispod sloja emulzije; 2 u podlogu se stavljaju tvari što jako apsorbiraju svjetlo; 3 antihalo-sloj se nanosi na stražnjoj strani podloge. Prvi način se rjeđe primjenjuje, drugi se primjenjuje kod uskih 35 mm negativskih materijala, a kod ostalih se primjenjuje treći način.

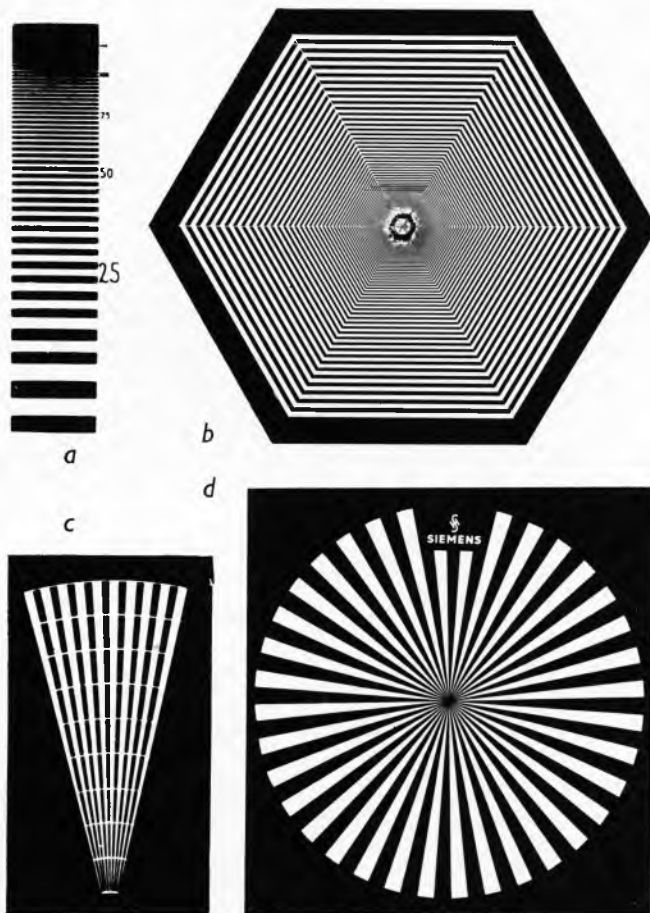
Budući da emulzijski sloj sam znatno apsorbira plavo i ljubičasto svjetlo, to se katkada zaštićuje samo od žutog i crvenog svjetla. Osobito kod pankromatskih materijala dolazi do izražaja halo-efekt od žutog i crvenog svjetla, za koje je sloj emulzije vrlo propusan. Zato se često uzima plavi ili zeleni antihalo-sloj. Crveni i smeđi antihalo-sloj primjenjuje se kod materijala koji nisu optički senzibilizirani, a treba potpuno spriječiti halo-efekt. Takav je slučaj kod fotografskog materijala za grafičke svrhe.

Razvijeni i fiksirani fotografski slojevi sastoje se od želatine i u njoj uklopljenih zrnaca metalnog srebra. Ta zrnca nekada imaju oblik izvornih zrnaca srebro-halogenida, no u mnogo slučajeva su ona nitasta, bez kristalne strukture. To osobito vrijedi za veća zrnca srebro-halogenida razvijenih u kojem rapidnom razvijanju. Pri razvijanju u rapidnim razvijalima spajaju se još pojedinačna zrnca i čine aglomerate, koji se onda očituju kao velika zrnca. Mjerimo li gustoću zrnjenja razvijenog sloja pomoću mikrodensitometra uz veliko povećanje (sl. 60 b), to će ona pokazivati malena kolebanja u slučaju sitnog zrna (kriv. 1), a velika kolebanja u slučaju krupnog zrna (kriv. 2). Ta pojava zrnate strukture razvijenog fotografskog sloja naziva se *zrnatost fotografskog sloja*. Stupanj zrnatosti može se i kvantitativno izraziti na više načina. On je ovisan o vrsti emulzije i o razvijanju. Posebnim *sitnozrnim razvijalima* može se spriječiti nastajanje velikih zrna i aglomerata.

Ako se fotografski negativ kopira uz znatno povećanje (više od 6 puta linearno), u nekim slučajevima će se na kopiji dobiti nemirna ploha zacrnjenja, kao da je pjegasta. Ta pojava naziva se *zrnanje*. Ona nastaje uslijed toga, što nakupine zrnaca srebra u sloju negativa daju u projekciji sjenu svojih kontura. Pojavu zrnjanja pokazuje svaki negativ samo neki u većoj, a neki u manjoj mjeri. Najjače se na kopiji očituje zrnjanje na plohama, koje su u negativu jednoličnog a jačeg zacrnjenja. Pojava zrnjanja ovisi i o gustoći zacrnjenja kopije. Ona se najjače ističe uz gustoću zacrnjenja $\sim 0,3$. Emulzije sitnog zrna dozvoljavaju povećanje i do 20 puta linearno, a da se zrnjanje ne pokazuje kao smetnja.

Snimaju li se objekti vrlo sitnih pojedinosti na različitim vrstama fotografskih materijala, to će se na nekim negativima vrlo dobro razlikovati te pojedinosti, dok će se na drugim izgubiti. Za prvu se vrstu materijala kaže da imaju veću *spособnost razdvajanja* od onih drugih. Da bi se ta sposobnost razdvajanja mogla kvantitativno odrediti, načinili su različiti autori različite crteže

tzv. test-objekte, koji se snimaju u znatno smanjenom omjeru na materijale kojima ispitujemo sposobnost razdvajanja. Nakon obrade određuje se pod lupom ili mikroskopom do kojeg se stupnja još mogu razlikovati pojedinosti kopije test-objekta. Nekoliko jednostavnih test-objekata prikazano je na sl. 61. Uz određeno



Sl. 61. Nekoliko jednostavnijih test-objekata za određivanje sposobnosti razdvajanja fotografskih materijala: a) jednostavni linearni, b) šesterostrani linearni (po Schumannu), c) radijalni sektorski, d) radijalni kružni (po Sternu)

smanjenje preračuna se debljina pruga, a po tom koliko pruga dolazi na 1 mm. Sposobnost razdvajanja se onda izražava brojem linija na milimetar, koje se još mogu sa sigurnošću razlikovati.

FOTOGRAFSKI MATERIJALI I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

Fotografski materijali mogu se svrstavati po različitim karakteristikama: po boji (crno-bijeli i kolor-materijali), po podlozi (fotografske ploče, filmovi i papiri), po vrsti srebro-halogenata u emulziji (bromsrebrne, klorosrebrne, miješane emulzije), po ulozi u fotografskom postupku (negativske materijale, koji služe za direktno snimanje objekata, i pozitivske materijale, koji služe za kopiranje i reprodukciju), i konačno po području primjene (materijale za stručnu i amatersku fotografiju, kinematografiju, rendgenografiju, grafičku reprodukciju, aerografiju i znanstvena istraživanja).

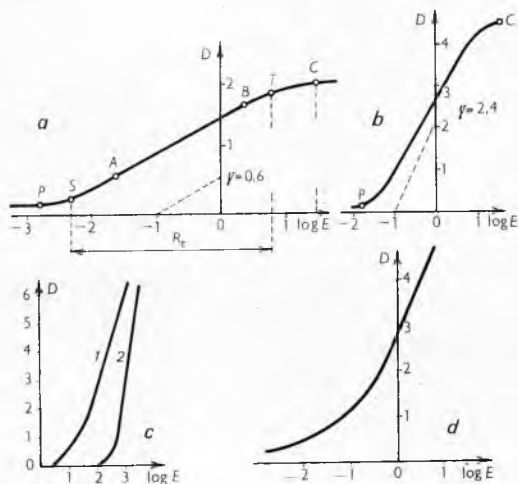
Negativski materijali. Negativski materijali su po podlozi uglavnom filmovi (uski, smotani i plan-film), a samo rijetko još ploče. Po emulziji su mješavina AgBr-AgI. Osobitost im je u građi jer imaju na stražnjoj strani antihalo-sloj, odnosno na uskom filmu podlogu slabo ljubičastosivo obojenu, radi sprečavanja halo-efekata na negativu. Služe za dobivanje negativa od kojih se kopiranjem dobivaju pozitivske slike. Na sl. 62 a prikazana je tipična krivulja zacrnjenja negativskog materijala. Iz nje se jasno razabiru i glavne senzimetrijske karakteristike:

Opća osjetljivost je velika i mora biti poznata da bi se negativski materijali mogli ispravno koristiti, jer se pri snimanju ne mogu

obavljati nikakvi pokusi. Zato je uz svaki materijal naznačena opća osjetljivost po jednom ili po više sustava osjetljivosti. Opća osjetljivost običnih negativskih filmova je 14/10...26/10° DIN-a, odnosno 20...500 ASA. No postoje u novije vrijeme još i specijalni filmovi osjetljivosti i do 36/10° DIN-a.

Mrena se može tolerirati i do vrijednosti 0,3, pa i više, ali se bolje kopije dobivaju ako je mrena manja.

Faktor kontrasta, odnosno gama-vrijednost, je uz normalno razvijanje 0,6...1,0. Gama-vrijednost je reprezentativna za negativske materijale, jer je velik pravčasti dio krivulje zacrnenja. U pravčastom području je gustoća zacrnenja proporcionalna logaritmu ekspozicije, pa se skala svjetloća ploha objekta ispravno prenosi u skalu sivoće na negativu.



Sl. 62. Tipične krivulje zacrnenja za četiri glavne vrste filmova: a) negativski; b) dija pozitivski; c) grafički; d) za reprodukciju crteža, 2 za sito-snimke; d) rendgenski

Raspon ekspozicije ($\log E_T - \log E_S$) je vrlo velik, što je vrlo važno iz dva razloga: prvo, ako je objekt normalnog raspona svjetloće, može se dobiti ispravan negativ i uz znatno različite ekspozicije, a da ekspozicija ne bude prevelika, i drugo, mogu se ispravno snimiti objekti vrlo velikog raspona svjetloće (npr. 1000 : 1).

Maksimalna gustoća zacrnenja kod negativskih materijala uz primjenu negativskih razvijaa obično ne prelazi znatno vrijednost 2,0. Veliko zacrnenje bila bi samo smetnja pri kopiranju.

Spektralna osjetljivost je danas redovno pankromatska. U prospektima se daje paralelno krivulja rasporeda spektralne osjetljivosti za imitaciju Sunčevog svjetla: $T_b = 5400$ K i za umjetnu rasvjetu žaruljama: $T_b = 2850$ K. Kao primjer značajki negativskog materijala neka poslužuje prospekt tvornice Fotokemika u Zagrebu za smotani film EFKA 25 PAN (sl. 63).

Zrna emulzije nisu podjednaka, nego su zastupljena zrna veličine 0,1 μ m pa sve do veličine 6 μ m. Naravno, najveća zrna su i najosjetljivija, imaju eventualno najveći broj klica osjetljivosti pa će i uz vrlo malu ekspoziciju izazvati neko zacrnenje. Prema maksimalnoj veličini zrna razlikujemo obične i sitnozrne negativske materijale. Ovi sitnozrni su uvijek manje osjetljivosti nego oni obični, ali se zato pomoću njih mogu postići daleko veća povećanja bez pojave zrnjanja. Negativski materijali ekstremne osjetljivosti uvijek su krupnozrni.

Primjena različitih vrsta negativskih filmova. Smotani filmovi upotrebljavaju se kod svih egzaktnijih snimanja u fotografskim aparatima s mijehom ili refleksnim aparatima, najčešće u profesionalnoj fotografiji. Izobličenja slike mnogo su slabije izražena u usporedbi sa slikom dobivenom aparatima za uski film. Snimke su najčešće formata 6 × 6 cm (12 snimaka) ili 6 × 9 cm (8 snimaka). Za obradu ove vrste filmova (za razliku od uskih) mogu se upotrijebiti i rapidni razvijaači, bez dobivanja nepoželjnog efekta zrnjanja na pozitivskim kopijama umjerenog povećanja. Kod izrade pozitivna često nije potrebno povećavanje, već se kopira kontaktnim postupkom. Ako je potrebno povećavanje, ono je najčešće relativno maleno, pa se postiže vrlo dobra kvaliteta kopija. S druge strane, veliki format negativske snimke po po-

trebi omogućuje i izradu pozitivskih kopija vrlo velikih povećanja. Uski perforirani filmovi (35 mm) upotrebljavaju se u fotografskim aparatima malenog formata snimke (minijaturnim kamerama) zbog ekonomičnosti najčešće u amaterskoj fotografiji a profesionalno u kinematografiji. Osobito su pogodni kod snimanja kod kojih je potrebno dobiti veći broj snimaka. Ovi se filmovi razvijaju u pravilu vremenskim i sitnozrnatim razvijaačima, budući da se pozitivska kopija izrađuje pomoću aparata za povećavanje projekcijom. Format snimke je najčešće 24 × 36 mm (36 snimaka), a rjeđe manjeg formata (24 × 24 mm ili 18 × 24 mm). Ova je vrsta filmova osobito pogodna za izradu dija pozitivita za projekciju. Dija pozitiviti se dobivaju kontaktnim kopiranjem negativa na uski pozitivski film uz obradu pozitivskog filma odgovarajućim razvijaačem koji daje jači kontrast i ugodan ton projiciranoj slici.

Plan-filmovi upotrebljavaju se u profesionalnoj fotografiji za dobivanje kvalitetnih pojedinačnih snimaka velikog formata. Prednost je plan-filmova u tome, što se radi postizanja što bolje kvalitete slike mogu obavljati brojne korekture: pri snimanju (neovisnim pomicanjem objektiva i spremnice s filmom uz promatranje slike na mutnome staklu), pri obradi osvijetljenog filma (pojedinačnim razvijanjem), pri naknadnoj obradi negativa (kemijskim ili mehaničkim retušem) i dr. Najčešći formati filmova jesu: 9 × 12 cm i 10 × 15 cm. Pozitivske kopije izrađuju se kontaktno ili projekcijom, pri čemu su moguća vrlo velika povećanja pozitivske slike.

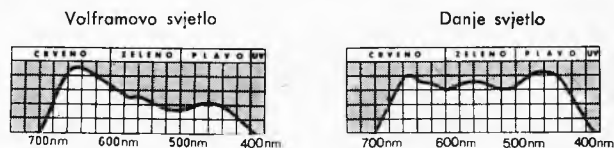
Dija pozitivski materijali služe za dobivanje pozitivskih slika koje se motre kroz prosvijetljene (dia = kroz), bilo da su odostraga difuzno osvijetljene, bilo da su projicirane. Podloga je tih filmova providna i bezbojna. Za projekciju služi uski film, dok za ostale svrhe postoje filmovi i u velikim formatima. Pozitivske kopije obično se prave kontaktne, ali se mogu praviti i povećanja. Na sl. 62 b prikazana je tipična krivulja zacrnenja dija pozitivskog filma.

Opća osjetljivost svjetlomjer podesiti na:

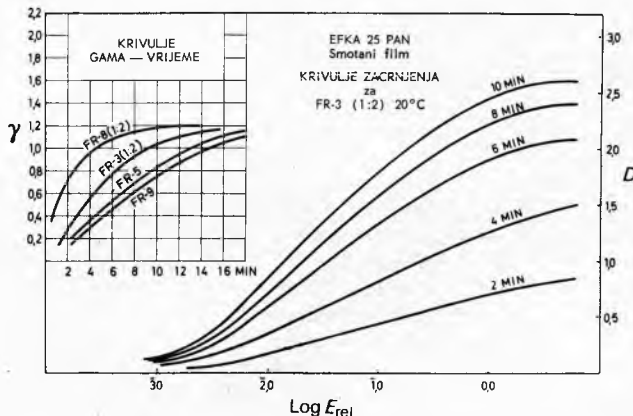
	°DIN	Weston	ASA arit.	ASA log	GE	°Sch
Dan je svjetlo	25	160	200	34	250	35
Volframovo svjetlo	24	125	160	33	200	34

Sposobnost razdvajanja 80 linija na milimetar

Osjetljivost na boje visoko pankromatska



Senzitometrijske krivulje



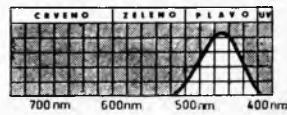
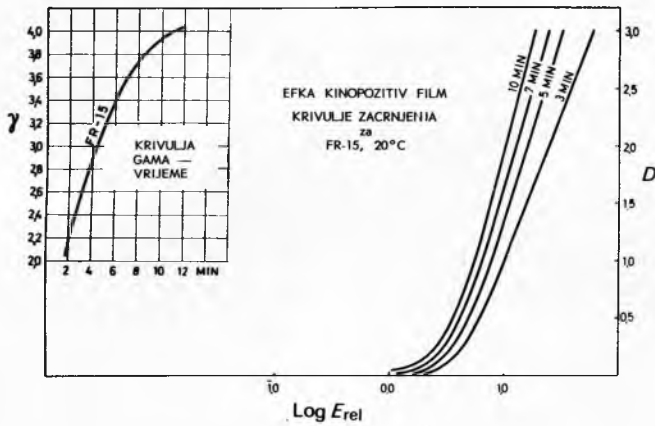
Sl. 63. Prospekt negativskog materijala velike osjetljivosti

Sposobnost razdvajanja

125 linija na milimetar

Osjetljivost na boje

nesenzibilizirana emulzija (osjetljivost na plavo)

**Senzitometrijske krivulje**

Sl. 64. Prospekt dijapozitivskog materijala

Mrena se kod ovih materijala ne tolerira, $D_m = 0$. Zato se u rapidne razvijачe u kojima se ti filmovi razvijaju stavlja znatna količina kalijum-bromida.

Gama-vrijednost je glavna karakteristika i po tomu se i razlikuju pojedine vrste. Traži se da je film kontrastan, pa je za normalni kontrast gama ~ 2 , dok je za specijalni superkontrast i do 4. Maksimalno zacrnljenje $D_M > 3$, pa se zato na dijapozitivu dobiva velik niz tonova, što slici daje veliku živost. Osjetljivost je znatno manja nego li negativskih filmova i ne iskazuje se uvijek, ali se iskazuje samo relativno. Važna je samo u koliko se kopira strojno. To su obično nesenzibilizirani materijali ili senzibilizirani samo na modrozeleno, da bi se bolje iskoristilo svjetlo žarulja, a da se ipak može obrađivati uz smeđi, narančasti ili crveni zaštitni filtar. Zrno je kod pozitivskih materijala općenito sitno, ali se ipak razlikuju specijalni ekstremno sitnozrni materijali. Sposobnost razdvajanja je velika, oko 130 lin./mm što je važno za velike projekcije. Prospekt za takav film prikazan je na sl. 64.

Grafički materijali. Uz normalne dijapozitivske materijale koji služe pri reprodukciji slika (repromaterijal) upotrebljavaju se u grafičkoj struci još i posebni filmovi za snimanje crteža, kao i oni za snimanje slika pomoću rešetke (raster-snimke), gdje se snimka sastoji od točkica. Što se grade tiče, važno je spomenuti da im podloga treba biti u što većem stupnju dimenzionalno stabilna, tj. da se pri kemijskoj obradi po dimenzijama ne mijenja. Budući da služe za dobivanje negativa imaju antihalo-sloj.

Na slici 62 c prikazane su tipične krivulje zacrnljenja za spomenute dvije vrste filma za reprodukciju crteža i za raster-snimke. Gama-vrijednost je za 1 3,0...4,5 dok je za 2 ~ 8 . Veliki kontrast je potreban radi jetkanja točkica. Maksimalno zacrnljenje je za 1 ~ 4 a za 2 ~ 6 , da bi pri jetkanju još uvijek preostalo zacrnljenje barem od 4. Opća je osjetljivost malena, pa se pri snimanju upotrebljavaju jaki izvori svjetla, kao npr. lučnice, posebno jake žarulje ili ksenonske bljeskalice. Spektralna osjetljivost im je različita, već prema svrsi kojoj služi. Za reprodukciju crteža upotrebljavaju se nesenzibilizirani filmovi, dok za reprodukciju u bojama služe ortokromatski i pankromatski filmovi. Mrena se ni u najmanjem stupnju ne tolerira, zato se moraju obrađivati u potpunom mraku ili uz slabu indirektnu rasvjetu. Eventualno nastala slaba mrena uklanja se oslabljivanjem. Na sl. 65 prikazan je prospekt ortokromatskog grafičkog materijala.

Rendgenski materijali služe kao negativski materijali pri snimanju objekata prozračenih rendgenskim zrakama, ali mogu poslužiti i uz prozračivanja ili izračivanje i drugih vrsta ionizirajućih zračenja. Na rendgenske filmove se postavljaju posebni zahtjevi, pa se zato po građi znatno razlikuju od drugih filmova. U prvom redu je podloga znatno deblja i od plan-filma, jer se rendgenski filmovi koriste i u vrlo velikim formatima (npr. 30×40 cm), a i pregledavaju se kao dijanegativi, pa je potrebna veća

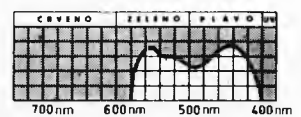
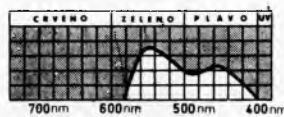
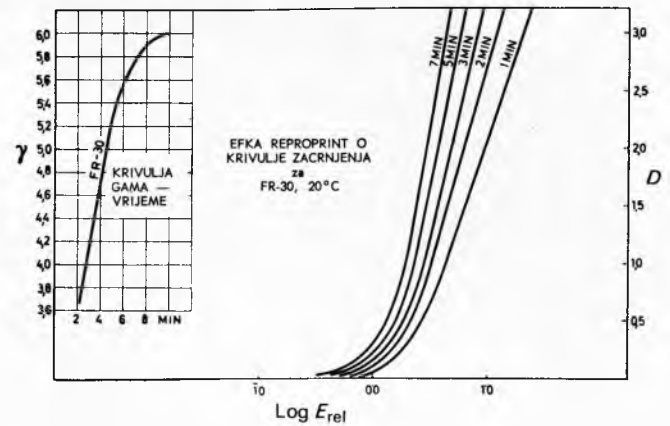
Sposobnost razdvajanja
Spektralna osjetljivost

130 linija na milimetar

na ultraljubičaste, plave i zelene zrake spektra

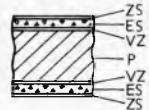
Volframovo svjetlo

Danje svjetlo

**Senzitometrijske krivulje**

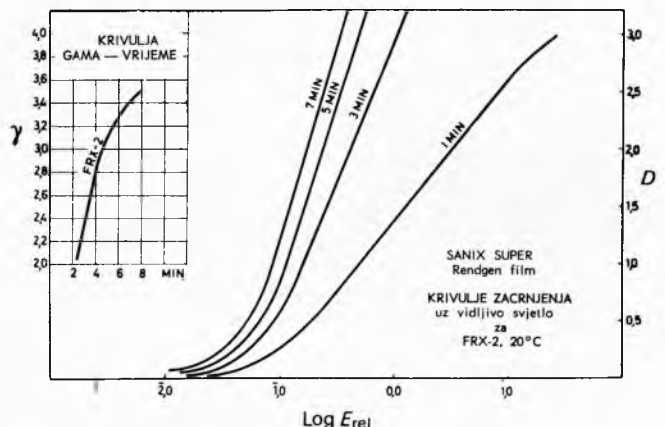
Sl. 65. Prospekt ortokromatskog grafičkog materijala

krutost. Radi boljeg kontrasta pri pregledu na negatoskopu podloga je plavičasta. Da bi se postigao što veći kontrast i što veći stupanj apsorpcije rendgenskih zraka, emulzijski sloj nalazi se s obje strane podloge i to veće debljine nego što je kod drugih filmova ($\sim 20 \mu\text{m}$). Na sl. 66 prikazan je rendgenski film u presjeku. Tipična krivulja zacrnljenja rendgenskog filma prikazana je na sl. 62 d. Ona ima podnožje poput negativskog filma, a strm pravčast dio kao kod pozitivskog filma.



Sl. 66. Presjek rendgenskog filma. P Podloga, VZ vezivni sloj, ES emulzijski sloj, ZS zaštitni sloj

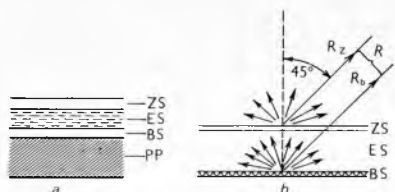
Za rendgenski se film traže gotovo nemogući zahtjevi: velika opća osjetljivost, velika kontrastnost (strma gradacija), a uz to još i sitno zrno. To je postignuto velikom debljinom sloja, velikom koncentracijom srebro-halogenida u sloju, te prikladnom kemijskom senzibilizacijom (osobito zlatom). Gama vrijednost je poput one za pozitivski film, tj. $2 \dots 3$ uz razvijanje $4 \dots 5$ minuta u posebnom rapidnom razvijачu za rendgenske filmove. Opća os-

Senzitometrijske krivulje

Sl. 67. Prospekt za rendgenski film

jetljivost je velika, gotovo poput one negativskih materijala, ali se ne iskazuje, nego je treba pokusom relativno odrediti. Maksimalno zacrnenje je vrlo veliko, doseže vrijednost 6, dakle, gotovo potpuna neprozirnost. Radi toga se pri promatranju rendgenske snimke na negatoskopu može razlikovati velik niz tonova. Mrena je naravno nepoželjna i suzbija se dodatkom znatne količine kalijum-bromida u razvijaju. No, zbog velike osjetljivosti i zbog dva emulzijska sloja znatne debljine, uvijek nastaje manja mrena, a osobito ako je film dulje stajao u toploj i vlažnoj prostoriji. Rendgenski filmovi nisu senzibilizirani te su osjetljivi samo na modro, ljubičasto i ultraljubičasto zračenje i, naravno, na sva ionizirajuća zračenja. Senzibilizacija nije ni potrebna. Na sl. 67 prikazane su senzitometrijske krivulje prema prospektu proizvođača za jedan takav film.

Fotografski papiri. Fotografski papiri služe u prvom redu za dobivanje pozitivne slike kopiranjem negativne slike, tj. služe kao pozitivski materijali. Tek za neke posebne svrhe služe fotografski papiri i kao negativski materijali. U tom se slučaju oni i svojim karakteristikama razlikuju od običnih pozitivskih papira. Na sl. 68 a shematski je prikazan presjek fotografskog papira. Na papirnu podlogu PP dolazi sloj barijum-sulfata BS (baritni sloj), koji površinu papira u dobroj mjeri čini sličnom idealno bijeloj površini. Osim toga, taj sloj zaštićuje emulziju od eventualnog kemijskog djelovanja papirne podloge, a čini i dobar podstoj za bolje prijanjanje fotografske emulzije na podlogu. Na baritni sloj slijedi sloj emulzije ES (debljine $\sim 8 \mu\text{m}$), a povrhu njega još vrlo tanak sloj želatine, tzv. zaštitni sloj ZS, kojemu je zadaća da zaštiti površinu fotografskog sloja od mehaničkih oštećenja: trenja, ogrebotina, mjestimičnih pritisaka itd.



Sl. 68. Grada fotografskog papira i refleksija svjetla na njemu. a Presjek fotografskog papira; PP papirna podloga, BS barijni sloj, ES emulzijski sloj, ZS zaštitni sloj, b difuzna refleksija na baritnom i zaštitnom sloju; R_b , R_z faktori refleksije za baritni, odnosno zaštitni sloj

Krivulje zacrnenja fotografskog papira. I u slučaju fotografskog papira krivulja zacrnenja ima isto značenje kao i kod negativskih materijala, tj. ona grafički prikazuje ovisnost fotografskog učinka o logaritmu ekspozicije. Fotografski učinak, tj. stupanj zacrnenja izražava se refleksijskom gustoćom zacrnenja D_r . Maksimalna refleksijska gustoća zacrnenja određena je, pak, površinom papira, a ne fotografskom emulzijom. Dakle, krivulja zacrnenja fotografskog papira karakterizira ne samo emulziju nego i površinu papira. Na sl. 69 a prikazana je krivulja zacrnenja fotografskog papira, te su na njoj označene neke karakteristične točke, koje određuju područje ekspozicije. Točka bjeline B predstavlja granicu područja potpune bjeline i područja zacrnenja. U točki B počinje jedva zamjetljivo zacrnenje, tj. prag zacrnenja. Točka svjetline S predstavlja početak praktički iskoristivog područja ekspozicije, tzv. prag iskoristive gradacije u svjetlinama. Od B do S gustoća se zacrnenja tako neznatno mijenja, da razlike u ekspoziciji ne bi dale zamjetljive razlike u gustoći zacrnenja i ne bi se razabirali detalji. Točka S odgovara svjetlinama na pozitivskoj slici. Točka tamnine T predstavlja završetak iskoristivog područja ekspozicije, tzv. prag iskoristive gradacije u tamninama. Iza nje se povećavanjem ekspozicije samo neznatno mijenja gustoća zacrnenja, pa se detalji dovoljno ne razlikuju. Točka T odgovara tamninama na pozitivskoj slici. Točka crnine C predstavlja granicu između područja maksimalnog zacrnenja i područja gradacije. U točki C počinje jedva zamjetljivo odstupanje od maksimalnog zacrnenja, tzv. prag sivoće.

Prema naznačenim karakterističnim točkama mogu se razlikovati pojedina područja krivulje zacrnenja: područje bjeline AB, ekspozicija je premalena, ne nastaje fotografski učinak, područje je neupotrebljivo; područje gradacije BC s porastom eks-

pozicije, raste i fotografski učinak, područje je upotrebljivo za sliku; praktički iskoristivo područje gradacije ST, fotografski učinak se dovoljno mijenja s ekspozicijom, za sliku je ovo najprikladnije područje; područje crnine CD, ekspozicija je prevelika, fotografski učinak je neovisan o ekspoziciji; za sliku je ovo područje neupotrebljivo.

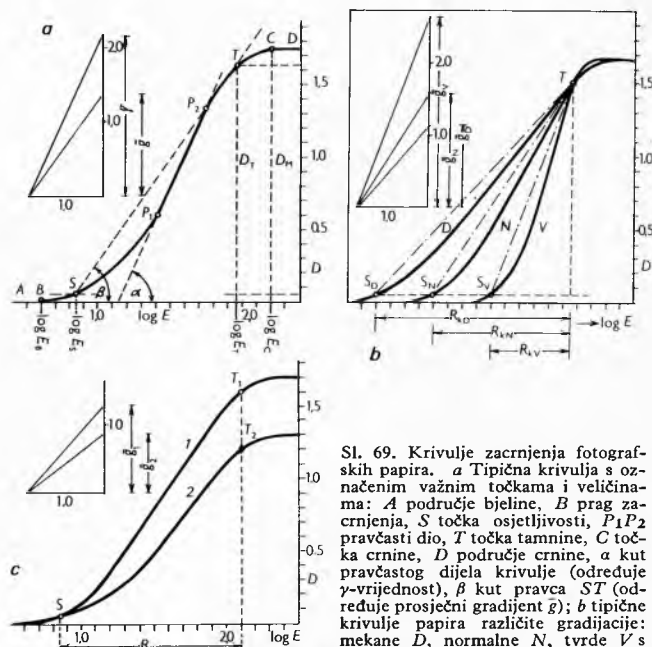
Maksimalna gustoća zacrnenja. Jedna od glavnih karakteristika fotografskih papira po kojoj se oni razlikuju od negativskih materijala i dijapozitivskih materijala, jest njihova neprekoračiva maksimalna gustoća zacrnenja. Kod fotografskih papira maksimalna gustoća zacrnenja uopće ne doseže vrijednost $D_M = 2$. Maksimalna gustoća zacrnenja nije u bitnoj mjeri uvjetovana vrstom emulzije, te uvjetima osvjetljavanja i razvijanja. No, zato bitno ovisi o vrsti površine papira, o stupnju glatkoće, odnosno sjajnosti. Što je stupanj sjajnosti veći, to je i D_M veće, ali konačno ipak ne dosegne vrijednost 2.

Da se bolje shvati zašto maksimalna gustoća zacrnenja fotografskih papira ne može premašiti neku gornju granicu, potrebno je razmotriti princip mjerenja faktora refleksije. Na sl. 68 b detaljnije je prikazan taj princip. Svjetlo upada okomito na površinu fotografskog papira. Već na zaštitnom sloju nastaje djelomična difuzna refleksija. Faktor refleksije s obzirom na sloj ZS obilježen je sa R_z . Što je površina glada, to će i R_z biti manji. Upadno svjetlo dalje prolazi kroz zacrneni sloj emulzije ES, koji ga djelomično apsorbira. Zatim dopjeva do baritnog sloja BS, koji preostali dio svjetla difuzno reflektira. Svjetlo difuzno reflektirano na baritnom sloju ponovo prolazi zacrnenim slojem i opet biva djelomično apsorbirano. I to, na baritnoj podlozi reflektirano svjetlo, mjeri se pod kutem od 45° prema smjeru upadnog svjetla. Faktor refleksije s obzirom na tu refleksiju označen je sa R_b . Prilikom mjerenja difuzno reflektiranog svjetla na fotografskom papiru, mjeri se ukupni intenzitet svjetla i onog reflektiranog na površini zaštitnog sloja i onog reflektiranog na baritnom sloju, a koje je dvaput prešlo kroz zacrneni sloj. Neka je ukupni faktor refleksije obilježen sa R , tada je

$$R = R_z + R_b.$$

Gustoća zacrnenja s obzirom na difuzno reflektirano svjetlo određuje se onda po formuli

$$D_r = \log \frac{1}{R} = \log \frac{1}{(R_b + R_z)}.$$



Sl. 69. Krivulje zacrnenja fotografskih papira. a Tipična krivulja s označenim važnim točkama i veličinama: A područje bjeline, B prag zacrnenja, S točka osjetljivosti, P_1P_2 pravčasti dio, T točka tamnine, C točka crnine, D područje crnine, α kut pravčastog dijela krivulje (određuje γ -vrijednost), β kut pravca ST (određuje prosječni gradijent $\bar{g}$); b tipične krivulje papira različite gradacije: mekane D, normalne N, tvrde V s naznačenim rasponima kopiranja R_KD , R_KN , R_KV i srednjim gradijentima $\bar{g}_D$, $\bar{g}_N$, $\bar{g}_V$; c tipične krivulje za dvije vrste papira istog raspona kopiranja a različite strukture površine: 1 glatke (sjajne) 2 raspršne (mat)

Refleksijska gustoća zacrnenja ovisi prema tome o dva faktora refleksije. Faktor R_z ima vrijednost $0,02 \dots 0,04$, tj. na površini zaštitnog sloja reflektira se difuzno $2 \dots 4\%$ upadnog svjetla, naravno, u odnosu na bijelu površinu s kojom se uspoređuje uzorak fotografskog papira. Za malene stupnjeve zacrnenja refleksija na zaštitnom sloju ne dolazi do izražaja, jer je razmjerno malena prema refleksiji na baritnom sloju, za koju u tom slučaju faktor refleksije iznosi $0,90 \dots 0,50$. Gustoća zacrnenja za taj slučaj raste kako raste zacrnenje emulzijskog sloja, te je

$$D_r = \log \frac{1}{R_b}.$$

Što je emulzijski sloj većeg stupnja zacrnenja, to sve manje svjetla dolazi natrag s baritnog sloja, tj. faktor refleksije R_b postaje sve manji, dok faktor refleksije R_z ostaje stalan bez obzira na stupanj zacrnenja emulzijskog sloja. Uz dovoljno velik stupanj zacrnenja emulzijskog sloja, postane intenzitet svjetla reflektiranog na baritnom sloju manji od intenziteta svjetla reflektiranog na zaštitnom sloju, tj. R_b postane manji od R_z , te R_b više nije odlučan za mjerenje refleksijske gustoće zacrnenja. Može se dakle uzeti da je

$$D_r = \log \frac{1}{R_z}.$$

To znači, da dalje zacrnenje emulzijskog sloja ne utječe više na rezultat mjerenja refleksijske gustoće zacrnenja. Kakogod malo svjetla dolazilo s baritne površine kroz emulzijski sloj, cjelokupni faktor refleksije R neće spasti ispod vrijednosti faktora refleksije R_z na zaštitnom sloju. Površina fotografskog papira u svakom slučaju reflektirat će više od 1% upadnog svjetla, bez obzira na stupanj zacrnenja emulzijskog sloja. Zato se načelno ne može za fotografski papir postići povoljni veliki vrijednost gustoće zacrnenja. Difuzna refleksija na površini fotografskog papira određuje maksimalnu gustoću zacrnenja:

$$D_M = \log \frac{1}{R_z} = \text{konst.}$$

Faktor refleksije R_z uvjetovan je, pak, fizikalnim stanjem površine fotografskog papira, posebno stupnjem sjajnosti. Što je neki fotografski papir sjajnije površine, to on više reflektira svjetla usmjereno, a manje difuzno ili raspršeno, te je R_z za takav papir manji, a time gustoća zacrnenja veća. Na mat površinama, posebno na hrapavim površinama, ne može se postići velika gustoća zacrnenja.

U tabl. 7 date su vrijednosti maksimalne gustoće zacrnenja za različite vrste površina i različit način sušenja. Vrijednost D_M nisu potpuno stalne za određenu vrstu površine, nego se ponešto razlikuju za pojedine uzorke istovrsnog fotografskog papira. Zato se navedene vrijednosti odnose samo na određene uzorke, koji su bili mjereni.

Tablica 7
MAKSIMALNE GUSTOĆE ZACRNJENJA D_M
FOTOGRAFSKOG PAPIRA

Sušenje	Vrsta površine			
	Papir, sjajni P 10	Karton, sjajni K 10	Karton, velvet K 22	Karton, mat K 30
Slobodno u zraku	1,74	1,57	1,44	1,28
Uređajem za visoki sjaj	1,80	1,64	—	—

Iz tablice se jasno razabira, da je D_M to veće, što je podloga glada, odnosno površina sjajnija.

Raspon kopiranja. Kao i kod svakog fotografskog materijala tako i kod fotografskog papira razlikujemo područje ekspozicije u kojem taj materijal registrira razlike u intenzitetu osvjetljavanja.

Potpuno područje ekspozicije odgovara točkama B i C, tj. $\log E_B \dots \log E_C$, no praktički iskoristivo je samo područje $\log E_S \dots \log E_T$, što odgovara točkama svjetline S i tamnine T. Razlika tih apsisa daje veličinu područja ekspozicije, koji bi se mogao zvati raspon ekspozicije. No, budući da se fotografski papir os-

vjetluje kopiranjem negativa, naziva se on *raspon kopiranja* i bilježi R_k . Prema tome je

$$R_k = \log E_T - \log E_S.$$

Raspon kopiranja je glavna senzimetrijska veličina fotografskog papira, a odlučna je za ispravno kopiranje. Ona je ujedno mjera za srednji gradijent cijelog područja ekspozicije. Zato se prema rasponu kopiranja označuje gradacija fotografskog papira.

Rasponi kopiranja imaju vrijednost od $\sim 0,50 \dots 1,4$. Fotografski papiri malenog raspona kopiranja nazivaju se u praksi *tvrdi* papiri, a fotografski papiri velikog raspona kopiranja *meki* papiri. Tvornice na omotima označuju gradaciju i pri tom razlikuju 5 do 6 gradacija. Neki označuju gradaciju naprosto brojevima 1, 2, 3, 4, 5.

Tvornica Fotokemika u Zagrebu ima sljedeće oznake:

- D (doux), mekan, $R_k = 1,1 \dots 1,4$
- S (special), specijalan, $R_k = 0,9 \dots 1,1$
- N (normal), normalan, $R_k = 0,8 \dots 0,9$
- C (contrast), kontrastan, $R_k = 0,7 \dots 0,8$
- V (vigoureux), tvrd, $R_k = 0,6 \dots 0,7$

Izrazito tvrdi papiri imaju $R_k < 0,5$. Na sl. 69 b prikazane su krivulje zacrnenja za tri glavne gradacije papira. Da se bolje istakne razlika, uzeto je da je krivuljama zajednička točka tamnine T. Ispod apscise osi naznačeni su odgovarajući rasponi kopiranja R_k .

Osjetljivost. Kako se razabira iz krivulja zacrnenja fotografski papiri imaju samo vrlo ograničeno iskoristivo područje ekspozicije, pa je vrlo važno da se pri kopiranju ispravno osvijetli. Papir je osjetljiviji na ispravnu ekspoziciju, nego što su negativski materijali. Dok se za negativski materijal može dozvoliti prekomjerna ekspozicija i više od 100% , a da snimka bude potpuno upotrebljiva i ispravna, dotle se za fotografske papire mogu dozvoliti razlike od jedva $10 \dots 15\%$, a da kopija bude još upotrebljiva. Pa ipak se za negativske materijale naznačuje osjetljivost na omotima, dok se za papire ne naznačuje. Razlog je u tome što se pri kopiranju lako odredi ispravna ekspozicija pokusnim osvjetljavanjem i lako mijenja ekspozicija, što sve kod negativskih materijala ne dolazi u obzir. Uvjeti kopiranja nisu standardizirani, još se općenito ne upotrebljavaju svjetlomjeri, a pokus s komadićem papira se brzo izvodi. Ipak, sve više ulazi u praksu običaj da se i za papire naznačuje barem njihova relativna osjetljivost, tj. koliko puta treba neku određenu vrstu fotografskog papira više osvijetliti nego li standardnu vrstu papira, za koju uzimamo da ima osjetljivost 1. Svakako je osjetljivost fotografskog papira karakteristična veličina i proizvođač je mora održavati u razmjerno uskim granicama. Općenito se može reći da je osjetljivost to veća što je mekanija gradacija, tj. što je veći raspon kopiranja.

Po metodi poduzeća Fotokemika izabrana je kao točka svjetline S ona točka kojoj je gustoća zacrnenja $D_S = 0,05$. Po toj točki se određuje i osjetljivost fotografskog papira. Na horizontalnoj skali odgovara točki S apsisa $\log E_S$, koja se očitava na toj skali. Iz $\log E_S$ odredi se E_S (antilogaritmiranjem). Time se odredi s koliko je luks · sekunda potrebno osvijetliti određeni papir, da se nakon standardnog razvijanja dobije gustoća zacrnenja $0,05$. Što je više luks · sekunda za to potrebno, to je papir manje osjetljiv. Osjetljivost je onda određena kao recipročna vrijednost ekspozicije E_S .

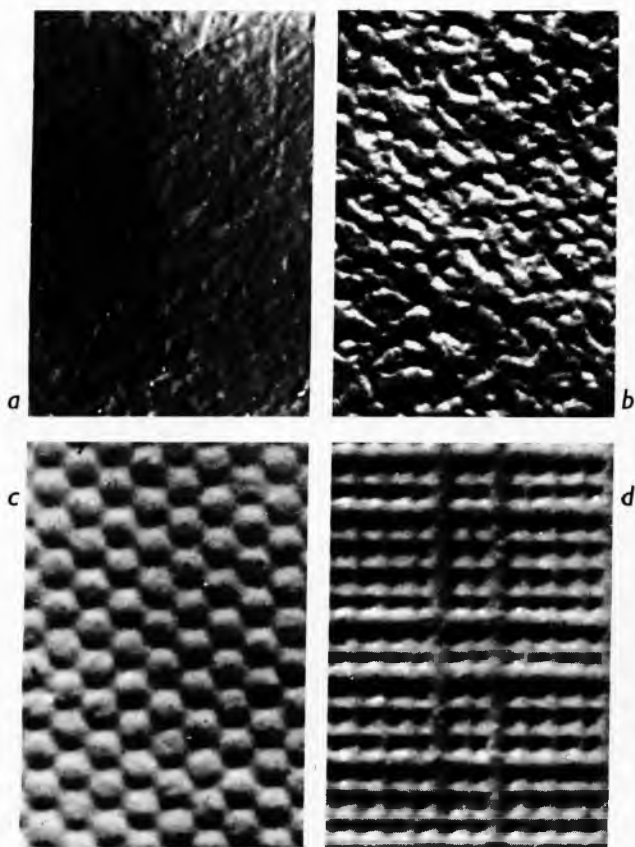
$$o = \frac{1}{E_S}.$$

Ostale karakteristike. Osim senzimetrijskih karakteristika fotografskih papira, koje su u prvom redu odlučne za ispravnost kopije, od velikog su utjecaja još i karakteristike površine kao i boja fotografskog papira. One u znatnoj mjeri utječu na cjelokupni dojam fotografije. Svaka vrsta površine ima svoje posebne karakteristike: neke prednosti ali i neke nedostatke.

Može se razlikovati tri svojstva površina fotografskih papira: struktura površine, stupanj sjajnosti i boja. Po strukturi površina može biti jednolična ili, pak, u manjoj ili većoj mjeri izbrazdana ili izverugana s tzv. utisnutom strukturom. Na sl. 70 prikazano je nekoliko utisnutih površina papira uz veliko povećanje: b kri-

stal, c raster i d platno. Posebne su pak površine svilasta i baršunasta, koje se ne dobivaju tiskanjem nego posebnom obradom. Po stupnju sjajnosti možemo razlikovati sjajne i raspršne (difuzne) površine sa više međustepena. Kako je sloj emulzije na fotografskom papiru vrlo tanak ($\sim 8 \mu\text{m}$), to on slijedi strukturu površine i ne popunja je. S druge strane sloj emulzije svojom vanjskom površinom je odlučan za stupanj sjajnosti. Stoga mogu površine biti jednolične (glatka podloga), vrlo raspršne (mat) i obratno, vrlo nejednolične s izrazitom strukturom, a da su ipak sjajne, npr. kristal.

Površina papira mijenja donekle i senzimetrijske karakteristike fotografskog papira. Na sl. 69 c prikazane su krivulje zacrnjenja dvaju fotografskih papira, kod kojih je ista emulzija nanesena na dvije različite podloge: glatku i hrapavu. Osjetljivost im je jednaka, a tako i raspon kopiranja. Razlika je u maksimalnoj gustoći zacrnjenja, a poradi toga i u gradaciji, što je vidljivo po srednjim gradijentima $\bar{g}_1$ za glatki i $\bar{g}_2$ za hrapavi fotografski papir.



Sl. 70. Mikrosnimke različitih vrsta površina fotografskih papira. a Površina bez utisnute strukture, b površina kristal, c površina raster, d površina platno

Po boji najčešće susrećemo papire bijele boje, žućkaste (chamois) i boje slonove kosti, a rjeđe se susreću papiri drugih boja, npr. svjetlozelene. Boja papira može u znatnoj mjeri promijeniti cjelokupan dojam neke fotografije. Nisu to neka jaka obojenja, nego samo kao neka slaba odstupanja od izrazite bjeline.

Glatki sjajni papiri imaju površinu bez primjetljive strukture, u velikoj mjeri reflektiraju svjetlo usmjereno a manje raspršno (difuzno), pa se stoga na njima postiže visoka vrijednost maksimalnog zacrnjenja ($D_M = 1,60 \dots 1,75$), koja se može još povišiti sušenjem na »visoki sjaj«. Što je površina glada, to se dublja crnina može postići. Skala tonova je kod sjajnih papira najopsežnija, pogotovu, ako je papir bijele boje. Opseg tonova može se proširiti prema svijetloj strani tako da se baritnom sloju dodaju još tzv. optička bjelila. Zbog potpune jednoličnosti površine i povećanog opsega tonova, sjajni se papiri upotrebljavaju u svim slučajevima u kojima je potrebno reproducirati što više sitnih pojedinosti. Na takvim se papirima mogu objekti najkontrastnije prikazati. Zato se glatki sjajni papiri primjenjuju u prvom redu

za slike malog formata, za snimke s mnogo sitnih pojedinosti, za dokumentaciju pri znanstvenom i tehničkom radu, za priloge namijenjene reprodukciji u tisku i sl.

Površine s utisnutom strukturom služe u prvom redu da kod znatnijih povećanja učine zrnanje neprimjetljivim. Nadalje se na takvim površinama izgube različiti sitni nedostaci negativa (točkice, lake ogrebotine i sl.). Čak se i slabije neoštine mogu takvom strukturom prekriti. No, to prekrivanje i uklanjanje nedostataka nije glavni razlog primjene papira izrazite strukture. Kod znatnih povećanja prostrane plohe djeluju suviše »prazno« i neugledne su ako je površina jednolična, dok se nekom grubljom strukturom takve plohe upravo ugodno ističu. Izrazite strukturne površine pogoduju jednostavnom izražavanju u širokim plohama, s malo detalja i razmjerno malo tonova. Takve fotografije djeluju više slikarski, gdje je važniji cjelokupni dojam negoli pojedinosti.

PRAKTIČNA PRIMJENA SENZITOMETRIJE

Svjetlosne karakteristike predmeta. Predmeti, koje fotografski snimamo, u većini slučajeva ne svijetle sami, tj. nisu direktni izvori svjetla, nego su osvijetljeni nekim direktnim izvorima svjetla, kao što su Sunce, dnevno svjetlo i različita svjetlila. Svjetlost što pada na predmete reflektira se od njih, te oni postaju indirektni izvori svjetla. Refleksija je dvovrsna: usmjerena i raspršna ili difuzna. Usmjerena refleksija nastaje osobito na glatkim površinama (sjajni predmeti), dok difuzna refleksija osobito nastaje na sitnohrapavim površinama (mat). U većini slučajeva nastaju istodobno obje refleksije, a samo u iznimnim slučajevima samo jedna vrsta. Za gledanje ili fotografsko snimanje odlučna je baš difuzna refleksija, jer samo po difuzno reflektiranom svjetlu objektiv stvara sliku na fotografskom sloju, dok usmjerena refleksija smeta, pa se i posebno uklanja polarizacijskim filterima.

S fotografskog stanovišta može se predmet shvatiti kao niz površinskih elemenata (niz mrljica), koji predstavljaju točkaste izvore svjetla različite jakosti. Iz svakog elementa izlaze zrake svjetla u svim smjerovima. Objektiv fotografskog aparata hvata određeni snop tih zraka, te se u ravni fotografskog sloja stvara realna slika. Intenzitet osvijetljenja na pojedinim mjestima fotografskog sloja bit će to veći, što je veća svjetlivosť pojedine mrljice površine predmeta i što je manji relativni otvor objektiva ili f-broj.

Dvije su veličine, što ih se mora razlikovati s obzirom na svjetlivosť predmeta: opća svjetlivosť predmeta S i raspon svjetlivosťi predmeta R_s . Opća svjetlivosť predmeta svojom vrijednošću kazuje da li je predmet svijetao ili taman. Ona je određena općom rasvjetom, tj. količinom svjetla što pada na predmet. Zatim ovisi o reflektivnosti površine (svijetla ili tamna površina), i konačno o svjetlivosťi susjednih predmeta, koji također svojim reflektiranim svjetlom povećavaju rasvjetu na predmetu. Tako je npr. uz istu dnevnu rasvjetu neka osoba u sjeni neke svijetle kuće znatno svijetlija nego u sjeni nekog stabla.

Ekspoziranje fotografskog sloja podešava se prema općoj svjetlivosťi predmeta, odnosno mijenja se opća svjetlivosť mijenjajući rasvjetu, tj. količinu svjetla kojim je predmet obasjan. Kolika je pak opća svjetlivosť predmeta, određuje se pomoću svjetlomjera. Samo ta opća svjetlivosť predmeta odlučna je pri određivanju uvjeta ekspozicije.

Na svakom normalnom predmetu postoji jedno ili više mjesta najveće svjetlivosťi S_M (maksimalna svjetlivosť), te jedno ili više mjesta najmanje svjetlivosťi S_m (minimalna svjetlivosť). Omjer maksimalne i minimalne svjetlivosťi naziva se raspon svjetlivosťi R_s predmeta:

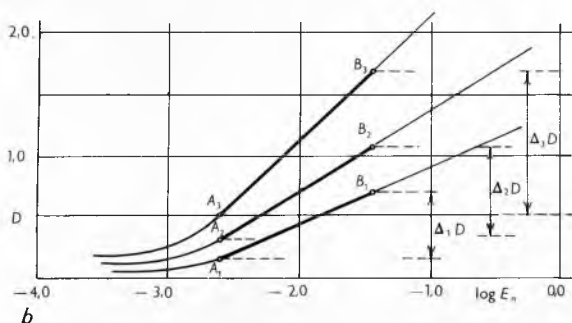
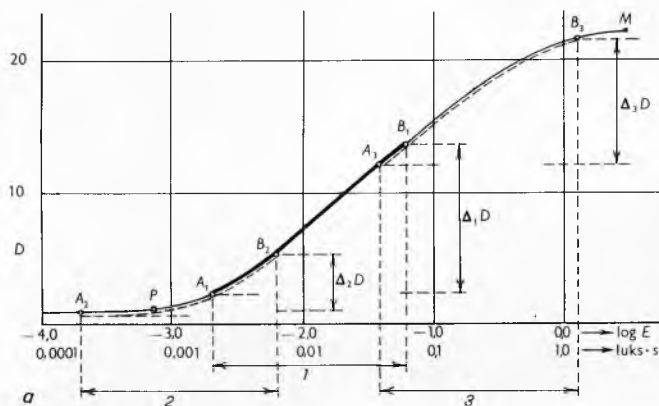
$$R_s = \frac{S_M}{S_m}$$

Rasponom svjetlivosťi predmeta iskazuje se kontrastnost predmeta. Slabo kontrastni predmeti imaju raspon svjetlivosťi ispod 10 (npr. 6 : 1), dok se za predmete normalnog kontrasta mogu uzeti oni, kojima je raspon svjetlivosťi 20 : 50 (npr. 28 : 1). Kao reprezentativna vrijednost raspona svjetlivosťi za normalni predmet uzima se vrijednost $R_s = 32$. Za predmete s rasponom svjetlivosťi veće od 50 može se reći da su već jako kontrastni. U izvanrednim prilikama raspon svjetlivosťi prelazi i vrijednost 100, a može doseći i 1000. Takav je predmet npr. špilja većeg

otvora, a pred njom Suncem obasjane stijene, ili čak snijegom pokriveni predjeli. Svjetljivost bijele, Suncem obasjane površine je i više od 1000 puta veća od svjetljivosti stijena ili osobe unutar špilje.

Smještaj snimke na krivulji zacrnjenja. Zacrnjenje fotografskog sloja je to veće, što je veća količina svjetla pala na taj sloj, tj. što je bila veća ekspozicija E . Ovisnost gustoće zacrnjenja D o ekspoziciji E (u logaritamskoj skali) daje krivulja zacrnjenja (sl. 71 a). Ona je karakteristična za određenu kombinaciju negativskog materijala i uvjeta razvijanja (vrstu razvijача, temperaturu, te trajanje razvijanja).

Mjestu najmanje svjetljivosti S_m na predmetu odgovarat će i najmanja ekspozicija E_m na fotografskom sloju. Uz ispravno određeno trajanje ekspozicije imat će to mjesto na negativu gustoću zacrnjenja koja odgovara, npr. točki A_1 na krivulji zacrnjenja (sl. 71 a). Mjesto maksimalne svjetljivosti S_M na predmetu dat će i najveću ekspoziciju E_M na fotografskom sloju, a njoj opet odgovara točka B_1 na krivulji zacrnjenja. Sva ostala mjesta predmeta dat će ekspozicije, odnosno gustoće zacrnjenja koje odgovaraju vrijednostima između točaka A_1 i B_1 . U tom smislu se može reći da je snimka predmeta smještena na krivulji zacrnjenja od točke A_1 do točke B_1 i da se mijenjanjem uvjeta ekspozicije snimka pomiče po krivulji zacrnjenja.



Sl. 71. Smještaji fotografske snimke na krivulji zacrnjenja i odgovarajući rasponi gustoće negativna ΔD : a uz različite ekspozicije, b uz različita trajanja razvijanja

Nadalje je još pitanje koliko područje i koje područje krivulje zacrnjenja zaprema snimka. Veličina područja ovisna je o rasponu svjetljivosti predmeta $R_s = S_M/S_m$ kojemu odgovara raspon ekspozicije $R_e = E_M/E_m$, odnosno s obzirom na krivulju zacrnjenja $\log R_e = \log E_M - \log E_m$. Predmetu većeg, odnosno manjeg raspona ekspozicije odgovara i veće, odnosno manje područje krivulje zacrnjenja. Fotografski sloj predstavljen krivuljom zacrnjenja na sl. 71 a ima iskoristivi raspon ekspozicije nešto više od 1000, a mnogi moderni negativski materijali uz prikladne uvjete razvijanja mogu registrirati i raspone od 10 000. Ali svakako je iskoristivi raspon ekspozicije ograničen i o njemu treba voditi računa kad se snimaju predmeti velikog raspona svjetloće.

Prema sl. 71 a razabira se da će se snimka predmeta malenog raspona svjetljivosti na mnogo načina moći smjestiti unutar is-

koristivog raspona ekspozicije, tj. da će se predmet moći slobodnije eksponirati. Naprotiv, za predmet velikog raspona svjetljivosti ekspozicija će morati biti pomno određena da bi se dobio ispravan negativ koji sadržava detalje i u tamnim i u svijetlim područjima predmeta.

Na krivulji zacrnjenja (sl. 71 a) označeno je područje što ga zaprema snimka predmeta normalnog raspona svjetljivosti $R_s = 32$, odnosno $\log R_e = 1,50$, i to za slučaj ispravne ekspozicije (A_1B_1), podekspozicije (A_2B_2) i pretjerane ekspozicije (A_3B_3). Ujedno su ispod apscisne osi označena odgovarajuća područja ekspozicije (1, 2, 3). Slučaj 1 (A_1B_1) predstavlja optimalnu ekspoziciju. Gotovo je sva snimka smještena na području maksimalnog gradijenta (pravčasto područje), te će se u negativu dobro iscrtavati tamna, kao i svijetla mjesta predmeta. Uz nešto slabiju ekspoziciju snimka bi se smjestila počevši od točke P, što predstavlja još iskoristiv negativ u kojem bi tamna mjesta objekta bila slabo iscrtana, njihov kontrast znatno smanjen, a fini detalji izgubljeni. U slučaju 2 (A_2B_2) ekspozicija je nedostatna, pa tamniji dijelovi objekta nisu uopće registrirani. Ti će dijelovi u pozitivnoj slici biti »prazni«, bez detalja. Prema slučaju 1 nešto povećana ekspozicija daje potpuno ispravan negativ, ali općenito povećane gustoće zacrnjenja (»gust« negativ). No, pretjerana ekspozicija, kao u slučaju 3, dovodi već do znatnih promjena i u karakteristikama negativa. Ne samo da je negativ vrlo »gust«, pa čini poteškoće pri kopiranju, nego su i svijetli dijelovi predmeta nedovoljno iscrtani i bez finijih detalja.

Raspon gustoće zacrnjenja negativa. Najznatnija karakteristika negativske slike jest raspon gustoće negativna ΔD_n . To je razlika najveće i najmanje vrijednosti gustoće zacrnjenja mjerena na nekom negativu. Ona kazuje kontrastnost negativa. Za normalni je negativ raspon gustoće $\sim 0,9$, dok se za negativ s rasponom gustoća većim od 1 kaže da je jako kontrastan ili »tvrđ«, a za negativ raspona gustoće manjeg od 0,8 kaže da je slabo kontrastan ili »mekan«.

Raspon gustoće negativa određuje u prvom redu raspon svjetljivosti predmeta. No, i za isti se predmet ΔD_n mijenja i to s ekspozicijom i razvijanjem. Na slici su za navedena tri slučaja ekspozicije označeni i rasponi gustoće negativna Δ_1D ; Δ_2D ; Δ_3D . Vidi se da ispravnoj ekspoziciji (područje 1) odgovara najveći raspon gustoće negativna, te postaje sve manji, što je u većoj mjeri snimka podekspozicionirana, odnosno preekspozicionirana. Dok se snimka po ekspoziciji premješta duž pravčastog dijela krivulje zacrnjenja, dotle se raspon gustoće negativna ne mijenja. Znatne razlike nastaju tek onda, kad snimka pređe u podnožje ili privrške krivulje zacrnjenja (područje 2, odnosno 3).

I s razvijanjem se u znatnoj mjeri mijenja raspon gustoće negativna, kako se to razabira iz sl. 71 b. Na njoj su prikazane tri krivulje zacrnjenja istog fotografskog materijala, ali za različita trajanja razvijanja. Na krivuljama je dublje izvučeno područje snimke istog objekta i uz istu ekspoziciju za sva tri slučaja. Produljivanjem trajanja razvijanja povećava se stupanj zacrnjenja cjelokupne snimke, ali se povećava i raspon gustoće zacrnjenja negativna (Δ_1D ; Δ_2D ; Δ_3D), tj. negativ postaje »tvrđ«.

Ako je, dakle, predmet malenog raspona svjetljivosti (slabo kontrastan predmet), a želi ga se kopirati na fotografski papir gradacije normal ili kontrast, mora se negativ dulje razvijati, da bi se postigao dovoljno velik raspon gustoće negativna. Obratno, ako je predmet velikog raspona svjetljivosti (vrlo kontrastan predmet), trebat će kraće razvijati da se ne bi dobio negativ prevelikog raspona gustoće (»pretvrđ« negativ).

Senzitometrijski uvjeti kopiranja. Fotografski se papiri međusobno razlikuju i po površini i boji, pa je prema karakteru predmeta potrebno izabrati odgovarajuću površinu i boju. No, nakon tog izbora, za koji nije potrebno poznavati bilo kakve karakteristike negativa, dolazi izbor gradacije fotografskog papira, koji mora odgovarati negativu bez obzira na predmet. Da se, naime, od nekog negativa dobije ispravna kopija, moraju biti ispunjena dva uvjeta: mora se kopirati na papir odgovarajuće gradacije i mora se za kopiranje odrediti ispravna ekspozicija.

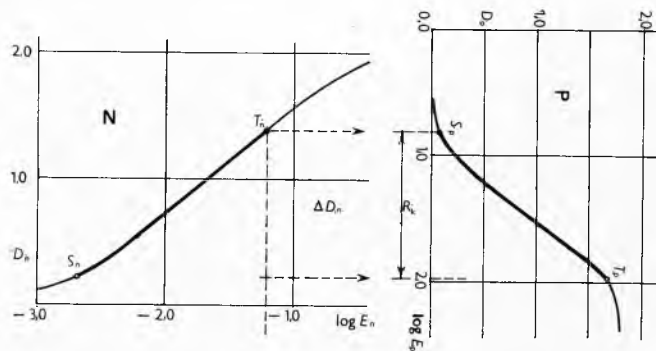
Da bi se ta dva uvjeta mogla jasno spoznati sa senzitometrijskog stanovišta, neka posluži sl. 72. Na njoj su prikazane: lijevo krivulja zacrnjenja negativskog materijala s označenim područjem snimke, i desno krivulja zacrnjenja fotografskog papira, ali u

koordinatnom sustavu, koji je za 90° zaokrenut prema sustavu krivulje negativskog materijala. Na taj se način može zorno prikazati kako treba fotografski papir po gradaciji prilagoditi negativu.

Na desnoj krivulji za fotografski papir označene su karakteristične točke svjetline S i tamnine T , koje ograničuju iskoristivo područje krivulje zacrtnjenja. Tim točkama pripadne apsise jesu $\log E_T$ i $\log E_S$, a njihovom razlikom je određen raspon kopiranja

$$R_k = \log E_T - \log E_S,$$

veličina kojom se kvantitativno izražava gradacija papira. Što je raspon kopiranja veći, to je papir *mekše* gradacije i obratno, što je R_k manji, to je papir *tvrd*e gradacije. Raspon kopiranja je mjera za područje ekspozicije potrebno da se obuhvati područje od minimalnog do maksimalnog zacrtnjenja.



Sl. 72. Smještaj negativske i pozitivne snimke na odgovarajućim krivuljama zacrtnjenja pri ispravnom kopiranju. ΔD_n raspon gustoće negativa, R_k raspon kopiranja pozitivnog materijala

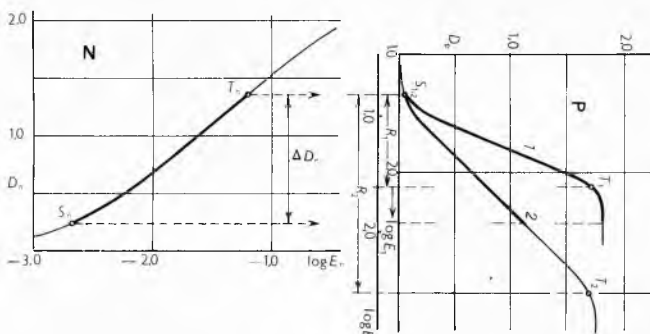
Na krivulji zacrtnjenja negativa označene su točke S_n minimalnog i T_n maksimalnog zacrtnjenja negativa, a označen je i raspon gustoće negativa:

$$\Delta D_n = D_M - D_m.$$

Prema slici se razabira: prvi je uvjet ispravnog kopiranja, da je raspon kopiranja fotografskog papira jednak rasponu gustoće negativa:

$$R_k = \Delta D_n.$$

Samo ako je taj uvjet ispunjen, ako je takoreći fotografski papir po svojoj gradaciji »skrojen« na »mjeru« negativa, bit će snimka



Sl. 73. Smještaj pozitivne snimke na krivulji zacrtnjenja uz primjenu papira neispravne gradacije. 1 Papir pretvrde gradacije, 2 papir premekane gradacije

ispravno smještena na krivulji zacrtnjenja fotografskog papira, tj. na kopiji će biti zastupljeni svi stupnjevi zacrtnjenja od najmanjeg do blizu najvećeg, a detalji (pojediniosti) se jasno razabiru u svjetlinama kao i u tamninama. Ako li je papir *premekan* s obzirom na negativ, tj. da je

$$R_k > \Delta D_n,$$

tada se više ne mogu dobiti i svjetline i tamnine. Jer, ako se ekspozira tako, da su svijetli dijelovi kopije ispravni, neće biti na slici potpunih tamnina, slika će biti blijeda. Ako li se ekspozira

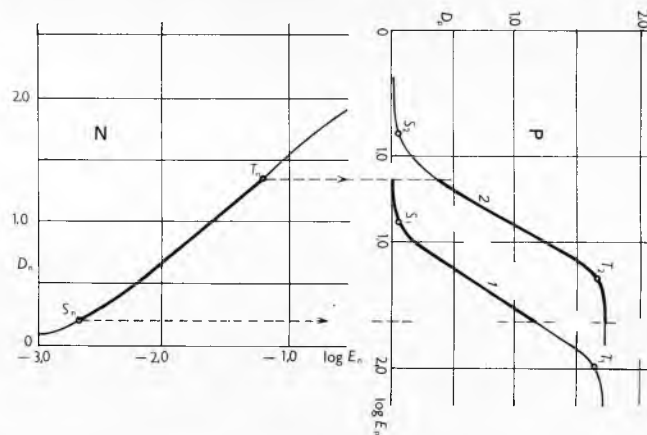
čija podesi tako da se postignu tamnine, tada neće biti svjetlina (bjelina), nego će sva snimka biti siva. Ako je papir *pretvrd*, tj. da je

$$R_k < \Delta D_n,$$

tada će na slici morati biti izgubljeni detalji, bilo u svjetlinama, bilo u tamninama, već prema tome kako se ekspozira. Većinom se u takvom slučaju spašavaju detalji u svjetlinama. Na sl. 73 prikazana su oba slučaja neslaganja raspona kopiranja fotografskog papira s rasponom gustoće negativa. Na krivulji lijevo označen je negativ kojega je raspon gustoće ΔD_n .

Na desno su prikazane krivulje zacrtnjenja dvaju fotografskih papira od kojih je prvi *pretvrd* (krivulja 1, $R_1 < \Delta D_n$) a drugi *premekan* (krivulja 2, $R_2 > \Delta D_n$). Smještaj slike na krivulji zacrtnjenja fotografskog papira označen je debljom crtom, a prikazan je slučaj da je ekspozicija ispravna s obzirom na svjetline.

Da se uoči drugi uvjet ispravnog kopiranja, treba zamisliti da se u prikazu sl. 74 desni koordinatni sustav skupa s krivuljom pomiče prema gore kako se povećava ekspozicija. Krivulja 1 prikazuje slučaj nedovoljne ekspozicije, pa će najsvjetliji dio snimke biti potpuno prazan bez ikakvih detalja, a u tamnim dijelovima neće biti dostignuto maksimalno zacrtnjenje. Krivulja 2 prikazuje slučaj pretjerane ekspozicije, nema svjetlina, a najtamniji dio slike je prazan, bez detalja. Primjer korektno ekspozicije prikazan je na sl. 72 i iz nje se razabira da je ekspozicija ispravna u onom slučaju, kad točki T_n krivulje zacrtnjenja negativa odgovara točka S_p krivulje zacrtnjenja fotografskog papira, tj. mjestu najvećeg zacrtnjenja negativa, na kopiji odgovara mjesto minimalnog zacrtnjenja. To minimalno zacrtnjenje mora biti toliko da se u svjetlinama razabiru pojedinosti.



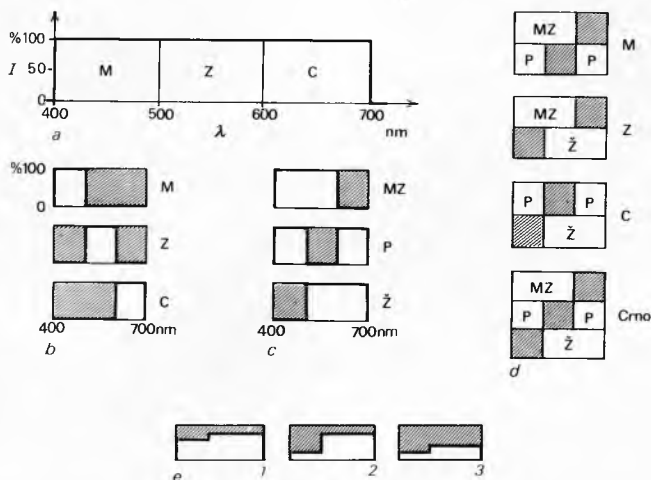
Sl. 74. Smještaj pozitivne snimke na krivulji zacrtnjenja uz primjenu papira ispravne gradacije, ali uz premalenu 1, odnosno preveliku 2 ekspoziciju

FOTOGRAFIJA U BOJAMA

Boje. Bijelo svjetlo rastavljeno prizmom daje spektar boja: crvena, narančasta, žuta, zelena, modra i ljubičasta sa svim prijelazima. To su čiste spektralne boje (v. *Boja*, TE 2, str. 59). Jednostavnije, ali ne posve čisto, mogu se dobiti određene boje i tako da se bijelo svjetlo pusti kroz optički filtar, koji propušta samo svjetlo određenog spektralnog područja, a ostalo apsorbira. Dakle, od bijelog svjetla oduzima se dio svjetla i dobije se svjetlo određene boje. Takav način dobivanja svjetla određene boje naziva se zato suptraktivni način (suptrakcija-oduzimanje). Optički filtri mogu biti takvi da propuštaju šire ili uže spektralno područje, pa se mogu dobiti i različite boje. Kombinacijom triju filtera od kojih svaki propušta 2/3 spektralnog područja moguće je dobiti velik niz različitih nijansa boja. Na toj se činjenici osniva suptraktivna metoda kolor-fotografije.

Idealni i realni filtri. Radi lakšeg shvaćanja pojava mogu se zamisliti idealni filtri, koji imaju oštru granicu propustljivosti, te određeni dio spektralnog područja ili posve propuštaju (100%), ili posve zadržavaju (0%). Na sl. 75 a spektralno je područje vidljivog zračenja razdijeljeno na tri jednaka dijela s obzirom na valne duljine λ svjetla. Svaki taj dio odgovara jednoj od osnovnih

boja u kolor-fotografiji: modroj M, zelenoj Z i crvenoj C. Po dva od tih područja daju komplementarne boje: žutu Ž, purpurnu P i modrozelenu MZ. Idealni filtri za te boje morali bi imati propustljivost kako prikazuje sl. 75.b. Filtrima za osnovne boje ne

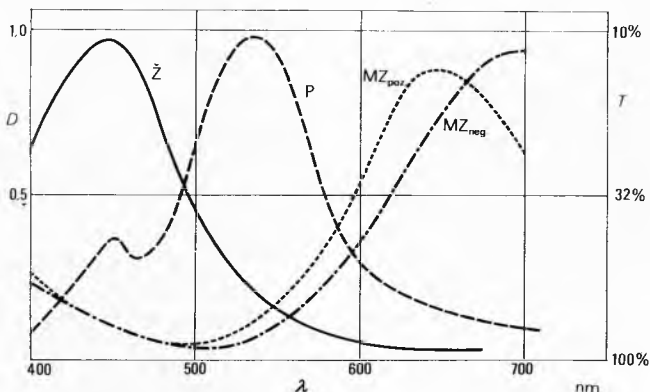


Sl. 75. Prikaz propustljivosti idealnih filtara i njihovih kombinacija. a) Spektralni razdjeljen na tri podjednaka dijela daje tri osnovne boje: modro, zeleno, crveno; b) filtri za osnovne boje; c) filtri za komplementarne boje: modrozeleno, purpurno i žuto; d) kombinacije filtara za komplementarne boje; e) žuti filtri smanjenog kontrasta; 1 svjetložuti, 2 izrazito žuti, 3 tamnožuti

moгу se proizvesti nikakve druge boje, ali zato se kombinacijom filtara za komplementarne boje mogu dobiti i druge boje. Boje koje se mogu dobiti s tri filtra za komplementarne boje jesu:

- | | |
|---------------------------|------------------|
| 1 bez ikakva filtra | B (bijela) |
| 2 sa MZ-filtrom | MZ (modrozeleno) |
| 3 sa P-filtrom | P (purpurno) |
| 4 sa Ž-filtrom | Ž (žuto) |
| 5 sa (P + MZ)-filtrom | M (modro) |
| 6 sa (MZ + Ž)-filtrom | Z (zeleno) |
| 7 sa (Ž + P)-filtrom | C (crveno) |
| 8 sa (Ž + P + MZ)-filtrom | Cr (crna) |

Kombinacije 5 do 8 prikazane su na sl. 75.d, na kojoj se razabira zajedničko područje propustljivosti. Da bi se mogle dobiti i druge nijanse boja, trebalo bi imati idealne filtre različitog kontrasta, tj. da u području propustljivosti ne moraju 100% propuštati, niti u području apsorpcije sve svjetlo apsorbirati. Na sl. 75.e kao primjer prikazana je krivulja propustljivosti za svjetložuti 1, izrazito žuti 2 i tamno žuti 3 filtar. Filtar 1 propušta ponešto u cijelom vidljivom području, te djeluje kao da je žutoj boji primiješano bijele boje, 3 slabo propušta zeleno i crveno, a još manje modro, te djeluje kao da je žutoj boji dodano crne boje. Što je veći udio crnog, to je filtar tamniji, što je veći udio bijelog, to je filtar svjetliji. Što je veća razlika u propustljivosti dvaju područja, to je filtar kontrastniji, a boja zasićenija. Kombinacijom triju filtara

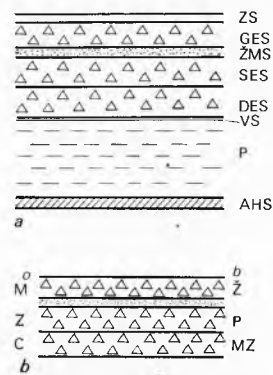


Sl. 76. Prikaz propustljivosti realnih filtara za komplementarne boje: žutu Ž, purpurnu P i modrozelenu MZ. Primjer Agfacolor negativskog i pozitivskog filma

za komplementarne boje, ali različitog kontrasta i različite svjetline, mogu se dobiti gotovo sve boje.

Realni filtri, kakvi se dobivaju u troslojnom kolor-materijalu, nemaju tako oštre granice između područja velike i male propustljivosti, nego je prijelaz postepen. Kemijski se ne daju proizvesti bojila koja bi odgovarala idealnim filterima. U tvornicama kolor-materijala nastoji se da se u slojevima proizvedu bojila, koja će što više sličiti idealnim filterima. Na sl. 76 prikazane su kao primjer krivulje propustljivosti za bojila pojedinih slojeva Agfacolor negativskog i pozitivskog filma.

Grada kolor-materijala. Kod negativskog kolor-filma nalaze se na podlozi P nanoseni slijedeći slojevi: donji emulzijski sloj DES, zatim žuti međusloj ŽM, srednji emulzijski sloj SES, gornji emulzijski sloj GES i konačno zaštitni sloj ZS. Raspored ovih slojeva u emulziji negativskog kolor-filma prikazan je na sl. 77 a. S druge strane podloge nanosen je antihalo-sloj AHS, koji u tom slučaju mora biti vrlo tanak, tako da spriječi halo-pojave za sve vrste svjetla. Žuti međusloj vrlo je tanak, a sastoji se od vrlo sitnih zrna koloidnog srebra dispergiranih u želatini. On služi kao filtar koji zadržava modro i ljubičasto svjetlo pri eksponiranju, a nestane u oslabljivaču. Emulzijski slojevi su tako senzibilizirani da djeluju svaki na svjetlo jedne od osnovnih boje. Gornji sloj GES nije senzibiliziran, pa je osjetljiv na svjetlo modre boje. Srednji sloj SES je ortokromatski senzibiliziran pa je osjetljiv na svjetlo zelene i modre boje, ali svjetlo modre boje zbog žutog filtra ne prodire do srednjeg i donjeg sloja. Srednji je sloj, dakle, osjetljiv samo na svjetlo zelene boje. Donji sloj DES je osjetljiv samo na svjetlo crvene boje. Nakon razvijanja u tim slojevima nastaju baš komplementarne boje u GES-u žuta, u SES-u purpurno, a u DES-u modrozeleno. Na sl. 77 b uz svaki sloj naznačena je osjetljivost na boju o i, s druge strane, boja b koja u njemu nastaje.



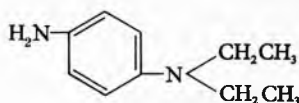
Sl. 77. Grada kolor-filma. a) Presjek: ZS zaštitni sloj, GES gornji emulzijski sloj, ŽM žuti međusloj, SES srednji emulzijski sloj, DES donji emulzijski sloj, VS vezivni sloj, P filmska podloga, AHS antihalo-sloj; b) osjetljivost o na boju svjetla i odgovarajuća boja b koja nastaje nakon razvijanja u pojedinom emulzijskom sloju

Boja se u emulzijskom sloju stvara na taj način, što se emulziji dodaju neke organske tvari: vezivači (kupleri), koje oksidacijskim produktima razvijачke supstancije daju bojila. Svakom sloju su dodani drugačiji vezivači, pa tako nastaju i različita bojila. Molekula bojila nastaje «in situ», tj. točno na onom mjestu na kojem je nastao oksidacijski produkt.

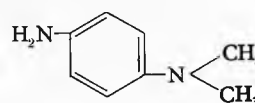
Vezivači su u troslojnim kolor-materijalima uklopljeni ili direktno u emulziju (Agfacolor, 1935) ili pak kao sitne kapljice obavijene nekom nehlapljivom bezbojnom tvari (Kodacolor, Ektachrome, 1942). U prvom su slučaju molekule vezivača sintetizirane tako da su im priključeni dugi alifatski lanci da bi se spriječila difuzija iz jednog sloja u drugi. U drugom slučaju kapljice ne mogu difundirati jer su obložene kao nekom kožicom, koja je pak propusna za oksidacijske produkte razvijачke. Kasnije su u negativske filmove tvrtke Eastman stavljeni vezivači određene boje, koja je pri kopiranju služila kao korekcijski filtar.

Kolor-papir je slično građen kao i film, samo nema žuto međusloje, jer su emulzije klorosrebrne, pa senzibilizator dodan emulziji ujedno već djeluje kao filtar i smanjuje vlastitu osjetljivost srebro-klorida. Antihalo-sloj, naravno, nije potreban.

Kromogeno razvijanje. Kao razvijачke supstancije ne dolaze u obzir ni metol, ni hidrokinon, ni fenidon, ni amidol, nego

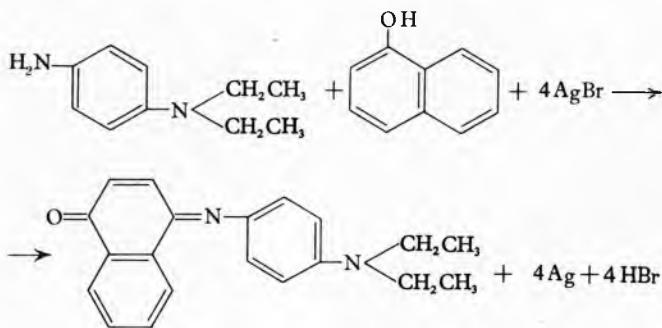


Dietyl-para-fenilendiamin



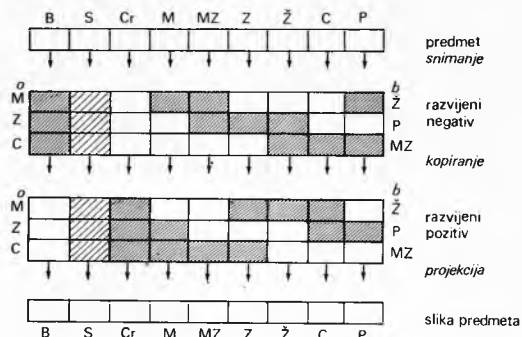
Dimetil-para-fenilendiamin

parafenilendiamin, i to supstituiran s metilnim ili etilnim skupinama: dietil-parafenilendiamin ili dimetil-parafenilendiamin. Vezivač se može dodati i u razvijачku otopinu. Kao primjer neka posluži reakcija s alfa-naftolom kao vezivačem:



Kako se iz jednadžbe reakcije razabira dolazi na 4 atoma srebra jedna molekula bojila.

Negativsko-pozitivski postupak je shematski prikazan na sl. 78 sve do projicirane slike predmeta ili slike na papiru. Pri snimanju predmeta u bojama, svjetlo svake boje djeluje na odgovarajuće slojeve negativskog materijala. Nakon kromogenog razvijanja nastaju u emulzijskim slojevima komplementarne boje, ali nastaju i crno-bijele slike u koloidnom srebru. U svemu nastaje



Sl. 78. Shema reprodukcije boja pri negativsko-pozitivskom postupku. Oznake boja: B bijela, S siva, Cr crna, M modra, MZ modrozeleni, Z zelena, Ž žuta, C crvena, P purpurna; o osjetljivost na boje, b boja što se stvara u sloju

šest slika, u svakom sloju po dvije. Crno-bijele slike uklone se izbljeđivanjem, pa ostaju samo tri slike u komplementarnim bojama, koje djeluju pri kopiranju kao tri filtra. Na pozitivu nakon kopiranja i kromogenog razvijanja opet nastaju uz slike u boji i crno-bijele slike, koje se izbljeđivačem uklanjaju. Pozitiv opet čine po tri filtra, koja, pri motrenju pozitivu, iz bijelog svjetla oduzimaju stanovita spektralna područja i tako se predmet reproducira u originalnim bojama.

Kopiranje, odnosno povećavanje može se izvoditi na dva načina: jednokratnim osvjetljavanjem bijelim svjetlom uz primjenu tzv. korekcijskih filtara komplementarnih boja, da se dobiju ispravne boje u pozitivu, i trokratnim osvjetljavanjem kroz filtre osnovnih boja, dakle, osvjetljavanjem crvenim, zelenim i modrim svjetlom.

Za prvi slučaj je potrebno raspolagati velikim slogom filtara različite gustoće i znati ih kombinirati. U drugom slučaju su potrebna samo tri filtra za osnovne boje, ali se za svaki filter mora posebno odrediti trajanje ekspozicije. To se najjednostavnije određuje praviljenjem vremenskog klina ekspozicije.

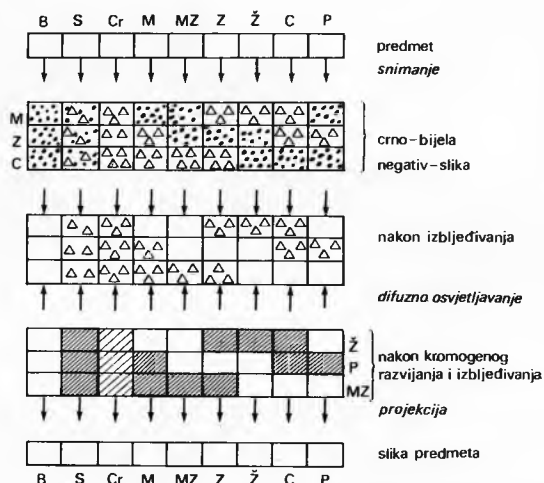
Faze negativsko-pozitivskog postupka su osvjetljavanje, kromogeno razvijanje, intenzivno pranje da se ukloni svaki trag razvijачa, izbljeđivanje da se ukloni crno-bijela slika, fiksiranje da se uklone neosvijetljena zrna, kao i izbljeđivanjem nastali srebro-halogenidi, temeljito pranje, sušenje i kopiranje (nakon kojega pri obradi pozitivne slike slijede opet faze obrade).

Od posebne važnosti je da se dobro isperu kemikalije iz kolor-materijala, jer inače nastaju mrlje koje mogu znatno pokvariti sliku u boji.

Preobratni postupak sastoji se u tom, da se jednokratnom obradom odmah dobije pozitivna slika. U tu svrhu služe posebni preobratni filmovi, koji su nešto tvrde gradacije nego što su negativski filmovi.

Faze obrade su osvjetljavanje, obično crno-bijelo razvijanje, (nastaje crno-bijela negativska slika), kratko pranje da se ispere razvijач, izbljeđivanje da se ukloni crno-bijela slika, kratko pranje, difuzno osvjetljavanje da se osvijetle preostala zrna srebro-halogenida, kromogeno razvijanje (nastaje crno-bijela i obojena pozitivna slika), izbljeđivanje da se ukloni crno-bijela pozitivna slika, fiksiranje, temeljito pranje i sušenje.

Na sl. 79 opet je shematski prikazana reprodukcija boja. Na preobratnom se filmu dobije odmah dijapozitiv kojeg se mora projicirati da bi se slika gledala, ili pak, treba imati posebni mali uređaj za gledanje dijapozitivske slike. Preobratni postupak je jednostavniji, ali se dobiva samo jedna dijapozitivska slika. Negativsko-pozitivski postupak je zamršeniji i znatno dulje traje, ali se zato mogu od svake negativske slike načiniti po volji pozitivne slike na papiru ili pak dijapozitivske slike na filmu. Osim toga tim se postupkom mogu pri kopiranju znatno korigirati boje pozitivne slike.



Sl. 79. Shema reprodukcije boja pri preobratnom postupku. Trokutici označuju nerazvijena zrna srebro-halogenida; jednostruko šrafliranje znači negativska slika razvijena crno-bijelo, dvostruko šrafliranje znači pozitivna slika razvijena crno-bijelo i u boji

Osvjetljavanje. Pri osvjetljavanju kolor-filmova potrebno je pripaziti ne samo na intenzitet rasvjete, nego se mora uvažiti i kvalitet svjetla. Posebni su filmovi za danje svjetlo, a posebni za umjetno svjetlo, i to za svijetlo žarulja i bljeskalica, a nisu pođeni za fluorescentnu i živinu rasvjetu. Kod kolor-filma moraju, naime, tri emulzijska sloja po svojim senzimetrijskim karakteristikama biti usklađena, da ne bi nakon razvijanja nastao poremećaj u odnosu boja. Usklađenost se može postići samo za jedan određeni kvalitet svjetla uz koji se onda treba snimati. Za znatnija odstupanja u kvalitetu svjetla potrebno je primijeniti kompenzacijske filtre pri snimanju. Kvalitet svjetla izvora kontinuiranog spektra zračenja označuje se temperaturom boje T_b (v. *Fotometrija*, str. 608). Izražava se u kelvinima, pa se i uređaji za određivanje temperature boje često nazivaju *kelvimetri*.

Da bi se prikladno mogli primijeniti kompenzacijski filteri kojima se mijenja temperatura boje svjetla, uvedena je nova veličina *mired M* (micro reciprocal degree) definirana izrazom

$$M = \frac{10^6}{T_b}$$

Tom se, naime, veličinom može vrlo jednostavno izraziti promjena kvaliteta svjetla prolazom kroz kompenzacijski filteri diferencijom ΔM

$$\Delta M = \left(\frac{1}{T_{b2}} - \frac{1}{T_{b1}} \right) \cdot 10^6,$$

gdje je T_{b1} temperatura boje prvotnog a T_{b2} promijenjenog svjetla.

ΔM može biti pozitivno ili negativno. Smedasti filtri snižuju temperaturu boje, a M -vrijednost se povisuje, pa je M pozitivno (+ filtri). Naprotiv, plavičastim se filtrima temperatura boje povisuje a M -vrijednost snižuje, pa je M negativno (– filtri).

U tabl. 8 date su vrijednosti veličine M za područje temperatura boje od 2000...6900 K, sve po 100 K.

Tablica 8
MIRED-VRIJEDNOSTI ZA TEMPERATURE BOJE 2000...6900 K

Temperatura boje K	MIRED	Temperatura boje K	MIRED	Temperatura boje K	MIRED	Temperatura boje K	MIRED	Temperatura boje K	MIRED
2 000	500	3 000	333	4 000	250	5 000	200	6 000	167
2 100	476	3 100	323	4 100	244	5 100	196	6 100	164
2 200	455	3 200	312	4 200	238	5 200	192	6 200	161
2 300	435	3 300	303	4 300	233	5 300	189	6 300	159
2 400	417	3 400	294	4 400	227	5 400	185	6 400	156
2 500	400	3 500	286	4 500	222	5 500	182	6 500	154
2 600	385	3 600	278	4 600	217	5 600	179	6 600	152
2 700	370	3 700	270	4 700	213	5 700	175	6 700	149
2 800	357	3 800	263	4 800	208	5 800	172	6 800	147
2 900	345	3 900	256	4 900	204	5 900	169	6 900	145

Mjeri se ili se po nekoj tablici odredi temperatura boje svjetla pri snimanju T_{b1} , za film je naznačena propisana temperatura T_{b2} , iz tablice nađu se odgovarajuće M -vrijednosti M_1 i M_2 . Diferencija $M_2 - M_1 = \Delta M$ daje nam vrijednost filtra. Filtri se mogu i kombinirati pa je vrijednost kombinacije $\Delta M_b = \Delta M_1 + \Delta M_2$.

U tabl. 9 navedene su temperature boje i odgovarajuće M -vrijednosti za nekoliko praktičnih svjetila.

Tablica 9
TEMPERATURA BOJE I ODGOVARAJUĆE MIRED-VRIJEDNOSTI ZA NEKA SVJETLILA

Svjetlilo	Temperatura boje K	MIRED
Otvoreni ugljeni luk	5 000	200
Krater ugljenog luka	4 000	250
Fotografski reflektor	3 300...3 400	303...294
Žarulja s definiranom T_b	3 200	312
Reflektorska žarulja, 500 i 1000 W	3 000	333
Plinom punjena žarulja opće namjene, 100 W	2 900	345
Plinom punjena žarulja opće namjene, 40 i 60 W	2 800	357

Razvijanje kolor-materijala. Proces razvijanja je kod kolor-materijala znatno kompliciraniji i osjetljiviji nego kod crno-bijelih materijala. U prvom redu svaka tvrtka za svaki tip kolor-materijala propisuje razvijач, kao i uvjete razvijanja. Pri razvijanju treba se pridržavati propisa pod kojim se uvjetima mora razvijati foto-materijal da bi se postigla ravnoteža senzitometrijskih karakteristika i zasićenosti bojila u pojedinim slojevima. Promjenom uvjeta razvijanja poremeti se ta ravnoteža, te se istakne neka boja po cijeloj snimci. Kako je trajnost kromogenih razvijачa razmjerno kratka, a kemikalije za kolor-razvijanje skupe, slabo se raširila obrada kolor-materijala među amaterima, pa čak i među stručnim fotografima. Razvija se većinom industrijski, obično kod tvrtki koje proizvode te materijale. Kod nekih tvrtki u cijenu kolor-materijala uključeno je i tvorničko razvijanje. No, postoje i manji fotografski laboratoriji u kojima se razvijaju kolor-materijali. Izrađeni su i tzv. univerzalni postupci razvijanja (Gordon, 1954—55) po kojima se može istovrsne (negativske, pozitivske, preobratne) materijale različitih tvrtki obraditi, mijenjajući uvjete razvijanja čak i podešavati razvijenu snimku. Razrađeni su i postupci za naknadnu korekciju pojedinih bojila, kako za pojačanje tako i za oslabljenje.

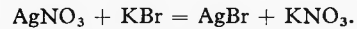
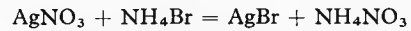
Senzitometrija kolor-materijala. Kao i za crno-bijelu fotografiju u senzitometru se osvijetljavaju uzorci filma ili papira kroz neutralno sivi senzitometrijski klin. Kromogeno razvijeni i dalje izbljedijevanjem i fiksiranjem obrađeni senzitometrijski uzorci bit će uglavnom sivi. Nastaje problem određivanja gustoće sivoće, odnosno optičke gustoće (ekstinkcije) u pojedinom obo-

jenom sloju. Zato se gustoća sivoće D_s određuje posebno crvenim, zelenim i modrim svjetlom kao komplementarnim bojama modro-zelenoj, purpurnoj i žutoj boji u pojedinim slojevima. Tako se mjerenjem kroz crveni, zeleni i modri filter određuje gustoće D_{sc} , D_{sz} , D_{sm} koje se nazivaju totalnim gustoćama ili bolje, ekvivalentnim neutralnim gustoćama, za razliku od apsolutne gustoće koja se dobije za jednobojni sloj.

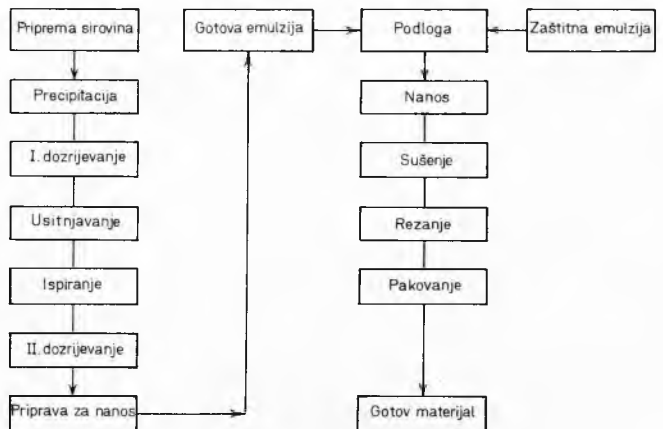
Za određivanje karakteristika pojedinih slojeva posebno se kroz senzitometrijski klin osvijetle uzorci samo modrim svjetlom, drugi uzorci samo zelenim i treći samo crvenim svjetlom, te se svi standardno kromogeno razvijaju. Kao izvori svjetla opet služe žarulje temperature boje 2850 K kao predstavnici umjetne rasvjete, a uz primjenu Davis-Gibson-filtra daju izvore temperature boje 5400 K, dakle, predstavljaju Sunčevu rasvjetu. Uz te se izvore još primjenjuju navedeni filtri za osnovne boje: modri, zeleni i crveni, i to po mogućnosti uskog spektralnog područja propustljivosti i s maksimumom propustljivosti koji odgovara maksimumu osjetljivosti pojedinih slojeva kolor-materijala. Razvijanjem se uzorcima odredi apsolutna gustoća pojedinih polja, te se mogu odrediti krivulje zavisnosti optičke gustoće od logaritma ekspozicije za svaki sloj posebno.

PRIREĐIVANJE FOTOGRAFSKIH SLOJEVA

Faze priređivanja. Fotografska emulzija je suspenzija kristalića srebro-halogenida u otopini želatine. Ti su kristalići reda veličine oko 1 μm , pa se prostim okom ne vide, a osim toga cijela otopina ima izgled poput kakve emulzije, pa se općenito i naziva fotografskom emulzijom. Ona se nanosi na različite podloge i onda osuši, pa se tako dobivaju fotografski materijali u suhom stanju. Srebro-halogenidi dobivaju se precipitacijom što nastupa reakcijom kalijum-halogenida ili amonijum-halogenida sa srebrom-nitratom



Redovno se srebro-nitrat ulijeva u želatinsku otopinu kalijum-bromida ili amonijum-bromida, odnosno kalijum-klorida ili amonijum-klorida uz energično miješanje. Želatina služi kao zaštitni koloid koji sprečava aglomeraciju, kristalića. Precipitacija se izvodi uz povišenu temperaturu i to uz 35...45 °C ako se emulzija priređuje po amonijakalnom postupku a uz 60...70 °C po neutralnom postupku. Neposredno nakon precipitacije emulzija je vrlo male osjetljivosti, pa se za povećanje osjetljivosti mora dalje obrađivati. Faze priređivanja fotografskih materijala jesu ove: 1 priprema uređaja i otopina, 2 precipitacija, 3 fizikalno dozrijevanje, 4 skrućivanje, rezanje i pranje, 5 naknadno ili kemijsko dozrijevanje, 6 dodavanje prije nanosa, 7 nanošenje na podlogu i sušenje, a shematski su prikazane na sl. 80.



Sl. 80. Faze proizvodnje fotografskih materijala

Želatina. Kako je želatina od bitne važnosti za fotografsku emulziju, potrebno je posebno se osvrnuti na nju. Želatina nastaje transformacijom kolagena, što tvori tkivo životinjske kože i kostiju (osein). U kostima se osein nalazi u smjesi s kalcijum-fosfatom

i kalcijum-karbonatom. Ekstrakcija želatine izvodi se hidratacijom kolagena. Točna kemijska konstitucija želatine nije poznata. Praktički, želatina dolazi kao smjesa od više želatina različitog stupnja polimerizacije i k tome različitih produkata razgradnje. Njena je prosječna molekularna masa oko 35 000. Osim toga u njoj se još nalaze u vrlo malim količinama neke strane primjese koje znatno utječu na fotografska svojstva emulzije. Već prema porijeklu sirovina (kožica, kostiju) i načinu proizvodnje, dobivaju se želatine različitih svojstava, te je praktički nemoguće proizvoditi želatinu strogo jednakih svojstava. Ta stanovita neodređenost s obzirom na svojstva želatine čini velike poteškoće pri proizvodnji fotografskih materijala.

Da se odredi karakter neke želatine, određuju se njena fizikalna, fizikalno-kemijska i fotografska svojstva. Tako se određuje čvrstoća gela, talište (totalna depolimerizacija), koeficijent viskoznosti, svojstvo bubrenja, napetost površine i dr.

Želatina je, kao i ostali proteini, amfoterna tvar, tj. istodobno se ponaša kao kiselina i kao baza, već prema vrijednosti pH sredstva u kojem se nalazi. Vrijednost pH uz koju nastupa ravnoteža kiselinske i bazične faze zove se izoelektrična vrijednost pH. Za želatinu je izoelektrična pH vrijednost 4,7...5,0. Ta je vrijednost vrlo važna, jer s obzirom na tu vrijednost fizikalno-kemijska svojstva želatine poprimaju ekstremne vrijednosti: viskoznost, napetost površine i stupanj bubrenja su najmanji, a talište je najviše.

Viskoznost želatinske otopine je općenito promjenljiva. Ona ovisi o temperaturi, o trajanju ustajalosti, o gibanju, općenito o svemu što može mijenjati stupanj polimerizacije. Mirovanjem se viskoznost povećava, miješanjem se smanjuje. Povećavanjem temperature do 35 °C viskoznost opada, a iznad 35 °C vrlo se slabo mijenja.

Za 6% vodenu otopinu želatine talište je (potpuni prijelaz u sol) 32 °C, dok uz čvršćivanje (potpuni prijelaz u gel) nastupa uz temperaturu 22 °C.

S obzirom na fotografska svojstva razlikujemo aktivne i inertne želatine. Aktivne želatine sadržavaju u minimalnim količinama tvari koje djeluju kao kemijski senzibilizatori fotografskog zrna. To su u prvom redu neki spojevi sumpora (labilni sumpor). Inertne želatine ne sadrže aktivnih tvari, nego često sadrže čak neke inhibitore koji sprečavaju ili bar usporuju *dozrijevanje* fotografske emulzije.

Suha želatina se prije upotrebe obično usitni, a zatim se na odvagputu količinu doda stanovita količina vode i stavi da bubri. Nakon barem pola sata bubrenja ugrije se otopina i prijede u sol-stanje. Ukoliko nije već nasuta sva predviđena količina vode, tada se nadolije, tako da se prema potrebi dobije vodena otopina želatine određenog postotka (2...6%). S tako priređenom vodenom otopinom želatine ulazi se u proces priređivanja emulzije.

Precipitacija. Najbitnija faza priređivanja fotografske emulzije je precipitacija. Uvjeti pod kojima je izvršena precipitacija određuju u velikoj mjeri karakteristike emulzije. Precipitacija se izvodi tako da se u zagrijanu vodenu otopinu želatine i kalijum-bromida ili amonijum-bromida, odnosno natrijum-klorida ulijeva vodena otopina srebro-nitrata uz energično miješanje. Dva su bitno različita postupka po kojima se izvodi precipitacija: neutralni (vrući) i amonijakalni postupak. Po neutralnom se postupku u želatinsku otopinu halogenida, ugrišanu do ~ 70 °C, ulijeva otopina srebro-nitrata. Halogenida treba da bude u suvišku. Za takve je emulzije pH ~ 6...7. Po amonijakalnom postupku već se otopina halogenida priređuje iz amonijum-bromida, a osim toga se otopini srebro-nitrata dodaje određena količina amonijaka. Dodavanjem amonijaka stvara se smeđi precipitat srebro-hidroksida, koji se daljim dodavanjem amonijaka opet otopi. Amonijak se dodaje oprezno do potpunog razbistrivanja otopine srebro-nitrata. Amonijakalna otopina srebro-nitrata dodaje se onda želatinskoj otopini halogenida, koja je ugrišana svega do 45 °C. Amonijakalnim emulzijama je pH ~ 9.

Visoka temperatura kod neutralnog postupka, a amonijak kod amonijakalnog postupka, te koncentracija želatine i energično miješanje pogoduju dispergiranju precipitata. S obzirom na raspored veličine zrna srebro-halogenida važan je način ulijevanja srebro-nitrata. Ako se odjednom ulije cijela količina nastaje mnogo kristalica, ali veličine su im ispod 0,1 μm. Sporim ulije-

vanjem otopine nastaju veća zrna. Često se srebro-nitrat ulijeva u više mahova. U svakom od navedenih slučajeva precipitacija se zbiva uz znatan višak halogenida, koji se sve više smanjuje, što je veći dio količine srebro-nitrata dodan želatinskoj otopini halogenida. Zbog toga se uvjeti nastajanja i rasta kristalica srebro-halogenida neprestano mijenjaju. Konstantniji su uvjeti ako se u želatinsku otopinu paralelno dodaju otopina halogenida i srebro-nitrata, a sve tri otopine su zagrijane na istu temperaturu.

Fizikalno dozrijevanje. Nakon izvršene precipitacije u većini slučajeva fotografska emulzija još dozrijeva. Dozrijevanje se sastoji u tome, da se nakon precipitacije emulzija drži neko vrijeme na povišenoj temperaturi (45...70 °C) uz konstantno miješanje. Cilj je toga dozrijevanja stanovita prekrystalizacija, formiranje zrna srebro-halogenida. U emulziji se, naime, nakon precipitacije nalazi neki višak kalijum-bromida, odnosno amonijum-bromida (klorida). Povišena temperatura emulzije uz višak halogenida pogoduje otapanju srebro-bromida (klorida). Kako su manja zrna jače podvrgnuta otapanju od većih zrna, to manja zrna nestaju, a na njihov račun rastu veća zrna. Proces prekrystalizacije je još ubrzan prisustvom amonijaka. Zato amonijakalne emulzije dozrijevaju uz nižu temperaturu (45...50 °C). Kako se tim dozrijevanjem mijenja uglavnom veličina zrna, tj. zbiva se fizikalni proces, to se ono naziva fizikalno dozrijevanje za razliku od naknadnog ili kemijskog dozrijevanja.

Porast dimenzija zrna uvjetovan je trajanjem dozrijevanja, temperaturom, koncentracijom topljivih halogenida, koncentracijom amonijaka, koncentracijom želatine, te brzinom miješanja.

Općenito uzevši, s porastom dimenzija zrna raste i osjetljivost emulzije, no to ne vrijedi u svakom slučaju. Moderna nastojanja idu za tim da se zrno očuva maleno, a da se osjetljivost na drugi način poveća. Kao neke prosječne veličine zrna za različite tipove emulzija, mogu se uzeti slijedeće vrijednosti: negativska emulzija, vrlo osjetljiva: 1,8...2,0 μm emulzija malene osjetljivosti: 0,6 μm, emulzije za dijapozitive: 0,1 μm

Skrucivanje, rezanje i pranje. Nakon precipitacije, a za vrijeme dozrijevanja dodaje se emulziji još stanovita količina želatine (dodatne želatine) koja je potrebna da se postigne dovoljna čvrstoća gela i potrebna koncentracija za fotografski sloj (7...10%). Nakon završenog dozrijevanja emulzija se naglo hladi da očvrstne. Zatim se pohrani u hladnjaku da stoji najmanje 12 sati uz temperaturu od 5...6 °C. Nakon toga se očvrstnuta emulzija reže u rezance, obično nekim tijeskom kroz mrežicu. Rezanci su kvadratičnog prereza stranice 3...4 mm. Pretanki rezanci bi se lako trgali, dok bi se predebeli teško ispirali radi spore difuzije. Ti se rezanci zatim ispiru hladnom vodom (ispod 18 °C), da se ne bi pomalo otapala emulzija. Iz emulzije se isperu topljivi sastojci kao što su: višak KBr, nastali KNO₃, odnosno NH₄NO₃ i eventualno amonijak, dok su srebro-halogenidi teško topljivi i ne ispiru se. Uz lagano miješanje ispiranje traje i po nekoliko sati budući da ovisi o brzini difuzije topljivih sastojaka iz rezanaca emulzije.

Naknadno ili kemijsko dozrijevanje. Nakon što su formirana zrna srebro-halogenida i nakon što su ispiranjem uklonjeni nepotrebni sastojci, emulziji se već ponešto poveća osjetljivost. No, znatno povećanje osjetljivosti, a i postizanje određene gradacije postiže se ponovnim dozrijevanjem, ali sad bez prisustva otapala (KBr ili NH₃). Neutralne emulzije opet dozrijevaju uz temperaturu do 65 °C, dok amonijakalne uz 45...55 °C. Uz umjereno miješanje, to drugo dozrijevanje traje, već prema potrebi, od pola sata do nekoliko sati. Glavni je cilj: formiranje klica osjetljivosti na zrnima srebro-halogenida, dok se oblik i veličina zrna više ne mijenja. Za trajanja drugog dozrijevanja raste osjetljivost emulzije, ali može rasti i mrena. Zato se trajanje podešava tako, da mrena fotografskog sloja ne prijeđe iznos npr. 0,06. Općenito se mogu podvrgnuti duljem dozrijevanju emulzije koje sadrže više srebro-jodida (2...5%). Emulzijama s kraćim prvim dozrijevanjem, općenito uzevši, više se povećava osjetljivost drugim dozrijevanjem, nego onima s dugim prvim dozrijevanjem.

Za vrijeme drugog dozrijevanja dodaju se emulziji različiti kemijski senzibilizatori kao i stabilizatori. Kemijskim senzibilizatorima može se znatno povećati osjetljivost, ali može se i vrlo lako dovesti emulzije do nestabilnosti, tj. da prilikom razvijanja

nastaje jaka mreža. Stabilizatorima se sprečava takva nestabilnost emulzije.

Priprema emulzije za nanos na podlogu. Nakon drugog dozrijevanja emulzija se obično opet gelificira i pohrani u hladnjak do vremena nanosa, ili se pak odmah priprema za nanos. Prije nanosa emulziji se dodaju različiti dodaci potrebni za nanos i za konzervaciju sloja. U prvom redu dodaju se optički senzibilizatori (bojila). Oni se dodaju tek u toj posljednjoj fazi, da bi se moglo sve do tog vremena primjenjivati jednostavnija prigušena rasvjeta. Ti se senzibilizatori obično dodaju kao alkoholne otopine malene koncentracije. Osjetljivost na boje raste s količinom dodanog senzibilizatora, ali samo do neke optimalne količine. Prevelika količina senzibilizatora oboji cijelu emulziju, pa djeluje kao filter za svjetlo, te se osjetljivost fotografskog sloja smanjuje.

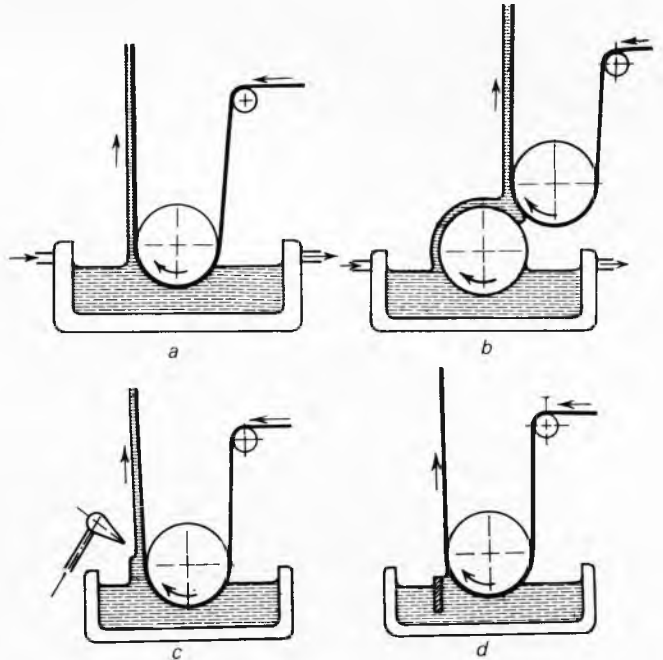
Dalje se emulziji dodaje koji antiseptik radi očuvanja od razaranja bakterijama, za koje je želatina vrlo pogodna podloga. Najčešće se kao antiseptici upotrebljavaju fenol, timol i metil-*p*-oksibenzoat. Fenol dodan u nešto većoj količini, nego što je to potrebno za dezinfekciju, djeluje kao dobro sredstvo za suzbijanje mreže (stabilizator). Još se nekim emulzijama dodaju otvrdivači koji povisuju talište želatinskog gela. Često se kao otvrdivač dodaje kromalaun ili neki organski otvrdivači od kojih su najpoznatiji akrolein ($\text{CH}_2 = \text{CHCHO}$) i gliksal (CHO-CHO).

Da bi se emulzija pri nanosu dobro i jednolično razlijevala po podlozi (papir, film, staklo), dodaju se sredstva za kvašenje. Najčešće primjenjivana sredstva su saponin ili etilni alkohol. Na sl. 80 shematski su prikazane faze proizvodnje od pripreme sirovina do gotovog fotografskog materijala.

Nanos emulzije na podlogu. Bilo da se radi o filmu, bilo o papiru kao podlozi za fotografski sloj, ta podloga mora već biti obrađena prije nanosa emulzije. Na filmskoj podlozi se s jedne strane nanese vrlo tanak vezivni sloj koji sadrži nešto otapala za podlogu, a sadrži i nešto želatine, te dobro veže emulzijski sloj. S druge strane podloge nanosen je pak tzv. NC-sloj (not curling), koji drži protutežu vezivnom sloju da ne dođe do uvijanja filma.

Papirna podloga premazuje se tzv. baritnim slojem. U vodenu otopinu želatine dodaje se mlijeko i barijum-sulfat. Ta se emulzija valjcima nanosi na papir i četkama se poprečno učtkava. Baritni sloj je ne samo vezivni sloj nego čini i gotovo savršeno bijelu površinu s koje se svjetlo difuzno reflektira. Papir nakon *baritiranja* u vjesovima putuje kroz dvoranu za sušenje (sl. 81).

Za kvalitetne fotografske materijale traži se da je nanos emulzije jednoličan i određene debljine. Debljinom emulzijskog sloja, te koncentracijom srebrno-halogenida bitno su određene značajke fotografskih materijala. Pri nanošenju emulzije na podlogu, važna je viskoznost emulzije, a ona opet ovisi o temperaturi i koncentraciji želatine.



Sl. 82. Načini nanošenja emulzije na gipku podlogu iz koritašca (mulde): a) jednostavnim uranjanjem, b) nabacivanjem pomoću valjaka, c) uranjanjem uz primjenu 'zračnog noža' (sapnice), d) uranjanjem uz primjenu branika (giess-lineal)

Dva su starija načina nanošenja na gipke podloge koji se, međutim, usavršeni i danas još primjenjuju: *uranjanje* (sl. 82 a) i *nabacivanje* (sl. 82 b). U oba se slučaja emulzija nalazi u termostatskoj posudi (koritašcu, muldi) u koju cjevčicom jednolično dotječe emulzija ugrijava na određenu temperaturu. U prvom slučaju podloga (film, papir) kao duga traka vođena valjkom uranja u emulziju, te ju pri izlazu iz nje povlači vanjskom stranom. U drugom slučaju se uronjenim valjkom emulzija zanosi i nabacuje na podlogu koja prolazi oko drugog valjka izvan emulzije. Oba načina imaju svoje prednosti ali i nedostatke. Nabacivanje se više primjenjivalo pri proizvodnji fotografskih papira, a uranjanje za filmove.

Debljina nanosa u znatnoj mjeri ovisi o brzini prolaza podloge i, naravno, o viskoznosti emulzije. Da bi se proces nanošenja ubrzao, a da se ne poveća debljina nanosa, neki uređaji za nanošenje emulzije imaju pomagala. Mehanički nož postavlja se paralelno s osi valjka u točno određenoj udaljenosti od podloge, tako da mehanički skida suvišnu emulziju. Tehnološki povoljniji je tzv. zračni nož ili zračna sapnica (sl. 82 c) kojom se tankim mlazom temperiranog zraka skida suvišna emulzija. Još se jedno pomagalo primjenjuje osobito za tanke nanose. To je branik koji se stavlja u emulziju u određenoj visini i udaljenosti od valjka (sl. 82 d). Taj je način dobro proučen i teoretski i praktički, te je njime omogućeno povećanje brzine nanosa sa 10–15 m/min na 20–22 m/min.

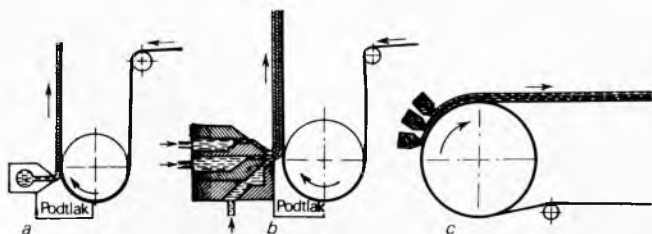
Sustav nanosa pomoću koritašca zadovoljava tehnološke zahtjeve proizvodnje uglavnom dvoslojnih fotografskih materijala (emulzijski i zaštitni sloj), jer su strojevi na tom principu konstruirani i pogodni za maksimalno dvoslojni nanos. Proizvodnja suvremenih fotografskih materijala, koji su mahom višeslojni, zahtijevala bi uz primjenu te tehnologije višestruko povećanje



Sl. 81. Baritirani papir u vjesovima prolazi dvoranom za sušenje

troškova jer bi podloga morala više puta prolaziti kroz stroj. Osim toga nanos tankih slojeva s visokim sadržajem srebra, a relativno niskim sadržajem polimera, zahtijeva veliku točnost debljine nanosa svakog pojedinog sloja, što je praktički nemoguće postići sustavom nanosa pomoću koritašća. Uza sva opisana i druga poboljšanja, taj sustav nanosa ima ograničenje i u pogledu maksimalne moguće brzine kretanja gipke podloge. Ta je brzina ograničena sposobnošću močenja podloge tekućim emulzijskim slojem. Naime, kod tzv. kritične brzine močenja dolazi do prekidanja kontakta između emulzije i podloge uvlačenjem zračnog sloja, a posljedica je nekvalitetan i neupotrebljiv nanos.

Moderni način nanošenja jest istiskivanje (ekstruzija). Bit toga načina je u tome što se emulzija cijevima pod tlakom dovodi do podloge te kroz plosnatu kapilaru po cijeloj širini podloge istiskuje na podlogu (sl. 83 a). U prostoru ispod višećeg meniskusa



Sl. 83. Načini nanošenja emulzije istiskivanjem kroz plošnu kapilaru. a Horizontalno istiskivanje na vertikalno prolazeću podlogu, b isto kao a za tro-slojni nanos, c uzastopno istiskivanje na podlogu pri prijelazu u horizontalni položaj

emulzije održava se podtlak, čime se znatno povećava kritična brzina močenja. Takvim načinom moguće je istodobno nanositi i više slojeva (sl. 83 b). Pritom se tekući slojevi ne miješaju jedan s drugim zbog velikog viskoziteta i kratkotrajnog zadržavanja svojstava tekućine, budući da se nanos naglo hladi, te emulzija prelazi u gel-stanje. Još je bolji način uveden nanošenjem na horizontalnu podlogu (sl. 83 c). Slojevi se uzastopno istiskuju na uzlaznom dijelu gornje polovice valjka. Takvim se sustavom može istodobno nanositi i po 5 i više slojeva različite debljine.

Nakon nanosa podloga s nanesenim slojevima prolazi prvo kroz tzv. hladnu zonu da slojevi dobro očvrstnu, a zatim u vje-sovima (sl. 81) dvoranom za sušenje kroz zone povišene temperature. Na kraju prolazi kroz zonu sobne temperature, gdje se ujedno fotografski materijal umjereno vlaži, jer bi inače emulzijski sloj pucao, te se na izlasku iz te zone namota u velik svitak.

Konfekcioniranje. Filmovi se na posebnim strojevima režu u trake širine 60, 35, 16 ili 8 mm, koje se opet režu na određenu



Sl. 84. Stroj za rezanje filma u trake. Trake se naizmjenice vode preko gornjeg, odnosno donjeg valjka i namataju na odvojene jezgre (kalemove)

dužinu. *Smotani film* (60 mm širine) reže se u trake dužine 80 cm i namata zajedno sa zaštitnom papirnom trakom na kalemove

koji pristaju u foto-aparat. Tzv. *uski film* (35 mm širine) se u posebnim strojevima uz oba ruba *perforira*, a zatim reže u trake dužine 1,6 m koje se opet namataju direktno na uske kalemove, a ti se stavljaju u zaštitne kutijice (tzv. *kazete*) koje opet pristaju u foto-aparate za uski film. Inače se filmovi za reprodukciju od 5 ili više metara dužine spremaju u limene kutije. Naljepnicama se označuju vrst filma i osjetljivost.

Fotografski papir se u stroju za rezanje odmotava s velikog smotka i reže u različite formate. Uz neaktivno svjetlo svaki se list pregleda, odbacuju se listovi s bilo kakvom pogreškom, a ispravni listovi se slažu i stavljaju po 100 kom. u kartonske kutije. Posebnim naljepnicama označava se vrsta papira po podlozi, boji i gradaciji. Veliki formati stavljaju se u papirne kesice i to obično po 20 komada.

Vrste fotografskih emulzija. Posebno se proizvode emulzije za različite vrste fotografskih materijala. Za negativske materijale proizvode se emulzije sa srebro-bromidom uz stanovit postotak srebro-jodida. Veličine kristalića su velikog raspona čime se postiže velik raspon ekspozicije. Prikladnom kemijskom senzibilizacijom i produljenim kemijskim dozrijevanjem postiže se velika osjetljivost. Za dobru spektralnu osjetljivost dodaju se moderni senzibilizatori (iz grupe merocijanina) i još k tome *super-senzibilizatori* kojima se postiže povećanje osjetljivosti i oštro ograničenje na dugovalnoj granici spektralnog područja osjetljivosti.

Za dijapozitivske materijale proizvode se čiste AgBr-emulzije, sitnog zrna, što se postiže naglom precipitacijom i kratkim fizikalnim dozrijevanjem. I kemijsko dozrijevanje je kratko ili se uopće izostavlja, već prema tome da li se želi postići jače ili slabije kontrastan materijal (*normal*, *kontrast*, *superkontrast*). Koncentracija AgBr je velika tako da se i uz tanak emulzijski sloj (oko 10 μ m) može postići velika gustoća zacrnjenja (do 4).

Za fotografske papire za povećavanje proizvode se ili čiste srebro-bromid-emulzije ili miješane sa srebro-bromidom i srebro-kloridom. One su vrlo sitnog zrna, znatno manje koncentracije srebro-halogenida, a i debljina emulzijskog sloja je malena (jer svjetlo pri motrenju slike dva puta prolazi kroz taj sloj). Prvo dozrijevanje je kratko, a drugo se eventualno izostavlja. Kod papira za kontaktno kopiranje primjenjuju se čiste srebro-klorid-emulzije. Vrlo su sitnog zrna, što se na takvim papirima razabira i po boji kad na svjetlu potamne. Fotolitički nastalo koloidno srebro je tako fino dispergirano da je sloj crvenkasto-ljubičast. Kod tih se emulzija obično izostavlja i pranje.

TEORIJA FOTOGRAFSKOG POSTUPKA

Činjenice o latentnoj slici. Izloži li se fotografski materijal dovoljno dugo jakom svjetlu, fotografski sloj će potamniti, odnosno promijeniti boju. To se isto događa ako se makrokristali srebro-halogenida izlože jakom djelovanju svjetla ili drugog kojeg zračenja (rendgenskog, korpuskularnog). Predmet nejednolične propustljivosti (npr. list biljke), odnosno negativska slika može se na taj način kopirati, npr. na fotografski papir koji ne treba razvijati, nego samo fiksirati. Produženim eksponiranjem nastaje, dakle, *direktno fotolitički vidljiva slika*. Za razliku od ove slike, slika dobivena kratkim eksponiranjem zove se *nevidljiva ili latentna slika*.

Kemijskim putem nije bilo moguće dokazati supstanciju latentne slike. Smatralo se da nastaju neki subhalogenidi, nazvani ftohalogenidi. Koch i Vogler (1925), a kasnije Tribatt (1936) dokazali su Debye-Scherrerovim rendgenogramima, da osvijetljeni srebro-halogenidi pokazuju i linije što odgovaraju rešetki srebra, dok neosvijetljeni ne pokazuju tih linija.

Hall i Schoen (1941) direktno su elektronskim mikroskopom dokazali fotolitički nastalo srebro u fotografskim emulzijama. Po kontinuitetu razvoja latentne slike do vidljive slike utvrđeno je, da latentnu sliku čini elementarno srebro u koloidnom stanju. Otapalima srebra (kromna kiselina) može se latentna slika oslabiti ili gotovo ukloniti.

Elektronskim mikroskopom je dalje dokazano, da se zrna Ag-halogenida ne razvijaju jednolično po cijeloj površini nego uvijek na odvojenim mjestima na površini zrna (sl. 85). Takva mjesta na zrnu nazvana su centri razvijanja. Takvih centara može

biti više na površini zrna, a dovoljno je da bude samo jedna, pa da se produljenim razvijanjem razvije cijelo zrno. Centre razvijanja čine nakupine atoma srebra, no da takva skupina postane centar razvijanja, mora sadržavati određeni minimalni broj atoma. Ti centri razvijanja čine baš latentnu sliku. Nakupine s manjim brojem atoma ne djeluju kao aktivni centri razvijanja, već oni tvore tzv. sublatentnu sliku. Ima načina da se od sublatentne slike stvori latentna slika. Proces prevođenja sublatentne slike u latentnu naziva se latenzifikacija. Jedan od načina je naknadno difuzno osvijetljavanje već eksponiranog materijala aktivnim svjetlom malog intenziteta.



Sl. 85. Centri razvijanja: (snimka elektronskim mikroskopom) konture zrna se razabiru po repliki ugljikom, dok je srebro-bromid fiksiranom otopinom uklonjen

Klice osjetljivosti. Postupnim praćenjem nastajanja centara razvijanja spoznalo se da oni nastaju na diskretnim mjestima zrna, na kojima se već nalaze neke tvorevine, koje su onda nazvane klice osjetljivosti. Djelovanjem kromne kiseline na još neo-svijetljeni fotografski sloj smanji se u nekoj mjeri, ali ne poništi potpuno osjetljivost tog materijala s obzirom na dalje osvijetljavanje. Ako se materijal osvijetli, zatim podvrgne djelovanju kromne kiseline, ispere, pa onda razvije, osjetljivost je smanjena u mnogo većoj mjeri, nego u prvom slučaju (Sheppard, Mees, Clark). Kromna kiselina uništava latentnu sliku, ali ne uništava sve klice osjetljivosti. Dakle, supstancija latentne slike je barem djelomično različita od supstancije klica osjetljivosti. Dokazano je da klice osjetljivosti čine neke strane supstancije (onečišćenja), koje se u vrlo maloj količini nalaze adsorbirane ili kompleksno vezane na površini ili u unutrašnjosti zrna srebro-halogenida. Pokazalo se dalje da su ta onečišćenja u prvom redu srebro-sulfidi (Ag_2S), ili pak nakupine atoma teških metala srebra, zlata i drugih. Te se supstancije u stanovitoj mjeri već nalaze u želatini, te čine bitnu razliku između tzv. aktivnih i inernih želatina. U modernom tehnološkom procesu priređivanja visoko osjetljivih emulzija dodaju se zato posebni tzv. kemijski senzibilizatori, koji daju klice osjetljivosti i na taj način povećavaju osjetljivost. Sigurno je dokazano da se primarni efekt apsorpcije svjetla ne zbiva u klicama osjetljivosti nego u srebro-halogenidu.

Eksterna i interna latentna slika. Prilikom istraživanja o rasporedu latentne slike na zrnima srebro-halogenida ustanovljeno je, da latentna slika nastaje i na površini, i u unutrašnjosti zrna. Obje se te slike mogu i razdvojiti. Vanjska latentna slika dobije se tako, da se razvije razvijanjem koji ne sadrži otapala za srebro-bromid (npr. glicinski razvijatelj bez sulfita). Da se pak razvije samo unutarnja latentna slika, treba pogodnim oksidansom (npr. kromnom kiselinom malene koncentracije ili blagom otopinom kalijum-bikromata u prisustvu sumporne kiseline) razoriti vanjsku latentnu sliku, pa onda razvijati uz otapanje halogenida. Naravno, potrebno je podesiti koncentraciju oksidansa i trajanje djelovanja tako, da se zbilja ukloni samo vanjska (površinska) slika. Interna latentna slika nastaje naročito uz velik in-

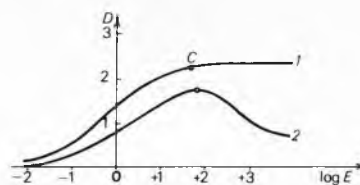
tenzitet osvijetljavanja, dok uz slab intenzitet nastaje uglavnom površinska slika.

Efekti osvijetljavanja. Neki od tih efekata otkriveni su sasvim slučajno, dok su drugi otkriveni u nastojanju da se ispita valjanost neke od teorija nastanka latentne slike.

Temperaturni efekt. Ako se nesenzibilizirani fotografski materijal visoke osjetljivosti osvijetli uz temperaturu tekućeg zraka (-186°C), pa onda zagrije do 20°C i razvije, smanji se osjetljivost na svega 7 % od osjetljivosti pri osvijetljavanju uz 20°C . Taj se temperaturni efekt još jače očituje pri osvijetljavanju uz temperaturu tekućeg vodika kad se osjetljivost smanji čak na 4%. Pad osjetljivosti znatno ovisi o veličini zrna.

Ako se osvijetljavanje uz niske temperature izvede u više mahova, a između dva osvijetljavanja fotografski materijal zagrije do sobne temperature, smanjenje osjetljivosti je znatno manje. Iz toga slijedi da temperatura fotografskog sloja pri osvijetljavanju i neposredno poslije toga znatno utječe na proces koji se zbiva u fotografskom sloju nakon apsorpcije svjetla u kristaliću srebro-halogenida (fotovodljivost).

Solarizacija. Krivulja zacrnjenja pokazuje kako povećanjem ekspozicije raste gustoća zacrnjenja. Jasno je da zacrnjenje ne može rasti u beskonačnost, nego samo do nekog maksimuma, koji odgovara ukupnoj količini srebra koje može biti reducirano. Počevši od neke određene ekspozicije, krivulja zacrnjenja bi trebala preći u pravac paralelan s apscisnom osi. Takvo stanje i nastaje, ali samo uz dovoljno dugo razvijanje. Uz normalno trajanje razvijanja, a za velike vrijednosti ekspozicije događa se, međutim, pojava regresije, tj. opadanje gustoće zacrnjenja (sl. 86), te se uz takve pretjerane ekspozicije može dobiti i obrat slike. Na snimkama, na kojima se uz ostale objekte nalazi i neki intenzivni izvor svjetla, nastaje na taj način u negativu svjetlina za izvor svjetla. Ta se pojava zove solarizacija, vjerojatno zato, jer se prvo opažala na snimkama sa Suncem na njima. Danas se solarizacijom zove pojava obrata (smanjenje gustoće zacrnjenja) uz pretjeranu ekspoziciju aktinичnim svjetlom.



Sl. 86. Solarizacija. Krivulje zacrnjenja uz vrlo veliku ekspoziciju: 1 uz vrlo dugo razvijanje nastalo maksimalno zacrnjenje počevši od točke crnine C; 2 uz normalno trajanje razvijanja od neke određene ekspozicije gustoća zacrnjenja opada

Solarizacija se kod različitih emulzija pojavljuje u različitim stupnjevima. Postoje posebne emulzije s izrazitom sklonosti solarizacije. Takve se emulzije mogu već prethodno osvijetliti do granice solarizacije, pa se daljim osvijetljavanjem dobiva izravno pozitivna slika. Solarizacija se može razjasniti razlikovanjem interne i eksterne latentne slike. Uz optičko osvijetljavanje prvo se stvara površinska latentna slika, pa onda unutarnja. Pri stvaranju interne slike u unutrašnjosti zrna nastaje brom, koji izbije na površinu zrna i spaja se sa srebrom, koji stvara površinsku latentnu sliku. Na taj način oslabi površinska slika i dolazi do pojave solarizacije.

Herschelov efekt. Osvijetli li se modrim svjetlom neki fotografski materijal koji nije senzibiliziran za crveno svjetlo ili je uopće nesenzibiliziran, pa naknadno (prije razvijanja) osvijetlimo crvenim svjetlom, fotografski učinak (gustoća zacrnjenja) će se smanjiti, prema onom bez naknadnog osvijetljavanja s crvenim svjetlom. To znači: prvotna latentna slika biva djelomično razorena (uništena) naknadnim osvijetljavanjem. Herschel je tu pojavu slučajno otkrio (1839) snimajući spektar na klorosrebrnom papiru. Papir je prilikom snimanja po svojoj površini bio izložen osvijetljavanju slabim difuznim svjetlom, zato je cijeli papir pokazivao mrenu, a na mjestu osvijetljavanja spektrom pojačano zacrnjenje, samo u području crvenog dijela spektra papir je bio

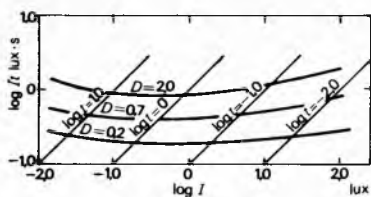
potpuno bijel, tj. bila je uklonjena i ona mrena. Taj se efekt dobiva i na drugim fotografskim materijalima.

Spektralno područje svjetla za naknadno osvjetljavanje je za srebro-klorid-emulzije 650...750 nm, a za čiste srebro-bromid-emulzije 650...1100 nm.

Effekt odstupanja od zakona recipročnosti. Za fotokemijske reakcije vrijedi zakon recipročnosti (Bunsen-Roscoe, 1876) po kojem je produkt fotokemijske reakcije zavisao samo od ukupne količine primijenjenog svjetla (ekspozicije $E = I \cdot t$), a nije posebno zavisao od intenziteta osvjetljenja I i trajanja osvjetljenja t , tj. I i t mogu se recipročno kompenzirati. Kolikostruko se poveća I , tolikostruko se može smanjiti t i obratno.

Pokazalo se, međutim, da za osvjetljavanje fotografskih slojeva, a u odnosu na fotografski učinak (zacrtnjenje), taj zakon vrijedi samo za određeno područje umjerenih vrijednosti intenziteta, dok se za vrlo velike i vrlo male intenzitete fotografski učinak smanjuje s obzirom na istu ekspoziciju E (isti produkt $I \cdot t$), tj. nastaje efekt odstupanja od zakona recipročnosti.

Prvi je na pojavu odstupanja od zakona recipročnosti upozorio astronom Scheiner (1889), a otkrio ju je služeći se fotografijom za mjerenja svjetlosne jakosti zvijezda. U tom su, naime, slučaju intenziteti osvjetljavanja vrlo maleni, a trajanja osvjetljavanja vrlo duga (po više sati). Od tada pa sve do u najnovije vrijeme bavili su se mnogi istraživači tom pojavom da bi se razjasnila. Pokazalo se da je fotografski učinak optimalan za intenzitete od $\sim 0,01 \dots 1,0$ luksa, kako se razabira iz sl. 87 na kojoj su prikazane krivulje za jednaku gustoću zacrnjenja u koordinatnom sustavu $\log I$, $\log(I \cdot t)$. Prema zakonu recipročnosti, umjesto krivulja trebali bi biti pravci paralelni s osi apscisa.



Sl. 87. Krivulje koje prikazuju odstupanje od zakona recipročnosti; da se postigne ista gustoća zacrnjenja uz vrlo male i vrlo velike intenzitete osvjetljavanja potrebna je veća ekspozicija ($E = I \cdot t$) nego uz umjerene intenzitete ($0,1 < I < 10$ luksa)

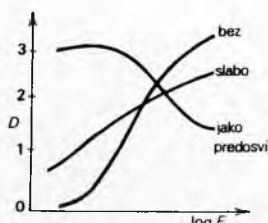
Istraživanje pojave odstupanja od zakona recipročnosti važno je s jedne strane radi teoretskog značenja s obzirom na teoriju latentne slike, a s druge strane od velike je praktičke važnosti s obzirom na osvjetljavanje bljeskalicama i ultrabrzu kinematografiju (vrlo velik intenzitet uz vrlo kratko trajanje), te spektrografiju i astronomiju (vrlo malen intenzitet uz vrlo duga trajanja).

Effekt intermitencije. Kao vrlo praktičan modulator osvjetljavanja smatrao se od vremena Hurtera i Driffelda sektorski kotač. Takav modulator, naime, ne mijenja spektralni sastav svjetla. Inače se sektorski kotač upotrebljavao pri fotometarskim radovima za mijenjanje intenziteta svjetla. Primjena sektorskog kotača kao modulatora pri osvjetljavanju senzimetrijskih uzoraka dovela je do otkrića posebnog efekta nazvanog efekt intermitencije (isprekidanosti). On se sastoji u ovom: osvjetljava li se neki fotografski materijal svjetlom jednakog intenziteta i jednake ukupne energije (sume svjetla) jednom kontinuirano, drugi puta isprekidanom, to su postignuta zacrnjenja manja za isprekidanom osvjetljavanjem. Taj su efekt ispitivali brojni istraživači sve do najnovijeg doba. Pokazalo se, da je uz malu frekvenciju prekida efekt vrlo malen ili ga uopće nema, tj. učinci se nesmetano sumiraju. Isto tako se pokazalo, da je uz vrlo veliku frekvenciju prekida učinak jednak kao i uz kontinuirano osvjetljavanje za isto cjelokupno trajanje, ali uz intenzitet jednak prosječnom intenzitetu isprekidanog osvjetljavanja. Produbljeni studij je pokazao, da je efekt intermitencija usko vezan s efektom odstupanja od zakona recipročnosti. Za područje optimalnog osvjetljavanja iščezava efekt intermitencije.

Claydenov efekt. Ako se neki fotografski materijal osvijetli vrlo kratko (npr. $t = 0,001$ s) uz vrlo velik intenzitet, a zatim

uz umjereni intenzitet svjetla, to se fotografski učinci neće jednostavno zbrajati. Gustoća zacrnjenja uz kombinirano osvjetljavanje bit će svakako manja od one što odgovara ukupnoj energiji osvjetljavanja, tj. manja je od sume učinaka što bi ga dalo svako osvjetljenje zasebno. Defekt nastaje za osvjetljavanje uz umjereni intenzitet, te će mjesta predosvijetljena kratko uz veliki intenzitet, a dovoljno uz umjereni intenzitet, postići manju gustoću nego mjesta bez prethodnog osvjetljenja. Na taj način može nastati obrat slike. Taj je efekt otkrio Clayden (1899) prilikom snimanja munja, pa se po njemu i naziva. Na snimak munje slijedilo je snimanje ostalih objekata, dakle, osvjetljavanje uz umjereni intenzitet svjetla. Na inače normalnim negativima dobio je pruge munje slabijeg zacrnjenja nego ostale objekte. Na pozitivu su se munje dobile kao crne pruge pa se katkada taj efekt i naziva *efekt crnih pruga* ili *efekt munje*. Taj je efekt detaljnije istražio Wood (1903) i prvi pokazao da ga se može izazvati i drugim kombinacijama, npr. rendgenskim zračenjem pa tada optičkim zračenjem umjerenog intenziteta. On je ustanovio, da je bitan preduvjet da predosvijetljenje bude velikog intenziteta i trajanja svakako kraćeg od 0,001 s. Izraziti efekt nastaje uz trajanje predosvijetljenja 0,0001 s, i manje. Nije bitno da kombinirano osvjetljenje daje manje zacrnjenja od jednostavnog osvjetljenja umjerenim intenzitetom, nego samo da daje zacrnjenje manje od onoga što bi odgovaralo ukupnoj energiji zračenja. Ne mora, dakle, nužno nastati obrat slike nego može doći samo do smanjenja kontrasta.

Može se reći, da vrlo kratko intenzivno predosvijetljenje desenzibilizira emulziju za umjereno osvjetljenje. Na predosvijetljenim uzorcima fotografskog sloja gustoća zacrnjenja raste s ekspozicijom sporije (ili nikako) u odnosu na uzorak koji nije bio predosvijetljen, kako je to prikazano krivuljama zacrnjenja na sl. 88.



Sl. 88. Claydenov efekt (efekt munje): krivulje zacrnjenja za slučajeve kad je senzimetrijski uzorak bio normalno osvjetljiv bez predosvijetljenja, uz slabo predosvijetljenje i uz jako predosvijetljenje, kada nastaje obrat slike

Effekti razvijanja. Od tih efekata neki se odnose samo na razvijanje, drugi na određene kombinacije osvjetljavanja, razvijanja i obrade nekim kemikalijama. Slijedeća dva opisana efekta od veće su važnosti s obzirom na teorije latentne slike i teorije razvijanja.

Sabbattierov efekt. Ako se normalna fotografska snimka do stanovitih mjera razvije, zatim prekine razvijanje, eventualno ispere, pa ponovno difuzno osvijetli aktiničnim svjetlom, dobije se pozitivna slika, tj. nastaje obrat slike. Taj je efekt otkrio Sabbattier (1850), pa se po njemu i zove. Brojni pokusi u vezi Sabbattierovog efekta su pokazali: 1 da obrat nastaje i onda, kad se fotografski materijal naknadno osvijetli sa stražnje strane, iako u nešto manjoj mjeri, nego li pri osvjetljavanju s prednje strane; 2 da oksidacijski produkti razvijanja nemaju bitno značenje, jer se obrat dobije i uz prvo razvijanje s vodik-superoksidom (H_2O_2) ili hidrazinom ($H_2N \cdot NH_2$), koji kao oksidacijske produkte daju samo vodu i dušik; 3 jači je efekt, kad se prije drugog osvjetljavanja ne ispire ploča; 4 efekt se može izazvati i kemijski bez naknadnog osvjetljavanja, tako da se fotografski sloj kupa nakon razvijanja u otopini natrijum-arsenita, ili pak da se sloj podvrgne postepenom zagrijavanju do $100^\circ C$.

Albertov efekt. God. 1899 našao je Albert slijedeći po njemu nazvani efekt: ako se na kolodijum-ploči snimak obilno ekspozira, zatim podvrgne djelovanju dušične kiseline, opere i ponovno osvijetli difuznim svjetlom, pa se onda razvije, dobije se pozitivna slika. Lüppo-Cramer, poznati istraživač na polju fotografije, pokazao je 1909 da se isti efekt dobiva i sa želatinskim srebro-bromid-emulzijama ako ih se podvrgne djelovanju kromne kiseline ili amonijum-persulfata ($NH_4)_2S_2O_8$.

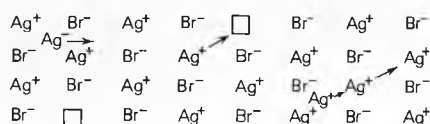
Clark je nezavisno od Albertova efekta istraživao utjecaj kromne kiseline kao desenzibilizatora. Našao je da osjetljivost opada s trajanjem djelovanja kromne kiseline, i to za neosvijetljene kao i prethodno osvijetljene ploče, samo za prethodno osvijetljene ploče je pad osjetljivosti veći nego za neosvijetljene. Utjecaj

predosvjetljenja je to manji, što je materijal manje osjetljivosti, ali utjecaj djelovanja kromne kiseline je izrazit u svakom slučaju.

Optička senzibilizacija. Među fotografske efekte može se ubrojiti i optička senzibilizacija. Prvotna nesenzibilizirana emulzija osjetljiva je samo u području tzv. vlastite osjetljivosti (dio plavog područja, ljubičasto područje i dio ultraljubičastog). Dodatkom nekih bojila postaje emulzija osjetljiva i za ona područja spektra koja ta bojila apsorbiraju. Mnogobrojna istraživanja na tom području su pokazala da su za optičku senzibilizaciju bitne sljedeće karakteristike bojila: jaka apsorpcija u vidljivom ili bliskom infracrvenom području spektra (bojila), dobra apsorpcija na zrnima srebro-halogenida, sposobnost prenošenja apsorbirane svjetlosne energije na elektronski sustav unutar kristala srebro-halogenida, tendencija k dimerizaciji, odnosno polimerizaciji, planarna struktura, te svojstvo da svaka molekula bojila može više puta (nekoliko stotina puta) prenijeti apsorbiranu energiju, a da se sama ne promijeni.

Teorija latentne slike. Navedene činjenice o latentnoj slici, kao i navedene efekte, te još niz navedenih pojava trebalo je teoretski protumačiti. Bio je to detektivski posao. Sudjelovao je velik broj istaknutih istraživača na polju znanstvene fotografije. Nizale su se teorije, a te su opet izazvale nova eksperimentalna istraživanja. Ne ulazeći u te mnoge pokušaje teoretskog tumačenja postanka latentne slike, neka bude samo prikazana teorija po Gurneyu i Mottu, koja se danas smatra da pruža mogućnost tumačenja svih dosada poznatih pojava u vezi postanka latentne slike.

Prema toj teoriji latentna slika nastaje u dvije etape i uz dva različita mehanizma: *brzi elektronički* (oslobađanje elektrona i njihovo hvatanje u »klopke«) i *sporiji ionski* proces (privlačenje i neutraliziranje srebrnih iona). Uzima se da je rešetka kristalića srebro-halogenida ponešto poremećena. Poremećaji nastaju već pri kristalizaciji a nešto kasnije uslijed termičkog gibanja molekula. Pretpostavlja se dalje da se uvijek izvan rešetke u međuprostoru nalazi stanovit broj srebrnih iona, kao i praznih mjesta — šupljina u rešetki, kako je shematski prikazano na sl. 89. Na

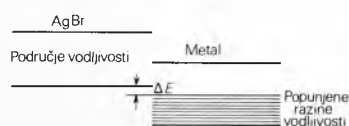


Sl. 89. Shematski prikaz poremećenosti u kristalu srebro-bromida. Na nekim mjestima se Ag^+ -ioni nalaze izvan pravilne rešetke, na drugim se pak mjestima nalaze prazna mjesta (šupljine) gdje bi se trebali nalaziti Ag^+ -ioni

površini zrna a i u unutrašnjosti nalazi se po koji atom srebra ili drugog kojeg teškog metala, te nakupine molekula Ag_2S nastale prisustvom labilnog sumpora u želatini. Prilikom osvjetljavanja kristalića srebro-bromida nastaje kao primarni proces odvajanje elektrona od bromovog iona, što se može prikazati relacijom



Takav se elektron može slobodno pokretati po rešetki kristala, jer je prema kvantnoj teoriji podignut u energetska razinu vodljivosti. Kristal srebro-halogenida postaje vodljiv (fotovodljivost). Kako je pak i najviša energetska razina vodljivosti srebra nešto niža od energetske razine srebro-bromida, kako je to shematski prikazano na slici 90, to će elektron u blizini atoma srebra



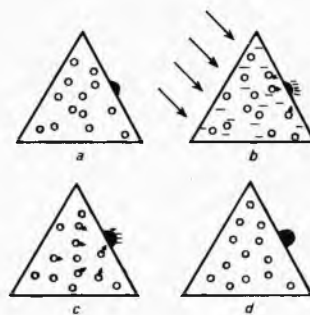
Sl. 90. Shematski prikaz energetskih razina vodljivosti za srebro-bromid i srebro

preći u njegovu razinu vodljivosti i pritom odati nešto od svoje energije. No, sa smanjenom energijom elektron se više ne može

vratiti u razinu vodljivosti srebro-bromida nego ostaje vezan na srebro. Tako atomi srebra bilo sami, bilo zajedno sa srebro-sulfidom djeluju kao klopke za lutajuće elektrone. Oni postaju na taj način negativno nabiti i djeluju kao klice osjetljivosti.

Nakon toga nastupa druga etapa. Negativno nabijene klice osjetljivosti privlače Ag^+ -ione koji se nalaze izvan rešetke, oni migriraju prema klicama osjetljivosti, tamo primaju elektron i

kao neutralni atomi priključuju se već postojećim atomima srebra. Klica osjetljivosti postupno raste u veću nakupinu atoma srebra koja postaje centar razvijanja, a centri razvijanja čine latentnu sliku. Shematski je postanak latentne slike prikazan na sl. 91. Prema tome je razumljivo da će na obje etape postanka latentne slike znatno utjecati temperatura fotografskog sloja. I odstupanja od zakona recipročnosti mogu se jednostavno protumačiti. Uz vrlo velik intenzitet oslobađa se istodobno velik broj elektrona, pa kako nema dovoljan broj klopki, mnogi se elektroni nanovo vežu s atomima broma koji se kao ioni opet ugrađuju u

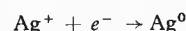
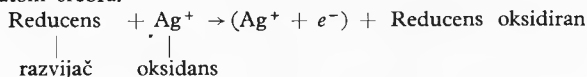


Sl. 91. Shematski prikaz nastajanja latentne slike po teoriji Gurney-Motta. Trokuti predstavljaju zрно srebro-bromida, kružići ione srebra, minus-znakovi elektrone, a ispunjena mrlja na zrnu klicu osjetljivosti (Ag_2S); a Neosvijetljeno zрно, b zрно za trajanja osvjetljavanja, c zрно kratko nakon osvjetljavanja, d zрно s centrom razvijanja

rešetku srebro-bromida. I ostale pojave i efekti dadu se ovom teorijom jednostavno protumačiti.

Činjenice o razvijanju. Teorija razvijanja treba uzeti u obzir i protumačiti niz činjenica koje su zapažene u vezi fotografskog razvijanja, i od kojih se neke dalje navode.

Razvijanje kao proces redukcije i oksidacije. Prilikom razvijanja fotografske slike neki reducens oksidira, a ion srebra se reducira u atom srebra.



Ag^+ -ion se reducira primitkom elektrona.

Normalni redoks-potencijal Ag^+ -iona jest $E_0 = +0,86 \text{ V}$.

Redoks-potencijal s obzirom na neku otopinu određene koncentracije Ag^+ je dat izrazom

$$E_{\text{Ag}} = E_0 + \frac{RT}{F} \cdot \log [\text{Ag}^+], \quad F = 96490 \text{ kulona}$$

$R = \text{plinska konstanta}$

odnosno

$$E_{\text{Ag}} = 0,86 + 0,06 \log \text{Ag}^+.$$

Prisustvom Br^- -iona opada E_{Ag} , tako da uz 18°C najviše iznosi $E_{19} = 0,202 \text{ volta}$. Kako su istraživanja pokazala, nije dovoljno da neka supstancija ima niži potencijal od potencijala srebra, pa da može poslužiti kao razvijač, nego je potrebno da razlika potencijala prekorači neku najmanju vrijednost. Ta razlika može biti manja za velike vrijednosti ekspozicije ($0,070 \text{ V}$), dok je za male vrijednosti ekspozicije potrebna veća razlika potencijala ($0,100 \text{ V}$). Uzme li se kao prosječna razlika potencijala $0,080 \text{ V}$ potrebna da nastupi razvijanje, tada potencijal razvijača smije maksimalno iznositi $0,120 \text{ V}$.

$$0,080 \text{ V} = 0,202 - E_{\text{red}}$$

$$E_{\text{Ag}} > E_{\text{razvijača}}$$

$$E_{\text{razvijača}} \leq 0,120 \text{ V}.$$

Što je veći redoks-potencijal razvijača, to je sposobnost razvijanja manja. No, sposobnost razvijanja nekog razvijača ne ovisi samo o njegovoj sposobnosti redukcije, nego i o potencijalu oksidacije halogenida. Tako se lakše reducira AgCl nego AgBr , dok se AgI vrlo teško reducira. Što neka emulzija sadrži veći postotak AgI , to energičniji mora biti razvijač za njezino razvijanje. Sposobnost razvijanja nekog razvijača zavisi i od veličine zrna Ag -

-halogenida. Što su zrna manja to veći smije biti redoks-potencijal razvijaa, tj. slabiji razvijaa.

Selektivnost razvijanja: *a* Precipitat AgBr u vodenoj otopini fotografskim razvijaa reducira se neselektivno, tj. i bez osvjetljavanja. *b* Precipitat AgBr u želatinskoj otopini, ali uz suvišak AgNO₃ također se reducira neselektivno. Tako priređena emulzija sva se razvije u mrenu. *c* Precipitat AgBr u želatinskoj otopini uz suvišak KBr (odnosno Br⁻) reducira se selektivno, tj. reducira se samo zrna sa centrom razvijanja (latentnom slikom). *d* Fotografski slojevi izvrnuti djelovanju razvijaa dulje vremena, konačno se razvijaju neselektivno, tj. i neosvijetljeni. Dakle je problem selektivnog razvijanja problem kinetike. Centri razvijanja pospješuju redukciju Ag-iona koja bi i inače nastupila. Prekidanjem razvijanja u pogodnom času budu razvijena samo zrna koja su bila osvjetljena, tj. na kojima su se nalazili centri razvijanja. Selektivnost u razvijanju je dakle posljedica različite brzine razvijanja osvjetljenih i neosvijetljenih zrna.

Period indukcije (period inaktivnosti). Pojavljivanje vidljive slike ne nastupa odmah pri uronjavanju fotografskog sloja u otopinu razvijaa, nego nastupa tek nakon izvjesnog vremena (od nekoliko sekundi do nekoliko minuta). Vrijeme od časa uronjavanja fotografskog sloja u razvijaa do časa pojavljivanja slike zove se period indukcije. Istraživanja su pokazala da zakašnjenje pojavljivanja slike nastaje zbog negativne potencijalne barijere što nastaje na površini Ag-halogenida, zbog adsorbiranih iona halogenida i želatine, koja uz pH-vrijednosti veće od izoelektrične vrijednosti daje negativne ione.

Neka bojila kao i oksidacijski produkti razvijanja (npr. kinon) dodani razvijaa makar i u sasvim malenim količinama (nekoliko mg/l), znatno smanjuju period indukcije, vjerojatno što oksidacijski produkti pospješuju razvijanje, dok isto takav razvijaa sa sulfatom ima znatno dulji period indukcije.

Metol u jakoj alkalnoj otopini reducira smjesta, tako da se ne može ni odrediti period indukcije.

Pojava pospješivanja razvijanja oksidacijskim produktima razvijaačke supstancije nije općenito. Kod nekih supstancija nema pospješivanja, a kod nekih čak nastupa zakašnjenje (derivati p-fenilendiamina).

James (jedan od glavnih istraživača na području razvijanja) istraživao je ulogu što ga ima naboj na zrnu halogenida s obzirom na razvijanje, i to baš određivanjem perioda indukcije. Po relativnom trajanju perioda indukcije mogao je svrstati razvijaačke supstancije u 4 grupe prema naboju iona reducensa.

Naboj (valencija) 0: derivati p-fenilendiamina

Naboj (valencija) 1: metol, p-aminofenol, dimetil-p-aminofenol pirokatehin

Naboj (valencija) 2: hidrokinon, glicin, ferooksalat

Naboj (valencija) 3: natrijev monosulfat hidrokinon

Kalijum-bromid dodan razvijaač malenog naboja nema veliki utjecaj, dok razvijaač malenog naboja 2 ili 3 znatno povećava period indukcije i trajanje razvijanja uopće.

Struktura razvijenog zrna. Kinematografskim snimanjem razvijanja pojedinih zrna srebro-bromida pod mikroskopom i uz

primjenu razrijeđenog razvijaa bilo je moguće pratiti proces razvijanja. U novije vrijeme taj se proces mogao još detaljnije pratiti elektronskim mikroskopom. Ustanovljeno je da razvijanje započinje na izoliranim mjestima (centri razvijanja). Uz fizikalno razvijanje reducira srebro čini spužvaste nakupine fino dispergirano koloidnog srebra. Uz energično kemijsko razvijanje brzim razvijaačem reducira srebro čini klupko niti (sl. 92 a) dok uz razvijanje sporim razvijaačem razvijeno zrno približno zadržava prvotni oblik kristalića (sl. 92 b). Vrlo sitna zrna Lippmannovih emulzija razvijena daju pojedinačne kratke niti. Proces redukcije zbiva se barem u prvom stadiju, na graničnoj plohi između srebra i srebro-halogenida i napreduje počevši od centra razvijanja prema unutrašnjosti zrna, dok se zrno ne reducira, te u kasnijem stadiju razvijanja eventualno nastupa i fizikalno razvijanje redukcijom Ag⁺-iona nastalih otapanjem Ag-halogenida u razvijaačkoj otopini.

Teorije razvijanja. Problem razvijanja sastoji se u tom da se protumači: selektivnost razvijanja, struktura razvijenog srebra, različiti utjecaji s obzirom na razvijanje i odstranjivanje halogenida.

Postoje više teorija o procesu razvijanja, od kojih ni jedna u cijelosti ne razjašnjava sve pojave. Prilikom razrade različitih teorija sakupljeno je mnogo činjenica i postavljeno više hipoteza. Kao dva glavna smjera tumačenja procesa razvijanja može se uzeti teorija heterogene katalize i teorija elektrolize.

Polazište katalitičke teorije jest pretpostavka da je razvijaač adsorbiran na površini kristala srebro-halogenida. Neki istraživači uzimaju da se pri tom tvore kompleksi. Na mjestima latentne slike ti kompleksi se raspadnu zbog prisutstva fotolitički nastalog srebra i oksidacijskih produkata razvijaač, te nastupa redukcija Ag⁺-iona, dok Br⁻-ion prelazi u otopinu. Latentna slika služi kao katalizator pri redukciji. Ostali atomi srebra priključuju se na centar razvijanja, te on raste prema unutrašnjosti zrna. Kako se povećava površina srebra, tako se sve više pospješuje redukcija. Uzima se da s unutarnje strane centra razvijanja Ag⁺-ioni bivaju adsorbirani. Neovisno provedeni pokusi su pokazali, da adsorpcija Ag⁺-iona na neoksidiranoj površini srebra počinje već pri koncentraciji od 10⁻¹³.

Elektrolitička teorija razvijanja je zapravo nastavak teorije latentne slike po Gurneyu i Motu. Prema toj teoriji postoji razlika potencijala s vanjske i s unutarnje strane zrna halogenida, dakle, postoji neka potencijalna barijera, koju u normalnom slučaju elektroni ne mogu preći. Latentna slika prekida barijeru i predstavlja kao neku elektrodu, koja povezuje otopinu s unutrašnjosti zrna halogenida. Ioni razvijaač predaju negativan naboj srebru, koje se nabije negativno pa privlači iz unutrašnjosti zrna Ag⁺-iona, koji se na površini srebra reducira u Ag-atome i uklope u kristalnu rešetku srebra. Kako je Ag-atom znatno većeg volumena nego Ag⁺-ion, to se već nastalo srebro potiskuje prema vani, gdje onda tvori niti. Što je razvijaač energičniji, to dalje se izbacuju niti i to krupnije je razvijeno zrno.

Elektrolitička teorija daje jasnu sliku mehanizma redukcije, ali ne može tumačiti kinetiku razvijanja. Naprotiv, katalitička teorija može razjasniti mnoge pojave kinetike razvijanja, samo ostaje slabo razjašnjen mehanizam heterogene katalize.



Sl. 92. Razvijeno zrno u energičnom (brzom) razvijaaču (lijevo) i u sporom razvijaaču sa slabim alkalijama (desno)

POSEBNI FOTOGRAFSKI POSTUPCI

Osim opisanog fotografskog postupka sa srebro-halogenidima na koji se uglavnom misli kao na fotografiju u užem smislu, postoje i posebni fotografski postupci, neki također sa srebro-halogenidima, a neki bez njih. To su difuzijski preobratni postupak, postupci s diazo-spojevima te elektrofotografski i termografski postupci.

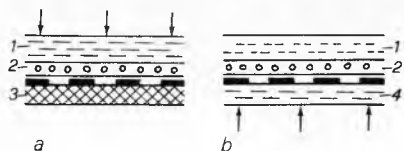
Takvim se postupcima doskora nije pridavala neka veća pažnja zbog njihove slabe osjetljivosti na svjetlo. Međutim, i u počecima fotografije osjetljivost je srebro-halogenida bila malena, dok je danas povećana i do 200 000 puta.

Velika je vjerojatnost da se u skoroj budućnosti osjetljivost ovih posebnih procesa izjednači s osjetljivošću slojeva srebro-halogenida. Međutim, to i nije osobito potrebno zbog njihovih posebnih primjena, npr. pri dokumentacijskoj tehnici, gdje se zahtijevaju brzi i jednostavni postupci, a raspolaže se s dovoljno svjetla. Važno je istaknuti da su osobito u reprodukcijskoj tehnici ovi posebni postupci gotovo potpuno istisnuli fotografske materijale sa srebro-halogenidima.

Difuzijski preobratni postupak. Ovim se postupkom dobiva pozitivna slika istodobno s negativskom. Pri tom se primjenjuje negativski i pozitivni papir i kemijsko razvijanje (mokri postupak). Na negativskom papiru nalazi se vrlo tanak emulzijski sloj (želatina i srebro-halogenid u velikoj koncentraciji). Na pozitivnom papiru nalazi se također tanak sloj želatine (bez srebro-halogenida) i sadrži natrijum-tiosulfat i neku kemikaliju (nukleacijski agens), koja iz kompleksa srebro-tiosulfata izdvaja srebro u koloidnom stanju.

Postoje negativski papiri različite osjetljivosti, i zbog toga se mora pri rukovanju s njima prilagoditi ekspozicija i dovoljno prigušiti rasvjeta. Pozitivski papir, naprotiv, nije uopće osjetljiv na svjetlo.

Uzorak koji se želi kopirati stavlja se čvrsto pritisnut na emulzijski sloj negativskog papira. Podloga je prozirna te se osvjetljavanje može provesti na dva načina: refleksijom i transmisijom.

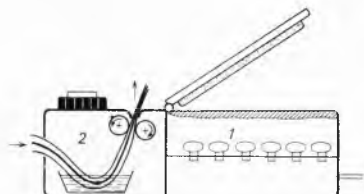


Sl. 93. Shematski prikaz osvjetljavanja negativskog papira: a refleksiranim, b transmitiranim svjetlom; 1 prozirna podloga negativskog papira, 2 osjetljivi (emulzijski) sloj, 3 kopirni uzorak na neprozirnoj podlozi, 4 kopirni uzorak na prozirnoj podlozi

Kad je podloga uzorka neprozirna ili je s obje strane otisnuta, primjenjuje se osvjetljavanje refleksijom (sl. 93 a), inače uzorke providne i prozirne podloge može se osvjetljavati transmisijom (sl. 93 b).

Original može biti tiskan, pisan strojem, tintom, olovkom ili bojom bilo koje vrste.

Osvjetljava se i razvija u posebnim uređajima kojih ima različitih tipova, osobito u pogledu osvjetljavanja. Na sl. 94 shematski



Sl. 94. Shematski prikaz aparature za difuzijsko kopiranje. 1 Uređaj za osvjetljavanje, 2 uređaj za razvijanje

je prikazan jedan takav uređaj. Sastoji se iz dva dijela: 1 za osvjetljavanje, 2 za razvijanje. Dio za osvjetljavanje sastoji se iz kutije u kojoj se nalazi više žarulja ili fluorescentnih cijevi, a povrh njih je opalno staklo, tako da osvjetljavanje bude jednolično difuzno.

Posebnom se urom automatski regulira trajanje osvjetljavanja. Na sl. 95 prikazana je snimka takvog uređaja.



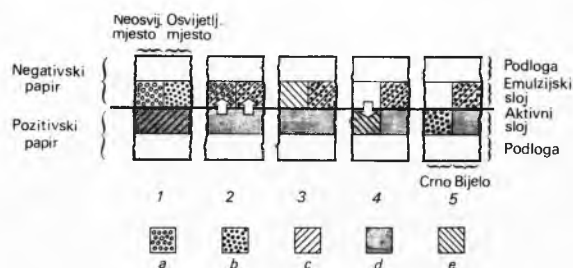
Sl. 95. Aparat za difuzijsko kopiranje Luxacopy

Osvjetljeni negativski papir stavlja se zajedno s pozitivskim papirom, aktivnim slojevima okrenutim jedan prema drugom, u vodilice, odvojeni prolaze kroz razvijач, te nakon toga dolaze u dodir i među valjke, koji ih čvrsto pritisnu slojem na sloj. Papiri izlaze kroz otvor aparata vlažni i međusobno prilipljeni. Nakon određenog vremena odvajaju se razvijeni pozitiv i negativ. Proces što se odvija pri tom postupku prikazan je shematski na sl. 96 kroz 5 faza:

1. faza: prolazom osvjetljenog negativskog sloja kroz otopinu razvijачa razvije se latentna slika, dok neosvijetljena zrna srebro-halogenida ostaju nepromijenjena.

2. faza: prolazom pozitivskog papira kroz otopinu razvijачa natrijum-tiosulfat se u želatinskom sloju otopi, te u dodiru s negativskim slojem difuzijom prodire u emulzijski sloj negativskog papira.

3. faza: na mjestima gdje je srebro-halogenid bio razvijen u srebrna zrna, natrijum-tiosulfat ne pokazuje nikakvo djelovanje; na neosvijetljenim mjestima u sloju negativskog papira tiosulfat otopi kristaliće srebro-halogenida.



Sl. 96. Shematski prikaz difuzijskog postupka. 1 Negativski papir se razvija na osvjetljenim mjestima, 2 fiksir difundira u emulzijski sloj, 3 fiksir je otopljen srebro-halogenid na neosvijetljenim mjestima, 4 otopljeni srebro-halogenid difundira u aktivni sloj pozitivnog papira, 5 na centrima nukleacije se iz otopine taloži srebro; a srebro-halogenid, b zrna srebra, c fiksirna otopina, d centri nukleacije, e otopljeni srebro-halogenid

4. faza: ova otopina srebra tiosulfatnih kompleksa jednim dijelom difundira u obrnutom smjeru, tj. natrag u aktivni sloj pozitivnog papira.

5. faza: u pozitivskom sloju se iz prenesenih kompleksa srebro-tiosulfata taloži srebro na centrima nukleacije, te tako na tim mjestima nastaje zacrnjenje, tj. pozitivna slika.

Budući da su želatinski slojevi vrlo tanki, a udaljenost je među njima malena, to ne dolazi do izrazitije difuzije u smjeru paralelnom sa slojevima, -te tako nastaju oštre reprodukcije originala.

Polaroid-Land postupak. Ovaj je postupak našao široku praktičnu primjenu zahvaljujući radovima trojice istraživača. To su bili Rott (Belgija), Weyde (Njemačka) i Land (SAD). Oni su neovisno jedan od drugoga, ali gotovo u isto vrijeme, razradili

mehanizam fotografskog difuzijskog postupka. Prva dvojica su 1939 razradila primjenu ovog postupka za dokumentne papire.

Međutim, Landova istraživanja omogućila su primjenu difuzijskog postupka kod filmova visoke osjetljivosti. U posebno konstruiranom fotografskom aparatu dobila se tim postupkom po prvi put direktno pozitivna slika. Fotografski aparat je izrađen tako da se film nakon eksponiranja razvije u istom aparatu i difuzijski kopira na papir. Desetak sekundi nakon eksponiranja iz aparata se izvadi gotova pozitivna slika na papiru. Ovaj postupak poznat je pod nazivom Polaroid-Land postupak, a primjenjuje se od 1948, dok je 1963 pod imenom *Pola-color* proširen i za dobivanje kolor-fotografija.

Mehanizam nastajanja crno-bijele slike odvija se prema već opisanom difuzijskom postupku. Također se upotrebljavaju dvije vrste papira: pozitivski i negativski koji se nalaze u odvojenim valjcima. Razvijač se nalazi u posebnim jastučićima u obliku gelirane otopine, jer je tako omogućena difuzija razvijača između negativskog i pozitivnog sloja bez velikog zagađivanja kamere.

Nakon eksponiranja, negativski papir se dovede u kontakt s pozitivskim papirom. Po završenoj difuziji (20 s do 2 min) pozitiv se odjeljuje od negativa i to izvan aparata.

Pola-color postupak. Ovim postupkom dobiju se obojene pozitivne slike postupkom difuzije iz različitih kemikalija. Negativski materijal sastoji se od tri sloja koja su osjetljiva na modro, zeleno i crveno svjetlo. Ispod svakog sloja nalazi se sloj s molekulama koje su kombinacija boje i razvijača. Te molekule razvijaju srebrnu sliku, a ujedno su i boje za gotovu sliku.

Neposredno ispod modro osjetljivog sloja emulzije nalazi se sloj odgovarajuće komplementarne boje (žute) te molekule razvijača.

Ispod zeleno osjetljivog sloja jest sloj s molekulama purpurne boje-razvijača, a ispod crveno osjetljivog sloja su molekule modrozeleno boje-razvijača.

Za vrijeme procesa koji je započeo širenjem geliranog razvijača između negativskog filma i pozitivnog papira - bojene molekule i molekule razvijača difundiraju unutar susjednog osjetljivog sloja.

Tokom razvijanja molekule boja fiksirane su na emulzijskom sloju i tako nastaje negativska slika.

Neupotrijebljene boje molekula-razvijača difundiraju u susjedni sloj pozitivskog materijala stvarajući tako pozitivnu sliku u bojama. Pozitivski materijal sadrži u svom sloju molekule kiselina koje se na kraju procesa neutraliziraju s alkalijama razvijača.

Kad je proces završen, odjeljuje se izvan aparata pozitivna slika od negativa.

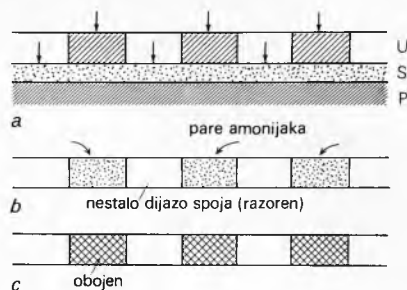
Ovaj proces je podesan također za izradu kolor-dijapozitiva.

Postupci s diazo-spojevima. To su postupci u kojima se upotrebljavaju na svjetlo osjetljivi diazo-spojevi za dobivanje jednobojnih slika, koje su samo slabo polutonski diferencirane. Zato ti postupci služe uglavnom za umnožavanje crteža (skica, planova) s prozirnog papira (paus-papira) ili prozirnog plastičnog lista (folije).

Godine 1859 Peter Griess je priredio prvu azo-boju: amino-azobenzen. Time je postavljen temelj za cijelu industriju azo-boja, a 1890 Green otkriva da diazotinirani primulin nakon izlaganja svjetlu nije više sposoban da s fenolskim ili amino-spojevima tvori azo-boje. Prvi uspješni postupak za dobivanje slika azo-bojama, osniva se na patentu Kogela i Neuenhausa (1924). Oni su pronašli da se u sloju nanesenom na papiru mogu istodobno nalaziti diazo-spojevi i prikladno odabrani fenolni ili amino-spojevi (vezivači, kupleri), koji uz prisustvo nekog kiselog spoja (stabilizatora) ne stvaraju boju. No čim se neutralizira taj kiseli spoj, dolazi do tvorbe azo-boje. Dakle, na osvijetljenim površinama takvog papira neće moći nastati boja, nego samo na neosvijetljenim, i to nakon neutralizacije kiselog spoja (razvijanja).

U razvoju diazo-postupka nastala su dva ponešto različita postupka, tzv. *suh*i i *vlažni* postupak. Po suhom postupku razvija se (neutralizacija) parama amonijaka, a diazo-spoj i vezivač nalaze se u sloju (dvokomponentni postupak). Taj je postupak osobito razradio Kalle, koji je i osnovao tvrtku i takve papire stavio u promet pod imenom *Oxalid*. Nasuprot tome u tvrtki

Van der Grinten razradio se vlažni postupak, prema kojem se razvijanje izvodi navlaživanjem papira slabo alkalnom otopinom. Po ovom postupku mogu se u sloju nalaziti i diazo-spoj i vezivač, a razvija se samo alkalnom otopinom ili se pak u sloju nalazi samo diazo-spoj (jednokomponentni postupak), a vezivač se nalazi dodan alkalnoj otopini za razvijanje. Ta je tvrtka stavila u promet



Sl. 97. Shematski prikaz nastajanja pozitivne slike diazo-postupkom. a Osvjetljavanje, svjetlom se razara diazo-spoj; b razvijanje parama amonijaka; c vezivač i diazo-spoj stvaraju boju. U uzorak koji treba kopirati (crtež), S osjetljivi sloj s diazo-spojem, P papirna podloga

svoje diazotipijske papire pod imenom *Océ*. Domaća tvornica Fotokemika proizvodi diazotipijske papire za suhi postupak pod imenom *Diazokop*.

Crteži i planovi na prozirnoj podlozi kopiraju se na diazotipijske papire kontaktno. Predložak se stavi na osjetljiv sloj na papiru, čvrsto pritisne i izloži djelovanju svjetla (sl. 97 a), odnosno ultraljubičastog zračenja. Diazo-spojevi su općenito osjetljivi samo na modri, ljubičasti i ultraljubičasti dio spektra. Osjetljiva površina je lagano obojena (žućkasta do žućkastozelenkasta). Eksponiranjem se razara diazo-spoj, pa sloj izbljedi na onim mjestima na koje je doprlo zračenje. Ispod linija crteža ostao je diazo-spoj nepromijenjen. Prilikom razvijanja nastat će bojilo samo na neosvijetljenim mjestima, te se dobije pozitivna kopija predloška. Uz prekratko osvjetljavanje pozadine neće biti posve bijela nego slabo obojena (mrena), a uz predugo osvjetljavanje crte će na kopiji biti blijeđe. Premda je moguće tim postupkom proizvesti crte različitih boja, obično se proizvode papiri samo za crnu, plavu, sepija i crvenkastu crtu. Kakve će boje biti crta zavisi od izbora diazo-spoja i vezivača.

Za povećanje kontrasta i osjetljivosti mogu se u sloj još dodati neke fluorescentne tvari. Za stabilizaciju diazo-soli u sloju obično se dodaju metalne soli ($ZnCl_2$, $CdCl_2$), ili u novije vrijeme i neki organski stabilizatori (npr. tri-sulfonske kiseline).

Da se dobije glatka podloga i spriječi prodiranje diazo-spoja u papirnu podlogu, nanosi se prethodno na podlogu tanki pod-sloj (SiO_2 sa $Al(OH)_3$ ili SiO_2 , $BaSO_4$ i škrob s polivinilalkoholom).

Zanimljiv je, i za neke svrhe vrlo važan, kombinirani postupak s diazo-spojevima i metalima. Kalle je patentirao diazo-postupak pri kojem se produkti nastali raspadanjem diazo-spoja djelovanjem svjetla, odnosno ultraljubičastog zračenja, koriste za redukciju metala iz neke soli metala, npr. srebra iz srebro-nitrata. Tako nastalu latentnu sliku moguće je razviti u fizikalnom razvijaču u vidljivu sliku.

Suradnici u tvrtki Philips razradili su i usavršili taj postupak, te se naročito primjenjuje pri izradi tiskanih elektroničkih sklopova. Na podlozi (poliesterski film) nanesen je adhezivni sloj, a površ toga osjetljivi sloj (diazosulfonat). Na takav film stavlja se fotomaska sklopa i kontaktno kopira. Nakon ekspozicije površina se obrađuje otopinom srebro-nitrata i (živa)-merkuri-nitrata, te se stvara latentna slika atomima metala. Fizikalnim razvijanjem sa srebro-nitratom i metalom dobiva se vodljivi metalni sloj tiskanog sklopa. Soli metala mogu biti uklopljene i u osjetljivom sloju, pa je potrebno samo fizikalno razviti nastalu latentnu sliku.

Još je jedan postupak razrađen kojim se postiže znatno pojačanje diazo-postupka, u kojem se također koristi nekom vrsti razvijanja slike. To je tzv. *vezikularni* ili *mjehuričasti postupak*. Diazo-spoj se dispergira (rasprši) u termoplastičnoj smoli i takva disperzija se nanese na prozirnu podlogu (film). Predložak koji se želi kopirati stavlja se na osjetljivi sloj i osvijetli. Na osvijet-

ljenim se mjestima rastvori diazo-spoj i stvori plin dušik unutar plastične smole. Zagrijavanjem cijelog filma (razvijanje) rasteže se tako nastali dušik te stvara mjehuriće. Da bi se slika fiksirala, film se naknadno difuzno osvijetli, ne razvija se (tj. ne zagrijava se), nego se ostavlja da uz sobnu temperaturu dušik polagano difundira i izlazi iz sloja. Gotova snimka gledana u odbijenom svjetlu je pozitiv, a gledana u prolaznom svjetlu je negativ. Na mjehurićima plina nastaje, naime, totalna refleksija, pa su mjesta s mjehurićima svjetla, dok su u prolaznom svjetlu tamna.

Elektrofotografski postupci. Elektrofotografija je danas vrlo poznata metoda za grafičku i dokumentacijsku reprodukciju. Temelji se na primjeni poluvodiča na kojemu se stvara elektrostatska latentna slika. (V. *Elektrostatičke operacije*, str. 50.)

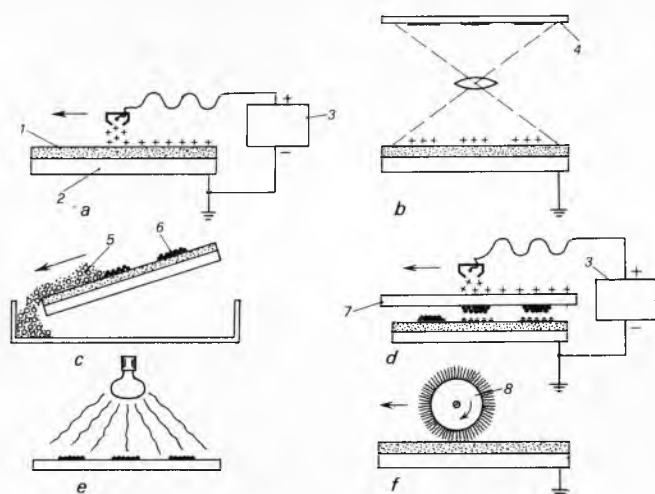
Najraniji zapis o elektrofotografskom postupku prikazan je još 1922, patentom Bronkea. Međutim, nagli razvoj tog postupka počinje tek 1938, kada su američki fizičari Chester Carlson i Otto Kornei načinili brojne eksperimente tim postupkom. U tom periodu stvorena je prva elektrostatska slika na fotovodljivoj površini, i razvijanjem bila prenesena na papir.

Dalji istraživački radovi nastali su u Battelle Memorial Institutu u Kolumbiji, u kojem su u razmjerno kratkom vremenskom periodu (1944—1948) postignuta važna otkrića elektrofotografskog postupka koja su pridonijela nagloj primjeni elektrofotografije u reproduksijske svrhe.

Prvi Xerox-aparat za tržište proizvela je 1951 tvrtka Haloid (danas Xerox Corporation), i to u svega nekoliko komada. Zadnjih dvadesetak godina elektrofotografski postupci su se vrlo brzo razvijali, što je pridonijelo i njihovoj svestranijoj praktičnoj primjeni, kao što je npr. kopiranje dokumenata, registriranje oscilograma, registriranje slika na daljinu, tiskanje rezultata elektroničkih računara, reproduciranje polutonskih slika, kolor-elektrofotografija, elektrofotografska projekcija, te kseroradiografija.

Razrađena su dva različita postupka: kserografski i elektrofax postupak.

Kserografija (ξηρός xeros, suh, γραφειν grafein, pisati) je prvi, a i najrašireniji elektrofotografski postupak. To je zaista »suh postupak«, jer ne uključuje nikakve kemijske reakcije niti bilo kakve tekućine. Osniva se na fotovodljivosti nekih poluvodiča, po kojima se djelovanjem svjetla na jednolično nabijenoj površini stvara elektrostatska latentna slika.



Sl. 98. Shematski prikaz kserografskog postupka. a Nabijanje površine kserografske ploče; b fotografsko snimanje predloška, nastanak nabojske latentne slike; c razvijanje: posipanje smolastim praškom; d kopiranje: protivnim nabojem prenošenje praška na papir; e fiksiranje: zagrijavanjem se smolasti prašek fiksira na papiru; f čišćenje: rotacijskom četkom čisti se kserografska ploča od preostalog praška; 1 selenski sloj, 2 metalna podloga, 3 izvor visokog istosmjernog napona, 4 uzorak za snimanje, 5 smolasti prašek koji se posiplje po osvijetljenoj ploči, 6 smolasti prašek vezan nabojem što čini latentnu sliku, 7 papir za pozitivnu sliku, 8 valjak za čišćenje kserografske ploče

Kserografske ploče sastoje se od metalne podloge (aluminijum) na kojoj je u vakuumu naparen tanak sloj ($20 \cdots 100 \mu\text{m}$) fotovodljivog materijala (amorfni selen). Kserografski postupak izvodi se u šest faza, shematski prikazanih na sl. 98.

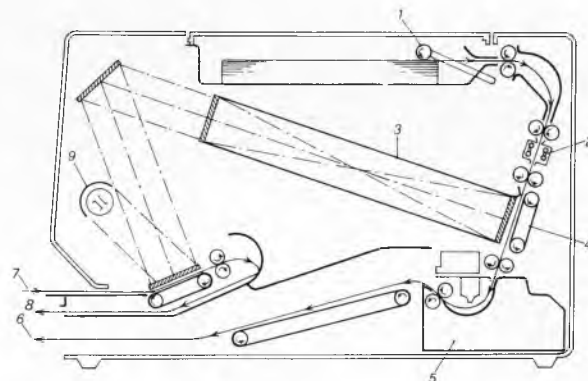
a Senzibilizacija kserografske ploče nanošenjem električnog naboja. Posebnom tehnikom korona-izboja nanosi se jednoličan naboj po površini poluvodiča, a taj se veže influencijom nastalim suprotnim nabojem u metalnoj ploči. U sloju poluvodiča nastaje homogeno električno polje. No, u tamni poluvodič ima velik specifični otpor ($10^{12} \cdots 10^{14} \Omega\text{m}$), pa ne dolazi do neutralizacije naboja.

b Ekspoziranje — nastanak latentne slike. Pomoću objektiva stvara se na površini poluvodiča oštra realna slika predmeta prelikavanja (dokumenta, crteža, tiskanog teksta). Proporcionalno intenzitetu osvijetljenja poraste vodljivost poluvodiča i djelomično se neutralizira površinski naboj. Na neosvijetljenim mjestima ostaje sav naboj, na jako osvijetljenim nestaje potpuno, dok na ostalim djelomično ostaje. Raspored i gustoća naboja čini latentnu sliku.

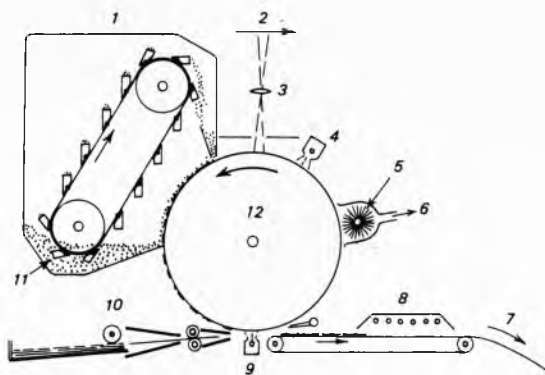
c Razvijanje latentne slike. Nakon osvijetljivanja, po kserografskoj se ploči posipa vrlo sitna smolasta prašina suprotnog naboja, tako da se ona hvata na mjestima gdje postoji površinski naboj. Uхваćeni prašek čini vidljivu pozitivnu sliku.

d Prijenos razvijene slike na papir ili drugi neki materijal. Papir se postavlja na površinu poluvodičkog sloja, a prašek se na mjestima slike prenosi na njega ili adhezivno pod pritiskom, ili električki nabijanjem papira sa stražnje strane istoimenim nabojem, kao što je onaj latentne slike, tako da se na prednjoj strani papira polarizacijom stvori suprotan naboj. Veći dio praška se tako prenese na papir, ali stanoviti dio ipak ostaje na ploči (oko 10%). Umjesto na papir može se slika prenijeti na matricu za ofset-tisak.

e Fiksiranje slike. Slika se može učvrstiti na više načina: pokrivanjem zaštitnim lakom, izlaganjem parama otapala smole, ili najčešće kratkim zagrijavanjem, tako da se zrnca smole rastale i kao taljevina prionu za papir.



Sl. 99. Shematski prikaz kserografskog kopirnog aparata. 1 Automat za ubacivanje listova papira, 2 korona-uređaj za elektrostatsko nabijanje papira, 3 projektor slike predloška, 4 uređaj za osvijetljavanje (stvara se elektrostatska latentna slika na papiru), 5 uređaj za razvijanje (naprašivanje), 6 izlazak kopije, 7 ulazak predloška, 8 izlazak predloška, 9 izvor svjetla



Sl. 100. Shematski prikaz automatskog kserografskog aparata za kopiranje. 1 Komora za razvijanje, 2 put originala, 3 objektiv, 4 uređaj za statičko nabijanje, 5 četka za čišćenje, 6 isisavanje, 7 izlazak kopije, 8 grijač, 9 uređaj za statičko nabijanje pozitivnog papira, 10 zaliha pozitivnog papira, 11 smolasti prašek, 12 bubanj

f Pripremanje ploče za ponovno snimanje. Ta šesta faza više ni ne spada u postupak, ali se nužno nadovezuje, da se omogućiti dalje snimanje istom pločom. Sastoji se u tom da se površina poluvodiča potpuno očisti od ostataka smolaste prašine.

Ovim su, naravno, prikazane samo osnove kserografskog postupka. U primjeni je on razrađen u mnogo načina, sve do dobivanja polutonske slike i slike u bojama.

Na sl. 99 shematski je prikazan kserografski uređaj za priručno kopiranje pojedinačnih listova, dok je na sl. 100 prikazan automatski uređaj za kopiranje.

Elektrofax. U ovom se postupku ne primjenjuje suvišan sloj fotovodiča nego mješavina fotovodiča (ZnO) i nekog izolatorskog veziva (neka od mnogih sintetičkih smola). Uz to se u tu mješavinu dodaju još neke tvari da bi se na podlogu nanese sloj načinio prikladnim za višestruku primjenu elektrofotografije. U početku se kao podloga uzimao papir, tako da se nakon razvijanja odmah dobije pozitivna slika. Cink-oksidi su osjetljivi samo na ultraljubičasto, ljubičasto i modro zračenje, zato se dodaju bojila kao senzibilizatori, te se postiže pankromatska senzibilizacija.

Ako se žele praviti kopije, onda se, kao i u slučaju kserografije, načini latentna slika, ali negativnim nabojem a zatim se za direktno kopiranje (od pozitivna pozitiv) nanosi pigmentni prašak pozitivnog naboja koji se veže za mjesta nabijena negativno. Ako se želi kopirati indirektno (od negativna pozitiv), pigmentni se prašak nabije negativno, te će se prihvaćati samo na mjestima na kojima nema naboja, tj. koja su bila osvijetljena.

Svojstvo je fotokonduktivne površine da se slika može više puta kopirati. Razvijajući prašak može se uzeti u različitim bojama, pa se mogu načiniti i višebojne kopije. Taj se postupak primjenjuje samo za reprodukcije.

Kseroradiografija. Vrlo je važna primjena kserografskog postupka u radiografiji. Nabijena kserografska ploča nalazi se u zatvorenoj kazeti, kao i radiografski (rendgenski) filmovi. Nakon ekspoziciranja rendgenskim zrakama ili drugim kojim ionizirajućim zračenjem, te praškastim razvijanjem tamnim pigmentom, dobio bi se pozitiv-radiogram, tj. na propusnim mjestima nastale bi svjetline, a na nepropusnim tamnine. Da bi se pak dobio radiogram kao i na filmu, primjenjuje se bijeli prašak za razvijanje. Ako se želi dobiti trajan radiogram, primjenjuje se plavi prašak za razvijanje, a slika se prenosi na papir. Cijeli postupak ne traje dulje od jedne minute.



Sl. 101. Usporedbene snimke dobivene a na rendgen-filmu, b kserografskim postupkom

Po osjetljivosti kseroradiografske ploče slične su filmovima za snimanje bez pojačavačkih folija. Ista se ploča može upotrijebiti i do 600 puta, a postaje neupotrebljiva samo zbog mehaničkih oštećenja, osobito pri odčerkavanju zaostalog praška.

Na sl. 101 date su komparativne reprodukcije rendgenograma fotografskim i kseroradiografskim postupkom.

Termografski postupci. Pod pojmom termografije podrazumijevaju se postupci kod kojih se zagrijavanjem stvara slika. Taj postupak je podesan samo za originale koji su tiskani, pisani ili crtani u tamnoj tinti, dok je nepogodan za obojene slike.

Prvi istraživači ovog procesa bili su još prije više od 100 godina Abel Niepce de St. Victor i Robert Hunt, ali je pravi razvitak termografije počeo tek otprilike 1950 kad se ona primjenjivala samo za registraciju. No već 1956 patentirao je Carls Miller reproduksijski postupak koji se zasniva na principu termografije, a poznat je pod nazivom *Termo-Fax*.

Postupak se sastoji u sljedećem: original se stavlja u kontakt s papirom na kojem se nalazi sloj osjetljiv na zagrijavanje i ekspozira se infracrvenim zračenjem. Crni dijelovi slike apsorbiraju toplinsko zračenje jače, zagriju se jače, a tako se zagriju i odgovarajuće površine na toplinski osjetljivom sloju pa nastaje i veće zacrtnjenje na tim dijelovima kopije. Za kopije nije potrebna nikakva dalja obrada.

Kao izvor svjetla upotrebljava se žarulja temperature 2800 K. Da se dobije što oštrije kopija, mora ozračivanje biti kratko ali intenzivno. Zato se ekspozicija izvodi postupnim prijelazom fokusiranog snopa zračenja po slici. Pri tom se pomiče ili papir i original, ili pak žarulja. Ekspozicija se podešava relativnom brzinom kojom se kopirni papir i original gibaju pored izvora infracrvenog zračenja.

Taj se postupak vrlo proširio unatoč znatno manje sposobnosti razdvajanja u odnosu na druge postupke, jer je vrlo jednostavan i znatno je jeftiniji i po uređaju i po papiru za reprodukciju.

POSEBNE GRANE FOTOGRAFIJE

Ultrabrzna fotografija. Ovim nazivom obuhvaćene su metode snimanja vrlo brzih zbivanja radi istraživanja načina i slijeda zbivanja. Tako se npr. istražuje kako dolazi do kidanja niti na



Sl. 102. Snimka dobivena ultrabrzom fotografijom

tkalačkom stroju, kako se rasprskava sigurnosno staklo, kako se odvijaju eksplozije ili implozije itd. Pri tom ekspozicije traju 1 milisekundu do ispod 1 milisekunde. Snima se ili pojedinačno (samo određena faza zbivanja) ili u nizu susljednih snimaka (kinematografsko praćenje faza zbivanja). Da se na mirnom fotografskom materijalu načini niz kratkotrajnih i brzosljednih snimaka, koristi se ili nizom izvora svjetla koji susljedno zasvijetle u jedan miran objektiv, ili se mirnim izvorom svjetla uzastopno osvijetli niz objektiv, ili se pak nekim uređajem snop svjetla sa slike pomiče po fotografskom sloju. Na sl. 102 je primjer snimke dobivene ultrabrzim snimanjem.

Glavni su problemi pri razvoju te vrste fotografije bili jaki izvori svjetla, zapori za vrlo kratka osvjetljavanja te sinhronizacija pojave i osvjetljavanja. Najkraće trajanje ekspozicije što se može postići mehaničkim zaporima jest 1/3000 s. Za kraća trajanja primjenjuju se magnetooptički i elektrooptički zapor, te elektronički zapor.

Magnetooptički zapor (Faradayev zapor) sastoji se iz staklenog valjka koji se nalazi uzdužno u zavojnici, a između ukrštenih polarizatora. Kratkotrajan strujni impuls kroz zavojnicu stvara magnetsko polje pa u snopu svjetla što prolazi valjkom nastane

zakret ravnine polarizacije, te dio svjetla može proći kroz izlazni polarizator.

Elektrooptički zapor (Kerr-ćelija) sastoji se od kivate s nitrobenzolom u koji su uronjene dvije paralelno smještene elektrode. Snop svjetla prolazi kroz prvu polarizacijsku prizmu, zatim kroz tekućinu između elektroda, pa na izlazu kroz drugu ukrštenu polarizacijsku prizmu. Električno polje između elektroda zakreće ravninu polarizacije, pa svjetlo prolazi. Kratkotrajnim električnim impulsima mogu se postići trajanja ekspozicije od 5 ns. Isto takvo trajanje može se postići elektroničkim zaporom.

Umjesto posebnih zapora za vrlo kratkotrajne ekspozicije upotrebljavaju se izvori svjetla kratkog trajanja. Tako se elektroničkom bljeskalicom može doseći trajanje od svega 1 μ s. Kraća trajanja mogu se postići električnim iskrama. Posebnim uključivačima na laserima mogu se postići čak trajanja do 20 ns.

Što se tiče sinhronizacije ona se obično postiže tako da pojava koja se snima bude i uključivač (okidač).

Snimanje infracrvenim zračenjem. Infracrvenim zračenjem mogu se objekti snimiti, ili direktno na posebno senzibiliziranim fotografskim materijalima, ili pak indirektno po toplinskom učinku na materijalima osjetljivim na razlike temperature. Samo se u prvom slučaju govori o fotografiji infracrvenim zračenjem, dok se u drugom slučaju radi o tzv. termografiji.

Osim toga se u infracrvenoj fotografiji razlikuju dva načina snimanja: 1 direktno infracrvenim zračenjem što ga reflektira ili transmitira neki predmet; 2 indirektno fluorescentnim infracrvenim zračenjem izazvanim obasjavanjem nekog predmeta modrim i zelenim svjetlom.

Infracrvena fotografija redovno se odnosi na spektralno područje duljine vala od 700 nm pa do otprilike 900 nm, a samo se izvanredno koristi i područjem duljina vala većih od 900 nm. Da se iz cjelokupnog spektra zračenja izdvoji infracrveno zračenje služe posebni optički filtri, koji se mogu primijeniti bilo na izvoru zračenja, bilo na objektivu fotografskog aparata.

Fotografski materijali su, naime, u svakom slučaju osjetljivi na ultraljubičasto, te ljubičasto i modro zračenje (vlastita osjetljivost srebro-halogenida), pa je potrebno spriječiti takvo zračenje da dospije do fotografskog sloja. To se najjednostavnije postiže tako, da se pred objektiv stavi infracrveni filter (tamno-crveni, odnosno crni). Ako li se želi snimati fluorescentnim infracrvenim zračenjem, potrebno je primijeniti dva filtra: na izvoru zračenja modrozeleni, koji apsorbari infracrveno zračenje što ga izvor emitira, a na objektivu infracrveni, koji apsorbari pobudno modrozeleno zračenje, a propušta samo pobudeno infracrveno zračenje.

Infracrvene zrake imaju još manji indeks loma nego crveno svjetlo, tj. još se manje otklanjaju pri prijelazu u drugo sredstvo. Za njih je žarište udaljenije od leće nego za crveno svjetlo. Kako su pak nevidljive, ne može se izoštravati slika na zastoru. Izoštavanje se može izvesti na taj način da se pri svjetlu izoštri slika predmeta i još malo izvuče objektiv, i to tim više što je veća žarišna daljina objektiva i što je predmet bliži objektivu. Da se dobije najoštrija slika, potrebno je načiniti više snimaka uz ponešto različite izvlake objektiva. No, valja primijetiti da slika infracrvenim zračenjem i ne može biti vrlo oštih kontura predmeta, jer se infracrvene zrake reflektiraju ne samo na površinskom sloju predmeta nego i u stanovitom dubljini u predmetu (osim u metalima), te nastaje na rubovima raspršavanje zraka.

Fotografiranjem infracrvenim zračenjem mogu se načiniti vidljivim predmeti, odnosno različitosti na njima koje se pri svjetlu ne vide. Takvo snimanje daje razlike u refleksiji, odnosno apsorpciji infracrvenog zračenja, a te razlike mogu biti znatno različite od onih za vidljivo zračenje.

Infracrveno se zračenje ne raspršava u znatnijoj mjeri na malenim česticama prašine i magle, pa se infracrvenom fotografijom prikladno koristi za snimanje uz sumaglicu ili maglu, osobito za krajobrazne (daleka gorja, snimanje iz zrakoplova i sl.). Kako to zračenje prodire i ispod površine tkiva živih bića, biljaka i nekih materijala, primjenjuje se u medicini za otkrivanje podkožnih promjena, osobito za venografiju i pupilografiju, u botanici za otkrivanje patoloških oštećenja na biljkama, otkrivanje donje slike na premazanim uljenim slikama i slično.

Snimanje ultraljubičastim zračenjem. Kao i kod infracrvene fotografije, može se razlikovati dva načina snimanja: direktno, ultraljubičastim zračenjem difuzno reflektiranim na predmetima koje snimamo, te indirektno fluorescentnim svjetlom što ga šalju predmeti ozračeni ultraljubičastim zračenjem. Kako fotografski stakleni objektivi propuštaju samo one ultraljubičaste zrake kojima je duljina vala veća od 350 nm, to se za direktno snimanje običnim fotografskim aparatom može koristiti samo spektralnim područjem 350...400 nm. Za indirektno fluorescentno snimanje postoji ograničenje samo s obzirom na propusljivost uzduha.

Pri direktnom snimanju ultraljubičastim zrakama potrebno je primijeniti optički filter koji propušta ultraljubičasto zračenje, a ne propušta vidljivo zračenje — svjetlo. Takav se filter može staviti na izvor zračenja (npr. živina svjetiljka) ili pred objektiv, ali u tom slučaju mora biti planparalelno izveden. Izoštavanje se obavlja uz svjetlo, a snimanje uz primjenu filtra.

Pri fluorescentnom snimanju potrebno je pred izvor zračenja staviti filter koji ne propušta vidljivo zračenje, a pred objektiv filter koji ne propušta ultraljubičasto zračenje, a propušta vidljivo zračenje. Taj se način najčešće primjenjuje u mikroskopiji preparata koji fluoresciraju.

Fotografski materijali su po vlastitoj osjetljivosti srebro-halogenida osjetljivi za navedeno spektralno područje (350...400 nm) pa za direktno snimanje mogu poslužiti i nesenzibilizirani materijali. U tom slučaju je manje važno pitanje osjetljivosti, a više finoća zrna i kontrastnost.

Ultraljubičasta fotografija primjenjuje se samo u posebnim slučajevima i to za istraživačke svrhe: u arheologiji, biologiji, bakteriologiji, sudskoj medicini posebno ali i u ostalim granama medicine, te u kemiji i mineralogiji i u drugim granama znanosti.

Pri svjetlu nevidljivi otisci, mrlje, različitosti tvari otkrivaju se snimanjem ultraljubičastim zračenjem. Razlike dobivene takvim snimanjem odnose se samo na posve tanki površinski sloj, jer ultraljubičaste zrake ne prodiru dublje u tvar.

Snimanja rendgenskim i gama-zračenjem (radiografija). Ova se snimanja odnose na nevidljivo elektromagnetsko zračenje duljine vala, manje od kojih 0,5 Å (5 nm) dakle tisuće puta kraće od duljine vala vidljivog elektromagnetskog zračenja. U radiografiji se u principu upotrebljavaju jednaki fotografski slojevi, kao i u običnoj fotografiji te se po tome može priključiti općoj fotografiji. No, dok se u općoj fotografiji predmeti snimaju difuzno reflektiranim zračenjem, a samo u rijetkim slučajevima prolaznim zračenjem, u radiografiji se može koristiti samo zračenjem koje prolazi kroz predmet. Na tako dobivenim snimkama vidljive su razlike u apsorpciji zračenja različitih dijelova predmeta. Za zračenja te vrste ne postoje fotografski aparati. Primjenjuje se točkast izvor zračenja, te se predmet projicira na fotografski sloj. Snimka nije plastična, ali zato pokazuje i razlike u strukturi unutrašnjosti predmeta, njom se prikazuje unutrašnjost, a ne površina predmeta. Ona daje razlike u apsorpciji zračenja na putu pri prolazu kroz predmet, a stupanj apsorpcije zavisi s jedne strane od tvari, s druge strane od debljine sloja kroz koji prolazi zračenje, a zavisi još i od kakvoće tj. duljini vala zračenja. Interpretacija radiografskog snimka nije zato jednostavna i mogu je dati samo stručno izobražene osobe.

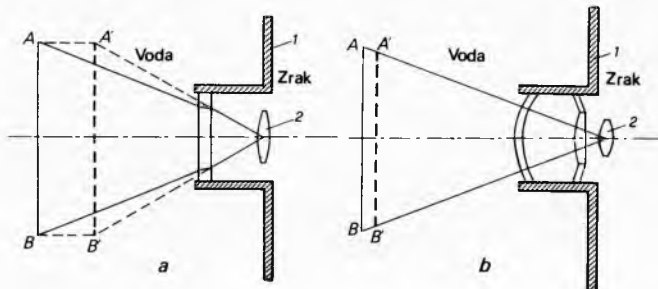
Dvije su osobitosti snimanja s ekstremno kratkovalnim zračenjem. Prva je osobitost što je takvo zračenje samo vrlo malenim dijelom apsorbirano, a time djelotvorno u fotografskom sloju. Da se tome doskoči, upotrebljava se film s obostranim emulzijskim slojem, i to veće debljine nego za ostale fotografske materijale. Zatim se primjenjuju fluorescentni zastori za pojačavanje. To su kruti listovi od kartona ili neke plastične tvari premazani slojem kalcijum-volframata. Rendgensko zračenje izaziva fluorescentno svjetlo, koje onda uz rendgensko zračenje djeluje na fotografski sloj. Takvi se pojačivački zastori stavljaju s obje strane filma, a moraju biti tijesno pritisnuti uz film da se sačuva oštšina snimke. Fotografski učinak povećava se i po nekoliko puta. Ako se ne može primijeniti takav kruti zastor, upotrebljavaju se listovi od olova (olovne folije) u kojima je rendgensko, odnosno gama-zračenje znatno apsorbirano, a kao posljedica nastaje raspršno zračenje sekundarnih elektrona koji djeluju na fotografski sloj.

Druga je osobitost što pri prolazu takvog zračenja kroz predmete snimanja nastaje raspršno zračenje bilo istovrsno (primarno), bilo veće duljine vala (sekundarno), bilo sekundarnih elektrona. Zbog tog raspršnog zračenja smanjuje se i oštrina, i kontrastnost snimke a time i raspoznavljivost različitih dijelova predmeta. Da se tome doskoči primjenjuju se olovne rešetke. Za snimanja bez zastora za pojačavanje upotrebljavaju se rešetke s vrlo uskim paralelnim izrezima, dok se za snimanja sa zastorima za pojačavanje upotrebljavaju tzv. Bucky-rešetke, koje se pomiču za vrijeme snimanja, tako da ne ostaje na snimci neki trag rešetke, kao što ostaje pri snimanju mirnom rešetkom.

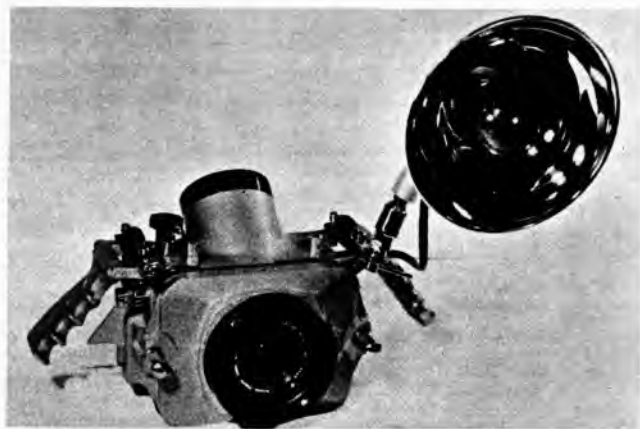
Radiografija se najviše primjenjuje u medicini (radiološka dijagnostika, kirurgija) i u metalindustriji (defektoskopija), ali i u mnogim drugim granama samo u znatno manjoj mjeri.

Podvodna fotografija. Snimanje predmeta u vodi, bilo s aparatom izvan vode bilo s aparatom uronjenim u vodu, traži posebno znanje, vještinu i odgovarajući uređaj. Već 1893 (Boutan) načinjena je prva podvodna snimka uz dnevno svjetlo, a 1900 uz umjetno svjetlo, no tek posljednjih 20 godina naglo se razvila podvodna fotografija kao posebna grana fotografije. Godine 1962 bila su u prodaji samo dva tipa fotografskih aparata specijalno izrađenih za podvodna snimanja (Makoshark, Underwater Sports, SAD; Calypso-phot, La Spirotechnique, Francuska). Danas cijeli niz tvrtki proizvodi podvodne fotografske aparate, i to za amatersku, kao i za profesionalnu upotrebu i posebno za kinematografska snimanja.

Podvodna snimanja izvode se na dva načina: običnim fotografskim aparatom smještenim u posebnom kućištu nepropusnom za vodu i otpornom za povišeni tlak, ili pak s posebnim aparatom konstruiranim za tu svrhu. Na kućištu se nalazi prozor od stakla kroz koji se snima. Staklo prozora mora biti planparalelno da ne bi nastala iskrivljena slika. No, zbog loma zraka svjetla u tom staklu povećava se vidni kut te predmet izgleda bliži (sl. 103 a).



Sl. 103. Prozor na kućištu podvodnog fotografskog aparata, a s planparalelnim staklom, b s pomoćnim lećama



Sl. 104. Izgled fotografskog aparata za podvodna snimanja

Da se to izbjegne, konstruiran je poseban prozor s pomoćnim lećama (A. Ivanoff, 1951), po kojemu se virtualna slika predmeta praktički podudara s predmetom (sl. 103 b). Kod jednostavnijih takvih zaštitnih kućišta svi se uređaji namještanja za snimanje nalaze u kućištu, a samo okidač i eventualno transporter (poma-

kivač) filma nalaze se na vanjskoj strani kućišta. Naravno, i neka vrst tražila se mora nalaziti na vanjskoj strani (sl. 104).

Posebno konstruirani fotografski aparati imaju objektivne direktno u kontaktu s vodom. Pri tom se mora voditi računa da se kutni otvor leće pod vodom smanjuje za 1/4, a žarišna se daljina efektivno produljuje za 1/3. Normalni objektiv na taj se način pretvara u teleobjektiv, a širokokutni objektiv u normalni. Takav posebno konstruiran aparat ima sve uređaje namještanja za snimanje s vanjske strane, te se namještanje može izvoditi i kada je uronjen u vodu.

Kako u vodi nastaje vrlo jaka apsorpcija u crvenom, narančastom i žutom dijelu spektra, to od Sunčevog svjetla već u dubini od 10 m preostaje samo zeleno i modro svjetlo. Ako se želi snimati u boji i da se boje reproduciraju, potrebno je poslužiti se umjetnom rasvjetom, posebnim reflektorima ili pak bljeskalicama.

Velika je smetnja pri podvodnom snimanju mutnoća vode koja može potjecati od anorganskih čestica, ali može i od živih ili uginulih mikroorganizama. Što je voda bistrija to manje ima života u njoj, ali je tim pogodnija za snimanje.

NOVIJA STREMLJENJA

U pogledu daljeg razvoja fotografskih aparata ističu se tri važna smjera. U aparate već ustaljenog tipa, naročito profesionalne, ugrađuju se elektronički automati za zaslon, za zapor, za izoštravanje, za navijanje, za premotavanje već osvijetljenog filma. U gradnji objektivna ide se za tim da objektiv s promjenljivom žarišnom daljinom (varioobjektivi, zoomobjektivi) postanu redovni, a ne samo iznimni objektiv. Poznati tipovi objektivna preadaju se u varioobjektive; izrađuju se teleobjektivi s velikim rasponom žarišne daljine, kraćim tubusom i većim relativnim otvorom (sve do 2,0); naročito se razvijaju varioobjektivi širokog kutnog otvora i malenih žarišnih daljina, i to ne samo za snimanje prostornih predmeta nego i za preprodukcijaska snimanja. Posebna novost u stremljenjima jesu tzv. džepni fotografski aparati (pocket-cameras) mase svega 200 g, snabdjeveni kao i veliki aparati automatikom, elektronikom i nadasve dobrim objektivima vrlo malene žarišne daljine, a vrlo velike sposobnosti razdvajanja, a uz to velike svjetlosne jačine. Naravno, za takve su aparate potrebni i posebni filmovi velike sposobnosti razdvajanja, tako da se mogu znatnim povećanjem dobiti oštre pozitivne snimke.

U pogledu fotografske obrade, stremljenja su usmjerena na strojnu obradu, i to ne samo razvijanja nego i kopiranja, a u reprodukcijskoj tehnici i snimanja. S tim u vezi traže se i načini što brže obrade razvijanja, fiksiranja, ispiranja i sušenja. Radi toga uvode se tzv. PE-papiri (poliesterski papiri) koji su obostrano prevučeni poliesterskim slojem. Papir se tako ne namače pa se troši manje razvijачa, može se nanijeti tanji emulzijski sloj, pa se i razvijanje i fiksiranje brže odvija, a ispiranje traje svega pola minute.

Što se tiče fotografskih materijala, nastojanja su usmjerena da se proizvedu materijali što veće osjetljivosti uz što sitnije zrno, te da emulzijski sloj bude što tanji, a time sposobnost razdvajanja što veća i omogućena velika povećanja bez pojave zrnatosti.

Nastoji se štedjeti srebro, te se traže mogućnosti da se postupci sa srebro-halogenidima zamijene elektrofotografskim postupcima. U tom pogledu važno je uvođenje posebne vrste vezivača u kolor-fotografiju, tzv. DIR-coupler (Developer Inhibitor Releasing Coupler) kojim nastaje molekula bojila uz manji broj atoma razvijenog srebra, nego što je potrebno s do sada uobičajenim vezivačima.

Iako će crno-bijela fotografija i u budućnosti zadržati neka područja primjene fotografije, opće je stremljenje za primjenu kolor-fotografije. Veliku će ulogu u tom prijelazu odigrati preobratni kolor-papir, kojim se kopiranjem s kolor-dijapozitiva dobiva pozitivna slika u boji. Pritom je još i kopiranje i kemijska obrada pojednostavljena. Osim toga proizvedena je jedna vrsta kolor-filma kojim se može snimati uz svjetlo žarulja, kao i uz danje svjetlo, i to u svako doba dana, a bez primjene bilo kakvog filtra. To je postignuto redukcijom osjetljivosti na ljubičasti i crveni dio spektra.

Džepni fotografski aparat s preobratnim kolor-filmom svega 16 mm širine uz preobratni kolor-papir čini fotografiju u boji i jeftiniju, i štedljiviju, i praktičniju.

LIT.: M. Plotnikov, Infracrvena fotografija, Zagreb 1946. — B. Newhall, The History of photography, New York 1949. — H. Gernsheim - A. Gernsheim, The History of photography, London-New York-Toronto 1955. — E. Mutter, Die Technik der Negativ und Positivverfahren, Wien 1955. — P. Glasfinkes, Photographic chemistry, I, II, London 1958. — K. Weber, Kolor fotografija, Zagreb 1960. — C. B. Neblette, Photography, its materials and processes, New York 1962. — The focal encyclopedia of photography Vol. 1. i 2, London - New York 1965. — R. M. Schaffert, Electrophotography, London-New York 1965. — E. Mutter, Farbphotographie (Theorie und Praxis), Wien 1967. — G. Spitzing, Grenzbereiche der Fotografie, Seebuck am Chiemsee 1968. — C. E. Engel, Photography for the scientist, London-New York 1968. — Д. З. Бунимович, А. Б. Фомин, Справочник фотографа, Москва 1970. — C. R. Arnold, P. J. Rolis, James C. J. Stewart, Applied photography, London 1971. — E. A. Weber, Farbphotopraktikum, Berlin-New York 1971. — C. I. Jacobson and L. A. Manheim, Enlarging (The technique of the positive), London 1972. — P. Kowalski, Théorie photographique appliquée, Paris 1972. — C. I. Jacobson and R. E. Jacobson, Developing (The negative technique), London 1972.

K. Kempni

FOTOGRAMETRIJA, tehnika mjerenja pomoću koje se iz fotografskih snimaka izvodi oblik, veličina i položaj snimljenog predmeta. Tom tehnikom izvršena izmjera naziva se *fotogrametrijska izmjera* ili kraće *fotoizmjera*.

Kod njene primjene u geodetske svrhe snimljeni je predmet (objekt) zemljište s njegovim prirodnim i umjetnim pojedinostima, od kojeg se fotogrametrijskim metodama dobiva bilo samo situacija, bilo situacija s konfiguracijom. Općenito se dobiva od snimljenog objekta ili dvodimenzionalna (ravninska) ili trodimenzionalna (prostorna) predodžba.

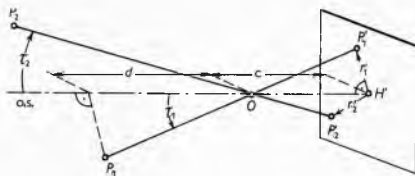
Zahvaljujući okolnosti da se fotogrametrijska izmjera ne vrši direktno na samom objektu, već se objekt snima iz daljine ili dapače iz velike udaljenosti, otvaraju se za izmjernu nova područja, na kojima je ona dotada zbog nepristupačnosti ili slabe pristupačnosti objekta bila nemoguća ili teška (prašume, ledenjaci, pustinje, močvare, podvodni plicaci i grebeni, unutrašnjost čovječjeg tijela itd.). Okolnost pak da se kratkotrajnom ekspozicijom snima cijela (vrlo često i golema) površina, tj. ∞^2 tačaka, odjedanput, a ne tačka po tačku, čini fotogrametrijsku metodu izvanredno brzom.

Fotogrametrijom se plan može izraditi ne samo konturno (samo s graničnim linijama između raznovrsnih elemenata, npr. između dvije parcele, i generaliziranim predodžbom tih elemenata), već i tako da on sadrži također sve pojedinosti vidljive s položaja kamere kojom se snima. To pri primjeni u geodeziji nije uvijek potrebno, a katkada nije ni poželjno, ali takav plan u fotografskom obliku predstavlja novi kvalitet za veliki broj drugih područja, kao što su hidrotehnika, projektiranje komunikacija, urbanizam, sanacija tla, itd.

Ovo su glavne osobine, ali ne i jedine, koje su uvjetovale brz prodor i afirmaciju fotogrametrijske metode u izmjeri raznovrsnih područja.

Optičko preslikavanje pri fotografskom snimanju

Kako je u fotogrametriji objektiv pojmovno i materijalno sa snimkom čvrsto povezan u kameru, neki optički pojmovi koji se odnose na objektiv prevode se u fotogrametrijske pojmove koji se odnose na kameru. Optička os objektivu prevodi se u *osi snimanja* (o. s.), koja je definirana kao pravac kroz projekciono središte okomit na ravninu snimka (fotograma, sl. 1); taj pravac



Sl. 1. Geometrijska predodžba optičkog preslikavanja. o. s. os snimanja

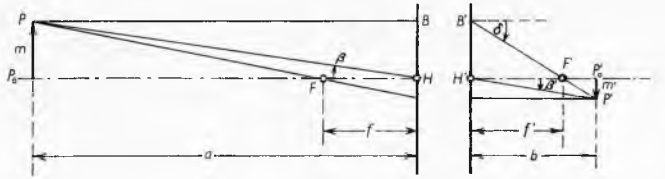
probada snimak u *glavnoj tački snimka* H' ; slikovna, odn. žarišna daljina b , odn. f (v. sl. 2) prevodi se u *konstantu kamere* c , koja povezuje *radijalnu udaljenost* r' s *osnim kutom* τ , i to — za nedeformirane snimke — prema jednadžbi $r' = c \tan \tau$, koja vrijedi za centralnu projekciju. Pri tom je osni kut onaj kut što ga zatvara (glavna) zraka preslikavane tačke s optičkom osi (osi snimanja). Konstanta snimka c je po veličini vrlo blizu slikovnoj daljini b , koja za optički neizmjerne udaljenosti snimanja prelazi u žarišnu daljinu f .

Efekt djelovanja objektivu u stvaranju slike m' predmeta m okomitog na optičku os određen je geometrijski konstrukcijom prikazanom na sl. 2. Optička pridruženost (konjugiranost) pred-

meta m i slike m' izražena je glavnom dioptrijskom formulom

$$(1 : a) + (1 : b) = (1 : f),$$

gdje su a , b i f predmetna, slikovna i žarišna daljina. Ravnine okomite na optičku os u kojima se nalaze dužine HB i $H'B'$ jesu *prednja*, odn. *stražnja glavna ravnina objektivu*. One su jedna drugoj optički pridružene; mjerilo preslikavanja za njih je $1 (HB = H'B')$.

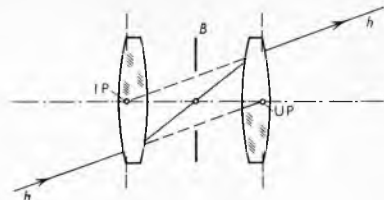


Sl. 2. Grafičko određivanje položaja slike na osnovi glavne dioptrijske formule

Između glavnih ravnina konstrukcija se prekida, te se stanje u glavnoj ravnini kroz HB prenosi u glavnu ravninu kroz $H'B'$. Prostor ispred prednje glavne ravnine naziva se *prostor predmeta*, a prostor iza stražnje glavne ravnine *prostor (realne) slike* ili *snimka*. Zraka iz tačke P paralelna s optičkom osi skreće u prostoru slike prema stražnjem fokusu F' , a zraka iz te tačke koja prolazi prednjim fokusom F nastavlja put u prostoru slike paralelno s optičkom osi. Ako je ispred i iza objektivu medij iste optičke gustoće (istog indeksa loma: $n = n'$), zraka koja ide od P prema glavnoj tački H u prostoru slike samo je paralelno pomaknuta u smjer $H'P'$, pa je kut β jednak kutu β' . Ako su ispred i iza objektivu mediji različite optičke gustoće, paralelna će biti zraka koja u prostoru predmeta polazi od tačke P i smjera prema nekoj tački K na optičkoj osi objektivu, s njenom pridruženom zrakom u prostoru slike, koja ima smjer iz tačke K' na optičkoj osi. Tačke K i K' zovu se *prednja* i *stražnja čvorna tačka* i one su identične s glavnim tačkama H i H' za $n = n'$.

Perspektiva fotogrametrijskih snimaka

Perspektiva fotogrametrijskog preslikavanja određena je položajem projekcionog središta objektivu kamere i smjerom osi snimanja koja kroz nj prolazi. Projekciono središte nalazi se u središtu ulazne pupile UP (sl. 3). Na snimku (fotogramu) bit će



Sl. 3. Fizikalna projekciona središta optičkog preslikavanja

preslikano sve što bi se vidjelo iz središta UP ulazne pupile objektivu, a što je obuhvaćeno vidnim poljem kamere. [Središte ulazne pupile objektivu UP i središte izlazne pupile objektivu IP vrhovi su ulaznog (vanjskog) i izlaznog (unutarnjeg) snopa glavnih zraka h koje faktički prolaze središtem dijafragme B.]

U fotogrametriji upotrebljava se pojednostavnjena predodžba optičkog preslikavanja koja potpuno zadovoljava za analizu geometrijskih odnosa, naročito diferencijalnih. Prema toj predodžbi aproksimira se optičko preslikavanje centralnom projekcijom kojoj je projekciono središte O ulazna pupila objektivu, tj. svaka tačka P predmeta (npr. na sl. 1 tačke P_1 i P_2) preslika se na snimak pomoću pravocrtne zrake POP' koja prolazi istom tačkom O . Ako se može zamisliti da je snimak nastao kao rezultat idealne centralne projekcije, kaže se da je takav snimak nedeformiran, a ako snimak od tog svojstva odstupa, to se odstupanje zove *deformacija snimka* (fotograma). Optička deformacija fotograma izazvana je pogreškom objektivu koja se zove *distorzija*.

Položaj projekcionog središta naziva se u geodeziji stajalište. U aerofotogrametriji, gdje pri snimanju iz aviona kamera kojom se snima nije nepokretna, te prema tome nije nepokretno ni projekciono središte, položaj se ovog naziva *snimalište*.