

FEDOR VALIĆ

ODREĐIVANJE OPTIČKE GUSTOĆE STAKALA ZA ZAŠTITNE NAOČARI

Opisane su metode za mjerenje propusnosti zaštitnih stakala u ultravioletnom i vidljivom spektralnom području. Mjerenja su izvršena pomoću Pulfrichova fotometra, König-Martensova i Beckmanova spektralnog fotometra, te pomoću Zeissova univerzalnog spektrografa sa staklenom optikom za vidljivi, a s kvarcnom optikom za ultravioletni dio spektra.

Detaljno je opisan način rada na spektrografu. Za pravilno smanjivanje intenziteta energije zračenja pri ekspoziciji fotografske ploče upotrebljena je serija metalnih mrežica poznate propusnosti. Izračunavanje propusnosti stakala velike optičke gustoće izvršeno je pomoću zakona recipročnosti ili Schwarzschildova odnosa.

UVOD

U našoj zemlji nema posebnih propisa za zaštitu očiju od ultravioletnog, vidljivog i infracrvenog zračenja. U općem pravilniku o higijenskim i tehničkim zaštitnim mjerama pri radu postoji samo općenita odredba, »da se svim osobama zaposlenim na radovima, pri kojima su u opasnosti oči i lice (zbog jake svjetlosti, ugrijavanja, isparavanja i prskanja jetkih tekućina, prašine, iskara i t. d.) moraju dati na raspolaganje zaštitne naočari, štitnici za oči i lice i sl.« Tehničke norme i metode ispitivanja zaštitnih naočari nisu navedene.

Vrsta zaštitnih stakala zavisi od vrste posla, jer se ne može upotrebiti isto zaštitno staklo na pr. pri plinskom svarivanju, gdje je vidljivo zračenje vrlo intenzivno, a ultravioletno je relativno slabo, i pri električnom lučnom svarivanju, gdje se razvija 100 do 150 puta više ultravioletnog zračenja (1, 2). U prvom slučaju treba zaštitnim staklom u prvom redu smanjiti intenzitet vidljivog svijetla, a u drugom ultravioletnog zračenja. Ne mogu se pače ni pri istovrsnom svarivanju upotrebiti ista stakla, ako se ono ne vrši uz jednake uvjete (jakost struje, debljina elektroda, i t. d.). Postoje fiziološke granice, do kojih smije porasti intenzitet infracrvenog, vidljivog i ultravioletnog zračenja, a da ne djeluje štetno na oko. S druge strane treba paziti, da se zaštitnim naočarima intenzitet svijetla ne smanji previše, jer slaba vidljivost smeta pri radu, pa ugrožava radnika.

Prema tome za klasifikaciju zaštitnih stakala od osnovne su važnosti njihova optička svojstva.

KLASIFIKACIJA ZAŠTITNIH STAKALA

Kao kriterij za klasifikaciju služili su nam američki propisi (3), koji svrstavaju zaštitna stakla u 12 razreda prema stupnju propusnosti u pojedinim spektralnim područjima. Broj razreda definiran je ovako:

$$\text{Br. R.} = 7/3D + 1,$$

gdje je

$$D = \log \frac{I_0}{I} = \log \frac{1}{T}.$$

D je optička gustoća, T je propusnost, I_0 je intenzitet energije zračenja prije prolaza kroz staklo, I je intenzitet nakon prolaza kroz staklo.* Iz navedenih se formula vidi, da se mjerenje propusnosti i optičke gustoće svodi na mjerenje intenziteta energije zračenja prije i nakon prolaza kroz staklo.

SPEKTRALNA PODRUČJA MJERENJA

Prema američkim standardima propisane su za mjerenje propusnosti zaštitnih stakala četiri valne dužine u ultravioletu, i to 313, 334, 365 i 405 milimikrona. Te valne dužine uzete su s jedne strane zato, što su to valne dužine vrlo intenzivnih emisionih spektralnih linija žive, a s druge strane te točke pokrivaju čitavo ultravioletno područje, koje staklo propušta. Nijedno staklo deblje od 2 mm ne propušta zračenje s valnom dužinom ispod 280 milimikrona, pa u tom kratkovalnom ultravioletu ni ne treba mjeriti propusnost. Jasno je, da mjerenja kod te četiri točke ne bi bila dovoljna, kad bi zaštitna stakla imala uske vrpce propusnosti između tih valnih dužina. Iskustvo je, međutim, pokazalo, da se krivulje propusnosti zaštitnih stakala jednoliko penju, odnosno padaju u spomenutom ultravioletnom području.

Za vidljivi dio spektra u navedenim su američkim propisima dane samo grube, dosta visoke granice propusnosti za ukupno vidljivo svjetlo, jer je u tom području dovoljan kriterij vlastiti osjećaj udobnosti svariivača.

Eksperimentalni dio

Budući da u Institutu za higijenu rada nije bilo termostupa, koji se najčešće upotrebljava za mjerenje propusnosti, upotrebljene su fotometrijske, spektrofotometrijske i spektrografske metode.

* Pod pojmom »intenziteta energije zračenja (I)« razumijevamo energiju, koju elektromagnetsko zračenje prenosi kroz jediničnu površinu u jedinici vremena. Tako definiran pojam »intenziteta energije zračenja« pokriva se s definicijom pojma »intenzitet osvjjetljenja« (intensity of irradiation ili intensity of illumination, Bestrahlungsstärke), koji se upotrebljava u fotometriji i rasvjetnoj tehnici.

MJERENJA POMOĆU SPEKTRALNIH FOTOMETARA

Mjerenja su izvršena pomoću dva tipa spektralnih fotometara: vizuelnog König-Martensova spektralnog fotometra za vidljivo područje i Beckmanova fotoelektričkog za ultravioletni i vidljivi dio spektra.

S König-Martensovim aparatom bilo je moguće mjeriti samo stakla visoke propusnosti, i to uz upotrebu volframove žarulje od 500 vata. Stakla niske propusnosti nije se moglo mjeriti.

S Beckmanovim aparatom moglo se je vršiti apsolutna mjerenja propusnosti (t. j. relativno prema zraku, koji u tom području ne apsorpira) u čitavom ultravioletnom i vidljivom području, ali također samo na staklima razmjerno visoke propusnosti. Ako se želi izmjeriti propusnost optički gustih stakala u odnosu na propusnost zraka, treba izmjeriti propusnost stakla u odnosu na neki standard, kojem se propusnost ne razlikuje mnogo od propusnosti ispitivanog stakla. Razlike u optičkoj gustoći standarda i ispitivanog stakla ne treba da budu mnogo preko 1. Takvim se načinom mjerenja izbjegavaju i pogreške, koje nastaju zbog raspršivanja zračenja (4). Neki rezultati takvih mjerenja izneseni su u tablici I.

Ni taj način rada nije upotrebljiv u cijelom spektralnom području, ako je propusnost stakla vrlo niska. Izvor svjetla aparata je, naime, preslab, a osjetljivost fotostanice premalena, da bi se mogao registrirati slabi intenzitet energije zračenja nakon prolaza kroz takvo staklo.

MJERENJA POMOĆU SPEKTROGRAFA

Mjerenja pomoću spektralnih fotometara vrlo su jednostavna i brza, ali se ne mogu primijeniti na zaštitna stakla veće optičke gustoće. Za takva stakla preostala je još samo mogućnost indirektnog mjerenja fotografskim putem, pri kojem se intenzitet zračenja ne mjeri direktno, nego se izračunava iz zacrnljenja fotografske ploče. Budući da se kod fotografskih metoda produljenom ekspozicijom efekti sumiraju, mogu se na taj način registrirati i najmanji intenziteti zračenja, ako je ekspozicija dovoljno dugačka. U tome je prednost fotografske ploče pred fotostanicom.

Veličina, koja je odlučna za fotografski efekt, je količina energije zračenja (E). To je ukupna energija zračenja, koju u vremenu t prima 1 cm^2 fotografskog sloja.

$$E = I \cdot t \quad (1)$$

E je količina energije zračenja, I intenzitet energije zračenja, a t je vrijeme ekspozicije.

Poznato je, da u određenom području ekspozicije (područje »linearne ekspozicije«) postoji linearni odnos između zacrnljenja eksponiranih i razvijenih fotografskih slojeva i logaritma količine energije zračenja,

Tablica I

	Oznaka zaštitnog stakla	O p t i č k a g u s t o ć a			
		313 m μ	334 m μ	365 m μ	405 m μ
Mjereno prema zraku	F. 2	0,743	0,924	0,890	0,562
"	F. 3	1,568	1,242	0,986	0,844
"	F. 5	1,052	1,363	> 2 ne može se direktno mjeriti	> 2 ne može se direktno mjeriti
"	standard	0,346	0,698	1,091	1,215
Mjereno prema standardu	F. 5	0,701	0,662	1,032	1,028
Vrijednost prema zraku (računski)	F. 5	1,047	1,360	2,123	2,243
Mjereno prema zraku	F. 7	0,960	1,274	> 2 ne može se direktno mjeriti	> 2 ne može se direktno mjeriti
Mjereno prema standardu	F. 7	0,616	0,569	1,009	1,020
Vrijednost prema zraku (računski)	F. 7	0,962	1,267	2,100	2,235

Mjerenja su izvršena na Beckmanovom spektralnom fotometru.

koja je upotrebljena kod ekspozicije. Prema tome se može mjerenjem zacrnljenja ploče (fotometriraanjem) zaključiti na intenzitet zračenja.

Mjerenje propusnosti stakala na spektrografu obično se vrši tako, da se na fotografsku ploču snimi najprije spektar izvora zračenja; zatim se između izvora i spektrografa stavi staklo, koje se ispituje i ponovo

na istu ploču snimi spektar. Vrijeme ekspozicije treba da bude za obje snimke isto. Propusnost se izračuna iz odnosa:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{G_1}{G_2} \quad (2)$$

gdje je I_1 intenzitet energije zračenja prije prolaza kroz staklo, I_2 intenzitet nakon prolaza kroz staklo, a G_1 i G_2 su odgovarajući otkloni galvanometra pri fotometriranju eksponirane i razvijene ploče. Za mjerenje stakala niske propusnosti taj se način rada ne može upotrebiti, jer su potrebne vrlo velike količine energije zračenja (E), da se kroz zaštitno staklo postignu minimalna zacrnljenja na ploči, a uz takve se uvjete pri ekspoziciji bez stakla izlazi iz područja »normalnih ekspozicija« (linearni dio krivulje zacrnljenja). Budući da samo u tom području vrijedi odnos (2), otpada ta mogućnost mjerenja. Zbog toga je za izračunavanje propusnosti upotrebljeno pravilo recipročnosti BUNSENA i ROSCOEA, koje ne zahtijeva jednako vrijeme ekspozicije.

Jednadžba (1) izražava pravilo recipročnosti, koje nam kaže, da intenzitet energije zračenja možemo toliko puta smanjiti, koliko smo puta povećali vrijeme ekspozicije, a da ipak dobijemo jednaki fotografski efekt (zacrnljenje). Drugačije formulirano to pravilo glasi: zacrnljenje je isto, ako je

$$I_1 \cdot t_1 = I_2 \cdot t_2 = I \cdot t = \text{konst.} \quad (3)$$

Iz te jednadžbe možemo izračunati I_2 , ako znamo I_1 ; t_1 i t_2 određujemo sami.

To pravilo ne vrijedi strogo, pa je SCHWARZSCHILD dao drugu (empirijsku) formulu, koja bolje odgovara, a koja nam kaže, da će nastati jednako zacrnljenje, ako je konstantan produkt $I \cdot t^\beta$, gdje je β Schwarzschildova konstanta karakteristična za fotografski sloj.

Izvori svijetla

Za mjerenja propusnosti pri jednoj određenoj dužini vala ne igra ulogu spektralni sastav zračenja, što ga daje izvor, uz uvjet, da je taj sastav konstantan za vrijeme mjerenja; za mjerenja propusnosti ukupne energije zračenja ili ukupnog vidljivog svijetla to nije tačno. Budući da je propusnost za ukupno zračenje zapravo zbroj propusnosti pri svakoj pojedinoj dužini vala, jasno je, da će spektralni sastav zračenja, što ga daje izvor, utjecati na rezultate ispitivanja. Prema tome izvor svijetla, koji jako emitira u jednom spektralnom području, a vrlo slabo u drugom (»selektivni linijski izvori«), ne dolazi u obzir za mjerenje ukupne energije zračenja. Jedan takav primjer je niskotlačna živina svjetiljka. Za mjerenje propusnosti ukupnog vidljivog zračenja dobra je žarulja s volframovom niti, koja daje kontinuirani spektar u vidljivom području.

Spektralna razdioba volframove niti zavisi od njezine temperature, koja se može regulirati promjenom napetosti električne struje. Na taj se način može točno definirati izvor svjetla. Pri reguliranju temperature ne traži se naročita točnost, jer se vrijednost za propusnost neznatno mijenja pri prilično znatnim promjenama radnog napona.

Za mjerenja u ultravioletnom području najprikladniji je izvor zračenja živina svjetiljka već i zbog toga, što su dužine vala 313, 334, 365 i 405 milimikrona područja vrlo intenzivnih emisionih linija žive. Ako se iz nekih razloga mora raditi s drugim izvorom ultravioletnog zračenja, onda treba da mjerenja vršimo pri valnim dužinama, koje su što bliže valnim dužinama od 313, 334, 365 i 405 milimikrona.

Mjerenja u ultravioletnom području

Za opisana mjerenja u ultravioletnom području bio je upotrebljen Zeissov univerzalni spektrograf s kvarcnom optikom i formatom kamere 13×18 cm. Kao izvor svjetla upotrebljena je kvarcna živina svjetiljka na izmjeničnu struju, a u nekim slučajevima istosmjerni električni luk između elektroda određenog sastava. Oštrina snimke bila je udešena projekcijom oštre slike izvora zračenja na jednu međupukotinu; na taj se način dobiva oštra slika međupukotine u kolimatorskoj leći (5). Ekspozirane ploče razvijane su u metol-hidrokinonskom razvijaju 4 minute kod $18-20^{\circ}$ C.

Najprije je snimljeno nekoliko spektara izvora zračenja s različitim vremenom ekspozicije, na pr. 1, 2, 4, 6, 8, 12, 15, 30 sekunda uz širinu ulazne pukotine spektrografa od 0,02 mm. Na istu ploču je nakon toga snimljeno nekoliko spektara izvora zračenja kroz ispitivano zaštitno staklo i opet uz različita vremena ekspozicije, ali uz 5 puta veću ulaznu pukotinu aparata. Pukotina je povećana radi toga, da se dobije veća količina zračenja. Intenzitet zračenja jako je oslabljen prolazom kroz staklo, a povećanje ulazne pukotine djeluje u određenim granicama kao povećanje intenziteta zračenja. Ekspozicije treba odabrati tako, da se sa zaštitnim staklom i bez njega postigne jednako zacrnjenje. Kod stakala velikih optičkih gustoća dosežu ekspozicije 6, 12 pa i 24 sata. Posebno su snimljene skale za dužinu vala.

Nakon razvijanja i fiksiranja osušena je ploča fotometrišana. Za to je upotrebljen Zeissov fotoelektrični fotometar, koji služi za mjerenje zacrnjenja spektralnih linija pri kvantitativnoj spektralnoj analizi. Tim su fotometrom izmjerena zacrnjenja linija žive pri već spomenutim dužinama vala od 313, 334, 365 i 405 milimikrona, i to na svim snimkama ploče. Zacrnjenje ploče računa se pomoću izraza:

$$D = \log \frac{G_m}{G}. \quad (4)$$

G_m je otklon galvanometra na fotometru u momentu, kad na fotoelement pada svjetlo, koje je prošlo kroz neosvijetljena mjesta foto-grafske ploče, a G je otklon galvanometra na eksponiranim (zacrjnim) mjestima ploče.

Pošto su pomoću formule (4) izračunana sva zacrnjenja, potraže se ona mjesta na ploči, gdje su snimanjem kroz zaštitno staklo i bez stakla dobivene jednake vrijednosti zacrnjenja pri istoj valnoj dužini. Takva se mjesta često mogu naći, ako je broj snimaka na ploči dovoljno velik, jer su bez stakla (veliki intenzitet energije zračenja I , koje pada na ploču) upotrebene vrlo kratke ekspozicije (kratko vrijeme t), a uz upotrebu stakla (maleni intenzitet zračenja) vrlo duge ekspozicije (veliko t). Na taj je način ispunjen Bunsen-Roscoeov zakon recipročnosti, t. j. u oba slučaja je na ploču pala približno jednaka količina energije zračenja, pa se prema tome mogu naći i mjesta jednakog zacrnjenja. Za ta mjesta, gdje su na ploči dobivena jednaka zacrnjenja snimanjem kroz staklo i bez stakla, može se postaviti jednadžba:

$$I \cdot t = I_s \cdot t_s. \quad (5)$$

I je intenzitet energije zračenja bez zaštitnog stakla, t je odgovarajuće vrijeme ekspozicije u sekundama, I_s je intenzitet energije zračenja nakon prolaza kroz zaštitno staklo, a t_s je vrijeme ekspozicije sa staklom. Za I se proizvoljno uzme vrijednost 100, t i t_s se izmjere kronometrom ili metronomom, pa u gornjoj jednadžbi ostane samo jedna nepoznanica I_s , koja se lako izračuna. Na taj su način dobivene vrijednosti za I i I_s , a iz toga i propusnost I_s/I , koja je mjerodavna za klasifikaciju zaštitnih stakala. Takav se račun provede posebno za svaku traženu dužinu vala, pa se dobije propusnost u svim potrebnim područjima ultravioleta.

Ako se na taj način na ploči ne nađu jednaka zacrnjenja na snimkama sa zaštitnim staklom i bez njega, i to pri svim potrebnim valnim dužinama, treba snimiti još jednu ploču. Sada je, međutim, prijašnja ploča putokaz kod odabiranja ekspozicija, pa na drugu ploču treba snimiti samo jednu snimku zaštitnog stakla (s najmanjom ekspozicijom, koja još daje značajno zacrnjenje) i nekoliko snimaka samog izvora zračenja s ekspozicijama, koje su odabrane tako, da jedna sigurno daje zacrnjenje jednako zacrnjenju dobivenom snimanjem kroz zaštitno staklo.

S obzirom na to, da različna stakla različito propuštaju u različnim spektralnim područjima, moramo taj način odabiranja ekspozicija na ponovljenoj ploči upotrebiti posebno za svaku valnu dužinu, pri kojoj mjerimo. Na tu se ploču nanese veći broj snimaka (ploča formata 13×18 može primiti i do 34 spektra) izvora zračenja tako, da se u svakoj grupi ekspozicija – a svaka grupa je nanesena zbog jedne valne dužine – nađe jedna, koja će dati zacrnjenje jednako onom, koje je dobiveno kroz ispitivano staklo pri toj dužini vala. Nakon toga se za svaku dužinu vala postavi zakon recipročnosti (ili Schwarzschildov odnos) i provede već spomenuti način računanja, kao što je dalje prikazano.

Tablica II

Rezultati ispitivanja jednog zaštitnog stakla za svarivanje

Vrijeme ekspozicije		313 m μ		334 m μ		365 m μ		405 m μ	
		G	D	G	D	G	D	G	D
Bez zaštitnog stakla	12"	114	0,846	343	0,368	90	0,949	56	1,155
	8"	131	0,786	370	0,335	105	0,882	66	1,084
	6"	157	0,707	422	0,278	114	0,846	82	0,990
	4"	197	0,609	540	0,171	133	0,779	97	0,916
	2"	279	0,459	668	0,078	195	0,613	153	0,718
	1"	392	0,310	—	—	303	0,422	259	0,490
	0,5"	479	0,223	—	—	445	0,255	423	0,277
Kroz zaštitno staklo	22'	476	0,225	—	—	—	—	282	0,453
	12'	—	—	664	0,081	217	0,567	—	—
	6'	—	—	—	—	304	0,420	420	0,280
	3'	—	—	—	—	473	0,228	763	0,021

G = odklon galvanometra
D = optička gustoća

Izračunavanje

$$I \cdot t = I_s \cdot t_s \cdot Q$$

$$Q = \frac{\text{širina pukotine spektrografa pri snimanju kroz zaštitno staklo}}{\text{širina pukotine spektrografa pri snimanju bez zaštitnog stakla}}$$

$$T = \frac{I_s}{I} \cdot 100 = \frac{t}{t_s Q} \cdot 100$$

$T = \frac{313 \text{ m}\mu}{22 \cdot 60 \cdot 5} \cdot 100 = 0.0076 \%$	$T = \frac{365 \text{ m}\mu}{6 \cdot 60 \cdot 5} \cdot 100 = 0.056 \%$
$T = \frac{334 \text{ m}\mu}{12 \cdot 60 \cdot 5} \cdot 100 = 0.056 \%$	$T = \frac{405 \text{ m}\mu}{6 \cdot 60 \cdot 5} \cdot 100 = 0.028 \%$

Prema navedenim američkim standardima možemo mjereno zaštitno staklo za svarivanje svrstati u sve grupe do zaključno desete. Definitivnu grupu dobili bismo mjerenjem propusnosti za vidljivo područje. Prema vrijednostima u ultravioletu staklo se može upotrebiti za plinsko svarivanje, za električno svarivanje i rezanje do 200 ampera.

Kod stakala najmanjih propusnosti postupak se komplicira. Ako je, naime, intenzitet izvora zračenja tako malen, da uz osvjetljavanje od 1–30 sekunda ostajemo još u području »normalne ekspozicije«, onda obično treba kroz zaštitno staklo eksponirati tri, četiri, pa i više dana, da bismo dobili odgovarajuće zacrtnjenje. To je s jedne strane velik gubitak vremena, a s druge je strane vrlo teško držati intenzitet izvora svijetla konstantnim i kontrolirati ga tako dugo vrijeme.

Ako se opet radi s jačim intenzitetom izvora zračenja, pa se kroz staklo dobiju dovoljna zacrtnjenja uz ekspozicije od 6–24 sata, onda uz taj jaki intenzitet dolazimo pri snimanju bez zaštitnog stakla u područje preekspozicije, odnosno solarizacije fotografskog sloja već i uz ekspoziciju od nekoliko sekunda. Uz ekspoziciju od 1 sekunde je uz te uvjete već postignuto veće zacrtnjenje, nego uz najdužu ekspoziciju kroz zaštitno staklo. Kako u području solarizacije postoji čak i mogućnost, da uz veće količine energije zračenja počnu zacrtnjenja padati, jasno je, da u tom području više ne vrijedi zakon recipročnosti, po kojem je izvršeno izračunavanje. Ta je poteškoća bila riješena smanjenjem intenziteta energije zračenja kod snimaka bez zaštitnog stakla serijom pocrnjenih metalnih mrežica, kojima je propusnost bila posebno određena. To se smanjenje intenziteta energije zračenja može izvesti i na druge načine, kao rotirajućim sektorom, sivim filtrima, pravilnim udaljivanjem izvora zračenja i t. d.

Kako se čitav taj način mjerenja propusnosti zaštitnih stakala temelji na zakonu recipročnosti, koji vrijedi samo približno, točnost metode nije naročito velika, ali sasvim zadovoljava s obzirom na to, da za tu svrhu nije ni potrebna veća točnost. To se vidi po prilično širokim tolerancijama za granice propusnosti pojedinih razreda, u koje su svrstana zaštitna stakla prema spomenutim američkim standardima. Veća se točnost može postići upotrebom Schwarzschildove jednadžbe, ali to pretpostavlja poznavanje ili mjerenje Schwarzschildova eksponenta.

Još jedna činjenica onemogućuje upotrebu te metode za sasvim točna mjerenja. Razlika ekspozicije je u nekim slučajevima vrlo velika, a uz tako velike razlike nastaju dalja odstupanja od zakona recipročnosti, pa i od Schwarzschildova zakona.

Mjerenje pomoću krivulje zacrtnjenja

Vrijeme utrošeno na određivanje propusnosti zaštitnih stakala skraćuje se znatno, ako se mijenja intenzitet energije zračenja, a ne vrijeme ekspozicije, ili ako se kombinira jedan i drugi postupak, kao što je to učinjeno i pri ovim ispitivanjima. Uzeta je jedna serija metalnih mrežica različite gustoće i debljine niti. Svakoj pojedinoj mrežici izmjerena je propusnost. Na taj je način dobivena mogućnost, da se smanji intenzitet energije zračenja na poznate iznose postavljanjem kombinacije mrežica između izvora i spektrografa pri snimanju samog izvora zračenja.

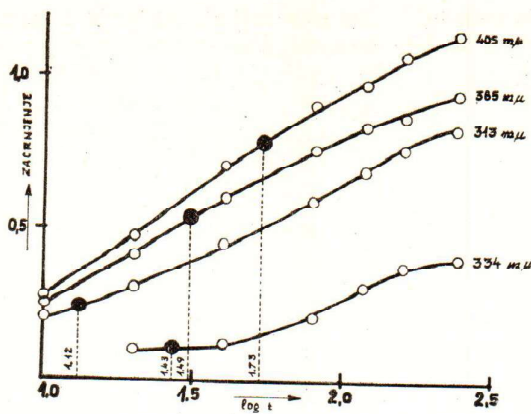
Tako se znatno smanjuje razlika intenziteta zračenja, koje pada na ploču kroz zaštitno staklo i bez stakla. Uz te uvjete može se postići jednako zacrtnjenje kroz staklo i kroz mrežice, a da se ekspozicije znatno ne razlikuju. Međutim, vremenski je nemoguće snimiti možda i 20 spektara kroz mrežice (a to je katkada potrebno, da bi se dobilo upravo jednako zacrtnjenje, kao na snimci kroz zaštitno staklo) uz ekspozicije od 6 ili 12 sati. Zato je bila upotrebljena krivulja zacrtnjenja.

Krivulja zacrtnjenja nekog fotografskog sloja pokazuje odnos između zacrtnjenja osvijetljenog, razvijenog i fiksiranog sloja i logaritma produkta $I \cdot t$. Iz poznate se, dakle, krivulje zacrtnjenja može za bilo koje zacrtnjenje ploče dobiti odgovarajuća vrijednost $I \cdot t$.

Pri ispitivanju zaštitnih stakala postupa se na ovaj način. Najprije se snimi nekoliko snimaka zaštitnog stakla uz različito vrijeme ekspozicije. Nakon toga se na istu ploču snimi 5–6 snimaka izvora svijetla kroz jednu ili više mrežica. Nakon razvijanja i fotometriiranja ploče pri određenim valnim dužinama nacrtava se za svaku valnu dužinu posebna krivulja zacrtnjenja. Od snimaka zaštitnog stakla uzima se uvijek ona, kojoj zacrtnjenje leži na ovako dobivenoj krivulji zacrtnjenja, a iz te se krivulje očita vrijednost produkta $I \cdot t$, koja je potrebna, da se bez stakla dobije jednako zacrtnjenje na ploči. Nakon toga se postavi jednadžba recipročnosti ili Schwarzschildov odnos, i izračuna propusnost na isti način kao i prije. (Vidi tab. III, dijagram i izračunavanje.)

Tablica III

	Vrijeme ekspozicije	313 m μ		334 m μ		365 m μ		405 m μ	
		G	D	G	D	G	D	G	D
Kroz mrežice propusnosti 50%	240"	119	0,828	313	0,407	92	0,939	58	1,140
	160"	137	0,766	340	0,372	108	0,870	68	1,071
	120"	163	0,691	387	0,315	117	0,835	84	0,979
	80"	205	0,591	495	0,208	137	0,766	100	0,903
	40"	288	0,444	615	0,114	199	0,604	158	0,704
	20"	407	0,294	648	0,091	311	0,410	267	0,477
	10"	497	0,207			459	0,241	434	0,266
Kroz zašt. staklo	88'	459	0,241	628	0,105	235	0,532	132	0,783



Dijagram 1.

Izračunavanje

$$I \cdot \frac{P}{100} \cdot t = I_s \cdot t_s \cdot Q$$

P – propusnost mrežica u procentima

$$T = \frac{I_s}{I} \cdot 100 = P \frac{t}{t_s \cdot Q}$$

313 m μ

$P = 5$ $Q = 5$
 $t = \text{antilog } 1,12 = 13''$
 $t_s = 88'$

$$T = 5 \frac{13}{88 \cdot 60 \cdot 5} = 0,00246 \%$$

334 m μ

$P = 5$ $Q = 5$
 $t = \text{antilog } 1,43 = 27''$
 $t_s = 88'$

$$T = 5 \frac{27}{88 \cdot 60 \cdot 5} = 0,00511 \%$$

365 m μ

$P = 5$ $Q = 5$
 $t = \text{antilog } 1,49 = 31''$
 $t_s = 88'$

$$T = 5 \frac{31}{88 \cdot 60 \cdot 5} = 0,00587 \%$$

405 m μ

$P = 5$ $Q = 5$
 $t = \text{antilog } 1,73 = 54''$
 $t_s = 88'$

$$T = 5 \frac{54}{88 \cdot 60 \cdot 5} = 0,0102 \%$$

Mjerenja u vidljivom spektralnom području

U vidljivom se području mjeri propusnost za ukupno vidljivo svjetlo. Ta se mjerenja u principu mogu vršiti pomoću bilo kakvog vizuelnog fotometra bez monohromatora i bez filtara. Propusnost nekih zaštitnih stakala bila je izmjerena pomoću Pulfrichova fotometra bez upotrebe

filtrara na uobičajeni način (prema zraku). Za to je potrebna vrlo jaka žarulja, jer su inače očitavanja nesigurna.

Neka se stakla zbog male propusnosti za vidljivo svjetlo ne mogu mjeriti na Pulfrichovu fotometru. U tom se slučaju opet radi spektrofotometrijski, a ako se to, iz već prije navedenih razloga, ne može učiniti, spektrografski.

Snimke su načinjene na istom Zeissovom univerzalnom spektrografu, samo sa staklenom optikom, formatom kamere 9×12 , a kao izvor svjetla služila je žarulja s volframovom niti.

Na jednu ploču snimi se najprije ispitivano staklo, a zatim nekoliko snimaka same žarulje oslabljene mrežicama uz jednako vrijeme osvjetljavanja. Razvijena i fiksirana ploča fotometriira se u intervalima po 10 milimikrona u cijelom području vidljivog svjetla, nacrtaju se spektralne krivulje emisije volframove žarulje kroz filter i bez filtra, te integriraju krivulje (planimetrom se izmjere površine ispod krivulja ili se izbroje kockice na milimetarskom papiru), i te vrijednosti podijele uzevši u račun, da je krivulja same žarulje dobivena uz oslabljeni intenzitet. Kvocijent, koji se na taj način dobije, daje propusnost tog stakla za ukupno vidljivo područje.

Neke primjedbe

Pri ispitivanju zaštitnih stakala vrlo se često nailazi na stakla, kod kojih supstancija, koja apsorbira svjetlo, nije umiješana u samu masu stakla (obojena stakla), nego je nanescna kao sloj određene debljine na samo staklo. U nekim je slučajevima taj sloj stavljen između dva stakla. To s jedne strane otežava ispitivanje takvih stakala, a s druge su strane ta stakla mnogo osjetljivija na sve vanjske utjecaje (vlaga, temperatura, pare, plinovi). Teško je nanijeti na staklo ovakav sloj tako jednoliko, da bi on imao na svakom mjestu jednaku debljinu i da nigdje ne bi nastale rupice, pogotovu ako se još preko njega lijepi drugo staklo. U toku ispitivanja zaštitnih stakala iz prakse često su nađena takva stakla, koja se nisu mogla svrstati ni u jedan razred, jer su vrijednosti za propusnost zavisile od mjesta, na kojem su mjerenja bila izvršena. Rezultati jednoga takvog ispitivanja izneseni su u tablici IV. Staklo je bilo razdijeljeno na 4 kvadranta, pa je u svakom kvadrantu posebno izmjerena propusnost.

Tablica IV

Kvadrant	1	2	3	4
Propusnost pri 365 $m\mu$	0,21	0,03	1,12	0,01

Velika je prednost pravih obojenih stakala i u tome, što se za njih može promjenom debljine korigirati propusnost, a potrebna debljina za određenu propusnost može se dobiti računskim putem (6) pomoću formule:

$$b' = \frac{\log \frac{T'}{0,92}}{\log \frac{T}{0,92}} \cdot b,$$

gdje je b izmjerena debljina stakla u milimetrima, T je propusnost stakla, a b' je debljina, koju bi staklo trebalo imati, da bi mu propusnost bila T' . Ova formula vrijedi za stakla, kod kojih je indeks loma prema zraku približno 1,50. Velik broj zaštitnih stakala ispunjava ovaj uvjet

Pri određivanju propusnosti zaštitnih stakala pomoću spektrografa treba osobito paziti na eventualno prisutne rupice u sloju, jer se rezultati jako mijenjaju, ako je slučajno baš takva rupica stavljena pred pukotinu spektrografa. Kako je čitava ulazna pukotina spektrografa pri snimanju zaštitnih stakala dimenzije $0,1 \cdot 10$ mm, a to iznosi 1 mm^2 , to je jasno, da će i najmanja rupica utjecati na rezultat.

Najtoplije zahvaljujem dru K. Weberu na pomoći i savjetima tokom čitavog rada.

Institut za higijenu rada,
Zagreb

LITERATURA

1. Britton, J. A., Walsh, E. L.: Health Hazards of Electric and Gas Welding, J. Ind. Hyg. & Toxicol., 22 (1940) 125.
2. Liphkovitsch, I. G.: Die Elektroschweissung vom gewerbehygienischen Standpunkt, Arch. f. Gewerbepath., 5 (1934) 286.
3. American Standard Safety Code for the Protection of Heads, Eyes and Respiratory Organs, National Bureau of Standards, Handbook H24 (1938).
4. Stair, R.: Spectral-Transmissive Properties and Use of Eye-Protective Glasses, National Bureau of Standards, Circular 471 (1948).
5. Henrici, A., Scheibe, G.: Chemische Spektralanalyse, Leipzig 1939.
6. Gibson, K. S., McNicholas, H. I.: The Ultra-Violet and Visible Transmission of Eye-Protective Glasses, Technological Papers of the Bureau of Standards No 119.

SUMMARY

THE MEASUREMENT OF OPTICAL DENSITY OF GLASSES FOR PREVENTIVE GOGGLES

Methods are described for the measurement of transmission of protective glasses in the ultraviolet and the visible spectral region. The transmission measurements were performed with a Pulfrich photometer, a König-Martens and a Beckman spectrophotometer. Zeiss universal spectrograph was also used.

Measurements with Zeiss spectrograph are discussed in detail. If necessary the radiation intensity was diminished by means of a calibrated set of metal wire screens. The transmission of very dense glasses was calculated using the reciprocity law and the Schwarzschild relation.

Institute of Industrial Hygiene,
Zagreb