

Tretman površina naočalnih sočiva

- ◆ Na površine sočiva se nanose iz raznih razloga nanose tanki slojevi, prevlake .
- ◆ Osnovni razlozi su, u osnovi, dvojaci:
 - **promena optičkih osobina**, pre svega smanjenje intenziteta reflektovane svetlosti od naočalnih sočiva, i
 - **poboljšanje drugih optičkih i/ili fizičkih** osobina sočiva.
- ◆ Za promenu optičkih osobina, tretmani podrazumevaju postavljanje:
 - antirefleksione (**AR**) prevlake,
 - bojenje,
 - postavljanje fotochromnog sloja,
 - postavljanje prevlake za zaštitu od UV zračenja, i
 - ogledalske prevlake.
- ◆ Za promenu fizičkih osobina, tretmani se odnose na postavljanje:
 - tvrđih prevlaka i
 - hidrofobnih prevlaka.

70

Tretman površina naočalnih sočiva

- ◆ Na sočiva, bilo staklena ili plastična, u opštem slučaju, postavljaju se **tri** osnovne vrste prevlaka, svaka sa različitom funkcijom.
 - **Antirefleksione** prevlake – menjaju optičke karakteristike sočiva
 - **Tvrde** prevlake – menjaju mehaničke osobine površina sočiva
 - **Hidrofobne** prevlake – sprečavaju zadržavanje prljavštine i masnoće na sočivima
- ◆ Osim njih, na osnovni materijal se nanose još i:
 - Površinski nanešene **boje**, **fotochromni slojevi**, ...
 - Specijalni **filtrи** (kontrastni, polarizacioni, ...) – menjaju optičke osobine.
 - **Athezioni** slojevi – poboljšavaju prianjanje ostalih prevlaka, ...

71

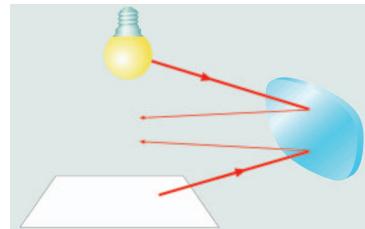
Tretman površina naočalnih sočiva

Antirefleksione prevlake

- ◆ Polirane površine sočiva reflektuju svetlost kao ogledala.
- ◆ Intenzitet reflektovane svetlosti zavisi od **indeksa prelamanja** materijala sočiva. Za slučaj **jednostrukog** refleksije i **normalnog** upada svetlosti (svetlost dolazi iz vazduha):

$$\rho = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$$

sredina	<i>n</i>	reflektanca [%]
voda	1.333	2.04
CR 39	1.498	4.00
kron	1.523	4.30
flint1	1.701	6.72
flint2	1.800	8.16
dijamant	2.420	17.24



72

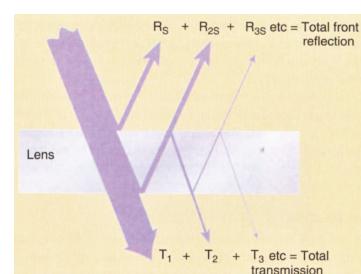
Antirefleksione prevlake

- ◆ U slučaju da se na sočivima dešava **višestruka refleksija** bez unutrašnje apsorpcije, ukupan efekat refleksije se računa iz:

$$R = \frac{2\rho}{1+\rho}$$

- ◆ Tabela ukazuje na **neophodnost** postavljanja antirefleksionih prevlaka na materijale **visokog indeksa prelamanja**.

Tabela 1. Materijali za sočiva – reflektanca i transparencija u zavisnosti od indeksa prelamanja



Efekat višestruke refleksije

materijal	<i>n_d</i>	ρ [%]	R [%]	τ [%]
CR39	1.498	4.0	7.6	92.4
belo kron staklo	1.523	4.3	8.2	91.8
srednji indeks 1.6	1.6	5.3	10.1	89.9
visoki indeks 1.7	1.7	6.7	12.6	87.4
veoma visoki indeks 1.8	1.8	8.2	15.1	84.9
veoma visoki indeks 1.9	1.9	9.6	17.6	82.4
dijamant	2.417	17.2	29.3	70.7

73

Antirefleksione prevlake

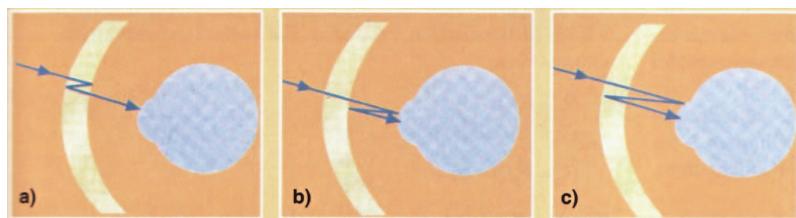
- ◆ U zavisnosti od oblika odbijanja, nastaje niz negativnih efekata i za korisnika sočiva (pojava "fantomskih", **parazitnih slika**) i za druge ljude (odsaj na sočivima)
- ◆ Refleksije na sočivu se dešavaju i na njegovoj **unutrašnjoj** i na **spoljašnjoj** strani.
- ◆ **Intenzitet** reflektovanih parazitnih slika **raste** sa porastom indeksa prelamanja n materijala sočiva.
- ◆ Parazitne (fantomske) slike se javljaju u **5** osnovnih oblika, u zavisnosti od **pravca dolaska svetlosti** (sa prednje ili sa zadnje strane sočiva) i **površine** na kojoj se vrši odbijanje (prednja, zadnja strana sočiva i oko).

74

Antirefleksione prevlake

Svetlost dolazi sa **prednje** strane:

- a) Svetlost se odbija sa zadnje i zatim sa prednje strane sočiva
- b) Svetlost se odbija od oka i zatim za zadnje strane sočiva
- c) Svetlost se odbija od oka i zatim sa prednje strane sočiva

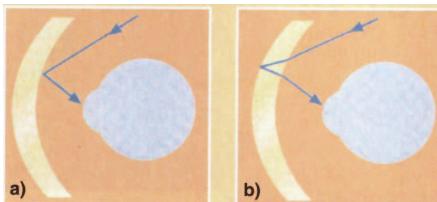


75

Antirefleksione prevlake

Svetlost dolazi sa **zadnje strane** (znatniji intenziteti parazitnih slika):

- a) Svetlost se odbija sa zadnje strane sočiva
- b) Svetlost se odbija sa prednje strane sočiva



Intenziteti parazitnih slika

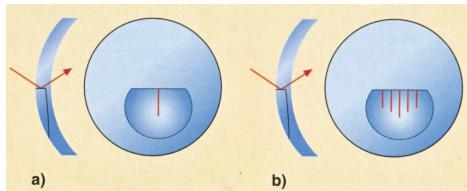
Table 5.2 Intensity of the ghost images for various refractive indices

Refractive index	Ghost image intensities (%)				
	1	2	3	4	5
1.500	0.15	0.08	0.08	4.00	3.69
1.523	0.17	0.09	0.08	4.30	3.94
1.600	0.25	0.11	0.10	5.33	4.77
1.700	0.39	0.14	0.12	6.72	5.85
1.800	0.56	0.17	0.14	8.16	6.88

76

Antirefleksione prevlake

- Refleksija na sočivima se može desiti i u slučaju **bifokalnih** (ili trifokalnih) sočiva, i to na ravnoj površini linije koja deli dva segmenta (za vid na blizinu i daljinu).
- Pri **noćnim uslovima** tačkasti izvori svetlosti uzrokuju pojavu **tankih vertikalnih svetlih linija**, koje predstavljaju smetnju jasnom vidu.



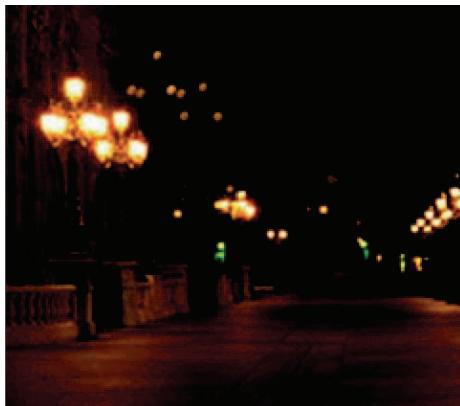
Svetlost dolazi iz: a) jednog, b) više izvora.

77

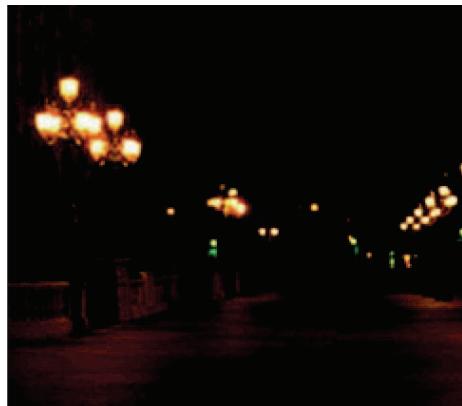
Antirefleksione prevlake

Kada se ispoljava negativnost pojave refleksije?

1. U slučaju kada je napolju **mrok**, intenzitet parazitnih slika na tamnoj pozadini znatno dolazi do izražaja.



Formiranje slike na sočivima **bez** AR
prevlakе

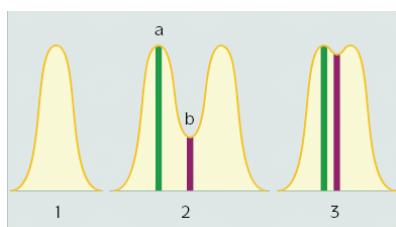


Formiranje slike na sočivima **sa** AR
prevlakом

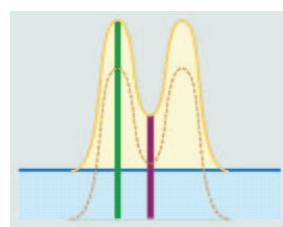
78

Antirefleksione prevlake

- Pri formirajući slike u oku, tačka se usled prisustva refleksije rasplinjava i vidi se, u stvari, nekoliko slika koje se međusobno preklapaju.
- **Negativna pojava refleksije** se može **kvantifikovati**, brojno izraziti preko tzv. **kontrastne osetljivosti** oka C :
$$C = \frac{a - b}{a + b}$$
- Ovaj odnos treba da ima vrednost **iznad neke granične** (to je tzv. **prag detekcije**, koji odgovara vidnom ugлу $1\text{--}2^\circ$) da bi se dve bliske tačke mogle videti **razdvojeno**.



Formiranje slike odvojenih tačaka na mrežnjači



Efekat parazitne refleksije
posledica: spajanje razdvojenih slika u jednu

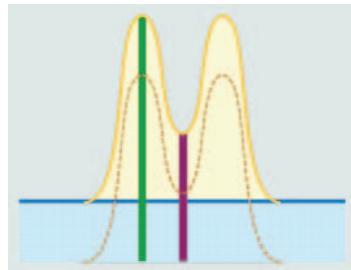
79

Antirefleksione prevlake

- Kada se, na primer, u noćnim uslovima dva svetla objekta (tačke) čak i vide kao odvojeni (veličina C je veća od neke granične za oko) – *isprekidana linija na slici*, u slučaju da je prisutno dodatno svetlo (odbijeno sa unutrašnje strane naočara), ono povećava intenzitete svetlih objekata za izvesni iznos.

$$C = \frac{a-b}{a+b}$$

- Ovo povećanje uzrokuje da veličina C ima **manju** vrednost, jer $a-b$ ostaje nepromenjeno, a $a+b$ raste.
- To ima za posledicu da je **oko manje osetljivo** na viđenje odvojenih objekata u tim novim uslovima kada se pojavljuje dodatno svetlo, koje je posledica **refleksije od sočiva naočara**.



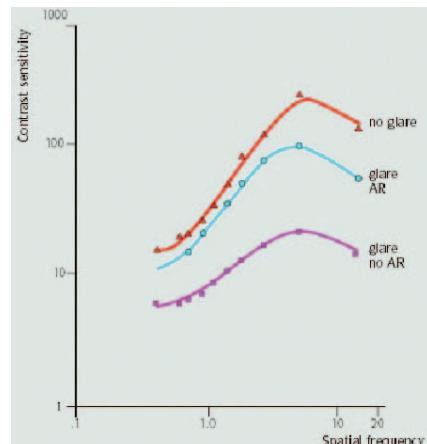
Efekat parazitne refleksije
posledica: spajanje razdvojenih slika u jednu

80

Antirefleksione prevlake

- Dijagram pokazuje **kontrastnu osetljivost C** oka u tri slučaja:

1. kada nema blještavila koje smeta viđenju objekata;
2. kada postoji blještavilo, ali sočiva imaju AR prevlaku – osetljivost je smanjena;
3. kada postoji blještavilo, ali sočiva nemaju AR prevlaku – osetljivost oka C je znatno smanjena.



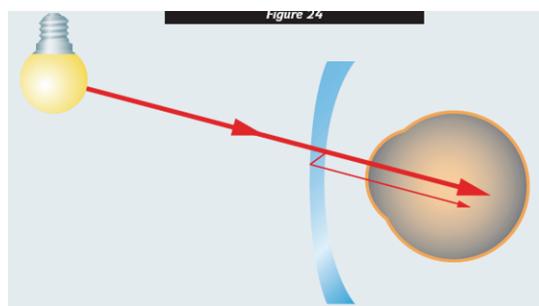
- **Neophodnost postavljanja AR prevlaka - evidentna.**

81

Antirefleksione prevlake

Kada se ispoljava negativnost pojave refleksije?

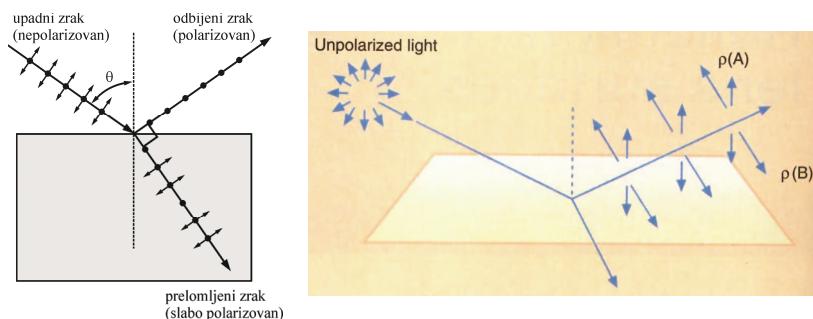
2. Konvergencija (ili divergencija) zraka koji stvaraju parazitnu sliku ne poklapa se sa zakrivljenošću sočiva, što uzrokuje pojavu **zamućene slike**.
3. U uslovima noćnog (uličnog) osvetljenja, recimo, ako je parazitna slika blizu položaja direktnе slike objekta koju ljudsko oko zapaža, dolazi do **preklapanja slike** i smetnji jasnom viđenju objekta.



82

Antirefleksione prevlake

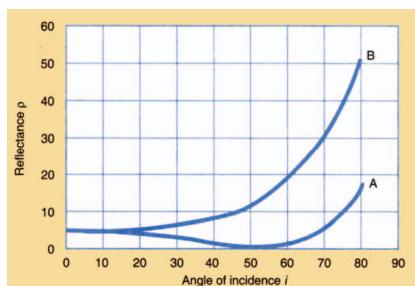
4. Sledeci aspekt negativnosti refleksije se ispoljava u **delimičnoj polarizaciji** svetlosti koja se odbija na granici dve sredine različitih indeksa prelamanja n .
 - Odbijena svetlost sadrži talase čiji vektori električnog polja osciluju ili u **upadnoj ravni** (ravan crteža na slici dole) ili **normalno na upadnu ravan**.



83

Antirefleksione prevlake

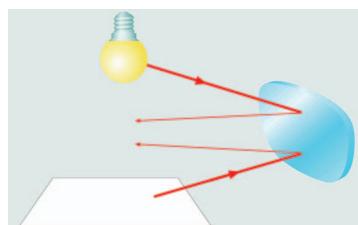
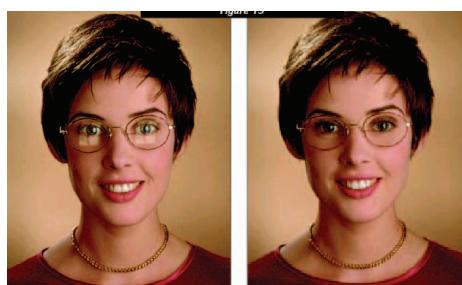
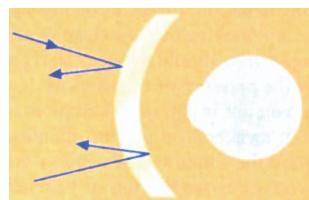
- Intenzitet jednih i drugih polarizovanih talasa zavisi od upadnog ugla na površinu.
- Pri velikim upadnim uglovima svetlosti u odnosu na normalu na površinu, **intenzitet** reflektovane svetlosti može biti znatno pojačan.
- Ova pojava izaziva **blještavilo** koje se otklanja polarizacionim (polarizujućim) filterima.
- Takva refleksija se, međutim, može javiti **i na samim sočivima** i utiče na intenzitet parazitnih slika.



84

Antirefleksione prevlake

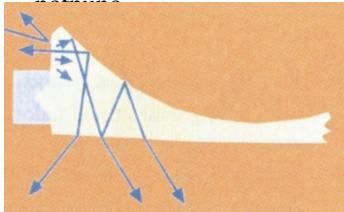
- Konačno, reflektovana svetlost od sočiva predstavlja **smetnju i za treće lice**.
- Svetlost se odbija od prednje i od zadnje strane sočiva i **zaklanja oči** korisnika naočara.
- To je naročito važno u fotografskim i televizijskim studijima, pozorištu, filmu, ...



85

Antirefleksione prevlake

- Takođe postoji još jedna nepoželjna pojava vezana za refleksiju – kada **svetlost ulazi sa strane sočiva**, kroz njenu brušenu stranu, ako je okvir ne pokriva **metamernim**



- **Difuzno rasejana svetlost** pravi, između ostalog, parazitnu sliku svelte ivice sočiva.
- Eliminacija se svodi na **poliranje** ivice sočiva ili na **prevlačenje crnim lakom**.

86

Antirefleksione prevlake

Principi postavljanja antirefleksionih prevlaka:

1. **Prvi način** (u današnje vreme redi) je postavljanje prevlake od materijala **manjeg indeksa prelamanja** u poređenju sa indeksom za materijal sočiva, jer je refleksija manja.
 - ◆ Problem se javlja usled **nejednakosti debljine** prevlake, što uslovjava pojavu "**interferentnih boja**" (slično tankom filmu ulja ili nafte na površini vode).
 - ◆ Primer: tvrda prevlaka indeksa 1.5 preko polikarbonata indeksa 1.586 stvara ovakav efekat.

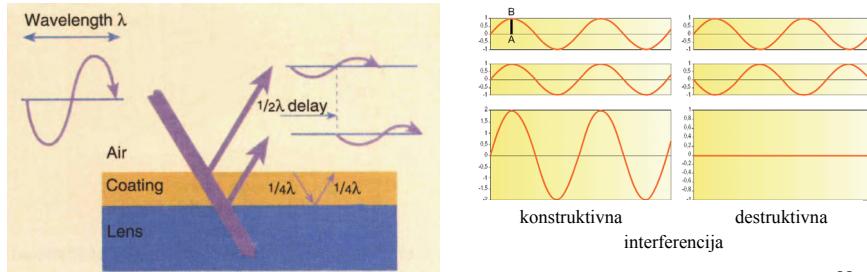
87

Antirefleksione prevlake

Principi postavljanja antirefleksionih prevlaka:

2. Drugi način (i skoro jedini danas) je korišćenje tehnike **interferencije**.

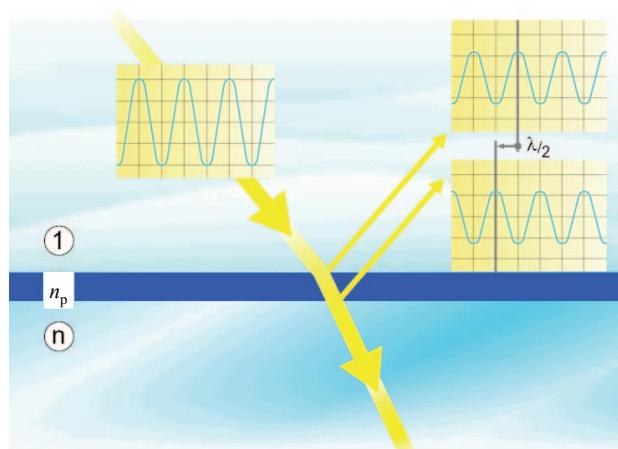
- ◆ Talasi koji se odbijaju od antirefleksionog sloja i od granice sloj/sočivo treba da su u **suprotnim fazama oscilovanja**, tj. da se pređeni putevi ovih zraka razlikuju za $\lambda/2$. Tada dolazi do potpunog gašenja intenziteta reflektovanih zraka date talasne dužine
- ◆ Za postizanje potpunog gašenja talasa neophodne su dve stvari: talasi moraju imati **iste amplitude i razlika u fazi** mora biti **potpuna**.



88

Antirefleksione prevlake

Tehnika interferencije

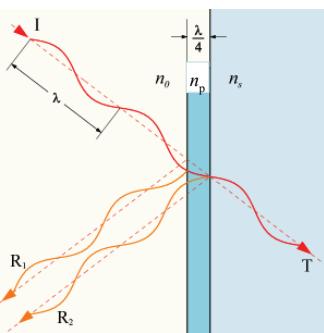


89

Antirefleksione prevlake

Uslov **razlike u putevima** (razlike u fazi reflektovanih talasa):

- ◆ Debljina sloja za postizanje nulte reflektance treba da je tačno $\lambda/4$, a u slučaju da nema apsorpcije, transparencija je onda 100 %.
- ◆ **Strogo govoreći**, debljina sloja neophodna za gašenje reflektovanih talasa treba da uzme u obzir da svetlost u antirefleksionom sloju pređe **geometrijski put** $\lambda/4$ do odbijanja od donje granične površine, pri čemu **optički put** treba da iznosi $n_p e = \lambda/4$ (uzima se u obzir promenu, smanjenje talasne dužine svetlosti u sočivu), što daje sledeće:



- ◆ Talasna dužina svetlosti λ se u materijalu indeksa prelamanja n_p smanjuje n_p -puta.
- ◆ Iz tog razloga je i debljina AR sloja (e) n_p -puta manja od $\lambda/4$.
- ◆
$$e = \frac{\lambda}{4 n_p}$$
- ◆ Talasna dužina λ se uzima u sredini vidljivog spektra (550 nm), a n_p je indeks prelamanja antirefleksionog sloja (prevlake).

90

Antirefleksione prevlake

Uslov **jednakih amplituda**:

- ◆ Da bi gašenje reflektovanih zraka od površine AR prevlake i granice između AR prevlake i podloge bilo potpuno, neophodno je da **amplitude** ovih reflektovanih talasa budu potpuno **jednake**.
- ◆ Indeks prelamanja prevlake n_p treba da je:

$$n_p = \sqrt{n}$$

indeks sočiva, n	idealni indeks prevlake, n_p
1.5	1.22
1.7	1.30
1.9	1.38

- ◆ **Magnezijum fluorid** MgF_2 sa indeksom 1.38 je idealan za antirefleksione prevlake.
- ◆ Njegova **efikasnost** je veća kod materijala sočiva sa većim indeksom prelamanja.

91

Antirefleksione prevlake

Primer:

- Za **kron-staklo** indeksa prelamanja $n=1.523$, idealan AR sloj bi trebao da ima indeks prelamanja $n_p=1.234$.
- Ne postoji materijal sa tako niskim indeksom prelamanja, pa tu ulogu ima MgF_2 – **magnezijum fluorid** sa indeksom prelamanja $n_p=1.38$.
- Za gašenje refleksije svetlosti talasne dužine za koju je ljudsko oko najosetljivije ($\lambda=550 \text{ nm}$) neophodna je debљina AR sloja MgF_2 od:

$$e = \frac{550 \text{ nm}}{4 \cdot 1.38} \approx 100 \text{ nm}$$

92

Antirefleksione prevlake – porast transparencije

- ◆ Ako je refleksija ugašena, onda se više svetlosne energije prenese kroz sočivo – transparencija raste.
- ◆ U slučaju da se refleksija dešava na **obe strane sočiva** (prednjoj i zadnjoj), tada se može izračunati ukupna količina svetlosti (transparencija u [%]) koja će proći kroz sočivo preko približnog izraza:

$$T = (1 - \rho)^2 \cdot 100\%$$

Primer:

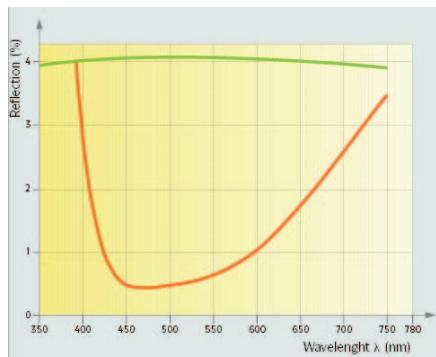
- ◆ Otuda, u primeru kron-stakla, kod kojeg se pri jednostrukoj refleksiji reflektuje **4.3 %** upadnog svetlosnog fluksa, a pri višestrukoj **8.2 %**, ukupna količina svetlosti koja prolazi kroz sočivo iznosi između 91.6% i **91.8 %** (zavisno od primenjene relacije).
- ◆ Kada se postavi AR prevlaka i jednostruka refleksija padne na **1.6 %**, transparencija T poraste na skoro **97 %**.

93

Antirefleksione prevlake

Specifikacije antirefleksionog sloja se prikazuju na dva načina:

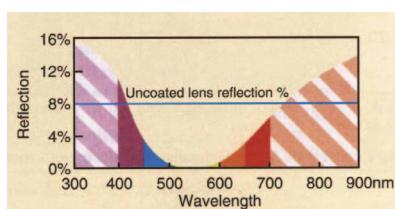
1. Preko zavisnosti $R=f(\lambda)$, tj. "grafika refleksije".
2. Preko **faktora antirefleksione efikasnosti** – to je odnos površina ispod svake od ovih dvaju krivih (kriva za refleksiju sa i bez prevlake).



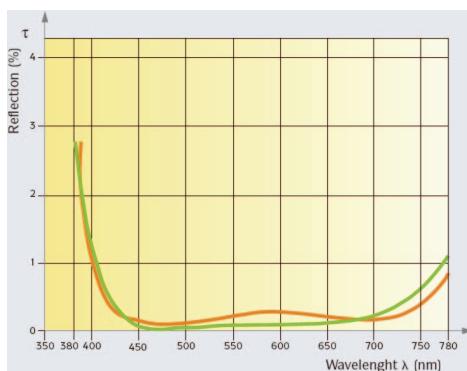
Grafik refleksije antirefleksione prevlake (crvena linija)
i refleksije sočiva bez prevlake (zeleni linija).

94

Antirefleksione prevlake - efikasnost i rezidentna boja sočiva



• Efikasnost samo **jednog** sloja nije velika, naročito na manjim i većim λ vidljivog spektra, tj. u **plavo-ljubičastom** i **crvenom** delu.



• Efikasnost jednoslojnih prevlaka, iako slična po obliku, može dati veoma različite konačne rezultate u eliminaciji refleksije – **zaostala (rezidentna) boja sočiva** je različita.



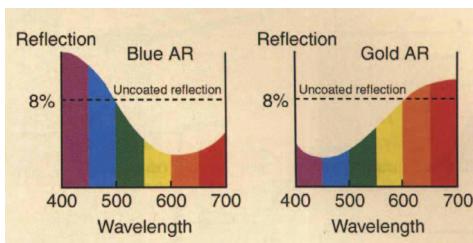
Stvarni efekat postavljanja dve različite prevlake

Grafici refleksije za dve prevlake

95

Antirefleksione prevlake – promena rezidentne boje sočiva

- ♦ **Jednoslojne** antirefleksione plave i zlatne prevlake –
regulacijom debljine AR prevlake se mogu podešavati za smanjenje refleksije u raznim delovima vidljivog spektra (minimum refleksije se pomera u različite delove spektra).



- ♦ Napomena: u datim primerima indeks prevlake n_p nije tačno $n^{1/2}$ (n je indeks prelamanja materijala sočiva na koje se prevlaka nanosi) tako da se ne dostiže nulta vrednost refleksije.
- ♦ Efikasne **jednoslojne prevlake** se lako postavljaju na **staklena** sočiva.

96

Antirefleksione prevlake

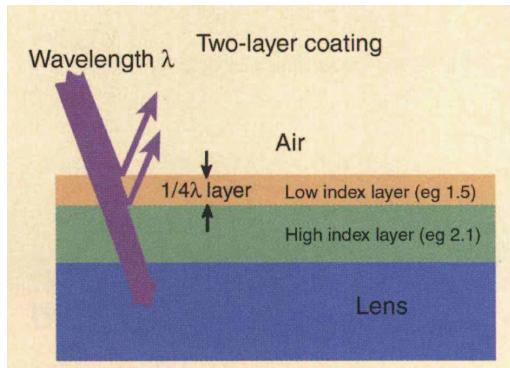
Problemi postavljanja antirefleksionih prevlaka na **plastična** sočiva:

- ♦ teškoće vezane za **atheziju** (prianjanje) prevlaka (primena MgF_2 na $t < 200$ °C, jer plastična sočiva nije poželjno grejati iznad 100 °C);
- ♦ **krtost** optičkih prevlaka (MgF_2 kada se postavlja na $t < 200$ °C) postavljenih na fleksibilni plastični materijal, što uzrokuje pojavu pukotina;
- ♦ **razlike u termičkim koeficijentima širenja** ($\alpha_{ps} \gtrsim 20\alpha_{AR}$), što uzrokuje pojavu unutrašnjih napona i skidanje AR sloja ako sočivo pretrpi termalni šok.

97

Antirefleksione prevlake

- Neophodnost da uslov $n_p < n$ bude zadovoljen i nemogućnost nalaženja odgovarajućeg materijala za **plastična** sočiva nametnula je postavljanje prvo **podložnog sloja višeg indeksa** na sočivo, a zatim **antirefleksionog sloja normalnog indeksa** prelamanja.



98

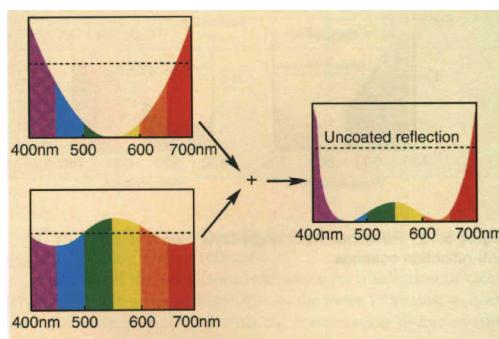
Antirefleksione prevlake

- Pogodan materijal **normalnog indeksa** – **SiO₂**, **kvarc** ($n_p=1.46$), visoka otpornost na ogrebotine.
- Za gašenje reflektovane svetlosti **podložni sloj** treba da ima indeks $n_p^2 \approx 2.13$, a za to su pogodni **oksidi Zr** i **Ti** sa indeksima 2.0 i 2.3, respektivno.
- Iako **titanijum oksid** ima veći indeks, takođe ima i veću promenu optičkih osobina u plavoj oblasti spektra od cirkonijum oksida.
- Iako jednoslojne prevlake (stakla) i dvoslojne prevlake (plastike) efikasno suzbijaju refleksiju (od 8 % pa sve do 0 % za datu λ), **prosečna efikasnost u celoj oblasti spektra** je oko **polovine** ove vrednosti.
- Za redukciju refleksije u celoj oblasti vidljivog spektra se primenjuju **višeslojne antirefleksione prevlake (MAR)**.

99

Antirefleksione prevlake

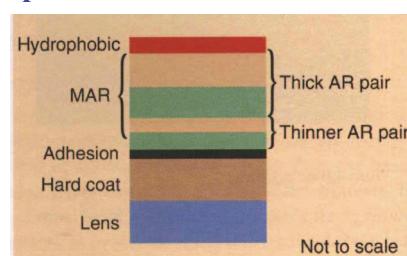
- Višeslojne prevlake (MAR) se sastoje od **parova** naizmenično poređanih slojeva visokog i niskog indeksa prelamanja.
- Primer: **deblji** par slojeva gasi refleksiju u centralnoj oblasti spektra, a **tanji** par slojeva gasi refleksiju u plavoj i crvenoj oblasti spektra, što na kraju rezultuje delimičnom refleksijom u zelenom delu spektra:



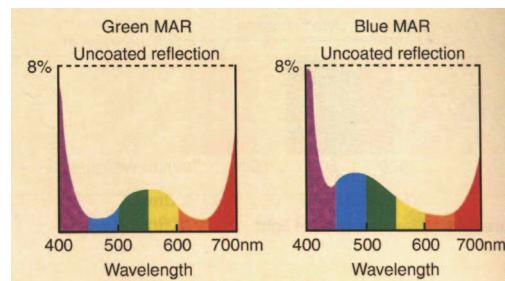
100

Antirefleksione prevlake

- Osim parova AR prevlaka, česta je primena dodatnih prevlaka: **tvrdi** prevlaka (10-struko deblja od AR sloja), **atheziona** prevlaka i **hidrofobna** prevlaka (obe ekstremno tanke).



- Tipične refleksione krive **višeslojnih** AR prevlaka
- Njihova prosečna reflektanca iznosi oko **1 %**.



101

Antirefleksione prevlake

- Otežavajuća okolnost pri projektovanju AR prevlaka je da svetlost **ne pada uvek pod pravim uglom** na sočiva, a tome takođe doprinosi i njihova zakrivljenost, što ima za posledicu manju efikasnost od proračunate.
- Čak i slabo reflektujuće površine (pri normalnom upadu svetlosti) ponekad postaju odlični reflektori, uz dodatnu pojavu **delimične polarizacije** svetlosti.
- Praktično je **nemoguće postići ravnomerni AR efekat** za celu oblast talasnih dužina vidljivog spektra i po celoj površini sočiva u realnim uslovima.

102

Antirefleksione prevlake

- Prema efikasnosti, AR prevlake se mogu svrstati u nekoliko grupa, kao što prikazuje tabela:

tip antirefleksione prevlake	jednostruka refleksija, ρ	ukupna transparencija, τ
standardna efikasnost	1.6–2.5 %	95–97 %
srednja efikasnost	1.0–1.8 %	96–98 %
visoka efikasnost	0.3–0.8 %	98–99 %

103

Antirefleksione prevlake

Tehnologija postavljanja AR prevlaka:

- ◆ Većina AR prevlaka - **tehnika vakuumskog naparavanja**.

Razlozi:

- ◆ moguće je naparavanje veoma čistih materijala strogo kontrolisanog sastava putem kondenzacije na sočivo;
- ◆ obezbeđena je stroga kontrola debljine sloja (± 0.5 nm);
- ◆ postiže se optimalno prianjanje usled činjenice da granica "sloj-sočivo" nije ničim kontaminirana.

Postupak:

- ◆ Materijal za prevlaku se greje u komori za naparavanje pod visokim vakuumom do temperatura reda **1000–2200 °C** (od toga zavisi brzina naparavanja).
- ◆ Grejanje materijala se obavlja ili **Džulovim efektom** (proticanje struje kroz posudicu) ili **bombardovanjem elektronima**.

104

Antirefleksione prevlake

- ◆ Za **jednoslojne** AR prevlake postupci su jednostavniji, ne zahtevaju visoki vakuum, materijal koji se naparava je neposredno uz sočiva.
- ◆ Za **višeslojne** AR prevlake zahtevi su višestruko složeniji:
 - visoki vakuum (10^{-6} mbar = 10^{-4} Pa, $\ell \approx 50$ m),
 - višečasovna dehidratacija sočiva i komore,
 - veća udaljenost sočiva od materijala za naparavanje (neophodna veća komora),
 - stroga kontrola brzine naparavanja i debljine sloja (tačnost ± 0.5 nm),
 - ultrazvučno čišćenje sočiva, i čišćenje bombardovanjem jonima (IPC),
- ◆ Dodatne mogućnosti:
 - mogućnost depozicije teških jona za povećanje gustine sloja (IAD) i bolju kontrolu indeksa prelamanja
 - kontrola temperature sočiva.

105

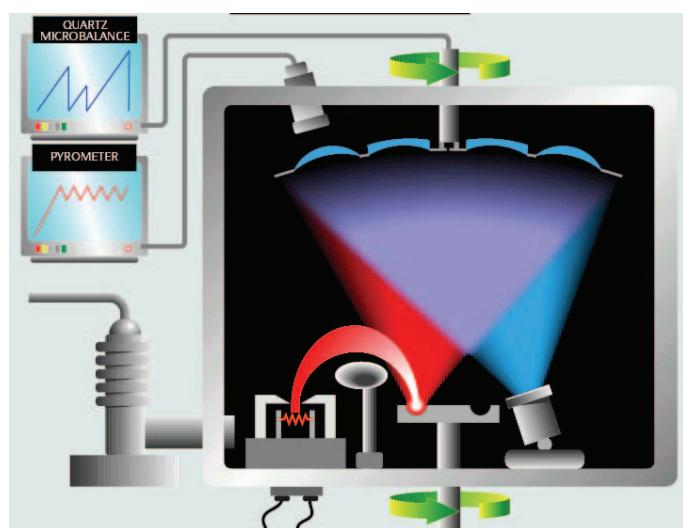
Antirefleksione prevlake novije generacije

- U novije vreme se prave slojevi sa materijalima otpornijim na hemijsku koroziju (uticaje) i termalne udare:
 - **tantal pentoksid** (Ta_2O_5),
 - **titanijum dioksid** (TiO_2),
 - mešavina **oksida neodima i prazeodima** (Nd_2O_5 i Pr_2O_5).

106

Antirefleksione prevlake

- ◆ Šema aparature za vakuumsko naparavanje AR, ali i slojeva drugih namena.



107

Antirefleksione prevlake

Nedostatak najefikasnijih AR prevlaka

- ◆ Najniža reflektanca (najviša transparencija) nije uvek najbolje rešenje.
- ◆ Problem je održavanje čistoće sočiva - što je manji koeficijent refleksije, teže je održati sočiva čistim. To nije posledica stvarne nečistoće, već samo **utiska** da su sočiva zaprljana.

108

Antirefleksione prevlake – kontrola kvaliteta

Standardi kvaliteta za prevlake

- ◆ Uzimaju u obzir dva aspekta: **optičke** i **fizičke osobine** prevlaka.
- ◆ U **optički** kriterijume kvaliteta spadaju:
 - ◆ aritmetička srednja (apsolutna) vrednost **reflektance** i
 - ◆ spektralno otežana vrednost **reflektance** (uz uzimanje u obzir osetljivosti oka prema različitim talasnim dužinama svetlosti)
- ◆ Kvalitet **fizičkih** osobina podrazumeva merenje:
 - ◆ **kvaliteta prijanjanja** (athezione sposobnosti) i
 - ◆ **postojanosti**, iz razloga što su sočiva stalno izložena:
 - abraziji, habanju (brisanje, stavljjanje licem nadole, ...)
 - koroziji (znoj, morski vazduh, vlažnost, sredstva za čišćenje sočiva, ...)
 - termalnim udarima (ostavljanje u vozilu na suncu)
- ◆ **Za proveru kvaliteta AR prevlaka** generalno se koriste **testovi na starenje**.

109

Antirefleksione prevlake

- Najbrža i najjednostavnija metoda: **kratkotrajno potapanje sočiva** naizmenično u **ključalu slanu vodu** i zatim u **hladnu vodu**.
 - Slični testovi se izvode i sa **dejonizovanom vodom**, dok se ponekad potapanje vrši i u **alkohol** i druge uobičajene **rastvarače**.
 - Slab rezultat testa ukazuje na lošu atheziju i ne garantuje postojanost AR prevlake, iako pravu informaciju daju realni uslovi višegodišnjeg korišćenja naočara.
- Drugi test (približniji rezultati realnim uslovima) je **ciklični test vlažnosti**: višečasovno izlaganje **visokoj vlažnosti** na **umerenoj temperaturi**, a zatim na **sobnoj temperaturi**, uz ponavljanje postupka u trajanju od nekoliko dana.
- Osim toga, mogu se vršiti **testovi na habanje** filcom, tkaninom, čeličnom vunom, gumom, itd. ili izlagati sočiva sa prevlakama **termalnim udarima**.
- Najnoviji standardi podrazumevaju istovremeno izlaganje sočiva sa prevlakama delovanju **toplote, vlažnosti i UV zračenja** u višečasovnim ciklusima u trajanju od nekoliko dana u **UV klimatskim komorama**.

Tretman površina sočiva

Prevlake protiv habanja (abrazije, ogrebotina)

- ◆ Ogrebotine se na materijalima za sočiva mogu javiti u dva osnovna oblika:
 - **male, fine ogrebotine** - posledica abrazije i trenja najsitnjim česticama; praktično su nevidljive;
 - **vidljive ogrebotine** - posledica trenja "velikim" česticama prašine (većinom od kvarcnog peska).

111

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake

- ◆ **Stakla**, u većini slučajeva, imaju veoma **dobru otpornost** prema habanju i pojavi ogrebotina.
- ◆ Poneka specijalna stakla (visokog indeksa prelamanja) imaju tendenciju prema pojavi mrlja, pa **zahtevaju** postavljanje zaštitnih prevlaka.
- ◆ **Plastični materijali** za sočiva:
 - **termoočvršćavajući** - CR 39 (unakrsno i/ili poprečno povezani polimerni lanci; materijali koji pri naknadnom grejanju ne omekšavaju) ima donekle zadovoljavajuću otpornost prema pojavi ogrebotina, ali termoočvršćavajući materijali **visokog indeksa zahtevaju zaštitu**;
 - **termoplastični** - polikarbonati, PMMA, ... (formirani od dugačkih polimernih lanaca; pri naknadnom grejanju omekšavaju) su **daleko podložniji za pojavu ogrebotina**, naročito se to odnosi na materijale visokog indeksa i na njih se **moraju nanositi tvrde prevlake** nakon završne obrade poliranjem.

112

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake

- Poseban problem predstavljaju plastična sočiva sa AR prevlakom. Materijali za AR prevlake su neorganske prirode i tanki.



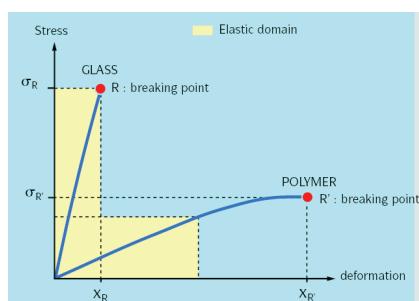
- Pod uticajem lokalizovane sile od strane zrnca prašine, AR slojevi trpe deformaciju karakterističnu za materijal podloge (sočiva) - često je deformacija tolika da se javljaju pukotine i žljebovi na prevlaci (donja slika).
- Kombinacija "AR sloj/sočivo" snižava prag pojave ogrebotina, čak i kada plastično sočivo ima zaštitni tvrdi sloj.
- AR prevlaka pojačava kontrast između mesta ogrebotine i ostalog dela sočiva i čini oštećenja vidljivijim, naročito kod plastičnih sočiva – tvrda prevlaka predupređuje ovakve pojave.

113

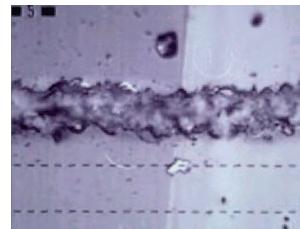
Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake

Mehanizam pojave oštećenja

- Nakon prestanka delovanja lokalizovane sile (od strane čestice prašine ili indentora u mernim uredajima za tvrdoću), ostaje permanentni (plastični) mikrootisak, koji daje informaciju o tvrdoći i deformacionim osobinama materijala.
- Plastični materijali se oštećuju slabijim silama opterećenja, ali trpe veće deformacije.



Ponašanje stakala i polimera pri uticaju napona sile



Primer ogrebotine sa pojavom cepanja i kidanja materijala

114

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake

- ◆ **Tvrda prevlaka** je sloj materijala na površini sočiva koji povećava otpornost prema habanju (pojavi ogrebotina, abraziji, trenju), naročito prema **malim** oštećenjima.
- **Prve generacije** tvrdih prevlaka (1970-ih) - neorganski materijali: silicijum dioksid **SiO₂** (**kvarc**);
 - ◆ Način nanošenja - **vakuumsko naparavanje** (**taloženje**), "**kvarcovanje**".
 - ◆ Vakuumsko naparavanje se vrši **istovremeno** sa postavljanjem AR prevlake.
 - ◆ Tvrdi slojevi su **10-20 puta deblji** od AR prevlaka, što zahteva duži proces proizvodnje.

115

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake

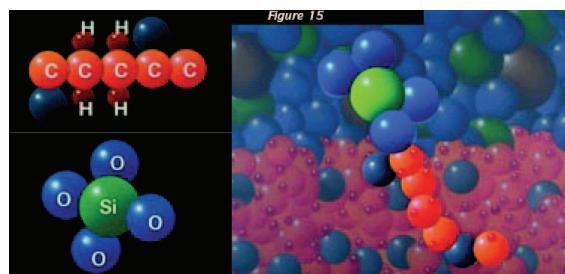
- **Problem "kvarcovanja"** SiO₂ na, recimo, CR 39:
 - zbog velikih **razlika** u **veličini termičkog koeficijenta širenja** podloge i tvrde prevlake ($\alpha_{\text{polimer}} \gtrsim 20 \cdot \alpha_{\text{kvarca}}$), slično kao pri postavljanju AR prevlake, javljaju se **naponska stanja** koja slabe zaštitni sloj.
- Posledica su **pukotine** na mestima prisutnih napona uzrokovane ili termičkim stresom ili lokalizovanom silom.
- Tvrde prevlake na bazi SiO₂ **nisu sklone bojenju**.

116

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake

□ Naredna generacija TP:

- organski materijali (**polisiloksan**, **akrilna jedinjenja**);
 - primena - **u tečnoj fazi**.
- ◆ Polisilosanski lak je jedna vrsta organskog jedinjenja u kome su neki od atoma C zamenjeni atomima silicijuma (Si).



117

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake

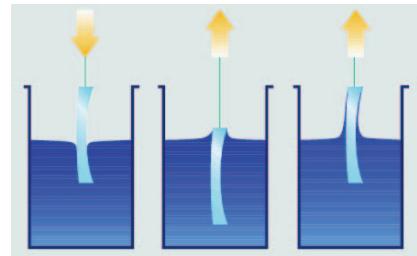
- ◆ Zamena ugljenika C atomima silicijuma Si znatno menja mehaničke osobine:
 - **tvrdoća** polisiloksana je središnja u odnosu na SiO_2 i polimerni materijal;
 - koeficijenti **elastičnosti** i **termičkog širenja** su u granicama neophodnim za dobru koheziju sistema "sloj-polimer" – dugački polimerni lanci polisilosana obezbeđuju optimalne vrednosti ovih veličina.
- ◆ Način nanošenja:
 - lakanje putem **potapanja** (*dip coating*);
 - lakanje putem **centrifugiranja** (*spin-coating*);
 - nanošenje **u kalupu**;
 - **plazmena polimerizacija**.

118

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake (postavljanje)

1. Postavljanje organskih lakova putem **potapanja** (*dip coating*)

- ◆ pogodna tehnika za **velike količine** sočiva;
- ◆ sloj laka se **simultano** nanosi na **obe površine**;
- ◆ zahteva ultrazvučno čišćenje i sušenje sočiva, kontrolisanu temperaturu i vlažnost - "**ultračiste" uslove**";
- ◆ zahteva **kontrolisanu brzinu vadenja** sočiva (zavisi od viskoznosti) iz posude sa rastvorom laka (zbog kontrole debljine prevlake);
- ◆ lak se **polimerizuje** izlaganjem temperaturi od oko **100 °C**;
- ◆ tvrdi zaštitni sloj (plastičnom) sočivu daje otpornost prema pojavi ogrebotina koja zavisi od **sastava i debljine** prevlake;
- ◆ negativnosti se ponekad ispoljavaju u vidu **nejednake debljine prevlake** – posledica su interferentni efekti - pojave različite obojenosti duž sočiva.



119

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake (postavljanje)

2. Postavljanje organskih lakova putem **centrifugiranja** (*spin-coating*)

- ◆ tehniku je **jednostavna** i pogodna za **male** serije sočiva;
- ◆ **brza** tehnika, koja omogućava korišćenje **kompleksnijih** i **manje stabilnih** lakova i primenu na konkavnim površinama;
- ◆ jedinjenja za ovu tehniku nanošenja su **slična** kao kod tehnike potapanja, a razlika postoji u međusobnom odnosu čvrste supstance i rastvarača da bi se postigla odgovarajuća viskoznost;
- ◆ zahteva **kontrolisanu brzinu rotacije** postolja sa sočivom;
- ◆ **polimerizacija** se najčešće postiže izlaganjem **UV zračenju** u trajanju od nekoliko minuta.



120

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake (postavljanje)

3. Postavljanje organskih lakova u **kalupu**

- ◆ tvrda prevlaka se može postaviti i **u toku procesa očvršćavanja** termoočvršćavajućeg materijača u kalupu;
- ◆ metoda omogućuje **dobro povezivanje materijala** prevlake sa materijalom sočiva (odlična athezija);
- ◆ iz razloga **nemogućnosti bojenja** takvih prevlaka, ova tehnika se uobičajeno koristi za proizvodnju polugotovih sočiva (često konkavnog oblika);
- ◆ praksa je pokazala da se ponekad javljaju **problemi** pri postavljanju **AR prevlaka** na takvu vrstu tvrdih prevlaka.

121

Prevlake protiv habanja - tvrde prevlake (postavljanje)

4. Postavljanje **organskih lakova** pomoću **plazmene polimerizacije**

- ◆ plazma se formira pri **električnom pražnjenju u gasu** na sniženom pritisku pre uvođenja organskog monomera (HMDS - **heksametil disilazan**) obogaćenog siloksanima;
- ◆ kondenzacija, **polimerizacija** monomera i formiranje čvrstog filma na površini sočiva u komori se vrši na račun energije koja dolazi iz plazme;
- ◆ **kontrola proizvodnje je složena** i otkriva površinske defekte;
- ◆ često se **kombinuje** sa vakuumskim naparavanjem korišćenim za postavljanje AR prevlaka, pri čemu se osim tvrdog sloja formira i hidrofobni (vodootporni) sloj.

122

Prevlake protiv habanja – savremene tvrde prevlake

- ◆ Osim SiO₂ i tradicionalnih organskih tvrdih prevlaka (polisiloksan) u novije vreme se javljaju **novi materijali**, jer je sa pojavom AR slojeva bilo neophodno ublažiti, **kompenzovati razlike u mehaničkim osobinama** materijala sočiva (elastičan, deformišući polimer) i AR sloja (tvrd i lomljiv).
- ◆ Polisiloksi ne obezbeđuju dovoljnu čvrstinu za sprečavanje lomova AR prevlaka i neophodno je ojačati podlogu za ove prevlake.
- **Nanokompozitni materijali** - organo-silicijumska matrica unutar koje su dispergovane stabilne submikroskopske čestice nanometarskih dimenzija ($10\text{--}20\text{ nm} \approx 10^{-8}\text{ m}$) koloidnog SiO₂.
- Za razliku od polisiloksa sa malim masenim procentom Si—O radikala, nanokompoziti sadrže i do **50 % SiO₂**.
- Male dimenzije čestica **isključuju** pojavu **difuznog rasejanja** svetlosti.

123

Prevlake protiv habanja – savremene tvrde prevlake

Postavljanje nanokompozitnih tvrdih prevlaka

- ◆ nanočestice su **dispergovane u suspenziji**, slično polisiloksanima - homogena smeša sa osobinama laka;
- ◆ primena: pitem **potapanja** (*dip coating*) ili **centrifugiranja** (*spin-coating*);
- ◆ **polimerizacija na oko 100 °C**, čime se dobija tvrdi sloj organo-silicijumskog polimera - u organskoj matrici "lebde" neorganski molekuli.

Osobine nanokompozitnih tvrdih prevlaka:

- visoka otpornost prema pojavi **dubokih ogrebotina** - time se štiti gornja AR prevlaka od deformisanja i pojave lomova;
- relativno **velika fleksibilnost** (savitljivost) - lako prate deformacije polimera bez odvajanja slojeva;
- ekstremno **niski koeficijent trenja** - čestice prašine se ne mogu "prikačiti" za površinu nanokompozita - manji stepen abrazije.

124

Prevlake protiv habanja – savremene tvrde prevlake

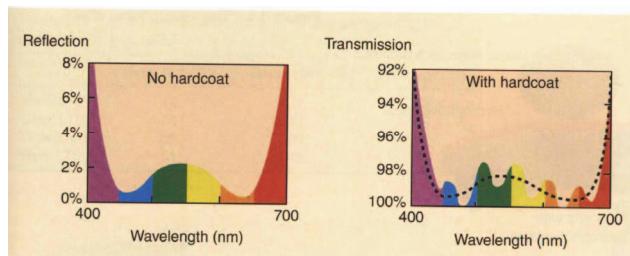
Optički efekat postavljanja tvrde prevlake

- ◆ Ako je indeks prelamanja tvrde prevlake identičan indeksu materijala sočiva, optički uticaj ne bi trebao da postoji.
- Izuzetak je eventualno zapažanje ivica bifokalnog segmenta, koje dolazi do izražaja ako se indeksi međusobno razlikuju.
- Takođe se može javiti i površinska refleksija, ali se ona eliminiše AR prevlakama koje se postavljaju na tvrdi zaštitni sloj.
- **Drugi efekat** je posledica kombinacije nejednakе debljine tvrdog sloja i različitosti njegovog indeksa prelamanja u poređenju sa materijalom sočiva.
 1. Ako tvrda prevlaka nije potpuno jednake debljine po celoj površini sočiva, interferencija izaziva pojavu efekta sličnog onome što pravi tanak film ulja na površini vode - dugine boje u reflektovanoj svetlosti.

125

Prevlake protiv habanja – savremene tvrde prevlake

2. Takođe, pod pretpostavkom da je tvrdi sloj ispod AR prevlake 10 puta deblji od AR sloja, on proizvodi i 10 puta više talasnih interferencija.
 - ◆ Sve ovo rezultuje promenom antirefleksionih osobina.



Krive refleksije za slučaj sa i bez tvrde prevlake

126

Prevlake protiv habanja – standardi kvaliteta

□ Standardi za kvalitet tvrdih prevlaka

- **prvi** predviđa **minimum neophodne abrazivne zaštite** za sočiva, bilo sa ili bez tvrde prevlake – upravo treba da je identičan otpornosti CR39 materijala bez tvrde prevlake (tabela);

stepen abrazivne otpornosti	materijal
izuzetno dobra	kron staklo (indeks 1.5)
	kron staklo sa AR prevlakom
veoma dobra	stakla visokog indeksa (sa AR prevlakom)
	CR39 sa SiO ₂ prevlakom
sasvim dobra	CR39 sa tvrdom prevlakom formiranom pod uticajem toplove
	1.6 indeks sa tvrdom prevlakom
prihvatljiva	1.56 indeks sa tvrdom prevlakom
	polikarbonat sa tvrdom prevlakom
granica prihvatljivosti (ISO standard)	CR39 sa tvrdom prevlakom formiranom hemijskim putem
	standardni CR39
loše	Plastike visokog indeksa bez tvrde prevlake
veoma loše	1.56 indeks bez tvrde prevlake
izuzetno loše	polikarbonat bez tvrde prevlake

127

Prevlake protiv habanja – standardi kvaliteta

□ Standardi za kvalitet tvrdih prevlaka

- drugi definiše **izdržljivost** (postojanost) tvrdih prevlaka - opisuje **način testiranja** izdržljivosti prevlaka ponavljanjem ciklusa izlaganja delovanju vlage, topote i UV zračenja, koji slede nakon izvesnog početnog habanja.
- Sočiva zadovoljavaju kriterijum izdržljivosti ako ne pokazuju znake raslojava- nja nakon zadatog broja pomenutih ciklusa.

128

Tvrde prevlake

Neki karakteristični **testovi** na otpornost sočiva sa tvrdim prevlakama prema stvaranju ogrebotina:

- **Bajerov test (Bayer)** – sočivo se pomera napred-nazad u posudi koja sadrži abrazivni prah.
- Test pomoću **abrazimetra**: traka obložena finim abrazivnim česticama (npr. karborunduma) povlači se određeni broj puta preko testiranog sočiva sa ranije definisanim opterećenjem.
- Test pomoću **čelične vune**: postoji nekoliko načina trljanja testiranog sočiva komadom fine čelične vune – mašinski ili ručno.
- “**Taber**” test: “Taber” je tip brusnog točka oblikovan kao krivina sočiva koje se ispituje, prislana se na sočivo odgovarajućim opterećenjem.

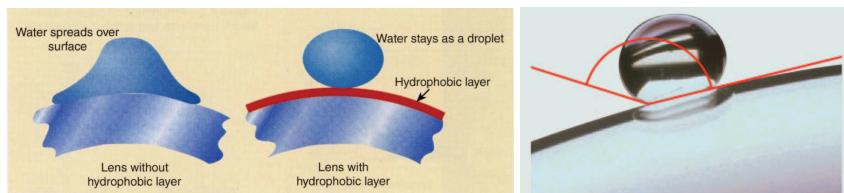
U svim slučajevima se meri **difuzno rasejanje svetlosti** na treturanim sočivima sa tvrdim prevčakama i porede rezultati sa datim etalonom.

129

Tretman površina sočiva

Prevlake protiv gubitka sjaja - hidrofobne

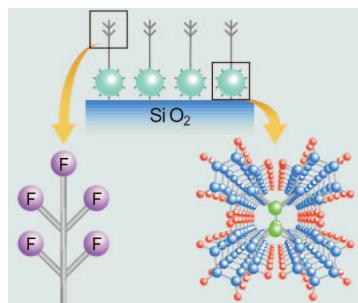
- Problem višeslojnih AR prevlaka je njihova **poroznost**, usled koje se lako isprljaju. Masni polutanti (zagađivači) lako ispunjavaju pore i otežavaju čišćenje.
- Male količine **masnoće** poništavaju efekat prevlake, a ponekad čak **pojačavaju refleksiju**.
- Rešenje leži u postavljanju dodatne, tzv. **hidrofobne** (i oleofobne) prevlake na površinu sočiva, koja mu daje sposobnost odbijanja masnoće i vode.
- Efekat je isti kao kod poliranja automobila voskom. Cilj je što više povećati **ugao kvašenja** (mera kvaliteta prevlake), jer se u tom slučaju zagadivač ne zadržava na površini.



130

Prevlake protiv gubitka sjaja - hidrofobne

- ❑ Hidrofobne prevlakte su **ultratanke** (nekoliko **nm=10⁻⁹ m**, tj. reda nekoliko molekula) i nemaju uticaja na antirefleksione osobine.
- ❑ Prave se od organskih jedinjenja složene molekularne strukture sa **fluoridnim** ili **hidrokarbonatnim lancima**, kao što je **fluoridni polisilazan**.
- ❑ Ova jedinjenja poseduju **radikale** (delove molekula), koji deluju kao "udice" i obezbeđuju dobro prianjanje za SiO₂, spoljašnji sloj AR prevlake. Sa druge strane, **fluorom bogati radikali** (delovi molekula) obezbeđuju jako hemijsko odbijanje vode i masnoća.



- ❑ Hidrofobni sloj deluje na dva načina:
 - sprečava **masnoće** da se talože tako što **blokira površinske pore**;
 - **modificiše oblik kapi** vode i masnoća i smanjuje njihovu dodirnu površinu 2.5 puta.

131

Prevlake protiv gubitka sjaja - hidrofobne

- ❑ Hidrofobne prevlakte čine da se naočari ređe brišu i time se smanjuje mogućnost pojave ogrebotina.

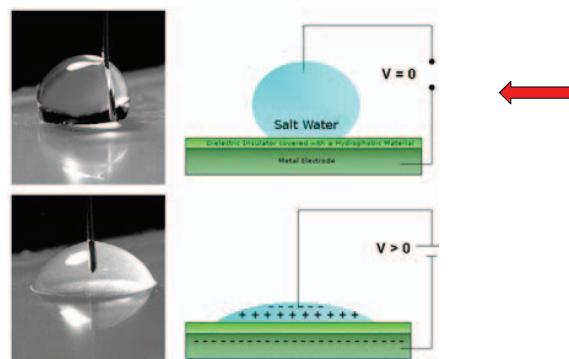


- ❑ Hidrofobne prevlakte se mogu nanositi na **dva osnovna načina**:
 - prevlačenje putem **potapanja** (*dip coating*), slično postavljanju tvrdih prevlaka – problem se javlja što takve prevlakte posle kratkog vremena gube svoju efikasnost;
 - **vakuumsko naparavanje**, slično postavljanju AR prevlaka, tj. kao krajnja faza njihovog naparavanja; one su dugotrajnije.

132

Prevlake protiv gubitka sjaja - hidrofobne

- ◆ Sa hidrofobnim slojem se postavlja izolacioni sloj koji sprečava razlivanje kapljica vode (polarni molekuli) po površini sočiva do kojeg dovodi sakupljeno nanelektrisanje na površini (ili polarnost tih molekula).
- ◆ Antistatičke osobine hidrofobnog sloja se postižu posebnim dodacima koji rasipaju, tj. ne dozvoljavaju nagomilavanje statickog nanelektrisanja na površini sočiva koje se javlja pri trenju kod brisanja, a koje zatim dovodi do privlačenja prljavštine, masnoće i razlivanja kapljica vode.

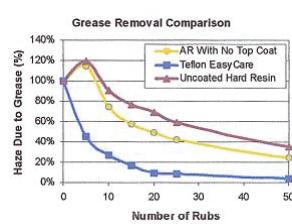
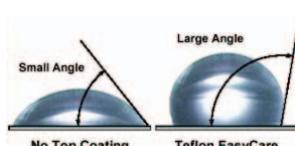


133

Prevlake protiv gubitka sjaja - hidrofobne

Primer:

- ◆ Teflon® EasyCare (Hoya) – hidrofobna, oleofobna i antistatička prevlaka.



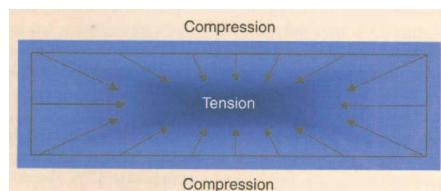
- ◆ Nakon 20-tak prevlačenja (brisanja) maramicom sa sočiva je otklonjeno:
 - 90 % masnoća kada je postavljena prevlaka Teflon® EasyCare;
 - 50 % masnoća kada na AR prevlaci nije postavljena hidrofobna prevlaka;
 - 30 % masnoća kada nema nikakve prevlake na plastičnom materijalu sočiva.

134

Tretman površine sočiva

Povećanje otpornosti staklenih sočiva

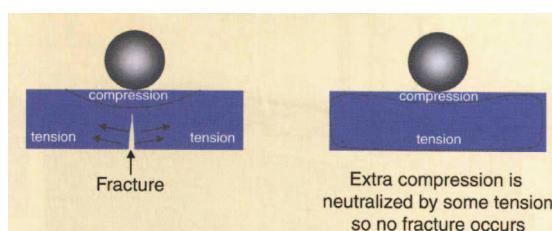
- ◆ Povećanje izdržljivosti (otpornosti, žilavosti) staklenih sočiva se može izvesti na dva osnovna načina:
 - termičkim tretmanom;
 - hemijskim tretmanom.
- ◆ **Termički postupak** (kaljenje sočiva) se sastoji u grejanju gotovih sočiva do temperature omekšavanja i naknadnim brzim hlađenjem i to ili pomoću **struje hladnog vazduha** ili **potapanjem sočiva u ulje**.
- ◆ Pošto se spoljašnjost sočiva brže hlađi od unutrašnjosti, u materijalu se formira velika **kompresiona čvrstoća**.



135

Povećanje otpornosti staklenih sočiva

- ◆ Povećanje čvrstoće je posledica pojave **naponskih stanja** koja neutrališu lokalizovane uticaje (pritiske, udare) i sprečavaju pojavu lomova i pukotina.



Naponska stanja u staklu - zavise od oblika sočiva (posmatranje u polarizovanoj svetlosti).

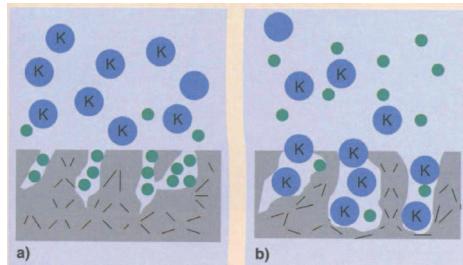
- ◆ Osim prema pojavi **lomova**, ovim postupkom se povećava i **tvrdoća**, tj. otpornost prema pojavi **ogrebotina**.
- ◆ Tako tretirano staklo se, u slučaju pojave loma, raspada u relativno bezopasne komade, koji znatno smanjuju opasnost od povrede.

136

Povećanje otpornosti staklenih sočiva

- ◆ **Hemijski postupak** za povećanje izdržljivosti staklenih sočiva se sastoji u formiranju **kompresivnih naponskih stanja** (omotača) putem **razmene jona** između materijala sočiva i rastvora hemijskog jedinjenja.

- ◆ Veliki joni K iz rastvora soli u posudi zamenjuju male jone Na i Li u površinskom sloju stakla, što stvara kompresivne napone.



- ◆ Rastvor u posudi sadrži 99.5 % kalijum nitrata i 0.5 % silicijumove kiseline na temperaturi od 470 °C.
- ◆ Proces zahteva kontrolu temperature i vremena zadržavanja staklenih sočiva u rastvoru (oko 16 h).
- ◆ Hemski tretirana stakla su jača, čvršća od termički tretiranih.

Bojenje, fotochromizam i specijalni filtri

- ◆ Pored tretmana površine sočiva kojima se mogu promeniti **fizičke osobine** (tvrde prevlake, hidrofobne prevlake), druga vrsta tretmana omogućava promenu **optičkih osobina**:
 - antirefleksione prevlake za promenu koeficijenta refleksije,
 - bojenje,
 - fotochromizam i
 - postavljanje raznih tipova filtara za promenu apsorpcionih osobina.

138

Bojenje, fotochromizam i specijalni filtri

- ◆ Za zaštitu oka od **nepoželjnog, iritirajućeg i štetnog zračenja** nedovoljna je **prirodna odbrana**:
 - refleksno zatvaranje očnih kapaka,
 - smanjenje prečnika zenica,
 - filtracija u oku, ...i zato se koriste filtrirajuća sočiva – sočiva koja **menjaju spektralni sastav propuštene svetlosti**.
- ◆ Sočiva mogu imati:
 - **permanentnu boju**,
 - **promenljivu boju (fotochromna)**, ili
 - posedovati razne tipove **svetlosnih filtera** u vidu prevlaka.

139

Bojenje, fotochromizam i specijalni filtri

- ◆ Svaki svetlosni filter je okarakterisan:
 1. **koeficijentom transparencije τ ,**
 2. **krivom transparencije $\tau=f(\lambda)$,** i
 3. **UV odsečkom (UV cut-off),**
kao i fiziološkim osobinama izraženim preko:
 4. **relativnog koeficijenta transparencije τ_V** u vidljivom delu spektra (faktor svetlosne transparencije, uzima u obzir različitu osetljivost oka na svetlost različitih talasnih dužina).

140

Klasifikacija sočiva prema svetlosnoj transparenciji

- ◆ Prema veličini **relativnog koeficijenta transparencije u vidljivom spektru τ_V** (uzima u obzir spektralnu osetljivost oka), sočiva su klasifikovana u **pet kategorija**.
- ◆ Kriterijum za klasifikaciju se odnosi i na vidljivu i na UV-A i UV-B oblast, a merenja se vrše na **planarnim sočivima debljine 2 mm.**

kategorija filtra	UV deo spektra		vidljivi deo spektra	
	max. transparencije sunčevog UV-B zračenja, τ_{UV-B}	max. transparencije sunčevog UV-A zračenja, τ_{UV-A}	interval transparencije svetlosti	
	280-315 nm UV-B	315-380 nm UV-A	od %	do %
0	τ_V		80	100
1		τ_V	43	80
2	0.125 τ_V		18	43
3		0.5 τ_V	8	18
4	1.0 %		3	8

141

Klasifikacija sočiva prema svetlosnoj transparenciji

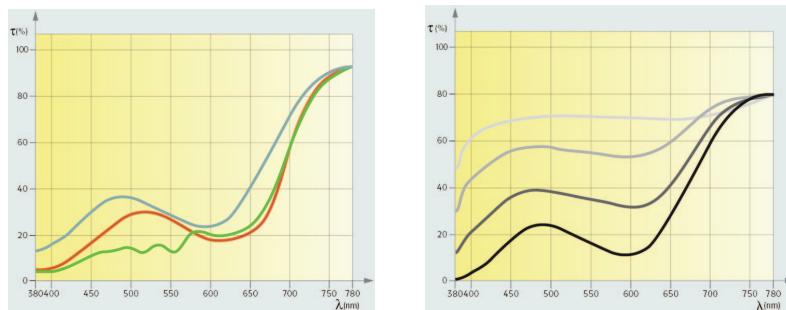
- Tabela klasifikacije sočiva prema transparentnim osobinama u zavisnosti od uslova upotrebe, tj. intenziteta sunčeve svetlosti.

klasa	kategorija	upotreba	$\tau [\%]$	$\alpha [\%]$	vožnja
0	bistro ili veoma slabo obojeno	unutra ili po oblačnom vremenu	80–100	0–20	nema ograničenja
1	svetla boja	slaba sunčeva svetlost	43–80	20–57	ne odgovara za noćne uslove
2	srednja boja	srednja sunčeva svetlost	18–43	57–82	ne odgovara za noćne uslove
3	tamna boja	jaka sunčeva svetlost	8–18	82–92	ne odgovara za noćne uslove
4	veoma tamna boja	veoma jaka sunčeva svetlost	3–8	92–97	ne odgovara za bilo kakvu vožnju

142

Boja sočiva i transparencija

- Boja sočiva je određena **hromatskim sastavom svetlosti** koja prolazi kroz njega.



- Opšti principi:
 - siva** boja propušta podjednako sve talasne dužine,
 - braon** boja apsorbuje više u **plavo-zelenoj** oblasti,
 - zelena** boja apsorbuje više u **narandžasto-crvenoj** oblasti,
- Intenzitet boje pokazuje **stepen apsorpcije** u vidljivoj oblasti,
- Boja **ne** ukazuje na apsorpciju u **UV** i **infracrvenoj** oblasti.

143

Boja sočiva i transparencija

- ◆ **Idealni filter** za sunčevu zračenje treba da:
 1. oslabi UV zračenje,
 2. redukuje transparenciju do udobnog nivoa bez izobličenja boja, i
 3. obezbedi oštrinu vida u celom spektru.

Sočiva sa permanentnom bojom

- ◆ **Staklena** sočiva sa permanentnom bojom
- **zapreminski bojena stakla** se dobijaju dodavanjem aditiva (**soli** ili **oksiда metala**) sa specifičnim apsorpcionim osobinama u rastop materijala za sintezu stakla – boja je uniformno raspoređena po celoj zapremini sočiva.

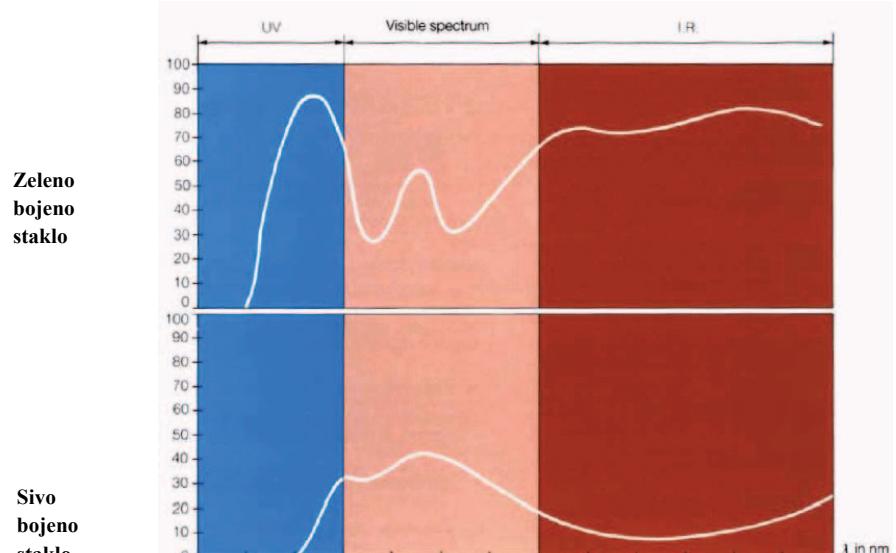
144

Stakla – podela prema apsorpcionim osobinama

- ◆ Bojenje se može sprovesti na dva osnovna načina:
 - pomoću **molekularnih sredstava** – jedinjenja pomešana sa sirovinama koje se zatim u procesu proizvodnje sjedinjavaju sa osnovnim komponentama staklene smeše;
 - pomoću **koloidno-disperznih sredstava** – ne rastvaraju se u rastopu prilikom proizvodnje, već se ravnomerno raspoređuju po staklu, nezavisno od sastavnih komponenti i na odgovarajući način rasipaju svetlost, pri čemu u delu transparentne svetlosti nedostaju izvesne talasne dužine.
- ◆ Tako se dobijaju **stakla** sa:
 - **specifičnim apsorpcionim osobinama** za svaku talasnu dužinu u vidljivom delu spektra;
 - sa **selektivnim stepenom apsorpcije**, kojeg ilustruje **apsorpciona kriva** za pojedine boje.

145

Bojena stakla – primeri krivih transparencije



146

Bojena stakla

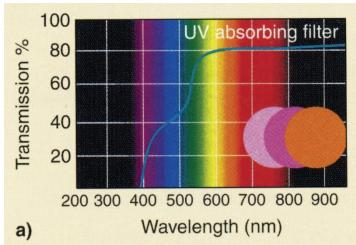
- Za svaku boju stakla se dodaje specifičan aditiv ili kombinacija aditiva (**so ili oksid metala**).
- **UV** zračenje efikasno apsorbuju **oksidi Ti, Ce, Fe**, a **infracrveno** zračenje **oksidi Fe**.
- **Filtrirajuća bojena stakla** mogu biti slabo bojena, relativno tamna i veoma tamna (kategorizacija u tabeli). Višeslojni filtri oduzimaju dodatnih i do 7 % svetlosnog fluksa.

boja stakla	so metala
ljubičasta	Ni, Co, Mn
plava	Cu, Co
zelena	Cr, Fe
žuta	Fe, Cd, Cr, S
crvena	Au, Cu, Se
sivo	mešavina aditiva

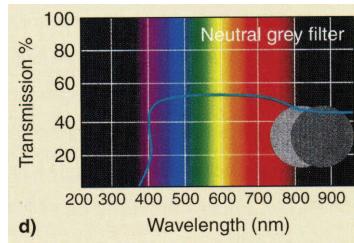
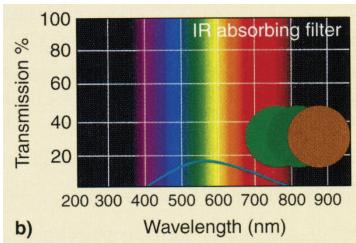
kategorija stakla	apsorpcija u vidljivom području [%]
0	0-20
1	20-57
2	57-82
3	82-92
4	92-97

147

Sočiva sa permanentnom bojom - primeri



- ◆ Ružičasta sočiva dobro apsorbuju UV zračenje.
- ◆ Zeleni filtri dobro apsorbuju i UV i IR zračenje.
- ◆ Neutralni sivi filter apsorbuje UV i podjednako sve talasne dužine vidljivog spektra.



148

Sočiva sa permanentnom bojom

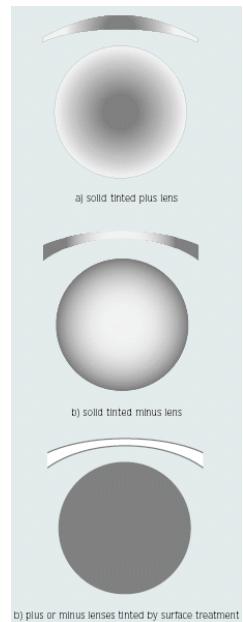
- ◆ Nedostatak zapreminske bojenih (staklenih i plastičnih) sočiva je u nejednakim apsorpcionim osobinama po obodu u poređenju sa centralnim delom.
- ◆ Koeficijent apsorpcije α_i raste prema Lambertovom zakonu sa porastom debljine x providnog materijala:

$$\alpha_i = 1 - \exp(-kx)$$

- ◆ Jednostavan način za izračunavanje transparencije materijala T_n debljine t_n , ako su poznate transparencija T pri debljini t i površinska transparencija $T_s = 1 - \rho$ (gde je ρ - reflektanca).

$$T_n = T^2 \left(\frac{T}{T_s^2} \right)^{\frac{t_n}{t}} \quad T_s = 1 - \rho \quad \rho = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

- ◆ U današnje vreme zapreminske bojene materijale se još koriste kod planarnih sunčanih (staklenih i plastičnih) naočara i kod (plastičnih) naočara sa zaštitnim filtima.



149

Sočiva sa permanentnom bojom

- ◆ **Površinski bojena staklena sočiva** se dobijaju **vakuumskim naparavanjem** (10^{-5} mbar) tankog uniformnog sloja na **jednu stranu** sočiva. Metoda je slična onoj za postavljanje AR prevlaka.
- ◆ Obojeni sloj može da sadrži:
 - NiCr ili **okside Cr, Mo i Ti** sa MgF₂, SiO ili SiO₂,
- ◆ Oksidi većinom daju braon boju, a kombinacija SiO₂ i metala sivu boju.
- ◆ Pošto je zahtevana temperatura supstrata 200-300 °C, metoda se primenjuje **samo na stakla**.
- ◆ **Intenzitet boje** zavisi od debljine sloja.
- ◆ Obojenih slojeva uniformne debljine može biti i više, i to različitog sastava i različitih debljina, a ukupne debljine reda **µm** (10^{-6} m) da bi se dobio traženi apsorpcioni efekat.

150

Plastična sočiva sa permanentnom bojom

- ◆ **Zapreminski bojena plastična sočiva - dodavanje aditiva u monomersku fazu proizvodnje**, tj. pre procesa polimerizacije.
 - Posebni aditivi poboljšavaju apsorpciju UV štetnog zračenja i takođe se dodaju u monomerskoj fazi.
- ◆ **Površinski bojena plastična sočiva - tehnika potapanja** u rastvor boje.
 - Boja ponekad prodire do dubine oko 1 mm, iako se u nekim postupcima može postići dubina od samo 6–10 µm i da zahvati samo prevlake na sočivu.
 - Bojenje se može sprovesti **pre ili posle** postavljanja **tvrde** prevlake, u zavisnosti da li se može bojiti ili ne.
 - Boja plastičnog sočiva (nijansi ima bezbroj) ne ukazuje obavezno i na transparentne osobine.
 - Bojenje traje od 1 min do par sati, i od toga zavisi intenzitet boje.

151

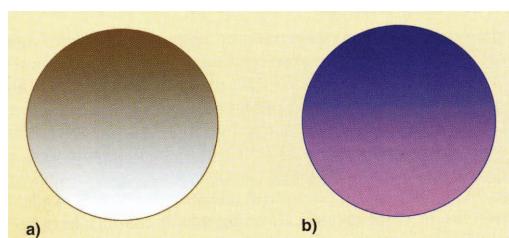
Plastična sočiva sa permanentnom bojom

- ◆ Osim potapanjem **ravnomerne obojenost** (plastičnih) sočiva se može dobiti i u procesu **laminiranja**, tj. spajanjem (laminiranjem – lepljenje ili zatapanje) obojenog sloja polimernog materijala (debljine reda 1 mm) sa osnovnim providnim bezbojnim sočivom.
- ◆ Takva sočiva su uobičajeno malo deblja od očekivanog.
- ◆ Isti postupak se često vrši u slučaju postavljanja fotochromnog sloja (sloja promenljivih apsorpcionih osobina) na (stakleno) sočivo (obično od materijala visokog indeksa prelamanja).
- ◆ Dakle, za dobijanje ravnomerne obojenosti se koriste dve osnovne tehnike:
 - **vakuumsko naparavanje** kod **stakala**;
 - **potapanje** kod **plastika**.

152

Sočiva sa permanentnom bojom - **GRADIJENTNI FILTRI**

- ◆ **Gradijentni filtri** su obojena (staklena ili plastična) sočiva koja imaju postepenu promenu transparentnih osobina (po vertikalnoj osi).



- ◆ Mogu biti **jednobojni**, zatim sa **dvostrukim gradijentom** (jedna boja prelazi u drugu) ili da pokazuju tzv. "efekat duge".
- ◆ Gradijent boje na **staklima** se postiže u tzv. procesu metalizacije ili **vakuumskog naparavanja**, a na **plastičnim** materijalima **regulacijom brzine** vađenja sočiva iz kade sa rastvorom boje.

153

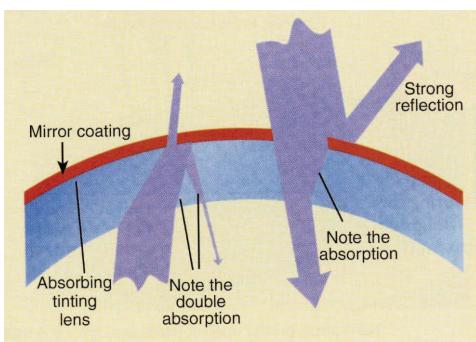
Tretman površina sočiva – Reflektujući filtri

- ◆ Za **zaštitu** očiju od neželjenog zračenja služe **reflektujući filtri**.
- ◆ Na površinu sočiva se vakuumskim naparavanjem nanose tanki filmovi (slojevi) metalne supstance, koja treba da ima dobre prianjajuće osobine (athezija), tvrdoću, ...
- ◆ Prvobitni reflektujući filtri su imali braon boju i različit stepen transparentcije (75 %, 50 %, 25 %, itd.), a u današnje vreme su dostupni u različitim varijantama reflektivne boje.
- ◆ **Dve osnovne varijante** reflektujućih filtera, koji funkcionišu na dva različita načina su:
 - ogledalske prevlake, i
 - reflektujuće prevlake.

154

1. Ogledalske prevlake

- ◆ Ogledalske prevlake obično kombiniraju **visokoreflektujuću** prednju **površinu sočiva** sa veoma **apsorbujućom bojom**, što višestruko smanjuje količinu svetlosti koja stiže do oka korisnika sočiva.
- ◆ Slično AR sloju koji koristi četvrttalasnu ($\lambda/4$) teoriju da oslabi refleksiju, ogledalski slojevi koriste **polutalasnu ($\lambda/2$) teoriju** da pojačaju (udvostruče) refleksiju.

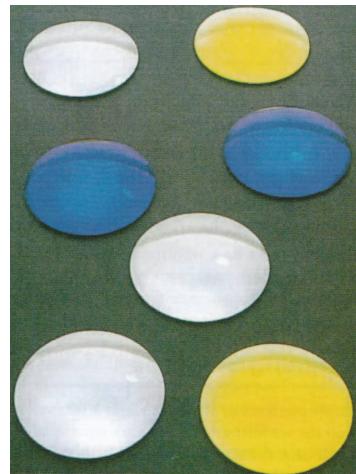


- ◆ To omogućuje pravljenje ogledalskih prevlaka koje **reflektuju tačno odredene boje** vidljivog spektra: plavu, žutu (zlatnu), srebrnu, ...
- ◆ Smanjena transparentacija u **bojenom** sočivu sprečava da korisnik naočara zapaža odraz svojih očiju.

155

Tretman površina sočiva – 1. Ogledalske prevlake

- ◆ Uobičajene ogledalske prevlake proizvode plavu, zlatno-žutu ili srebrnu refleksiju.
- ◆ Ogledalske prevlake se postavljaju **naparavanjem** u vakuumskim komorama.



156

2. Reflektujuće prevlake

- ◆ Za razliku od **ogledalskih prevlaka** koje koriste **polatalasnu** teoriju da pojačaju refleksiju svetlosti proizvoljne talasne dužine, postoje prevlake koje pojačavaju refleksiju usled svog **visokog indeksa prelamanja**.
- ◆ Ako se jednostruki sloj indeksa n_f postavi na sočivo indeksa n_g , reflektanca dostiže vrednost:

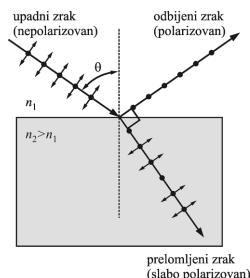
$$\rho = \left(\frac{n_f^2 - n_g^2}{n_f^2 + n_g^2} \right)^2$$

- ◆ Primer: sloj **ZnS** ($n_f=2.3$) na **staklu** ($n_g=1.5$) daje $\rho=31\%$.
- ◆ Prevlake na bazi **Cr** ili **NiCr** se mogu postavljati i na supstrate koji se ne greju, tj. i na **plastične materijale**.
- ◆ Njihova mala tvrdoća uslovjava postavljanje odozgo i **kvarcnog sloja**.
- ◆ Pošto je zadnja površina sloja (u kontaktu sa vazduhom) veoma reflektujuća, na njega se često postavlja **AR sloj (MgF_2)** (na reflektujući sloj) koji smanjuje refleksiju sa zadnje strane sočiva u oko.

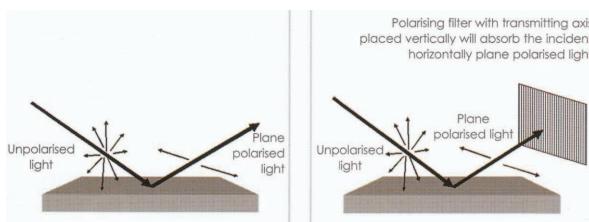
157

Polarizujući filtri

- Pri refleksiji od ravnih površina (vodena ili metalna površina, sneg, staklo, površina kolovoza) svetlost se delimično polarizuje, a intenzitet takve svetlosti, koja uzrokuje blještvilo, može se smanjiti propuštanjem kroz **polarizujući filter**.



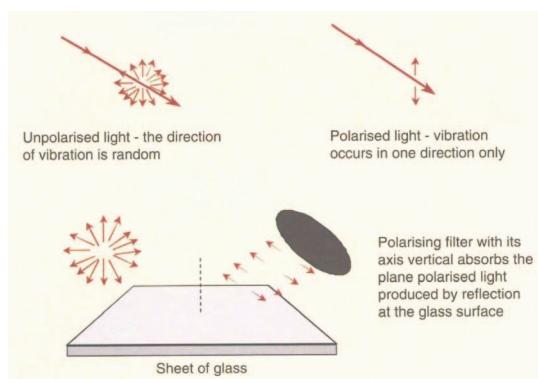
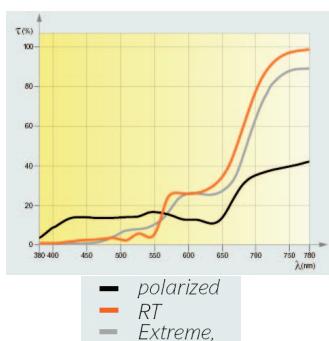
- Stepen polarizacije pri refleksiji zavisi od **upadnog ugla**, a maksimalan je kada reflektovani i prelomljeni zrak zaklapaju ugao od 90° . U tom slučaju se upadni ugao naziva Brjusterov (*Brewster*) ugao.



158

Polarizujući filtri

- Polarizaciona ravan** (ravan, tj. osa propuštanja) **filtara** treba da je pod uglom od 90° (vertikalna) u odnosu na **ravan polarizacije** reflektovane **svetlosti** (koja je horizontalna). Tada je efekat apsorpcije najveći.
- Efikasna eliminacija sjaja omogičuje nesmetano viđenje predmeta obasjanih nepolarizovanom svetlošću.

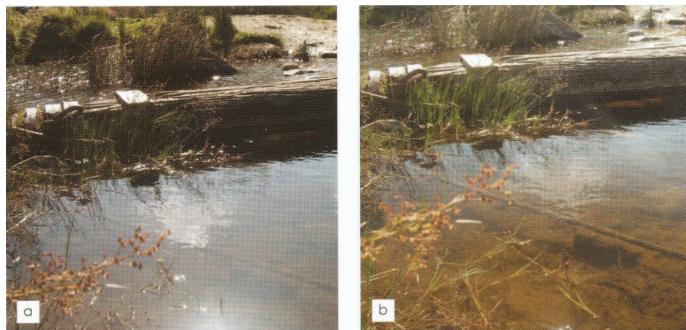


Kriva transparencije sočiva sa polarizujućim filtrom (crno).

159

Polarizujući filtri

- Polarizujuća sočiva sočiva ne samo što eliminišu sjaj reflektovane svetlosti, već omogućavaju da se vide detalji ispod površine koja reflektuje (ukoliko je providna).



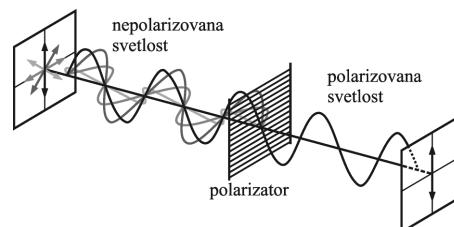
Fotografija napravljena bez (levo) i sa polarizujućim filtrom ispred objektiva (desno).

- Polarizujuće filtre često koriste u vožnji, pri sportovima na vodi, u ribolovu, alpinizmu, ...

160

Polarizujući filtri

- Polarizujući filtri se prave, uglavnom, od **polivinil alkohola (PVA)**, koji je impregniran sa **jodom**.
- Za vreme proizvodnje se lanci molekula PVA istežu i usmeravaju da budu međusobno paralelni. Jod se vezuje za molekule PVA i čini ih provodnim.
- Svetlost polarizovana u pravcu paralelnom pravcu lanaca biva apsorbovana, a svetlost čije električno polje osciluje normalno na pravac lanaca biva propuštena.



- Polarizujući filtri se postavljaju na sočiva u obliku **laminata** (sloja) debljine do 1 mm između dva sloja materijala sočiva.
- Faktor svetlosne transparencije im je manji od 50 %, a dodatnim bojenjem i postavljanjem UV filtra, takva sočiva se mogu svrstati u kategoriju 3 (8–18 % transparencija τ_V).

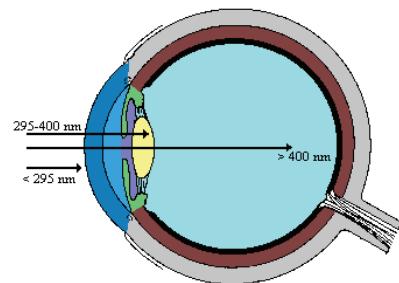
161

Atenuacija (slabljenje) elektromagnetskog zračenja Filtri za UV zračenje

Ultraljubičasto zračenje se deli u tri osnovne oblasti:

- UVA – 315–380 nm;
- UVB – 280–315 nm;
- UVC – 200–280 nm (iako donja granica nije strogo definisana).

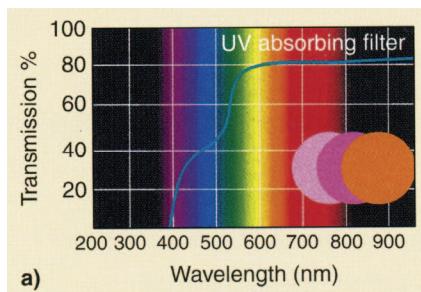
- ◆ UVA zračenje apsorbuje u velikoj meri **kristalno sočivo oka**, ali deo stiže do mrežnjače i zajedno sa kratkotalasnom plavom svetlošću je štetno za vid.
- ◆ UVB zračenje apsorbuje **rožnjača** i izaziva crvenilo očiju.
- ◆ UVC zračenje Sunca se apsorbuje u **ozonskom omotaču** atmosfere.



162

Filtri za UV zračenje

- ◆ Posebno je važno da **zatamnjena sočiva** (sunčane naočari, sočiva sa raznim filtrima, ...) **obavezno imaju zaštitni UV filter**, posebno ako je apsorpcija UV zračenja manja od apsorpcije vidljivog dela spektra u sočivu - širenje zenice oka radi ulaska svetlosti ima za posledicu i povećanu apsorpciju UV zračenja.
- ◆ UV filter treba da zaustavi svo zračenje ispod **360 nm** i da eventualno samo malo oslabi vidljivi deo spektra



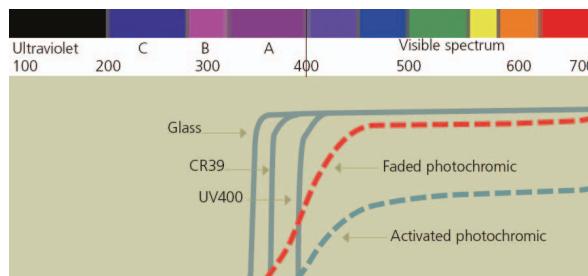
- ◆ Za UV filtre se najčešće koriste **oksiidi Ce, Ti, Fe**.

Grafik transparencije UV filtra

163

Filtri za UV zračenje

- **Stakleni** materijali za sočiva **nisu prirodni apsorberi** UV zračenja. Kod njih je neophodno dodavanje odgovarajućih aditiva u smešu pri sintezi.
- **Plastični** materijali su, generalno, bolji UV filtri od stakala.
- **Polikarbonat** je prirodni apsorber UV zračenja i **ne zahteva** postavljanje posebnog filtra.
- **CR 39** apsorbuje deo UV spektra (do 370 nm), ali se UV odsečak može pomeriti odgovarajućim površinskim bojenjem.

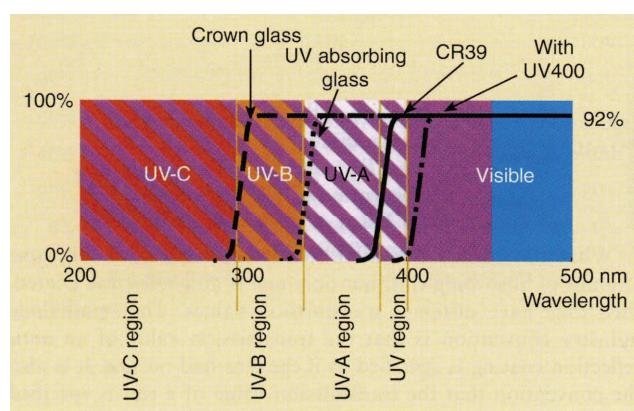


Fotochromni materijali su dobri apsorberi UV zračenja.

Krive transparencije stakla, CR39, materijala sa UV filtrom i fotochromnog materijala.

164

Atenuacija UV elektromagnetskog zračenja



UV apsorpcija materijala sočiva

165

Atenuacija UV elektromagnetskog zračenja

MEDIUM	REFRACTIVE INDEX		CVF	DENSITY	UV CUT-OFF	ABBE	$\rho(\%)$
	n_d	n_e					
Glasses							
White crown	1.523	1.525	1.0	2.5	320	59	4.3
Light flint	1.600	1.604	0.87	2.6	334	42	5.3
1.7 glasses	1.700	1.705	0.75	3.2	340	35	6.7
	1.701	1.706	0.75	3.2	320	42	6.7
1.8 glasses	1.802	1.807	0.65	3.7	332	35	8.2
	1.830	1.838	0.63	3.6	340	32	8.6
1.9 glasses	1.885	1.893	0.59	4.0	340	31	9.4
Plastics							
CR39	1.498	1.500	1.0	1.3	355	58	4.0
Trivex®	1.532	1.535	0.94	1.1	380	46	4.4
Sola Spectralite	1.537	1.540	0.89	1.2	370	38	4.8
AO Alphalite 16XT	1.582	1.585	0.90	1.3	380	34	5.1
Polycarbonate	1.586	1.589	0.86	1.2	385	30	5.2
Hoya Eyas 1.6	1.600	1.603	0.83	1.3	380	42	5.3
Polyurethanes	1.600	1.603	0.83	1.3	380	36	5.3
	1.609	1.612	0.82	1.4	380	32	5.4
	1.660	1.664	0.75	1.4	375	32	6.2
Stylis	1.670	1.674	0.74	1.4	375	32	6.3
Hoya Teslalid	1.710	1.715	0.70	1.4	380	32	6.9
Nikon	1.740	1.746	0.67	1.4	380	32	7.3

UV granica odsecanja materijala sočiva



166

Fizički podaci za neke staklene i plastične materijale

Materijal	n_d	UV cut-off	aps. UVA / UVB
Stakla			
belo kron	1.523	320	20 / 70
laki flint	1.600	334	61 / 100
1.7 stakla	1.700	340	76 / 100
	1.701	320	
1.8 stakla	1.800		81 / 100
	1.802	332	
	1.830	340	
1.9 stakla	1.885	340	76 / 100

Materijal	n_d	UV cut-off	aps. UVA / UVB
CR39	1.498	355	90 / 100
CR607	1.497		100 / 100
PMMA	1.490		
INDO Superfin	1.523	350	
Trivex	1.532	380	100 / 100
Sola Spectralite	1.537	385	98 / 100
CR424	1.554		
Corning SunSensors	1.555	380	
PPG HIP	1.56	370	
Essilor Ormex	1.56		100 / 100
Polikarbonati	1.586	385	100 / 100
Hoya Eyas 1.6	1.600	380	
MR-8 1.6	1.6		100 / 100
MR-6 1.6	1.6		100 / 100
Sola Finalite	1.600	380	
	1.660	375	
	1.670	395	
MR -7 1.67	1.66		100 / 100
MR-10 1.67	1.66		100 / 100
Hoya Ery 1.7	1.695	380	100 / 100
Hoya Teslalid	1.710	380	
Veoma visoki indeks	1.740	400	
Nikon	1.740		

167

Atenuacija UV elektromagnetskog zračenja

- ◆ Ako je UV odsečak blizu 400 nm, sočivo ostaje belo; ako je iznad 400 nm, dobija žutu nijansu.
- ◆ Jaka žuta boja se zapaža kada je granica odsecanja (*cut-off*) UV filtra na oko 450 nm, a narandžasta kada je oko 500 nm.
- ◆ Od strmine krive transparencije u kratkotalasnom delu će takođe zavisiti nijansa žute boje sočiva sa UV filtrom.

Tabela 1. Vezu između granice odsecanja, boje sočiva i osobina vezanih za korišćenje

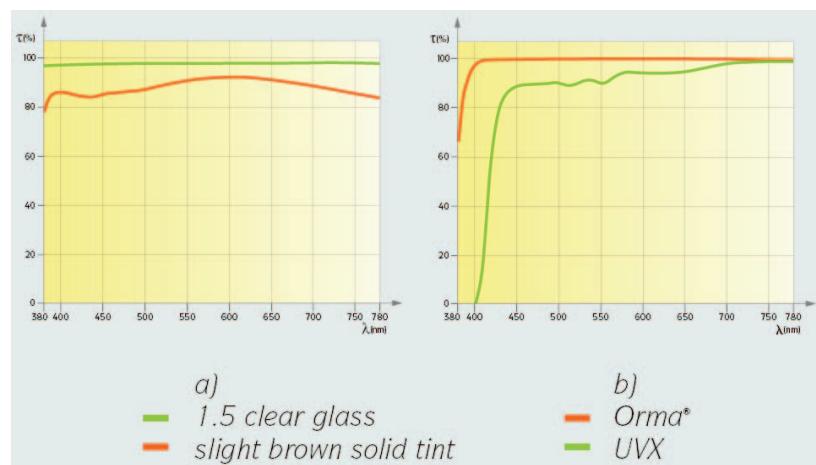
granica odsecanja [nm]	boja sočiva	potencijalne prednosti
380	veoma providno (bistro)	Sprečava pojavu požutelosti CR39 materijala.
400	providno	Za dugotrajno izlaganje, kao kod farmera, profesionalnih sportista, itd.
450	žuto	Kao gore, ali obezbeđuje izraženu zaštitu u rizičnoj plavoj oblasti vidljivog spektra.
500	naranđasto	Medicinski uslovi uključuju fotofobiju (preosetljivost na svetlost), kao i za sportove napolju.

Sočiva određene boje ne smeju se koristiti za vožnju osim ako su u skladu sa testovima prepoznavanja saobraćajnih signala definisanih ISO standardima

168

Atenuacija UV elektromagnetskog zračenja

- ◆ UV filter pomera UV odsečak na 350 nm za stakla, i na 400 nm za CR 39.



Grafik transparencije UV filtra: a) stakleno sočivo; b) plastično sočivo (CR 39).

169

Atenuacija infracrvenog (IR) elektromagnetsnog zračenja

Infracrveno zračenje (780 nm – 500 000 nm) – može se podeliti u dve osnovne oblasti u bliskom IR području (kratkotalasni deo):

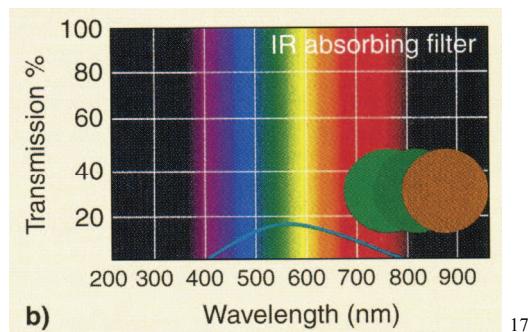
- IRA – 780–1400 nm
- IRB – 1400–3000 nm
- ◆ Zračenja u oblasti do ~1400 nm su većinom štetna za ljudsko oko.
- ◆ IR filtri se najčešće pojavljuju u obliku **ravnih zaštitnih naočara** ili **štitova za lice**.

170

Atenuacija infracrvenog elektromagnetsnog zračenja

- ◆ U obliku naočalnih sočiva – **stakla** su najpogodnija za postavljanje IR filtra; imaju zelenu boju zbog prisustva **oksida Fe**.
- ◆ **CR 39** nije pogodan za IR filter jer se dekomponuje pod uticajem topline.
- ◆ **Polikarbonati** mogu poslužiti za IR zaštitu.

Grafik transparencije IR filtra

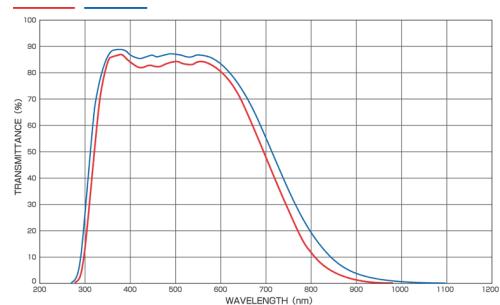
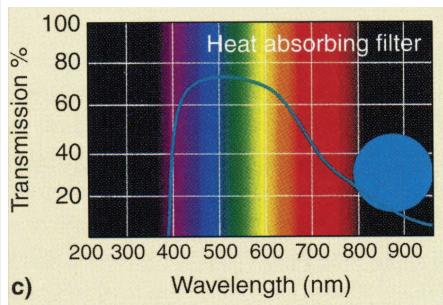


b)

171

Atenuacija elektromagnetskog zračenja - Filtri za topotno zračenje

- ❑ Filtri za apsorpciju topotnog zračenja su dobri apsorberi IR zračenja, ali se prave da propuste što je moguće više svetlosti.
- ❑ Obično su **svetlo plavi** ili **zeleni** i imaju maksimum transparencije na oko 500–550 nm, nakon čega ona brzo opada skoro do nule (na oko 800 nm) i tako ostaje sve do daleke IR oblasti.



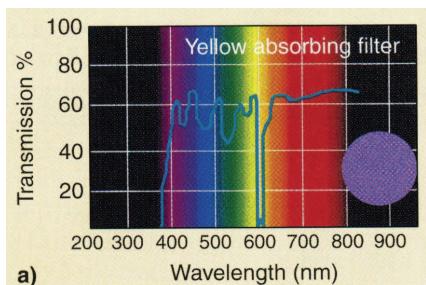
Grafik transparencije (plavog) topotnog filtra

172

Atenuacija elektromagnetskog zračenja - Specijalni filtri

Žuto-apsorbujući filter

- ❑ **Žuta boja** ima najveću luminansu (**sjaj**) od svih boja i najlakše može zaslepiti.
- ❑ Filter koji **apsorbuje žutu boju** smanjuje sjaj i **pojačava razlikovanje boja** između **crvenog** i **plavog** kraja spektra.
- ❑ Obično se pravi od na staklenim sočivima, ugradnjom u sastav stakala **didima**, smeše **neodima** (**Nd**) i **prazeodima** (**Pr**) (elementi iz grupe retkih zemalja u Periodnom sistemu).



◀ Grafik transparencije žuto-apsorbujućeg filtra

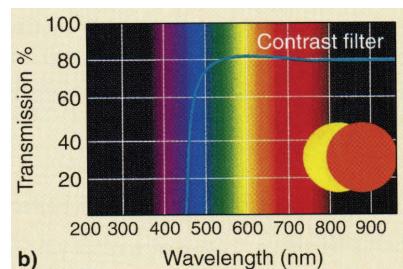
173

Atenuacija elektromagnetskog zračenja

Kontrastni filter (plavo-apsorbujući filter)

- Povećana apsorpcija u **plavom** delu spektra **pojačava kontrast** i sposobnost oka da razlikuje **svetle** i **tamne** oblasti.
- Kontrastni filter - pojačava kontrast u uslovima otežanog vida (izmaglica), ali **remeti razlikovanje boja**.
- Može se praviti na staklenim i plastičnim sočivima, a boja filtra varira od **žute** do **crvene**, zavisno od zahtevane apsorpcije.
- Kontrastni filter apsorbuje sve λ ispod 450 nm, a maksimum pokazuje oko 525 nm, nakon čega τ ostaje konstantna.

Grafik transparentnosti
plavo-apsorbujućeg filtra

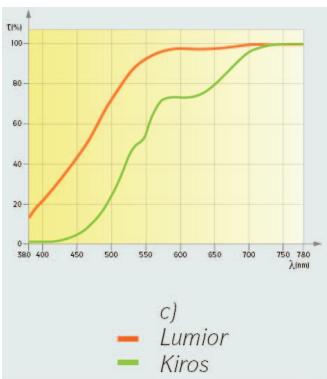


174

Atenuacija elektromagnetskog zračenja

Kontrastni filter (plavo-apsorbujući filter)

- U poslednje vreme kontrastni filter se koristi za smanjenje štetnih efekata treperenja fluorescentnih sijalica (maksimum snage u UV i plavom području).
- Apsorpcija kratkotalasnog dela spektra fluorescentnih sijalica znatno smanjuje efekte treperenja.



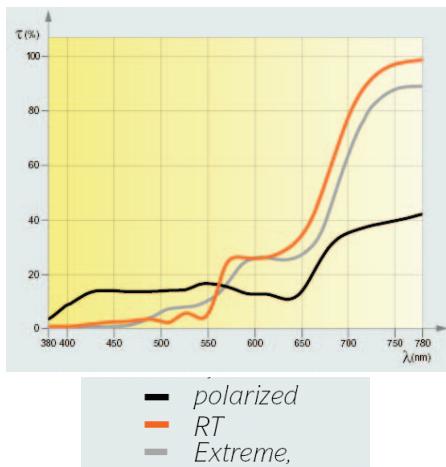
- Negativan efekat korišćenja kontrastnog filtra je **neuravnoteženost boja** u propuštenom spektru.

175

Atenuacija elektromagnetskog zračenja

Filter visoke apsorpcije

- Apsorbuju UV zračenje i niži deo spektra, a propuštaju gornji deo spektra.

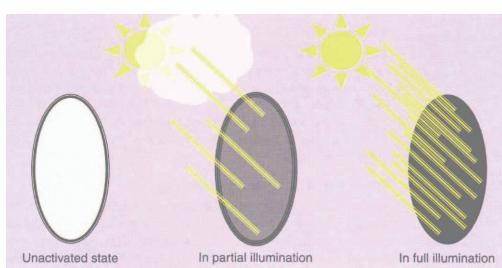


- Koriste se u uslovima **jakog svetla** (suncem obasjan sneg i sl.).
- Siva linija – filter odseca talasne dužine do 530 nm, pojačava kontrast.
- **Crvena linija** – filter odseca talasne dužine do 420 nm, održava vizualnu oštrinu.

176

Sočiva sa promenljivom bojom - fotohromna sočiva

- **Fotohromna sočiva** - sočiva koja pod uticajem jakog sunčevog zračenja potamne, a nakon prestanka delovanja ekscitacionog zračenja posvetle.
- Menjaju transparentne osobine pod uticajem delovanja elektromagnetskog zračenja odgovarajuće talasne dužine (UVA i plavi deo spektra).
- Sočiva sa **permanentnom bojom** su pogodna u uslovima **konstantnog** velikog intenziteta sunčevog zračenja, a **fotohromna** u uslovima **promenljivog** intenziteta.



177

Fotochromna staklena sočiva

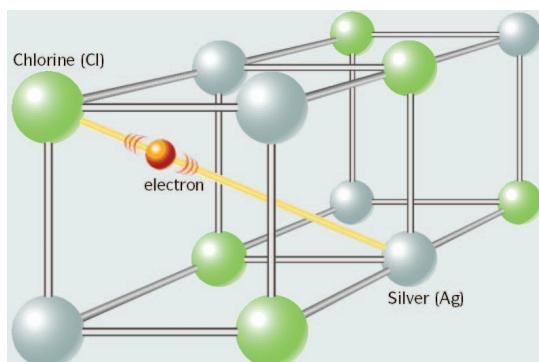
- **Staklena** fotochromna sočiva - sadrže **kristalni srebro halid** (srebro hlorid **AgCl**, ili AgBr, AgI), čestice reda 800–1500 nm, unutar kojeg se vrši razmena elektrona između atoma Ag i Cl i time utiče na apsorpcione osobine.
- Ako je veličina čestica halida Ag **manja od 800 nm**, efekat je **zanemarljiv**, a ako je **preko 1500 nm**, staklo postaje **svetlucavo**.
- Za **ubrzanje** fotochromne reakcije stakala u sastav se dodaje mala količina **bakra**.
- Na krajnji efekat i brzinu potamnjivanja i posvetljenja **stakala** utiče:
 1. sadržaj Pb, B i alkalnih metala,
 2. temperatura materijala, i
 3. termički tretman za vreme procesa odgrevanja (proces proizvodnje).

178

Fotochromna staklena sočiva

Mehanizam fotochromizma u staklenim materijalima za sočiva sa srebro hloridom AgCl:

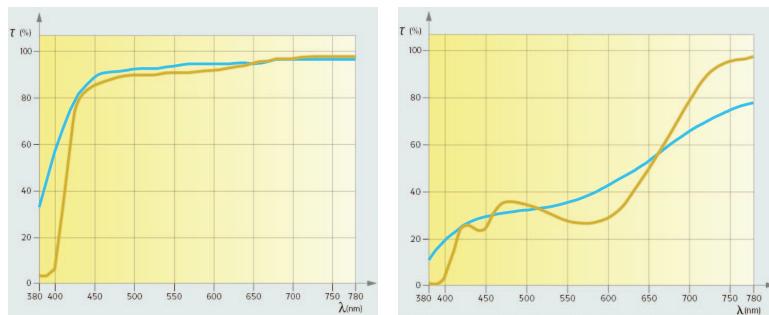
- U kristalima AgCl elektron pod uticajem UV zraka menja položaj i prelazi sa Cl na Ag (**potamnjivanje – povećana apsorpcija u širokoj oblasti vidljivog spektra**), a kada prestane delovanje UV zraka, **elektron se u kristalu AgCl vraća atomu hloru (posvetljenje)**.



179

Fotochromna staklena sočiva

- ❑ Karakteristike (performanse) fotochromnih sočiva (staklenih i plastičnih) se predstavljaju:
 1. **krivama transparencije** u zatamnjrenom i providnom stanju;
 2. **krivama kinetike** potamnjenja i posvetljenja.

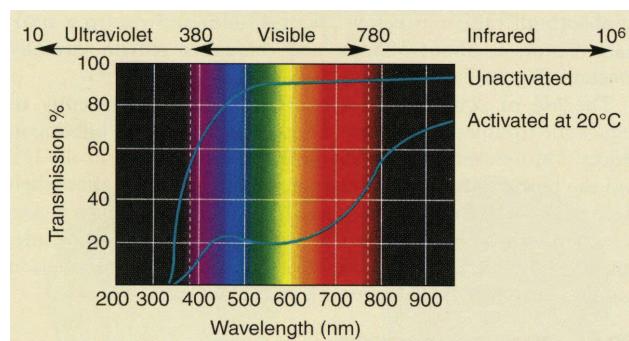


Krive transparencija u providnom i zatamnjrenom stanju

plava linija - staklene sočivo smeđa linija - plastično sočivo

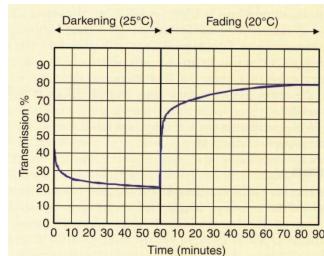
180

Fotochromna stakla



Kriva transparencije u neaktiviranom i aktiviranom stanju ↑

Kinetika potamnjenja i posvetljenja →



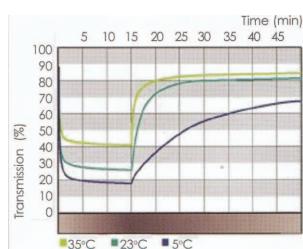
181

Fotohromna staklena sočiva - performanse

Fotohromne performanse **stakala** zavise od sledećih faktora:

1. **Količina svetla** – potamnjenje je brže pri vedrom plavom nebu, nego za vreme oblačnog vremena ili **unutar vozila** (tada potamnjenje nije veće od 15-tak %).
 - ◆ Antirefleksione prevlake takođe utiču na brzinu reakcije (menjaju količinu reflektovane svetlosti i u delu aktivacionih talasnih dužina).
2. **Vrsta zračenja** – aktivacione talasne dužine se nalaze u oblasti između UVA i plavog kraja vidljivog spektra (relativno uzan interval). Brzina potamnjenja je veća pri većoj količini ovih talasnih dužina.
3. **Temperatura sočiva** – performanse fotohromnih sočiva su bolje na **nižim** temperaturama (potamnjenje je brže, ali vraćanje u stanje veće transparencije sporije).

Razlika u zatamnjenošći na 35 °C u poređenju sa onom na 5 °C ide i do 25 %.
→

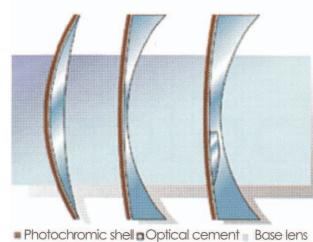


182

Fotohromna staklena sočiva - performanse

4. **Debljina materijala sočiva** - sočiva veće debljine sadrže više halida Ag i više potamne u reakciji sa sunčevim zračenjem.

- ◆ Ako se fotohromna staklena sočiva dobijaju ubacivanjem fotohromnog materijala u smešu pri sintezi, tada dioptrijska sočiva imaju različite apsorpcione osobine (zatamnjenošću) **u centru i po obodu**.
- ◆ Moguće je postavljanje (zatapanje ili lepljenje) fotohromnog planarnog staklenog **sloja** debljine 2 mm na površinu sočiva da bi se dobio **ravnomerni efekat** potamnjivanja nakon aktivacije.



5. **Istorijski prethodni ciklusi** – fotohromno ponašanje sa vremenom postaje **sporije** usled stalnih ciklusa potamnjivanja i posvetljivanja (potrebno je duže vreme za postizanje krajnjeg nivoa transparencije).

- ◆ “Zamor materijala” je veći kod **plastičnih** fotohromnih materijala.
- ◆ Staklena sočiva se mogu veštački vratiti u prvobitno stanje performansi potapanjem u ključalu vodu oko 30 min.

183

Fotohromna staklena sočiva

- Fotohromna stakla se uobičajeno proizvode sa normalnim ($n_d=1.523$) i srednjim ($n_d=1.600$) indeksom prelamanja i to u **sivoj** ili **braon** varijanti.
- Tvrdoća **staklenih** materijala i otpornost prema habanju daje im prednost u poređenju sa plastičnim sočivima, ali im je otpornost prema udarcu manja.
- Povećanje otpornosti (izdržljivosti) staklenih sočiva se vrši putem termičkog ili hemijskog tretmana. Termički tretman utiče na **jače potamnjenje**, ali i **sporije vraćanje u providno stanje**.

184

Fotohromna plastična sočiva

- **Fotohromna plastična sočiva** su postigla efikasnost staklenih tek 1990-ih godina.
- U plastike se dodaju fotohromni materijali, kao što su:
 - **spiro-oksazini**,
 - **spiro-pirani**, ili
 - **spiro-fulgidi**.
- Dodavanje aktivnih supstanci se vrši ili:
 - ◆ **pre polimerizacije** (mešanje sa monomerom), kada se dobija efekat promene apsorpcionih osobina po celoj zapremini sočiva,
 - ◆ putem **natapanjem** (upijanjem) posle polimerizacije, ili
 - ◆ putem **centrifugiranja** (u oba poslednja slučaja se dobijaju fotohromni slojevi),
 - ◆ neki proizvođači koriste i tehniku postavljanja fotohromnog sloja **u toku ukalupljuvanja** sočiva.

185

Fotohromna plastična sočiva

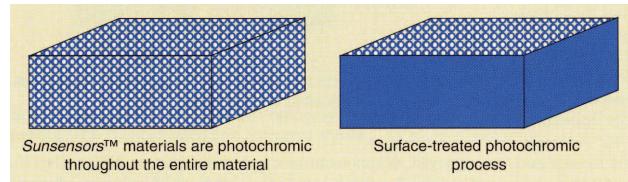
- ❑ Kada se primenjuju postupci **potapanja** ili **centrifugiranja**, često su fotohromne prevlake suviše **tanke**, pa se onda primenjuje alternativni postupak sličan **bojenju** plastičnih sočiva - proces prodiranja fotohromnog jedinjenja do određene dubine sočiva.
- ❑ Neophodna je pažljiva preparacija originalnog monomera fotohromnog materijala i kontrola uniformnosti i gustine postavljenog sloja, tj. kontrola vremena i temperature upijanja.
- ❑ Fotohromni materijal prodire u plastična sočiva oko **100–150 µm** i takav sloj daje uvek uniformnu obojenost, bez obzira na različitu debljinu sočiva.

186

Fotohromna plastična sočiva

- ❑ Plastična fotohromna sočiva se uobičajeno proizvode od **CR 39** materijala, materijala indeksa **1.54, 1.56** i **polikarbonata**, indeksa **1.59**, i to u sivoj i braon verziji.
- ❑ Novi fotohromni plastični materijali su fotohromni **u celoj zapremini**, lakši i tanji u poređenju sa CR 39 (recimo, SunSensors™).

n_d	1.555
n_e	1.559
v_d	38
gustina	1.17

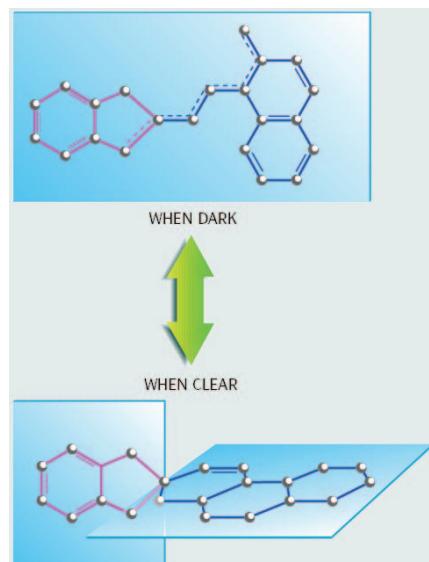


187

Fotohromna plastična sočiva

Mehanizam fotohromnog procesa kod plastičnih materijala:

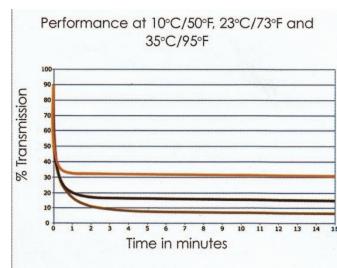
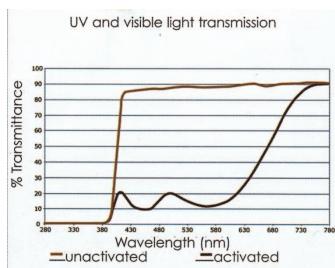
- Promena apsorpcionih osobina je posledica **rotacije dela** fotohromnog molekula ugrađenog u plastični materijal, do kojeg dolazi pri apsorpciji UVA zračenja.



Princip fotohromizma (spiro-oksazin) u plastičnom materijalu →

188

Fotohromna plastična sočiva



Kriva transparencije u neaktiviranom i aktiviranom stanju Transitions® VI ↑

Kinetika potamjenja Transitions® VI ↑

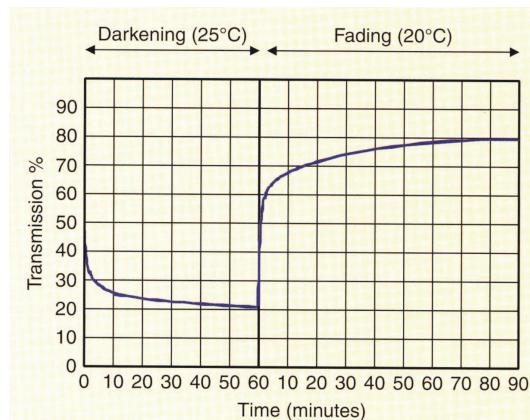
- Faktori koji utiču na reakciju plastičnih fotohromnih sočiva su praktično isti kao i kod staklenih sočiva.
- **Visoki stepen UV zračenja i niska temperatura** ubrzavaju proces **zatamnjivanja**.
- **Više temperature** ubrzavaju postizanje **providnog** stanja.

189

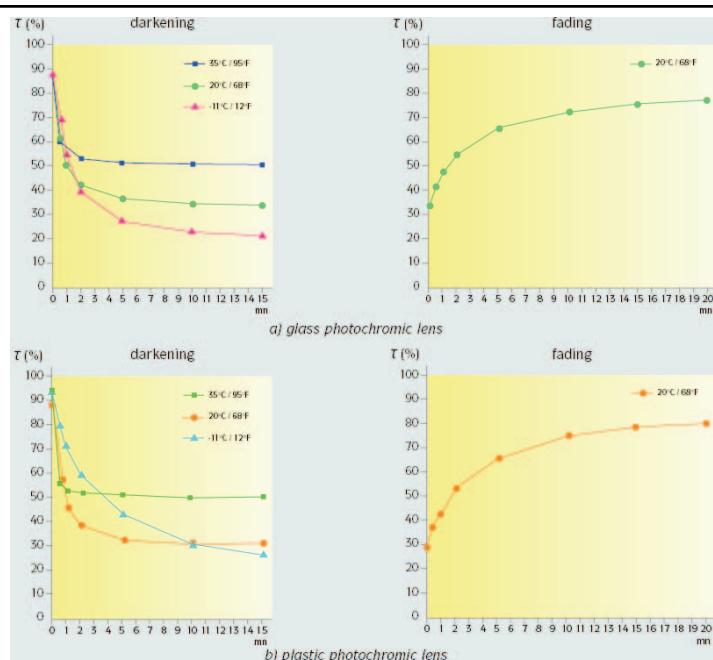
Kinetika fotochromnih **staklenih** sočiva

- ❑ **Kinetika fotochromnog procesa** se predstavlja krivom potamnjena i posvetljene u funkciji vremena.

- ❑ Tipične krive vremenske promene transparencije staklenog sočiva



190

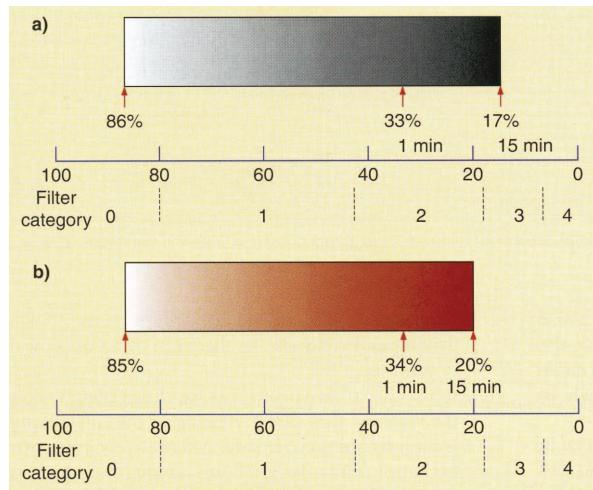


Kinetika fotochromizma kod **staklenih** i **plastičnih** sočiva

191

Fotohromna plastična sočiva

- Transparencija fotohromnih plastičnih sočiva u sivoj i braon nijansi (kinetika fotohromnog procesa) SunSensors™ :



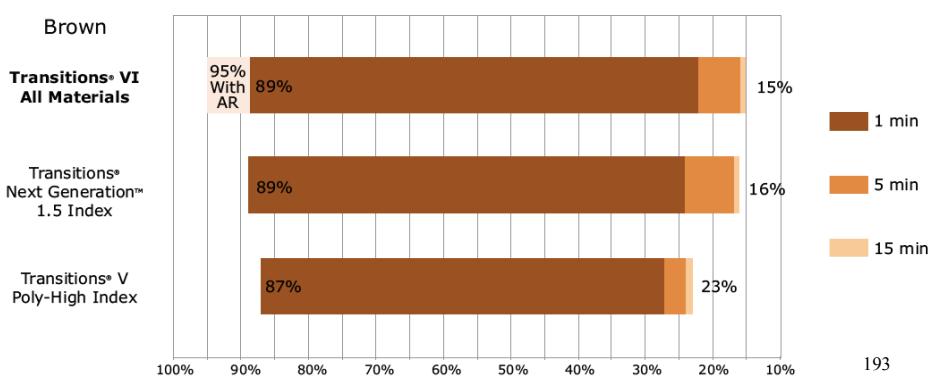
192

Fotohromna plastična sočiva

- Transparencija fotohromnih plastičnih sočiva (kinetika fotohromnog procesa) Transitions VI® - braon varijanta (AR prevlaka povećava transparenciju u prostorijama, i ubrzava vreme posvetljavanja za oko 30 %, a nema uticaja na potamnjenje):

Transitions® VI Addresses Clarity and Darkness

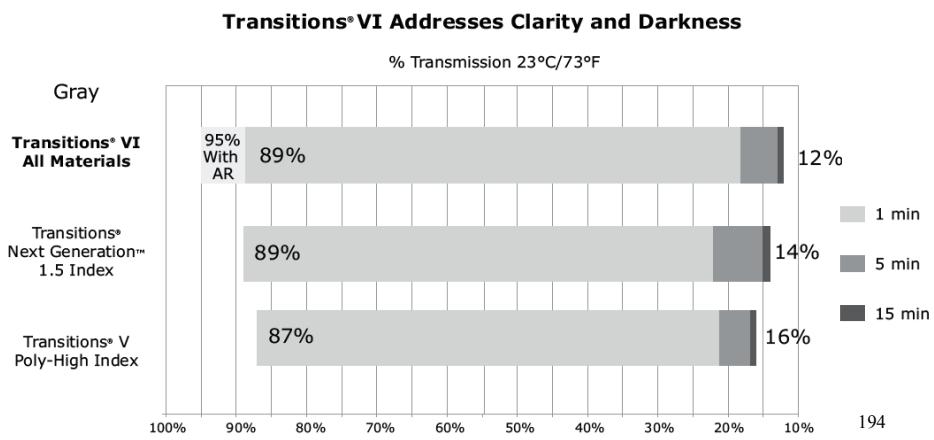
% Transmission 23°C/73°F



193

Fotohromna plastična sočiva

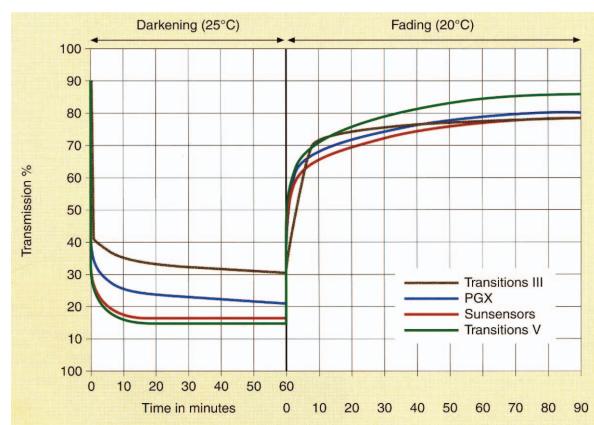
- Transparencija fotohromnih plastičnih sočiva (**kinetika** fotohromnog procesa) Transitions VI® - siva varijanta (AR prevlaka povećava transparenciju u prostorijama, i ubrzava vreme posvetljavanja za oko 30 %, a nema uticaja na potamnjenje):



Kinetika fotohromnih plastičnih sočiva

- Transitions V* - transparencija:
 $92\% \rightarrow 30\% \text{ (posle } 15 \text{ s)} \rightarrow 15\% \text{ (posle } 5 \text{ min)}$

- Tipične krive vremenske promene transparencije plastičnih sočiva

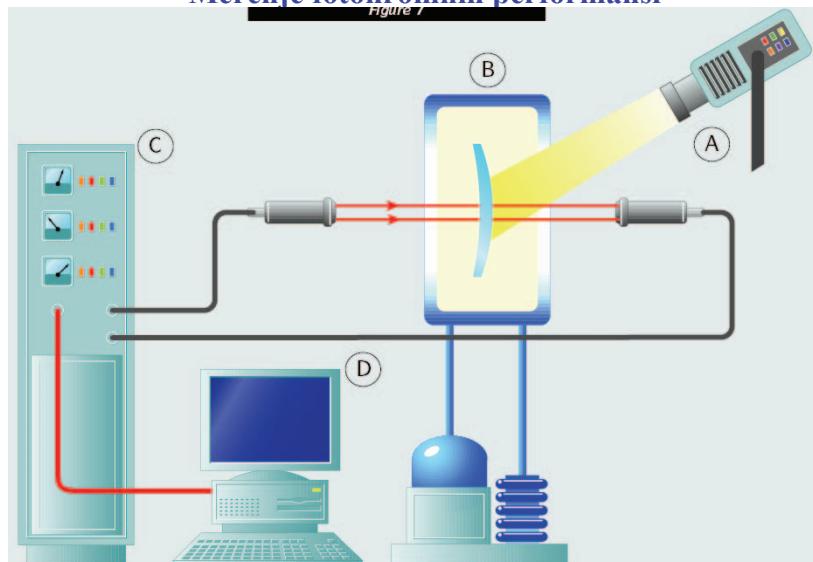


Performanse fotohromnih sočiva

- Performanse fotohromnih sočiva se u laboratorijama mere uz korišćenje:
 - **klimatske komore**, koja stvara realne vremenske uslove njihove upotrebe,
 - **lampe**, koja reprodukuje sunčev spektar,
 - **spektrofotometra**, koji meri intenzitet i spektralni sastav propuštene svetlosti,
 - **računarskog sistema** za kontrolu procesa.

196

Merenje fotohromnih performansi



A - lampa simulira sunčev spektar; B - klimatska komora;
C - spektrofotometar; D - računar za kontrolu procesa.

197

Materijali za okvire

- ◆ Osnovna podela materijala za okvire naočara:
 - plastični materijali,
 - metali i njihove legure.
- ◆ Plastični materijali se mogu svrstati u dve osnovne grupe, prema tome kako se ponašaju prilikom zagrevanja (slično materijalima za sočiva):
 - termoočvršćavajući materijali (ne mogu se naknadno oblikovati nakon zagrevanja),
 - termoplastični materijali (mogu se naknadno oblikovati u zagrejanom stanju).
- ◆ Skoro svi plastični materijali za ramove omekšavaju pri zagrevanju, iako nisu svi termoplastični.

198

Materijali za okvire

- ◆ Ramovi se uobičajeno prave od **najlona** (poliamida) ili od **kompozitnih materijala**, od kojih većina ne omekšava pravilno pri zagrevanju.
- ◆ Druge plastične mase koje ne omekšavaju se takođe koriste, ali za proizvodnju manjih delova (silikonska guma za papučice).

Metode proizvodnje delova okvira od plastičnih materijala

- **Ubrizgavanje u kalup** (*injection moulding*) - tečni monomer (ili čak polimer) se upumpava u kalup potiskujući vazduh.
- **Vakuumsko ubrizgavanje** (*vacuum moulding*) - vazduh se evakuiše (ispumpava) iz kalupa, a monomer ga pod uticajem atmosferskog pritiska popunjava (kompozitni materijali sa kratkim i tankim vlaknima gde orientacija nije bitna).
- **Punjjenje kalupa pomoću sile Zemljine teže** se takođe koristi, ali se u tom procesu mogu pojaviti mehurići vazduha.

199

Materijali za okvire

Proizvodnja plastičnih okvira

- **Mašinska obrada** – delovi okvira se isecaju i oblikuju uz pomoć struga i/ili glodalice nakon što se vade iz kalupa.
- **Spajanje** delova, **stavljanje ojačanja** itd. kod plastičnih okvira – uobičajeno se rade od "nikl-srebra", korišćenjem zakovica ili se još u toku ukalupljivanja plastičnog materijala neki delovi međusobno spajaju (krila okvira).
- **Lemljenje** – ponekad se primenjuje, kada su prisutni metalni delovi u plastičnim okvirima.
- **Poliranje** – jedan od završnih koraka u kome se dobija visoki sjaj plastičnog okvira. Često se primenjuje i jedan proces u kome se delovi okvira, zajedno sa, recimo, orahovim ljkuskama, plavim kamenom, biljnim uljima, ... vrte u zatvorenom cilindru i dobijaju specifičan površinski finiš.

200

Materijali za okvire

Plastični materijali u proizvodnji okvira

1. Celulozni acetat

- jedan od najviše korišćenih materijala
- proizvodi se od kratkih pamučnih vlakana i sirčetne kiseline
- relativno lagan, jak i mehanički stabilan, inertan, nezapaljiv
- ima osobinu da, sa vremenom, pobeli u kontaktu sa znojem (krila i most)
- osjetljiv prema rastvaračima, posebno na aceton
- uobičajeno se delovi isecaju iz većih ploča ili se dobijaju metodom ubrizgavanjem u kalup
- krila od celuloznog acetata su celom dužinom ojačana metalnom žicom
- mogu se bojiti u svim bojama i nijansama, često u procesu laminiranja
- postoje i vrste acetata visoke gustine, čija je tačka omekšavanja znatno viša od uobičajene od 57 °C

201

Materijali za okvire
Plastični materijali u proizvodnji okvira

2. Celulozni nitrat

- pravi se od pamučnih vlakana i azotne kiseline uz dodatak kamfora kao plastifikatora
- sličan celuloznom acetatu
- zbog zapaljivosti (na oko 70 °C) u novije vreme zabranjen u nekim zemljama
- ako je pravljen kao providan, sa vremenom postaje žućkast i krt

3. Celulozni propionat

- proizvodi se od celuloznih ljuspica i propionske kiseline
- sličan celuloznom acetatu, ali jači, fleksibilniji i ima manju gustinu
- osetljiv je na povišenu temperaturu
- ne širi se niti skuplja previše pri promeni temperature (važno za dimenzionisanje sočiva pri ugradnji)
- osetljiv na alkohol i aceton (uzrokuju trajna oštećenja)

202

Materijali za okvire
Plastični materijali u proizvodnji okvira

4. Celulozni acetat butirat (CAB)

- redak i koristi se za zaštitne naočari

5. PMMA (polimetil metakrilat - pleksiglas, perspeks)

- stabilna, lagana akrilna smola
- malo u upotrebi, ali je hipoalergeni materijal
- krila od ovog materijala ne moraju biti ojačana
- boja se laminira na osnovu od PMMA
- pokazuje slabi "memorijski" efekat pri zagrevanju do temperature omekšavanja, koji nestaje nakon nekoliko takvih ciklusa

6. Poliamid

- koristi se za sunčane, sportske i zaštitne naočari
- jak, izdržljiv i lagan materijal, ali sa mekom površinom
- osetljiv na toplotu i često smanji dimenzije pri zagrevanju
- lako se boji i nijansira

203

Materijali za okvire

Plastični materijali u proizvodnji okvira

7. Najlon

- teorijski je nesalomiv, hipoalergeni materijal
- koristi se za sunčane naočari, a ramovi su uobičajeno veoma tamni
- slabo menja dimenzije pri promeni temperature
- otporan prema većini rastvarača

8. Polikarbonat

- veoma jak, krut materijal, ali neotporan na ogrebotine
- koristi se za sportske i zaštitne naočari i uobičajeno je providan
- teško se oblikuje i slabo menja dimenzije pri promeni temperature
- osetljiv prema rastvaračima (alkohol, aceton, ...)

204

Materijali za okvire

Plastični materijali u proizvodnji okvira

9. Epoksidne smole - Optyl

- termoočvršćavajuća plastika, omekšava na 80 °C,
- polimerizacija se vrši u kalupu u procesu sličnom vakuumskom ubrizgavanju
- pri celokupnom zagrevanju vraća se u prvobitni oblik ("memorijski" efekat) – (čak i u slučaju temperaturnog šoka)
- lagan (oko 30 % lakši od acetata), izdržljiv i dugotrajan hipoalergeni materijal
- prilično otporan prema topлоти (nezapaljiv)
- uobičajeno je bele boje, a bojenje se vrši površinski
- krt materijal, usled čega se krila ojačavaju metalnom žicom

205

Materijali za okvire

Plastični materijali u proizvodnji okvira

10. Silikonska guma

- mek, fleksibilan materijal (uobičajeno za mostove, papučice, krajeve krila, ...), koji je gas-propustljiv za kiseonik
- Si—O grupe su povezane sa organskim delovima molekula
- veoma stabilan u širokom intervalu temperatura (−50 do 200 °C)

11. Ugljenična vlakna

- kompozitni materijal tipičan sastav je 80 % najlona i 20 % ugljeničnih vlakana
- neprovidan (tamno siv) materijal, koji zahteva lakiranje
- obično se krila izrađuju od nekog drugog materijala

12. Staklena vlakna

- neprovidan i poluprovidan materijal
- uobičajeno služi za frontove ramova
- staklena vlakna su ugrađena u plastiku

206

Materijali za okvire

Plastični materijali u proizvodnji okvira

13. Kompozitni materijali

- sastoje se od dva različita materijala: veoma fina i jaka vlakna i plastika (bilo koja ranije spomenuta) u kojoj su ugrađena
- jačina zavisi od orientacije vlakana
- uobičajeno se koriste za frontove okvira

14. Kevlar

- polaromatični amid, derivat baziran na najlonu, ne spada u kompozitne materijale
- lagan je, savitljiv, dvostruko jači od najlona, petostruko od čelika
- materijal od kojeg se prave zaštitni (na metke otporni) prsluci – čine ga veoma fina i jaka vlakna
- termički je stabilan, samogaseći, otporan prema rastvaračima, površinski osetljiv na dejstvo UV zračenja

207

Materijali za okvire

Plastični materijali u proizvodnji okvira

15. SPX

- spada u grupu ko-poliamida (dva različita monomera spojena u isti polimerni lanac), derivata najlona
- lagan je, jak, sklon očvršćavanju u kalupu
- lako se boji i lakira
- visokoelastičan materijal, otporan na udarce, sa površinom tvrdom nego kod acetata
- hipoolergeni materijal
- otporan na većinu rastvarača
- omešava na 95 °C, preosetljiv prema temperaturnim šokovima

208

Materijali za okvire

Neki od češće korišćenih materijala za okvire

Materijal	prosečna gustina [g/cm ³]	temperatura oblikovanja	vrsta materijala (temp. topljenja)
celulozni acetat (zyl)	1.27	50–60 °C	(138–230 °C)
celulozni nitrat	1.4	65–70 °C	
celulozni propionat	1.21	60–100 °C	termoplastični (190 °C)
celulozni acetat butirat (CAB)	1.18		termoplastični (190 °C)
PMMA	1.18	70+ °C	amorfani (—)
epoksidna smola - Optyl	1.16	80+ °C	termoočvršćavajući
ostale epoksidne smole	1.2		termoočvršćavajući
poliamidi (najloni)	1.1	sažimaju se na t<80 °C	termoplastični (180–300 °C)
"ko-poliamidi"		<80 °C	
polikarbonat	1.2	120 °C	amorfani (—)
Kevlar	1.44		termoplastični (500 °C)
poliuretan	1.05		amorfani (—)

209

Materijali za okvire

Metali

- ◆ **Metalni** ramovi se sastoje od niza različitih materijala:
 - osnovni metali, neplemeniti (čine strukturu rama)
 - materijali (metali) za oblaganje (često nekoliko različitih slojeva)
 - organski lakovi i prevlake
 - plastični vrhovi krila i papučice
- ◆ Spajanje metalnih delova se može vršiti u postupku **lemljenja** ili **zavarivanja**.
- ◆ U pojedinim slučajevima lemljenje i zavarivanje uzrokuje brzu koroziju i usled toga se ne može primenjivati.

210

Materijali za okvire

Metali

Nikl (Ni) i legure nikla i bakra (Cu)

- ◆ spadaju u najčešće korištene materijale za izradu okvira
- ◆ sam nikl (veoma jak, savitljiv) se retko koristi u čistom obliku
- ◆ česta je pojava alergija kože koja je u kontaktu sa ovim materijalima, ali se to eliminiše oblaganjem inertnim metalima ili polimernim materijalima

1. Nikl srebro ("nemačko srebro", alpaka) – legura Ni-Cu-(Zn)

- sadrži 12–25 % Ni, a veći deo je Cu
- jak i krut materijal, ali i lako lomljiv; lako se obrađuje
- često se koristi za spojnice (zglobove, šarnire) i ojačanje krila plastičnih ramova, ali ne i za frontove
- usled brzog gubitka sjaja, neophodno ga je obložiti zaštitnom prevlakom (proces galvanizacije) – u kontaktu sa kožom poprima zelenkastu boju
- izaziva alergijske reakcije

211

Materijali za okvire Metali

2. Monel – legura Ni-Cu

- sadrži čak do 68 % Ni, oko 31.5 % Cu, kao i Fe, Mn, Si
- otporan prema koroziji
- jak i stabilan materijal – za mostove, držače papučica, šarnire ...
- može biti uzrok alergijskim reakcijama

3. Blanka-Z – legura Ni-Cu-Zn-Sn (Sn - kalaj)

4. Nikl-mangan – legura Ni-Mn

5. Bronza – Cu-Sn legura

- većinom sadrži bakar, a uz dodatak fosfora (P) ili berilijuma (Be) dobija specifične osobine (elastičnost)
- pogodan za izradu tankih i elastičnih krila
- osetljiv na gubitak sjaja

212

Materijali za okvire Metali

6. Nerdajući čelik – legura Fe (gvožđa) sa Mn, Ni i Cr (Cr - hrom)

- lagan, veoma jak i krut materijal - nije čest u izradi ramova
- ima ograničene mogućnosti naknadnog oblikovanja
- veoma otporan prema koroziji (pogodan za korišćenje napolju ili u slučaju izraženog znojenja)

7. Titanijum

- veoma otporan hemijski element prema koroziji i hipoalergeni materijal
- jak i izdržljiv, veoma lagan (4.54 g/cm^3)
- teško se eksplatiše i zbog tvrdoće problematičan za obradu - visoka cena
- čisti sadrži oko barem 98 % Ti, a "β-titanijum" 75-80 % Ti, dok je ostatak mešavina drugih metala (Al, Mn, V, Cr, Fe, Co, Ni, Sn, Mo, Nb, Zr, pa i Si)
- otporan prema ogrebotinama

213

Materijali za okvire **Metali**

8. Aluminijum

- veoma lak (2.7 g/cm^3), mek i hipoalergeni materijal
- često se prevlači zaštitnim slojevima u procesu elektrolize
- u današnje vreme se sve manje koristi

9. Berilijum

- jak materijal i uobičajeno sastavni deo neke legure
- zajedno sa bakrom formira leguru sa dobrim elastičnim svojstvima, pogodnu za izradu krila
- zbog visoke cene se retko koristi kao samostalan

10. Kobalt

- takođe se koristi kao sastavni deo nekorozivnih i jakih legura
- daje sjaj delovima rama
- zbog visoke cene, koristi se češće kao stabilizirajući metal u legurama

214

Materijali za okvire **Metali**

11. Mesing - legura Cu-Zn

- legure ovog tipa mogu sadržati i Al
- ranije korišćene i u poslednje vreme se ponovo vraćaju u upotrebu

12. Memorijski metali

- grupa legura koja ima osobinu vraćanja u prvočitni oblik nakon deformacije ukoliko se zagreju (ili ohlade) do izvesne temperature
- uobičajeno se od ovih legura prave mostovi i krila ramova
- i do 8 puta savitljiviji od čelične opruge
- sa drugim materijalima okvira se spaja preko metalnog prstena i u procesu lemljenja ili lepljenja
- najpoznatija legura sa "memorijskim" efektom – Ni-Ti (40 % Ni-60 % Ti), odnosno Co-Ti, a postoje i legure koje ne sadrže Ni ili Ti, ili čak oba elementa. Tako postoje legure tipa Cu-Al, Ti-Al-V
- otporni su prema koroziji

215

Materijali za okvire Metali

Metali za prevlačenje metalnih ramova

1. Zlato (Au)

- uobičajeno se koristi u obliku legure, najčešće sa srebrom (Ag) ili bakrom (Cu), ali i sa cinkom (Zn) ili Ni (Ni)

2. "Platinska grupa metala" – paladijum (Pd), rodijum (Rh), rutenijum (Ru)

- karakteriše ih velika tvrdoća i srebrni sjaj, ali i visoka cena

3. Hrom (Cr)

- metal visoke tvrdoće i srebrnog sjaja
- veoma reaktivan, ali brzo formira zaštitni providni i tvrdi oksidni sloj

4. Nikl (Ni), srebro (Ag), bakar (Cu)

- najčešće se koriste kao među sloj radi poboljšanja athezije i elastičnosti spoljašnjih metalnih prevlaka, kao i za smanjenje korozije

216

Materijali za okvire

Lakiranje ramova

- ◆ Većina metalnih, pa i plastični ramovi se pokrivaju organskim materijalima radi smanjenja površinske korozije ili u kozmetičke svrhe.
- ◆ Najčešće se nanose u tečnom obliku i izlaganje toploti dovodi do polimerizacije prevlaka.
- ◆ Uobičajeno se radi o poliuretanima, PMMA (polimetilmetakrilat) i epoksidnim smolama.
-
- ◆ Praktično, velika većina okvira je izrađena od kombinacije materijala, što metalnih, što plastičnih, što obezbeđuje visok stepen komfora i izdržljivosti, a takođe u velikoj meri širi granice estetskih aspeka izrade naočara.

217

Kontaktna sočiva

◆ Kratak istorijski pregled:

- 1508. – Leonardo da Vinči – prvi pisani dokumenti o kontaktnim sočivima.
- 1888. – Eugen Fick – prvi opisao korišćenje *staklenih* kontaktih sočiva (za beonjaču) za korekciju vida.
- E. Kalt – dizajnirao kontaktne sočive za rožnjaču (otprilike u isto vreme).
- 1936. – W. Feinbloom – upotrebio plastični materijal (akrilna plastika) za izradu kontaktih sočiva (centralni deo od stakla, a obod od plastike).
- Otprilike u isto vreme patentiran plastični materijal PMMA (polimetil metakrilat).
- 1947. – N. Bier – kontaktne sočive za beonjaču sa malim prostorom između sočiva i oka.
- K. Touhy – prvo plastično sočivo za rožnjaču.
- 1960. – Otto Wichterle – primenio hidrogelne polimerne materijale (HEMA – hidroksietil metakrilat) za izradu kontaktih sočiva.
- 1970-te – upotreba CAB (celulozni acetat butirat) za kruta kontaktne sočive.
- 1980-te – uvođenje kopolimera u upotrebu, novi dizajni sočiva, ...

218

Kontaktna sočiva

Idejni materijal za kontaktne sočive bi trebao da ima sledeće osobine:

1. da obezbedi dovoljnu količinu kiseonika za metabolizam očnih tkiva (rožnjače)
2. da je fiziološki (biološki) inertan
3. da poseduje dovoljnu kvašljivost (vlažljivost) kada je na oku
4. da je otporan prema stvaranju naslaga i prema propadanju (kvarenju)
5. da je dimenzionalno stabilan (postojane dimenzije)
6. da je izdržljiv i dugotrajan
7. da je transparentan u celom vidljivom području
8. da ima postojane optičke osobine koje omogućavaju da se u proizvodnji predodrede karakteristike kontaktne sočive
9. da njegove fizičke osobine omogućavaju visok kvalitet površina kontaktih sočiva
10. da zahteva minimalno održavanje sočiva od strane korisnika
11. da se od njega lako proizvode kontaktne sočive

219

Kontaktna sočiva – osnovne osobine

Osnovne osobine materijala za kontaktna sočiva se mogu uslovno svrstati sledeće podgrupe:

- **fiziološke osobine**
 - propustljivost kiseonika
 - protok kiseonika
 - ekvivalentni procenat kiseonika
 - propustljivost ugljen dioksida (CO_2)
 - hidratacija (sadržaj vode)
- **fizičke osobine**
 - kvašljivost
 - specifična težina
 - savitljivost, krutost, moduli elastičnosti, zatezna čvrstoća
 - optičke osobine (indeks prelamanja, disperzija, transparencija, optička (ne)homogenost),
 - jonsko naelektrisanje
- **ostale osobine**
 - biokompatibilnost
 - jednostavnost proizvodnje

220

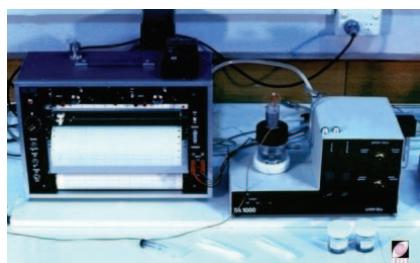
Kontaktna sočiva – osnovne fiziološke karakteristike

1. **Propustljivost (permeabilnost) kiseonika (Dk)** – veličina koja definiše sposobnost **materijala** sočiva da propušta kiseonik (bez obzira na oblik, veličinu i uslova na površini sočiva), a značajna je zbog normalne fiziološke funkcije tkiva rožnjače.
- D – je koeficijent difuzije kiseonika kroz materijal, a k – rastvorljivost kiseonika u materijalu. Obe veličine se povećavaju sa porastom temperature.
- Jedinice su [$10^{-11} \text{ cm}^2 \cdot \text{m} \ell \text{ O}_2 / \text{s} \cdot \text{m} \ell \cdot \text{mmHg}$].
2. **Protok (transmitivnost) kiseonika (Dk/L ili Dk/t)** – veličina koja definiše količinu kiseonika koja prolazi kroz (konkretno) sočivo.
- L (ili t) – je debљina sočiva. Merenja se vrše ili na sobnoj temperaturi (21°C ili na 35°C), a vrednosti se daju ili za centar sočiva, ili za vrednost prosečne debљine sočiva.
- Jedinice su [$10^{-9} \text{ cm} \cdot \text{m} \ell \text{ O}_2 / \text{s} \cdot \text{m} \ell \cdot \text{mmHg}$].

221

Kontaktna sočiva – osnovne fiziološke karakteristike

- Merenje protoka kiseonika se može izvršiti, recimo, upotrebom uređaja JDF – $Dk1000^{\text{TM}}$ koji koristi tzv. kulometrijsku tehniku (u opštem slučaju, radi se o merenju razmene materije za vreme elektrolize između elektroda).
 - sočivo se montira u mernu čeliju uređaja sa kontrolisanim okolinom, a podaci se prenose na pisač ili računar;
 - iz dobijenih vrednosti za Dk/t se izračunava Dk .



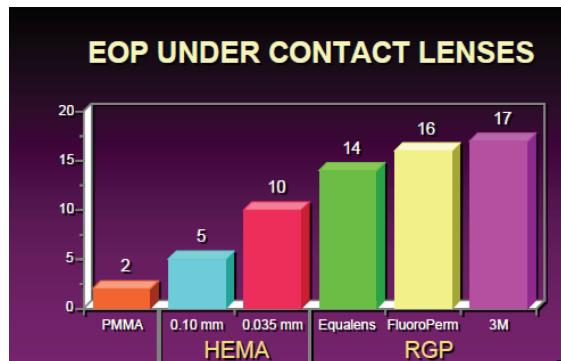
222

Kontaktna sočiva – osnovne fiziološke karakteristike

3. **Ekvivalentni procenat kiseonika (EOP)** – veličina koja definiše količinu kiseonika u suzama ispod sočiva. Pokazuje koliko će kiseonika stići do oka u slučaju datog sočiva.
 - Takođe ukazuje i na koncentraciju kiseonika u onoj gasnoj mešavini (vazduh – vodena para) koja odgovara slučaju nošenja konkretnih kontaktnih sočiva.
 - Može biti *statički* (bez treptanja) i *dinamički* (slučaj normalnog treptanja). Dinamički ima više vrednosti od statičkog za oko 2–3 %.
 - Merenje se vrši u dva koraka:
 - u prvom koraku se korišćenjem različitih mešavina gasova (vazduha) i vodene pare kalibriše potreba rožnjače za kiseonikom i to bez nošenja sočiva; dobijaju se krive zavisnosti potreba rožnjače za kiseonikom od njegove koncentracije u gasnoj mešavini;
 - u drugom koraku se nakon 5 minuta nošenja kontaktnih sočiva meri potreba rožnjače za kiseonikom i poređi rezultat sa kalibracionim krivama, na osnovu čega se poređi ekvivalentni procenat kiseonika ispod sočiva.

223

Kontaktna sočiva – osnovne fiziološke karakteristike



Ekvivalentni procenat kiseonika za neka konkretna sočiva

224

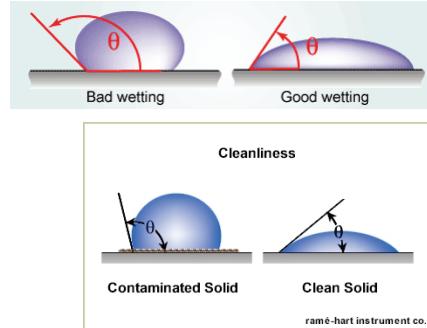
Kontaktna sočiva – osnovne fiziološke karakteristike

4. **Propustljivost ugljen-dioksida** - materijali za kontaktna sočiva propuštaju ugljen-dioksid (CO_2) u većem obimu u poređenju sa kiseonikom.
 - ❑ Odnos u propustljivosti ugljen-dioksida i kiseonika za neke materijale kontaktnih sočiva:
 - 21:1 za hidrogelove
 - 7:1 za kruta gas-propustljiva sočiva
 - 8:1 za silikonske elastomere.
5. **Hidratacija (sadržaj vode)** – izražena je preko procentualnog učešća vode u ukupnoj težini kontaktног sočiva. Prema sadržaju vode, materijali se dele na:
 - hidrofobne (< 4 %)
 - hidrofilne ($\geq 4 \%$).
 - ❑ Kod hidrofilnih materijala (meka sočiva) sa porastom sadržaja vode raste i propustljivost kiseonika (Dk vrednost), a sa druge strane to utiče i na lomljivost i na sklonost ka formiranju taloga, kao i na indeks prelamanja.
 - ❑ Kada materijal apsorbuje vodu, on povećava, menja svoje dimenzije (nabubri) i tu činjenicu uvek treba uzeti u obzir prilikom procesa proizvodnje da bi se postigle precizne specifikacije.

225

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

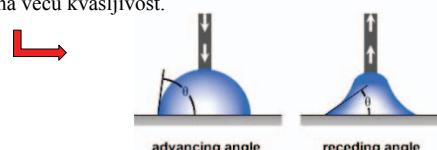
- Kvašljivost** (*wettability*) – sposobnost kvašenja površine (površinska kvašljivost) – osobina materijala kojom se definiše sposobnost da se prilikom treptanja po njegovoj površini rasporedi mucinski (suzni) sloj.
- Opisana je preko veličine **ugla kvašenja** ili **kontaktnog ugla** (ugao između tangente na površinu kapljice vode na materijalu sočiva u tački njenog spajanja sa sočivom sa jedne strane i površine sočiva sa druge strane).
 - Ona je od značaja za mogućnost dugotrajnog nošenja kontaktnih sočiva.
 - Sušenje suznog sloja između dva treptaja je negativna pojava i povećava sklonost ka formiranju taloga (lipidnih i proteinских), tj. suve površine trpe hemijske promene i to dovodi do smanjenja udobnosti pri nošenju i pogoršanja korektivne funkcije sočiva.



226

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

- Merenje kvašljivosti se izvodi preko nekoliko metoda:
 - Sesilova kap – kap vode se postavi na površinu koja se testira i meri se ugao θ između tangente na površinu vode u tački kontakta i same površine.
 - za $\theta=0^\circ$ – kvašljivost je potpuna
 - mali ugao – srednja kvašljivost
 - veliki ugao (posebno $\theta>90^\circ$) – slaba kvašljivost.
- Za kontaktne uglove manje od 70° suze obično formiraju tanak sloj preko površine sočiva (hidrofilna površina), a za veće uglove kapljica ima sferični oblik i površina nije dobro nakvašena (hidrofobna površina).
- Dodavanje vode u kap (ili izvlačenje) putem šprica može povećati (ili smanjiti) kontaktni ugao. Smanjeni ugao ukazuje na veću kvašljivost.

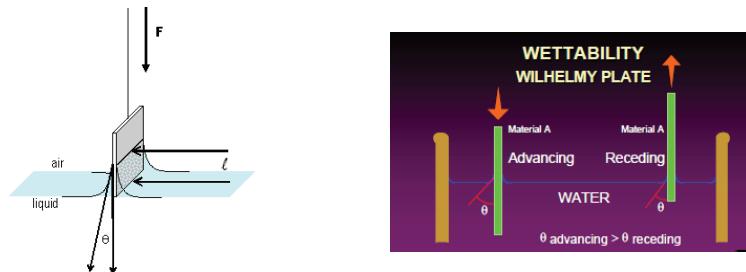


227

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

▫ Merenje kvašljivosti:

– Vilhelmijeva ploča – ravan uzorak materijala koji se testira **uranja** se u vodu pri čemu se **povećava** ugao između materijala i tangente na površinu vode ne mesto spajanja sa površinom. Obrnuto, prilikom **izvlačenja** materijala kontaktni ugao se **smanjuje**. U oba slučaja se merenje vrši na sličan način kao kod metode Sesilove kapi.



228

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

▫ Merenje kvašljivosti:

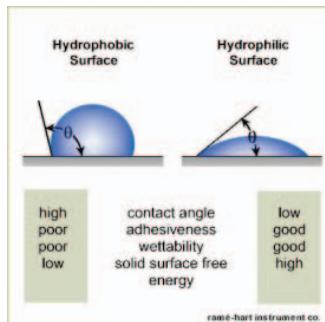
– Zarobljeni mehurić – kontaktno sočivo se svojom ispuštenom (konveksnom) stranom postavi na vodu i na najnižoj tački se formira mehurić vazduha. Može se merenje vršiti pri povećanju mehurića (uduvavanje vazduha) ili pri smanjenju. U oba slučaja se preciznim instrumentima za merenje uglova određuje kontaktni ugao.



229

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

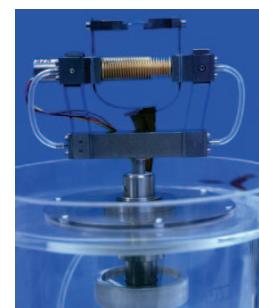
- Merenje kvašljivosti – “*in vivo*” metode (kada je sočivo na oku):
 - Pokrivenost suzama – određivanje sposobnosti suza da formiraju neprekidni sloj na kontaktnom sočivu.
 - Vreme prekida – određivanje sposobnosti kontaktnog sočiva da zadrži neprekidni suzni sloj. Meri se vreme od prestanka treptanja do pojave prvog prekida sloja. Kratka vremena znače i slabu kvašljivost.
 - Vreme sušenja – određivanje vremena za koje će se suzni sloj osušiti na kontaktnom sočivu.



230

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

2. **Savitljivost (flexibility)** – značajna osobina za **meka** (hidrogelna) kontaktna sočiva – ukazuje na sposobnost sočiva da poprimi oblik površine oka.
3. **Krutost (rigidity)** – značajna osobina za **kruta gas-propustljiva** (RGP – *rigid gas permeable*) sočiva – ukazuje na minimalnu debljinu sočiva neophodnu da se suprotstavi izobličenjima i vitoperenju na oku (prilikom treptanja), posebno ako postoji astigmatizam rožnjače.
 - Izražava se preko sile neophodne da izazove određenu deformaciju (krivljenje) na materijalu.
 - Merenje “*in vitro*” – postavi se kontaktno sočivo definisanog oblika u uredaj i pričvrsti na suprotnim krajevima. Određuje se promena prečnika sočiva u zavisnosti od primenjene sile.
 - Merenje “*in vivo*” – meri se tzv. rezidualni astigmatizam – sočiva koja imaju veću krutost, manje se ili uopšte ne savijaju na oku i manji je pomenuti astigmatizam. Sa druge strane, materijali manje krutosti (savitljiviji) ne mogu iskorigovati astigmatizam rožnjače.



231

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

4. **Specifična težina** – ukazuje na količnik između težina istih zapremina materijala za kontaktno sočivo i destilovane vode na +4 °C. Bezdimenzionala je veličina. Značajna za uspešnost u korišćenju posebno RGP sočiva jer teža sočiva imaju tendenciju ka decentriranju, što se može u nekim slučajevima prevazići pravljenjem tanjih sočiva, koja tada imaju manju težinu.
 - RGP sočiva se prema specifičnoj težini mogu svrstati u tri osnovne grupe:
 - male specifične težine (≤ 1.10)
 - srednje specifične težine (1.11–1.20)
 - velike specifične težine (> 1.20).
5. **Otpornost prema pojavi ogrebotina** – značajna je za održavanje dobrih optičkih osobina površine kontaktnog sočiva.
6. **Zatezna čvrstoća** (*tensile strength*) – značajna osobina kod mekih sočiva – izražava se preko sile zatezanja koja se može primeniti na materijal pre nego što dođe do njegovog kidanja. Materijali velike zatezne čvrstoće imaju tendenciju da budu dugotrajniji jer bolje izdržavaju delovanje sila prilikom rukovanja.

232

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

7. **Modul elastičnosti** – veličina povezana sa savitljivošću materijala i koja izražava sposobnost materijala da se odupre i zadrži oblik pri delovanju spoljašnjih naponskih sila.
 - Materijali sa većim vrednostima modula elastičnosti bolje zadržavaju svoj oblik i time obezbeđuju veću oštrinu vida.
8. **Transparencija** – definiše količinu svetlosti koju propušta kontaktno sočivo u poređenju sa količinom upadne svetlosti.
 - Svaki materijal delimično apsorbuje, reflektuje i/ili rasejava deo upadne svetlosti i ne postoji potpuno transparentni materijali. Izražava se u [%].
 - Uobičajene vrednosti za *neobojena* kontaktna sočiva se nalaze u granicama od 92–98 %.

233

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

9. **Indeks prelamanja** – definiše sposobnost materijala da prelama svetlost i predstavlja odnos brzina svetlosti u vakuumu i u datom materijalu. Bezdimenziona je veličina. Veći indeks prelamanja znači i jače prelamanje svetlosti.
- Kod **mekih** (hidrogelnih) kontaktnih sočiva indeks prelamanja zavisi od sadržaja vode u njima – što je veći sadržaj vode, manji je indeks prelamanja.
 - Što je indeks prelamanja veći, neophodna debljina sočiva za korekciju vida se smanjuje i to je bolje za korisnika sočiva, jer to utiče i na njihovu težinu, a posredno i na mogućnost decentriranja.
 - **Disperzija** indeksa prelamanja materijala je zavisnost indeksa prelamanja od talasne dužine – što je zavisnost manja (kriva $n=f(\lambda)$ ravnija), disperzija je manja i bolje su optičke karakteristike sočiva (manja je hromatična aberacija – nedostatak sočiva koji ukazuje na odstupanje u prelamanju svetlosti trazličitih talasnih dužina).

234

Kontaktna sočiva – osnovne fizičke karakteristike

10. **Optička (ne)homogenost (kvalitet)** – opisuje da li u materijalu ima oblasti različitih optičkih osobina, kao što je **indeks prelamanja**, a time i odstupanja od definisane korektivne funkcije.
- Spektralna propustljivost takođe treba da je ujednačena u celom vidljivom delu spektra (380–780 nm) da ne bi došlo do odstupanja u percepciji boja. U tom smislu, čak i slabo obojena sočiva mogu promeniti percepciju boja.
 - Optičke nehomogenosti u materijalu kontaktnih sočiva uzrokuju i **pojačano rasjenje** svetlosti što se ispoljava kao zamućenje sočiva i smanjenje transparencije.
11. **Jonsko naelektrisanje** – materijali za sočiva mogu biti ili električno neutralni ili mogu posedovati jonsko naelektrisanje (uobičajeno negativno). Ova osobina je značajna za **meka** sočiva u pogledu sklonosti materijala ka **formiranju taloga**, kao i u pogledu reaktivnosti sa rastvorima za negu sočiva.
- Jonski materijali više privlače pozitivno naelektrisane supstance u suzama što uzrokuje formiranje taloga. Neutralni materijali su manje reaktivni sa sadržajem suza i imaju manju tendenciju ka stvaranju naslaga.
 - Reaktivnost naelektrisanog materijala, posebno u rastvorima koji su kiseli može izazvati **dimenzionalne promene** i čak degradaciju materijala.

235

Kontaktna sočiva – ostale karakteristike

1. **Biokompatibilnost** – opisuje kompleksnu osobinu materijala vezanu za reakciju materijala sa drugim supstancama, tačnije za inertnost prema reakcijama sa tkivom oka, suzama ili sredstvima za negu kontaktnih sočiva.
 - Materijali za kontaktna sočiva:
 - ne smeju uzrokovati upalne ili imunološke smetnje u oku;
 - ne smeju selektivno apsorbovati toksine, mikroorganizme ili drige supstance iz okoline;
 - ne smeju da sadrže nosioce izlučevina (monomere i hemikalije koje se koriste u proizvodnji i obradi sočiva, posebno se to odnosi na hidrogelne materijale), jer se preko njih mogu preneti neželjene supstance iz unutrašnjosti sočiva do oka;
 - ne smeju narušavati električne osobine rožnjače;
 - treba da ispoljavaju malo trenje, što omogućava lako pomeranje na oku, itd.

236

Kontaktna sočiva – ostale karakteristike

2. **Jednostavnost proizvodnje** – osobina materijala za kontaktna sočiva koja ukazuje na mogućnost dobijanja proizvoda dobrog kvaliteta po ekonoski prihvatljivim uslovima i po proizvođača i po budućeg korisnika.
 - Materijali za kontaktna sočiva treba da budu:
 - **homogeni** – jedino tako se može postići dobra reproducibilnost osobina proizvoda;
 - sa doslednim, **utvrđenim mehaničkim osobinama** – to smanjuje razlike u mehaničkim osobinama različitih pakovanja gotovih kontaktnih sočiva;
 - **dimenzionalno stabilni i bez prisutnih naponskih stanja** – smanjuje se mogućnost pojave grešaka u obliku gotovog sočiva i deformacija u toku proizvodnje prilikom oslobođanja naponskih stanja;
 - **izdržljivi i otporni na lokalno zagrevanje** – smanjuje se mogućnost da se u toku mašinske obrade i naročito poliranja utiče na optički kvalitet površine gotovog sočiva;
 - pogodni za **poliranje** i da **zadržavaju kvalitet obradene površine** – od značaja za sočiva koji u procesu hidratacije povećavaju svoje dimenzije (površine sočiva treba da se ravnomerne šire), a takođe i u slučaju procesa livenja u kalup, kada sočivo treba da zadrži visok kvalitet površine kalupa;
 - sa **predvidivim osobinama pri hidrataciji** – smanjuje se mogućnost greške u obliku u procesu porasta dimenzija i povećava reproducibilnost u serijskoj proizvodnji.

237

Materijali za kontaktna sočiva – osnovna podela

Materijali za kontaktna sočiva su isključivo od polimernih materijala (organske prirode).

Kontaktna sočiva su prema prirodi materijala podeljena u dve osnovne grupe:

□ Kruta gas-propustljiva sočiva

(RGP – rigid gas-permeable):

- PMMA (polimetil metakrilat)
- celulozni acetat butirat (CAB)
- polistiren (*t*-butil stiren)
- silikon (siloksan) akrilatni materijali (S/A)
- fluoro silikon akrilatni materijali (F-S/A)
- perfluoroeter

□ Meka (hidrogelna) sočiva

(SCL – soft contact lens):

- HEMA (hidroksietil metakrilat)
- ko- i terpolimeri bazirani na HEMA i:
 - NVP (*N*-vinil pirolidon)
 - MAA (metakrilna kiselina)
 - MMA (metil metakrilat)
 - GMA (gliceril metakrilat)
 - PVA (polivinil alkohol)
- + agens za poprečno povezivanje:
 - EGDMA (etilenglikol dimetakrilat)

238

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – materijali

1. PMMA (polimetil metakrilat)

- U upotrebi kao materijal za kontaktna sočiva od kraja 1930-ih.
- Lako se mašinski obrađuje i polira.
- Poseduje priličnu kvašljivost.
- Lako se održava.
- Sadržaj vode je od 0.2–0.5 %.
- Propustljivost kiseonika do rožnjače neophodnog za njenu fiziološku funkciju praktično je 0 %.
- To je uzrokovalo pojavu novih materijala sa većom vrednošću *Dk*.

239

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – materijali

2. CAB (celulozni acetat butirat)

- Plastični materijal koji se pojavio sredinom 1930-ih godina.
- Poseduje priličnu kvašljivost.
- Blago je savitljiv.
- Sadržaj vode je oko 2 %.
- Propustljivost kiseonika je relativno mala ($Dk=4-8$).
- Teško se mašinski obrađuje.
- Podložan je pojavi ogrebotina.
- Sklon je dimenzionalnoj nestabilnosti (sočiva se ili iskrive ili isprave u toku korišćenja, zbog čega se prave nešto deblja).

240

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – materijali

3. t-butil stiren

- Propustljivost kiseonika je znatno povećana u poređenju sa dotadašnjim materijalima ($Dk=25$), ali još uvek relativno mala.
- Indeks prelamanja od $n=1.533$ je najviši među materijalima za RGP sočiva.
- Specifična težina od 0.95 je najmanja među materijalima za RGP sočiva.
- Neki rastvori mogu smanjiti kvašljivost materijala.
- Podložan je pojavi ogrebotina.
- Podložan stvaranju površinskih taloga.
- Nije bio posebno uspešan na tržištu.
- Neka sočiva na bazi stirena su pravljena u kombinaciji sa obodom od hidrogelnog materijala, ali i pored udobnosti i dobrih optičkih osobina, visoka cena proizvodnje, krivljenje prilikom nošenja i nemogućnost korekcije astigmatizma su uslovili slabiji uspeh na tržištu.

241

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – materijali

4. Silikon (siloksan) akrilatni materijali (S/A)

Prednosti:

- ❑ Ko-polimer na bazi akrilata sa silicijumom u svom sastavu čija uloga je da povezuje polimerne lance preko poprečnih veza (Si—O—Si) što povećava slobodnu zapreminu i omogućava protok kiseonika.
- ❑ Ovi materijali sadrže i supstance za kvašenje (NVP – N-vinil pirolidon i MAA – metakrilnu kiselinu) i supstance za poprečno povezivanje (učvršćuju materijal, povećavaju krutost i čine ga manje osetljivim prema rastvaračima).
- ❑ Propustljivost kiseonika kod S/A materijala je veća od dotadašnjih materijala i kreće se u intervalu $Dk=12\text{--}60$ (opseg niskih do srednjih vrednosti).

242

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – materijali

Nedostaci:

- Povećan sadržaj supstanci za kvašenje povećavaju sadržaj vode (hidrataciju) što negativno utiče na stabilnost materijala.
- Povećan sadržaj supstanci za poprečno povezivanje (radi povećanja dimenzionalne stabilnosti) negativno utiče u smislu preteranog porasta krtosti materijala.
- Povećan sadržaj silicijuma povećava savitljivost materijala, odnosno smanjuje čvrstoću
- Površinsko (negativno) nanelektrisanje povećava mogućnost formiranja taloga.
- S/A materijali su skloni su pojavi ogrebotina.
- Nestabilnost parametara je uglavnom posledica starenja materijala, uticaja okoline, sredstava za negu sočiva i naprezanja ili u kutijicama za čuvanje ili pri korišćenju na astigmatičnim očima.

243

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – materijali

5. Fluoro-silikon akrilatni materijali (F-S/A)

- Fluor u silikon/akrilatnim ko-polimerima omogućava veću propustljivost kiseonika (Dk dostiže vrednosti od 40 do preko 100, što je između srednje i visoke propustljivosti). Dobra propustljivost je posledica povećanog rastvaranja kiseonika usled prisustva fluora (vrednost k), kao i dobrih difuzionih osobina usled prisustva silikona (siloksan; vrednost D).
- Ovi materijali, usled toga, imaju potencijalne mogućnosti za dugotrajnije nošenje.
- Fluor povećava otpornost materijala prema pojavi taloga (smanjen je afinitet polarnih komponenti u suzama ka prijanjanju na površinu materijala).
- Površinska kvašljivost povećana usled smanjenja površinskog nanelektrisanja. Suzni sloj ostaje u kontaktu sa sočivom dva puta duže u poređenju sa S/A materijalima.
- Dimenzionalno su stabilniji od S/A materijala.
 - Smanjena otpornost prema pojavi ogrebotina.
 - Povećana savitljivost materijala.

244

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – materijali

- Fluoro-silikon akrilatni materijali (F-S/A) se prema vrednosti Dk mogu podeliti u dve osnovne grupe:
 - ◆ materijali sa niskim vrednostima propustljivosti kiseonika – dobar izbor za pacijente koji koriste kontaktna sočiva samo preko dana, pre svega zbog dobrog kvašenja površine i stabilnosti u pogledu dimenzija;
 - ◆ materijali sa visokim vrednostima propustljivosti kiseonika – dobar izbor za pacijente kojima je neohodan veći protok kiseonika, ali imaju ograničenu dimenzionalnu stabilnost i nešto manju kvašljivost površine. Najnovije generacije F-S/A materijala, međutim, imaju sve ove nedostatke znatno redukovane – – kontaktna sočiva su relativno dugotrajna, otporna na savijanje i imaju poboljšanu kvašljivost.
- postoje i materijali sa hiper visokim Dk vrednostima - dobar izbor za pacijente kojima treba dugotrajno nošenje, ali su ovo materijali kraćeg veka, pa se najčešće isporučuju odjednom dva para sočiva.

245

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – materijali

6. Perfluoroetar

- Sastoji se od fluora (F), ugljenika (C), kiseonika (O) i vodonika (H), a ne sadrži silicijum (siloksan)
- Vrednosti Dk su među najvećim (> 90) – mogućnost dugotrajnijeg nošenja.
- Poseduje dobre površinske osobine (nema površinskog nanelektrisanja) – smanjena mogućnost kvarenja, propadanja sočiva.
- Znatno je savitljiviji od S/A materijala – povećana je udobnost, ali ne koriguje astigmatizam u toj meri kao sočiva od ostalih materijala.
 - Male vrednosti indeksa prelamanja – debљa sočiva.
 - Velika specifična težina – teža sočiva.
 - Poseduje prosečnu kvašljivost površine.
 - Proizvodnja je složena i skupa i materijal se ne može modifikovati.

246

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – proizvodnja

Osnovne tehnike proizvodnje RGP sočiva su:

a) Obrada na strugu – dobro poznata i razrađena metoda.

Prednosti:

- jednostavna tehnologija;
- mali je broj parametara sočiva koji se ne može postići obradom na strugu;
- primenjiva na skoro sve materijale za kruta gas-propustljiva sočiva;
- relativno mala ulaganja neophodna za početak proizvodnje.

Nedostaci:

- kompleksniji dizajni se ovom tehnikom teško postižu;
- kompleksniji rad poskupljuje proizvodnju i podiže cenu finalnog proizvoda;
- posle mašinske obrade ostaju tragovi alata na površini, pa se sočiva moraju dodatno polirati, a usled mogućeg lokalnog zagrevanja površine mogu se pojavit varijacije u njenom kvalitetu;
- obrada na strugu zahteva izvesno vreme, što ograničava kapacitet proizvodnje, a za postizanje većeg obima, neohodna su ulaganja u veći broj mašina;
- manja reproducibilnost krajnjih proizvoda zbog mnogobrojnih koraka u postupku mašinske obrade.

247

Kruta gas-propustljiva kontaktna sočiva – proizvodnja

- b) **Livenje u kalup** – novija metoda u kojoj se materijal u kalup ubacuje u tečnom stanju, polimerizuje i nakon vadenja iz kalupa eventualno dodatno obraduje.

Prednosti:

- smanjeni broj koraka u procesu proizvodnje povećava obim proizvodnje, a smanjuje cenu finalnog proizvoda;
- kvalitet površine zavisi isključivo od kvaliteta kalupa i ako je on zadovoljavajući, tada se kod svih proizvedenih sočiva postižu isti standardi, što se odnosi i na druge parametre sočiva – dobra reproducibilnost proizvodnje;
- mogućnost postizanja svakog oblika – dizajna sočiva;

Nedostaci:

- veliki troškovi neophodni za početak proizvodnje;
- porast troškova usled neophodnosti izrade novih kalupa za svaku novu seriju kontaktnih sočiva (pri obradi na strugu samo se menja alat);
- nemogućnost upotrebe svih vrsta materijala, ili zbog hemijskih osobina ili zbog dimenzionalnih promena u postupku polimerizacije;
- troškovi izrade kalupa za sočiva posebnog dizajna čine da je ova tehnologija ekonomski povoljnija za masovnu proizvodnju sočiva uobičajenog oblika i dizajna.

248

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – materijali

- **Hidrogelni materijali** za kontaktne sočive su rezultat **kombinovanja** različitih **monomernih materijala** (najčešće dva ili tri – kopolimeri ili terpolimeri) koji nakon polimerizacije mogu apsorbovati ili vezati vodu.
- Kombinovanjem monomernih materijala dobijaju se hidrogelni materijali različitih fizičkih i hemijskih osobina (sadržaj vode, propustljivost kiseonika, indeks prelamanja, mehanička čvrstoća i tvrdoća, elastičnost, otpornost prema stvaranju taloga, izdržljivost ...)
- Slobodni prostori u poprečno povezanim polimerima nazivaju se **pore** i omogućavaju ulazak i zadržavanje vode – to čini ove materijale mekim i savitljivim.

249

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – materijali

- Meka kontaktna (hidrogelna) sočiva imaju neke svoje **prednosti** i **nedostatke**:

prednosti	nedostaci
izvrsna udobnost	smanjena vizuelna oštrina kod nekorigovanog astigmatizma
minimalno vreme adaptacije	ograničena trajnost
minimalna zamućenost vida	manji protok kiseonika
minimalni rizik od distorzije rožnjače	formiranje taloga
jednostavnost podešavanja	veća verovatnoća bakterijske kontaminacije / infekcija
mogućnost promene boje oka	veći rizik od neadekvatnosti
retko uzrokuju izraženje lučenje suza	ograničenja u korekciji vida
retka dislokacija	moguće smanjenje kvaliteta vida
redak osećaj stranog tela	otežana kontrola (verifikacija)
moguće jednokratno ili kratkotrajno korišćenje	
moguće korišćenje u terapeutske svrhe	

250

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – *Dk*

- **Propustljivost kiseonika (*Dk*)**, kao jedna od najznačajnijih karakteristika materijala kontaktnih sočiva za fiziološku funkciju oka, zavisi od sledećih činilaca:
 - a) **sadržaj vode** – što je veći sadržaj vode, veća je i *Dk* vrednost, što je posledica rastvaranja kiseonika u vodi;
 - b) **sastav polimera** – gustina pakovanja molekula polimera utiče na sposobnost propuštanja kiseonika – manja gustina pakovanja uzrokuje veće vrednosti *Dk*;
 - c) **način zadržavanja vode** – molekuli vode su polarni i nanelektrisani molekuli materijala polimera ih mogu privlačiti ili se mogu zadržati u međumolekulskom prostoru – veća pokretljivost vode povećava vrednost *Dk*;

251

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – *Dk*

- d) **temperatura** – porast temperature dovodi do porasta međumolekulskog prostora i veće propustljivosti kiseonika;
- e) **pH-vrednost** – opadanje pH-vrednosti okruženja sočiva (sredina postaje kiselija) smanjuje sadržaj vode u njemu, a porast pH-vrednosti (sredina postaje više bazna) utiče na porast sadržaja vode, što utiče i na propustljivost kiseonika;
- f) **toničnost** – veća toničnost (sadržaj rastvorenih supstanci, recimo soli) suza ili sredstava za negu sočiva (hipertonični rastvor) smanjuje sadržaj vode u njima, a time i *Dk* vrednost.

252

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – **sadržaj vode**

- **Sadržaj vode** je osnovna osobina hidrogelnih materijala za kontaktna sočiva koja utiče na mnoge druge osobine:
 - a) **propustljivost kiseonika (*Dk*)** – što je veći sadržaj vode, veća je i *Dk* vrednost;
 - b) **indeks prelamanja (*n*)** – veći sadržaj vode u materijalu sočiva smanjuje njegov indeks prelamanja;
 - c) **krutost** – veći sadržaj vode smanjuje krutost sočiva i otežava rukovanje;
 - d) **izdržljivost** – veći sadržaj vode uzrokuje manju izdržljivost;
 - e) **minimalna debљina za sprečavanje isparavanja vode** – problem se ispoljava kod ultratankih mekih sočiva sa većim sadržajem vode;
 - f) **osetljivost prema okolini** – materijali sa velikim sadržajem vode, posebno ako su jonski (naelektrisani), osetljiviji su prema okolnoj sredini i podložniju propadanju;
 - g) **način održavanja sočiva** – nisu svi materijali pogodni za sve načine održavanja.

253

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – sadržaj vode

- Materijali za meka kontaktna sočiva se generalno mogu podeliti u dve grupe [prema sadržaju vode](#):
 - materijali sa malim sadržajem vode (< 50 %, uobičajeno između 38–45 %)
 - materijali sa visokim sadržajem vode (> 50 %, uobičajeno između 70–80 %)
- Prednosti i nedostaci hidrogelnih materijala sa **niskim** sadržajem vode:

prednosti	nedostaci
<ul style="list-style-type: none">• manja osetljivost na uticaj okolne sredine• veća krutost, lakše rukovanje• veći indeks prelamanja• upotreba bilo kog sredstva za održavanje• jednostavna proizvodnja• visoka reproducibilnost• veća kvašljivost	<ul style="list-style-type: none">• niske vrednosti Dk (često od 5–8) – uslovjava neadekvatnu količinu kiseonika• manja savitljivost – manji komfor• teško rukovanje tankim sočivima

254

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – sadržaj vode

- Prednosti i nedostaci hidrogelnih materijala sa **visokim** sadržajem vode:

prednosti	nedostaci
<ul style="list-style-type: none">• visoke Dk vrednosti (često između 18–28)• veća savitljivost• brži oporavak nakon deformacije	<ul style="list-style-type: none">• veća krutost• veća sklonost ka formiranju taloga• osetljiviji na uticaj okolne sredine• manji indeks prelamanja• manja stabilnost parametara – manja reproducibilnost• termička dezinfekcija se ne preporučuje• teži su za proizvodnju – teže se postižu željene optičke osobine zbog velike hidratacije• nemogućnost proizvodnje ultra tankih sočiva usled povećanog isparavanja vode

255

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – podela

- Pored sadržaja vode, kod hidrogelnih materijala je veoma značajno postojanje površinskog nanelektrisanja (pre svega negativnog, koje zavisi od sastava), jer utiče na mnoge fizičke osobine.
- Podela američke Asocijacije za hranu i lekove (FDU) svrstava hidrogelne materijale u 4 grupe:
 1. **Nejonski polimeri sa malim sadržajem vode** – sadrže (pored HEMA-e) hidrofobne monomere – nejonska priroda i mali sadržaj vode uzrokuju malu sklonost ka formiranju proteinskih taloga.
 2. **Nejonski polimeri sa visokim sadržajem vode** – odsustvo nanelektrisanja na površini, i pored visokog sadržaja vode sprečava stvaranje taloga.
 3. **Jonski polimeri sa malim sadržajem vode** – nanelektrisanost površine znatno utiče na privlačenje lipida i proteina iz suza, čime je olakšano stvaranje naslaga.
 4. **Jonski polimeri sa visokim sadržajem vode** – ispoljavaju najveće privlačenje materija u suzama i osetljivi su na pH-vrednost rastvora za održavanje kontaktnih sočiva (posebno njihov sadržaj vode).

256

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – podela

- Prednosti i nedostaci nejonskih i jonskih polimera:

vrsta polimera	prednosti	nedostaci
nejonski polimeri	<ul style="list-style-type: none">• manje skloni formiraju taloga• ne vezuju nanelektrisane čestice	<ul style="list-style-type: none">• manja kvašljivost• više denaturišu (razlažu, razaraju) proteine u suzama• osetljiviji na pH promene
jonski polimeri	<ul style="list-style-type: none">• veća kvašljivost• manje denaturišu (razlažu, razaraju) proteine u suzama	<ul style="list-style-type: none">• lakše se formiraju talozi• nataložene supstance se mogu vezati za površinu sočiva

257

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – materijali

- Prvi materijal upotrebljen za hidrogelna sočiva je hidroksietil metakrilat – HEMA (ili polihidroksietil metakrilat – PHEMA).
- Po strukturi sličan PMMA – razlika je u prisutnoj polarnoj hidroksilnoj (OH^-) grupi za koju se mogu vezivati molekuli vode.
- Sadržaj vode iznosi oko 38 %.
- Veoma je stabilan materijal – promene temperature, pH-vrednosti okruženja ili toničnosti imaju veoma mali uticaj na sadržaj vode.
- Poseduje dobru kvašljivost.
- Poboljšanja materijala su išla u pravcu kombinovanja sa drugim monomernim materijalima i razvoja ko- i terpolimera na bazi HEMA-e.

258

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – materijali

- Monomeri koji se kombinuju sa HEMA monomerom u hidrogelnim materijalima:

monomer	oznaka	prednosti	nedostaci
N-vinil pirolidon – za povećanje sadržaja vode	NVP	<ul style="list-style-type: none">• hidrofilan• dobra kvašljivost• veliki prihvat vode• velika propustljivost kiseonika	<ul style="list-style-type: none">• pH osetljivost
metakrilna kiselina – za povećanje sadržaja vode	MAA	<ul style="list-style-type: none">• hidrofilan	<ul style="list-style-type: none">• pH osetljivost
metil metakrilat – za povećanje tvrdoće	MMA	<ul style="list-style-type: none">• tvrd• lak za obradu• optički transparentan• inertan• stabilan	<ul style="list-style-type: none">• nema propustljivost kiseonika
gliceril metakrilat – za smanjenje stvaranja taloga	GMA	<ul style="list-style-type: none">• dobra kvašljivost• dobra otpornost prema pojavi taloga	<ul style="list-style-type: none">• mala propustljivost kiseonika
polivinil alkohol – za povećanje tvrdoće i sadržaja vode	PVA	<ul style="list-style-type: none">• hidrofilan• stabilan i inertan• veliki prihvat vode• dobra otpornost prema pojavi taloga	<ul style="list-style-type: none">• može biti problematičan za obradu
diaceton akrilamid	DAA		
etilen glikol dimetakrilat – za poprečno povezivanje molekula	EGDMA	<ul style="list-style-type: none">• stabilan	<ul style="list-style-type: none">• mala propustljivost kiseonika

259

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – proizvodnja

Osnovne tehnike proizvodnje hidrogelnih sočiva su:

- a) Obrada na strugu
- b) Rotacija u kalupu
- c) Livenje u kalup

i kombinacija ovih metoda. Sve metode započinju zadavanjem sastava i pripremom materijala za sočiva. U pripremnoj fazi se mešaju monomeri u tačno određenim količinama, odstranjuju se nečistoće, a za obradu na strugu se vrši i prethodna polimerizacija materijala u obliku šipki, tj. "dugmadi".

- a) **Obrada na strugu** (*lathe cutting*) podrazumeva niz pojedinačnih koraka kojima se od tvrdog i suvog polimernog materijala (željenog sastava) u obliku "dugmeta" (tablete) na kraju postupka dobija meko i hidratisano kontaktno sočivo zahtevanih fizičkih osobina. Proces se sastoji od sledećih etapa:

1. **Obrada** (sečenje) **na strugu** (mašinska obrada) – pomoću kompjuterizovanih, automatskih mašina se od tvrdog i suvog materijala dobija kontaktno sočivo sa odgovarajućim zakrivljenim površinama i ivičnim kosinama.
2. **Poliranje** – u ovom postupku se ispravljaju nepravilnosti na površini koje pravi strug, poravnavaju se ivice i poboljšavaju optičke osobine sočiva.

260

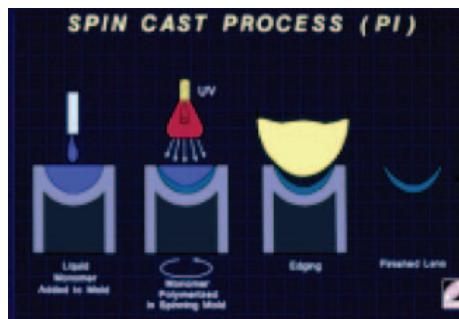
Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – proizvodnja

3. **Hidratacija** – postupak u kojem se suva oblikovana sočiva potapaju u odgovarajući slani rastvor radi apsorbovanja vode u onoj meri u kojoj im to dozvoljava sastav materijala čime se dobija meko i savitljivo hidrogelno sočivo. Zbog promene dimenzija prilikom bubreњa, neophodna je tačna računska procena veličine suvog sočiva da bi krajnji proizvod odgovarao specifikacijama.
4. **Ekstrakcija** – u ovoj fazi se iz sočiva odstranjuju (ekstrahuju) sve još uvek prisutne nepolimerizovane supstance.
5. **Bojenje** – ukoliko je to predviđeno postupkom proizvodnje, ova faza sledi nakon ekstrakcije.
6. **Završna obrada** – kontrola kvaliteta sočiva se vrši u svim fazama procesa proizvodnje, a krajnja kontrola nakon završnih postupaka koji podrazumevaju otklanjanje eventualno prisutnih nepravilnosti.
7. **Sterilizacija** – u ovom koraku se deaktiviraju svi mikroorganizmi i spore koje mogu biti prisutne na sočivima. Plitke posude sa sočivima se stavlja u sterilizator (autoklav) gde se održavaju na temperaturi od 121–124 °C u trajanju od najmanje 20 min.

261

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – proizvodnja

- b) **Rotaciono livenje** (*spin casting*) je bila prva metoda primenjena za proizvodnju mekih sočiva, a i danas se široko koristi.
- Tečni oblik mešavine monomera za sočivo se ubrizgava u kalup koji rotira. Konačan oblik i jačina sočiva zavisi od kombinacije sledećih činilaca:
 - temperaturna;
 - odnos sile Zemljine teže i centrifugalne sile, koja zavisi od kompjuterski kontrolisane brzine rotacije;
 - površinskog napona tečne faze;
 - količine tečne faze u kalupu.



262

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – proizvodnja

- Spoljašnja (prednja) krivina sočiva određena je oblikom kalupa, a zadnja krivina brzinom rotacije (veće brzine proizvode strmije krivine).
- Nakon izvesnog vremena centrifugiranja (rotacije) u kalupu, materijal se izlaže delovanju temperature i/ili UV zračenja (*curing*) čime se dobija tvrdo i oblikovano sočivo.
- Dobijeno suvo sočivo se zatim podvrgava hidrataciji i svim onim postupcima koji su neophodni i kod obrade na strugu (ekstrakcija, bojenje, ...)

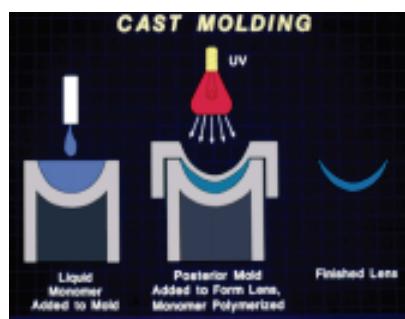
Za razliku od postupka obrade na strugu, koji je relativno skup i manje reproduciabilan, ali koristan za pravljenje određenih posebnih dizajna sočiva, rotaciono livenje je ekonomski povoljnja i reproducibilna tehnika u kojoj se dobijaju meka sočiva udobnih i tankih ivica.

263

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – proizvodnja

c) Livenje u kalup (*cast molding*).

- ❑ Prvi korak je pravljenje kalupa za svaki posebni dizajn kontaktnih sočiva (kombinacija jačine, bazne krivine i prečnika). Od jednog osnovnog, šablonskog metalnog kalupa pravi se na hiljade plastičnih kalupa.
- ❑ Tečni mešavina monomera se sipa u izdubljenu (konkavnu) polovinu kalupa. Zatim se postavlja ispušćena (konveksna) polovina kalupa i pričvrsti.
- ❑ Polimer se izlaže delovanju UV zračenja radi očvršćavanja.



264

Meka (hidrogelna) kontaktna sočiva – proizvodnja

- ❑ Nakon vađenja iz kalupa, sočiva se podvrgavaju procesu hidratacije i ostalim postupcima u proizvodnji do dobijanja konačnog proizvoda.

Livenje u kalup je reproducibilan i ekonomski isplativ postupak kod velikoserijske proizvodnje mekih kontaktnih sočiva. Vrlo često se koristi za pravljenje sočiva za jednokratnu upotrebu ili sočiva koja se planirano zamenjuju posle izvesnog vremena.

265

Obojena kontaktna sočiva

- Kontaktna sočiva vrlo često mogu posedovati neku od nijansi. Razlozi mogu biti različiti – od kozmetičkih (prikrivanje ožiljaka na oku, promena boje oka) do terapeutskih (pomoć pacijentima koji imaju problem zapažanja i razlikovanja boja).
- Osnovne nijanse kod **krutih gas-propustljivih sočiva** su: plava, zelena, siva i braon. Ove standardne nijanse obično ne menjaju boju oka, već omogućavaju lakšu manipulaciju.
- Obično postoje po **tri** osnovne nijanse svake boje i svaka je obeležena odgovarajućim brojem: **najsvetlijia – 1, srednja – 2, najtamnija – 3**. Neke laboratorije prave i nijanse između navedenih (polotonovi).
- Pigment je obično ugrađen u materijal sočiva – posledica je da su sočiva veće debljine tamnija od onih koja su tanja.

266

Obojena kontaktna sočiva

- Meka kontaktna sočiva prema načinu obojenosti mogu se podeliti u nekoliko grupa:
 - sa transparentnom bojom duž celog prečnika – u kozmetičke svrhe, za olakšavanje rukovanja; boja je malog intenziteta;
 - sa transparentnom bojom duž prečnika irisa – u kozmetičke svrhe; ivica sočiva ostaje neprimetna;
 - sa transparentnom bojom duž prečnika irisa, ali sa bezbojnom zenicom
 - sa transparentnom bojom, ali neprovidnom zenicom – za prikrivanje katarakte ili deformiteta zenice;
 - bezbojna, ali sa neprovidnom zenicom – ista namena kao i kod prethodne grupe;
 - sa transparentnom bojom i UV apsorberom – pojavnna boja UV apsorbera je veoma slaba i često se takva sočiva dodatno nijansiraju;
 - bezbojna, ali sa UV apsorberom – obično duž celog prečnika; pojavnna boja je veoma slaba;

267

Obojena kontaktna sočiva

- nepovidna u protetičke svrhe – za prikrivanje ožiljaka, zatamnjenja i deformiteta na rožnjači;
- nepovidna u kozmetičke svrhe – za promenu boje očiju iz raznih razloga (moda, umetnost, ...);
- sa specijalnom bojom u terapeutske svrhe – kada postoji problem u zapažanju i razlikovanju boja; obično se radi o tamnim nijansama, a krive transparencije materijala imaju karakteristične uske spektralne oblasti propuštanja svetlosti (uzani intervali talasnih dužina); funkcionišu tako što menjaju sjajnost objekata koji se slabije zapažaju zbog nerazlikovanja boja.

268

Obojena kontaktna sočiva – načini bojenja

- Meka kontaktna sočiva se mogu bojiti na razne načine:
 - potapanje sočiva u posudu sa bojom – boje rastvorljive u vodi oksidišu i vezuju se za polimernu matricu materijala; boja je hemijski stabilna, ali se teško postiže njena uniformnost; na intenzitet boje se utiče promenom koncentracije boje, vremena tretiranja, temperature tretmana ili kombinacijom ovih faktora
 - reaktivno bojenje – molekuli boje se vezuju (reaguju) sa hidroksilnim grupama materijala sočiva; dubina prodiranja je mala; hemijski stabilna boja, ali osetljiva na neke hemikalije;
 - livenje koncentričnih šipki – prave se bezbojni, obojeni ili nepovidni koncentrični slojevi oko centra šike, koja se nakon polimerizacije seče u obliku “dugmadi”, koja se zatim obrađuje na strugu;
 - štampanje – štampanje boje na delu prednje površine, nakon čega se postavlja zaštitni lak;
 - laminiranje – u mašinski napravljeno udubljenje se postavlja slika (ručnim bojenjem, štampom, ...) i zatim se preko toga postavlja dodatni sloj polimera livenjem.

269

Drugi tipovi kontaktnih sočiva – hibridna sočiva

- **Hibridna sočiva** su kombinacija hidrogelnih i materijala za RGP sočiva.
- Prvo hibridno sočivo je poznato pod imenom *Saturn*, a 1989. godine su se pojavila tzv. *SoftPerm* sočiva, koja su aktuelna i u današnje vreme.
- U centru ovog sočiva je materijal za kruta gas-propustljiva sočiva sa hidrofilnom površinom – siloksan sa malom *Dk* vrednošću, odnosno *t*-butil stiren.
- Po obodu se nalazi hidrogelni materijal baziran na HEMA-i, sa sadržajem vode oko 25 %.
- Prelazna oblast je uzana u kojoj su poprečno povezana oba materijala.
- Od 1998. godine prisutna su sočiva od hidrogelnih materijala koji sadrže **fluor** i **siloksan**, materijale karakteristične za RGP sočiva.