

Primjena plastike u optici

Priredila: Đurđica ŠPANIČEK

The use of plastics for ophthalmic lenses

Nowadays, plastic lenses almost entirely supplant classical glass lenses. The short history of plastic lenses use as well as their basic optical properties and the present state of the art in the field of different plastic lenses are represented.

Nedovoljno je poznata povijest primjene plastike u optici za pravljenje okvira i leća. Prva se primjenjivala bioplastika: celulozni nitrat i celulozni acetat.

Godine 1937. sintetiziran je poli(metil-metakrilat) (PMMA), trgovačkih naziva *Lucite* i *Plexiglas*. Kao što to često biva, trgovački naziv *Plexiglas* postao je sinonimom za PMMA. Ta se plastika odlikuje izvrsnim optičkim svojstvima i pokazala se prikladnom za izradu leća za naočale i fotoaparate. Prve plastične leće od PMMA proizvela je u Velikoj Britaniji tvrtka *Combined Optical Industries Limited (COIL)* pod nazivom *Plexiglas* ili *Perspex*, a distribuirane su u SAD pod trgovačkim nazivom *IGard*. Tvrtka *IGard* najavljivala ih je kao lagane poput pera i neslomljive¹.

Godine 1940. tvrtka *Pittsburgh Plate Glass, PPG*, počela je istraživati alilne smole koje bi očvršćivale pri niskom tlaku. Cilj istraživanja bio je zamijeniti stakla za izradu leća lakšim materijalom koji je i otporniji na lom.

Zatim je proizveden monomer alil-diglikol-karbonat (ADC) oznake *CR-39* prikladan za lijevanje u kalupe. Za daljnji razvoj tog materijala za izradu organskih leća zaslužna su tri proizvođača: *Armolite* iz Kalifornije u SAD-u, australaska *SOLA* i *Essilor* iz Francuske¹.

Najpoznatiji plastomeri za izradu organskih leća su polikarbonati, a prva ga je 1950. godine proizvela američka tvrtka *General Electric* pod trgovačkim imenom *Leksan*. Iznimno je žilav, a proizvodi su tanji i laganiji od onih od drugih sličnih materijala¹.

Danas je plastika zbog svojih specifičnih svojstava gotovo potpuno zamijenila staklo u izradi leća za naočale.

Zahtjevi i svojstva materijala za optičke namjene¹

Pri izboru materijala za primjenu u optici, a posebice za izradu leća za naočale, postavljaju se različiti zahtjevi. Ti su zahtjevi određeni normama (HRN-EN ISO 8980:2005: *Neoblikovane gotove leće za naočale*, HRN-EN ISO

14889:2013: *Osnovni zahtjevi za neoblikovane gotove leće*, BS 7394-2:1994). Specifikacije za kompletne naočale sadržavaju važne definicije vezane uz materijale za leće. Pri uvođenju novih materijala objavljuju se podaci o određenim svojstvima, ponajprije optičkima, kako bi se mogli usporediti s postojećim materijalima.

Leće za naočale mogu biti izrađene od različitih mineralnih i plastičnih materijala koji trebaju imati sljedeće karakteristike:

- prozirnost pri svim vidljivim valnim duljinama (bez boje ako nije drukčije određeno)
- bez unutrašnjih grešaka (mjehurića i sl.)
- homogenost (u fizičkom i kemijskom sastavu)
- trajnost i otpornost na stvaranje napuklina
- žilavost
- niska gustoća, a time i mala masa
- visoka lomnost svjetla* i niska disperzija.

Dioptričke funkcije korektivne naočalne leće ovise o:

- geometrijskim svojstvima (polumjer zakrivljenosti, geometrija površine)
- fizičko-kemijskim karakteristikama materijala.

Najčešće se na temelju podataka o fizičko-kemijskim, toplinskim i mehaničkim svojstvima odabire optimalan materijal za optičke svrhe.

Važna optička svojstva

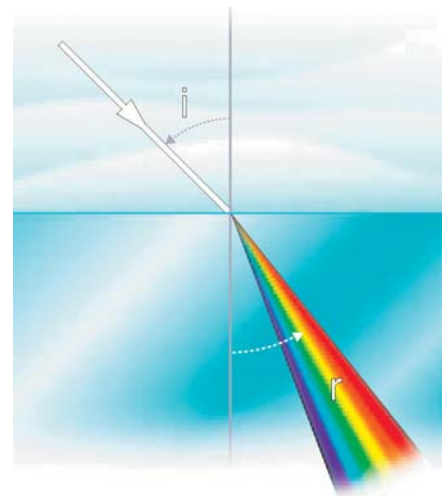
Zrake svjetlosti koje dođu na površinu leće dijelom se mogu reflektirati, dijelom prolaze kroz materijal (transmisija), a dijelom ih materijal apsorbira i pretvara u toplinu.

Tipični materijal za leće bez dorade reflektira 8 % svjetlosti ili više od toga. Svjetlo kroz leću može proći potpuno ako je leća sasvim prozirna ili može biti djelomično apsorbirano ako leća ima svojstva filtra. Propusnost (transmisija) označava količinu svjetlosti koja prođe kroz leću.

Optička svojstva obuhvaćaju različite optičke pojave kao što je lomnost svjetla (n), što je svojstvo koje prikazuje lom svjetla na površini (refrakcija).

Lomnost svjetla

To je promjena smjera vala do koje dolazi zbog promjene njegove brzine širenja. Najčešće se uočava na plohi koja razdvaja dvije različite tvari u kojima je brzina vala različita zbog čega dolazi do loma svjetlosti (slika 1).



SLIKA 1 – Prikaz loma zrake i rasipanja svjetlosti²

Lomnost svjetla različitih materijala varira jer je funkcija valne duljine. To znači da različite boje od kojih se sastoji bijela svjetlost imaju različitu lomnost svjetla u istome materijalu. Svjetlost manjih valnih duljina putuje dulje kroz većinu prozirnih materijala od one većih valnih duljina pa će zato ljubičasto svjetlo imati veću lomnost svjetla od crvenog. To je zbog kromatskog rasipanja bijelog svjetla na komponente. Referentna valna duljina prema kojoj se određuje lomnost svjetla sredstva različita je za kontinentalnu Europu i Japan ($\lambda_e = 546,07$ nm zelena linija spektra žive) te za SAD i Ujedinjeno Kraljevstvo ($\lambda_d = 587,56$ nm, žuto-zelena linija spektra helija)².

U praksi se leće najčešće razlikuju prema veličini lomnosti svjetla, koja je za današnje oftalmološke materijale u rasponu od 1,5 do 1,9.

Leće više lomnosti svjetla tanje su za isti polumjer leće i istu dioptrijsku jakost. Razlog je tomu što veća lomnost svjetla omogućava da razlika između polumjera zakrivljenosti prednje i stražnje plohe optičke leće bude manja, a da leća pritom zadrži istu dioptrijsku jakost, što se iskazuje faktorom odstupanja krivulje (CVF).

Faktor odstupanja krivulje pokazatelj je koji upućuje na moguće promjene volumena i debljine leće od nekog materijala u usporedbi s lećom od krunskog stakla. CVF predstavlja omjer lomnosti svjetla krunskog stakla i određenog materijala te omogućava preračunavanja debljine leće iste dioptrijske jakosti prema ekvivalentu krunskog stakla jednostavnim množenjem snage leće s iznosom CVF za taj materijal². Plastične leće s višom lomnosti svjetla lakše su od standardnoga polimernog materijala (*CR-39*).

* Uobičajeno se to svojstvo naziva indeks loma, ali je prema novim pravilima to lomnost svjetlosti (svojstvo).

Odbijanje svjetlosti (refleksija)

Istodobno s lomom svjetlosti događa se i odbijanje svjetlosti (ρ) na površinama leće. To rezultira gubitkom prozornosti leće i nepoželjnim odbijanjima na površinama. Primjenom učinkovitih antirefleksirajućih prevlaka tu je pojavu moguće gotovo potpuno spriječiti.

Svi plastični materijali za potrebe optike mogu se prevlačiti pri visokom podtlaku za dobivanje višeslojnih površina bez refleksije. Takve leće posjeduju propusnost i do 99 %. To je iznimno važno za leće visoke i vrlo visoke lomnosti svjetla. Isto tako većina plastičnih leća prevlači se tvrdim, antiabrazijskim slojevima. Takve prevlake mogu biti u obliku polisiloksanskih lakova ili se mogu staviti tijekom postupka lijevanja. Većina višeslojnih prevlaka ima završni sloj s antistatičkim i hidrofobnim svojstvima kako bi se leće mogle lakše čistiti².

Apsorpcija svjetlosti

Količina svjetlosti može se pri prolasku kroz leću smanjiti zbog apsorpcije u materijalu. Iskazuje se kao udio svjetlosti apsorbirane između prednje i stražnje strane leće, a izražava se u postotku. Ona se može zanemariti za neobojene leće, ali je važna za obojene, fotokromatske leće i leće s filtrima jer ovisno o boji neku valnu duljinu apsorbira više, a neku manje. Prema Lambertovu zakonu apsorpcija leće varira eksponencijalno s debljinom leće.

Difuzija svjetlosti

Rasipanje svjetlosti u svim smjerovima naziva se difuzija svjetlosti. Javlja se na površinama svih čvrstih tijela i unutar onih transparentnih. U oftalmičkim lećama teorijski nema površinske difuzije zbog postupka pripreme, u prvom redu poliranja kojim se ta pojava eliminira. Može se zamijetiti kada se površina leće zaprlja ili zamasti.

Ogib (difrakcija) svjetlosti

Ogib svjetlosti je pojava promjene smjera svjetlosnog vala kada naiđe na male prepreke od svega nekoliko valnih duljina. Na naočalnoj leći pojava ogiba znači da postoje nepravilnosti. Ako je takva pojava uočena tijekom ili neposredno nakon procesa proizvodnje, ta se leća u pravilu ne upotrebljava. Ogib svjetlosti na leći može se pojaviti i tijekom upotrebe leće, najčešće kao posljedica ogrebotina ili nekih drugih oštećenja na leći ili zaštitnim slojevima.

Disperzija svjetlosti

Pojava rasipanja bijele svjetlosti na monokromatske komponente prilikom loma na optičkom sredstvu naziva se disperzija (slika 1).

Mjera za disperziju svjetlosti u nekom optičkom sredstvu je Abbeov broj ili V-vrijednost. Obrnu-

to je proporcionalan količini disperzije i lomnosti svjetla. To znači da leće s manjom disperzijom imaju viši Abbeov broj, a samim time i bolju optičku kvalitetu. Predstavlja recipročnu vrijednost disperzne sile materijala i pokazuje stupanj transversne kromatske aberacije, TCA, koju korisnik leće može iskusiti³.

Disperzija ovisi o prizmatском učinku leće na točki upada i Abbeovu broju materijala od kojeg je leća napravljena. Abbeov broj kreće se od 20 za vrlo gusta stakla, preko 65 za lagana stakla ili krunsko staklo do 85 za fluor-krunsko stakla. Vrijednost Abbeova broja za plastične leće je od 30 za polikarbonat do 58 za CR-39.

Prizmatски učinak leće ovisi o njezinoj dioptrijskoj jakosti i o tome koliko je točka upada svjetlosti udaljena od središta leće. Što je dioptrijska vrijednost leće viša, to prizmatски učinak brže raste kako se upadna zraka udaljava od njezina središta. Povećanjem prizmatskog učinka i količine disperzije (smanjenjem Abbeova broja) povećava se kromatska aberacija na rubovima leće.

Fizičko-kemijska svojstva

Od fizičkih svojstava plastike pogodne za oftalmološku primjenu najvažnija je gustoća. Korektivne leće u optičkim pomagalicama koriste se najčešće cjelodnevno pa je zato bitno da su materijali što lakši, ali i estetski prihvatljivi. Gustoća većine plastike u rasponu je od 0,9 do 1,55 gcm⁻³, ovisno o kemijskoj građi i morfološkoj strukturi. Što je veći udio sredene strukture, tj. što je materijal gušći, to je i teži. Polimeri pogodni za izradu leća imaju gustoću oko 1,2 do 1,25 gcm⁻³ (npr. PC je gustoće 1,2 gcm⁻³).

Plastika općenito pokazuje dobru kemijsku postojanost. Tu svakako postoji znatna razlika između plastomera i duromera zbog strukturnih razloga. Većina duromera pokazuje samo pojavu bubrenja uz djelovanje većine medija. Kod plastomera postoji veća osjetljivost, osobito na neka organska otapala.

Kako u primjeni polimera za leće nema djelovanja agresivnih medija, treba voditi računa o mogućoj pojavi napuklina (*e. crazes*) zbog djelovanja nekog medija, a u nekim situacijama to može biti čak i voda. No takva opasnost postoji tek pri povišenim temperaturama i/ili vanjskim mehaničkim djelovanjima pa je pri normalnim uvjetima primjene gotovo zanemariva.

Treba, međutim, istaknuti da je plastika sklona starenju, procesu postupnog snižavanja nekih svojstava tijekom vremena koji je svojstven svim materijalima, ali jače izražen kod organskih, a takva je većina plastike. Starenje se kod leća manifestira kao stvaranje sitnih napuklina, zbog kojih leća gubi svoju funkciju.

Mehanička svojstva

Za upotrebu optičkih proizvoda važna su mehanička svojstva kao što su čvrstoća, modul elastičnosti i žilavost kao mjera otpornosti na udar na opterećenja te tvrdoća materijala.

Tvrdoća predstavlja otpor materijala prema poriranju tvrdog materijala. Određuje se normiranim metodama (Knopp, Rockwell, Barcol i Vickers)³.

Žilavost za optičke materijale određuje se padom čelične kuglice na ispitivani proizvod. Postoje različita normirana ispitivanja u SAD-u, Velikoj Britaniji, Njemačkoj i Francuskoj, koja se razlikuju u masi kuglice i visini s koje pada. Dva su osnovna tipa oštećenja leće.

1. Prvi je nastajanje napukline na stražnjoj površini leće pri padu kuglice umjerene mase i brzine. Tom prilikom zbog pritiska kuglice dolazi do savijanja gornje površine leće i istodobnoga rasteznog naprezanja donje površine. Rezultat je pojava napukline s donje strane leće.
2. Drugi oblik oštećenja nastaje na prednjoj strani leće zbog elastičnog uleknuća prednje površine i nastale napukline koja se širi prema stražnjoj strani leće. Ova pojava nastaje kada mala lagana kuglica velike brzine padne na leću.

Većina plastičnih leća otporna je na udar. U nekim posebnim situacijama, međutim, za neke je leće potrebno provesti takvo ispitivanje, ako je debljina središta leće ispod standardne ili ako je upotrijebljen novi zaštitni sloj.

Plastika za izradu leća

Među prvim materijalima koji su se počeli upotrebljavati za izradu leća za naočale je PMMA. To je lagan materijal, gustoće 1,18 gcm⁻³, lomnost svjetla približno je jednaka onoj stakla (1,498). Žilav je, ali je relativno male površinske tvrdoće. Upravo je zbog toga danas gotovo potpuno nestao iz upotrebe.

Plastika koja se danas koristi za leće dijeli se prema visini lomnosti svjetla¹.

Plastika normalne lomnosti svjetla

To su materijali lomnosti svjetla u rasponu od $n = 1,48$ do $n = 1,54$. U tu skupinu ulazi krunsko staklo, a od plastičnih materijala poli(dietilenglikol-bisalil-karbonat) poznat pod oznakom CR-39 te duromer na poliuretanskoj osnovi Trivex. Mehaničke karakteristike dolaze do izražaja usporedbom debljine leće za različite polumjere leća. Ako je polumjer leće relativno malen, nema velikih razlika između stakla i CR-39 zbog povećane debljine središta leće potrebne kod plastike. S druge strane, za lagane leće, Trivex omogućuje izradu leća s upola manjom masom od leća izrađenih od stakla ili CR-39. S porastom polumjera leće prednost plastike pred staklom postaje sve izraženija.

Poli(dietilenglikol-bisalil-karbonat)

Većina današnjih leća izrađena je od ovog duromera poznatog pod oznakom *CR-39*. Oznaka potječe od proizvođača (*Columbia Southern Chemical Company*) koji je bio u vlasništvu tvrtke *PPG (Pittsburgh Plate Glass Company)* u kojoj je 40-ih godina 20. stoljeća sintetiziran ovaj polimer, prvotno kao vezivno sredstvo za potrebe vojne industrije.

Dobiva se reakcijom u dva stupnja: u prvom se stupnju pripravlja ester fosgena i dietilenglikola, a zatim u drugom stupnju reagira dietilenglikolkloroformat s alilnim alkoholom dajući monomer dietilenglikol-bisalil-karbonat, *DEGBAC*. Njegovom polimerizacijom dobiva se polimer, čija svojstva ovise o uvjetima reakcije, ponajprije o vrsti i količini dodanog katalizatora i temperaturi provođenja reakcije.

Za leće se rabi od 70-ih godina zbog svojih iznimnih svojstava: lagan je i žilav te se može nijansirati bez kemikalija, samo dodavanjem organskih boja u vruću vodu. S obzirom na dobru kemijsku postojanost (osjetljiv je jedino na koncentriranu sumpornu i dušičnu kiselinu), postupak je lako provediv. Gustoća mu je $1,32 \text{ gcm}^{-3}$, a lomnost svjetla 1,498, Abbeov broj 58, a prosječna prozirnost iznosi 92 % transmisije vidljivog dijela spektra¹.

Zbog izvrsnih optičkih, dobrih fizičkih svojstava i niske cijene najčešći je materijal za ugradnju u dioptrijske naočale.

Nedostatak mu je mala lomnost svjetla, što ga čini estetski nepogodnim za izradu leća visoke dioptrijske jakosti.

Trivex

To je je duromer na poliuretanskoj osnovi poboljšana obogaćivanjem dodatnim dušikom. Dobiva se djelomičnim umreživanjem strogo polarnom interakcijom (privlačenjem suprotnih naboja bez kemijske reakcije), što poslije omogućuje apsorpciju energije kada je materijal pod pritiskom. Tako je izbjegnuto naprezanje u materijalu koje može izazvati stvaranje napuklina, što ga čini iznimno nelomljivim, gotovo kao i polikarbonat. Za razliku od polikarbonata, *Trivex* ima manju lomnost svjetla (1,53) i veći Abbeov broj (46), što znači da je optički kvalitetan gotovo kao i *CR-39*. Također, za razliku od polikarbonata lakše se boji, vrlo je dobre kemijske postojanosti i može se brusiti bez naknadne obrade rubova leća. Propuštanjem polarizirane svjetlosti kroz *Trivex* pokazuje se da, za razliku od polikarbonata, nema zaostalih naprezanja pa i ne dolazi do stvaranja napuklina kao kod polikarbonata (slika 2).

Nedostaci su vrlo visoka cijena monomera (u odnosu na *CR-39*) i niska lomnost svjetla, što znači da, kao i *CR-39*, nije estetski pogodan za izradu leća visoke dioptrijske jakosti.



SLIKA 2 – Minimalno zaostalo naprezanje u leći izrađenoj od *Trivexa*⁴

Plastika srednje lomnosti svjetla

Tu skupinu materijala čine oni s rasponom lomnosti svjetla od 1,56 do 1,64. Tu spadaju sa srednjim indeksom i polikarbonati, kao i *Tribid* s $n = 1,6$ ¹, nasljednika *CR-39*, kojeg proizvodi tvrtka *Pittsburgh Plate Glass Industries*. Kao i *CR-39*, to je duromer, ali lakši od njega, s Abbeovim indeksom 38. Krući je i stoga pogodniji za izradu tanjih leća.

Polikarbonat

Polikarbonat (PC) je 1950. godine proizvela američka tvrtka *General Electric* pod trgovačkim nazivom *Lexan*. Ima niz prednosti za primjenu u oftalmološkoj optici:

- visoka žilavost (do 10 puta viša od *CR-39*)
- lomnost svjetla ($n_e = 1,591$, $n_d = 1,586$)
- niska gustoća ($\gamma = 1,20 \text{ gcm}^{-3}$)
- dobra UV postojanost
- visoka toplinska postojanost (mekšalište je iznad $140 \text{ }^\circ\text{C}$).

Nedostaci su:

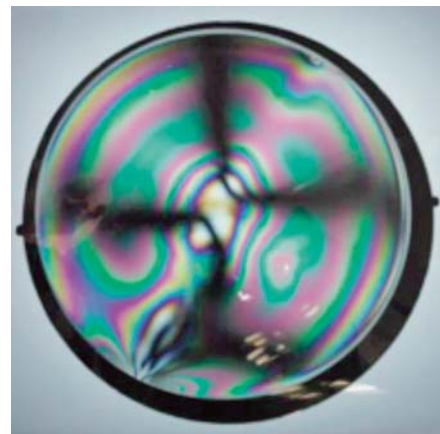
- niska površinska tvrdoća zbog koje je nužno nanijeti tvrdi sloj
- teško se boji pa se obojenost postiže impregniranjem obojenim slojevima otpornima na ogrebotine
- nizak Abbeov broj i općenito lošija optička kvaliteta od ostalih materijala za izradu naočalnih leća
- propuštanje kroz polikarbonat polarizirane svjetlosti otkriva visoku razinu napetosti (slika 3) zbog koje može doći do stvaranja pukotina unutar leće na mjestu doticaja s metalom, što je najčešće prisutno kod okvira na bušenje na mjestu gdje metalni nosač prolazi kroz leću.

Plastika lomnosti svjetla 1,56

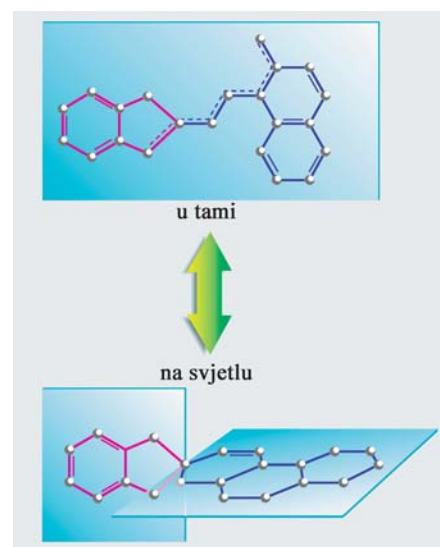
Kao i *CR-39*, ovaj je materijal duromer, ali lakši od *CR-39*. Abbeov broj je 38. Tvrdi je od *CR-39*, no slabije je žilavosti. Na tržištu je prisutan isključivo kao fotoosjetljivi materijal *Sunsensors*¹.

Iako su se prvi fotokromatski polimerni materijali pojavili već 1986., oni se primjenjuju tek od

90-ih godina. Fotokromatski se efekt postiže dodavanjem fotoosjetljivog spoja u polimer. Zbog djelovanja specifične vrpce UV zračenja takvi spojevi doživljavaju strukturnu promjenu koja modificira apsorpcijska svojstva materijala. Princip fotokromatske primjene prikazan je na slici 4, na primjeru djelovanja molekule spiro-oksazina (jedna od mogućih organskih molekula kojima se postiže fotokromatski efekt).



SLIKA 3 – Visoke napetosti u polikarbonatnoj leći⁴



SLIKA 4 – Načelo fotokromizma u polimerima na primjeru spiro-oksazina²

Fotoosjetljive molekule nalaze se unutar leće (zbog djelovanja UV zračenja dio se molekule zakreće uzrokujući time zatamnjenje leće), za razliku od danas prevladavajućih fotoosjetljivih slojeva.

Plastika lomnosti svjetla 1,6¹

Postoji nekoliko vrsta plastike lomnosti svjetla 1,6 koje su danas u upotrebi. Najrašireniji su materijali *MR6* i *MR8* japanske kompanije *Mitsui Chemicals*. Ovi su materijali duromeri, a sinteza se dovršava prilikom procesa mljevenja. Miješaju se dva različita monomera (podaci o kemijskom sastavu su nedostupni) u kaplje-

vitom stanju te se uz točno određene temperaturne uvjete zbiva posljednji stupanj procesa polimerizacije.

Nekada se za proizvodnju materijala indeksa 1,6 najviše upotrebljavao *MR6*, no sada se više rabi *MR8* jer leće napravljene od tog monomera imaju viši Abbeov broj. Ovi materijali imaju dobra optička svojstva, visoku otpornost na pucanje i mogu biti obojeni.

Najnoviji u upotrebi od materijala s lomnosti svjetla 1,6 onaj je trgovačkog naziva *Tribid*, po svojstvima sličan *Trivexu*. Proizvodi ga kompanija *PPG Industries*. Proizvodi se kombinacijom postupka proizvodnje *Trivexa* i postupka proizvodnje klasičnih materijala visoke lomnosti svjetla. Dobiveni materijal je visoke žilavosti, visoke optičke kvalitete (Abbeov broj 41), niske gustoće (samo 1,23 gcm⁻³) kao *Trivex*, ali i potpune apsorpcije UV zraka i povišene lomnosti svjetla (1,6), što ga čini estetski znatno prihvatljivijim za izradu leća visoke dioptrijske jakosti.

Nedostaci su mu visoka cijena, zbog čega za sada još nije prisutan na svim tržištima, te to što se proizvodi u dioptrijskim jakostima od +/- 3 do +/- 7.

Plastika visoke lomnosti svjetla

U ovu skupinu ubrajaju se materijali lomnosti svjetla od 1,64 do 1,74. Po svojim karakteristikama slični su materijalima s lomnosti svjetla 1,6.

Polimeri lomnosti svjetla 1,67¹

Ovi su materijali također duromeri i proizvode se lijevanjem, slično kao i materijali s $n = 1,6$. Gotovo svi proizvođači leća rabe isti materijal. On se može proizvesti upotrebom monomera *MR7* i monomera *MR10* kompanije *Mitsui Chemicals*. Ako se proizvode od monomera *MR7*, žilaviji su, a a oni od monomera *MR10* bolje su

toplinske postojanosti (do 100 °C, za razliku od 85 °C koliko ima *MR7*).

Leće napravljene od ovih materijala imaju relativno nizak Abbeov broj, ali su zbog toga oko šest puta žilaviji u odnosu na *CR-39*, veće su estetske privlačnosti kod većih dioptrijskih jakosti te su pogodne za ugradnju u sve vrste okvira koji su na tržištu.

Plastika vrlo visoke lomnosti svjetla¹

Danas je u komercijalnoj upotrebi plastika s najvišom lomnosti svjetla od 1,74. Taj iznimni materijal dopušta 40 % tanje leće u usporedbi s onima od *CR-39* pri istim uvjetima. Također ima znatnu V-vrijednost, 33. Nedostatak je što se može pojaviti žutilo u leći, vrlo je krhak prilikom bušenja i pritom se stvara neugodan miris. Vrlo je skup za korisnika.

Materijal s lomnosti svjetla od 1,76 pod nazivom *Tokai* proizvodi japanska tvrtka *Tocay Optical*. To je materijal s dodatkom alilidiglikolkarbonata i trenutačno je plastika s najvišom lomnosti svjetla. Iako je *Tokai* izumljen još 1939. u Japanu, na tržište je uveden tek 2006. Može biti obojen u masi do 85 %, a dopušta tanju stijenku leće od 47 % u odnosu na *CR-39*.

Konačna debljina i masa leće u okviru naočala ne ovise samo o lomnosti svjetla. One su funkcije dioptrijske jakosti, lomnosti svjetla leće, gustoće materijala i, najviše, promjera leće potrebnog za ugradnju u okvir. U slučaju kada su mogući vrlo mali promjeri leća, razlika u masi i debljini leće gotovo je zanemariva bez obzira na upotrijebljeni materijal i dioptrijsku jakost. Kada su potrebni veliki promjeri leća od materijala visoke lomnosti svjetla, iako tanje (svi materijali) i lakše (samo neka plastika), još su teške i estetski vrlo neprivačne.

Vidljiv je znatan utjecaj povećanog promjera i gustoće materijala na ukupnu težinu. Za povišenje lomnosti svjetla mineralnog materijala

potrebno je dodati kemijske elemente koji su u pravilu gušći, što utječe na povećanje ukupne težine leće bez obzira na smanjen volumen zbog poboljšane lomnosti svjetla. Povećanjem promjera leće potrebne za ugradnju povećava se i volumen leće, tako da razlika u težini postaje još veća i problem za korisnika još je veći. To vrijedi (iako u manjoj mjeri) i za standardnu plastiku lomnosti svjetla 1,6, 1,67 i 1,74. Jedini materijali čijom se upotrebom zaista može uštedjeti na težini su *Trivex*, polikarbonat i najnoviji materijal *Tribid*.

Na temelju dostupnih i prikazanih vrijednosti vidljivo je:

- plastične leće pogodne su zbog niže gustoće
- plastika bolje blokira UV zrake
- Abbeov broj približno jednako opada s porastom lomnosti svjetla za plastične i za mineralne leće
- refleksija približno jednako raste s porastom lomnosti svjetla za plastične i za mineralne leće.

Staklo je nezamjenjivo za izradu leća otpornih na grebanje i leća s visokom lomnosti svjetla ($n = 1,8 - 1,9$), što se postiže dodatkom velikih količina titanova dioksida. Za sada još ne postoji plastika toliko visoke lomnosti svjetla ni postupak dorade toliko otporan na ogrebotine kao što je to slučaj sa staklom. Za ostale namjene polimerne su leće gotovo istisnule staklo.

KORIŠTENJA LITERATURA

1. Babić, D.: Završni rad, Veleučilište Velika Gorica, 2015.
2. *Ophthalmic Optics files, Materials*, Essilor International, 1997.
3. *Introduction of Ophthalmic Optics*, www.visin.zeiss.com
4. Gilbert, P.: *Material changes-plastic lenses of the last decade*, www.optometry.co.uk/clinical

Polimerni materijali i dodatci

Pripremla: Jelena PILIPOVIĆ

Tjelesna toplina mijenja oblik polimera

Na *Sveučilištu u Rochesteru* načinjen je polimerni materijal koji se pri tjelesnoj temperaturi vraća u prvotni oblik. To je postignuto tako da se niti polimera vežu molekulnim vezama koje usporavaju kristalizaciju, odnosno sprječavaju daljnji nastavak kristalizacije, pri čemu se polimer vraća u svoj izvorni oblik. To se događa u ovom slučaju odmah ispod normalne tjelesne temperature. Tom prilikom materijal pohranjuje goleme količine elastične energije te tako može podignuti neki predmet tisuću puta teži od svoje mase, npr. tanka nit polimera mogla bi povući

veliki dječji autić. Od razvoja do upotrebe takvih polimera treba proći još mnogo vremena, no već sada je jasno da će njihova primjena biti korisna npr. za odjeću koja savršeno pristaje kupcu, umjetnu kožu i šavove koji se sami zatežu.

www.engadget.com/2016/02/12/shape-shifting-polymer-straightens-out-with-a-little-heat/

Bakterije koje jedu PET ambalažu

Statistička mjerenja pokazala su da šestinu otpada čini PET (*poli(etilen-tereftalat)*), koji ima dugo vrijeme razgradnje. Znanstvenici s *Instituta za tehnologiju u Kjotu* i *Sveučilišta Keio otkrili su*, međutim, bakteriju *Ideonella sakaiensis 201-F6*, koja može razgraditi tanki sloj poli(etilen-tereftalata) u samo šest tjedana pri temperaturi

od 30 °C. S pomoću dva enzima bakterija razbija PET na *tereftalnu* kiselinu i *etilenglikol*, dva kemijska spoja manje opasna za okoliš.

znanost.geek.hr/clanak/otkrivena-bakterija-koja-se-prilagodila-jesti-plastiku

Primjena cikloolefinskog kopolimera u medicini

Za mjerne brtve ventila na čepovima za spremnike koji se upotrebljavaju u medicini na tržištu se pojavila primjena cikloolefinskog kopolimera (COC) *DF30Plus* koji ima jedinstvena elastična svojstva (slika 5). Uvođenjem novoga polimernog materijala *DF30* u ventil poboljšava se kompatibilnost tvari i suha formulacija lijeka, postiže se vrhunska čistoća, poboljš