

POLI (METIL METAKRILAT) I POLIKARBONAT KAO OPTIČKI PRIBOR U SVETILJKAMA

TATJANA ILIČIĆ, strukovni inženjer tehnologije za preradu polimera – specijalista

BUCK d.o.o. - Beograd

Beograd, X 2010.

APSTRAKT:

Plastični materijali su imali veliki uticaj na dizajn električnog osvetljenja tokom druge polovine 20. veka. To se nastavilo i tokom 21. veka. Veća sloboda u dizajnu svetiljke je jedna od prednost plastičnih materijala u odnosu na staklo. Odredjeni plastični materijali su primamljivi materijali za upotrebu u električnom osvetljenju zbog male mase, lakog način upotrebe i montaže, visoke svetlosne propustljivosti i bolje otpornosti na lomljenje u odnosu na staklo.

Ovaj rad je nastao usled traženja adekvatnog objašnjenja primene plastičnih materijala kao optičkog pribora u literaturi koja se bavi električnim osvetljenjem. Optički pribor od PC i PMMA je lakši i tanji od stakla i poseduje dizajnersku fleksibilnost. Iako su jako slični ipak postoje značajne razlike u njihovim preformansama u području optičke stabilnosti i otpornosti na udar. Zbog ovih razlika je jako teško proceniti koji je materijal superiorniji. Činjenica je da uporedna analiza pokazuje da ni jedan materijal ne odgovara u potpunosti dizajnerskim zahtevima. Kombinacija faktora čini PMMA upotrebljivim za jednu namenu, ukoliko se zahtevi samo malo promene PC će biti pogodniji. Ovaj rad opisuje ova dva materijala i istražuje dve kritična svojstva: otpornost na udar i optičku stabilnost u zavisnosti od ambijentalnih uticaja u kojima se nalazi svetiljka. Cilj je da projektanu električnog osvetljenja olakšamo da izabere najbolji odgovarajući materijal za odredjeni projekat.

1. UVOD

1.1. Opšte napomene o optičkom priboru

Svetiljke su naprave koje treba da ispune veći broj zahteva, od kojih su najvažniji: nošenje i pogon izvora svetla, postizanje željene raspodele svetlosnog fluksa koji emituju izvori svetlosti, smanjenje sjajnosti izvora svetlosti, koje se postiže povećavanjem površine kroz koju se emituje svetlost, zaštita izvora svetlosti i dodatne opreme od mehaničkih i hemijskih uticaja okoline, kao i zaštita okoline od mogućih štetnih uticaja izvora svetlosti i dodatne opreme, održavanje radne temperature izvora svetlosti u predviđenim granicama, jednostavna montaža i održavanje, dovoljno visok stepen iskorišćenja, prijatan estetski izgled i mogućnost uklapanja u arhitekturu okoline.

Usmeravanje svetlosnih zraka počiva na dva fizička fenomena: odbijanje (refleksiju) i prelamanje (refrakciju) svetlosti. Ove pojave su, u većoj ili manjoj meri, uvek praćene i pojavom upijanja (apsorpcije) svetlosti, kojom se energija vidljivog zračenja pretvara u toplotu. Pojava odbijanja (refleksije) svetlosti se sastoji u tome da se deo svetlosnog fluksa koji padne na neku površinu odbije, odnosno vrati u poluprstor upadne svetlosti. Preostali deo svetlosnog fluksa se upije ili delimično upije, a delimično propusti. Postoje četiri vrste refleksije: usmerena, difuzna, poludifuzna i mešovita. Prelamanje (refrakcija) je pojava promene pravca prostiranja svetlosnih zraka prilikom prelaska iz sredine jedne u sredinu druge optičke gustine. Propuštanje (transmisija) svetlosti može biti pravilno i difuzno. Providne materije propuštaju svetlost pravilno, prozirne materije propuštaju svetlost difuzno, po prolasku kroz njih svetlost se raspršava. I to raspršavanje svetlosti može biti: difuzno, poludifuzno i mešovito. Faktor propuštanja se definiše kao odnos propuštenog i upadnog fluksa. U određivanju raspodele svetlosnog fluksa svetiljke mogu da učestvuju: reflektori, refraktori, difuzori, štitnici i filteri.

Od prozirnih materija koje difuzno propuštaju svetlost se izrađuju protektori svetiljki za unutrašnje osvetljenje koji se nazivaju difuzori. S obzirom da vrši raspršivanje svetlosti koju emituje svetlosni izvor, difuzori ne samo da usmerava svetlost u sve delove prostorije ispod svetiljke, nego i značajno redukuje sjajnost svetiljke u svim pravcima. Zbog toga se svetiljke sa difuzorima (izrađenim od stakla ili plastičnih materijala) najčešće koriste za osvetljenje prostorija u kojima je potrebno ravnomerno osvetliti ne samo radnu ravan, nego i zidove, i u kojima je potrebno eliminisati blještanje. Najbolji praktični način za merenje difuzora je da se izmeri razlika svetlosni fluksa svetiljke bez difuzora i sa difuzorom.

Pre nego što u razmatranje uzmemo optička svojstva i primenu plastičnih materijala kao difuzora, neophodno je napraviti uvod o njima kao industrijskim i komercijalnim materijalima.

1.2. Opšte napomene o plastičnim materijalima

Čovek je za svoje potrebe koristio svojstva prirodnih polimera (drvo, pamuk, koža, vuna, svila, kaučuk...) još od praistorije. Tokom godina je naučeno da svojstva nekih materijala mogu biti poboljšana raznim tehnikama. Tokom 19. veka sa napretkom naučnih saznanja u hemiji i fizici, spojenih sa potrebama industrije, istraživanja su bila bazirana na otkrivanju sintetskih materijala koji će da zamene prirodne materijale. Tako je termin „veštački“ (sintetski) materijal ušao u upotrebu, nažalost, i sa dodatnim smislom manje vrednog – manje kvalitetnog materijala. Za proizvodnju kvalitetnih materijala ovog tipa neophodno je poznavanje molekulske strukture, morfologije materijala i njihove povezanosti sa svojstvima i mogućnostima prerade materijala, što i zastupaju savremena nauka o materijalima i inženjerstvo materijala.

Razvoj polimernih materijala nameće određene zaključke: mada su počeci tehnologije polimera skromni, a njen dosadašnji razvoj relativno kratak, polimerni materijali imaju veoma veliki značaj. To potvrđuje činjenica da do sada nijedna hemijska tehnologija, pa ni industrijska grana uopšte (izuzimajući možda eksplozivni razvoj savremene kompjuterske tehnike) nije doživela tako visoku stopu rasta kao industrija polimera.

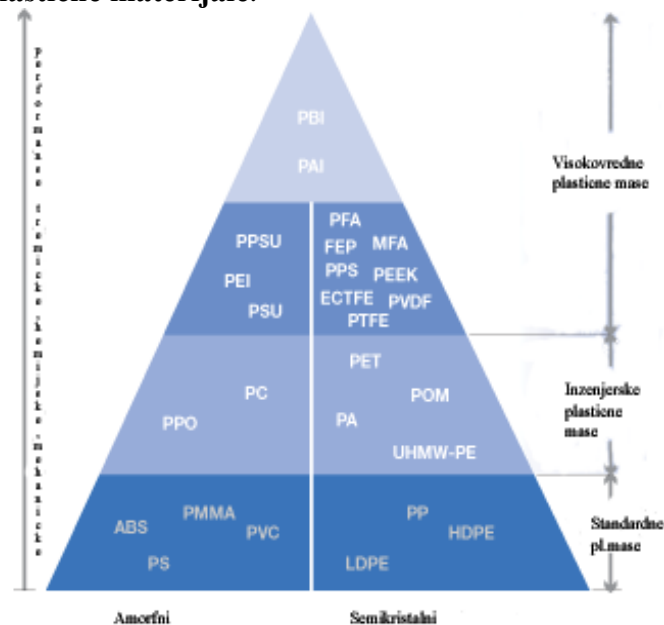
U savremenom inženjerstvu, pored projektovanja proizvoda i projektovanja procesa, sa jednakom pažnjom tretira se i projektovanje materijala. Zasluga za to umnogome pripada polimerima. „Krojenje lanaca“ po želji, strukturiranje na intermolekulskom nivou, umrežavanje ili kristalisanje i orijentisanje, kao i razumevanje međuzavisnosti makrostrukture materijala i konstrukcije proizvoda, pružaju ogromne mogućnosti.

Plastični materijali se u osnovi dele na dve glavne kategorije:

1. *Termoplastične materijale (termoplaste)* – to su materijali koji pod uticajem pritiska i temperature neograničeno mogu menjati svoj oblik. Termoplastična struktura se odlikuje isključivo međumolekulskim silama između osnovnih lanaca makromolekula. Ove sile se lako kidaju pri zagrevanju i to rezultira u topljenju polimera. Pri rastvaranju termoplasta molekuli rastvarača razdvajaju polimerne lance formirajući rastvor. Pri sušenju se termoplast ponovo vraća u svoje prvobitno stanje. U ove materijale spadaju: polietileni, polipropilen, polistiren, vinilni polimeri, polikarbonati, poliamidi, itd.
2. *Termoreaktivne materijale (duroplaste)* – to su materijali koji imaju ograničenu sposobnost menjanja oblika delovanjem viših temperatura i pritisaka. Kod termoreaktivne strukture veliki broj makromolekulskih lanaca povezan je hemijskim vezama. Oni su najčešće neosetljivi na uticaj rastvarača, i ne mogu se rastvoriti ukoliko ne dođe do kidanja umreženih veza između molekula. U ovu grupu spadaju: fenolplasti, aminoplasti, epoksidne smole, silikoni, nezasićeni poliestri, kazeinske plastične mase, itd. U široj literaturi ova kategorija plastičnih materijala naziva i termostabilni materijali.

U pogledu obima potrošnje, plastični materijali se dele na:

1. *Visokotonažne plastične materijale*: polietilen niske gustine (PE-LD), polietilen visoke gustine (PE-HD), polipropilen (PP), poli(vinil-hlorid) - (PVC), polistiren (PS), i njihovi kopolimeri.
2. *Niskotonažne plastične materijale* – proizvode se u znatno manjim količinama, i tu spadaju akrilatni polimeri, polikarbonati, poliamidi, itd., kao i **konstrukcione (inženjerske) plastične materijale, koje mogu biti standardne i visokovredne konstrukcione plastične materijale.**



slika 1. Podela plastičnih masa na standardne, konstrukcione i visokovredne

Konstruktivni plastični materijali su ona vrsta termoplasta koji zadržavaju dimenzionu stabilnost i bitna svojstva iznad 100 °C i ispod 0 °C. Oni se po svojim svojstvima približavaju ili su uporedivi sa tradicionalnim inženjerskim materijalima kao što su drvo, metal, staklo i keramika.

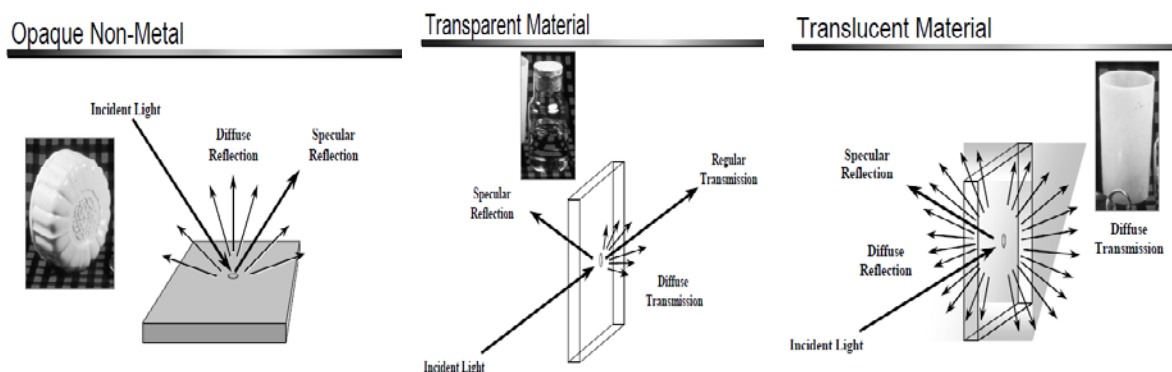
Konstruktivni (inženjerski) termoplasti predstavljaju značajan segment u grupaciji plastičnih materijala. Za razliku od visokotonažnih polimera, pored znatno različitih svojstava i primena, odlikuje ih znatno manja proizvedena količina, ali balansiran rast sa većim prosečnim godišnjim stopama rasta, uz znatno više prodajne cene. Globalna potrošnja konstruktivnih termoplasta je oko 8 miliona tona godišnje.

Plastični materijali su svestrani. Gotovo za svaku primenu može da se pronade pogodan plastični materijal, uključujući i one primene gde se koriste tradicionalni materijali. Fizička svojstva plastičnih materijala omogućuju projektantima visok stepen slobode pri dizajniranju novih oblika. Plastični materijali su dugotrajni, i lako se održavaju. Imaju daleko veći vek trajanja nego drugi organski materijali, uz to ne podležu koroziji, otporni su na vodu i vremenske uslove. Plastični materijali mogu biti strukturno obojene ili se prevlačiti bojama.

1.3. Optička svojstva plastičnih materijala

Optička svojstva plastičnih materijala su posledica interakcije polimera sa elektromagnetnim poljem svetlosti koje na njega pada. Optička svojstva plastičnih materijala značajna za primenu u električnom osvetljenju su: indeks prelamanja, sjaj, transpretnost, mutoća, boja i ugao difuzije.

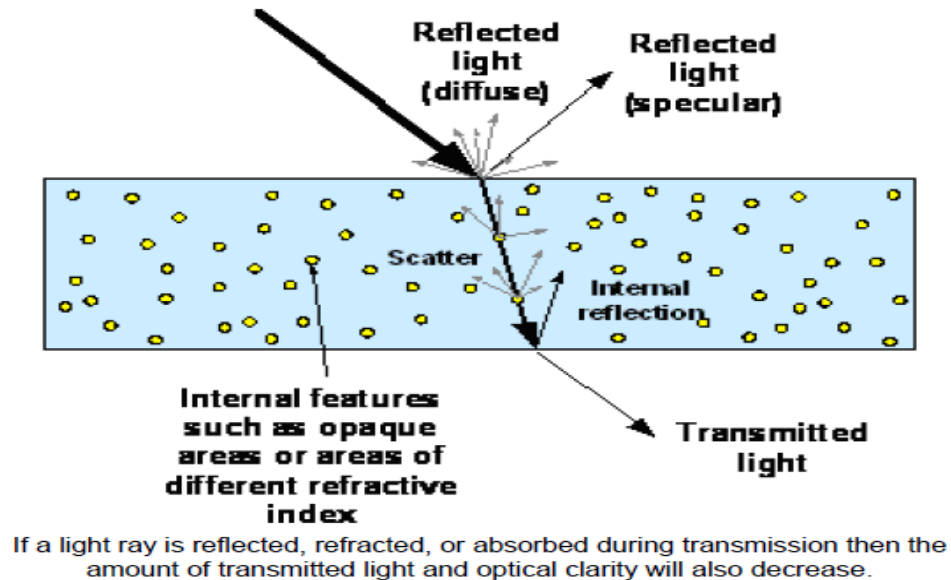
Svetlosna propustljivost (transpretnost materijala) predstavlja odnos inteziteta propuštenog zraka i upadnog zraka i ukazuje koliki je gubitak inteziteta svetlosti usled refleksije, apsorpcije i rasipanja. Svetlosna transmisija značajno zavisi od vrste plastičnog materijala, debljine uzorka i njegove čistoće. Plastični materijali mogu biti: transpretni (providni, optička svojstva slična staklu), translucetni (prozračni, propuštaju određeni deo svetlosti, ali su slike zamućene i izvan fokusa), semi – opalni (poluprozračni, dozvoljavaju da svetlost prodje kroz njih, ali se stvaraju senke i zamućne linije) i opalni (neprovidni, ne dozvoljavaju da svetlost prodje kroz njih) (slika 2). Komercijalni termin za semi-opalne difuzore u električnom osvetljenju je opalni difuzor. Standard za određivanje svetlosne transmisije je ASTM D 1003.



slika 2. Svetlosna propustljivost plastičnih materijala

Mutnoća je definisana kao procenat propuštenog zraka koji ne odstupa od upadnog zraka više od $2,5^\circ$. Odredjivanje ovog svojstva je takodje definisano standardom ASTM D1003. Mutnoća je mera čistoće plastičnih materijala.

Kod uzoraka plastičnih materijala npr. semi-opalnih difuzora koji su punjeni pigmentima u boji i aditivima ili su delimično kristalne strukture (prisustvo sferulita) dolazi do toga da jedan deo svetlosti koja prodire u masu uzorka polimera biva reflektovan u poluprostor upadne svetlosti. Ova pojava je naručito izražena kada su navedene čestice reda veličine talasne dužine upadne svetlosti λ . (slika 3.)

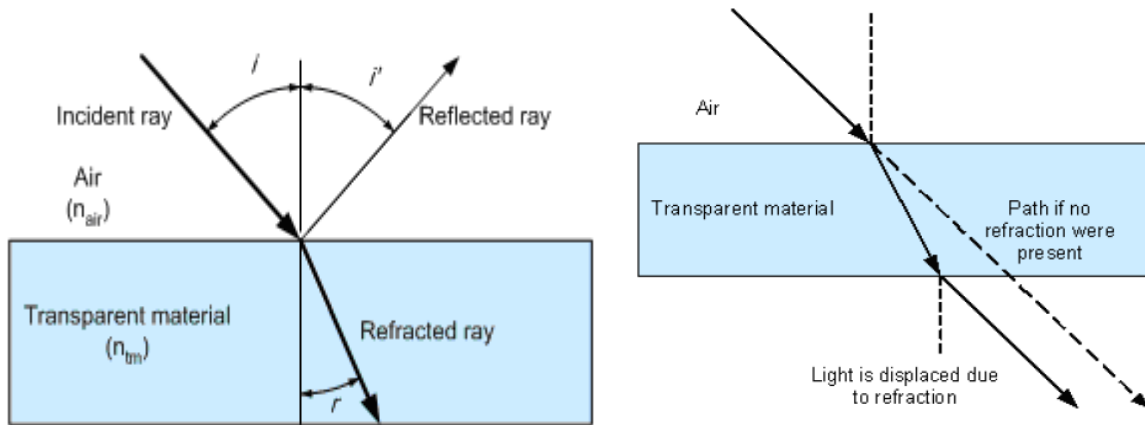


slika 3. Šematski prikaz dela svetlosti u masu uzorka

Ta difuzna svetlost izaziva takozvanu zapreminsku mutnoću, koja se superponira sa površinskom mutnoćom. Količina reemitovane svetlosti zavisi od veličine čestica i razlike njihovog indeksa prelamanja od indeksa prelamanja čistog polimera i najveća je u pravcu normalnom na površinu.

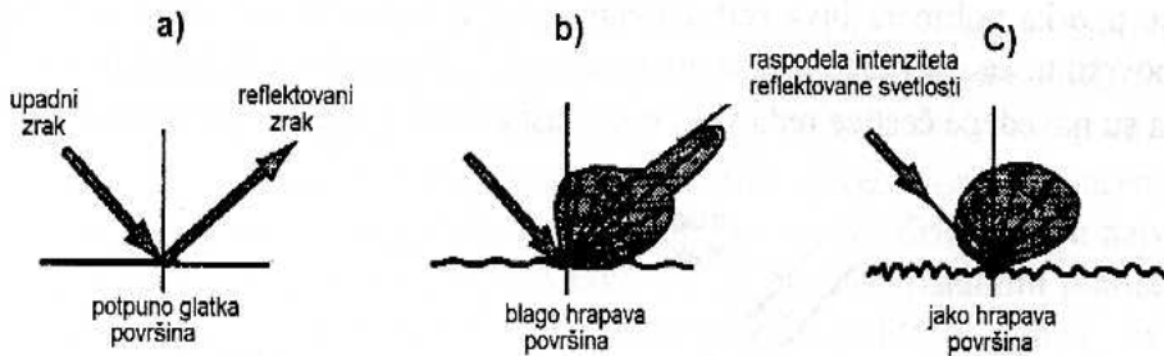
Indeksi prelamanja je definisan odnosom brzina prostiranja svetlosti u vakumu i ispitivanom plastičnom materijalu (slika 4). Indeksi prelamanja za sve poznate plastične materijale su već odredjeni i mogu se naći u odgovarajućim priručnicima. Poznavanjem indeksa prelamanja i disperezije svetlosti nakon prolaska kroz polimer, može se oceniti primenljivost polimera u optici. Za odredjivanje indeksa prelamanja koristi se Abeov refraktometar sa prizmama prema standardu ASTM D 542.

Indeks prelamanja za najveći broj providnih plastičnih materijala ima vrednost između 1,33 i 1,73. Može se izračunati da maksimalne vrednosti za transparentnost mogu biti 98 % (1,33) i 92,8 % (1,73). To praktično znači da se kod polimera na granici faza polimer/vazduh reflektuje između 2 i 7,2 % upadne svetlosti. Navedene idealne vrednosti transparentnosti praktično se ne ostvaruju zato što jedan deo svetlosti uvek biva apsorbovan i rasut uzorkom polimera.



slika 4. Indeks prelamanja

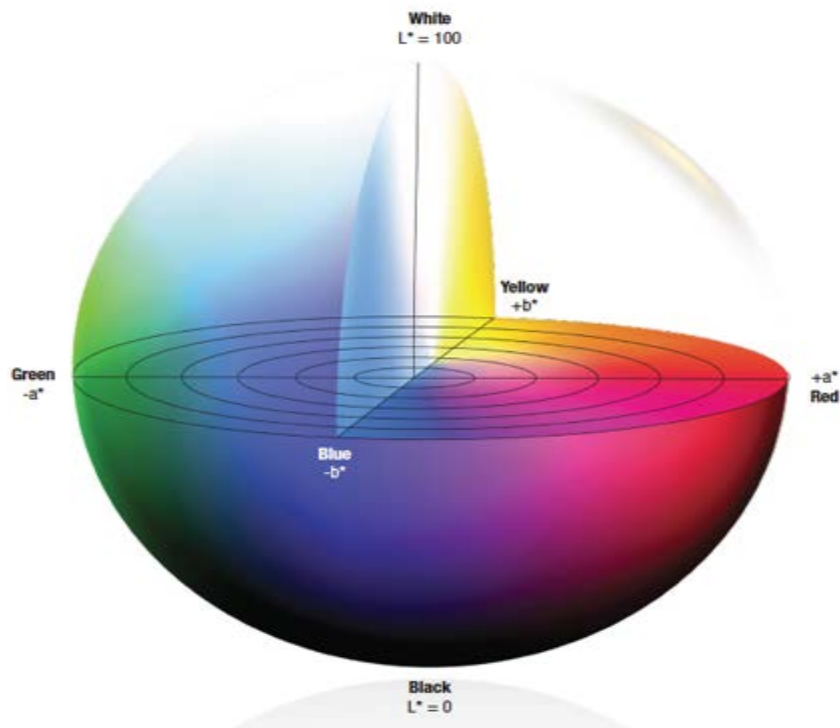
Sjaj (*refleksija*) površine jednog uzorka plastičnog materijala se karakteriše njegovom sposobnošću da reflektuje svetlost koja dospe na njegovu površinu. Na slici 5. je šematski prikazano na koji način stanje površine uzorka plastičnog materijala utiče na intezitet i raspodelu reflektovane svetlosti. Standard kojim se određuje sjajnost površine je ASTM D 523 – 80



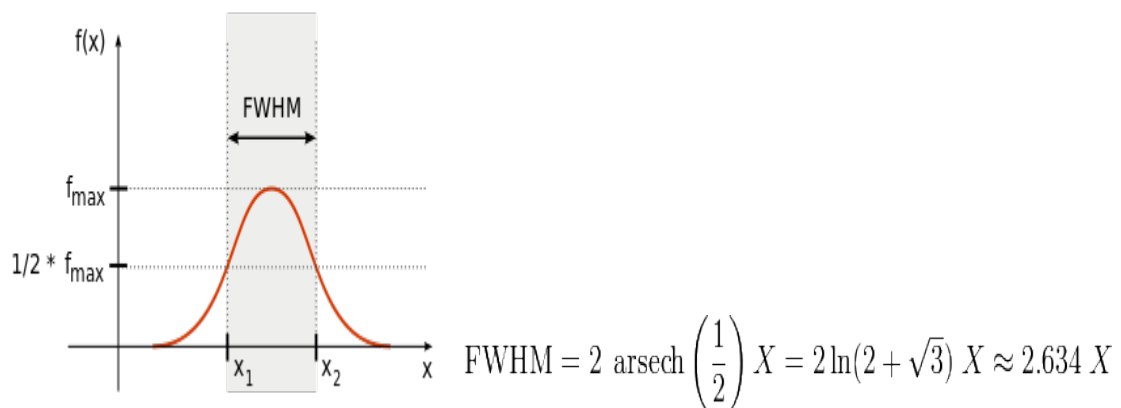
slika 5. Uticaj stepena hrapavosti površine uzorka jednog pl.materijala na način reflektovanje upadnog zraka

Boja - predstavlja rezultat interakcije svetlosnog izvora, objekta i posmatrača (sistema vida). Može biti izmerena spektrofotometrom i definsana je sa tri vrednosti L,a i b.

Representation of CIE L*a*b* Color Space



Ugao difuzije (*FWHM*) je vrednost na osnovu koje se određuju karakteristike difuzora. Širina snopa je data kao širina ugla, a ne kao fizička veličina snopa na određenoj dužini. Ugao širine snopa je specificiran merenjem ugaonog razdvajanja izmedjum dva rastojanja x_1 i x_2 na kojima je intezitet pao za pola vrednosti maximum. Ova vrednost se zove polovina širine na polovini maximum divergencije ili FWHM (Full width at half maximum) (slika 6.) Merenja za određivanje ugla difuzije se vrše u laboratorijskim uslovima i vrednosti su date u tehničkim karakteristikama pl.materijala koji se koriste kao difuzori.



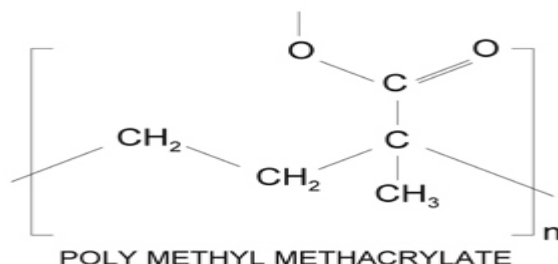
slika 6. Gausijan funkcija

2. OPŠTE O POLI(METIL METAKRILATU) I POLIKARBONATU

2.1. Poli (metil metakrilat) ili PMMA

PMMA su poliestri metakrilatne kiseline ($\text{CH}_2=\text{C}[\text{CH}_3]\text{CO}_2\text{H}$) i pripadaju grupi akrilata. PMMA je otkriven rane 1930 godine od strane britanskih naučnika Rowland Hill i John Crawford na Imperial Chemical Industries (ICI) u Engleskoj.

Opšta formula PMMA je:

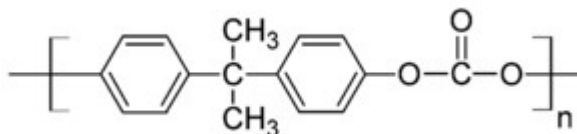


PMMA su prozirni amorfni polimeri. Njihova gustina je $1,18 \text{ g/cm}^3$ i imaju mali stepen apsorbcije vode. Indeks prelamanja se kreće od 1.49 do 1.51 zavisno od tipa PMMA. Providni (transparentni) liveni PMMA sa indeksom prelamanja od 1,492 trebalo bi teorijski da propusti 96,1% upadne svetlosti. Za svetlost talasnih dužina od 430 do 1110 nm PMMA ostvaruje najveću propustljivost svetlosti u odnosu na sve plastične materijale i za oko 1% veću od standardnog stakla. Standardno staklo ima refleksiju oko 4%. Proizvodi napravljeni od PMMA se odlikuju visokom mehaničkom jačinom i dobrom dimenzionom stabilnošću. Termička stabilnost je oko 80°C , mada tempraturno stabilizovani tipovi PMMA mogu izdržati temprature i do 100°C . Postojan je i na niskim tempraturama do -70°C . Otpornost na promenu temprature je dobra.

Pošto PMMA ima amorfnu strukturu, na temperaturi od 150°C - 160°C postaje gumast, pa ga je lako oblikovati. Proizvodi od PMMA se teško pale i sporo gore. PMMA je otporan na većinu alifatičnih ugljovodnika, ketona, estar, alkohola, itd. Otporan je na atmosferilije i UV zračenje. Ovaj termoplastični materijal se prodaje pod sledećim komercijalnim nazivima: Plexiglas, Perspex, Plazcryl, Acrylite, Acryplast, Altuglas, i Lucite, a vrlo često se upotrebljava i izraz akrilati.

2.2. Polikarbonati (PC)

PC su poliestri ugljene kisleine sa alifatičnim ili aromatični dihiroksi jedinjenjima, opšte formule:



Prvi put su predstavljani 1958 godine od strane firme Bayer AG u Nemačkoj i 1960 godine od strane firme General Electric Company u SAD.

PC su prozirni, uglavnom amorfni termoplasti, odličnih mehaničkih, termičkih, električnih i optičkih svojstva. Oni su jedni od najžilavijih i najtrajnijih plastičnih masa, odlikuju se i visokim modulom elastičnosti. Odlikuje ih dobra krutost i odlična otpornost na puzanje. PC su samogasivi. Otporni su na dejstvo neorganskih kiselina, rastvora deterdženata i alifatičnih ugljovodonika, alkohola, organskih kiselina i masti. Izlaganje UV zracima će obezbojiti površinu polikarbonata, pa će difuzor požuteti. Kako bi se redukovao ovaj nedostatak, razvijen je novi tehnološki proces kojim se koncentrišu UV zruci na površini PC. Elektroizolaciona svojstva su generalno dobra i ne zavise od uticaj vlage. Komercijalni naziv polikarbonata su: Lexan, Makrolon, Xantar, Calibre, itd.

3. UPOTREBA I OGRANIČENJE PC I PMMA KAO OPTIČKOG PRIBORA

PC i PMMA su dostigli veliku upotrebu u dizajnu i proizvodnji optičkog pribora za električno osvetljenje. Difuzori od PMMA se dobijaju tehnologijom livenja, ekstrudiranja i brizganja, a difuzori od PC se dobijaju tehnologijom ekstrudiranja i brizganja. Samim tim se vrlo često se dešava da se misli da su PMMA i PC isti materijali, a ustvari su vrlo različiti. Dva kritična svojstva otpornost na udar i optička stabilnost po kojoj se razlikuju dva materijala prikazaćemo najbolje na ispitivanjima koja karakterišu ova dva svojstva.

3.1. Otpornost na udar

Postoje dve tipa ispitivanja koja karakterišu žilavosti materijala: 1. Udarne žilavost po Izodu sa urezom i 2. Gardner test (falling dart impact). Rezultati ovih testiranja se izražavaju u kJ/m^2 .

Žilavost se može definisati kao energija koju je potrebno utrošiti da bi se izazvalo razaranje strukture materijala, odnosno da bi se ostvario lom. Ako je taj energetski iznos manji, materijal je krtiji (veća krtost), a ako je veći, materijal je žilaviji (veća žilavost). To je mera materijala prema krtom lomu. Rezultati test po Izodu simuliruju napon pri smicanju dok Gardner test predstavlja otpornost na direktan prodorni udar.

Upoređivanjem dva tipa PMMA i PC dobili smo sledeće rezultate:

	Polikarbonat	PMMA otporan na udar	PMMA
Izodov test (kJ/m^2)	65	6.5	1.6
Gardnerov test (kJ/m^2)	263	17	2.1

Prilikom dizajniranja difuzora rezultati Gardnerovog testa su vrlo bitni jer ukazuju na mogućnost lomljenja difuzora usled vandalizma. Postoje mnogi faktori koji utiču na mehaničku čvrstoću materijala, jedan od njih je i promena temperature. PMMA otporan na udar ukazuje na korelaciju između temperature i čvrstoće. Vrednost dobijena Gardnerovim testom : 17 kJ/m^2 na 15°C će se smanjiti na 8 kJ/m^2 na -9°C , i obrnuto povećanjem temperature povećaće se i vrednost. Polikarbonati takodje gube na čvrstini na niskim temperaturama u opsegu od -18°C do 15°C , ali oni samo gube 15% na svojoj čvrstini za razliku od PMMA koji ima gubitak čvrstine čak do 50%. Polikarbonat pokazuje toleranciju na niske temperature.

Drugi faktor povezan sa otpornošću na udar je i dizajn samog difuzor. Kada su u pitanju prizmatični difuzori razlika u jačini je da li je udar izvršen sa one strane gde se nalaze prizme ili ne. Prizmatični difuzori su manje otporni na udar sa glatke strane. Takođe otpornost na udar zavisi od debljine, dimenzija i oblika difuzora.

Polikarbonat pokazuje neke kritične tačke slabljenja kada su u pitanju zakrivljene površine. Oštri uglovi i radijusi su visoke tačke naprezanja. Dugački radijusi imaju manje tačke naprezanja, ali kao takvi dovode do smanjenja svetlosnog fluksa.

Kada je u pitanju izbor optičkog pribora za svetiljke, moraju se razmotriti sledeći faktori: čvrstina materijala, okolina i dizajn svetiljke? Da li će svetiljka biti izložena stalno ili povremno mehaničkim opterećenjima? Kojim temperaturama će biti izložena u širokom opsegu? U sledećoj tabeli X označava odgovarajući izbor.

	<i>POLIKARBONAT</i>	<i>POLIMETILMETAKRILAT</i>
Mehanička opterećenja		
velika	x	
mala	x	x
Temperatura okoline		
Hladno	x	
Umereno	x	x
Toplo	x	x
Okruženje		
Čisto	x	x
Prljavo		

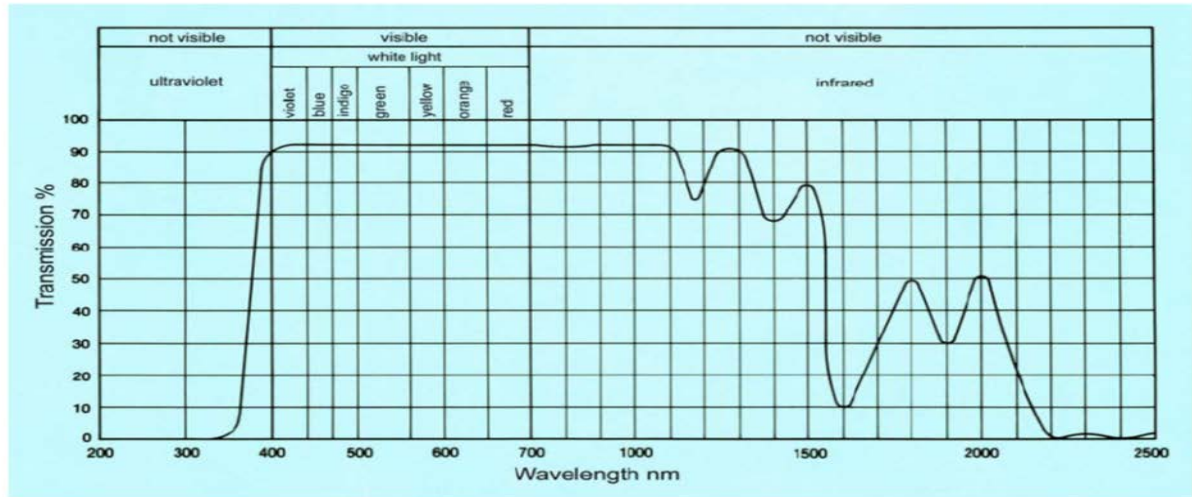
3.2. Optičke performanse PMMA i PC

Oba materijal su odličan izbor za transparentne difuzore jer imaju visoke svetlosne propustljivosti i malo zamućenje.

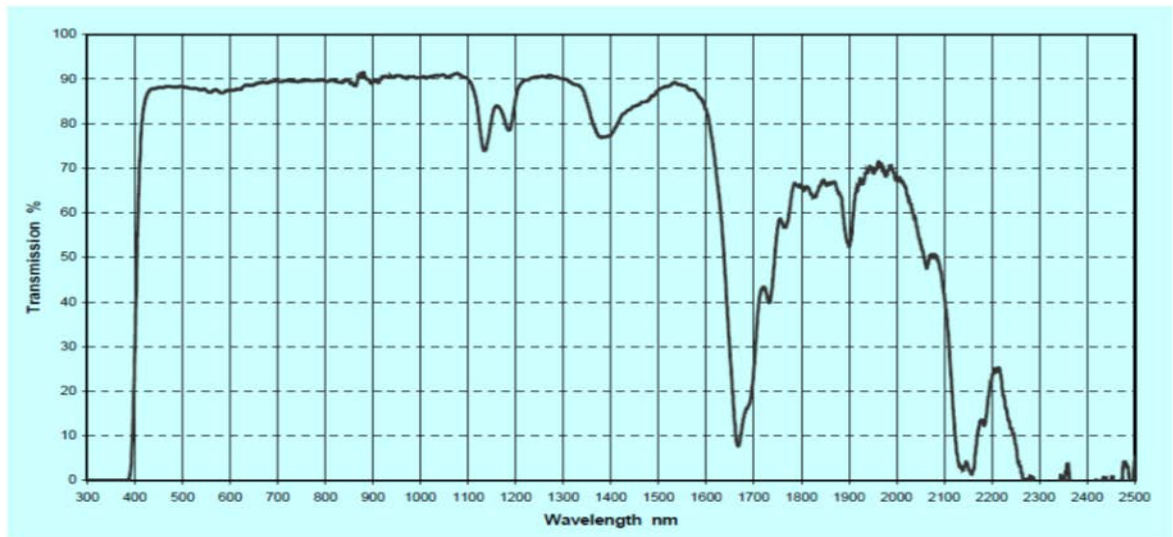
	Polikarbonat	PMMA otporan na udar	PMMA
Svetlosna propustljivost :	86-89%	89%	92%
Mutnoća:	1-3%	4%	2%
Indeks refleksije:	1.586	1.49	1.49

Od navedena tri materijala standardni PMMA je najbolji optički medijum. Kako god, razmatrajući otpornost na udar, PC i PMMA otporan na udar je najbolji izbor za spoljašnje električno osvetljenje. Kritična razlika između ova dva materijala pri izboru je namena koja zavisi od uticaja spoljašnje okoline (UV zračenje ili temperatura).

P.M.M.A. LIGHT TRANSMISSION

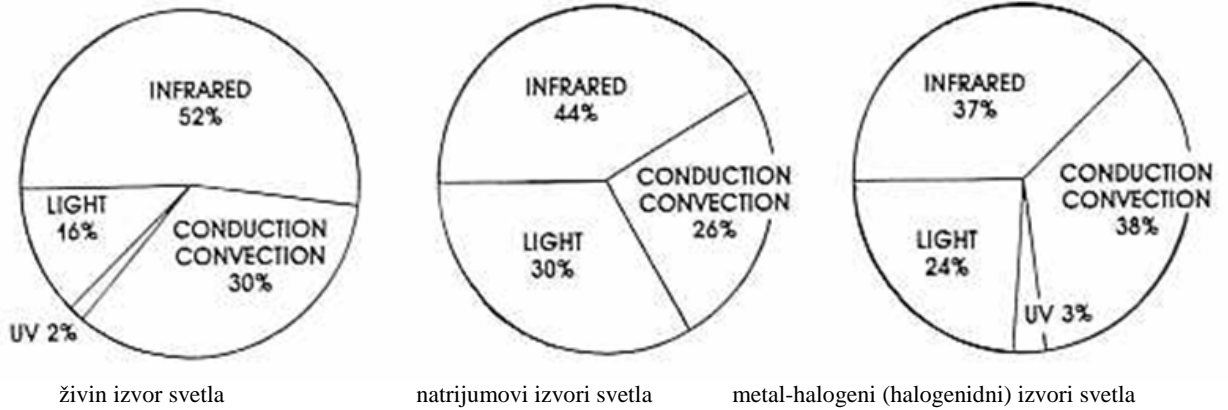


POLYCARBONATE LIGHT TRANSMISSION



U svetlosnim aplikacijama UV zračenje je štetno za plastične materijale – većina plastičnih materijala žuti pod dejstvom UV zraka – ali postoji mnogo načina da se to kontroliše. PC ploče bez dodatka UV stabilizatora usled dejstva sunčeve svetlosti ili izvori svetla sa električnim pražnjenjem visokog pritiska brzo požute. PMMA otporan na udar takodje žuti, ali ne tom brzinom. Dok standradni PMMA ne žuti pod dejstvom UV zraka. Dodatkom UV stabilizatora PC značajno se smanjuje žućenje.

Na stranu prirodnom svetlu, odabir izvora svetla takodje utiče na proces žućenja. Na slici je prikazana tipična emisija energije tri glavne vrste izvora svetla sa električnim pražnjenjem sa visokim pritiskom.



Selekcijom odgovarajućeg izvora svetla znaćemo tačno koliko UV zračenja će delovati na difuzor. Razlika između svojstva PC sa UV stabilizatorom, osnovnih svojstava PMMA i odgovarajući odabir izvora svetla, su glavni faktori koji utiču na vremensko trajanje difuzora. Ali jedan od najbitnijih faktora što se oba materijala tiče je povišenje temperature u svetiljci. Kao što vidimo na slici, svi izvori svetla odaju određnu količinu toplote.

Sledeći dijagrami jasno ilustruju korelaciji između zagrevanja i žućenja termoplasta izloženih izvorima svetlosti sa električnim pražnjenjem visokog pritiska. Uočava se daje standardni PMMA najotporniji na UV zračenje.

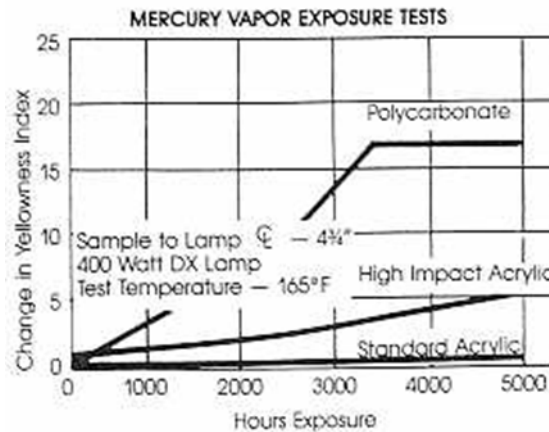


FIGURE 4⁽¹²⁾

Sa druge strane, na zagrevanje difuzora deluje i ambijentalna temperatura, zaptivenost svetiljke, razdaljina između difuzora i izvora svetla i oblik difuzora.

Da li efekat žućenja predstavlja samo estetski nedostatak u svetilkama? Čudno, ali podaci dobijeni testovima se razlikuju. Standardni test na udar pokazuje da PC ne gubi čvrstinu prilikom žućenja, jedino mu se smanjuje svetlosna propustljivost za oko 5%.

Sa druge strane žućenje utiče na degradaciju samog molekula. Temperatura i UV zraci teže da prekinu veze između molekula u polimernom lancu, samim tim materijal u nekim tačkama gubi na čvrstini. Ukoliko su u pitanju termooblikovani difuzori žućenjem mogu izgubiti željenu otpornost na udar.

Sa te strane, mora se posmatrati i temperatura difuzora unutar svetiljke. Radna temperatura PC je oko 90°C. Radna temperatura je maksimalna temperatura na kojoj materijal neće početi da gubi svoja svojstva. Dok je sa druge strane radna temperatura PMMA u opsegu od 65°C do 70°C.

Stepen promene na osnovu kojih se menja dimenzija plastičnih materijala je koeficijent linearnog termičkog širenja (CLTE), koji se odražava kroz promenu dimenzija usled promene temperature. Standardni test za merenje ovog svojstva materijala je na temperature -30°C do +30°, zato što je ovaj temperaturni opseg konstantan za većinu materijala. U tehničkoj dokumentaciji svakog plastičnog materijala se navodi na kojoj su temperaturi izvršena ispitivanja. Većina plastičnih materijala se širi 3 do 8 puta više nego staklo ili metali, zato je prilikom projektovanja potrebno uračunati dodatno linearno širenje PC i PMMA ploča. Za većinu amorfnih materijala (PC, PMMA) CTLE naginje stvarnoj vrednosti navedenoj u tehničkoj dokumentaciji.

UTICAJ TEMPERATURE NA PROMENU DUŽINE

EKSTRUDIRANE PMMA PLOČE DUŽINE 1000 mm

T (°C)	10	20	30	40	50	60	70
ΔL (mm)	2.34	4.68	7.02	9.36	11.7	14.04	16.40

LIVENE PMMA PLOČE DUŽINE 1000 mm

T (°C)	10	20	30	40	50	60	70
ΔL (mm)	0.81	1.62	2.43	3.24	4.05	4.86	5.67

EKSTRUDIRANE PC PLOČE DUŽINE 1000 mm

T (°C)	10	20	30	40	50	60	70
ΔL (mm)	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.9

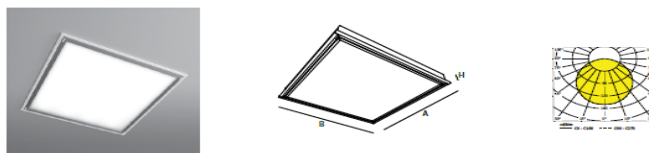
Ukoliko kućište svetiljke nema dobro hladjenje, postoje temperaturna ograničenja za upotrebu izvora svetla koja odaju toplotu. Difuzori za svetiljke malih dimenzije prvo moraju da se testiraju da bi se za određenu snagu i vrstu izvora svetlosti izabrao odgovarajući materijal koji će bitistalan u toku radnog veka svetiljke.

PMMA ploče absorbiraju određeni deo vode na visokoj relativnoj vlažnosti vazduha utiču na širenje. Na relativnoj vlažnosti vazduha od 100 %, 80% i 60%, dimenzije će se retrospektivno promeniti 0,5%, 0,3% i 0,2%. Temperatura i/ili vlažnosti ukoliko deluje na samoj jednoj strani može doći do krivljenja tamo gde je najveći uticaj.

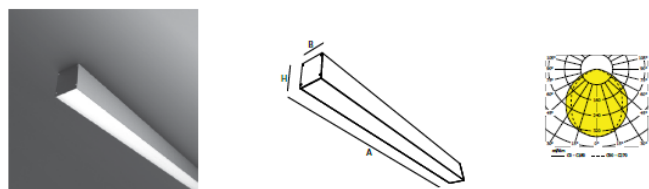
Mora se obrati pažnje i na otpornost PMMA i PC na hemikalije. Ukoliko se difuzori koriste u sredima gde ima hemijskih isparenja na koja navedeni materijali nisu otporni, može doći do oštećenja njihove strukture

5. PRIMERI UPOTREBE PMMA I PC KAO OPTIČKOG PRIBORA U ELEKTRIČNOM OSVETLJENJU

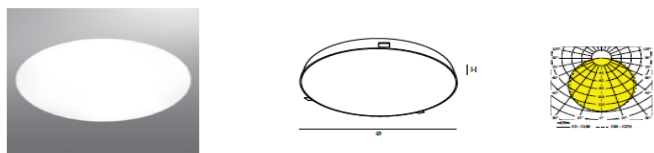
1. ARCO DO – ugradna svetiljka za direktno osvetljenje, izvor svetla: T16 fluorescentna, translucetni liveni PMMA difuzor



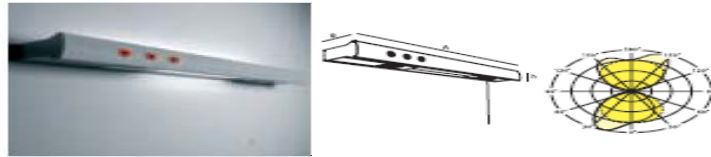
2. PRIMA M DO – nadgradna linijska svetiljka za direktno osvetljenje, visoke energetske efikasnosti, za kvalitetno osvetljenje poslovnih prostora, izvor svetla: T16 fluorescent, translucetni ekstrudirani PMMA difuzor



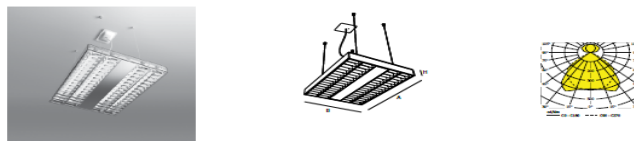
3. LUNA – ugradna svetiljka za direktno osvetljenje prostora opšte namene, izvor svetla: T16 fluorescentna, T16 – R fluorescentna, TC – DEL compact fluorescentna, semi-opalni ekstrudirani PC



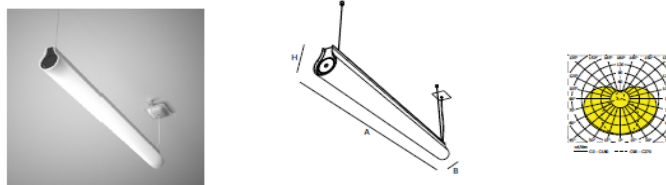
4. MEDICO - bolnička svetiljka i razvodna jedinica koja omogućava direktno i indirektno osvetljenje bolničkih soba, kao i razvod strujne i komunikacione instalacije i instalacije medicinskih gasova, ekstrudirani orebreni PC difuzor koji reguliše blještanje



5. ARCOBALENO – viseća svetiljka za direktno osvetljenje, visoke energetske efikasnosti, za kvalitetno osvetljenje poslovnih prostora, izvor svetla: T16 fluorescentna, kućište izradjeno od PMMA u boji



5. LUCIA/S – viseća svetiljka za opšte osvetljenje, izvor svetla: T16 fluorescentna, ekstrudirani semi-opalni PMMA difuzor oblikovan da obezbedi maksimalnu površinu za emisiju svetla i u potpunosti sakrije kućište od ekstrudiranog aluminijuma. Bočni poklopci su izradjeni od polikarbonata.



6. TRENDVI, ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ PMMA I PC KAO OPTIČKOG PRIBORA

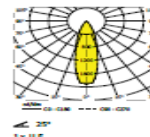
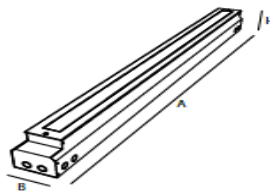
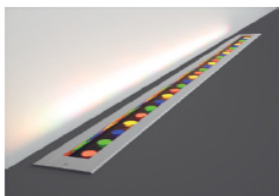
Nijedan materijal ne može da reši sve probleme optičkog dizajna. Karakteristike koje služe za poredjenje uključuju optičke karakteristike materijala, dimenziju svetiljke, preciznu proizvodnju optičkih komponenata i uticaj okoline. Neki proizvođači svetiljke isključivo podržavaju upotrebu stakla u optici, dok drugi više preferiraju samo termoplastičnu optiku, a neki koriste i jedne i druge materijali za izradu optičkog pribora.

Razvoj termoplastičnog optičkog pribora nastavlja da se širi u mnogim granama industrije. Proizvođači optičkih plastičnih materijala imaju značajan napredak u poslednjoj dekadi. Ovo je vezano sa inovacijama u tehnologijama prerade: izrada kalupa, dizajn mašine, novi materijali i presvlačenje materijala. Sa odgovarajućim dizajnom i izradom, termoplastika može da ponudi nekoliko prednosti u optičkim sistemima. Neke od prednosti su: mala cena koštanja optičkih sistema, asferične površine, integrisane komponente i kompleksne multifunkcionalne površine (LED SOČIVA). Uspešna implementacija plastičnog optičkog pribora je inženjerski problem koji je integracija opto-mehaničkog procesnog dizajna, konstrukcije alata, fabričkih komponenata i debljine premaza plastifikacije na površinama svetiljke.

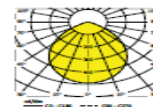
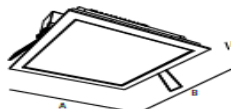
Metod prema industrijskom standardu za merenje svetlosne propustljivosti (ASTM D-1003) difuznih materijala je neadekvatan da okarakteriše inženjerske performanse difuzora. Zbog jake interakcije između optičkih komponenata, efikasnost svetiljke nije samo prosto sabiranje efikasnosti komponenta svetiljke. Adekvatno inženjersko merenje efikasnosti dve svetiljke sa različitim difuzorima demonstriraće uticaj difuzora na efikasnost svetiljke. Pa se samim tim razvoj PMMA i PC difuzora je baziran na dobijanju visokih performansi difuzora uz pomoću kontrolisane raspodele belih pigmenta u difuzoru (ploča ili folija) ili teksturom površine kod transparentnih difuzora (ploča ili folija). Ovakvim difuzorima se postižu: veća svetlosna propustljivost (samim tim veća efikasnost svetiljke), precizno kontrolisanje svetlosnog snopa, poboljšanje mehaničkih svojstva difuzora, itd.

6.1. Primeri svetiljki koji koriste difuzore novije generacije:

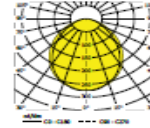
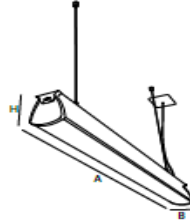
ANCORA – svetiljka za spoljnu ugradnju u zid ili tlo, izvori svetla: T16 fluorescent ili LED, ekstrudirani transparentni PC odlikuje se velikom udarnom otpornošću i čvrstinom, otporan na grebanje, odlične otpornosti na atmosferilije, pet godina garancije da neće požuteti i da mu se neće smanjiti svetlosna propustljivost



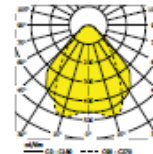
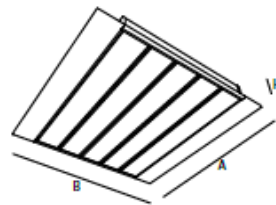
SLIM GALA DO ili CDP – ugradna svetiljka za direktno osvetljenje, izvori svetla: TC-DEL kompakt fluorescent ili LED, translucetni PMMA difuzor sa regulisanom raspodelom pigmenta u difuzoru, LOR 63 % ili mikroprizmatični transparentni PMMA difuzor



PINA FO DC/S - nadgradna svetiljka za direktno osvetljenje, za kvalitetno osvetljavanje poslovnih, a posebno školskih prostora, izvor svetla: T16 fluorescentna, ekstrudirani transparentni PMMA difuzor u kombinaciji sa translucetnom folijom strogo regulisane difuzije



ARCO CDP – ugradna svetiljka za direktno osvetljenje, visoke energetske efikasnosti, za kvalitetno osvetljenje poslovnih prostora, izvor svetla: T16 fluorescentna, mikroprizmatični transparentni PMMA difuzor koji reguliše blještanje



7. ZAKLJUČAK

Projektovanje svake svetiljke gde se koriste termoplastični difuzori mora biti pažljivo razmotreno. Odabir materijala optičkog pribora je determinisan prema konstrukciji i nameni projektovane svetiljke, ali prema sledećim faktorima: otpornost na udar, uticaj okoline: temperatura, otpornost na hemikalije, vlaga, UV zračenje i izbor izvora svetla.

LITERATURA:

1. Prof.dr. Miomir B.Kostić, Vodič kroz svet tehnike osvetljenja, Minel-Shréder, Beograd, 2000.
2. S.Jovanović i K. Jeremić, Karakterisanje polimera, Tehnološko metalurški fakultet, Beograd, 2007.
3. V.Bogdanović et al, Konstrukcioni plastični materijali, Skripta, Beogradska politehnika, Beograd, 2005.
4. R.Ganslandt, Harald Hofmann, Handbook of Lighting Design, ERCO Edition, Germany, 1992.
5. Stefan Bäumer et al, Handbook of Plastic Optics, WILEY-VCH Verlag GmbH&Co.KgaA, Weinheim, 2005.
6. Keith Cousins, Polymers for electronic components, Rapra Technology Limited, Shawbury, 2001.
7. Müge Öztürk, Assessment of lighting performance of PVC and PMMA materials in office spaces in terms of visual comfort, Izmir Institute of Technology, 2006.
8. <http://www.plexiglas.net/product/plexiglas/en/Pages/default.aspx>
9. <http://www.gammacril.com/>
10. <http://www.luminitco.com/>
11. <http://www.sabic.com/corporate/en/default.aspx>