

Posvećeno 80. obljetnici života prof. dr. sc. Mladena Bravara
 Dedicated to Prof. dr. sc. Mladen Bravar on his 80th birthday

Vesna Škunca, Želimir Jelčić*
 Tvornica polistirena DOKI, DIOKI d.d., Zagreb
 *PLIVA – Istraživanje i razvoj d.o.o., Zagreb

Optičke karakteristike polistirena

ISSN: 0351-1871

UDK: 678.746

Stručni rad / Professional paper

Primljeno / Received: 11. 12. 2006.

Prihvaćeno / Accepted: 12. 2. 2007.

Sažetak

Prozirnost i mutnoća polistirena opće namjene uobičajeno se određuju vizualno. Budući da je oko kao perceptor subjektivni promatrač, moguće su pogreške pri prosudbi prozirnosti, mutnoće i nijansiranosti *neobojenog* polistirena. Spektrofotometrijska mjerenja u vidljivom dijelu spektra od 400 do 700 nm uzoraka otpresaka polistirena određuju egzaktno prozirnost i mutnoću. Prozirnost kao optička kvaliteta neobojenog i obojenog polistirena određuje se spektrofotometrijskim mjerenjima na dva načina. Jedna mogućnost je mjerenje transmisije prozirnih ispitaka. Druga je mogućnost mjerenje remisije (refleksije) prozirnih ispitaka s crnim i bijelim normiranim ispitcima kao podlogom. Osnovna karakteristika transparentnih ispitaka je da propuštaju svjetlost. Ispitci mogu biti čisti, tj. ne raspršuju svjetlost ili je raspršuju vrlo malo, te mutni (transluentni), koji raspršuju svjetlost. Na spektrofotometru *Macbeth 2020+* s difuznom mjernom geometrijom 8°, s uključenom UV komponentom (UV filtar) i komponentom sjaja (*specular component included*) obavljena su transmissijska i remisijska mjerenja. Izabrani ispitci pločica debljine $2,5 \pm 5$ mm bili su različitih karakteristika prozirnosti i mutnoće. Kod PS-GP tipa *678E* mjereni su: (1) prozirni ispitci, (2) ispitci na donjoj granici specifikacije i (3) ispitak izvan specifikacije. Kod polistirena tipa *680L* mjereni su: (1) prozirni, (2) mutni i (3) vrlo mutni ispitci. Identifikacija prozirnosti i mutnoće ispitaka određena je transmissijskim mjerenjima s postotcima transmissijske svjetlosti i *K/S* vrijednostima te potvrđena remisijskim mjerenjima, i to vrijednostima konstante apsorpcije *K* i konstante raspršivanja *S*, postotkom opaciteta i, konačno, ljudskim okom.

KLJUČNE RIJEČI:

mutnoća
 polistiren
 prozirnost

KEYWORDS:

polystyrene
 translucency
 transparency

Optical properties of polystyrene

Summary

Transparency and translucency of general purpose polystyrene are usually determined visually. Since eyes as perceivers are subjective observers, errors are possible in assessment of clearness, haze and shade of *uncoloured* polystyrene. However, clearness and haze can be exactly determined by spectrophotometric measurements made in the visible part of the spectrum from 400 to 700 nm on the sam-

ples of polystyrene moulded parts. Thus, clearness as the optical property of both uncoloured and coloured polystyrene is determined by spectrophotometric measurements performed in two possible ways. One way is to measure the transmission of clear specimens, and the other is to measure their remission (reflexion) using black and white standard specimens as the base. The basic characteristic of transparent specimens is that they are pervious to light. Specimens can be either clean - which means that they do not disperse light at all or that they do so only to a very limited extent - or hazy (translucent), i.e. they disperse light. Using spectrophotometer *Macbeth 2020+*, with diffusion measuring geometry 8°, UV filter and specular component included, the transmission and remission measurements were performed. The specimens were plates of $2,5 \pm 5$ mm in thickness having different clearness and haze properties. In the case of PS-GP of the *678E* type measurements were made on: (1) transparent specimens, (2) specimens at the bottom limit of specification range and (3) translucent, slightly yellow samples. In polystyrene of the *680L* type measurements were performed on: (1) transparent, (2) translucent, and (3) very translucent specimens. The identification of clearness and haze of specimens was determined by transmission measurements with percentage of transmitted light and percentage of *K/S* values. It was confirmed by remission values, specifically by quantified absorption values (absorption constant *K*) and quantified dispersion values (scatter constant *S*), percentage of opacity and finally visually.

Uvod / Introduction

Polistiren je plastomer koji se rabi kao alternativni materijal za izradbu optičkih stakala. Optička je kvaliteta proizvoda karakterizirana svojstvom lomnosti (ranije indeks loma svjetla, e. *index of refraction*), Abbeovim brojem, odnosno relativnom disperzijom i transmisijom. Na izbor *optičke* plastike za proizvod utječu, osim lomnosti, Abbeova broja i transparentnosti, mehanička i toplinska svojstva, upojnost vode i dr. Lomnost plastike ovisi o molekularnoj masi i raspodjeli molekularne mase te upojnosti vode.¹ Općenito, optičke su karakteristike plastomera odlučujuće za uspješno lasersko zavarivanje. Bojilo i ostali dodatci integrirani u plastici dovode do različitoga optičkog ponašanja, a time utječu na proces zavarivanja. Sukladno zakonima fizike, optičke karakteristike plastike mogu se predložiti transmisijom (*T*), refleksijom (*R*) i apsorpcijom (*A*) vidljivog svjetla. Iz vrijednosti transmisije i refleksije upadnog svjetla moguće je izračunati apsorpciju iz sljedećeg izraza: $A = 1 - R - T$ te je prikazati unutar trokuta.² Prozirnost (transparentnost) se određuje spektrofotometrijskim metodama, i to na dva načina, ovisno o namjeni proizvoda. Jedna je mogućnost mjerenje transmisije, a druga mjerenje remisije (refleksije) prozirnih ispitaka u vidljivom dijelu spektra. Pojam remitirane svjetlosti koristi se kod instrumenata gdje se svjetlost difuzno raspršuje unutar Ulbrichtove kugle, kao i za refleksiju svjetla s neravnih površina. Osnovna je karakteristika transparentnih tvari njihovo propuštanje svjetlosti i zato pripadaju skupini dioptrijskih sredstava. Ta sredstva mogu biti transparentna (prozirna), koja ne raspršuju svjetlost ili je raspršuju vrlo malo, te mutna (e. *haze*), koja raspršuju svjetlost.³ Osnovni se fenomen boje obojenog ili *neobojenog* tijela, u ovom slučaju prozračnog i mutnog polistire-

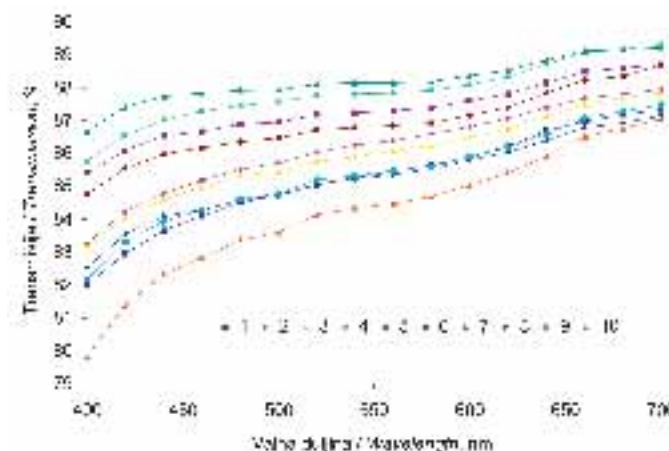
na, objašnjava apsorpcijom i raspršenjem vidljive svjetlosti, neovisno o tome prolazi li svjetlost kroz obojeno tijelo ili se od njega odbija. Kubelka-Munkova teorija ili *teorija dviju stalnica (konstanti)* kvantizira apsorpciju i raspršivanje transmitirane ili reflektirane svjetlosti za svaku valnu duljinu vidljivog spektra s dvije stalnice: K, stalnica apsorpcije, i S, stalnica raspršivanja.⁴ Najvažniji konstantan parametar pri mjerenju transmisije je debljina sloja mjerenog ispitka.³ Varijacija debljine može iznositi maksimalno $\pm 5\%$. Usto, rezultate izmjera transmissijskih ispitaka moguće je uspoređivati samo kada su ispitci mjereni istom geometrijom mjerenja.⁵ Vrijednosti raspršenja svjetlosti mutnih ispitaka određene jedino transmissijskim mjerenjima, nisu dovoljne za potpunu karakterizaciju uzoraka, već su potrebna i remisijka mjerenja.⁶

Rezultati i rasprava / Results and discussion

Na spektrofotometru *Macbeth 2020+* s difuznom mjernom geometrijom 8° , s uključenim UV filtrom te komponentom sjaja, gdje se zbraja samo 4 % sjaja od površine ispitka, obavljena su transmissijska i remisijka mjerenja prozirnog polistirena PS-GP 678E te prozirnog i mutnog PS 680L. U oba slučaja je uzorak činilo po deset ispitaka, tj. pločica debljine $2,5 \pm 5\%$ mm, različitih karakteristika prozirnosti i mutnoće.

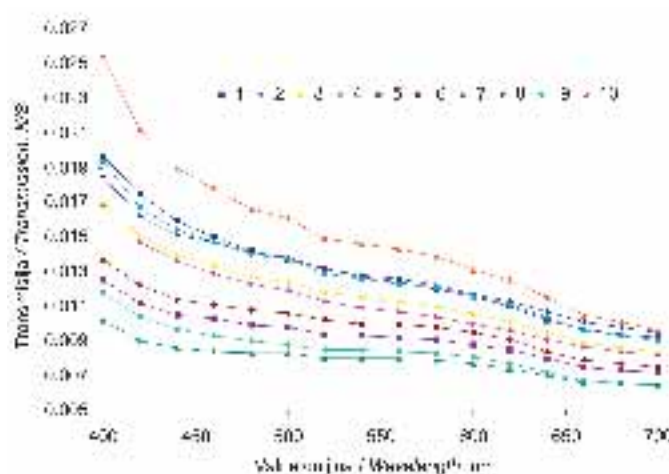
Na slici 1 prikazani su transmissijski spektri u ovisnosti o valnoj duljini u rasponu od 400 do 700 nm za uzorak od deset ispitaka prozirnog polistirena tipa 678E. Transmissijski je spektar vidljivog dijela svjetlosti najbolja identifikacija *neobojenog* (akromatskog) ili obojenog (kromatskog) prozirnog tijela. Sve matematičke transformacije spektra transmisije kao i remisije iz sustava CIE – XYZ koordinata,⁷ kao što su prikaz formulacija za toleranciju boje različitih uzoraka, nisu toliko vjerodostojne kao sam spektar. Formulacije za indeks žutoće prozirnoga *neobojenog* tijela⁸ ne odgovaraju vizualnom dojmu boje, dok kod mutnih i pokrivnih uzoraka one tomu odgovaraju. Ispitak broj 9 vizualno je određen kao da se nalazi na donjoj granici specifikacije, a ispitak broj 10 vizualno je određen kao slabo mutan i žućkast. Svi ostali ispitci određeni su vizualno kao visokoprozirni, plavičasta tona. Iz transmissijskoga je spektra vidljivo da se ispitak broj 1 nalazi na donjoj granici specifikacije, kao i ispitak broj 9. Visokoprozirni ispitci pri valnoj duljini od 500 nm propuštaju do 88 % svjetlosti. Na slici 2 prikazane su krivulje ovisnosti apsorpcije i raspršenja transmitirane svjetlosti u ovisnosti o valnoj duljini. Ispitak broj 7, koji najviše propušta vidljivi dio svjetlosti, ima najniže vrijednosti apsorpcije i raspršenja. Na slici 3 prikazane su krivulje ovisnosti apsorpcije i raspršenja transmitirane svjetlosti u ovisnosti o valnoj duljini za deset ispitaka polistirena PS-GP 678E s blago plavičastom nijansom. Tri su najprozirnija ispitka polistirena PS 680L s blago žućkastom nijansom. Vrijednosti apsorpcije i raspršenja svjetlosti za najprozirniji ispitak sa slabo plavičastom nijansom (oznaka 7E) te za najprozirniji ispitak s blago žućkastom nijansom (oznaka 1L) veoma su male (0,01) i stoga tolerancija nijanse u CIELAB sustavu nije pouzdana. Mutnoća je kvantitativno određena u postotnom udjelu neprozirnosti (opaciteta) remisijkim mjerenjima prozirnih i mutnih pločica polistirena s crnom i bijelom standardnom podlogom. Neprozirnost idealno pokrivnog tijela iznosi 100 %, što znači da kod takvog tijela nije vidljiva razlika u promatranju uz crnu i bijelu podlogu.⁹

Na slici 4 prikazane su izmjerene vrijednosti neprozirnosti u postotku za deset ispitaka od polistirena tipa 678E i 680L. Vrijednosti neprozirnosti već kod 10,45 % upućuju na slabu mutnoću, ispitak broj 1 i 10 iz serije 678E i svi ispitci iz serije 680L, osim onih 1 i 3. Na slici 5 prikazane su vrijednosti apsorpcije emitirane svjetlosti za dva ispitka polistirena koja se nalaze na donjoj granici specifikacije te za ispitak izvan specifikacije (broj 10). Vrijednosti apsorpcije svjetlosti su ispod 0,012 i zato izuzetno niske da ljudsko oko može pogriješiti pri procjeni slabe nijansiranosti i niske mutnoće uzoraka.



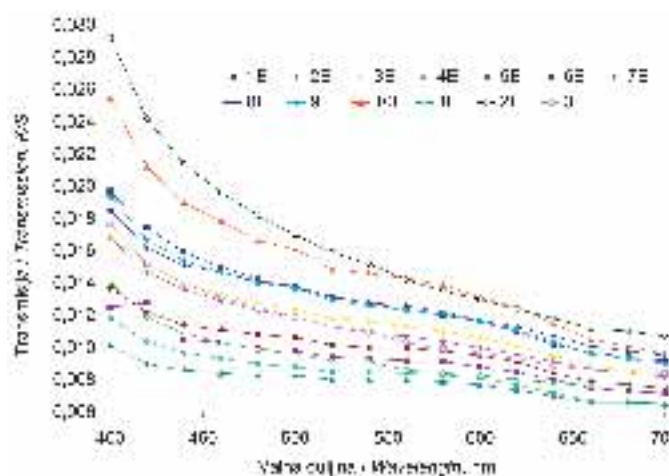
SLIKA 1. Transmissijske krivulje deset ispitaka prozirnog polistirena oznake PS-GP 678E

FIGURE 1. Transmission curves of ten transparent polystyrene specimens PS-GP 678E



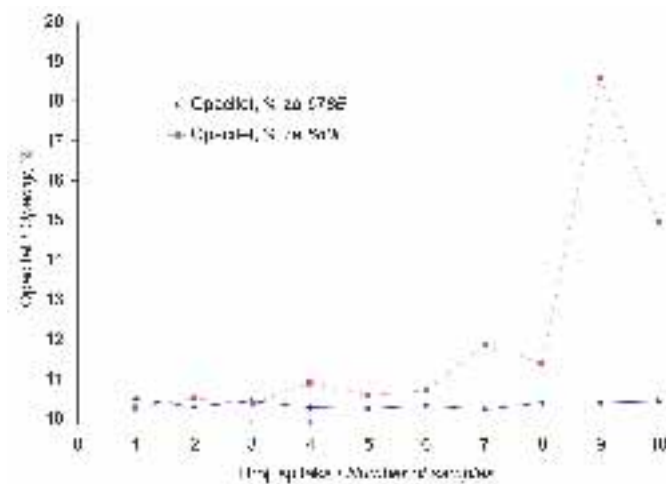
SLIKA 2. Krivulje ovisnosti K/S vrijednosti transmitirane svjetlosti o valnoj duljini, za deset ispitaka polistirena PS-GP 678E

FIGURE 2. K/S curves of transmission light for ten polystyrene specimens PS-GP 678E



SLIKA 3. Krivulje ovisnosti K/S vrijednosti transmitirane svjetlosti polistirena PS-GP 678E i tri najprozirnija ispitka polistirena PS 680L s blago žućkastom nijansom

FIGURE 3. K/S curves of transmission light for ten polystyrene specimens PS-GP 678E and three polystyrene specimens of PS 680L with slightly yellowish shade

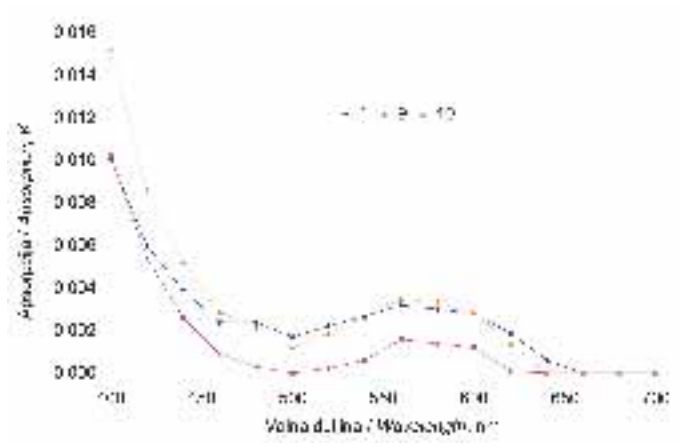


SLIKA 4. Neprozirnost deset ispitaka od polistirena, PS 678E i PS 680L

FIGURE 4. Opacity of ten polystyrene specimens made of PS 678E and PS 680L

Zaključak / Conclusion

Idealno prozirno i neobojeno tijelo ne apsorbira niti raspršuje svjetlost. Prozirnost otpresaka debljine $2,5 \pm 5$ % mm polistirena 678E i 680L u vidljivom dijelu svjetla nalazi se ispod 90 %, a zamućenje ispod 80% transmitirane svjetlosti. Mutnoća se kvantitativno određuje u postotnom udjelu neprozirnosti reemitirane svjetlosti. Nijansiranost prozirnog polistirena teško se određuje formulacijama za tolerancije boja jer su vrijednosti stalnica (konstanti) apsorpcije transmitirane i reemitirane svjetlosti izrazito niske.



SLIKA 5. Vrijednosti stalnica apsorpcije reemitirane svjetlosti K za ispitak izvan specifikacije (10) i ispitke na donjoj granici specifikacije (1 i 9) polistirena PS 678E

FIGURE 5. Absorption values of remission measurements, K, for specimen over specification (10) and for specimens at the bottom limit of specification range (1 and 9) of polystyrene PS678E

LITERATURA / LITERATURE

1. Bürkle, E., Klotz, B., Lictinger, B.: *Das Herstellen hochtransparenter optischer Formteile*, Kunststoffe, 91(2001)11, 54-60.
2. Hänsch, D., Jung, S., Ebert, T.: *Das Material bestimmt das Ergebnis*, Kunststoffe, 92(2002)12, 54-56.
3. *DIN – Fachbericht 49*, 1995, 46.
4. Gall, L.: *Farbmetrik auf dem Pigmentgebiet*, BASF AS, 1971.
5. Eitle, D., Pauli, H.: *Vortrag auf der inter. Farbtagung*, Farb-INFO, Basel, 1977.
6. Gausepohl, J., Gellert, R.: *Polystyrol*, Kunststoff Handbuch 4, Hanser, München, 1996.
7. *DIN 6174 - Farbmetrische Bestimmung von Farbständen bei Körperfarben nach der CIELAB Formel*, 1979.
8. *DIN 6167 - Beschreibung der Vergilbung von nahezu weissen oder nahezu farblosen Materialien*, 1980.
9. Weixel, S.: *Das Auge hört mit*, Kunststoffe 91(2001)10, 172.

DOPISIVANJE / CONTACT

Vesna Škunca, dipl. ing. kemije

DIOKI d.d.

Tvornica polistirena DOKI

Žitnjak b.b.

HR-10 000 Zagreb, Hrvatska / Croatia

Tel.: +385-1-24-83-788, faks: 385-1-24-04-890

E-mail: vesna.skunca@dioki.hr

ERRATA CORRIGA

U prošlom broju *Polimera*, u članku *The systemic analysis of metal injection moulding* autora Boštjana Berginca, Igora Čatića i Zlatka Kampuša, došlo je do tiskarske pogreške te su sve linije na slici 5 (stranica 10) označene istim oznakama, a ne oznakama kao u legendi. Ispravna se slika može preuzeti s mreže (polimeri.fsb.hr ili hrcaj.srce.hr).