

ŠTATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY PRODUKIE BEZFAREBNÉHO SKLA VO FAREBNÝCH PRIESTOROCH

MAREK LIŠKA*, ALFONZ PLŠKO**, EDMUND KANCLÍŘ*

*) Spoločné laboratórium Centra chemického výskumu Slovenskej akadémie vied a Výskumného a vývojového ústavu sklárskeho

***) Výskumný a vývojový ústav sklársky, ul. SNP 20, 912 50 Trenčín

Došlo 12. 9. 1983

Farba 152 vzoriek sodnodraselného kryštálu sa sledovala vo farebnom priestore trichromatických zložiek (X, Y, Z) a v homogénnom farebnom priestore CIE Lab. V týchto priestoroch sa určili základné štatistické charakteristiky distribúcie a hlavné smery elipsoidov variácií a kovariancií. Z výsledkov vyplynulo, že vhodnejším priestorom pre opis farby je priestor CIE Lab, v ktorom hlavné osi splyvajú so súradnicovými osami Lab, ktoré potom na rozdiel od trichromatických zložiek z hľadiska štatistickej distribúcie sa javia ako nezávislé.

ÚVOD

Využitie štatistických metód pri kontrole a riadení kvality priemyselnej výroby je neoddeliteľnou súčasťou automatizovaných systémov riadenia technologických procesov. Základnou podmienkou úspešnej aplikácie štatistických metód je možnosť objektívneho hodnotenia jednotlivých vlastností na dostatočne veľkom súbore, získanom systematickým zberom dát z výrobného procesu. Veľkú úlohu pri tomto postupe zohráva tiež aplikácia výpočtovej techniky.

METÓDA

Chemické zloženie produkcie daného druhu skla nie je striktné konštantné, ale podlieha drobným výkyvom, pre ktoré je charakteristické normálne rozdelenie pravdepodobnosti (NRP). Každému zloženiu daného druhu skla zodpovedá pri určitom tvare vzorky charakteristický priebeh krivky priepustnosti v oblasti viditeľného spektra ($\lambda = 380\text{--}740$ nm), ktorý jednoznačne definuje jeho zafarbenie pri každom druhu osvetlenia. V praxi používame tzv. štandardné svetelné zdroje [1, 2] (v našom prípade zdroj C, zodpovedajúci priemernému dennému svetlu bez priameho slnečného žiarenia s teplotou farby 6 770 K). Každá farba je jednoznačne určená polohou bodu (t. j. trojicou farebných súradníc) v niektorom z trojrozmerných farebných priestorov [1, 2]. Z uvedeného je zrejmé, že variácii zloženia skla zodpovedá určitá variácia jeho farebných charakteristík, vyjadrená pohybom príslušného bodu vo farebnom priestore. Vzťah medzi zložením a farebnými súradnicami je zložitou nelineárnou funkciou. Na tomto základe možno tvrdiť, že NRP zloženia nebude zodpovedať NRP pre polohu farebného bodu. Ak sa však obmedzíme len na malú variabilitu zloženia (s ktorou sa napr. stretávame pri produkcii bezfarebného skla daného typu), možno vzťah zloženie — farebné súradnice považovať za približne lineárny a predpokladať na tomto základe NRP pre polohu farebného bodu. K platnosti uvedeného predpokladu tiež prispeje vhodná voľba farebného priestoru.

Ak si farebné súradnice označíme x_1, x_2 a x_3 , potom pre hustotu pravdepodobnosti normálneho rozloženia platí [3]

$$f(\mathbf{x}) = f(x_1, x_2, x_3) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \cdot |\mathbf{C}|^{1/2}} \exp \left[-\frac{1}{2} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}) \right], \quad (1)$$

kde $\boldsymbol{\mu}$ je stĺpcový vektor stredných hodnôt,
 $|\mathbf{C}|$ — determinant matice variácií a kovariancií,

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \text{cov } x_1x_2 & \text{cov } x_1x_3 \\ \text{cov } x_1x_2 & \sigma_2^2 & \text{cov } x_2x_3 \\ \text{cov } x_1x_3 & \text{cov } x_2x_3 & \sigma_3^2 \end{pmatrix} = E[(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T], \quad (2)$$

kde

$$\sigma_k^2 = E[(x_k - \mu_k)^2] \quad k = 1, 2, 3, \quad (3)$$

$$\text{cov } x_kx_l = E[(x_k - \mu_k) \cdot (x_l - \mu_l)] \quad k, l = 1, 2, 3, \quad (4)$$

pričom E značí strednú hodnotu.

V prípade, keď stredné hodnoty, rozptyly a kovariancie nepoznáme a máme k dispozícii dostatočne veľký náhodný výber M bodov $x_i = (x_{1i}, x_{2i}, x_{3i})^T$, $i = 1, 2, \dots, M$, nahradzame ich príslušnými bodovými odhadmi.

$$\mu_k \doteq m_k = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_{ki}, \quad (5)$$

$$\sigma_k^2 \doteq s_k^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (x_{ki} - m_k) \cdot (x_{ki} - m_k), \quad (6)$$

$$\text{cov } x_kx_l \doteq s_{kl} = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (x_{ki} - m_k) \cdot (x_{li} - m_l), \quad (7)$$

kde $k = 1, 2, 3$ a $l = 1, 2, 3$.

Nonulové hodnoty kovariancií, resp. príslušných korelačných koeficientov

$$\rho_{kl} = \frac{s_{kl}}{s_k s_l}, \quad k, l = 1, 2, 3, \quad (8)$$

sú indikáciou vzájomnej závislosti dvojíc náhodných premenných $x_k - x_l$.

Z nášho hľadiska to znamená, že pohyb farebného bodu v jednom zo smerov farebného priestoru sa nevykonáva nezávisle od jeho pohybu v niektorom inom smere. Takúto závislosť možno vylúčiť prechodom k novým farebným súradniciam, ktoré získame lineárnou transformáciou súradníc $(\mathbf{x} - \mathbf{m})$

$$\boldsymbol{\xi} = \mathbf{L}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}), \quad (9)$$

resp.

$$(\mathbf{x} - \mathbf{m}) = \mathbf{L}\boldsymbol{\xi}. \quad (10)$$

Maticu \mathbf{L} pritom volíme tak, aby matica variácií a kovariancií prešla v nových súradniciach na diagonálny tvar. Pretože z definície (9) platí $E[\boldsymbol{\xi}_k] = 0$, môžeme písať

$$E[\boldsymbol{\xi}\boldsymbol{\xi}^T] = E[\mathbf{L}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}) \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{m})^T \mathbf{L}] = \mathbf{L}^{-1} \mathbf{C} \mathbf{L} = \boldsymbol{\Lambda}, \quad (11)$$

kde $\boldsymbol{\Lambda}$ je diagonálna matica

$$(\mathbf{A})_{kl} = \lambda_k \delta_{kl} \quad k, l = 1, 2, 3, \quad (12)$$

a δ_{kl} je Kroneckerova delta funkcia.

Získaný výsledok je známou úlohou na stanovenie vlastných hodnôt a vlastných vektorov matice [4]

$$\mathbf{C}\mathbf{L} = \mathbf{L}\mathbf{A}, \quad (13)$$

príčom z vlastností matice \mathbf{C} vyplýva ortogonálnosť matice \mathbf{L} (využili sme ju pri úprave vzťahu (11))

$$\mathbf{L}^{-1} = \mathbf{L}^T \quad (14)$$

spolu s nezápornosťou a reálnosťou vlastných hodnôt λ_k .

Ortogonálnosť matice \mathbf{L} možno rozpísať v tvare

$$\sum_j L_{kj} L_{lj} = \sum_j L_{jk} L_{jl} = \delta_{kl}. \quad (15)$$

Skutočnosť, že súčet štvorcov prvkov každého riadku i stĺpca dáva číslo 1, umožňuje interpretovať jednotlivé prvky matice v percentuálnom vyjadrení, určujúcom podiel jednotlivých pôvodných súradníc v transformovaných súradniciach (a naopak). Napríklad z hodnoty $L_{1,3} = L_{3,1}^T = 0,4$ možno usúdiť, že x_1 prispieva 16 % do ξ_3 , resp. že ξ_3 prispieva 16 % do x_1 .

Z hľadiska názornej interpretácie je potom prechod od súradnicového systému \mathbf{x} k súradnicovému systému ξ prechodom k súradnicovému systému, v ktorom elipsoid rozptylov je centrovaný v počiatku, pričom jeho hlavné osi splyňujú s jednotlivými súradnicami. Veľkosť vlastných hodnôt λ_k pritom určuje rozptyly v smere jednotlivých osí ξ_k a ich odmocnina zodpovedá dĺžkam príslušných hlavných polosí.

Z matematického hľadiska sa prechodom k nezávislému súradnicovému systému ξ redukuje vzťah pre hustotu NRP

$$f(\xi) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} (\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3)^{1/2}} \exp \left[-\frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 \frac{\xi_k^2}{\lambda_k} \right] = \varphi(\xi_1) \varphi(\xi_2) \varphi(\xi_3), \quad (16)$$

kde

$$\varphi(\xi_k) = \frac{1}{(2\pi \lambda_k)^{1/2}} \exp \left[-\frac{\xi_k^2}{2\lambda_k} \right], \quad (17)$$

je hustota jednorozmerného NRP premennej ξ_k s nulovou strednou hodnotou a rozptylom λ_k . Analogicky potom prechádza aj distribučná funkcia na súčin troch jednorozmerných distribučných funkcií.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Predmetom štúdia bol základný súbor 152 vzoriek sodnodraselného krištáľu, vyprodukovaných pri jednotlivých tavných v sklárni Lednické Rovne [5, 6]. Tento súbor sa na základe vizuálneho posúdenia farebnej kvality rozdelil na tri skupiny.

Prvú skupinu 66 členov tvorili vyhovujúce vzorky, v druhej skupine bolo 47 členov, ktoré takisto vyhovovali, no boli časovo neustálené a tretiu skupinu tvorili menej kvalitné vzorky s viditeľným farebným odtieňom (39 členov).

Štatistické sledovanie sa vykonalo pre tri rôzne súbory:
 súbor A — vzorky prvej skupiny ($M_A = 66$),
 súbor B — vzorky prvej a druhej skupiny ($M_B = 113$),
 súbor C — základný súbor všetkých vzoriek ($M_C = 152$).

Štatistické hodnotenie sa vykonalo vo dvoch farebných priestoroch. Ako prvý sa použil priestor trichromatických zložiek X, Y, Z , ktorý je základným farebným priestorom používaným pri matematickom opise farby [1, 2]. Farebné súradnice v tomto prípade boli:

- x_1 — trichromatická zložka* X ,
- x_2 — trichromatická zložka Y ,
- x_3 — trichromatická zložka Z .

Získané výsledky sú sumárne prezentované v tabuľkách I a II. V tabuľke I sú okrem stredných hodnôt m_k uvedené aj ich smerodajné odchýlky Δm_k odhadnuté na základe vzťahu

$$\Delta m_k = \frac{s_k}{(M)^{1/2}}. \quad (18)$$

Tabuľka I

Základné štatistické charakteristiky študovaných súborov v priestore trichromatických zložiek

Súbor	M	m_k	Δm_k	$C/(\rho)$		
A	66	60,62	0,70	32,207	33,914	40,744
		62,57	0,74	(1,00)	35,911	43,287
		68,58	0,91	(0,97)	(0,98)	54,855
B	113	60,43	0,43	20,798	21,951	26,215
		62,44	0,46	(1,00)	23,343	27,954
		68,05	0,57	(0,96)	(0,96)	36,018
C	152	60,41	0,33	16,668	17,577	21,060
		62,45	0,35	(0,99)	18,760	22,488
		67,89	0,44	(0,95)	(0,95)	29,682

Graficky je situácia znázornená na obr. 1. Z vizuálneho porovnania je zrejmé, že jednotlivé hodnoty m_k sa pri prechode od súboru k súboru štatisticky významne nemenia. Tento výsledok potvrdila aj analýza nepárovým Studentovým t -testom [7]. Uvedená skutočnosť svedčí o tom, že rozširovanie súboru A pri prechode k súborom B a C sa uskutočňuje symetricky vo všetkých smeroch, čo je v súlade s predpokladom o NRP zmien polohy farebného bodu. Zmeny pozorované pri prechode od B k C sú vo všeobecnosti menšie ako pri prechode od A k B.

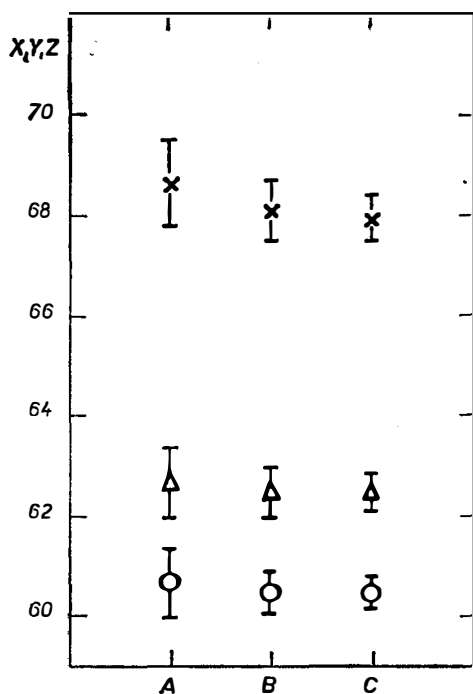
V tabuľke I sú uvedené horné trojuholníky symetrických matic C , v dolných trojuholníkoch sú v zátvorkách uvedené korelačné koeficienty vypočítané podľa vzťahu (8). V tabuľke II sú okrem vlastných hodnôt prezentované transformačné matice L^T spolu s percentuálnym vyjadrením uvedeným v zátvorkách pod pri-

*) Pojem trichromatických súradnic je vyhradený pre polohu priesečníka sprievodiča farebného bodu s jednotkovou rovinou v priestore trichromatických zložiek.

Tabuľka II

Transformácia súradníc k hlavným osiam vo farebnom priestore trichromatických zložiek

Súbor	M	λ_k	$10^5 \cdot L^T / (\%)$		
A	66	0,083	68 506 (46,9)	72 567 (52,7)	6 389 (0,4)
		1,641	-51 867 (26,9)	-42 428 (18,0)	74 226 (55,1)
		121,250	-51 152 (26,2)	-54 164 (29,3)	-66 705 (44,5)
B	113	0,077	69 781 (48,7)	-71 473 (51,1)	4 691 (0,2)
		1,511	-50 369 (25,4)	-44 309 (19,6)	74 159 (55,0)
		78,571	-50 925 (25,9)	-54 112 (29,3)	-66 920 (44,8)
C	152	0,103	70 549 (49,8)	-70 781 (50,1)	3 582 (0,1)
		1,567	-49 643 (24,6)	-45 746 (20,9)	73 775 (54,4)
		63,440	-50 580 (25,6)	-53 826 (29,0)	-67 411 (46,4)



Obr. 1. Jednosigmové intervaly stredných hodnôt trichromatických zložiek v jednotlivých súboroch (o — X, Δ — Y, x — Z).

slušnými prvkami. Porovnanie matíc L^T pre jednotlivé súbory vyznieva analogicky ako v prípade vektorov stredných hodnôt.

Z percentuálneho vyjadrenia vyplýva, že pri transformácii vstupujú do nezávislých súradníc výrazným dielom všetky trichromatické zložky, pričom v žiadnej z nich ani jedna trichromatická zložka výrazne nedominuje.

Táto skutočnosť je dôsledkom vysokých korelácií medzi jednotlivými trichromatickými zložkami.

Z hľadiska zjednodušených predstáv o fyzikálnom význame hodnôt trichromatických zložiek ako miere obsahu základných farieb v opisovanej farbe (X — červenej, Y — zelenej, Z — modrej) možno približne charakterizovať význam nezávislých transformovaných súradníc:

- ξ_1 — rozdiel podielov červenej a zelenej farby,
- ξ_2 — rozdiel podielov žltej a červenej farby,
- ξ_3 — celková intenzita farebného vnemu, t. j. jas.

Získaný obraz pripomína teóriu oponentného farebného videnia [8].

V bežnej koloristickej praxi sa pred farebným priestorom trichromatických zložiek uprednostňuje použitie rôznych modifikovaných farebných priestorov (CIE Lab...) [2]. Tieto priestory sa vytvárajú rôznymi nelineárnymi transformáciami priestoru trichromatických zložiek tak, aby sa dosiahla konštantná štruktúra z hľadiska subjektívnej citlivosti farebného vnemu (t. j. aby rovnakým vzdialenostiam vo všetkých častiach a smeroch priestoru zodpovedali rovnaké subjektívne vnemy farebnej diferencie). Ďalšou výhodou je separácia medzi súradnicou vyjadrujúcou jas (L) a súradnicami vyjadrujúcimi chromatickosť, t. j. farebný odtieň a sytosť farby (rovina ab).

Z uvedených dôvodov sme štatistické hodnotenie vykonali aj v priestore farebných súradníc CIE Lab [2, 9].

Pretože medzi priestormi XYZ a CIE Lab je nelineárna relácia, nejednotvárnosť jednoduchý vzťah ani medzi výsledkami štatistického hodnotenia distribúcie farieb v týchto priestoroch.

Výsledky získané v priestore CIE Lab sú zhrnuté v tabuľkách III a IV a na obrázku 2. Z tabuľky III a z obrázku 2 vyplýva, že stredné hodnoty m_k sa pri prechode od súboru k súboru štatisticky významne nemenia.

Tabuľka III

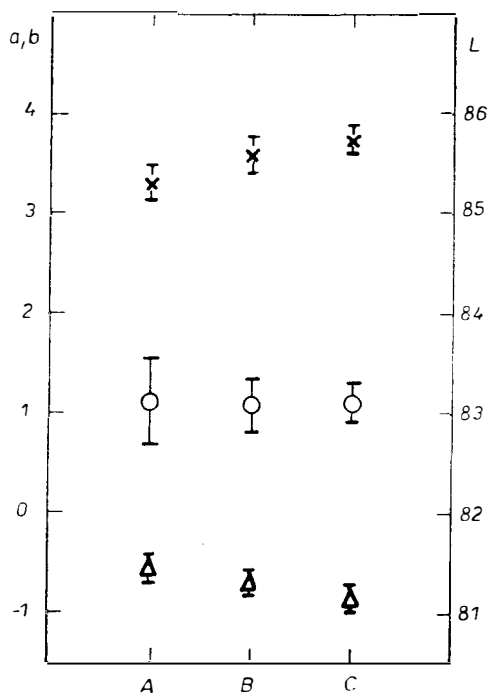
Základné štatistické charakteristiky študovaných súborov v priestore farebných súradníc CIE Lab

Súbor	M	m_k	Δm_k	$C/(Q)$		
A	66	83,090	0,440	12,799	-1,235	-1,331
		-0,582	0,129	(-0,34)	1,090	0,396
		3,319	0,172	(-0,27)	(0,27)	1,956
B	113	83,061	0,271	8,270	-0,934	-0,779
		-0,732	0,093	(-0,33)	0,970	0,223
		3,613	0,126	(-0,20)	(0,17)	1,791
C	152	83,089	0,209	6,613	-0,843	-0,643
		-0,855	0,087	(-0,31)	1,142	0,262
		3,757	0,112	(-0,18)	(0,18)	1,899

Tabuľka IV

Transformácia súradníc k hlavným osiam vo farebnom priestore CIE Lab

Súbor	M	λ_x	$10^5 \cdot L^T / (\%)$		
A	66	0,887	-7 120 (0,5)	-96 091 (92,3)	26 752 (7,2)
		1,859	-14 552 (2,1)	-25 522 (6,5)	-95 583 (91,4)
		13,099	98 678 (97,4)	-10 699 (1,1)	-12 166 (1,5)
B	113	0,835	-10 886 (1,2)	-98 400 (96,8)	14 103 (2,0)
		1,713	-13 467 (1,8)	-12 596 (1,6)	-98 285 (96,6)
		8,483	89 489 (97,0)	-12 599 (1,6)	-11 880 (1,4)
C	152	0,983	-12 383 (1,5)	-97 354 (94,8)	19 201 (3,7)
		1,838	-16 108 (2,6)	-17 121 (2,9)	-97 197 (94,5)
		6,832	97 914 (95,9)	-15 129 (2,3)	-13 561 (1,8)



Obr. 2. Jednosigmové intervaly stredných hodnôt farebných súradníc CIE Lab v jednotlivých súboroch (o — L, Δ — a, x — b).

Vzhľadom na rozloženie farieb v rovine chromatickosti:

$a > 0$ — červená, $a < 0$ — zelená,
 $b > 0$ — žltá, $b < 0$ — modrá,

možno konštatovať, že priemerná produkcia je od bodu nepestrosti (t. j. bezfarebnosti) vychýlená na žlto-zelenú stranu s výraznejším podielom žlte.

Odhady rozptylov na diagonále matice \mathbf{C} sa so zväčšovaním rozsahu súboru zmenšujú.

Doterajšie závery sú rovnaké ako v priestore trichromatických zložiek. Výraznú odlišnosť však pozorujeme pri porovnávaní štruktúry matice variácií a kovariancií. Vo farebnom priestore CIE Lab nepozorujeme výraznú závislosť súradníc L , a , b , o čom svedčia nízke hodnoty korelačných koeficientov uvedených v dolnom trojuholníku matice \mathbf{C} . Pri približnom testovaní na základe NRP [7] získame ako štatisticky významnú len slabú koreláciu medzi súradnicami L a a . Štruktúra matice \mathbf{C} sa premieta aj do transformačnej matice \mathbf{L}^T (tab. IV). Z percentuálneho vyjadrenia hodnôt jednotlivých prvkov tejto matice možno konštatovať, že transformované súradnice sú z viac ako 90 % tvorené pôvodnými súradnicami L , a , b (v súboroch B a C z viac ako 95 %):

$$\xi_1 \doteq x_2 = a,$$

$$\xi_2 \doteq x_3 = b,$$

$$\xi_3 \doteq x_1 = L.$$

Príslušné elipsoidy rozptylu sú výrazne pretiahnuté v smere osi ξ_3 prakticky identickej s osou jasú L . V porovnaní s priestorom trichromatických zložiek sú však menej deformované.

Na základe uvedeného porovnania treba pri vyhodnocovaní kvality produkcie sodnodraselného krištáľu uprednostniť farebný priestor CIE Lab pred priestorom trichromatických zložiek. Z principiálneho hľadiska by bolo možné uvažovať aj o ostatných existujúcich farebných priestoroch. Priestor CIE Lab sme zvolili preto, že jeho použitie predpisuje československá norma [10].

Zaujímavé sú trendy zmien jednotlivých vlastných hodnôt λ_k pri prechode od súboru A k súboru C v oboch sledovaných farebných priestoroch. Kým dve menšie poloosi sa pri zväčšovaní súboru výraznejšie nemenia, najväčšia vlastná hodnota reprezentujúca podstatnú časť celkového rozptylu sa evidentne zmenšuje. Táto skutočnosť svedčí o nespoľahlivosti subjektívneho vizuálneho posudzovania farebnej kvality. Jednotlivé skupiny (vyhovujúce, vyhovujúce — časovo neustále, farebný odtieň) sa vytvorili posudzovaním rôznych druhov výrobkov (rôzna veľkosť, rôzny tvar, rôzna hrúbka stien) rozličnými pozorovateľmi, pri rôznom osvetlení. Preto sa tieto skupiny z hľadiska ich polohy vo farebnom priestore výrazne prekrývajú. Cesta k objektívnemu posudzovaniu potom spočíva v stanovení štatistických parametrov dostatočne veľkého výberového súboru, reprezentujúceho celkovú produkciu.

Získané parametre NRP v nezávislých transformovaných súradniciach ξ možno vzhľadom na zhodu výsledkov v súboroch B a C považovať za dostatočne spoľahlivé. (Z toho vyplýva, že zo štatistického hľadiska je veľmi ťažké posúdiť správnosť výsledkov získaných pre veľmi malé súbory [11].) Na ich základe bude v budúcnosti vytvorené výberové hodnotenie typu pass/fail, ktoré umožní priebežnú kontrolu a riadenie kvality produkcie študovaného typu skla.

Literatúra

- [1] Judd D. B., Wyszecki G.: *Color in Business, Science and Industry*, 3. vyd., John Wiley, New York 1975.
- [2] Československý kolorista: Mimoriadne číslo, SODB, Praha 1976.
- [3] Barytová H. a kol.: *Základy štatistiky*. Alfa, Bratislava 1975.
- [4] Uberla K.: *Faktorová analýza*. Alfa, Bratislava 1976.
- [5] Plško A., Liška M.: *Sklár a keramik (v tlačí)*.
- [6] Plško A.: *Nové metodiky. Správa k priebežnej oponentúre odborovej úlohy K 59522004*. VVÚS, Trenčín 1982.
- [7] Rektorys a kol.: *Přehled užité matematiky*. SNTL, Praha 1968.
- [8] Feynman R. P., Leighton B. P., Sands M.: *Feynmanove prednášky z fyziky*, II. diel, Alfa, Bratislava 1982.
- [9] ISO/TC 38/SC 1 (UK Sec 102) 587.
- [10] ČSN 01 1718.
- [11] Madden B. G., Roberts O. C., Brungs M. P: *Glass Technology* 24, 40 (1983).

STATISTIC CHARACTERISTICS OF COLOURLESS GLASS PRODUCTION
IN COLOURED SPACES

Marek Liška*), Alfonz Plško**), Edmund Kancelíř**)

*) *Laboratory of the Centre of Chemical Research, Slovak Academy of Sciences and Glass Research and Development Institute, 912 50 Trenčín*

**) *Glass Research and Development Institute, 912 50 Trenčín*

The colour of three sets (A, B, C) of selected commercial soda—potash crystal was investigated in the coloured space of trichromatic components X, Y, Z and in the CIE Lab uniform colour space. The essential statistical characteristics (mean values m_k , their standard deviations Δm_k , variation and covariation matrix C and correlation coefficients ρ) of the individual sets are listed in Tables I, III and plotted in Figs. 1, 2.

The results obtained in transforming the coordinates to the main axes of the variation and covariation ellipsoid (the actual values of λ and of the transformation matrix L) are listed in Tables II and IV. The results show that the CIE Lab space, in which the main three coordinates coincide with the Lab coordinates, is the more suitable space for colour description. Unlike the coordinates of the trichromatic components, the Lab coordinates appear to be independent from the standpoint of statistical distribution.

Fig. 1. *Single-sigma intervals of the mean values of trichromatic components in the A, B, C sets ($\sigma - X, \Delta - Y, x - Z$).*

Fig. 2. *Single-sigma intervals of the mean values of colour coordinates CIE Lab in the A, B, C sets ($0 - L, \Delta - a, x - b$).*

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОИЗВОДСТВА
БЕСЦВЕТНОГО СТЕКЛА В ЦВЕТНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

Мареk Лишка*, Алфонз Плшко**, Эдмунд Канцлирш*

**Общая лаборатория Центра химического исследования САН
и Научно-исследовательского института стекла, 912 50 Тренчин,*

***Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт стекла,
912 50 Тренчин*

Исследовали цвет трех наборов (A, B, C) подобранных стекол, натриевокалиевого хрустала, полученных промышленным путем, в цветном пространстве трихроматических компонентов X, Y, Z и в гомогенном цветном пространстве CIE Lab. Основные статистические характеристики (средние величины m_k , их стандартные отклонения Δm_k , матрица вариаций и ковариаций C и коэффициенты корреляции ρ) отдельных наборов приводятся в таблицах I, III и на рисунках 1, 2.

Результаты, полученные при трансформации координат к основным осям эллипсоида вариаций и совариаций (полученные величины λ и трансформационные матрицы L) приводятся в таблицах II, IV. Из результатов следует, что наиболее пригодным пространством для описания цвета является пространство CIE Lab, в котором основные оси сливаются с осями координат Lab, которые после того (в отличие от трихроматических компонент) с точки зрения статистического распределения оказываются независимыми.

Рис. 1. Односигмовые интервалы средних величин трихроматических компонент в наборах V, B, C ($O - X$, $\Delta - Y$, $X - Z$).

Рис. 2. Односигмовые интервалы средних величин цветных координат CIE Lab в наборах A, B, C ($O - L$, $\Delta - a$, $x - b$).

A. BLAŽEK ET AL.: REVIEW OF THERMAL CONDUCTIVITY DATA IN GLASS (Přehled hodnot tepelné vodivosti skla) ICG 1983, 100 str.

Тепelná vodivost je jedna z nejdůležitějších termofyzikálních vlastností. Je charakteristická pro daný materiál a hraje důležitou roli ve většině přírodních i technologických procesů. Pokud jde o tepelné procesy ve skle, je důležitá ve všech stádiích výroby: během tavení, tvarování i tepelného tvrzení. Znalost tepelné vodivosti skla je proto vyžadována při všech výpočtech přenosu tepla, např. při navrhování sklářských tavicích pecí, při řešení matematických modelů tavicího procesu atd..

Publikace je společným dílem členů subkomise A5 ICG „Přenos tepla ve skle“ a předchází jí tříjazyčná předmluva prezidenta ICG profesora H. Scholzeho, který v ní vyslovuje poděkování všem aktivním členům subkomise a zvláště jejímú předsedovi Dr. A. Blažkovi.

Publikace je rozdělena na dvě části, kde první část, jejímž autorem je Dr. R. Gardon (Ford Motor Company), popisuje měření tepelné vodivosti skel za nízkých a mírných teplot (do 600 °C). Po krátkém úvodu jsou nejprve velice podrobně popsány jednotlivé metody pro stanovení tepelné vodivosti včetně dynamických a srovnávacích metod. V závěru první části publikace je uveden přehled naměřených hodnot tepelné vodivosti pro různá skla (7 typů), jejichž složení je rovněž tabelárně uvedeno. Příspěvek je doplněn bohatým seznamem literatury.

Druhou část publikace, zabývající se tepelnou vodivostí skel za vysokých teplot, tj. 600 až 1400 °C, sepsali Dr. A. Blažek a Ing. J. Endrýs z VŠCHT Praha. Po úvodu, ve kterém je vysvětlen význam tepelné vodivosti skel a vysvětleny základní pojmy, jsou velice pékným způsobem popsány teoretické principy metod měření tepelné vodivosti skel za vysokých teplot. Jsou to stacionární metody, nestacionární metody, metody používající zdroj tepla a nepřímé metody. V další části jsou popsána typická experimentální zařízení.

Velmi cenná je čtvrtá kapitola zabývající se porovnáním naměřených hodnot tepelných vodivostí skel na pracovištích členů subkomise A5 ICG (celkem 5 pracovišť) různými metodami. Z uvedených grafů vyjadřujících teplotní závislost radiační a efektivní tepelné vodivosti je vidět velmi dobře shodu mezi naměřenými hodnotami.

Nejcennější částí příspěvku je pátá kapitola, ve které jsou tabulkovou formou zpracovány teplotní závislosti pravé tepelné vodivosti, radiační tepelné vodivosti, efektivní tepelné vodivosti a teplotní vodivosti pro celkem 136 typů skel, jejichž složení je rovněž v tabulce uvedeno. Tabulka dále obsahuje měřicí metodu a odkaz na literaturu, ze které byly výsledky převzaty. Také v závěru druhé části publikace je uveden bohatý seznam literatury.

Tato publikace je unikátní, neboť je první svého druhu na světě, která takto uceleným způsobem informuje o tepelné vodivosti skel. Jistě ji uvítají všichni pracovníci pracující ve sklářském průmyslu a výzkumu v oblasti projektování sklářských pecí a modelování tavicího procesu. Publikaci je možno doporučit i studentům studujícím technologii silikátů.

Kasa