

# ALKALIVZDORNÉ SKLÁ S NÍZKYM OBSAHOM OXIDU ZIRKONIČITÉHO

ALFONZ PLŠKO, PETER LICHVÁR, PETER ŠIMURKA

Výskumný a vývojový ústav sklársky, SNP 20, 912 50 Trenčín

Došlo 24. 10. 1986

*V sústave BaO—CaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Na<sub>2</sub>O—ZrO<sub>2</sub>—SiO<sub>2</sub>, ktorá je perspektívna z hladiska prípravy alkalivzdorných sklenených vláken pre výstuž cementov, sme zistili závislosť odolnosti voči alkáliam a teploty liquidus od zloženia.*

*Hodnota odolnosti voči alkáliam, dôležitá z hladiska stálosti sklenených vláken v cementoch, je komplikovaným spôsobom zviazaná so zložením. Závislosť od zloženia, je potrebné posudzovať ako komplexný jav a nie je možné zoskobecniť vplyv jednotlivých oxidov pre celý rozsah sledovaných koncentrácií. Hodnota teploty liquidus, dôležitá z hladiska spracovania skloviny na vlákna, vykazuje jednoduchú závislosť na zložení. V sledovanom rozsahu zložení hodnota teploty liquidu nezávisí od obsahu BaO a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Zvýšenie obsahu CaO spôsobi zvýšenie hodnoty teploty liquidus a zvýšenie obsahu Na<sub>2</sub>O jej zníženie.*

*Najvhodnejšie zloženie skla, zo sledovaných zložení v sústave BaO—CaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Na<sub>2</sub>O—ZrO<sub>2</sub>—SiO<sub>2</sub> sme určili účelovou funkciou, a to sklo zloženia v hmotnostných percentách: 7,0 % BaO, 7,1 % CaO, 4,0 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 10,1 % Na<sub>2</sub>O, 4,5 % ZrO<sub>2</sub>, 0,21 % MgO, 0,20 % K<sub>2</sub>O, 0,05 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a 66,84 % SiO<sub>2</sub>.*

## ÚVOD

Použitie sklených vláken pre výstuž cementových kompozitov sa dostalo do popredia po zistení karcinogenity azbestu, ktorý v súčasnosti patrí k najrozšírenejším výstužiam cementových kompozitov. Záujem o použitie sklených vláken, ako výstuže cementov je spôsobený aj možnosťou výroby nových druhov kompozitných výrobkov. Podmienkou použitia sklených vláken pre výstuž cementov je ich odolnosť voči alkaličkému prostrediu tuhnúcich cementov a betónov. Zvlášť vysokou odolnosťou voči alkaliám sa vyznačujú sklené vlákna s obsahom oxidu zirkoničitého [1—5]. Typickým predstaviteľom skiel vhodných pre výrobu alkalivzdorných sklených vláken je sklo Cemfil, zloženia v hmotnostných percentách 62,5 % SiO<sub>2</sub>, 5,05 % CaO, 14,8 % Na<sub>2</sub>O, 16,3 % ZrO<sub>2</sub>, 0,3 % K<sub>2</sub>O, 0,85 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [2].

Sklá tohto typu však obsahujú vysoké percento oxidu zirkoničitého, ktorý na jednej strane zabezpečuje vysokú odolnosť voči alkaliám, na druhej strane však zvyšuje teplotu tavenia a aj cenu skla. Z týchto dôvodov sa začali skúmať sklá so zníženým obsahom oxidu zirkoničitého [6—8].

Sklá, ktoré majú byť spracované na alkalivzdorné vlákna musia mať okrem odolnosti voči alkáliam (*OV A*) aj dostatočne nízku teplotu liquidus ( $T_{liq}$ ) z hladiska ich ďalšieho spracovania na vlákna. Vývoj skiel požadovaných vlastností je potom podmienený poznaním zmien hodnôt spomínaných vlastností v závislosti na zložení.

## Plánované pokusy

Úlohu zistenia veľkosti zmien hodnôt vlastností v závislosti na zložení sústavy je vhodné riešiť použitím metódy plánovaných pokusov, umožňujúcou pri minimálnom počte pokusov zistiť popis tejto závislosti regresnou funkciou [9, 10].

Pri použití tejto metódy volíme úroveň hodnôt jednotlivých nezávisle premenných faktorov, tak aby spĺňali podmienku ortogonality (1), čo nám zabezpečí transformácia hodnôt nezávisle premenných podľa vzťahu (2).

$$\sum_{u=1}^n x_{i,u} x_{j,u} = 0, \quad (1)$$

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{h_i}, \quad (2)$$

kde  $X_i$  je úroveň  $i$ -teho faktoru pred transformáciou,

$\bar{X}_i$  základná úroveň  $i$ -teho faktoru,

$h_i$  krok úrovne  $i$ -teho faktoru pred transformáciou,

$x_i$  transformovaná úroveň  $i$ -teho faktoru,

$n$  počet pokusov.

Splnením podmienky ortogonality sa dosiahne zjednodušenie výpočtov výslednej regresnej funkcie a zároveň aj regresné koeficienty nie sú navzájom závislé. Podmienku ortogonality nie je vždy jednoduché splniť, hlavne pri systémoch, kde sa úrovne jednotlivých faktorov musia nastavovať komplikovanejším spôsobom. Potom, ak nie je splnená podmienka ortogonality, vyhodnocujeme regresné závislosti metódou najmenších štvorcov, ktorú je možné pri súčasnej výpočtovej technike bez problémov použiť. Avšak aj pri strate jednoduchosti výpočtov regresných koeficientov, ostáva metóda plánovaných pokusov veľmi užitočná z hľadiska minimalizácie počtu pokusov, ako aj uľahčenia a zefektívnenia práce pri návrhu pokusov.

Podľa predpokladanej závislosti zmien hodnôt vlastnosti na zložení sústavy zvolíme pokusy vyhovujúceho typu. Pre lineárne závislosti volíme pokusy typu  $2^k$ , kde 2 označuje, že pokus má dve úrovne a  $k$  je počet faktorov. Analogicky pre kvadratické závislosti volíme pokusy  $3^k$ . Spomínané pokusy nazýváme úplnými plánovanými pokusmi. Pri väčšom počte faktorov a pri predpokladanej kvadratickej závislosti je výhodné použiť stredové plány, ktoré oproti plánom  $3^k$  vyžadujú na popísanie závislosti menej pokusov a to  $2^k + 2k + m$ , kde  $m$  je počet pokusov umiestnených v strede a  $k$  je počet faktorov. K návrhu pokusov sa potom použijú tabuľkové schémy podľa typu zvoleného plánu.

## EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

### Príprava skiel

Sklá sme tavili zo sklárskych kmeňov pripravovaných z chemicky čistých surovín a sklárského piesku T-15. Tavby sme robili v superkantalovej peci pri teplote 1 500 až 1 550 °C v Pt-10% Rh kelímku. Po utavení sme sklá odliali do formičky a chladili ponechaním pri 600 °C jednu hodinu v muflovej peci. Potom sme pec vypli a nechali spolu so vzorkami vychladnúť.

### Stanovenie odolnosti voči alkáliám

Odolnosť voči alkáliám sme stanovovali ako úbytok hmotnosti vzoriek v miligramoach vztiahnutý na sto centimetrov štvorcových po trojhodinovom vare v roztoku z rovnakých objemových dielov v našom prípade 400 ml, 1 M roztoku hydroxídu sodného a 0,5 M roztoku uhličitanu sodného, čo zodpovedá ČSN 700 533. V našom

prípade sme však nepoužili leštené vzorky, ale tieto mali dve rezné plochy. Príprava vzoriek sa robila tak, aby rezné plochy pri všetkých vzorkách boli približne rovnaké. Takýto postup sme volili kvôli zrýchleniu prípravy vzoriek aj za cenu, že takto zistené hodnoty OVA sú vyššie ako za použitia postupu podľa ČSN.

### Stanovenie teploty liquiudus

Hrubšiu sklenú drf príslušnej vzorky sme nasypali do Pt-30 % Rh lodičky, ktorá sa umiestnila do gradientovej piecky. Vzorku sme ponechali v piecke 24 hodín. Potom sme zmerali teplotný gradient piecky, vzorku sme vytiahli z piecky, schladili a opatrne vybrali z lodičky. Teplota liquidus sa určila ako teplota, pri ktorej sme zistili prvý kryštál vo vzorke.

### Stanovenie chemického zloženia

Chemické zloženie jednotlivých vzoriek skla bolo stanovené servisne v laboratóriach VVÚS optickou emisnou analýzou s ICP budením. Vzorky na analýzu boli pripravené tavením s tetraboritanom lítnym. Kedže bol stanovený obsah všetkých prítomných oxidov a každá analýza je zafažená určitou chybou, súčet zloženia jednotlivých skiel nedáva sto percent.

### SPRACOVANIE VÝSLEDKOV

Vzťah medzi zložením skiel a ich vlastnosťami sme popisovali regresným polynómom, v ktorom jednotlivé nezávislé premenné, v našom prípade hmotnostné zlomky jednotlivých oxidov vyjadrené v percentách, boli maximálne druhého stupňa. Použili sme aj interakčné členy.

Zistené zloženia sa v niektorých prípadoch dosť výrazne líšia od plánovaného zloženia, čo spôsobili nepresnosti pri príprave kmeňa, straty pri tavení, ako aj nepresnosti pri stanovení zloženia skiel.

Tieto rozdiely však nie sú na závadu, keďže na vyhodnotenie sme použili metódu najmenších štvorcov, ktorá nevyžaduje splnenie podmienky ortogonality, čo v našom prípade predstavuje presné dodržanie plánovaného zloženia skiel. Výsledky boli touto metódou spracované na počítači HP 98 30.

Vyhodnocovací program počíta nielen hodnoty regresných koeficientov, ale tieto sú zároveň testované na významnosť [11]. Výpočet je ukončený, keď sa v regresnom polynóme nachádzajú iba významné koeficienty.

Pri vyhodnocovaní sme vychádzali z netransformovaných hodnôt koncentrácií a ako východzí sa použil polynom nasledujúceho tvaru:

$$\begin{aligned} y = & b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{44} X_4^2 + \\ & + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + b_{123} X_1 X_2 X_3 + \\ & + b_{124} X_1 X_2 X_4 + b_{134} X_1 X_3 X_4 + b_{234} X_2 X_3 X_4 + b_{1234} X_1 X_2 X_3 X_4. \end{aligned} \quad (3)$$

Kde  $b_0$  až  $b_{1234}$  sú regresné koeficienty a  $X_1$  až  $X_4$  sú nezávislé premenné, ktoré môžu byť v ľubovoľných koncentračných jednotkách, v našom prípade budú vyjadrené hmotnostnými zlomkami  $w(\text{CaO})$ ,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ ,  $w(\text{BaO})$ ,  $w(\text{Na}_2\text{O})$ .

Pri súčasnom sledovaní viacerých vlastností skiel sa často stáva, že zloženie skiel prislúchajúce hodnotám extrémov rôznych vlastností nezhodujú. Potom sa volí

kompromisné zloženie skla tak, aby vyhovovalo zo všetkých hľadísk. V jednoduchých prípadoch je možné voliť kompromisné zloženie odhadom. Vo všeobecnosti sa na tento účel používajú účelové funkcie. Na vyhodnotenie nami nameraných údajov sme použili účelovú funkciu tvaru [12]:

$$U = \exp \left( - \left[ \frac{\sum_{i=1}^m c_i |\ln B_i|}{\sum_{i=1}^m c_i} \right]^k \right)^{1/k}, \quad (4)$$

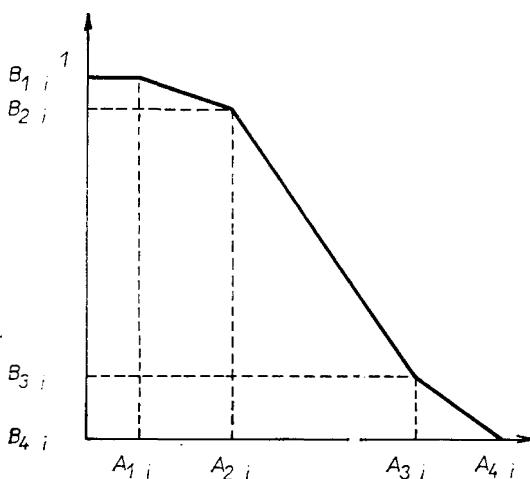
kde  $B_i$  sú normované určujúce vlastnosti,

$c_i$  významnosťi pôsobenia normovaných určujúcich vlastností,

$k$  miera prísnosti celkového posudzovania,

$m$  počet vlastností.

Účelová funkcia priraduje hodnotu vlastnosti, ktorá predstavuje vhodnosť použitia skúmaného skla na daný účel. Hodnota účelovej funkcie (HUF) sa pohybuje v intervale 0—1. Normované určujúce vlastnosti získame z určujúcich vlastností transformáciou, ktorá je zrejmá z obrázku (1) [12].



Obr. 1. Transformácia určujúcich vlastností na normované určujúce vlastnosti.

Určujúce vlastnosti vyberáme z vlastností systému, v našom prípade skla podľa určenia. Body zvratu  $A_1 i$ ,  $B_1 i$ ,  $A_2 i$ ,  $B_2 i$ , atď., v transformácii určujúcich vlastností na normové určujúce vlastnosti sa volia na základe požiadaviek na tieto vlastnosti, alebo na základe skúseností experimentátora. Predošlé platí aj o určení významnosti pôsobenia normovaných určujúcich vlastností, ako aj o mieri prísnosti celkového posudzovania.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

V sústave  $\text{BaO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$  sme sledovali závislosť hodnoty OVA a hodnoty  $T_{\text{liq}}$  od zmeny koncentrácií oxidov so snahou vyvinúť sklo, vhodné na výrobu alkalivzdorných sklených vlákien s nízkym obsahom oxidu zirkoničitého. Pokus sa navrhol ako stredový plán typu  $2^4 + 2 \cdot 4 + 1$ . Stredové úrovne a krok úrovne jednotlivých faktorov zvolené na základe predbežných pokusov a literárnych údajov [3] sú uvedené v tab. I. Koncentrácia oxidu zirkoničitého sa zvola 5 hmotn. %. Podľa schémy v tabuľke II. sme pripravili 25 skiel. Zloženia jednotlivých skiel zistené chemickou analýzou a zmerané hodnoty OVA a  $T_{\text{liq}}$  sú v tabuľke III.

Tabuľka I

Stredová úroveň a krok úrovne hodnôt jednotlivých oxidov

Oxid	Stredová úroveň (hmotn. %) $\bar{X}_i$	Krok úrovne hmotn. (%) $n_i$
CaO	10	3
$\text{Al}_2\text{O}_3$	7	3
BaO	5	2
$\text{Na}_2\text{O}$	10	3

Tabuľka II

Schéma plánovaného pokusu typu stredového plánu  $2^4 + 2 \cdot 4 + 1$ .  
Jednotlivé čísla predstavujú úrovne hodnôt transformovaných faktorov

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
1.	-1	-1	-1	-1
2.	+1	-1	-1	-1
3.	-1	+1	-1	-1
4.	+1	+1	-1	-1
5.	-1	-1	+1	-1
6.	+1	-1	+1	-1
7.	-1	+1	+1	-1
8.	+1	+1	+1	-1
9.	-1	-1	-1	+1
10.	+1	-1	-1	+1
11.	-1	+1	-1	+1
12.	+1	+1	-1	+1
13.	-1	-1	+1	+1
14.	+1	-1	+1	+1
15.	-1	+1	+1	+1
16.	+1	+1	+1	+1
17.	-1,414	0	0	0
18.	+1,414	0	0	0
19.	0	-1,414	0	0
20.	0	+1,414	0	0
21.	0	0	-1,414	0
22.	0	0	+1,414	0
23.	0	0	0	-1,414
24.	0	0	0	+1,414
25.	0	0	0	0

Tabuľka III

Zloženie skiel v hmotnostných percentách a hodnoty OVA a  $T_{liq}$  pre jednotlivé sklá

Sklo čís.	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Odol. voči alkál. (mg/100) cm <sup>2</sup>	Tepl. liq. (°C)
			v hmotnostných percentách								
1.	6,78	3,84	2,85	6,86	5,02	0,19	0,07	0,04	74,34	32,10	1 193
2.	12,70	3,90	2,9	3,66	5,05	0,33	0,1	0,29	68,07	41,17	1 211
3.	6,73	8,38	2,9	6,83	4,86	0,17	0,07	0,16	69,9	52,20	1 164
4.	11,90	8,36	2,9	6,73	5,06	0,28	0,08	0,04	64,6	41,51	1 206
5.	6,41	3,60	7,28	6,43	5,16	0,16	0,07	0,01	70,89	38,13	1 132
6.	12,00	3,80	7,10	6,26	5,1	0,29	0,07	0,1	65,27	55,00	1 194
7.	6,35	7,96	7,15	6,09	5,07	0,16	0,06	0,08	67,09	43,74	1 138
8.	10,80	7,9	7,30	5,5	5,17	0,27	0,08	0,05	62,92	33,73	1 202
9.	7,20	4,1	3,3	12,7	4,60	0,19	0,20	0,05	67,56	44,28	990
10.	12,80	4,1	3,3	12,3	4,80	0,29	0,22	0,03	62,16	43,31	1 150
11.	7,30	10,0	3,1	13,0	4,8	0,26	0,31	0,03	61,10	46,71	1 086
12.	13,00	9,8	3,2	12,7	4,7	0,30	0,19	0,05	56,06	53,66	1 160
13.	7,10	4,0	7,0	10,1	4,5	0,21	0,20	0,05	66,84	37,45	1 020
14.	12,80	4,1	6,7	12,8	4,6	0,31	0,15	0,03	58,51	38,54	1 134
15.	7,10	9,6	6,8	12,8	4,4	0,26	0,32	0,03	58,69	41,93	1 070
16.	13,20	10,1	7,0	12,9	4,6	0,31	0,28	0,03	51,48	51,45	1 142
17.	5,80	7,2	4,9	9,9	4,4	0,23	0,22	0,03	67,32	41,05	1 080
18.	14,20	6,9	5,0	10,2	4,6	0,23	0,25	0,03	58,19	41,04	1 198
19.	10,1	2,9	5,2	10,0	4,7	0,29	0,24	0,05	66,42	35,28	1 110
20.	10,4	11,4	4,8	9,8	4,5	0,29	0,16	0,03	58,62	39,57	1 128
21.	9,9	6,9	2,0	10,0	4,3	0,20	0,30	0,05	66,35	45,12	1 160
22.	10,0	7,0	7,8	10,1	4,6	0,28	0,19	0,02	59,91	44,60	1 129
23.	9,9	6,9	4,9	5,7	4,3	0,20	0,30	0,05	66,35	38,05	1 190
24.	11,2	7,6	5,1	13,2	4,7	0,28	0,25	0,03	57,54	49,51	1 090
25.	11,0	7,6	5,0	9,2	4,8	0,19	0,12	0,05	61,94	38,83	1 140

## Odolnosť voči alkáliám

V sledovanom rozsahu zložení skiel sa hodnoty OVA menia ako vidno z tabuľky III od 32,10 mg/100 cm<sup>2</sup> pre sklo 1 do hodnoty 55,00 mg/100 cm<sup>2</sup> pre sklo 6. Tieto hodnoty sú na dobrej úrovni v porovnaní so sklom Cemfil, ktorého hodnota OVA stanovená nami použitou metódou je 28 mg/100 cm<sup>2</sup>. Sklo Cemfil je všeobecne uznávané alkalivzdorné sklo pre výrobu alkalivzdorných vlákien, avšak obsahuje okolo 16 hmotn. % oxidu zirkoničitého. Sledované sklá obsahujú iba 5 hmotn. % oxidu zirkoničitého.

Pre navrhnutie nových zložení skiel, ktoré budú po stránke OVA ešte lepšie ako doterajšie, je potrebné poznať ako sa hodnota OVA mení so zložením skiel. Zmenu hodnoty OVA v závislosti na zložení skiel pre skúmaný rozsah zložení skiel, keďže nezávisle premennými sú hmotnostné zlomky  $w(\text{CaO})$ ,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ ,  $w(\text{BaO})$  a  $w(\text{Na}_2\text{O})$  vyjadrené v percentách, je možné popísať nasledujúcim regresným polynómom.

$$\begin{aligned} OVA = & 0,269 \ 205 (w(\text{Na}_2\text{O}))^2 + 9,924 \ 519 w(\text{Al}_2\text{O}_3) - 0,755 \ 320 w(\text{Al}_2\text{O}_3) \\ & \cdot w(\text{Na}_2\text{O}) + 1,509 \ 182 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{BaO}) - 0,247 \ 570 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot w(\text{BaO}) - \\ & - 0,128 \ 997 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{BaO}) \cdot w(\text{Na}_2\text{O}) + 0,020 \ 823 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot w(\text{BaO}) \cdot \\ & \cdot w(\text{Na}_2\text{O}). \end{aligned} \quad (5)$$

Porovnaním hodnôt OVA nameraných a vypočítaných podľa regresného polynómu (5), tabuľka IV, vidíme, že pri sklách 5, 12, 15, 19 a 22 sú rozdiely viac ako desať percent. Samotné meranie hodnoty OVA je zafázené dosť veľkou chybou. Z tohto dôvodu môžeme získané výsledky považovať za vhodné v rámci chýb meraania. Potvrdzuje to aj hodnota  $F$ -testu, ktorá je 2,86 co je vyššie ako  $F_{krit} = 2,15$ . Hodnota  $F$ -testu za zisťovala ako pomer rozptylu nezávisle premennej a reziduálneho rozptylu [10]. Keďže regresný polynóm obsahuje štyri nezávisle premenne, nie je možná geometrická interpretácia. Z toho, že v regresnom polynóme sa nachádzajú interakčné členy tretieho a štvrtého rádu, môžeme usudzovať, že hyperplocha popísaná týmto regresným polynómom bude mať komplikovaný tvar a pravdepodobne sa na nej bude nachádzať niekoľko lokálnych extrémov.

Tabuľka IV

Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt OVA a hodnoty prvých parciálnych derivácií regresného polynómu pre OVA podľa hmotnostných zlomkov jednotlivých oxidov

Hodnota OVA (mg/100 cm <sup>2</sup> )			Hodnota prvej parciálnej derivácie (5) podľa			
meraná	vypočítaná	rozdiel v %	w(CaO)	w(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	w(BaO)	w(Na <sub>2</sub> O)
1.	32,1	35,17	9,57	0,633	2,719	1,506
2.	41,17	39,33	-4,47	0,654	0,884	2,863
3.	52,20	47,52	-8,96	-0,739	2,710	-1,714
4.	41,51	43,76	5,43	-0,748	1,121	-3,059
5.	38,13	42,00	10,15	1,977	-0,237	1,741
6.	55,00	52,08	-5,31	1,811	-4,791	3,061
7.	43,74	41,58	-4,94	-1,699	-0,158	-1,509
8.	33,73	33,87	0,40	-1,844	-4,719	-2,729
9.	44,28	43,36	-2,08	-0,198	0,733	-0,431
10.	43,31	41,54	-4,32	-0,140	0,995	-0,543
11.	46,71	47,99	2,73	0,197	0,629	0,464
12.	53,66	48,19	-10,20	0,116	1,034	0,473
13.	37,45	39,49	5,45	0,401	0,444	0,407
14.	38,54	39,65	2,88	-0,430	1,883	-0,822
15.	41,93	48,50	15,68	0,273	1,172	0,285
16.	51,45	51,96	0,99	0,404	2,126	0,762
17.	41,05	42,12	2,61	-0,324	1,270	-0,383
18.	41,04	39,83	-2,95	-0,246	-0,277	-0,700
19.	35,28	39,32	11,45	0,547	0,305	1,062
20.	39,57	42,08	6,34	-1,204	0,351	-2,609
21.	45,12	42,25	-6,36	-0,104	1,592	-0,517
22.	44,60	39,28	-11,92	-0,425	-0,610	-0,545
23.	38,05	41,34	8,65	-0,881	-0,822	-1,834
24.	49,51	47,35	-4,36	0,071	1,513	0,155
25.	38,83	39,81	2,53	-0,501	-0,065	-1,103

Predstavu o zmene hodnoty OVA pri jednotlivých zloženiacach v závislosti na zmene hmotnostného zlomku jednotlivých oxidov si môžeme urobiť na základe hodnôt parciálnych derivácií podľa jednotlivých nezávislých premených, v našom prípade podľa jednotlivých hmotnostných zlomkov  $w(\text{CaO})$ ,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ ,  $w(\text{BaO})$ ,  $w(\text{Na}_2\text{O})$  vyjadrených v percentoch.

$$\frac{\partial(\bullet\text{VA})}{\partial w(\text{CaO})} = 1,509\,182 w(\text{BaO}) - 0,247\,570 w(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot w(\text{BaO}) -$$

$$- 0,128\,997 w(\text{BaO}) \cdot w(\text{Na}_2\text{O}) + 0,020\,823 w(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot w(\text{BaO}) \cdot w(\text{Na}_2\text{O}), \quad (6)$$

$$\frac{\partial(OVA)}{\partial w(\text{Al}_2\text{O}_3)} = 9,924\,519 - 0,755\,320 w(\text{Na}_2\text{O}) - 0,247\,57 w(\text{CaO}) \cdot$$

$$\cdot w(\text{BaO}) + 0,020\,823 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{BaO}) \cdot w(\text{Na}_2\text{O}), \quad (7)$$

$$\frac{\partial(OVA)}{\partial w(\text{BaO})} = 1,509\,182 w(\text{CaO}) - 0,247\,570 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{Al}_2\text{O}_2) -$$

$$- 0,128\,997 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{Na}_2\text{O}) + 0,020\,823 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot w(\text{Na}_2\text{O}), \quad (8)$$

$$\frac{\partial(OVA)}{\partial w(\text{Na}_2\text{O})} = 0,538\,410 w(\text{Na}_2\text{O}) - 0,755\,320 w(\text{Al}_2\text{O}_3) - 0,128\,997 w(\text{CaO}) \cdot$$

$$\cdot w(\text{BaO}) + 0,020\,823 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{BaO}) \cdot w(\text{Al}_2\text{O}_3). \quad (9)$$

Z rovníc (6)–(9) je zrejmé, že hodnoty jednotlivých parciálnych derivácií sú vždy závislé na obsahu ostatných zložiek. V prípade parciálnej derivácie *OVA* podľa hmotnostného zlomku oxidu sodného je táto hodnota závislá na jeho obsahu. Z vypočítaných hodnôt jednotlivých parciálnych derivácií v tabuľke IV vidíme, že v sledovanom rozsahu zložení skiel existujú zloženia, pre ktoré platí, že zmena obsahu toho-ktorého oxidu spôsobí zhorenie *OVA* a tiež zloženia, pri ktorých nastane zlepšenie *OVA*. Pre zistenie extrémov pre tak komplikovaný regresný polynóm je potrebné použiť niektorú z numerických metód vyhľadávania extrému.

Závislosť odolnosti voči alkáliám od zloženia v tomto prípade musíme posudzovať ako komplexný jav a nemôžeme predpokladať, že ten-ktorý oxid bude mať v celom rozsahu sledovaných zložení rovnaký vplyv, ale vždy musíme mať na zreteli, v ktorej časti oblasti sledovaných zložení je skúmané sklo.

### Teplota liquidus

Hodnoty  $T_{\text{liq}}$  sa v sledovanom rozsahu zložení menia od hodnoty  $990^\circ\text{C}$  pre sklo 9 až po hodnotu  $1\,211^\circ\text{C}$  pre sklo 2. Závislosť hodnoty teploty liquidus od zloženia skiel môžeme v sledovanom rozsahu zložení popísť nasledujúcim regresným polynómom, pre ktorý je hodnota F-testu rovná 4,31 čo je vyššie ako  $F_{\text{krit}} = 2,00$ .

$$T_{\text{liq}} = 1\,276,329\,715 - 28,937\,528 w(\text{Na}_2\text{O}) + 1,430\,925 w(\text{CaO}) \cdot w(\text{Na}_2\text{O}). \quad (10)$$

Popis je v tomto prípade podstatne jednoduchší ako v prípade *OVA*. V sledovanom rozsahu zložení hodnota  $T_{\text{liq}}$  významne nezávisí od obsahu BaO a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Z pozorovania nameraných a vypočítaných hodnôt  $T_{\text{liq}}$ , tabuľka V, je zrejmé, že preloženie nameraných hodnôt  $T_{\text{liq}}$  regresným polynómom možeme považovať za dobré.

Veľkosť zmeny hodnoty  $T_{\text{liq}}$  môžeme posúdiť z prvých parciálnych derivácií regresného polynómu pre  $T_{\text{liq}}$  podľa hmotnostných zlomkov CaO a  $\text{Na}_2\text{O}$ .

$$\frac{\partial T_{\text{liq}}}{\partial w(\text{CaO})} = 1,430\,925 w(\text{Na}_2\text{O}), \quad (11)$$

$$\frac{\partial T_{\text{liq}}}{\partial w(\text{Na}_2\text{O})} = 28,937\,528 + 1,430\,925 w(\text{CaO}). \quad (12)$$

Tabuľka V

Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt  $T_{liq}$  a hodnoty prvej parciálnej derivácie podľa  $w(\text{CaO})$  a  $w(\text{Na}_2\text{O})$

Hodnota $T_{liq}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )				Hodnota prvej parciálnej derivácie (10) podľa	
	meraná	vypočítaná	rozdiel v %	$w(\text{CaO})$	$w(\text{Na}_2\text{O})$
1.	1 193	1 144,4	-4,07	9,816	-19,236
2.	1 211	1 204,6	-0,53	9,530	-10,765
3.	1 164	1 144,5	-1,68	9,773	-19,307
4.	1 206	1 196,2	-0,81	9,630	-11,910
5.	1 132	1 149,2	1,52	9,201	-19,765
6.	1 194	1 202,7	0,73	8,958	-11,766
7.	1 138	1 155,4	1,53	8,714	-19,851
8.	1 202	1 202,2	0,01	7,870	-13,484
9.	990	1 039,7	5,01	18,173	-18,635
10.	1 150	1 145,7	-0,38	17,600	-10,621
11.	1 086	1 035,9	-4,61	18,602	-18,492
12.	1 160	1 145,1	-1,29	18,173	-10,335
13.	1 020	1 086,7	6,54	14,452	-18,778
14.	1 134	1 140,4	0,56	18,316	-10,622
15.	1 070	1 036,0	-3,18	18,316	-18,778
16.	1 142	1 146,7	0,41	18,459	-10,049
17.	1 080	1 072,0	-0,74	14,166	-20,638
18.	1 198	1 188,4	-0,80	14,595	-8,618
19.	1 110	1 131,5	1,93	14,309	-14,485
20.	1 128	1 138,6	0,94	14,023	-14,056
21.	1 160	1 128,6	-2,71	14,309	-14,771
22.	1 129	1 128,6	0,04	14,452	-14,628
23.	1 190	1 194,6	0,38	8,156	-14,342
24.	1 090	1 105,9	1,46	18,888	-12,911
25.	1 140	1 153,6	1,20	13,308	-13,197

Zmena hodnoty  $T_{liq}$  v závislosti na zmene obsahu oxidu vápenatého je funkciou obsahu oxidu sodného, čo je zrejmé aj z tabuľky V, ak porovnáme sklá 1—8 a 9—16. Sklá 1—8 obsahujú okolo 6 hmotn. % oxidu sodného a sklá 9—16 okolo 13 hmotn. % oxidu sodného. Taktiež hodnoty prvej parciálnej derivácie regresného polynómu pre  $T_{liq}$  podľa  $w(\text{CaO})$  sú pre sklá 9—16 vyššie ako pre sklá 1—8. Podobne je to aj pre parciálnu deriváciu podľa  $w(\text{Na}_2\text{O})$ , čo je najzjavnejšie pri porovnaní výsledných hodnôt pre sklá 17 a 18, medzi ktorými je veľký rozdiel v obsahu oxidu vápenatého pri rovnakom obsahu oxidu sodného.

V tomto prípade môžeme konštatovať, že zvýšenie obsahu oxidu vápenatého pre hociktoré sklo v sledovanom rozsahu zložení spôsobí zvýšenie hodnoty teploty liquidus a zvýšenie obsahu oxidu sodného spôsobí jej zníženie. Takéto všeobecné závery sú však možné len v jedinelých prípadoch.

### Účelová funkcia

V predošlých častiach sme popísali zmeny hodnôt OVA a  $T_{liq}$  v závislosti na zložení regresnými polynómami, z ktorých môžeme zistiť ich vyšetrením na extrém zloženia, pri ktorých sa dosahuje.

Avšak z tabuľky III je zrejmé, že najlepšie sklá z hľadiska OVA a z hľadiska  $T_{liq}$  sa nezhodujú. Na nájdenie kompromisného zloženia skla, ktoré vyhovuje ako po stránke OVA, tak aj po stránke  $T_{liq}$ , sme použili účelovú funkciu podľa rovnice (4).

Určujúce vlastnosti, v našom prípade OVA a  $T_{liq}$ , sme na transformované určujúce vlastnosti previedli lineárnu transformáciu vychádzajúcou zo schémy na obr. 1. Na konkrétné výpočty bol prvým autorom vypracovaný program pre stolný počítač HP 98 30. Program umožňuje voľbu jednotlivých bodov zvratu a potom hodnoty určujúcich vlastností lineárne transformuje podľa rovníc, ktoré sa vypočítajú z bodov zvratu. Zároveň sa vypočítajú aj hodnoty účelovej funkcie.

Body zvratu, tabuľka VI, sme zvolili na základe našich skúseností a po nasledujúcej úvahe.

Tabuľka VI

Body zvratu pre určujúce vlastnosti OVA a  $T_{liq}$ 

Bod zvratu	OVA		$T_{liq}$	
	H.U.V. (mg/100 cm <sup>-2</sup> )	H.T.U.V.	H.U.V. (°C)	H.T.U.V.
1	30	1	1 000	1
2	40	0,9	1 100	0,9
3	50	0,1	1 150	0,1
4	60	0	1 250	0

H.U.V. — hodnota určujúcej vlastnosti

H.T.U.V. — hodnota transformovanéj určujúcej vlastnosti

Odolnosť voči alkáliám pre vysokozirkoničité sklo Cemfil, stanovená postupom popísaným v experimentálnej časti, je 28 mg/100 cm<sup>2</sup>. Preto sme hodnote 30 mg/100 cm<sup>2</sup> priradili jednotku. Sklá majúce hodnotu OVA do 40 mg/100 cm<sup>2</sup> sme považovali ešte za výborné. Sklá s hodnotami OVA vyššími ako 50 mg/100 cm<sup>2</sup> sme považovali za sklá na kraji vhodnosti pre tento účel a sklá s hodnotou OVA vyššou ako 60 mg/100 cm<sup>2</sup> sme označili za nevhodné a priradili sme im nulu. Pri voľbe bodov zvratu teploty liquidus sme vychádzali z podmienky, že teplota liquidus má mať hodnotu asi o 50 °C nižšiu ako je teplota fahania. Pre fahanie nekonečných vláken na zariadeniach, ktoré sú v súčasnosti k dispozícii, sú vhodné teploty fahania 1 150 až 1 200 °C. Sklá s hodnotou  $T_{liq}$  nižšou ako 1 100 °C sme považovali za výborné a hodnotám  $T_{liq}$  od 1 000 °C nižšie sme priradili jednotku.

Hodnotám  $T_{liq}$  1 150 až 1 250 °C sme priradili transformované hodnoty 0,1—0.

Získané transformované hodnoty, ako aj hodnoty účelovej funkcie v prvom prípade pre rovnakú významnosť pôsobenia OVA a  $T_{liq}$  a v druhom prípade pre významnosť pôsobenia OVA dvakrát väčšiu ako  $T_{liq}$  sú v tabuľke VII. V obidvoch prípadoch výpočtu HUF sa miera prísnosti celkového posudzovania volila rovná dvom.

Rôzne významnosti pôsobenia OVA a  $T_{liq}$  sme volili z dôvodu, že OVA je pri alkalivzdorných vláknach dôležitá a za cenu získania odolnejších vláken je možné robiť ústupky v teplote fahania. Z tabuľky VII vyplýva, že pre prípad výpočtu HUF pri rovnakej významnosti pôsobenia OVA a  $T_{liq}$  je poradie najlepších piatich skiel 13, 17, 15, 19, 9. V prípade významnosti pôsobenia OVA dvakrát väčšej ako

$T_{liq}$  je poradie 13, 17, 19, 15, 20. V obidvoch prípadoch sú najlepšie sklá 13 a 17. Zmena pomeru významnosti pôsobenia  $OVA$  a  $T_{liq}$  sa prejavila znížením hodnôt účelovej funkcie pri zvýšení významnosti pôsobenia  $OVA$ .

Tabuľka VII

Transformované hodnoty  $OVA$  a  $T_{liq}$  a hodnoty účelovej funkcie

Sklo číslo	Transformovaná hodnota $OVA$	Transformovaná hodnota $T_{liq}$	Hodnota účel. funkcie (1)	Hodnota účel. funkcie (2)
1.	0,979	0,057	0,132	0,191
2.	0,806	0,039	0,100	0,152
3.	0,078	0,086	0,082	0,081
4.	0,779	0,044	0,109	0,163
5.	0,919	0,388	0,511	0,576
6.	0,050	0,056	0,053	0,052
7.	0,601	0,292	0,390	0,439
8.	0,963	0,048	0,117	0,173
9.	0,558	1	0,662	0,621
10.	0,627	0,1	0,190	0,251
11.	0,363	0,914	0,487	0,437
12.	0,063	0,09	0,075	0,071
13.	0,926	0,980	0,945	0,938
14.	0,915	0,356	0,480	0,548
15.	0,746	0,930	0,807	0,784
16.	0,086	0,228	0,131	0,113
17.	0,816	0,920	0,856	0,841
18.	0,817	0,052	0,123	0,180
19.	0,947	0,740	0,805	0,836
20.	0,906	0,452	0,568	0,628
21.	0,490	0,090	0,169	0,222
22.	0,532	0,436	0,478	0,495
23.	0,920	0,060	0,137	0,197
24.	0,139	0,910	0,248	0,200
25.	0,912	0,260	0,385	0,458

(1) — významnosť pôsobenia  $OVA$  a  $T_{liq}$  1 : 1(2) — významnosť pôsobenia  $OVA$  a  $T_{liq}$  2 : 1

Pri vzájomnom porovnaní hodnôt účelovej funkcie pre sklá 13 a 17 je zrejmé, že sklo 13 je lepšie. V percentuálnom vyjadrení by sa dalo povedať, že sklo 13 vyhovuje našim požiadavkám na 94,5%, resp. 93,8% v závislosti na použitej účelovej funkcií, sklo 17 na 85,6% resp. 84,1%. V každom prípade sa jedná skoro o desať percentný rozdiel.

Na základe skúmania sústavy  $\text{CaO}—\text{Al}_2\text{O}_3—\text{BaO}—\text{Na}_2\text{O}—\text{ZrO}_2—\text{SiO}_2$  môžeme konštatovať, že sklo 13 zloženia v hmotnostných percentách,  $\text{CaO} = 7,10\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,0\%$ ,  $\text{BaO} = 7,0\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} = 10,1\%$ ,  $\text{ZrO}_2 = 4,5\%$ ,  $\text{MgO} = 0,21\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0,20\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,05\%$  a  $\text{SiO}_2 = 66,84\%$  je najvhodnejšie na prípravu alkalivzdorných sklených vlákien zo skúmaných skiel.

## ZÁVER

V práci boli matematicko-štatistickými metódami popísané vzťahy medzi odolnosťou voči alkáliám a zložením skiel a medzi teplotou liquidus a zložením skiel pre sklá vhodné na prípravu alkalivzdorných sklených vlákien s nízkym obsahom oxidu zirkoničitého. Na základe hodnôt účelovej funkcie sa určilo najvhodnejšie zloženie skla pre spomínaný účel. Zároveň sa ukázalo použitie spôsobu spracovania sústav s väčším počtom premenných, ktorý umožňuje odhaliť okrem pôsobenia jednotlivých premenných aj zmenu pôsobenia pri kombinácii jednotlivých premenných.

## Literatúra:

- [1] Volf, M.: *Chemie skla*, SNTL Praha 1978, str. 235.
- [2] Patent Veľká Británia 1 290 528.
- [3] Patent Veľká Británia 1 243 973.
- [4] Patent Veľká Británia 2 071 081.
- [5] Patent ČSSR 174 225.
- [6] Patent ČSSR 139 290.
- [7] Formánek, J.: Skla pro vlákna odolná vůči alkalickým roztokům určena pro výzvuž cementu, Inf. přehled 1979, XXII č. 1, SVÚS, Hradec Králové.
- [8] Vaniš M. a kol.: Výskumné správy, Výskum skloviny vhodnej pre výstuž stavebných dielov I.—V. CHTF—SVŠT, Bratislava 1977—1981.
- [9] Box G. E. P., Wilson K. B.: J. Royal Stat. Soc. 13, 1 (1951).
- [10] Kafarov V. V.: *Kybernetické metódy v chémii a chemickej technologii*, Alfa, Bratislava, 1978.
- [11] Liška M. a kol.: Priebežná výskumná správa dielnej úlohy ŠPZV IV-4-3/10, SLCCN SAV a VVÚS, Trenčín, 1984.
- [12] Markušovská E., Liška M.: *Skloobnictvo*, Skriptá CHTF SVŠT, Bratislava, 1983, str. 37.

## ЩЕЛОЧЕСТОЙЩЕСТЕКЛА С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОКСИДА ЧЕТЫРЕХВАЛЕНТИНОГО ЦИРКОНИЯ

Алфонз Плшко, Петер Лихвар, Петер Шимурка

Научно-исследовательский и проектный институт стекла, 912 50 Тренчин

В системе BaO—CaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Na<sub>2</sub>O—ZrO<sub>2</sub>—SiO<sub>2</sub>, которая оказывается перспективной с точки зрения получения щелочестойкого стекловолокна для арматуры цементов, была установлена зависимость щелочестойкости и температуры ликвидуса от состава с помощью метода запланированных испытаний.

Щелочестойкость, которая весьма важна с точки зрения устойчивости стекловолокна в цементах, связывается очень сложным способом со составом. Данная зависимость в исследуемых пределах концентрации отдельных оксидов, выражается следующим полиномом:

$$\bullet VA = 0,269205 (w(Na_2O))^2 + 9,924519 w(Al_2O_3) - 0,755320 w(Al_2O_3) \cdot w(Na_2O) + \\ + 1,509182 w(CaO) \cdot w(BaO) - 0,247570 w(CaO) \cdot w(Al_2O_3) \cdot w(BaO) - \\ 0,128997 w(CaO) \cdot w(BaO) \cdot w(Na_2O) + 0,020823 w(CaO) \cdot w(Al_2O_3) \cdot w(BaO) \cdot w(Na_2O).$$

Зависимость следует рассматривать как комплексное явление и нельзя обобщать влияние отдельных оксидов для всего предела исследуемых концентраций.

Величина температуры ликвидуса, которая является весьма важной с точки зрения обработки стекломассы в стекловолокно, обладает несложной зависимостью от состава.

$$T_{liq} = 1276,329715 - 28,937528 w(Na_2O) + 1,430925 w(CaO) \cdot w(Na_2O).$$

В исследуемых пределах состава величина температуры ликвидуса не зависит от содержания BaO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Повышение содержания CaO в исследуемых пределах состава

вызывает повышение температуры ликвидуса и повышение содержания  $\text{Na}_2\text{O}$  ее наоборот понижает.

Наиболее пригодный состав стекла, исследуя состав в системе  $\text{BaO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$ , установили с помощью целевой функции. Состав стекла приводится в процентах по весу:

7,0 %  $\text{BaO}$ , 7,1 %  $\text{CaO}$ , 4,0 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10,1 %  $\text{Na}_2\text{O}$ , 4,5 %  $\text{ZrO}_2$ , 0,21 %  $\text{MgO}$ , 0,20 %  $\text{K}_2\text{O}$ , 0,05 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и 66,84 %  $\text{SiO}_2$ .

*Рис. 1. Трансформация определяющих свойств на нормативные определяющие свойства.*

### ALKALI-RESISTANT GLASSES WITH A LOW CONTENT OF ZIRCONIA

Alfonz Plško, Peter Lichvář, Peter Šimurka

*Research and Development Institute of Glass 912 50 Trenčín*

Using the factorial experiment, the authors determined the dependence of alkali resistance and liquidus temperature on composition in the system  $\text{BaO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$ , which is considered suitable for the manufacture of glass fibres for GRC (glass-reinforced cement).

The resistance to alkalies, which is significant with respect to the durability of glass fibres in hydrated cements, is associated with composition in a complex manner. This dependence can be expressed by the following polynomial over the given concentration ranges of the individual oxides:

$$OVA = 0.269\ 205 (w(\text{Na}_2\text{O}))^2 + 9.924\ 519 w(\text{Al}_2\text{O}_3) - 0.755\ 320 w(\text{Al}_2\text{O}_3) \times \\ \times w(\text{Na}_2\text{O}) + 1.509\ 182 w(\text{CaO}) \times w(\text{BaO}) - 0.247\ 570 w(\text{CaO}) \times \\ \times w(\text{Al}_2\text{O}_3) \times w(\text{BaO}) - 0.128\ 997 w(\text{CaO}) \times w(\text{BaO}) \times w(\text{Na}_2\text{O}) + \\ + 0.020\ 823 w(\text{CaO}) \times w(\text{Al}_2\text{O}_3) \times w(\text{BaO}) \times w(\text{Na}_2\text{O}).$$

The relationship should be regarded as a complex phenomenon and the effect of the individual oxides cannot be generalized for the entire range of the concentration studied.

The value of the liquidus temperature, which is significant from the standpoint of processing the glass into fibre form, exhibits a simple dependence on composition:

$$T_{\text{liq}} = 1276.329715 - 28.937528w(\text{Na}_2\text{O}) + 1.430925w(\text{CaO}) \times w(\text{Na}_2\text{O}).$$

Over the concentration range in question, the liquidus temperature does not depend on the content of  $\text{BaO}$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . An increase in  $\text{CaO}$  content within the concentration range studied brings about an increase in the liquidus temperature; increasing the  $\text{Na}_2\text{O}$  content has the reverse effect. The most suitable composition of glass in the system  $\text{BaO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$  was determined with the use of the purpose function. The glass has the following composition in percent by weight: 7,0 %  $\text{BaO}$ , 7,1 %  $\text{CaO}$ , 4,0 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10,1 %  $\text{Na}_2\text{O}$ , 4,5 %  $\text{ZrO}_2$ , 0,21 %  $\text{MgO}$ , 0,20 %  $\text{K}_2\text{O}$ , 0,05 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and 66,84 %  $\text{SiO}_2$ .

*Fig. 1. Transformation of the determining properties to standardized determining properties.*

M. GRASSERBAUER, H. DUDEK, M. F. EBEL: ANGEWANDTE OBERFLÄCHENANALYSE MIT SIMS, AES UND XPS. (Aplikovaná analýza povrchů pomocí SIMS, AES a XPS). 1986, 400 str., 145 obr., 30 tab., NDR Akademie-Verlag Berlin.

Autoři se zabývají třemi nejdůležitějšími metodami analýzy povrchů technických materiálů, a to hmotovou spektrometrií sekundárních iontů (SIMS), Augerovou elektronovou spektroskopii (AES) a rentgen-fotoelektronovou spektrometrií (XPS). U každé metody jsou podány podrobné informace o fyzikálních principech metody, o přístrojové technice, kvalitativní a kvantitativní analýze, jakož i o praktickém využití pro konkrétní problémy, zejména z oblasti vývoje materiálů.

Němec