

Materiałoznawstwo optyczne

SZKŁO

- „Szkło optyczne i fotoniczne”, A. Szwedowski, R. Romaniuk, WNT, 2009
- „Technologia elementów optycznych”, Z. Legun, WNT, 1982

Definicja

1. ciało bezpostaciowe o właściwościach mechanicznych zbliżonych do ciała stałego, powstałe w wyniku przechłodzenia stopionych surowców, głównie mineralnych i innych surowców nieorganicznych bez krystalizacji składników.
2. produkt pozostający w swej masie w stanie nieskrystalizowanym, otrzymany z substratów po stopieniu i ostudzeniu poniżej temperatury wykrywalnej krystalizacji.

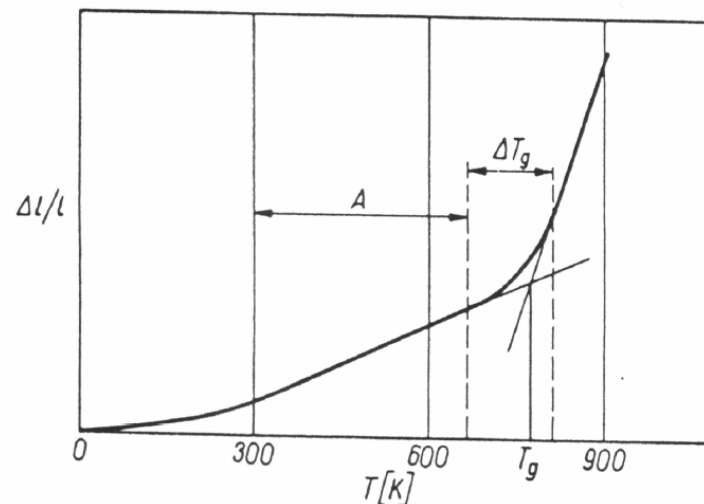
Brak uporządkowania struktury w przestrzeni szkła zbliża je do cieczy; sztywność postaci i kruchość do ciał stałych.

Definicja i budowa szkła

- przezroczystość i bezbrawność;
- izotropowość właściwości optycznych;
- jednorodność przejawiająca się nieobecnością naprężeń, smug, pęcherzy
- mała zmienność właściwości optycznych przy zmiennej temperaturze
- twardość, wytrzymałość mechaniczna – satysfakcjonujące
- możliwość uzyskania określonych właściwości optycznych przez komponowanie składu chemicznego i dobór parametrów procesu technologicznego wytwarzania,
- duża odporność na działanie wilgotnej atmosfery

istotne właściwości fizykochemiczne:

- Izotropowość (anizotropia pojawia się jako efekt zaburzenia jednorodności)
- Brak jednoznacznie zdefiniowanej temperatury topnienia charakterystycznej dla kryształów;
- Odwracalność procesu twardnienia i topnienia (o ile nie towarzyszy temu krystalizacja)



Typowe zmiany współczynnika rozszerzalności cieplnej $\Delta l/l$ szkła. Zaznaczono obszar A zmian w przybliżeniu liniowych oraz temperaturowy obszar transformacji ΔT_g .

Szklą nieorganiczne:

- pierwiastkowe: S, Se, Te
- tlenkowe: SiO_2 , B_2O_3 , GeO_2 , $\text{P}_2\text{O}_{5,2}$
- chalkogenkowe: np. GeS_2 , SnSe , GeTe
- fluorkowe: BeF_2 , ZnCl_2 , PBr_5 , ZrF_4 , ThF_4
- halogenkowe: chlorki z fluorkami, bromkami, jodkami
- inne: TiSO_4 , PbSO_4

Podstawowe składniki szkła tlenkowego:

- szkłotwórcze: SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , Al_2O_3 , GeO_2 , ZrO_2 , As_2O_3 ,
- modyfikatory: Na_2O , K_2O , LiO_2 , CsO_2 , TiO_2 , ThO_2 , CaO , MgO ,
 BaO , ZnO , PbO ,
- klarujące: tlenki As i Sb, NaSO_4 , NaNO_3 , KNO_3 ,
- barwniki: fiolet - Mn, Ni, Nd, niebieski - Co, Cu, zielony - Fe, Cr,
żółty - S, Ag, czerwony - Cu, Au, Se, S

Tabela 2.3. Podstawowe tlenkowe składniki szkła optycznego i ich działanie

Tlenek	Działanie
SiO ₂	podstawowy składnik szkłotwórczy
Al ₂ O ₃	zwiększa twardość, odporność chemiczną, poprawia stabilność termiczną
CaO	ułatwia formowanie, poprawia odporność chemiczną i właściwości mechaniczne
MgO	zazwyczaj zmniejsza temperaturę topnienia
B ₂ O ₃	zmniejsza lepkość, zmniejsza temperaturę topnienia, nie wpływa na twardość, znacznie poprawia odporność chemiczną, absorbuje promieniowanie podczerwone
Na ₂ O	zmniejsza lepkość, zmniejsza twardość
PbO	zwiększa współczynnik załamania i dyspersję, obniża temperaturę mięknienia, zwiększa współczynnik rozszerzalności cieplnej, nadaje zabarwienie
BaO	zwiększa współczynnik dyspersji, zmniejsza rozszerzalność cieplną, przesuwa krawędź absorpcji UV w stronę IR
P ₂ O ₅	poprawia przepuszczalność UV, zmniejsza współczynnik załamania i dyspersję, obniża odporność chemiczną i temperaturę mięknienia
GeO ₂	zwiększa współczynnik załamania, poprawia przepuszczalność IR i odporność chemiczną
TiO ₂	zwiększa współczynnik załamania i odporność chemiczną, zmniejsza przepuszczalność UV, zwiększa skłonność do krystalizacji
CeO ₂	zmniejsza absorpcję wywoływaną promieniowaniem jonizującym

Produkcja szkła

- surowce - inny skład niż odpowiadający składnikom masy szklanej (z wyjątkiem SiO_2)
np. aby wprowadzić Na_2O stosuje się Na_2CO_3
- w procesie wytopiania materiały te rozkładają się tworząc tlenki szkłotwórcze i gazy, które wydzielając się sprzyjają mieszaniu i homogenizacji
- stosuje się materiały wysokogatunkowe, a nawet materiały chemicznie czyste
- najbardziej szkodliwe - zanieczyszczenia żelaza i chromu
- podstawowy surowiec - piasek kwarcowy o uziarnieniu nie większym niż 0.5mm
- skład masy szklanej zmienia się w czasie procesu wytopiania, dlatego - wytopy doświadczalne
- przy wytopach produkcyjnych - do 35% stłuczki

Wpływ na jakość szkła mają:

- temperatura, która decyduje o skuteczności topnienia składników,
- warunki atmosfery decydujące o czystości szkła,
- ciśnienie gazów odpowiadające za jednorodność masy szklanej.

Szkło powstaje z masy szklanej, która składa się z:

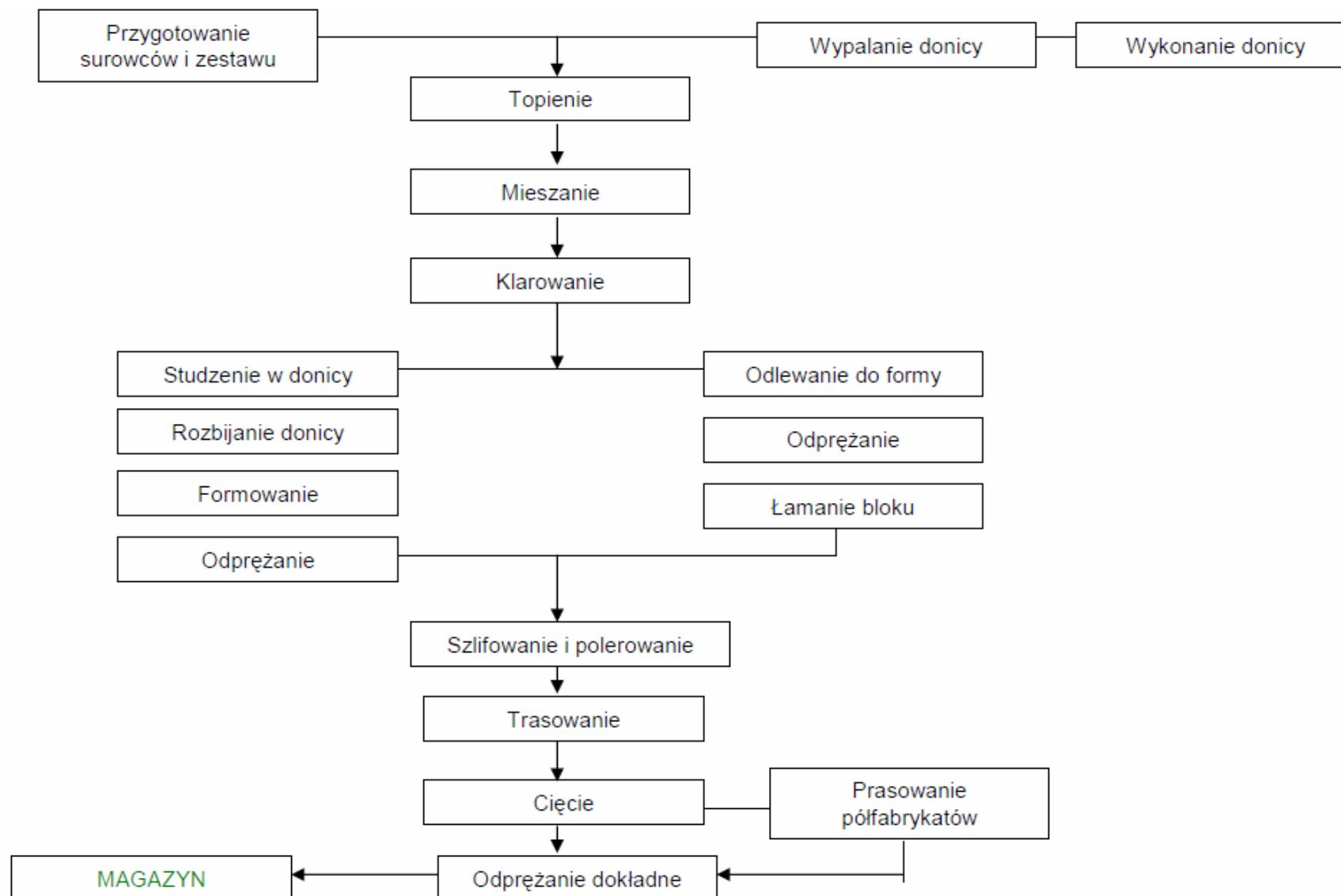
- piasku szklarskiego
- stłuczki
- węglanów sodu, wapnia i potasu, które są topnikami
- węglanu baru, który jest uszlachetniaczem

Produkcja szkła:

- sporządzenie mieszaniny produktów
- topnienie
- uformowanie szkła
- odprężanie szkła
- wykańczanie



Wytapianie w donicy ceramicznej



Obliczanie składu zestawu

Materiały	Ilość surowców konieczna dla otrzymania $Q = 100$ kg szkła	Zawartość tlenków, %							Ilość tlenków wprowadzonych przez 1 kg surowca, kg						
		SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	suma	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	suma
Szkło	Q	a_s	b_s	c_s	d_s	e_s	f_s	100	—	—	—	—	—	—	—
kładniki surowca zestawu															
A.....		a_A	b_A	c_A	d_A	e_A	f_A	100	a_1	b_1	c_1	d_1	e_1	f_1	1
B.....		a_B	b_B	c_B	d_B	e_B	f_B	100	a_2	b_2	c_2	d_2	e_2	f_2	1
C.....		a_C	b_C	c_C	d_C	e_C	f_C	100	a_3	b_3	c_3	d_3	e_3	f_3	1
D.....		a_D	b_D	c_D	d_D	e_D	f_D	100	a_4	b_4	c_4	d_4	e_4	f_4	1
E.....		a_E	b_E	c_E	d_E	e_E	f_E	100	a_5	b_5	c_5	d_5	e_5	f_5	1

Równania:

$$\text{dla SiO}_2 \quad a_s = xa_1 + ya_2 + za_3 + ta_4 + sa_5 \quad a_1 = \frac{a_A}{100}, \quad a_2 = \frac{a_B}{100}, \quad a_5 = \frac{Q_E}{100}$$

$$\text{dla B}_2\text{O}_3 \quad b_s = xb_1 + yb_2 + zb_3 + tb_4 + sb_5 \quad d_1 = \frac{d_A}{100}, \quad d_3 = \frac{d_C}{100}, \quad e_1 = \frac{e_A}{100}$$

$$\text{dla Al}_2\text{O}_3 \quad c_s = xc_1 + yc_2 + zc_3 + tc_4 + sc_5 \quad e_4 = \frac{e_D}{100} \quad \text{itd.}$$

$$\text{dla CaO} \quad d_s = xd_1 + yd_2 + zd_3 + td_4 + sd_5$$

$$\text{dla MgO} \quad e_s = xe_1 + ye_2 + ze_3 + te_4 + se_5$$

$$\text{dla Na}_2\text{O} \quad f_s = xf_1 + yf_2 + zf_3 + tf_4 + sf_5$$

Składy wagowe szkieł produkowanych w ZSRR

Rodzaj szkła	Cecha	Skład szkła (wagowy w %)											Odporność chemiczna			Ciężar właściwy
		SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	PbO	BaO	ZnO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Sb ₂ O ₃	As ₂ O ₃	Klasa	Współcz. odpor- ność na działanie 0,5 % kwasu octo- wego	Grupa	
Borowokrzemowy kron	K8	68,92	11,47	—	—	2,86	—	—	6,02	10,37	—	0,36	1	52	A	2,53
Krzemowy kron	K9	66,50	1,01	1,49	—	—	3,76	5,40	13,7	7,80	—	0,22	1—2	26	B	2,55
Barytowy kron	БК4	63,57	3,23	—	—	15,36	4,91	—	10,23	3,06	—	0,22	1	> 50	A	2,74
„ „	БК5	59,91	4,35	—	—	19,37	3,48	—	9,75	3,16	0,65	0,20	1	> 700	B	2,85
„ „	БК8	53,86	14,88	—	—	20,08	3,66	—	5,58	2,38	—	0,25	4	0,1	A	2,87
„ „	БК10	49,55	5,20	—	2,77	21,56	12,46	—	7,05	1,25	—	0,22	4	0,15	A	3,12
Kron flint	КФ3	67,23	—	—	12,67	—	3,33	—	—	16,82	—	—	2	1,1	—	2,73
Barytowy flint	БФ7	46,27	4,60	—	3,66	22,11	14,87	—	6,93	0,94	—	0,62	5	< 0,01	A	3,24
Lekki flint	ЛФ2	61,68	—	—	25,38	—	—	—	8,17	4,62	—	0,2	1—2	20	B	2,93
„ „	ЛФ5	53,60	—	—	36,25	—	—	—	10,05	—	—	0,1	1—2	120	A	3,22
Ciężki kron	TK2	49,82	3,27	—	—	30,23	9,42	—	6,59	—	0,55	0,12	3	4	A	3,21
„ „	TK5	32,39	14,10	3,09	—	45,98	2,88	—	—	—	—	1,54	5	< 0,01	—	3,58
„ „	TK6	34,02	9,25	5,92	—	50,31	—	—	—	—	—	—	5	< 0,01	A	3,59
„ „	TK8	37,96	3,76	4,28	—	42,95	9,60	—	—	—	—	0,11	5	< 0,01	—	3,59
„ „	TK10	30,25	11,85	2,9	—	45,0	9,50	—	—	—	—	0,50	5	< 0,01	A	3,64
Flint	Ф2	46,96	—	—	46,51	—	—	—	6,30	—	—	0,23	1	25	A	3,60
Ciężki flint	ТФ1	41,44	—	—	53,06	—	—	—	5,39	—	—	0,11	3	1	B	3,87
Szkło specjalne	02	47,23	20,88	2,89	—	1,48	—	—	5,59	8,36	19,07	—	5	< 0,01	B	2,57

Właściwości szkieł produkowanych w ZSRR

Rodzaj szkła	Cecha	S t a ł e o p t y c z n e									
		Współczynnik załamania n_D	Średnia dyspersja $n_F - n_C$	Współczynnik dyspersji ν	Dyspersje częściowe				$\frac{n_D - n_C}{n_F - n_C}$	$\frac{n_F - n_D}{n_F - n_C}$	$\frac{n_G - n_F}{n_F - n_C}$
					$n_G - n_D$	$n_D - n_C$	$n_F - n_D$	$n_G - n_F$			
Borowokrzemowy kron	K8	1,5163	0,00806	64,1	0,01016	0,00240	0,00566	0,00450	0,298	0,702	0,558
Krzemowy kron	K9	1,5181	0,00879	58,9	0,01118	0,00260	0,00619	0,00499	0,296	0,704	0,568
Barytowy kron	BK4	1,5302	0,00877	60,5	0,01112	0,00260	0,00617	0,00495	0,296	0,704	0,564
„ „	BK5	1,5399	0,00905	59,7	0,01151	0,00268	0,00637	0,00514	0,296	0,704	0,568
„ „	BK8	1,5467	0,00871	62,8	0,01112	0,00259	0,00612	0,00500	0,297	0,703	0,574
„ „	BK10	1,5688	0,01015	56,0	0,01296	0,00300	0,00715	0,00581	0,296	0,704	0,572
Kron — flint	KΦ3	1,5262	0,01032	51,0	0,01328	0,00302	0,00730	0,00598	0,293	0,707	0,579
Barytowy flint	BΦ7	1,5795	0,01076	53,9	0,01382	0,00315	0,00761	0,00621	0,293	0,707	0,577
Lekki flint	ЛΦ2	1,5430	0,01195	45,9	0,01566	0,00345	0,00850	0,00706	0,289	0,711	0,591
„ „	ЛΦ5	1,5749	0,01392	41,3	0,01826	0,00400	0,00992	0,00834	0,287	0,713	0,599
Ciężki kron	TK2	1,5724	0,00996	57,5	0,01271	0,00294	0,00702	0,00569	0,295	0,705	0,571
„ „	TK5	1,6126	0,01046	58,6	0,01330	0,00309	0,00737	0,00593	0,295	0,705	0,567
„ „	TK6	1,6126	0,01050	58,3	0,01336	0,00309	0,00741	0,00595	0,294	0,706	0,567
„ „	TK8	1,6140	0,01114	55,1	0,01427	0,00327	0,00787	0,00640	0,294	0,706	0,575
„ „	TK10	1,6227	0,01095	56,9	0,01400	0,00321	0,00774	0,00626	0,293	0,707	0,572
Flint	Φ2	1,6164	0,01684	36,6	0,02229	0,00480	0,01204	0,01025	0,285	0,715	0,609
Ciężki flint	TΦ1	1,6475	0,01912	33,9	0,02546	0,00542	0,01370	0,01176	0,283	0,717	0,615
Szkło specjalne	02	1,5294	0,01022	51,8	0,01309	0,00301	0,00721	0,00588	0,295	0,705	0,575

Skład chemiczny szkieł produkowanych w Zakładach Schotta w Jenie (NRD)

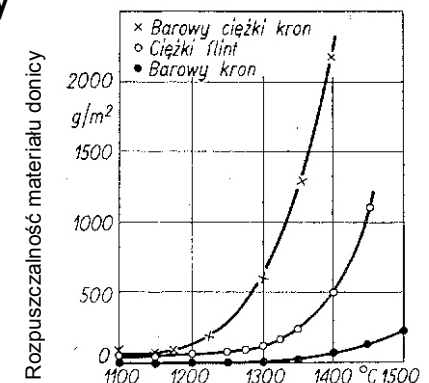
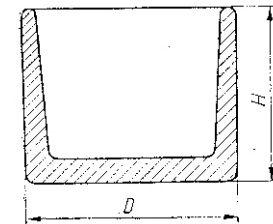
Rodzaj szkła	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	ZnO	BaO	PbO	Sb ₂ O ₃	As ₂ O ₃	TiO ₂	KHP ₂	La ₂ O ₃	ThO ₃	AlF ₃
FK 1	51,0	18,3	8,3	—	7,8	—	—	—	—	—	0,2	—	14,4	—	—	—
FK 3	47,7	17,4	14,0	2,2	2,4	—	—	—	—	—	0,3	—	16,0	—	—	—
FK 5	56,9	15,7	—	—	5,6	—	—	—	—	—	0,2	—	21,6	—	—	—
FK 6	47,2	13,5	16,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32,5	—	—	6,5
PK 1	68,2	1,5	1,3	—	12,1	—	0,5	3,0	—	—	—	—	2,4	—	—	—
PSK 1	53,9	12,0	2,5	4,6	4,1	—	—	22,4	—	—	0,5	—	—	—	—	—
PSK 2	43,3	18,5	1,0	2,5	4,0	—	—	30,2	—	—	0,5	—	—	—	—	—
BK 1	71,4	6,5	—	5,2	13,9	2,0	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—
BK 7	68,9	10,1	—	8,8	8,4	—	—	2,8	—	—	1,0	—	—	—	—	—
BK 8	66,9	10,2	—	9,0	8,5	—	—	5,1	—	—	0,3	—	—	—	—	—
BK 12	68,4	13,4	—	12,2	3,0	1,0	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—
BaLK 1	62,1	3,5	—	5,0	14,5	—	3,0	11,6	—	—	0,3	—	—	—	—	—
K 5	65,0	3,5	—	5,8	13,3	2,5	8,2	—	1,0	—	0,7	—	—	—	—	—
K 8	70,7	2,8	—	5,8	11,3	—	—	6,4	2,8	—	0,4	—	—	—	—	—
K 10	74,6	—	3,0	7,0	5,0	—	—	—	8,4	1,1	0,3	—	1,6	—	—	—
ZK 1	55,7	7,0	—	1,0	16,0	—	20,0	—	—	—	0,3	—	—	—	—	—
ZK 4	69,4	—	—	6,3	12,0	—	11,0	—	1,0	—	0,3	—	—	—	—	—
ZK 7	64,4	12,0	4	7,8	—	—	11,1	—	—	—	0,7	—	—	—	—	—
BAK 1	47,7	4,2	1,0	1,0	7,5	—	8,6	29,0	—	—	1,0	—	—	—	—	—
3 BAK 2	59,6	3,0	—	3,0	10,0	—	4,8	19,0	—	—	0,6	—	—	—	—	—
BAK 6	50,9	6,8	—	4,0	4,5	—	4,0	27,2	0,4	—	7	1,5	—	—	—	—
SK 1	40,1	5,7	2,5	—	—	—	8,5	42,2	0,5	—	0,5	—	—	—	—	—
SK 3	35,0	11,9	4,5	0,5	—	—	—	45,9	0,6	1,6	1,0	—	—	—	—	—
SK 4	33,2	1,9	5,5	—	—	—	—	47,8	0,3	0,3	1,0	—	—	—	—	—
SK 5	38,7	14,9	5,0	—	—	—	—	40,1	—	0,3	1,0	—	—	—	—	—
SK 10	30,6	11,7	5,0	0,1	—	—	2,0	48,2	0,7	0,8	1,0	—	—	—	—	—
SK 14	35,3	15,5	4,0	0,5	—	—	—	44,0	—	0,2	0,5	—	—	—	—	—
SK 15	31,3	12,0	4,0	—	—	—	2,0	49,7	—	—	1,0	—	—	—	—	—
SK 16	30,8	17,9	1,4	0,3	—	—	—	48,7	—	0,4	0,5	—	—	—	—	—
SK 18	30,0	15,0	1,0	—	—	1,0	1,8	48,9	—	0,3	0,5	1,5	—	—	—	—
SK 21	19,2	17,9	1,4	—	—	—	—	48,6	—	0,4	0,5	—	—	—	12,0	—

Skład chemiczny szkieł produkowanych w Zakładach Schotta w Jenie (NRD)

SK 22	15,6	18,0	0,5	—	—	—	—	48,0	—	0,4	0,5	—	—	3,0	14,0	—
KF 1	61,5	2,5	—	6,0	12,0	2,0	—	—	15,6	—	0,4	—	—	—	—	—
KF 2	66,7	—	—	15,9	—	—	3,5	—	12,9	—	1,0	—	—	—	—	—
KF 3	70,0	—	1,5	16,6	—	—	5,0	—	3,5	0,5	1,0	1,2	1,2	—	—	—
BaLF 1	53,8	—	—	1,5	9,5	—	10,0	14,2	10,7	—	0,3	—	—	—	—	—
BaLF 4	48,7	4,5	—	2,5	4,7	—	15,7	20,8	1,0	—	1,0	1,1	—	—	—	—
BaLF 5	57,2	—	—	2,0	11,0	—	8,0	14,0	6,7	0,1	0,8	—	0,3	—	—	—
BaLF 7	46,7	1,0	1,0	1,9	5,6	—	11,0	24,7	7,6	—	0,5	—	—	—	—	—
SSK 1	38,8	6,0	2,5	—	—	—	8,0	39,7	4,0	—	1,0	—	—	—	—	—
SSK 3	41,1	4,0	1,3	—	2,1	—	8,3	34,5	8,2	—	0,5	—	—	—	—	—
SSK 5	30,1	10,1	0,7	—	—	3,5	5,1	46,7	—	0,3	0,5	0,3	—	—	—	—
SSK 10	14,1	16,5	0,1	—	—	—	—	47,8	—	0,5	0,5	—	—	11,0	9,5	—
LLF 2	63,2	—	—	5,0	8,0	—	—	—	23,5	—	0,3	—	—	—	—	—
LLF 4	57,6	1,0	—	4,7	8,5	1,4	—	—	26,6	—	0,2	—	—	—	—	—
LLF 8	51,6	7,9	8,5	—	11,3	—	—	—	1,2	—	0,5	10,3	14,8	—	—	—
BaF 2	51,6	—	—	1,7	10,3	—	12,4	11,6	12,1	—	0,3	—	—	—	—	—
BaF 3	50,2	—	—	1,0	8,4	—	7,6	13,6	18,7	—	0,5	—	—	—	—	—
BaF 4	45,5	—	—	0,5	7,3	—	8,0	15,8	22,5	—	0,4	—	—	—	—	—
BaF 6	48,6	1,0	—	0,5	6,3	—	8,4	20,5	14,2	—	0,5	—	—	—	—	—
BaF 9	35,3	5,3	2,2	—	—	—	8,2	36,1	12,3	—	0,4	0,2	—	—	—	—
BaF 10	30,9	9,2	0,3	—	—	4,0	5,3	41,3	4,6	0,5	0,3	3,6	—	—	—	—
LF 1	54,3	—	—	4,4	7,8	—	1,0	1,5	30,7	—	0,3	—	—	—	—	—
LF 2	50,1	1,0	—	4,4	7,9	—	—	2,7	33,6	—	0,3	—	—	—	—	—
LF 7	33,9	—	—	2,5	7,9	—	—	—	34,9	—	0,8	—	—	—	—	—
F 8	50,2	0,4	—	3,8	5,6	—	—	—	39,7	—	0,3	—	—	—	—	—
BaSF 2	38,3	—	—	2,5	4,4	—	5,0	13,0	34,5	—	0,3	2,0	—	—	—	—
BaSF 3	46,3	—	—	0,5	8,0	—	3,7	8,0	33,0	—	0,5	—	—	—	—	—
BaSF 7	24,9	11,0	2,0	0,3	—	7,0	3,4	33,8	11,0	0,4	0,3	5,9	—	—	—	—
BaSF 8	23,6	10,5	1,5	—	—	7,0	5,9	29,3	14,2	0,4	0,6	7,0	—	—	—	—
SF 2	40,9	—	—	0,5	6,8	—	—	—	50,8	—	1,0	—	—	—	—	—
SF 5	38,7	—	—	1,5	3,9	—	—	—	55,6	—	0,3	—	—	—	—	—
SF 6	26,9	—	—	0,5	1,0	—	—	—	71,3	—	0,3	—	—	—	—	—
SF 10	35,3	—	—	2,0	2,5	—	—	—	55,7	—	0,5	4,0	—	—	—	—
SF 11	29,2	—	2,5	0,5	—	—	—	—	63,3	—	0,5	4,0	—	—	—	—
PKS 1	—	4,0	9,0	—	11,6	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—
SFS 1	20,3	—	—	—	0,4	—	—	—	79,0	—	0,3	—	—	—	—	—

donice do szkła optycznego

- donica szamotowa - grubościennie naczynie o średnicy <100cm, wysokości ok. 90cm z wysokogatunkowej gliny- kaolinu z dodatkiem szamotu (65%) w celu zmniejszenia skurczu
- własności: ogniotrwałość do 1600° C
 - duża odporność na działanie składników roztopionej masy szklanej
 - odporność na szoki temperaturowe
 - wytrzymałość mechaniczna
- wytwarzanie : przez odlewanie do form gipsowych
- donicy używa się tylko raz
- wpływ na jakość szkła ma odporność donicy na działanie chemiczne masy szklanej
- aby zmniejszyć to oddziaływanie - donice o minimalnej porowatości
- ostatnio stosowana metoda- powlekanie wnętrza donicy warstwą chemicznie odporną

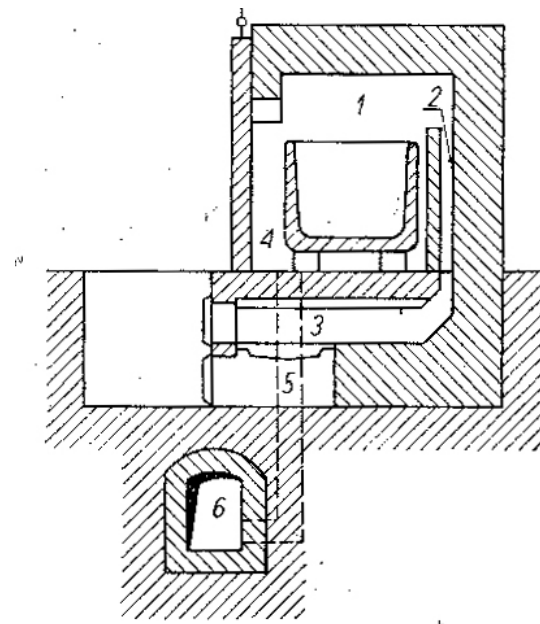


wytapianie masy szklanej

- wypalanie donicy
- przeniesienie donicy do pieca do topienia
- dopalenie donicy w piecu do topienia
- okresowe załadowanie donicy stłuczką i zestawem
- klarowanie masy szklanej
- homogenizacja masy szklanej
- chłodzenie masy szklanej lub odlewanie masy do formy
- dalsza obróbka (mechaniczna i termiczna brył szkła)

wypalanie donicy

- donica po wysuszeniu - do pierwszej fazy wypalania, tzw. temprownia
- produkty spalania doprowadzane z paleniska 3 przez kanał 2 do komory wypalania 1
- gazy wchodzą do komina przez kanały 4,5,6

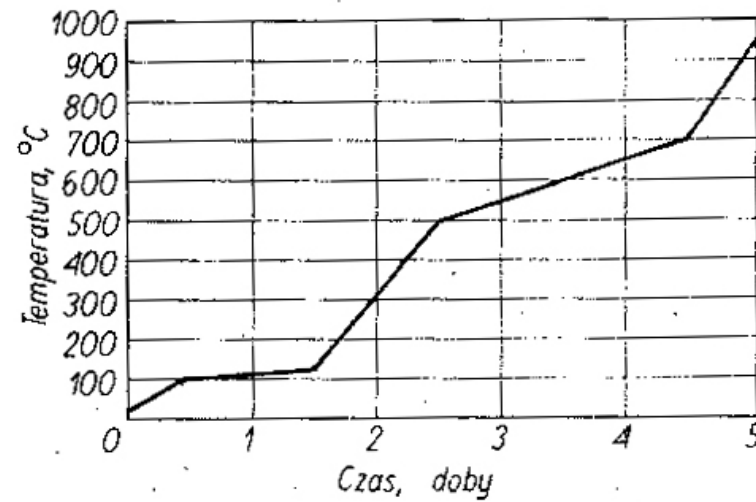


Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982



wypalanie donicy

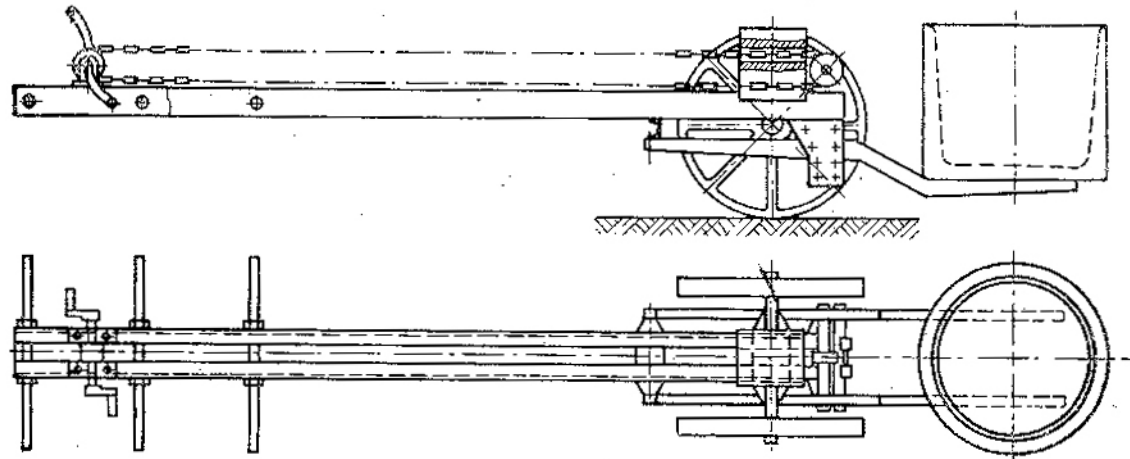
- warunki cieplne wypalania - rys.30.5
- czas wypalania 4-5 dób
- w piecach elektrycznych 2 doby
- temprowanie kończy się w temp. 950°C



Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982

Technologia wytopu -wypalanie donicy

- przewożenie donicy do pieca do topienia o temp. ok. 1000°C za pomocą specjalnego wózka
- po wstawieniu donicy temp. w piecu zwiększa się szybko do 1450°C, zmniejsza się wtedy porowatość donicy, materiał donicy staje się bardziej zwarty



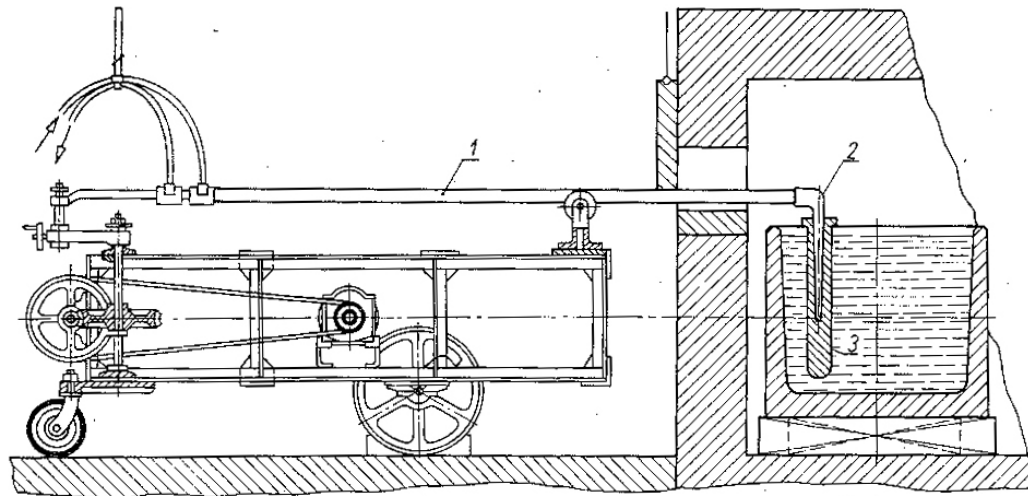
Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982

przebieg topienia szkła

- w piecach donicowych z reguły wytapia się tylko jeden gatunek szkła ze względu na odrębne warunki cieplne
- wstawienie donicy
- wsypuje się tyle stłuczki, aby po stopieniu utworzyła się warstwa grubości kilku cm; warstwa ta powleka dno i częściowo ścianki naczynia
- zasypywanie zestawu : kilkakrotnie (co 1.5-2h), po stopieniu poprzedniego zasypu
- roztopiona masa: dużo pęcherzyków gazowych i smug (duża lepkość uniemożliwia homogenizację)
- zwiększenie temperatury pieca
- homogenizacja : przez wydzielanie gazów i energiczne mieszanie
- w pierwszej fazie homogenizacji: zanurzenie rury doprowadzającej powietrze lub tlen; powstające duże pęcherze mieszają; zastosowanie tlenu sprzyja odbarwieniu (utlenianie związków żelaza)

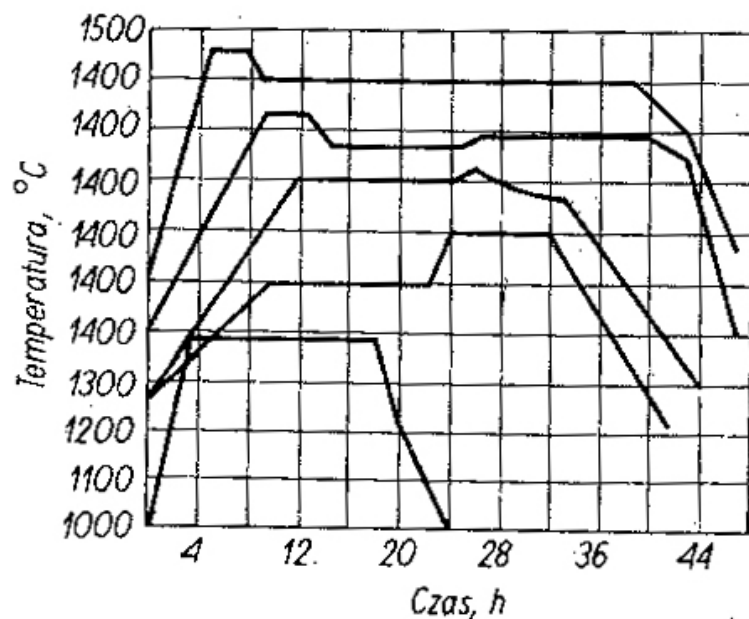
przebieg topienia szkła (cd.)

- mechaniczne mieszanie
- szamotowy trzpień 3 wcześniej podgrzany zanurza się w masie szklanej i zawiesza na haku 2 ramienia 1; ramię jest chłodzone wodą
- proces mieszania trwa 3-20 h
- liczba obrotów zmniejsza się pod koniec od 30obr/min do 3obr/min

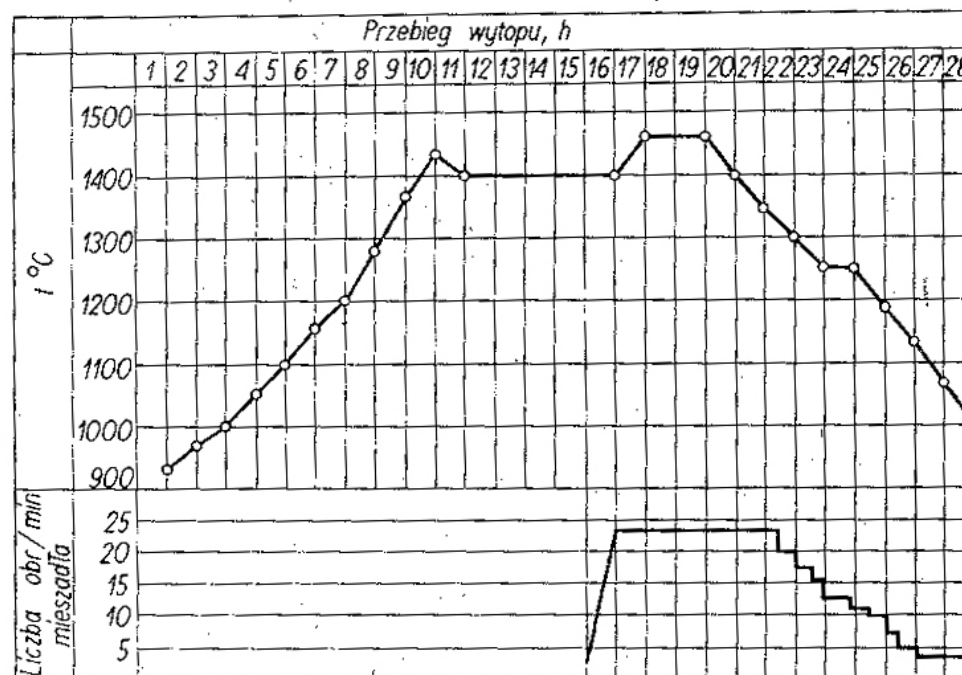


przebieg topienia szkła (cd.)

- proces topienia : ustalany doświadczalnie , różny w różnych zakładach produkcyjnych
- jeden wytop trwa przeciętnie 25-30h
- warunki topienia jednego z kronów wraz z częstotliwością mieszania



Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982



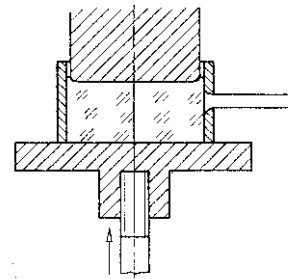
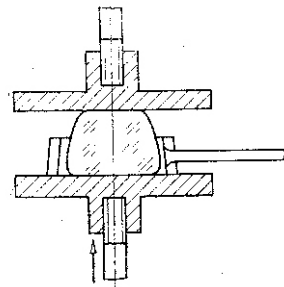
Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982

wytwarzanie półfabrykatów

- przez: studzenie masy szklanej w donicy lub przez kształtowanie poza donicą
- donica: po upływie krótkiego czasu (ok.. 0,5-1,5 h) od wyjęcia z pieca posypuje się wierzch piaskiem, po następnej godzinie donicę otacza się blaszaną obudową o większej średnicy, a w przerwę pakuje się materiał termoizolacyjny, taka donica stoi 8-10 dni
- zbyt szybkie chłodzenie: naprężenia
- zbyt wolne: jedna duża bryła
- optymalne chłodzenie: szkło pęka na wiele brył wygodnych w dalszej obróbce

kształtowanie szkła

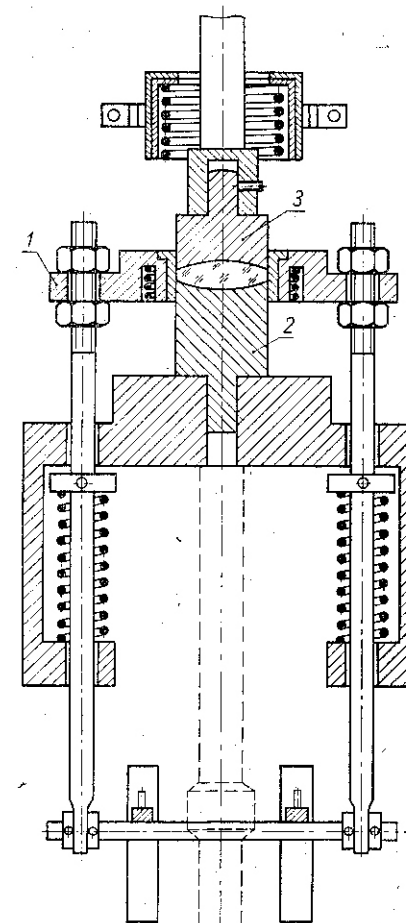
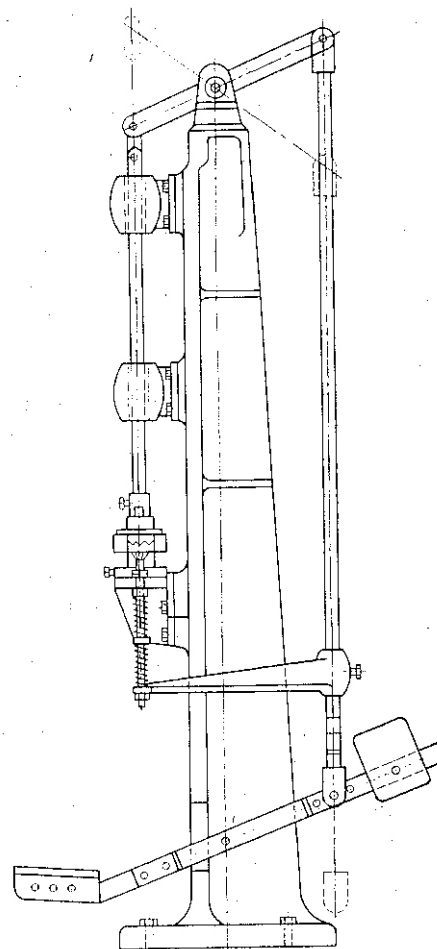
- bryły posegregowane wg wielkości nagrzewa się do temp. rozmiękczenia szkła
- plastyczne bryły wypełniają formy pod wpływem własnego ciężaru lub pod naciskiem prasy
- piec o ciągłym działaniu do kształtowania bloków szkła
- ruchome wózki przesuwają się w ogrzewanym tunelu
- piec tunelowy do form prasowanych
- górny kanał: nagrzewanie, dolny- wstępne odprężanie
- rys.: formy do kształtowania masy szklanej
- wady metod (powodują straty do 30% przerabianego szkła): rysy, zniekształcenia z powodu przedwczesnego wyjmowania z form, wtrącenia mat. Pomocniczych, niecałkowite wypełnienie form wskutek małej bryły lub niedostecznej plastyczności;



kształtowanie szkła

prasówka :

- ma kształt pojedynczego elementu z pewnymi nadatkami
- do prasówek: wstępnie wyselekcjonowane szkło (przedpraski)
- rys : prasa i forma do prasowania soczewek
- wyrób prasówek z pręta szklanego

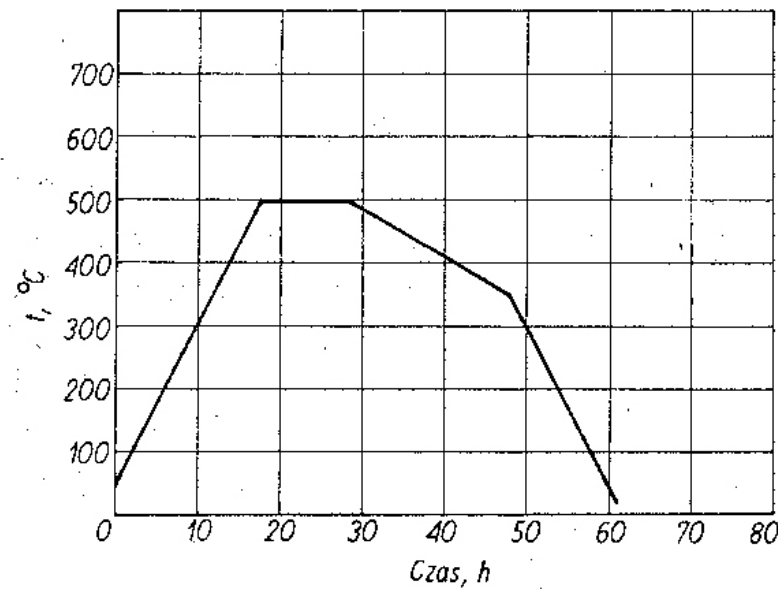


wytapianie szkła w tyglach platynowych

- donice i wanny
- tygiel : walec o poj. 50l z otworem spustowym na dnie
- ogrzewanie indukcyjne prądem zmiennym

odprężanie szkła + wykańczanie

- b. ważne ze względu na naprężenia
- szkło nagrzewa się do temp. transformacji T_g
- trzyma się je do zaniku naprężeń
- stopniowe chłodzenie
- przebieg odprężania : poniżej



Z. Legun „Technologia elementów optycznych” WNT Warszawa 1982

Kryteria oceny jakości optycznej szkła optycznego.

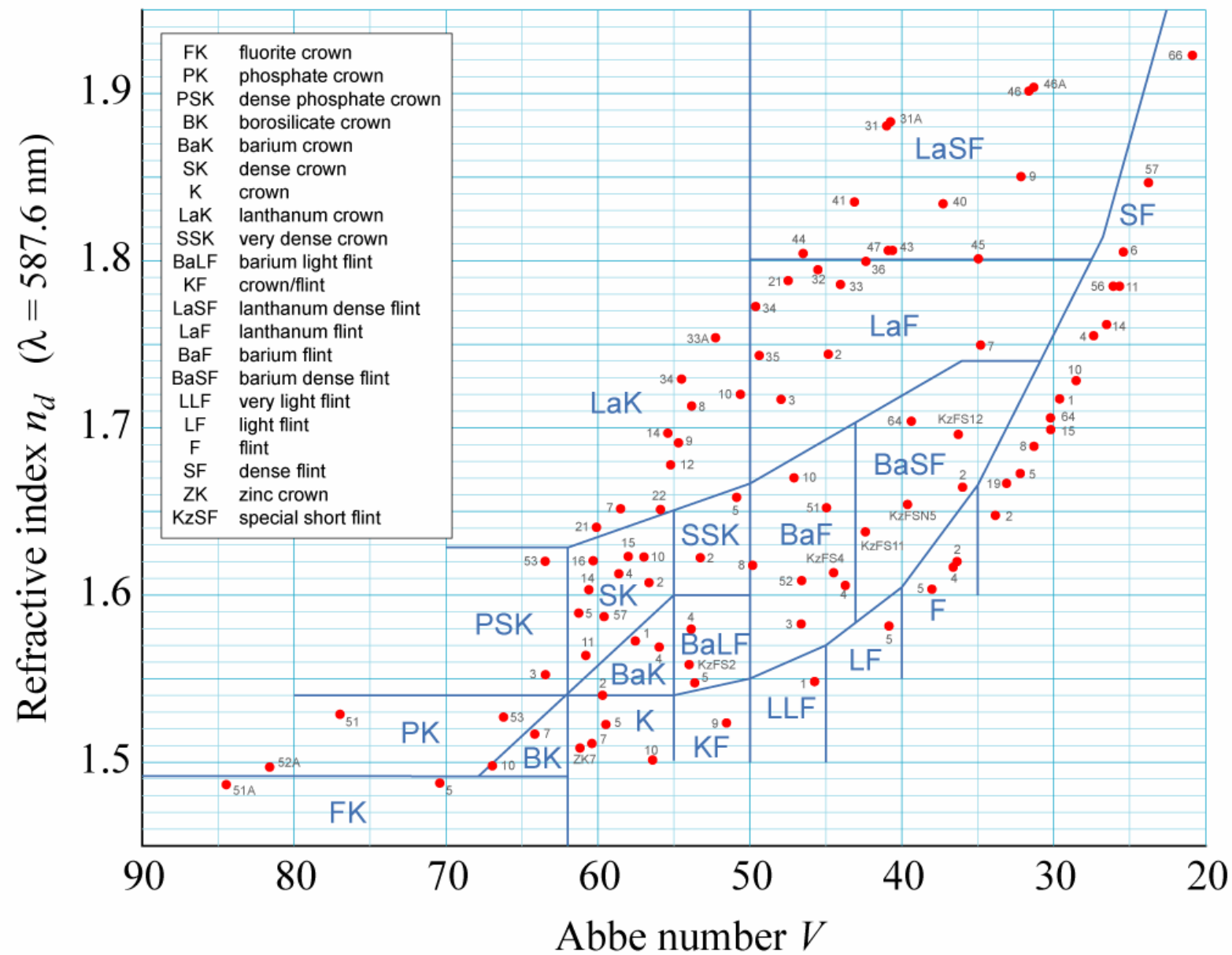
- zaburzenia jednorodności współczynnika załamania
 - Niejednorodności przestrzenne:
 - Mikroniejednorodności mniejsze lub porównywalne z długością fali światła;
 - Niejednorodności o małych wymiarach, o względnie dużym gradiencie współczynnika załamania-smugi;
 - Niejednorodności rozciągłe o małym gradiente współczynnika załamania;
 - Pęcherze i wtrącenia
 - Niejednorodność związana z kierunkiem – dwójłomność naprężeniowa
- nieoptyczne właściwości szkła optycznego
 - Właściwości mechaniczne (gęstość, współczynnik Poissona, właściwości termosprężyste, twardość, wytrzymałość, lepkość)
 - Właściwości cieplne (charakterystyczne temperatury- temp. transformacji, dolna temp. odprężenia, górna temp. Odprężenia, ciepło właściwe, przewodność cieplna, rozszerzalność cieplna)
 - Właściwości chemiczne (odporność na działanie wilgotnej atmosfery, wody, kwasów i zasad)
 - Właściwości elektryczne (przewodność elektryczna, przenikalność elektryczna, wytrzymałość elektryczna na przebicie)

Szkła optyczne – karta katalogowa

Ogólne informacje o sposobie normowania i zapisu właściwości materiałów:

- opis sposobu normowania niejednorodności optycznej i klasyfikacja wad (pecherzowatość, smużystość, dwójłomność naprężeniowa)
- komentarz do zapisu charakterystyki spektralnej
- opis sposobu definiowania właściwości termooptycznych, elektrooptycznych, magnetoptycznych, elastooptycznych
- klasyfikacja znormowanych właściwości chemicznych
- wyjaśnienie zapisów dyspersji współczynników załamania
- wykres Abbego
- lista szkieł zawartych w katalogu z wartościami współczynnika załamania i współczynnika dyspersji
- oferowane typowe wymiary półfabrykatów

Zbiór kart z danymi liczbowymi charakteryzującymi właściwości poszczególnych szkieł



- Szkła optyczne o małej dyspersji – krony (z reguły mają też mniejszy współczynnik załamania)

$$v_d < 55, \text{ jeśli } n_d < 1.6$$

$$v_d < 50, \text{ jeśli } n_d > 1.6$$

- Szkła optyczne o dużej dyspersji – flinty (z reguły mają wyższy współczynnik załamania)

$$v_d > 55, \text{ jeśli } n_d < 1.6$$

$$v_d > 50, \text{ jeśli } n_d > 1.6$$

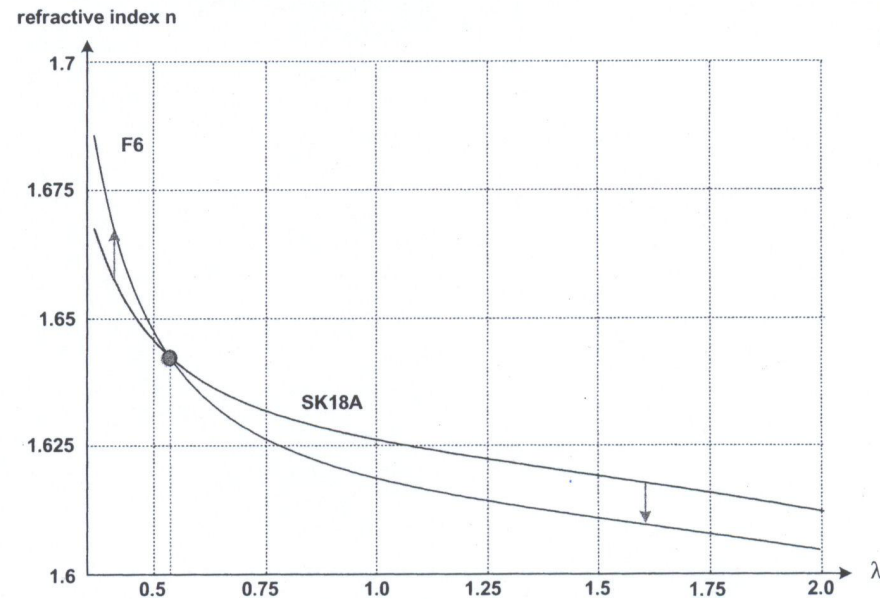
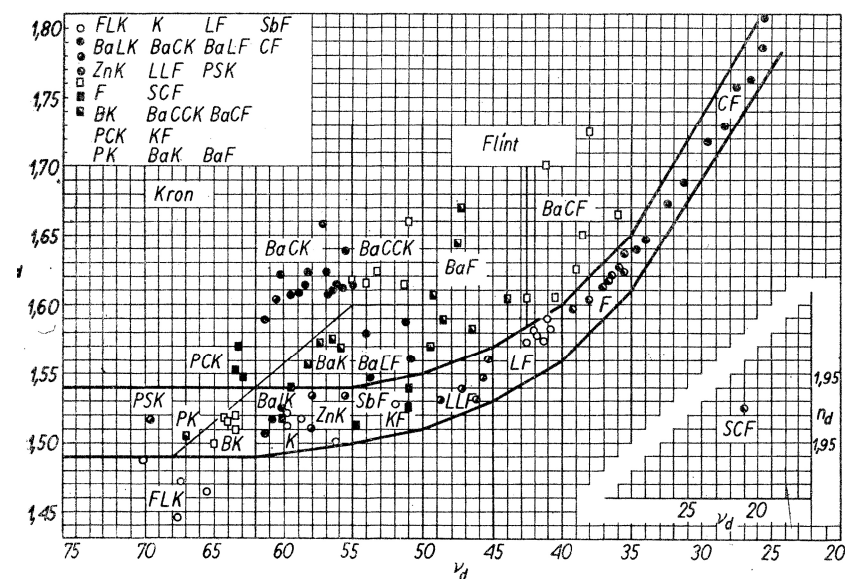


Figure 4-3: Dispersion of the refractive index of a crown and a flint glass.

Rodzaje szkła

Typ szkła	Oznaczenie typu i rodzaju		Współczynnik załamania n_d	Liczba Abbego v
Fluorowy kron	FIK	445-68	1,4451	67,7
Fosfatowy kron	PK	504-67	1,5043	66,9
Fosfatowy ciężki kron	PCK	548-63	1,5478	63,0
Borowy kron	BK	498-65	1,4982	65,0
Barowy lekki kron	BaLK	518-61	1,5180	60,9
Kron	K	501-56	1,5012	56,3
Cynkowy kron	ZnK	508-61	1,5082	61,2
Barowy kron	BaK	540-60	1,5400	59,6
Barowy ciężki kron	BaCK	589-61	1,5892	61,3
Kron flint	KF	515-55	1,5146	54,7
Barowy lekki flint	BaLF	547-54	1,5474	53,7
Barowy bardzo ciężki kron	BaCCK	615-51	1,6148	51,2
Bardzo lekki flint	LLF	532-49	1,5318	48,8
Barowy flint	BaF	570-50	1,5697	49,4
Lekki flint	LF	573-43	1,5732	42,6
Flint	F	595-39	1,5954	39,2
Barowy ciężki flint	BaCF	604-42	1,6035	42,5
Ciężki flint	CF	640-35	1,6400	34,6
Antymonowy flint	SbF	529-52	1,5294	51,8
Szkła specjalne	PSK	517-70	1,5173	69,6
	SCF	923-21	1,9229	20,9



$n_d = 1,51634$	$v_d = 64,06$	$n_F - n_C = 0,00806$
$n_e = 1,51826$	$v_e = 63,83$	$n_F' - n_C' = 0,00812$

BK 516-64	Nr kodu Code No.
	516-64

WSPÓŁCZYNNIKI ZAŁAMANIA
REFRACTIVE INDICES

Długość fali Wave length λ / nm /	Linie spektr. Spectral Line	Współczynniki załamania Refractive Indices
1014,0	n_t	1,50683
852,1	n_s	1,50934
768,2	$n_{A'}$	1,51100
706,5	n_r	1,51243
656,3	n_C	1,51387
643,8	$n_{C'}$	1,51487
589,3	n_D	1,51627
587,6	n_d	1,51634
546,1	n_e	1,51826
486,1	n_F	1,52193
480,0	$n_{F'}$	1,52239
435,8	n_g	1,52625
404,7	n_h	1,52983
365,0	n_i	1,53585

WZGLĘDNE DYSPERSJE CZĘŚCIOWE
RELATIVE PARTIAL DISPERSIONS

$\frac{n_C - n_{A'}}{n_F - n_C}$	0,3561	$\frac{n_{C'} - n_{A'}}{n_{F'} - n_{C'}}$	0,4027
$\frac{n_d - n_C}{n_F - n_C}$	0,3065	$\frac{n_d - n_{C'}}{n_{F'} - n_{C'}}$	0,2549
$\frac{n_e - n_C}{n_F - n_C}$	0,5447	$\frac{n_e - n_{C'}}{n_{F'} - n_{C'}}$	0,4914
$\frac{n_e - n_d}{n_F - n_C}$	0,2382	$\frac{n_e - n_d}{n_{F'} - n_{C'}}$	0,2365
$\frac{n_F - n_e}{n_F - n_C}$	0,4553	$\frac{n_{F'} - n_e}{n_{F'} - n_{C'}}$	0,5086
$\frac{n_g - n_F}{n_F - n_C}$	0,5360	$\frac{n_g - n_{F'}}{n_{F'} - n_{C'}}$	0,5320
$\frac{n_h - n_g}{n_F - n_C}$	0,4442	$\frac{n_h - n_g}{n_{F'} - n_{C'}}$	0,4409
$\frac{n_i - n_h}{n_F - n_C}$	0,7469	$\frac{n_i - n_h}{n_{F'} - n_{C'}}$	0,7414

ODCHYLEKI WZGLĘDNYCH
DYSPERSJI CZĘŚCIOWYCH
OD PROSTEJ NORMALNEJ
DEVIATIONS OF RELATIVE
PARTIAL DISPERSIONS
FROM THE "NORMAL" LINE

$\Delta P_{g,F}$	0,0013
$\Delta P_{i,g}$	-0,0069
$\Delta P_{C,i}$	-0,0197
$\Delta P'_{g,F'}$	0,0020
$\Delta P'_{C,i}$	-0,0206
$\Delta P'_{F',e}$	-0,0010

STAŁE WZORU DYSPERSYJNEGO
CONSTANTS OF DISPERSION FORMULA

A_0	0,229769589 E+1
A_1	-0,234028885 E-1
A_2	-0,815124692 E-2
A_3	0,565149306 E-2
A_4	-0,704312533 E-3
A_5	0,330383183 E-4

UV KRAWĘDŹ ABSORPCJI
UV ABSORPTION EDGE

Grubość Thickness	$\lambda / \tau - 0,1$ / [nm]	$\lambda / \tau - 0,5$ / [nm]
10 mm	322	341
50 mm	342	360

WŁASNOŚCI CHEMICZNE
CHEMICAL PROPERTIES

Odporność Resistance	
na kwasy to Acids	I
na wpływy atmosferyczne to Weather	A

WŁASNOŚCI TERMICZNE
THERMAL PROPERTIES

Temperatura transformacji Transformation Temperature	T_g [K]	817
Temperatura mięknięcia Softening Temperature	T_m [K]	868
Liniowy współczynnik rozszerzalności Linear Expansion Coefficient [$10^{-4} / K$]		
$^{293 K}$ $^{213 K}$	$^{398 K}$ $^{298 K}$	$^{573 K}$ $^{293 K}$
71	77	84

WŁASNOŚCI MECHANICZNE
MECHANICAL PROPERTIES

Moduł Younga Young's Modulus	E [$10^9 N/m^2$]	7838
Moduł ścinania Rigidity Modulus	G [$10^9 N/m^2$]	3208
Stożek Poissona Poisson Ratio	μ	0,22
Twardość szlifowania Grinding Hardness	t_s	1,0

INNE WŁASNOŚCI
OTHER PROPERTIES

Gęstość Density	ρ [$10^3 kg/m^3$]	2,53
Uwagi Remarks		

Szkła optyczne – pozakatalogowe

Szkła serii 100 wg BN-76/6861-04 lub „G” wg Schotta

- uodpornione na działanie promieniowania γ
- oznaczenie: symbol typowego szkła optycznego i symbol dodatkowy, np.: BK 100-51664 lub BK7 G 18 (1,8% zawartości CeO_2).
- wymagania: określony przyrost gęstości optycznej po naświetleniu promieniami γ o określonej dawce, solaryzacja – zmiana zabarwienia nie więcej niż o jedną kategorię pod wpływem promieniowania UV.

Szkła optyczne lustrzane

- kondensory, elementy urządzeń sygnalizacyjnych, zwierciadła, prasówki do szkieł okularowych itp.
- wymagania:
 - Współczynnik załamania $n_d = 1,523 \pm 0,002$
 - Współczynnik dyspersji $v_d > 58$
 - Liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej $\alpha < 9 \cdot 10^{-6}$
 - Odporność na nagłe zmiany temperatury $\Delta T > 80^\circ\text{C}$

Szkła optyczne – pozakatalogowe

Szkło odporne termicznie typ L1

- wymagania:

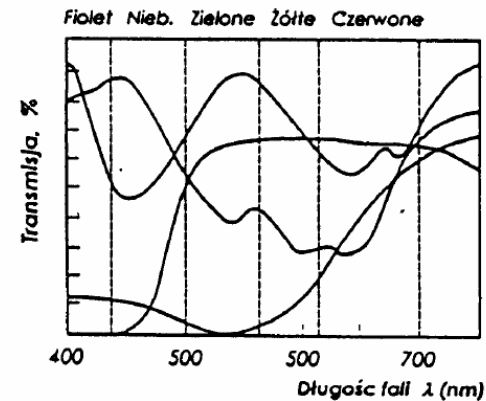
Współczynnik załamania $n_d = 1,49 \pm 0,005$

Współczynnik dyspersji $v_d > 61$

Liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej $\alpha < 5 \cdot 10^{-6}$

Odporność na nagłe zmiany temperatury $\Delta T > 160^\circ\text{C}$

Szkła filtrowe



Rys. 2.3. Charakterystyki optyczne szkieł: niebieskiego (Co(II)) [1], zielonego (Cr(III)) [2], żółtego (CdS) [3], czerwonego (Au) [4].

Szkła optyczne – pozakatalogowe

Szkło krzemionkowe (szkło kwarcowe)

- Terminologia: „fused quartz” oznacza szkło otrzymane po topieniu mineralnego kwarcu (kryształu górskiego), „fused silica” – syntetyczny kwarc otrzymywany np. z SiCl_4

- właściwości:

Współczynnik załamania $n_d = 1,46$

Współczynnik dyspersji $v_d = 68$

Liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej $\alpha < 5,6 \cdot 10^{-7}$

Odporność na nagłe zmiany temperatury $\Delta T: 800^\circ\text{C} - 1000^\circ\text{C}$

Zakres spektralny przepuszczania $0,18\text{-}4,5\mu\text{m}$

- Nazwy katalogowe

Schott: Q1, Q2, SQ

Heraeus: Suprasil, Infrasil, Herafil

Szkła optyczne – pozakatalogowe

Szkła techniczne

Szkła o dużej zawartości SiO_2 , np.

- PYREX (lub Termsil) SiO_2 -81%, B_2O_3 – 12%, $\alpha=3,2 \cdot 10^{-6}$, $n_d=1,472$, $v_d=68$, odporność na zmiany temperatury 250°
- VYCOR SiO_2 -95%, B_2O_3 – 12%,

Szkła fotoczułe

- Szkła z efektem nieodwracalnym
 - tworzenie się koloidów metali szlachetnych (np. szkło SiO_2 - Na_2O - CaO z dodatkiem Cu, Ag, Au, Pd, oraz CeO_2 i SnO_2 ,
 - czesciowa krystalizacja (np. szkło Li_2O - SiO_2 , BaO - SiO_2 , Li_2O - BaO - SiO_2 z sensybilizatorami Cu_2O , Ag_2O , lub Au_2O z CeO_2).
- Szkła fotochromowe
- borokrzemianowe dotowane halogenkami srebra,
- borokrzemianowe dotowane molibdenianem lub wolframianem srebra,
- borokrzemianowe dotowane halogenkami miedzi lub kadmu,
- krzemianowe aktywowane ziemiemi rzadkimi (np. europem, cerem).