

**NĚKTERÉ OPTICKOMECHANICKÉ VLASTNOSTI
ČS. NOVLAKOVÉ PRYSKYŘICE EN 15 A PRYSKYŘICE GE 16**

**Ing. Josef Šíp
ŠKODA o.p. Plzeň ZVJE Bolevec**

Anotace

Na dvou nových typech epoxidových pryskyřic byly měřeny základní optickomechanické vlastnosti potřebné pro výrobu a proměňování modelů. Byly zjišťovány vlastnosti pryskyřice při normální teplotě (optická konstanta, optické tečení, modul pružnosti, mechanické tečení) a při teplotě zmrazování (teplota zmrazování, modul pružnosti, optická konstanta). Výsledky jsou vyhodnoceny podle použitého tvrdidla a podle použité pryskyřice. Závěrem je uveden nejvhodnější typ.

1.0 Úvod

Výzkumným ústavem syntetických pryskyřic a laků v Pardubicích nám byly nabídnuty k přezkoušení fotoelasticimetrických vlastností dva typy nedianových epoxidových pryskyřic a to:

- epoxid na bázi fenolických novolaků -
 - typ Epoxy EN 15
- glycidylester kyseliny hexahydroftalové -
 - typ Epoxy GE 16

Jako tvrdidel bylo použito již dříve užívané pro pryskyřice CHS Epoxy 110 - směsi maleinanhydridu s ftalanhydridem a dovezeného aminového tvrdidla lekuthermu M. Pro oba druhy tvrdidel - směs MA s FA a lekutherm M byly zvoleny vždy tři různé váhové poměry, pro každou pryskyřici - tab. 3.

Při měření byly zjišťovány vlastnosti fotoelasticimetrických materiálů při normální teplotě a při teplotě zmrazování. K těmto měřením byly zhotoveny dva druhy tyčinek, a to tahové, pro měření za normální teploty a ohybové, pro měření při zmrazovací teplotě.

2.0 Opticko - mechanické vlastnosti při normální teplotě

Při normální teplotě ($T = 20^{\circ}\text{C}$) byly měřeny následující veličiny:

- a) Optická konstanta
- b) Optické tečení
- c) Modul pružnosti
- d) Mechanické tečení

Měření uvedených veličin bylo prováděno na tahové tyčince - obr.1.

2.1 Optická konstanta k_{σ}

Na obr. 2 jsou vidět průběhy změřených dvojlomů \underline{m} v závislosti na zatěžovací síle. Velikosti optických konstant jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tab.1.

Nejnižší optické konstanty bylo dosaženo u pryskyřice EN 15 tvrzené směsí MA a FA ($k_{\sigma} = 11\ 010\ \text{N/m is;tj. } k_{\sigma} =$

= 11,223 kg/cm is). Z tabulky je vidět, že s klesajícím množstvím tvrdidla, (jak směsi MA s FA, tak i lekuthermu M) optická konstanta roste. Citlivěji reaguje na množství tvrdidla pryskyřice GE 16, a to hlavně při použití tvrdidla lekutherm M, kde dostoupila hodnoty $k_G = 74\ 600\ \text{N/m is}$.

2.2 Optické tečení P_{kG}

Tahová tyčinka byla zatížena konstantním napětím $\sigma = 95,5\ \text{MN/m}^2$. Řády izochromat byly odečítány v časových intervalech - viz. tab.2. Spočtené hodnoty optických konstant v jednotlivých intervalech jsou zakresleny na obr. 3 a 4.

Z grafů je patrné, že množství tvrdidla u pryskyřice EN 15 má na velikost optického tečení velmi malý vliv. Jinak je tomu u epoxidové pryskyřice GE 16. Při použití směsi tvrdidel MA s FA je velikost tečení větší oproti předchozímu typu pryskyřice. S klesajícím množstvím tvrdidla lekutherm M hodnota tečení velmi rychle roste.

2.3 Modul pružnosti v tahu E

Zkouška probíhala při teplotě 20°C. Zatěžovalo se rychlostí 1000 N/10 min, na univerzálním zkušebním stroji ZWICK 1387 s uzavřeným regulačním obvodem, řízeným digitálním funkčním generátorem. Ke zjištění prodloužení Δl bylo užito elektronického snímače prodloužení 7852, který i při nerovnoměrném prodloužení zkušebního tělesa automaticky zobrazuje střední hodnotu prodloužení zkušebního tělesa. Ke snímání síly byl použit elektronický snímač síly s max. rozsahem 2 000 N. Z deformace Δl a pevné délky extenzometru l byly spočteny poměrné deformace a moduly pružnosti.

Hodnoty modulů pružnosti v tahu - viz. tab.1.

O změně velikosti hodnoty modulu pružnosti v závislosti na rostoucím množství tvrdidla se nedá jednotně prohlásit, že je rostoucí, ani že je klesající. Materiál se chová různě. U pryskyřice EN 15 se pohybuje v rozsahu přibližně $E \pm 3\ 200$ až $3\ 500\ \text{MN/m}^2$, což jsou hodnoty pro praxi vyhovující. Rozsah

hodnot modulu pružnosti u pryskyřice GE 16 je asi v rozmezí $E \approx 2\ 800$ až $3\ 800\ \text{MN/m}^2$. Nejvyšší hodnoty E bylo dosaženo u pryskyřice GE 16 tvrzené směsí MA s FA s nejvyšší její dávkou,

2.4 Mechanické tečení ρ_E

U vzorků z pryskyřice EN 15 se mechanické tečení s klesajícím množstvím obou druhů tvrdidel zvyšuje - obr.5.

U pryskyřice GE 16 je nejmenší tečení u obou druhů tvrdidel v případě střední možné dávky tvrdidel - obr.5.

3.0 Optickomechanické vlastnosti při zmrazovací teplotě

Při teplotě zmrazování byly měřeny tyto veličiny:

- a) Teplota zmrazování
- b) Modul pružnosti při teplotě zmrazování
- c) Optická konstanta při teplotě zmrazování

Měření uvedených veličin bylo prováděno na ohybové tyčince obr.6.

3.1 Teplota zmrazování T_z

Teploty zmrazování - viz tab.1,- jsou téměř u všech vzorků dosti vysoké. Zvláště u pryskyřice EN 15, kde se T_z pohybují až přes 170°C .

U pryskyřice EN 15 tvrzené směsí MA s FA, má průběh T_z v závislosti na množství tvrdidla konvexní charakter. V případě použití tvrdidla lekutherm M je průběh podobný, ale menší množství tohoto tvrdidla teplotu zmrazování více ovlivňuje směrem k nižším hodnotám.

U pryskyřice GE 16 jsou teploty zmrazování oproti EN 15 nižší a změna T_z se zmenšujícím se množstvím tvrdidla je oproti EN 15 nerostoucí a prudší.

3.2 Modul pružnosti při teplotě zmrazování E_z

Hodnoty modulu pružnosti při teplotě zmrazování s klesají-

cím množstvím tvrdidel se ve všech čtyřech případech kombinací pryskyřic s tvrdidly snižují. Nejvyšší hodnoty E_z je dosaženo u pryskyřice EN 15 tvrzené směsí MA s FA ($E_z = 71,365 \text{ MN/m}^2$) viz. tab.1.

3.3 Optická konstanta při teplotě zmrazování k_{σ}^z

Hodnota relativních dvojlomů při okrajích tyčinky byla zjištěna z nákresu průběhu izochromat, které byly vyšetřeny na profilprojektoru u citlivějších materiálů; u méně citlivých materiálů - do 2 izochromat - na polarizačním mikroskopu.

Hodnoty optické konstanty při teplotě zmrazování se se změnou množství tvrdidla nechovají jednotně - tab.1.

U pryskyřice EN 15 hodnoty k_{σ}^z klesají se snižujícím se množstvím obou druhů tvrdidel.

V případě pryskyřice GE 16 a tvrdidla směsí MA s FA je průběh k_{σ}^z konvexní. V případě použití tvrdidla lekutherm M, je průběh konkávní. Změna hodnoty k_{σ}^z je v oblasti menšího množství tvrdidla prudká.

4.0 Vyhodnocení jednotlivých vzorků

U vzorků jsou hodnoceny následující veličiny:

1. Koeficient kvality při normální teplotě

$$D = \frac{E}{k_{\sigma}} \quad [\text{is/m}]$$

2. Koeficient kvality při zmrazovací teplotě

$$D_z = \frac{E_z}{k_{\sigma}^z} \quad [\text{is/m}]$$

3. Teplota zmrazování

$$T_z \quad [^{\circ}\text{C}]$$

4. Optická konstanta

$$k_{\sigma} \quad [\text{N/m is}]$$

4.1 Podle použitého tvrdidla

Materiály, u nichž bylo použito tvrdidlo ze směsi MA a FA vykazují lepší opticko - mechanické vlastnosti, což dokazují hodnoty koeficientů kvality - tab.1. U epoxidové pryskyřice EN 15, tvrzené směsí MA s FA činí koeficient kvality D_z průměrně dvojnásobek, u pryskyřice GE 16 je D_z asi trojnásobkem koeficientu kvality materiálů tvrzených lekuthermem M. U koeficientu \underline{D} jsou poměry podobné.

U pryskyřice GE 16 roste D_z i \underline{D} se vzrůstajícím množstvím obou druhů tvrdidel. U pryskyřice EN 15 jsou poměry složitější. Nejnižší hodnotu \underline{D} a D_z vykazují materiály převážně ve střední části možného rozsahu tvrdidel.

Z hodnot T_z - tab.1 - je vidět, že epoxidové pryskyřice tvrzené směsí MA s FA mají teploty zmrazování ve většině případů vyšší, než u pryskyřic tvrzených lekuthermem M.

Optická konstanta při teplotě zmrazování u pryskyřice EN 15 klesá se snižujícím se množstvím obou druhů tvrdidel. Menší množství směsi MA s FA k_{σ}^z u typu GE 16 snižuje, zatímco u tvrdidla lekutherm M je tomu naopak.

4.2 Dle použité pryskyřice

Hodnoty koeficientů kvality \underline{D} jsou u pryskyřice EN 15 asi 2 až 5 x vyšší než u pryskyřice GE 16. Zlepšení D_z je u EN 15 více než 2 až 10 x vyšší.

Teploty zmrazování jsou u EN 15 vesměs vyšší oproti GE 16.

5.0 Závěr

Jako nejvhodnější ze zkoušených druhů pro fotoelasticko - metrické modely se jeví pryskyřice EN 15, tvrzená směsí MA s FA - vzorek č.5.

Koeficient kvality $D = 307,09 \cdot 10^3$ is/m je v tomto případě nejvyšší ze všech dvanácti měřených vzorků. Hodnota $D_z = 105,02 \cdot 10^3$ is/m je též vzhledem k ostatním vzorkům vysoká.

Pokles optické konstanty v závislosti na čase je poměrně malý.

Nevýhodou EN 15 č.5 je dosti vysoká zmrazovací teplota
 $T_z = 171 \text{ } ^\circ\text{C}$

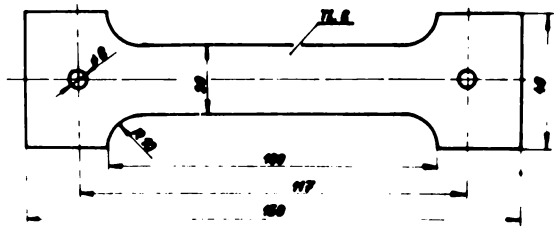
Chemické složení vzorku EN 15 č. 5 i ostatních typů je uvedeno v tab.3.

Literatura

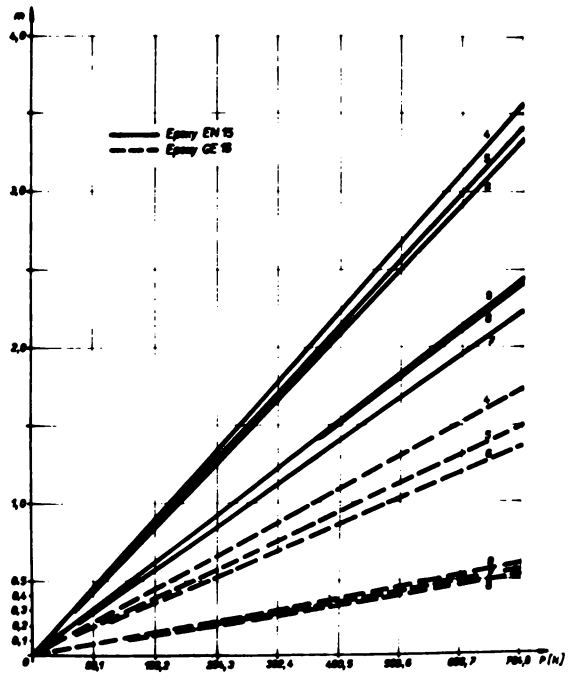
1. PŘÍSKYŘICE '76; - Kolektiv autorů .
Dům techniky ČVTS Ústí nad Labem 1976

Seznam vyobrazení

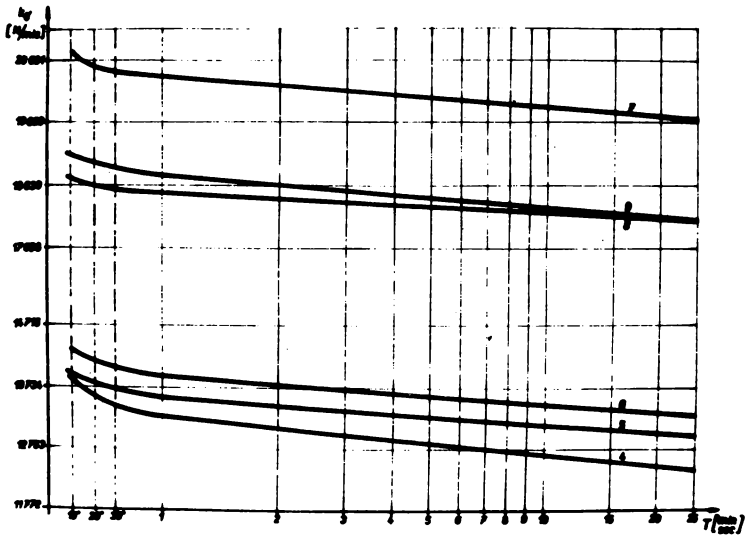
- Obr. 1 Tahová tyčinka pro měření opticko - mechanických vlastností při normální teplotě
- Obr. 2 Závislost $m = f(P)$ pro epoxidové pryskyřice EN 15 a GE 16
- Obr. 3 Optické tečení epoxidové pryskyřice EN 15
- Obr. 4 Optické tečení epoxidové pryskyřice GE 16
- Obr. 5 Mechanické tečení epoxidové pryskyřice EN 15 a GE 16
- Obr. 6 Chybová tyčinka pro měření opticko - mechanických vlastností při teplotě zmrazování
- Tab. 1 Přehled vlastností zkoušených hmot
- Tab. 2 Velikost optické konstanty k_{σ} [N/mis] v závislosti na čase T [sec; min]
- Tab. 3 Chemické složení vzorků



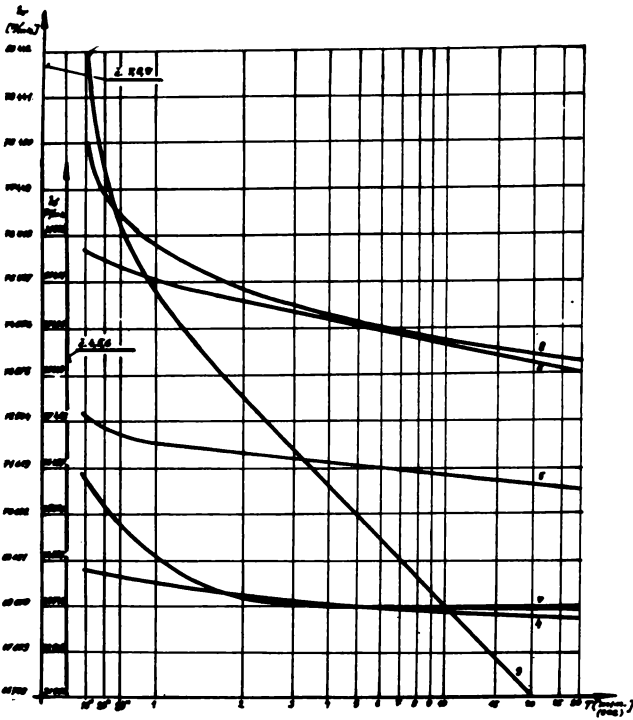
Obz. 1



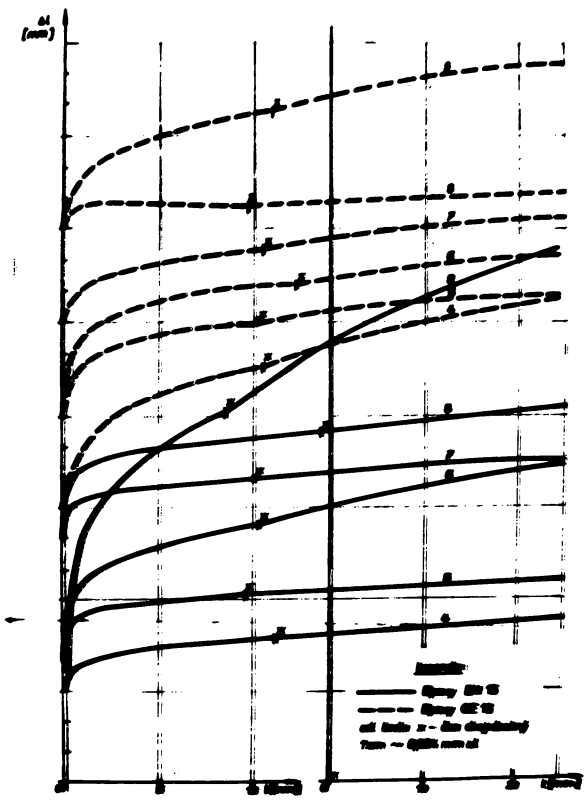
Obz. 2



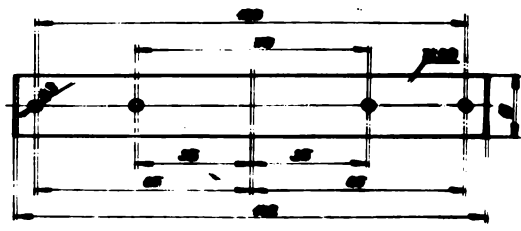
Obr. 3



Obr. 4



Обр. 5



Обр. 6

E.A. №	L (mm)	a (mm)	h (mm)	t (mm)	y (mm)	P (N)	m ₁	-m ₂	m ₃	E ₁ ($\frac{N}{mm^2}$)	E ($\frac{N}{mm^2}$)	K ₀ ($\frac{N}{mm}$)	K ₀ ($\frac{N}{mm}$)	T ₁ (°C)	D ₀ (mm)	D (mm)
EA №	130	3	17,75	5,743	1,809	12,380	5,35	5,325	5,307	71,385	3183	682,63	11010	185	107700	267264
			17,71	5,720	2,057	12,460	5,85	5,30	5,575	67,347	3307	641,26	11420	171	105023	307083
			17,73	5,580	2,720	8,825	5,20	5,15	5,175	37200	3426	483,78	11715	155	75338	282448
			17,60	5,816	2,708	12,400	4,06	4,05	4,055	48,529	3281	85,888	17910	171	98487	187050
			17,68	5,748	2,867	11,520	4,40	4,35	4,375	43,218	3171	741,27	16100	172	98300	186957
			17,69	5,782	3,854	8,830	4,75	4,00	4,075	24,745	3300	676,45	15435	138	40141	213870
			17,84	5,831	3,785	9,680	4,30	4,35	4,425	26,825	3823	670,18	22180	135	44128	172715
			17,84	5,831	6,278	11,875	4,55	5,25	5,400	20,202	3813	621,67	28080	125	32488	146148
			17,91	5,871	5,817	4,600	2,45	2,35	2,400	4,582	3731	538,37	27880	100	15958	133820
GE №	130	3	17,86	5,819	6,088	11,480	2,25	2,20	2,225	19,759	3148	1439,80	88600	138	13725	45880
			17,81	5,779	4,918	5,485	1,25	1,15	1,200	12,083	3374	1288,91	74600	122	9324	45228
			17,97	5,798	6,034	6,470	0,69	0,60	0,845	11,258	2778	2788,03	88400	92	4028	41837

Tab. 1

E.A. №	T ($\frac{sec}{mm}$)	10'	20'	30'	1'	2'	3'	5'	8'	10'	15'	20'	30'
		EA №	k ₀₅	13785	12580	13410	13280	13080	13000	12900	12715	12625	12585
k ₀₅	13810		13785	13680	13580	13480	13375	13280	13180	13110	13025	13000	12880
k ₀₆	14270		13800	13880	13810	13770	13680	13580	13510	13470	13385	13300	13200
k ₀₇	20720		20430	20430	20350	20300	20140	19980	19885	19880	19775	19710	19580
k ₀₈	18740		18630	18580	18510	18420	18300	18270	18200	18200	18100	18050	18010
k ₀₉	19110	18810	18910	18780	18910	18910	18910	18910	18910	18280	18185	18080	17880
GE №	k ₀₄	24280	24210	24080	24080	23880	23800	23620	23620	23480	23450	23410	23210
	k ₀₅	27520	27220	27130	26940	26790	26620	26540	26380	26230	26210	26140	26020
	k ₀₆	30970	30820	30680	30330	29880	29830	29530	29330	29210	28930	28780	28340
	k ₀₇	71350	70800	70480	69780	68950	68770	68700	68700	68400	68400	67880	67880
	k ₀₈	78300	77250	78040	78530	75750	75750	74700	74200	74200	74200	74200	73240
k ₀₉	79980	77780	76670	75100	74200	72300	70480	68600	68600	67100	66380	64850	

Tab. 2

Epoxidové pryskyřice EN 15

epoxiskupiny 0,5385 g ekv./100g

- 4. 100 g EN 15 + 35 g FA
+ 35 g MA
- 5. 100 g EN 15 + 28 g FA
+ 28 g MA
- 6. 100 g EN 15 + 21 g FA
+ 21 g MA
- 7. 100 g EN 15 + 90 g lekutherm M
- 8. 100 g EN 15 + 72 g lekutherm M
- 9. 100 g EN 15 + 54 g lekutherm M

Epoxidové pryskyřice GE 16

epoxidový ekvivalent 0,576 g ekv./100 g

- 4. 100 g GE 16 + 36 g FA
+ 36 g MA
- 5. 100 g GE 16 + 29 g FA
+ 29 g MA
- 6. 100 g GE 16 + 22 g FA
+ 22 g MA
- 7. 100 g GE 16 + 91 g lekutherm M
- 8. 100 g GE 16 + 73 g lekutherm M
- 9. 100 g GE 16 + 55 g lekutherm M

Tab. 3