

POROVNÁNÍ DVOU MODELOVÝCH HMOT NA BÁZI EPOXYDOVÝCH
PRYSKYŘIC POUŽÍVANÝCH PRO TENZOMETRICKÁ MĚŘENÍ
V ZAHRANIČÍ A U NÁS.

Ing. R. Zimmerhagl
O. P. ŠKODA PLZEŇ, závod Turbíny

A n o t a c e

Referát obsahuje porovnání modelové hmoty Eprosin používané pro tenzometrická měření v závodě Turbíny o.p. ŠKODA s modelovou hmotou, používanou v zahraničí při experimentální modelové technice nazývané ModelTech. Zabývá se viskoelastickými vlastnostmi obou hmot a důsledky, vyplývajícími z jejich rozdílné tepelné vodivosti.

V závodě Turbíny o.p. ŠKODA PLZEŇ se za účelem předběžné analýzy napětí na nejvíce exponovaných částech turbin provádí měření na modelech z epoxidových pryskyřic. S vývojem této měřicí techniky se začalo v r. 1962 a postupně se vyvíjela až do dnešní podoby. Jako nejvhodnější materiál byl vybrán eprosin Z04. Byly získány značné zkušenosti po stránce slévárenské, ať již se jedná o vlastnosti použité hmoty nebo o technologii lití této hmoty. Postupem doby bylo provedeno velké množství měření, jejichž cílem bylo dokonalé poznání všech specifických zvláštností eprosinu, hlavně vizkoelastického creepu, homogenity a isotropie odlišků, důsledků vyplývajících ze špatné tepelné vodivosti a pod. Výsledkem pak byla metodika měření na eprosinových modelech pomocí drátkových odporových tenzometrů, která se sice postupem doby stále zdokonaluje, ale ve své podstatě se již několik let nemění.

Přivítali jsme proto možnost, která se nám naskytla díky laskavosti výzkumných pracovníků Turčianských strojíren v Martine, porovnat eprosin s obdobnou hmotou zahraniční výroby. Obdrželi jsme od nich vzorky materiálu, vyvinuté firmou Photoelastic Inc. (v Evropě Micro-Mesures) a dodávaného pod obchodním názvem PL 500. Jedná se o modelovou hmotu na bázi epoxidových pryskyřic plněných (25+45)% práškového kysličníku hlinitého. Vývoj se však neomezil jen na vytvoření vhodné modelové hmoty. Současně byla touto firmou vyvíjena metodika měření pro jednotlivé experimentální techniky, která by respektovala specifické vlastnosti této modelové hmoty. Výsledkem pak byla nová experimentální technika nazývaná souhrnným názvem MODELTECH. Modelová hmota má měrnou hmotu $1,5 \text{ kg/dm}^3$, modul pružnosti v rozsahu (4000+8000)MPa a pevnost v tahu přibližně 50 MPa. Je výrobcem dodávána v tekutém stavu pro lití, ve formě litych desek nebo ve formě bloků, ze kterých se pak obráběním získává požadovaný tvar.

Nutnou podmínkou, pro správné napodobení napjatosti na díle, je dokonalá homogenita a isotropie modelové hmoty. Tyto vlastnosti jsme však nemohli porovnávat pro omezené množství modelové hmoty, kterou jsme měli k dispozici. Hlavní nevýhodou těchto

materiálů je však viskoelastický creep. Proto při porovnávacích měřeních největší pozornost byla věnována právě této vlastnosti. Konečně jsme se zabývali důsledky, vyplývajícími z rozdílné teplotné vodivosti obou hmot.

Pro měření byly k dispozici tři nosníčky z materiálu PL 500 a tři eprosinové nosníčky ze třech různých modelů. Jelikož u eprosinu se mění jeho vlastnosti v poměrně širokém rozmezí, byl výběr proveden z produkce celé řady modelů několika posledních let a byl volen tak, aby byl reprezentativní. Nosníčky byly polepeny tenzometry typu C-120 a namáhány čistým tahem.

Jako základ byly vytvořeny pro všechny nosníky závislosti deformace na čase pro napětí 1,5 - 3 - 4,5 a 6 MPa při teplotách 17 - 20 - 24 a 28°C. Hodnoty deformace byly měřeny po vteřině, požadovaná teplota byla nastavena vždy 24 hodin před počátkem měření. Z těchto závislostí byly překresleny creepové křivky, jak je vidíme na obr.1 pro nejvyšší a nejnižší měřenou teplotu a napětí. Šrafované plochy ohraničují oblasti, ve kterých se vyskytují hodnoty používaných eprosinů. Přednosti materiálu PL 500 se výrazně projevují hlavně při vyšších teplotách a při větších hodnotách napětí.

Změnu modulu pružnosti s časem zachycují následující dva obrázky. Obr.2 při teplotě 17°C a obr.3 při teplotě 28°C. V prvních několika minutách po zatížení je rychlost změny modulu pružnosti u eprosinu větší. Bude-li však měření probíhat mezi 5. a 10. minutou, zmenší se během měření modul pružnosti u PL 500 při 17°C o 1,2%, u eprosinu o 1,3%. Při teplotě 28°C dělá tato změna pro stejný časový interval u PL 500 1,5%, u eprosinu (2-3,7)%. Zatímco při teplotě 17°C byl rozdíl téměř zanedbatelný, při teplotě 28°C může být podstatný.

Absolutní hodnoty modulu pružnosti měřeného v první minutě po zatížení (obr.4) jsou u PL 500 od 6200MPa při teplotě 17°C, do 5600MPa při teplotě 28°C. U eprosinu se tyto hodnoty pohybují od 5600MPa při teplotě 17°C do 4200MPa při teplotě 28°C. Nižší modul pružnosti u eprosinu je současně doprovázen zhoršenými creepovými vlastnostmi. Na obr.5 je modul pružnosti vyjádřen v procentech absolutní hodnoty při 17°C.

Vidíme, že se změnou teploty o 1°C mění se modul pružnosti u PL 500 o 1%, u eprosinu o 1,2% až 2%.

Dále byly vytvořeny pro oba materiály isochronní křivky, na obr.6 pro teplotu 17°C a čas 1 min, na obr.7 tytéž křivky při teplotě 28°C . V rozsahu měřených napětí do 6 MPa jsou tyto průběhy prakticky lineární. Zkoušky s napětím vyšším prováděny nebyly, linearita však bude velmi pravděpodobně platit i při vyšších napětích. Firma Photolastic Inc. ve svých propagačních publikacích uveřejňuje pro ModelTech tyto křivky jako lineární až do napětí cca 17 MPa.

Konečně jsme se zabývali rozdílnou tepelnou vodivostí obou srovnávaných materiálů. Jelikož je u materiálu PL 500 použit jako plnidlo kysličník hlinitý, je jeho tepelná vodivost vyšší než u eprosinu, kde je plnidlem skelný prášek. Materiál PL 500 by měl tedy odvádět teplo z drátku snímače rychleji než eprosin a nestabilita signálu snímače by měla být menší. Při zapojení do 1/2 mostu je sice možno vhodným výběrem kompenzačního snímače se stejnou teplotní charakteristikou dosáhnout dokonalé stability signálu tenzometrického mostu při libovolném napájecím napětí. Tento postup je však velmi pracný a zdoluhavý a proto se obvykle volí jiný způsob eliminace tohoto vlivu. Pro srovnání obou materiálů bylo provedeno měření tak, že v kompenzační větvi byla zapojena odporová dekáda, představující konstantní, teplotně nezávislý odpor, takže fiktivní měřená deformace byla závislá jen na teplotní charakteristice použitých snímačů C-120, tepelné vodivosti materiálu nosníků a velikosti napájecího napětí. Z výsledků měření na obr.8 vidíme, že lepší tepelná vodivost materiálu PL 500 se na stabilitě signálu snímače projevila zcela zřetelně. Znamená to, že při jinak stejných podmínkách měření je možno použít u materiálu PL 500 vyššího napájecího napětí než u eprosinu a tím si zvětšit citlivost použité měřicí aparatury.

Závěrem lze tedy konstatovat, že materiál PL 500 má lepší creepové vlastnosti než eprosin, hlavně při vyšších teplotách a napětích. Při teplotě 17°C a napětí 1,5 MPa není mezi oběma materiály podstatný rozdíl. Při měření je obvykle rozhodujícím kritériem rychlost tečení resp. rychlost změny modulu pružnosti. Chceme-li např., aby rychlost změny modulu pružnosti vlivem

viskoelastického creepu při teplotě 28°C, nepřekročila 0,5%/min, je nutná u materiálu PL 500 prodleva 3 min, u eprosinu (6-9)min. Vzhledem k větší citlivosti eprosinu na změnu teploty, jsou při stejné přesnosti přísnější nároky na dodržení konstantní teploty během měření. Možnost zvýšení napájecího napětí u materiálu PL 500 v důsledku lepší tepelné vodivosti nemá v dnešní době podstatný význam, vzhledem k vysoké citlivosti moderních měřících aparatur. Velmi důležité je zjištění, že oba materiály je možno považovat pro účely experimentální analýzy napětí, v rozsahu měřených teplot a napětí za lineárně viskoelastické. Zhodnoceno přísně technicky, bez ohledu na ekonomickou stránku věci, představuje tedy hmota PL 500 po všech stránkách dokonalejší modelový materiál.

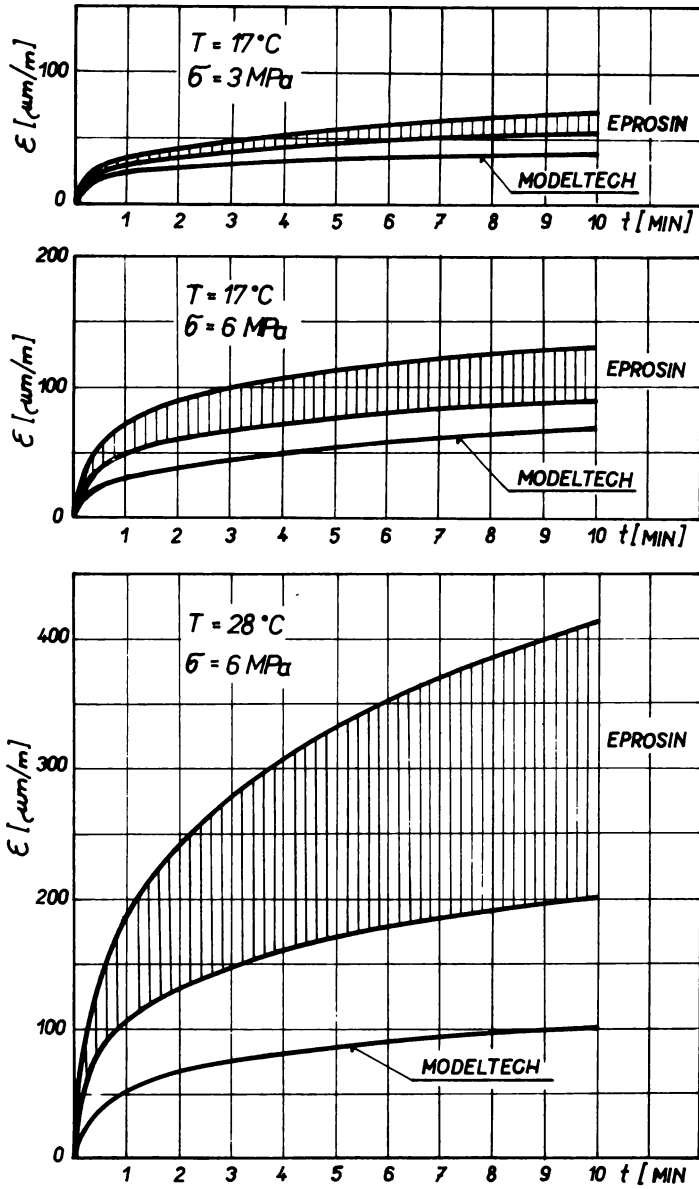
Zbývá potom odpovědět na základní otázku, zda se dá na eprosinu měřit stejně přesně jako na materiálu PL 500. Dle našeho názoru, je-li vytvořena vhodná metodika měření, vycházející z dokonalé znalosti všech jeho vlastností, lze dosáhnout stejně dobrých výsledků na eprosinu jako na PL 500. Některé drobné nedostatky, jako větší časová náročnost, větší nároky na stabilizaci teploty a pod., jsou vyváženy menší pořizovací cenou modelové hmoty.

L i t e r a t u r a :

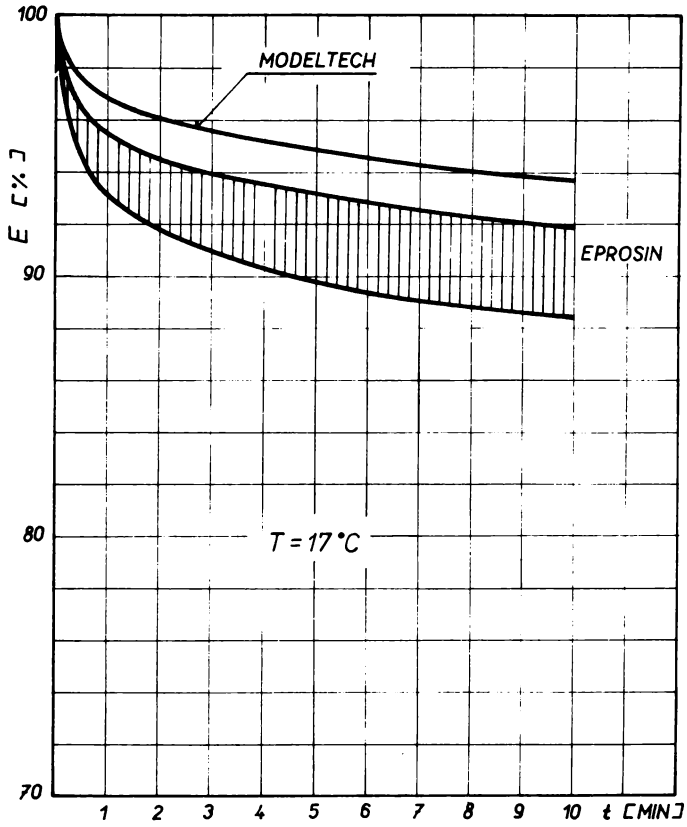
- [1] Zimmerhakl : Příspěvek k metodice tenzometrického měření na modelech z umělé hmoty pomocí měřící ústředny.
(Sborník přednášek z XI. čl. konference Experimentální analýze napětí - Vršatec 1973)
- [2] ModelTech, applications manual (Bulletin MT - 012, Photolastic Inc. a Subsidiary of Vishay Intertechnology, Inc.)

Seznam vyobrazení :

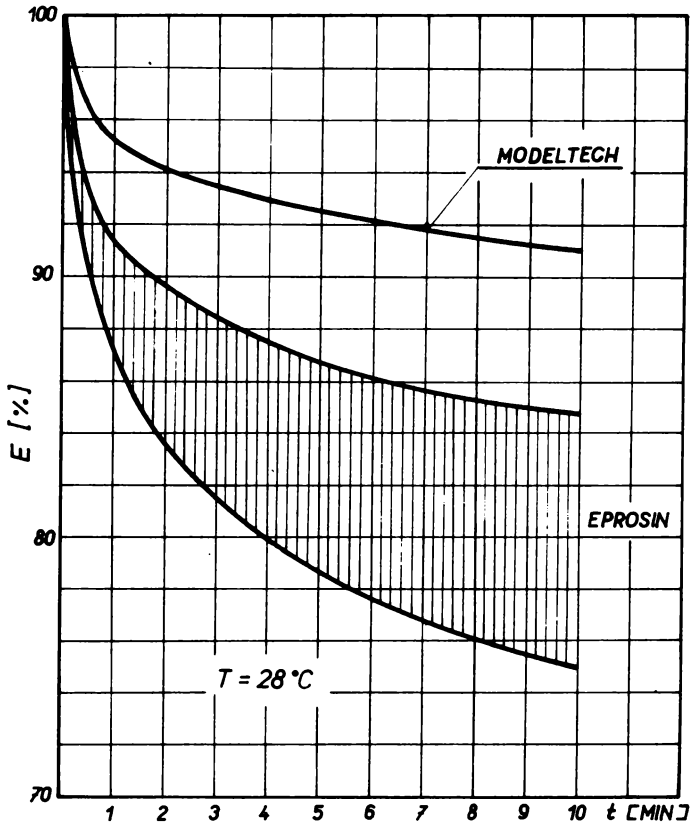
- Obr.1 Porovnání creepových křivek materiálů PL 500 a eprosinu Z 04.
- Obr.2 Závislost modulu pružnosti na čase pro materiály PL 500 a eprosin Z 04.
- Obr.3 Závislost modulu pružnosti na čase pro materiály PL 500 a eprosin Z 04.
- Obr.4 Modul pružnosti jako funkce teploty pro materiály PL 500 a eprosin Z 04.
- Obr.5 Pokles modulu pružnosti s teplotou u materiálů PL 500 a eprosinu Z 04.
- Obr.6 Izochronní křivky materiálů PL 500 a eprosinu Z 04 pro 17°C a čas 1 min.
- Obr.7 Izochronní křivky materiálů PL 500 a eprosinu Z 04 pro 28°C a čas 1 min.
- Obr.8 Porovnání stability signálu tenzometru při různých velikostech napájecího napětí.



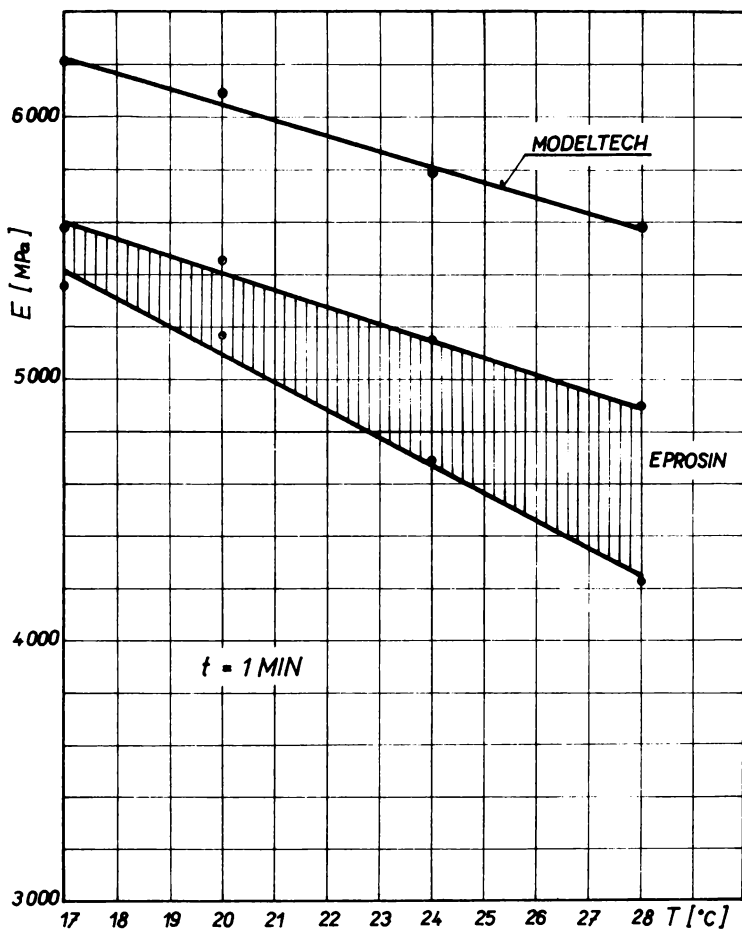
Obr.1 Porovnání creepových křivek materiálů PL 500 a eprosinu Z 04



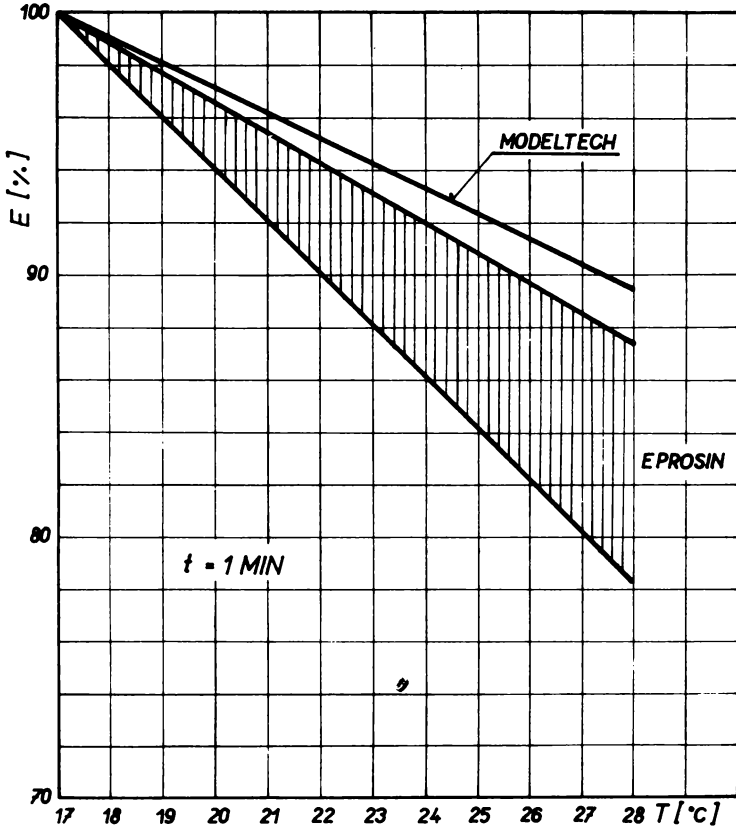
Obr.2 Závislost modulu pružnosti na čase pro materiály PL 500 a eprosin Z 04



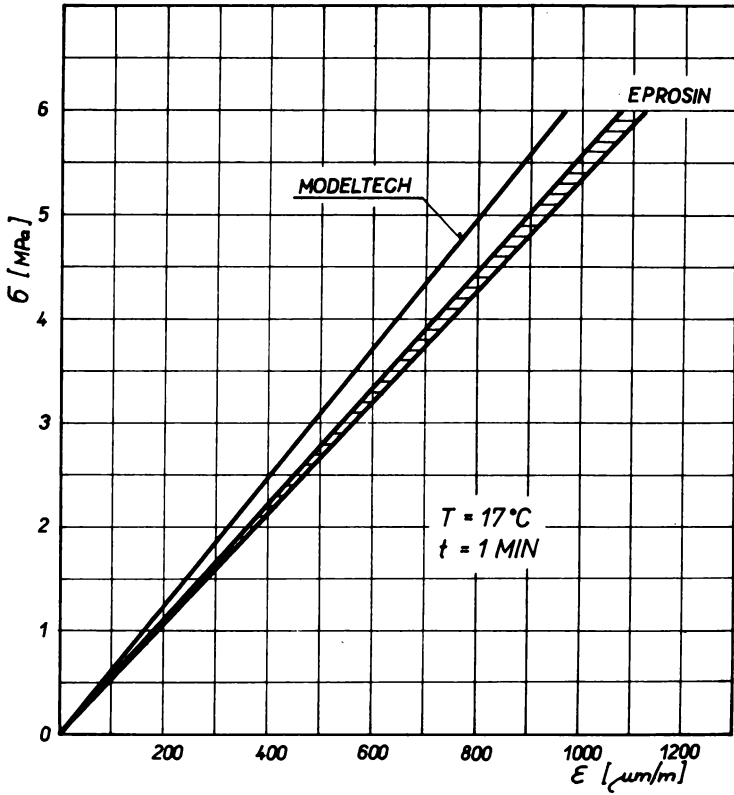
Obr.3 Závislost modulu pružnosti na čase pro materiály PL 500 a eprosín Z 04



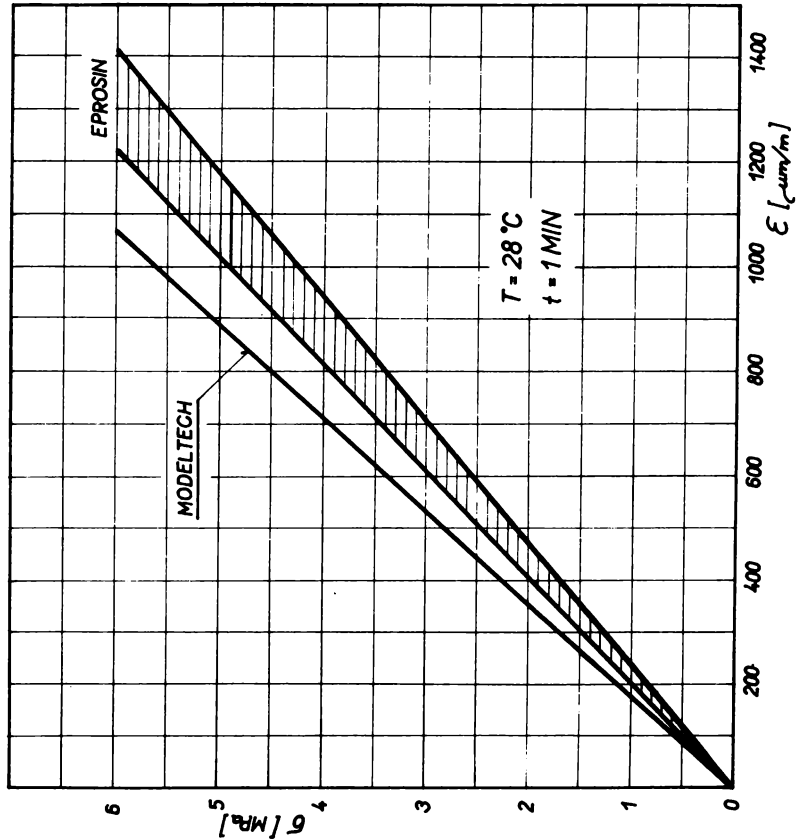
Obr.4 Modul pružnosti jako funkce teploty pro materiály PL 500 a eprosín Z 04



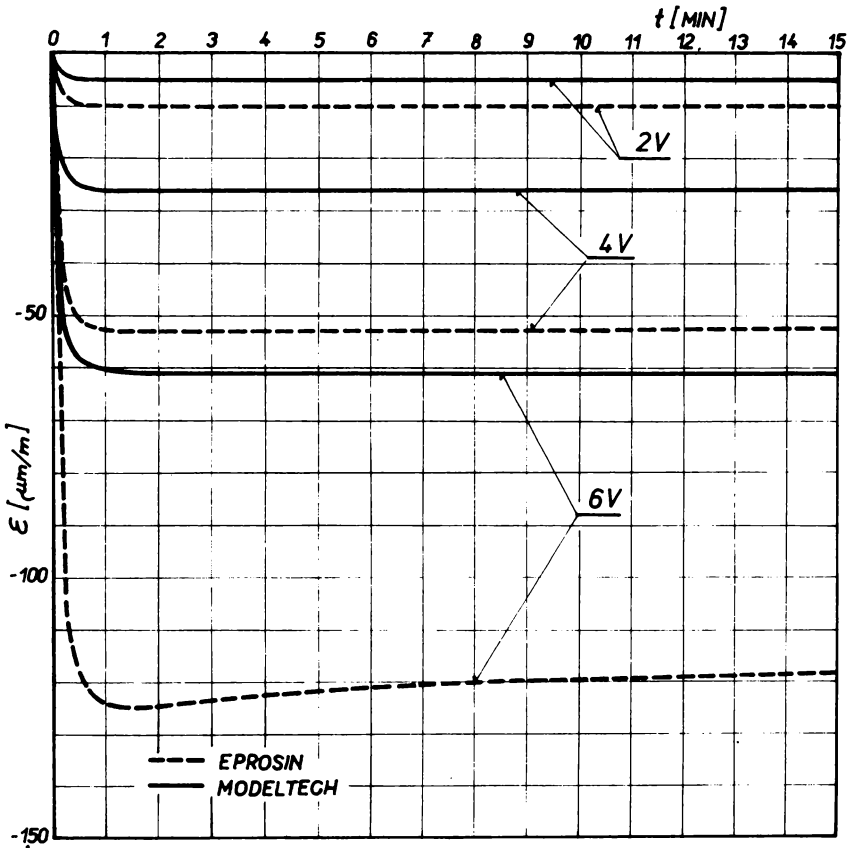
Obr.5 Pokles modulu pružnosti s teplotou u materiálu PL 500 a eprosínu Z 04



Obr. 6 Izochronní křivky materiálů PL 500 a eprosínu Z 04 pro 17°C a čas 1 min.



Obr.7 Izoehreňní křivky materiálu PL 500 s eprosinu Z 04 pro 28 °C a čas 1min.



Obr.8 Porovnání stability signálu tenzometru při různých velikostech napájecího napětí