

UDK 620.1.05:620.1.08:539.434:678.7

## Naprava za merjenje lezenja torzijsko obremenjenih polimernih preizkušancev

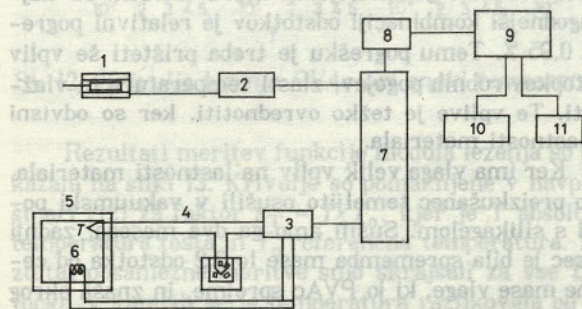
(Nadaljevanje in konec)

PETER METLIKOVIČ – IGOR EMRI

### 4. RAČUNALNIŠKO KRMILJENA MERILNA VERIGA

#### 4.1 Merilna veriga

Za meritev lezenja je treba ob znani napetosti poznati le odvisnost zasuka osi od časa, ki jo merimo z induktivnim merilnikom pomika (M na sliki 1). Ker je temperatura zelo pomemben parameter preizkusa, smo se odločili, da bomo opazovali tudi to. Merilna veriga z opisom elementov je prikazana na sliki 9.



Sl. 9. Merilna veriga.

- 1 - induktivni merilnik pomika HMB W1EL/0 No 11528, 2 - ojačevalnik HPSC 3102 No 23, 3 - regulator lastne izdelave, 4 - termočlen, 5 - komora, 6 - grelo, 7 - pregledovalnik HP3495A No 142BAO4318, 8 - digitalni voltmeter HP3455A No 1705GO1161, 9 - računalnik HP9000, serija 217, 10 - tiskalnik, 11 - risalnik.

Signal induktivnega merilnika pomika 1 ojačimo v ojačevalniku 2, da dobimo izhodno vrednost  $\pm 10$  V čez celotno merilno območje. Izhodno vrednost iz ojačevalnika in signal s termočlena 4 vodimo na pregledovalnik 7, ki omogoča meritev obeh signalov z digitalnim voltmetrom 8.

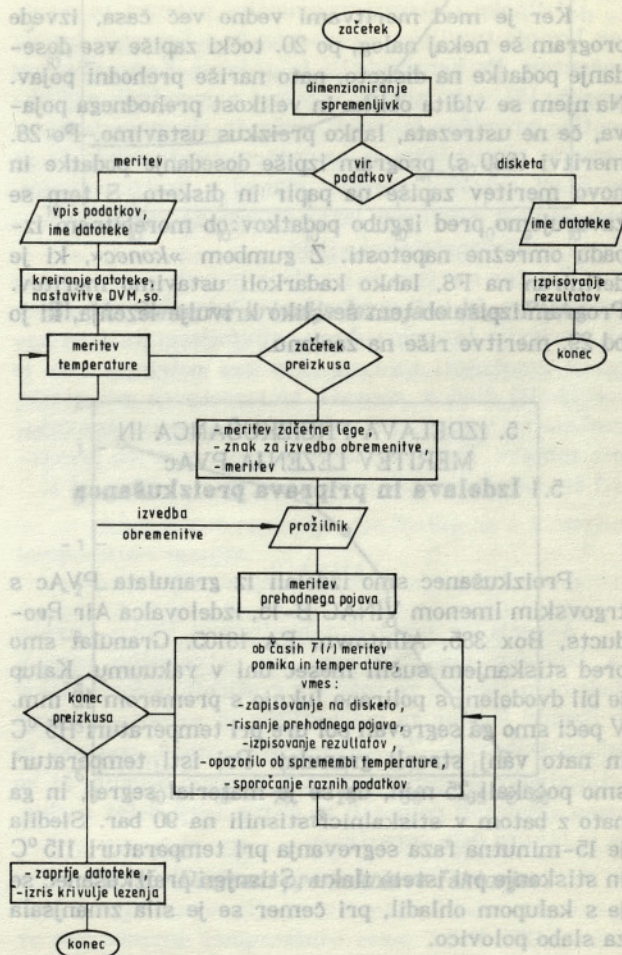
Meritev krmili računalnik 9, ki podatke obdela, jih spravi na disketo in rezultate izpiše na pisalnik oziroma risalnik 11.

#### 4.2 Merilni program

Meritev lezenja ima tri logične celote:

- kondicioniranje preizkušanca – kontrola temperature,
- merjenje začetnih pogojev, izvedba obremenitve in merjenje prehodnega pojava
- meritev lezenja s kontrolo temperature in shranitvijo rezultatov.

Blokovna shema programa je prikazana na sliki 10. Program najprej vpraša, kje je vir podatkov; če je za vir določena disketa, program vpraša, kakšno je ime datoteke in izpiše rezultate.



Sl. 10. Blokovna shema programa.

Meritev se začne z vpisom podatkov: datum, operater, material, dimenzije preizkušanca itn. Ko so vsi podatki vpisani, je treba vnesti še ime datoteke za shranjevanje rezultatov. Program nato nastavi pregledovalnik in voltmeter ter začne preverjati temperaturo.

Ko so izpolnjeni vsi pogoji za izvedbo obremenitve, pritisnemo tipko »začni meritev«, ki je definirana na tipkovnici pod F1. Računalnik pomeži začetno



temperaturo in lego induktivnega merilnega pomika ter da znak, da lahko začnemo obremenjevati. Sedaj čaka, kdaj bo sprememba signala z ojačevalnika večja od 0,02 V; to je merilo, kdaj sprožiti meritve (prožilnik). Po merjenju oblike prehodnega pojava v času  $t$  sekund začne z meritvami lezenja. Časi meritev so izbrani tako, da so razdalje med točkami ekvidistančne nad osjo  $\log t$  in da v vsaki dekadi časa pomeri deset vrednosti. To pomeni, da izmeri deset vrednosti od prve do desete sekunde, deset od desete do stote, nato deset do tisoče, deset tisoče in milijonte sekunde (27 ur). Vedno po meritvi pomika program izmeri še temperaturo.

Ker je med meritvami vedno več časa, izvede program še nekaj nalog, po 20. točki zapiše vse dosežane podatke na disketo, nato nariše prehodni pojav. Na njem se vidita oblika in velikost prehodnega pojava, če ne ustrežata, lahko preizkus ustavimo. Po 28. meritvi (630 s) program izpiše dosežane podatke in novo meritev zapiše na papir in disketo. S tem se zavarujemo pred izgubo podatkov ob morebitnem izpadu omrežne napetosti. Z gumbom »konec«, ki je definiran na F8, lahko kadarkoli ustavimo meritev. Program izpiše ob tem še sliko krivulje lezenja, ki jo od 29. meritve riše na zaslonu.

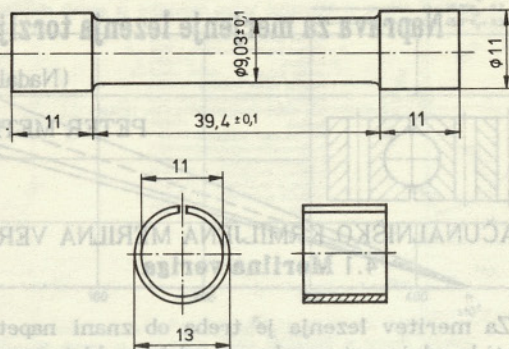
## 5. IZDELAVA PREIZKUŠANCA IN MERITEV LEZENJA PVAc

### 5.1 Izdelava in priprava preizkušanca

Preizkušanec smo izdelali iz granulata PVAc s trgovskim imenom VINAC B-15, izdelovalca Air Products, Box 385, Allentown, PA 18105. Granulat smo pred stiskanjem sušili mesec dni v vakuumu. Kalup je bil dvodelen, s polirano luknjo s premerom 12 mm. V peči smo ga segrevali pol ure pri temperaturi 115 °C in nato vanj stresli granulat. Pri isti temperaturi smo počakali 25 min, da se je material segrel, in ga nato z batom v stiskalnici stisnili na 90 bar. Sledila je 15-minutna faza segrevanja pri temperaturi 115 °C in stiskanje pri istem tlaku. Stisnjen preizkušanec se je s kalupom ohladil, pri čemer se je sila zmanjšala za slabo polovico.

Tako smo dobili lep, homogen, rahlo moten in prozoren preizkušanec. Pri nižjih temperaturah in krajših časih segrevanja so se na površini preizkušanca še poznala zrna granulata, pri višjih temperaturah pa je začel rumeneti.

Preizkušanec valjaste oblike je prikazan na sliki 11. Ker ima PVAc temperaturo steklastega prehoda okrog 28,5 °C, je bilo treba preizkušanec med obdelavo na stružnici hladiti s stisnjenim zrakom. Na odebeljenih koncih sta natakneni prežagani aluminijasti puši, da se pritisk čeljusti čim enakomerneje prenese na preizkušanec.



Sl. 11. Preizkušanec s pušama za vpenjanje.

Iz enačbe (13) lahko izračunamo največjo razliko meritve zaradi geometrijskih nepravilnosti. Ob najneugodnejši kombinaciji odstotkov je relativni pogrešek 0,95 %. Temu pogrešku je treba prišteti še vpliv odstopkov robnih pogojev, zlasti temperature in vlažnosti. Te vplive je težko ovrednotiti, ker so odvisni od lastnosti materiala.

Ker ima vlaga velik vpliv na lastnosti materiala, smo preizkušanec temeljito osušili v vakuumski posodi s silikagelom. Sušili smo ga dva meseca, zadnji mesec je bila sprememba mase le 0,2 odstotka od celotne mase vlage, ki jo PVAc sprejme, in znaša okrog 3,5 % mase preizkušanca pri sobni temperaturi [11].

### 5.2 Meritve lezenja

V komoro smo postavili žično košaro s silikagelom, ki je vzdrževal suho atmosfero med preizkušanjem. Po ponovni umeritvi sistema smo v čeljusti vpeli preizkušanec. Zaostale napetosti od obdelave in vpetja smo odpravili z dveurnim segrevanjem vpetega preizkušanca na temperaturo 40 °C in s počasnim ohlajanjem zaprte komore čez noč. Merili smo sedem dni na istem preizkušancu, ne da bi ga vzeli iz naprave.

Lezenje smo merili pri temperaturah od 7,3 do 37,4 °C. Momenti, s katerimi je bil preizkušanec obremenjen, so bili:

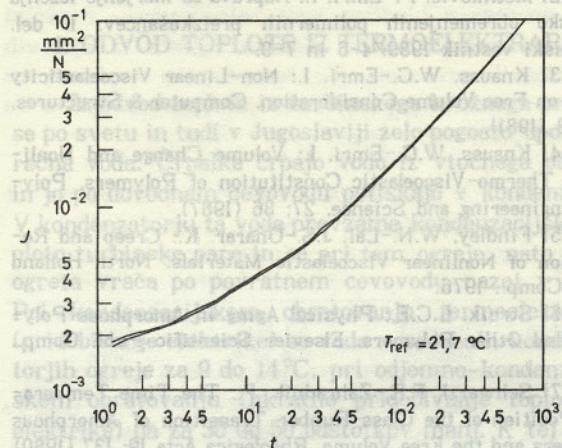
- 25 Nmm pri temperaturah 7,3 do 28,1 °C,
- 5 Nmm pri temperaturah 29,7 in 31,2 °C,
- 2,5 Nmm pri temperaturah 28,4 in 33,6 °C in
- 0,64 Nmm pri temperaturi 37,5 °C.

Strižne napetosti so bile pri tem od 0,17 N/mm<sup>2</sup> do 0,0045 N/mm<sup>2</sup>. Najprej smo preizkus izvedli pri najnižji temperaturi in nadaljevali proti višjim. Po vsaki meritvi smo počakali, da se je povratno lezenje umirilo na zanemarljivo raven glede na hitrost dogodka iz naslednje meritve.

Vpliv zaostale deformacije, različnih obremenitev (5 in 2,5 Nmm) in lezenja v »levo« oziroma »desno«

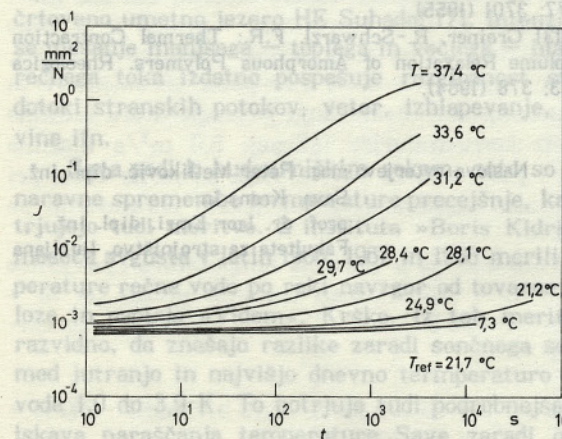


smer smo testirali pri temperaturi 33,5 °C. Rezultat je razviden s slike 12. Vidi se, da je meritev zelo ponovljiva, kljub temu da se je temperatura med meritvijo spremenila za 0,2 °C.



Sl. 12. Krivulja lezenja PVAc pri enaki temperaturi.

Rezultati meritev funkcije modula lezenja so prikazani na sliki 13. Krivulje so pomaknjene v navpični smeri [12] za faktor  $a_T = T/T_0$ , kjer je  $T$  absolutna temperatura testa in  $T_0$  referenčna temperatura. Rezultat posamezne meritve smo skrajšali za vse tiste točke, v katerih se je temperatura razlikovala od začetne za več kakor 0,3 K. Drugi razlog, zakaj se dolžine rezultatov razlikujejo, je, da pri višjih temperaturah deformacija prej doseže končno merilno območje merilnika pomika.

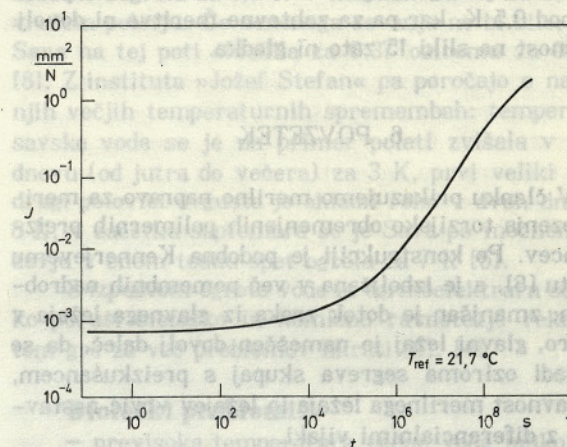


Sl. 13. Krivulja lezenja PVAc pri različnih temperaturah.

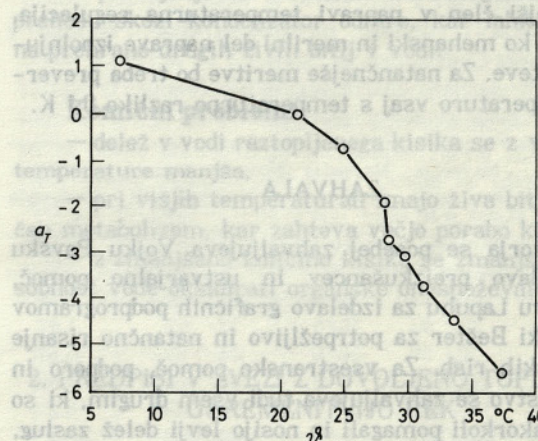
Iz dimenzij preizkušanca in merilnega območja zasuka lahko izračunamo, da je največja deformacija preizkušanca  $\gamma_{maks} = 0,006$ . Po končanih preizkusih smo s tehtanjem ugotovili, da se je vlažnost povečala na 6 odstotkov.

### 5.3 Sumarna krivulja

Navpično premaknjene krivulje smo vodoravno premaknili glede na krivuljo pri referenčni temperaturi, tako da smo dobili gladko sumarno krivuljo, prikazano na sliki 14. Koeficienti pomika  $a_T$ , v odvisnosti od temperature  $\vartheta$ , so prikazani na sliki 15.



Sl. 14. Sumarna krivulja lezenja suhega PVAc.



Sl. 15. Diagram premaknitve faktorjev.

Pod temperaturo steklastega prehoda se začenja fizikalno staranje materiala, to pomeni, da postanejo procesi zmanjševanja medmolekularne prostornine bistveno počasnejši od hitrosti vzpostavitve toplotnega ravnotežja. Specifična prostornina materiala se zmanjšuje, prav tako pa tudi hitrost lezenja s staranjem materiala pri konstantni temperaturi (in drugih robnih pogojih) [6]. Pri naših preizkusih pod temperaturo steklastega prehoda nismo čakali, da bi se material »postaral«, saj to lahko traja več let [13]. Zato ima črta na sliki 15 prevoj pri temperaturi steklastega prehoda, ki je za ta material nekako pri 28,5 °C.



Vodoravni pomiki so nad absciso  $\log t$ , v realnem času pomeni faktor  $a_T$  za faktor  $10^{a_T}$  hitrejši dogodek (lezenje). Sprememba hitrosti dogodka je največja okrog prevoja, kjer je hitrost lezenja 5-krat večja, če se temperatura zviša za en kelvin (K). Iz tega jasno izhaja, da mora biti temperatura med preizkusom čim bolj stabilna. Regulator, ki smo ga uporabljali pri teh preizkusih, je zagotavljal večurno stabilnost temperature pod 0,5 K, kar pa za zahtevne meritve ni dovolj. Odvisnost na sliki 15 zato ni gladka.

## 6. POVZETEK

V članku prikazujemo merilno napravo za meritve lezenja torzijsko obremenjenih polimernih preizkušancev. Po konstrukciji je podobna Kennerjevemu aparatu [8], a je izboljšana v več pomembnih navedenostih: zmanjšan je dotok zraka iz glavnega ležaja v komoro, glavni ležaj je nameščen dovolj daleč, da se ne hladi oziroma segreva skupaj s preizkušancem, vodoravnost merilnega ležaja in ležajev vrvic nastavlja z diferencialnimi vijaki.

Celotna meritev je izvedena in nadzorovana z računalnikom, ki tudi vrednoti rezultate. S predstavljenom meritvijo lezenja suhega polivinilacetata smo pokazali zmožnosti naprave. Meritve potrjujejo, da je najšibkejši člen v napravi temperaturna regulacija, medtem ko mehanski in merilni del naprave izpolnjujeta zahteve. Za natančnejše meritve bo treba preverjati temperaturo vsaj s temperaturno razliko 0,1 K.

## ZAHVALA

Avtorja se posebej zahvaljujeta Vojku Pavšku za izdelavo preizkušancev in ustvarjalno pomoč, Radmiru Lapuhu za izdelavo grafičnih podprogramov in Branki Bešter za potrpežljivo in natančno risanje delavniških risb. Za vsestransko pomoč, podporo in prijateljstvo se zahvaljujeta tudi vsem drugim, ki so nama kakorkoli pomagali in nosijo levji delež zaslug, da je bilo to delo opravljeno.

## LITERATURA

- [11] Landel, R.F.-Peng, S.T.J.: Equations of State and Constitutive Equations, *J. Rheology*, 30 (4): 741 (1986).
- [12] Metlikovič, P.-Emri, I.: Naprava za merjenje lezenja torzijsko obremenjenih polimernih preizkušancev. 1. del. *Strojniški vestnik* 1989/4-6 in 7-9.
- [13] Knauss, W.G.-Emri, I.: Non-Linear Viscoelasticity Based on Free Volume Consideration. *Computer & Structures*, 13: 123 (1981).
- [14] Knauss, W.G.-Emri, I.: Volume Change and Nonlinearly Thermo-Viscoelastic Constitution of Polymers. *Polymer Engineering and Science*, 27: 86 (1987).
- [15] Findley, W.N.-Lai, J.S.-Onarar, K.: Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials. North-Holland Publ. Comp., 1976.
- [16] Struik, L.C.E.: Physical Aging in Amorphous Polymers and Other Polymers. Elsevier Scientific Publ. Comp., 1978.
- [17] Schwarzl, F.R.-Zahradnik, F.: The Time Temperature Position of the Glass-Rubber Transition of Amorphous Polymers and the Free Volume. *Rheologica Acta* 19: 137 (1980).
- [18] Kenner, V.H.-Knauss, W.G.-Chai, H.: A Simole Creep Torsionmeter and its Use in the Thermorheological Characterization of a Structural Adhesive. *Experimental Mechanics* 22(2): 75 (1982).
- [19] Plazek, D.J.: Magnetic Bearing Torsional Creep Apparatus. *J. Polymer Science, Part A-2*, 6: 621 (1968).
- [10] Link, G.-Schwarzl, R.: Measuring Device for Precise Evaluation of Torsional Creep and Recovery Data. *Rheologica Acta* 24: 211 (1985).
- [11] Knauss, W.G.-Kenner, V.H.: On the Hygrothermomechanical Characterization of Polyvinyl Acetate. *J. Applied Physics* 51: 5131 (1980).
- [12] Williams, M.L.-Landel, R.F.-Ferry, J.D.: The Temperature Dependence of Relaxation Mechanism in Amorphous Polymers and Other Glass Forming Liquids. *J. Amer. Chem. Soc.*, 77: 3701 (1955).
- [13] Greiner, R.-Schwarzl, F.R.: Thermal Contraction and Volume Relaxation of Amorphous Polymers. *Rheologica Acta* 23: 378 (1984).

Naslova avtorjev: mag. Peter Metlikovič, dipl. inž.  
Sava Kranj in  
prof. dr. Igor Emri, dipl. inž.  
Fakulteta za strojništvo, Ljubljana