

**Expertizní posudek
Ueber Eigenschaften der**

Spoluautoři: František Fára, Julia Simconova

55 stran

březen 1992

3. 1992

B E R I C H T N o . 9 2 0 5 0 8 4

über Eigenschaften der [REDACTED]

Aufgrund der Bestellung der Firma astra-Chemie Dr. Seidler GmbH vom 30. 8. 1991 wurde die experimentale Untersuchung der mechanischen Eigenschaften der Polyurethanharz bestimmt für die Herstellung der syntetischen Fussbodenbelege laut im voraus vereinbarten Programm durchgeführt.

PRÜFPROGRAMM

- A/ Komplette mechanische Zugprüfung, die umfasst
- Spannung - relative Deformation Programm für kurzzeitliche Belastung /Spannung - relative Deformation, maximale Festigkeit, Bruchfestigkeit, Grenzdeformation, Elastizitätsmodul, alles bei + 20°C und bei - 20°C/
 - SHORE Härte
 - CREEP Charakteristik binnen 2 Stunden bei 20°C
 - Relaxation-Charakteristik, binnen 3 Stunden bei 20°C
- Musteranzahl: 3 St /Hundeknochen-Form/
- B/ Einfluss von Alterung und thermischen Nachbehandlung auf die mechanische Haupt-Eigenschaften /binnen 2 Jahre/
- Musteranzahl: 54 St

C/ Matematische Extrapolation von langfristigen Creep - und Relaxationsmessungen zusammen mit langfristige Kontroll /1,5 Jahre/
Musteranzahl: 6 St

D/ Unformales Messen von Innen-Spannungs-Zustand Schwindung, Koeffizient der thermischen Expansion bei Temperaturen + 20°C, + 60°C, - 20°C.

Im September 1991 lieferte man 15 Kg der Masse Astradur Reaktionskunststoff 1173, Charge 15982 /Produktionsdatum 08. 91/.

Im November 1991 erzeugte man 80 St Versuchsmuster in Form der Hundeknochen für Zug-, Creep- und Relaxationsprüfungen, davon die Hälfte wurde bei der Zimmertemperatur gehärtet und die zweite Hälfte wurde bei der Temperatur 85°C binnen 72 Stunden nachgehärtet.

Die Prüfungen ad A des Versuchsmusters B-91228 vom 22. 8. 1991 wurden im Dezember 1991 /18 Prüfobjekte/ durchgeführt.

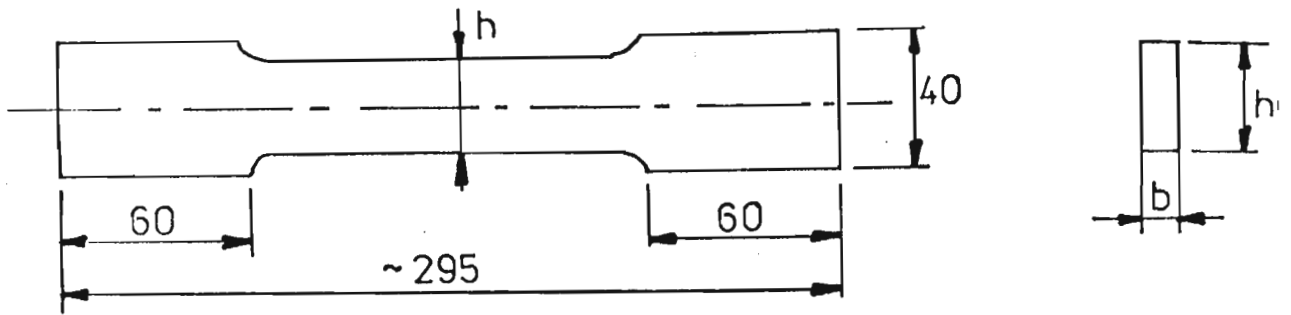
Programm ad B /54 Prüfobjekte/ wurde im Dezember 1991 eröffnet. Teilresultate wurden in Halbjahrperioden ausgewertet, Beendigung des Experiment es im Februar 1994.

Programm ad C wurde im Januar 1992 eröffnet. Matematische Extrapolation von Creep und Relaxation wurde durchgeführt, langfristige Messungen wurden eröffnet, Endergebnisse werden im August 1992 geliefert.

Das Messen der Innenspannung, Schwindung und des Temperatureausdehnungskoeffizients wurde im Februar 1992 beendet.

METHODEN

Das Messen durchliefte auf den Zug-Mustern laut Abb. 1, mit kritische Querschnittfläche 100 mm².



Die Prüfungen ad A bei $+ 20^{\circ}\text{C}$ und 50% RF wurden auf dem Prüfapparat Testatron-Wolpert durchgeführt. Die Kraft wurde mit Induktionsdynamometer Testatron 0 - 10 kN abgetastet, die Deformation mit dem Aufnehmer Instron 651-12 M mit Messbasis 25 mm. Die Signale hat die Zentrale Hottinger KWS 6T-5 verarbeitet und in Diagramme Plotter BBC Goerz SE 780 aufgezeichnet /Abb. 2 und Abb. 3/.

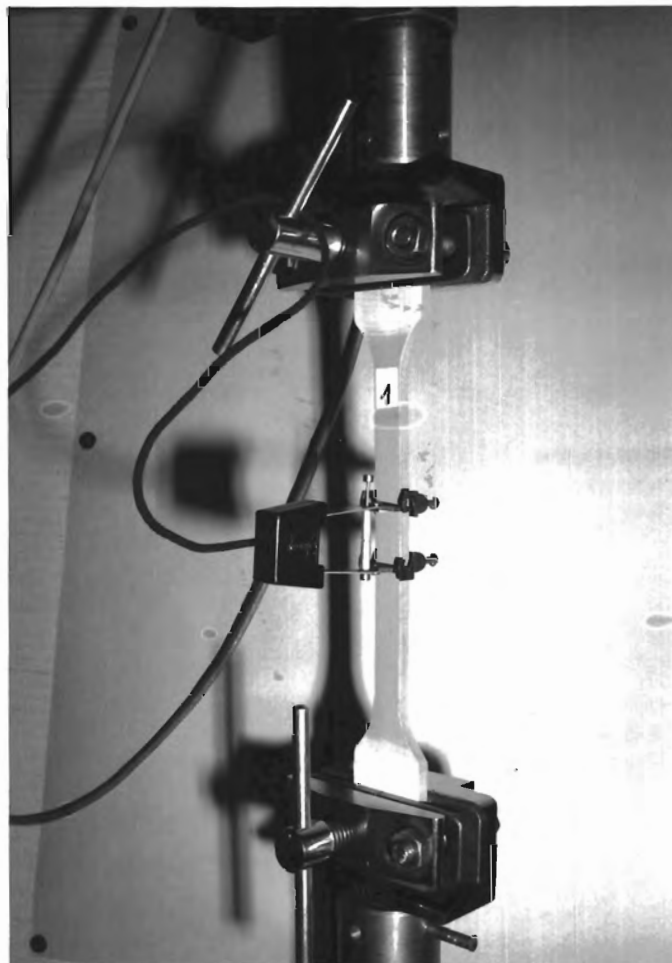


Abb. 2

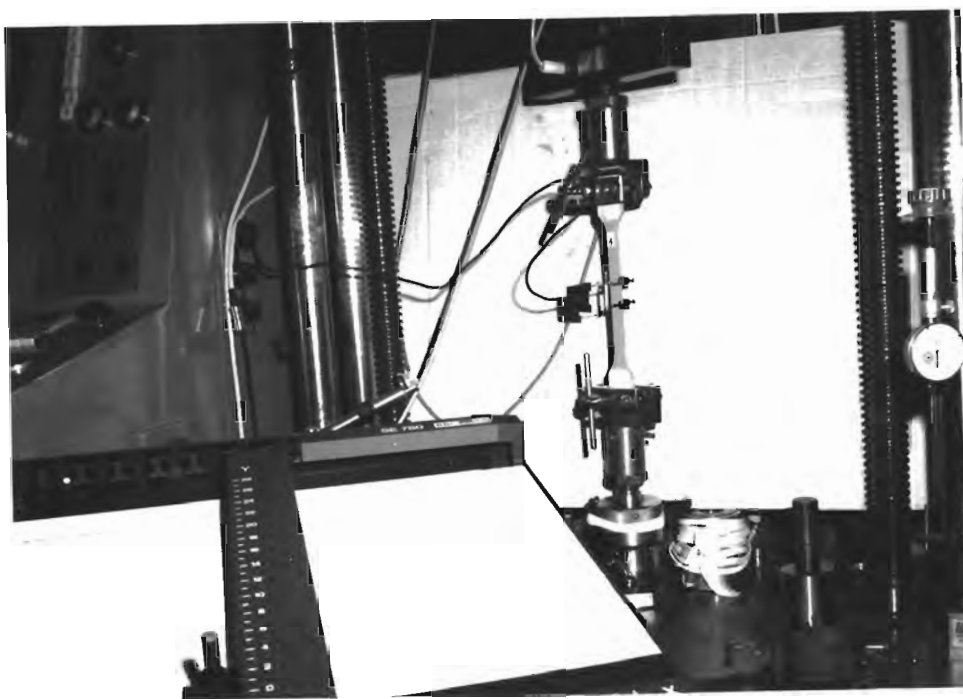


Abb. 3

Die Prüfungen ad A bei -20°C wurden in Klimatisierungskammer Voetsh mit Rauminhalt 1 m^3 realisiert. Für die Entwicklung der Kraft wurde die mechanische Anlage eigener Konstruktion benutzt /Abb. 4/, die aus zwei Teilen besteht:

- Entwicklung und Messen der Kraft ausserhalb der Kammer /Abb. 5/
- das Messen der Deformationen im Kammer /Abb. 6/.

Die Kraft wurde mittels die Mutter auf der Schraube durch Axiallager entwickelt und in die Klimatisierungskammer durch die Zugstange auf den Einspannkopf übertragen. Die Kraft ist mit dem Dynamometer Testatron 0 - 10 kN, der in Axiallager gelagert ist und gegen das Drehen fixiert, abgetastet.

Die Deformation wurde mit dem Aufnehmer Instron G 51 - 12 M mit der Basis 25 mm gemessen. Für Aufnehmerreichen bei -20°C diente die ausser Kammer situierte Indikatoruhr.

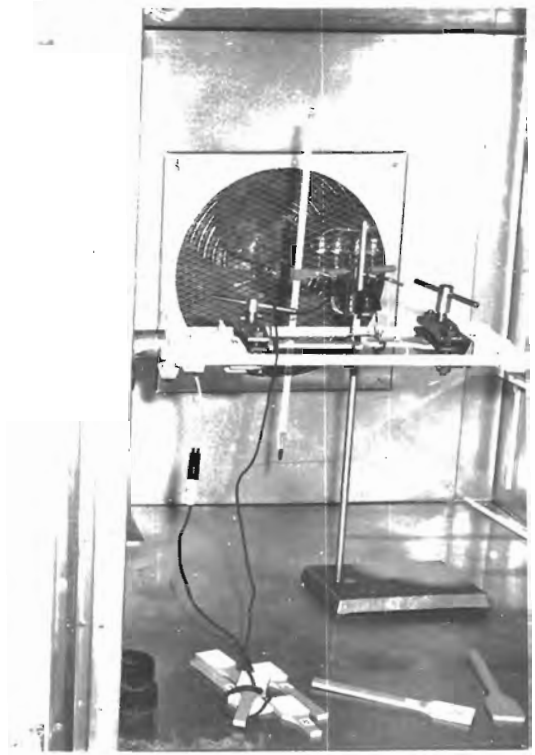
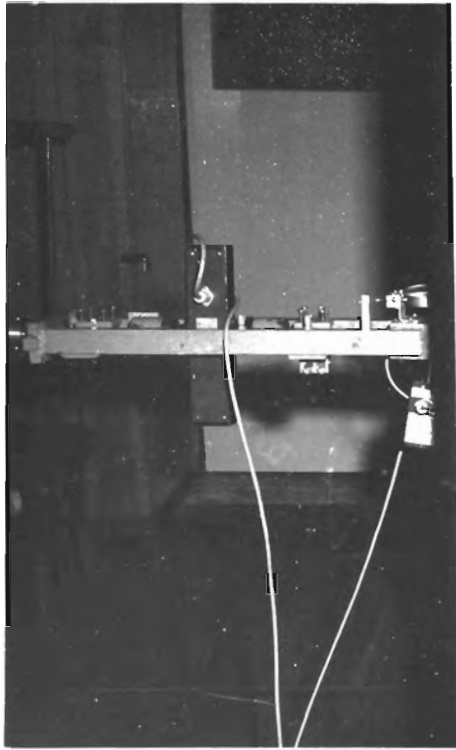


Abb. 4

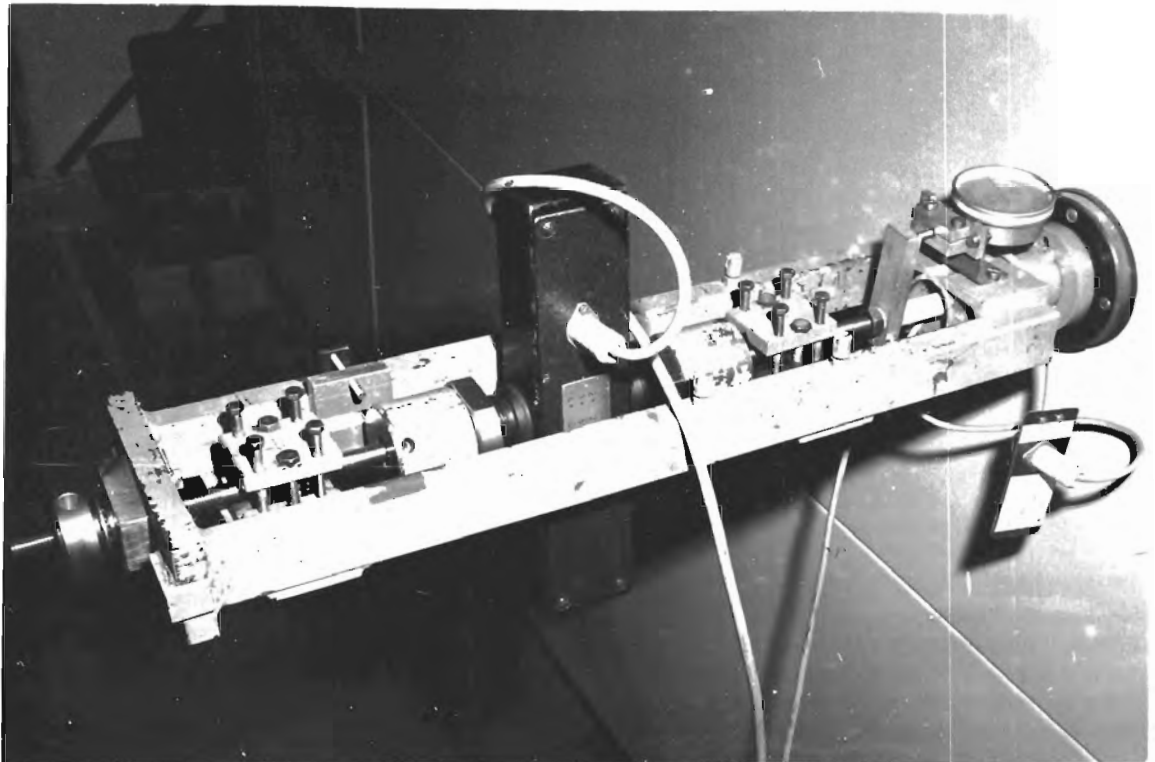


Abb. 5

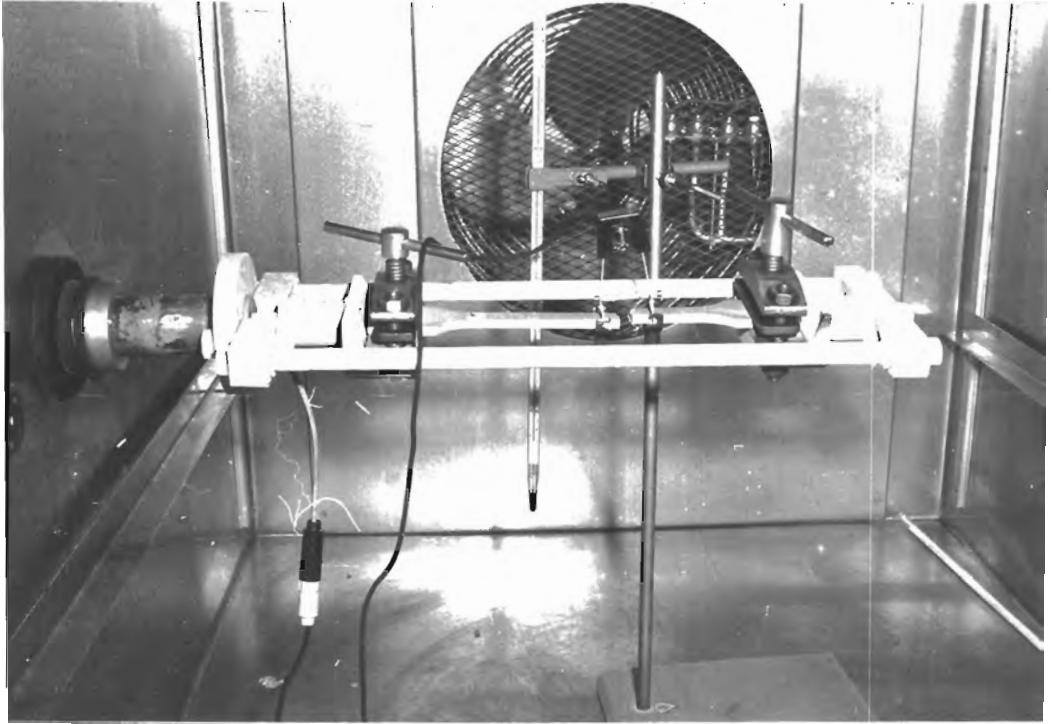


Abb. 6

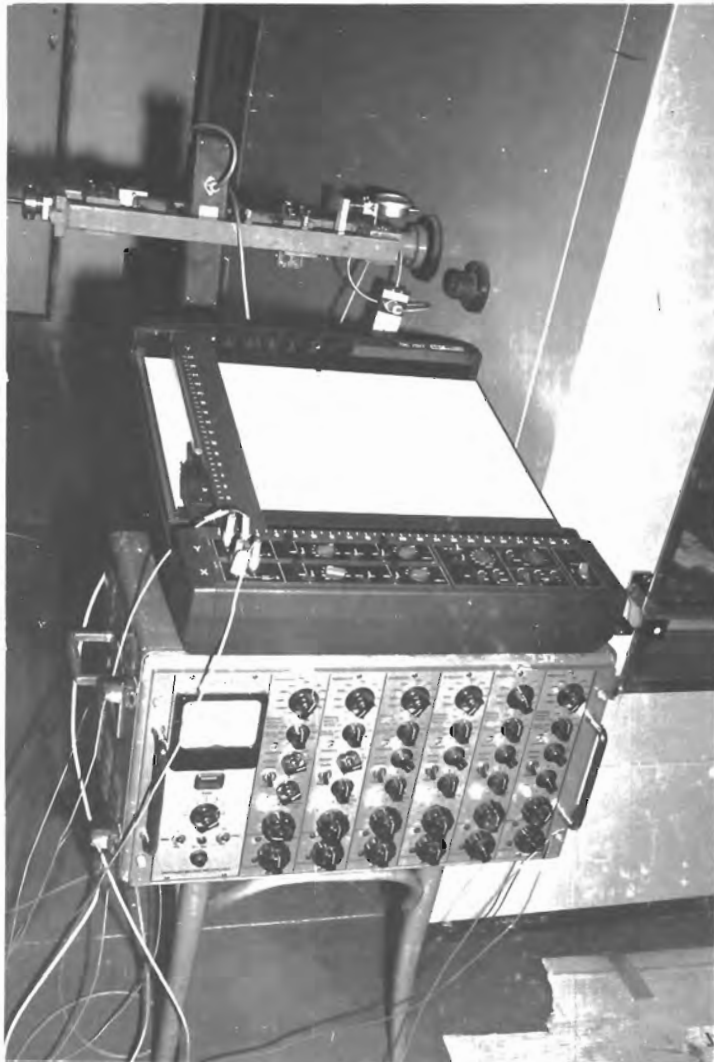


Abb. 7

Die Signale verarbeitete die Zentrale Hottinger und in Diagramme aufgezeichnete Plotter BBC-Goerz SE 780 /Abb. 7/. Die Temperatur im Kammer wurde auf $-20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ eingehalten.

Die Prüfungen ad B wurden auf gleiche Mustern wie ad A realisiert auf der Prüfanlage Tiratest 2160. Die Kraft wurde mit dem Kraftmesskopf des Gerätes mit dem Messbereich von $0,1 \cdot 10^3$ kN bis 5 kN mit der Bereicheinstellen auf 1 kN abgetastet, die Geschwindigkeit der Backe-Verschiebung war 5 mm pro Minute, was bei der Länge des Musterarbeitsteiles 150 mm die Geschwindigkeit der relativen Ausdehnung $\dot{\epsilon} = 0,034 \text{ min}^{-1}$ macht. Die Signale wurden verarbeitet und in Diagramme aufgezeichnet mit der Anlage, mit der die Maschine ausgerüstet ist. Für Bestimmung der Wand-Elastizitäts-Modullen wurde ein Standard-Programm benutzt, das den Wahl von drei Werte der relativen Deformation $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ ermöglicht. Gleichzeitig sind ϵ_{max} und entsprechende $\sigma_{\text{max}}, \epsilon_{\text{lim}}$ und σ_{lim} und weiter Differenz-Elastizitäts-Modul im Intervall $\epsilon_1 - \epsilon_3$. Gewählte Werte der relativen Deformation: $\epsilon_1 = 0,5\%, \epsilon_2 = 1\%, \epsilon_3 = 1,5\%$.

Zeitprogramm der Messungen /Alter ab Erzeugung/: 3, 7, 14 Tage; 1, 2, 3, 6, 12 Monate und weiter immer nach 12 Monate. Gleichzeitig wurden die binnen 72 Stunden bei der Temperatur 85°C nachgehärtete Muster gemessen. Musteranzahl für jede Prüfung 5 St /ausnahmsweise 3 St/.

Matematische Extrapolation von Creep- und Relaxationsmessungen wurde nach Findley mittels vereinfachte Dreiparametergleichung auf dem Computer PDP 21.

Langfristige Creep-Prüfungen werden in Creep-Station der bulgarischen Akademie der Wissenschaften in Sofia auf der Anlage mit mechanische Kraftübertragung realisiert. Experimenteneröffnung im März d. J., Experimentenbeendigung im September d. J.

Die Prüfungen ad D durchliefen auf der Anlage REOTEST-2 laut vollem Programm angeführt z. B. im Artikel Bareš - Fára "Bewertung der Gebrauchseigenschaften von Industriefussböden nach ihrem Schwindverhalten und ihren thermischen Spannungen", Industrial Floor 87, Esslingen.

Zur Ergänzung der Informationen über Fussbodenbelegeigenschaften in Zeitabhängigkeit wurde auch die Methode für das Messen der Länge-Werten-Änderungen der frei aufgelagerten Prüfkörper. Es wurden folgende Werte festgestellt:

- frei Schrumpfung bei Aushärtung und Nachaushärtung der Masse in der normalen Umgebung
- Schrumpfung nach der Temperatur-Nachhärtung für Vergleich mit der freien Schrumpfung in der normalen Umgebung
- Verkürzung bei der Temperaturherabsetzung $/T = - 20^{\circ}\text{C}/$ für die Feststellung des Länge-Temperatur-Ausdehnungskoeffizients.

Die Prüfkörper wurden in den speziellen Metall-Formen gefertigt mit Längtoleranz max. 0,05 mm. Länge der Prüfkörper ist 500 mm, Querschnitt ist konisch mit Breite 25 - 27 mm und Dicke 10 mm. Schrumpfungsgrösse wird gemessen auf den Mustern, die man aus der Form mit Hilfe einer einfachen Vorrichtung herausnimmt, mittels hundertteiligen Indikators, nullstellen auf den Länge-Ausmass der Form 500 mm.

ERGEBNISSE

Test A - Negativtemperatur $/- 20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}/$

a/ Muster ausgehärtet unter normale Temperatur $/20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}/$

Grenzspannung: 26,9; 22,8; 29,0 MPa - Durchschnitt 26,2 MPa

Grenzdehnung: 0,94; 0,82; 0,92 % - Durchschnitt 0,89 %

Elastizitätsmodul: 2862; 2780; 3152 MPa - Durchschnitt 2931 MPa

b/ Muster angehärtet unter erhöhte Temperatur $/80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}/$
72 Stunden

Grenzspannung: 28,3; 37,9; 34,8 MPa - Durchschnitt 33,7 MPa
Grenzdehnung: 0,8; 1,04; 1,05 % - Durchschnitt 0,96 %
Elastizitätsmodul: 3537; 3644, 3319 MPa - Durchschnitt 3500 MPa

Arbeitsdiagramme der einzelnen Muster sind auf die Abb. 8
und Abb. 9 angeführt.

Test A - Zimmertemperatur $/22^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}/$

a/ Muster ausgehärtet unter normale Temperatur $/20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}/$

Grenzspannung: 11,7; 12,2; 11,3 MPa - Durchschnitt 11,7 MPa
Grenzdehnung: 12,8; 16,6; 14,3 % - Durchschnitt 14,5 %
Elastizitätsmodul: 562; 452; 452 MPa - Durchschnitt 488 MPa

b/ Muster ausgehärtet unter erhöhte Temperatur $/80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}/$

Grenzspannung: 20,84; 17,0; 18,10 MPa - Durchschnitt 18,68 MPa
Grenzdehnung: 2,7; 1,96; 2,1 % - Durchschnitt 2,25 %
Elastizitätsmodul: 1115; 1104; 1132 MPa - Durchschnitt 1117 MPa

Arbeitsdiagramme der einzelnen Muster sind auf die Abb. 10
und Abb. 11.

Test A - Relaxation $/22^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}/$

Es wurde Deformationswert 1% gewählt, was denn aus den Zugarbeitsdiagramme die Kraft 650 N für die unter normale Temperatur ausgehärtete Muster und 1100 N für die unter erhöhte Temperatur ausgehärtete Muster entspricht. Die Aufzeichnung der Messen der einzelnen Muster ist auf der Abb. 12 und Abb. 13; in Anlaufteil ist die Aufzeichnung in Koordinaten Kraft - Verlängerung, nach Erreichung der Deformation 1% wird die Aufzeichnung automatisch in Koordinaten Kraft - Zeit umgeschaltet. Relaxation wurde binnen 3,5 Stunden gemessen.

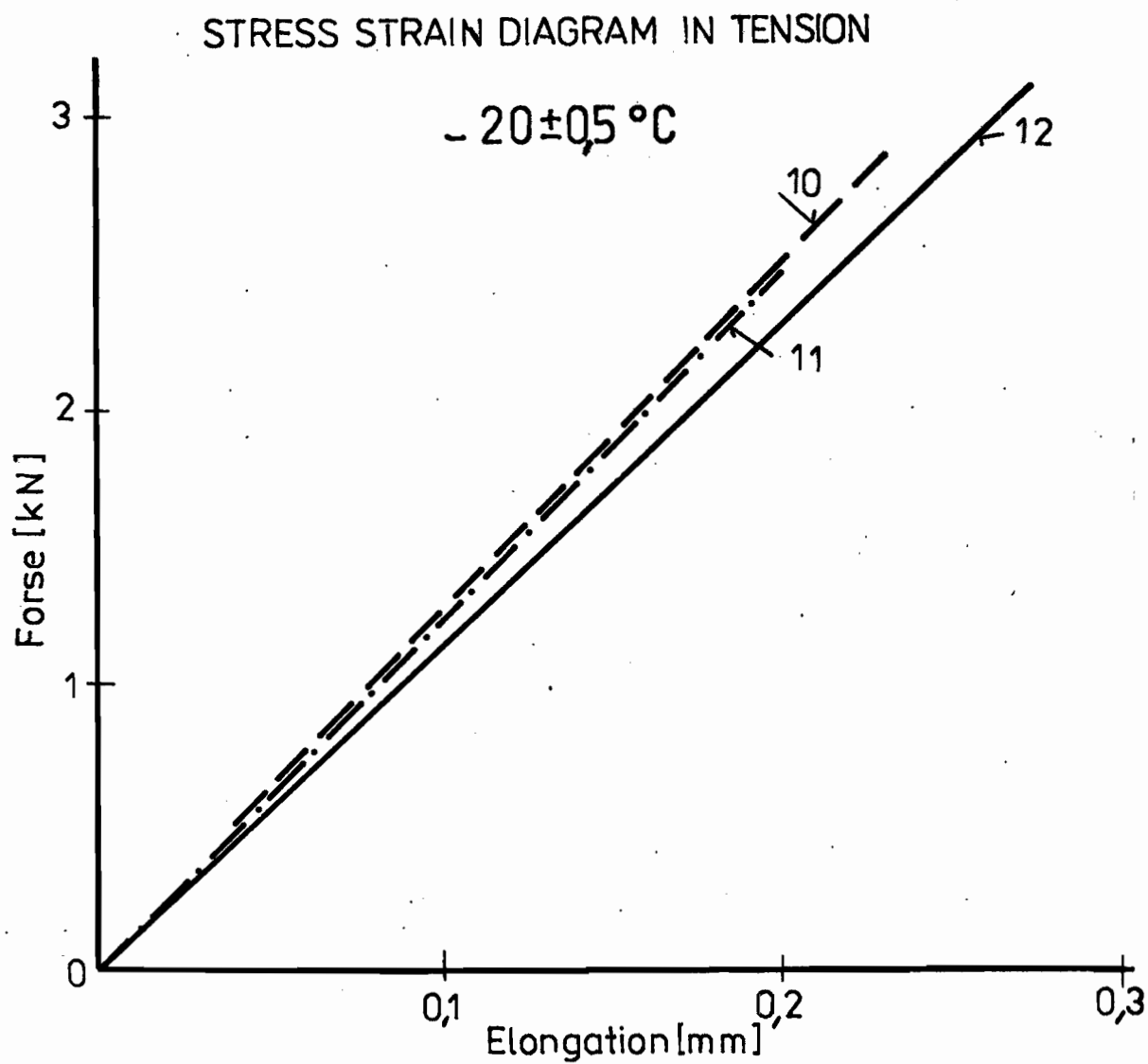
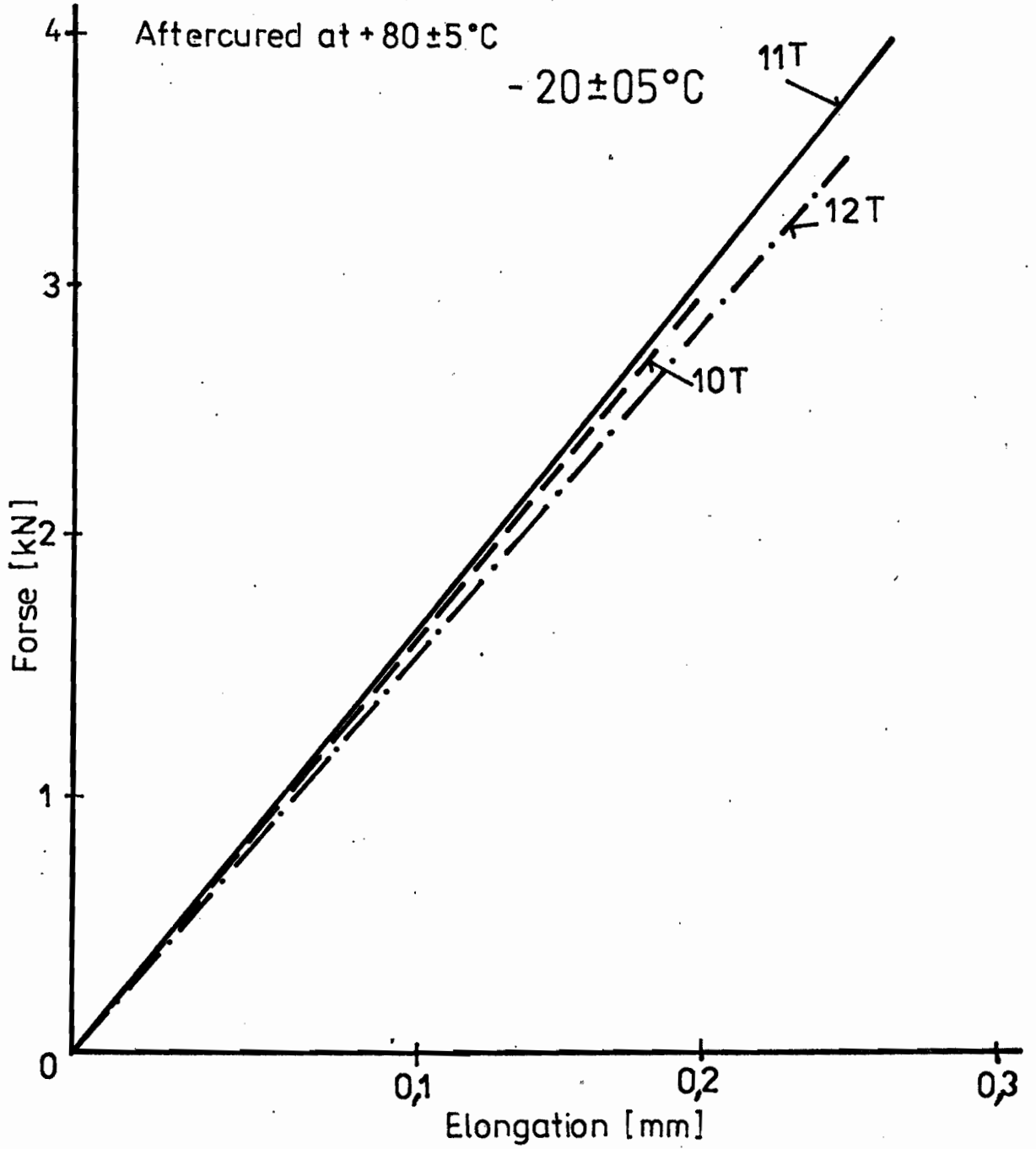
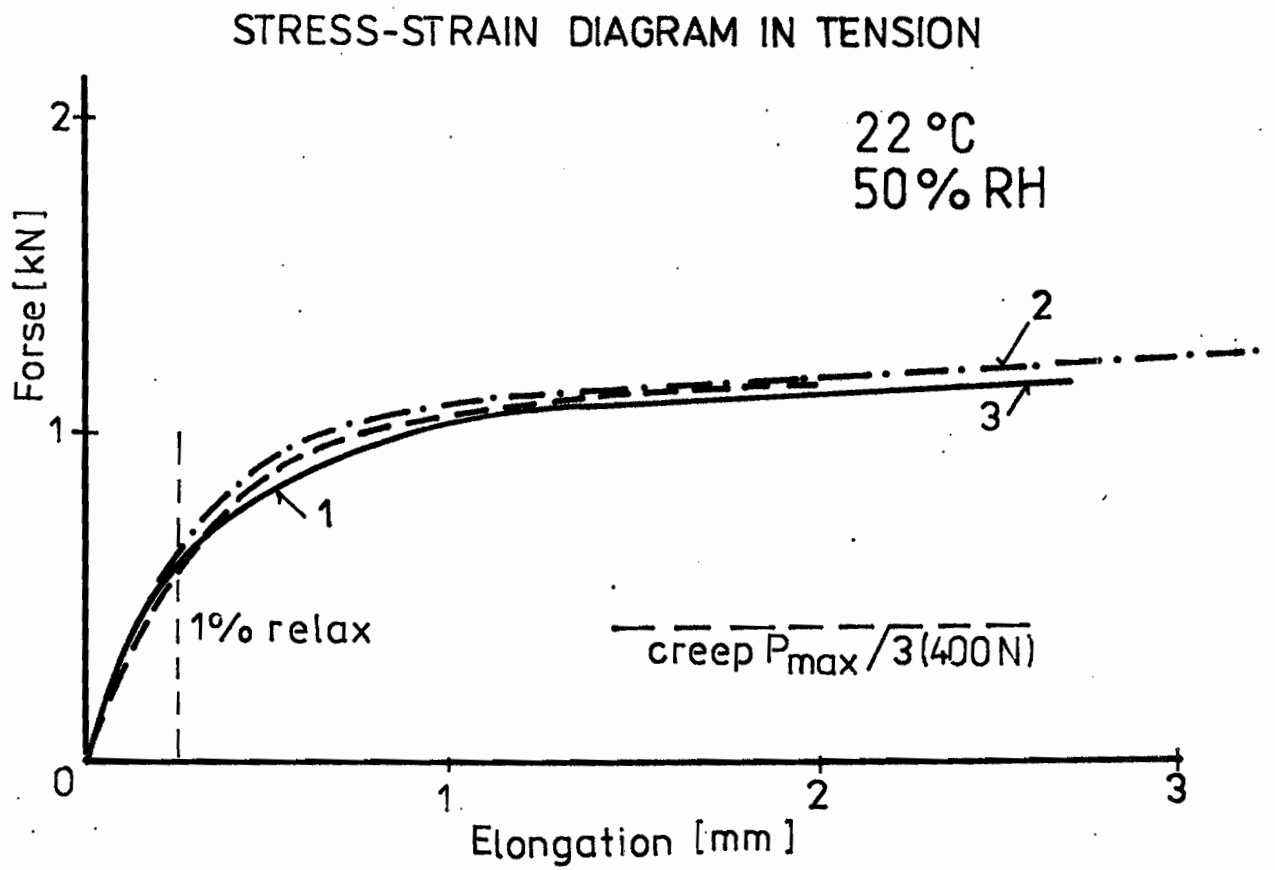


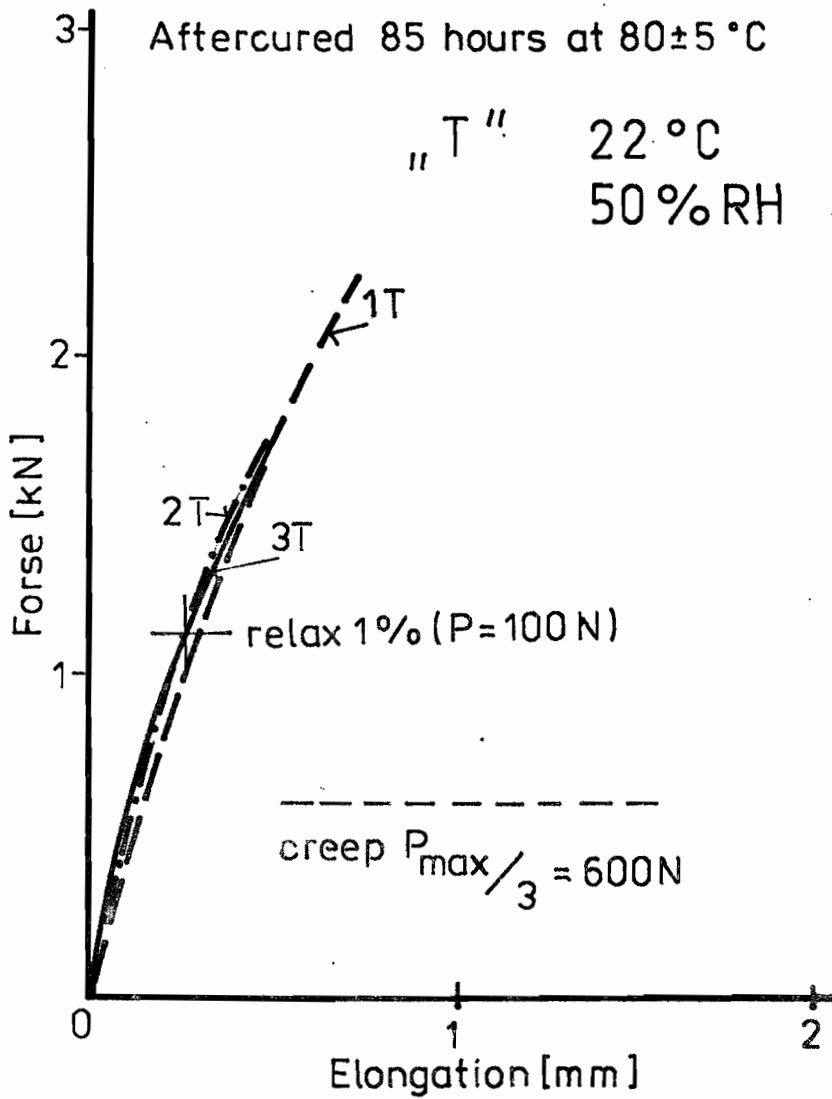
Abb. 8

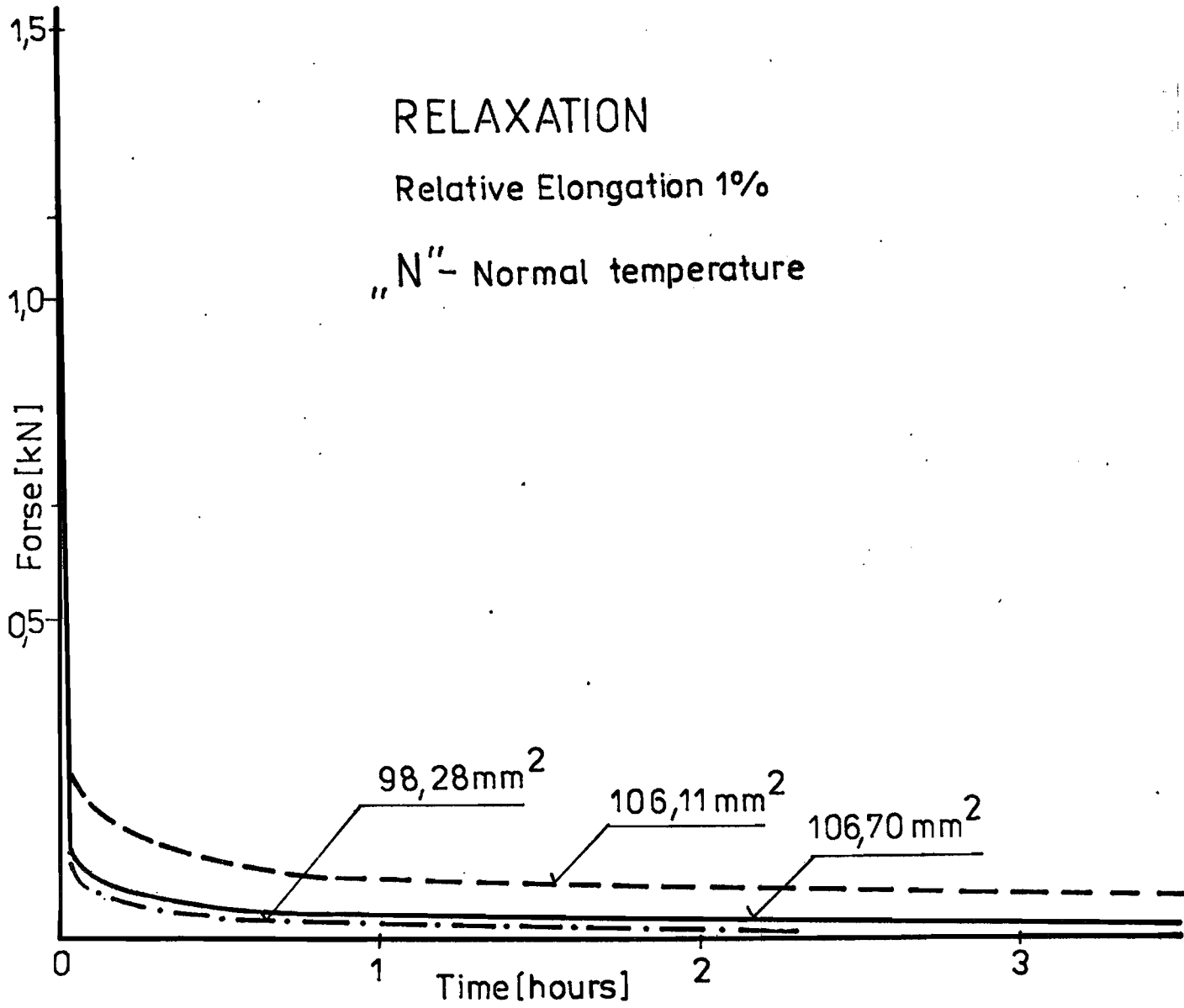
STRESS STRAIN DIAGRAM IN TENSION





STRESS STRAIN DIAGRAM, IN TENSION

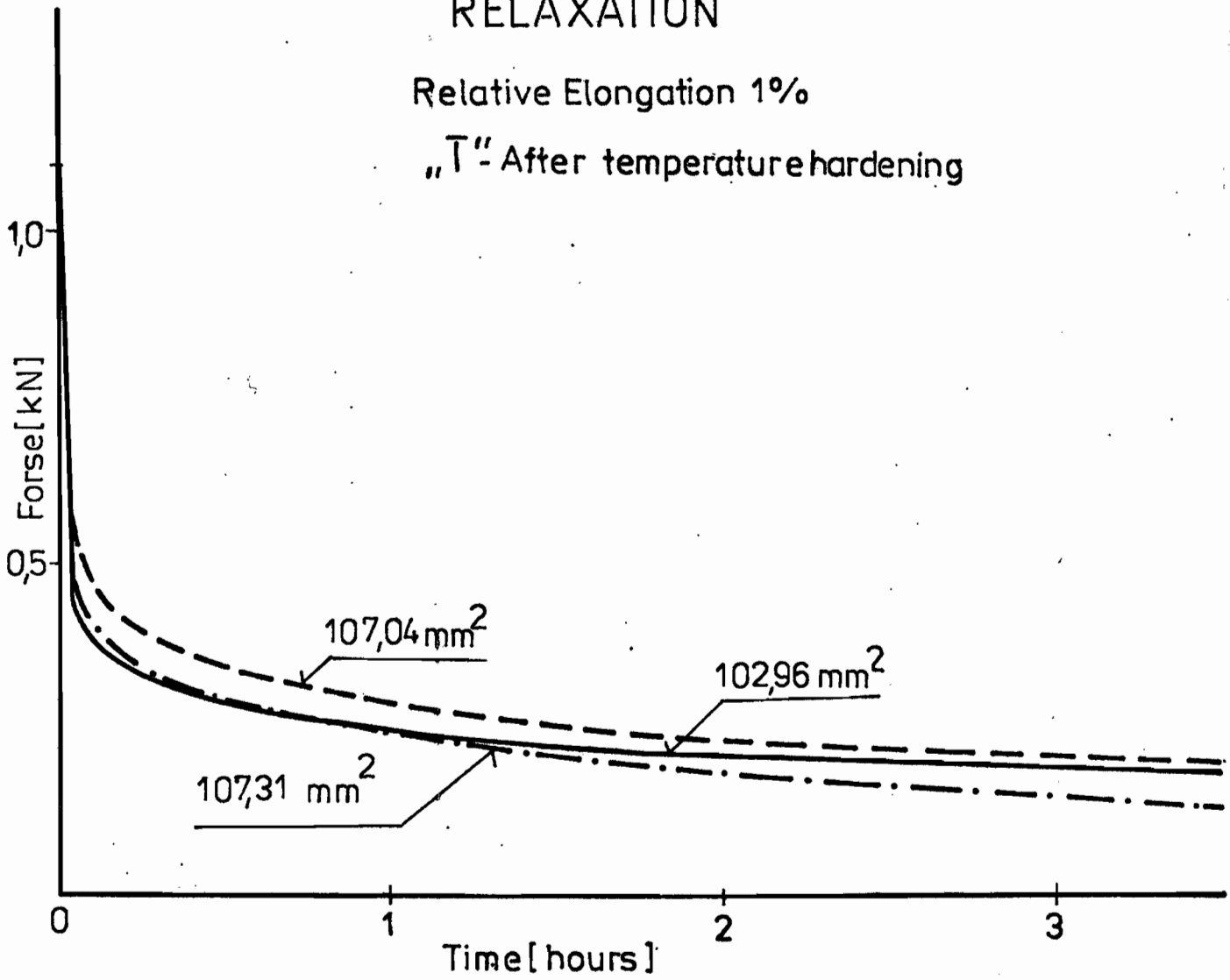




RELAXATION

Relative Elongation 1%

„T“ After temperature hardening



In Tabellen 1 und 2 sind Anfangs-Elastizitätsmodul $ER / t = 0/$, Kriechenmodul /Relaxationsmodul nach 3,5 Stunden/, ihre Differenz, Relation $ER / t = 3,5 \text{ St.}/$ der Moduländerung zum Anfangswert des Musters und auch im Durchschnitt.

a/ Muster gehärtet unter normale Temperatur $/20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
55% RF/

TABELLE 1

No.	ER /t = 0/ MPa	ER /t = 3,5 St/ MPa	ΔER MPa	ΔER % ER /t = 0/
4	628	8,7	619,3	98,6
5	564	26,0	538,0	95,4
6	575	23,5	551,5	95,9
Durchschnitt	589	19,4	569,0	96,6

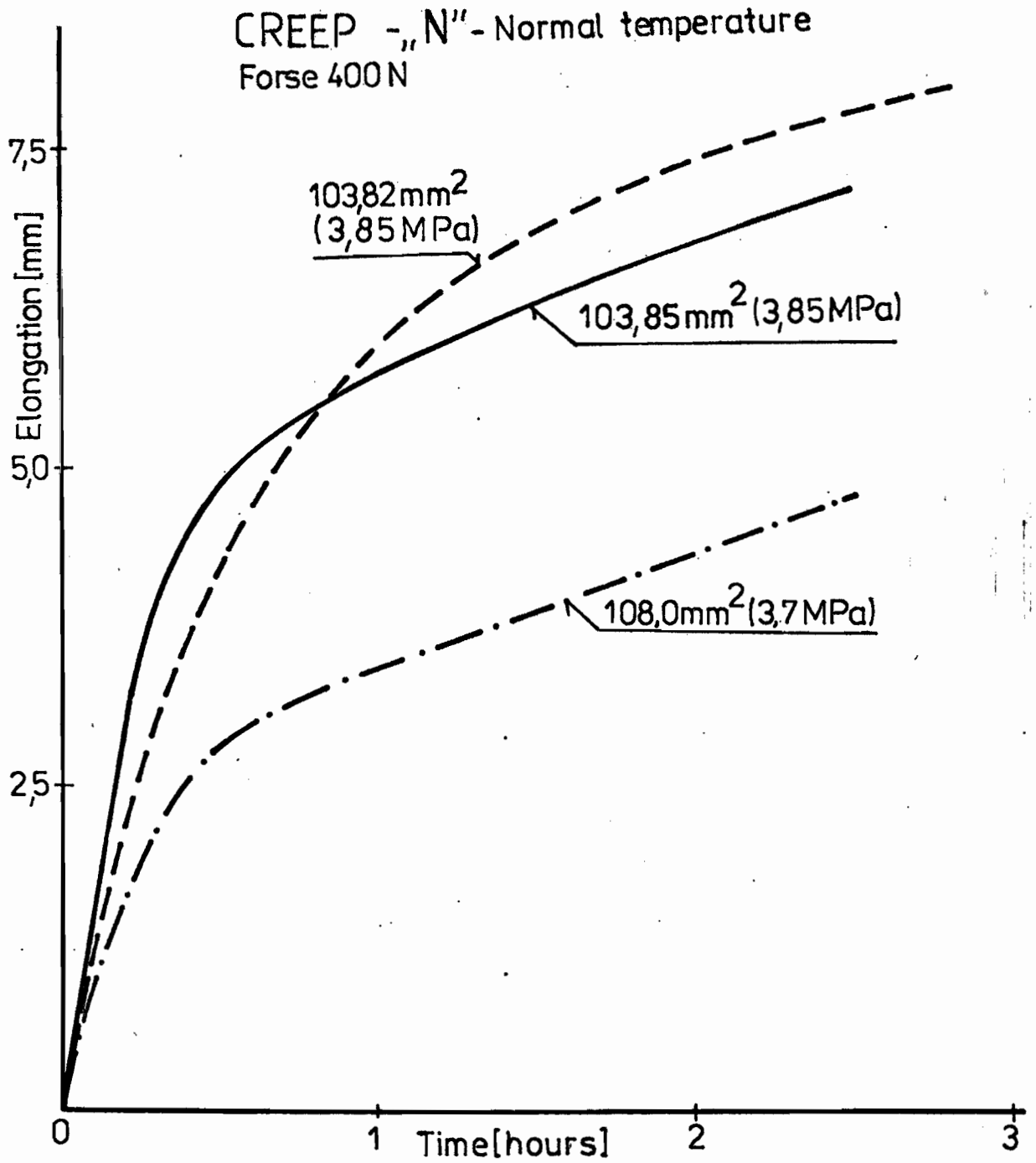
b/ Muster gehärtet unter erhöhte Temperatur $/80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

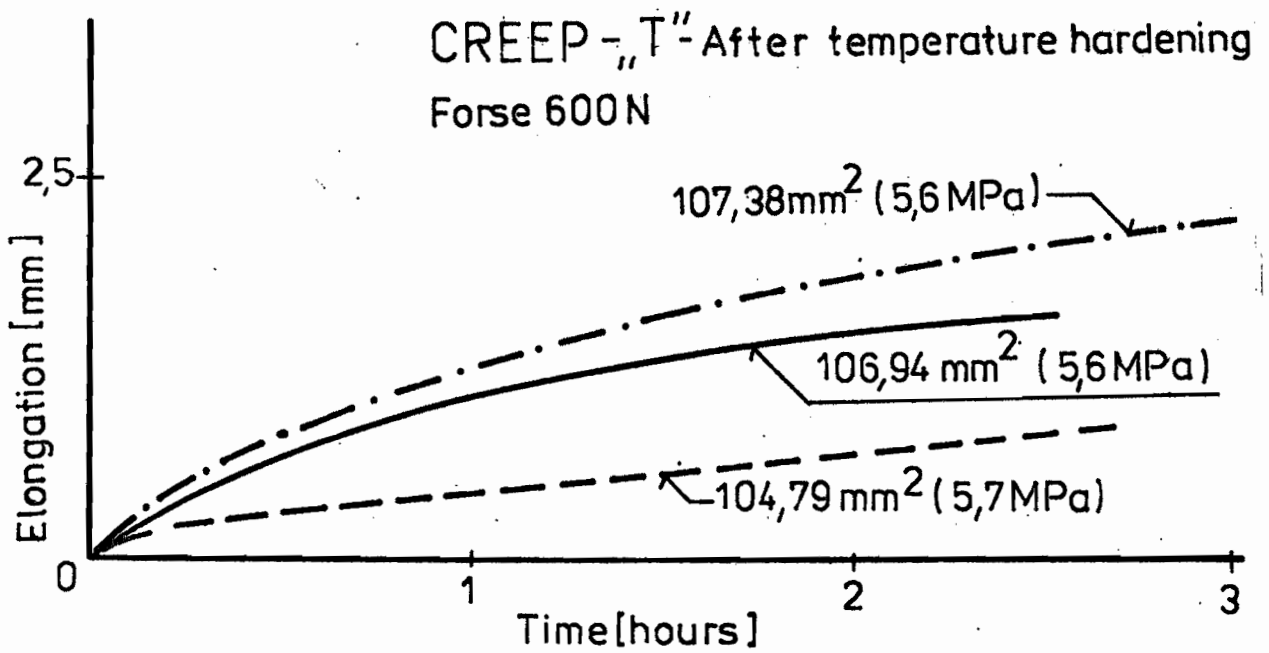
TABELLE 2

No.	ER /t = 0/ MPa	ER /t = 3,5 St/ MPa	ΔER MPa	ΔER % ER /t = 0/
4T	1084	175	909	83,8
5T	1012	115	897	88,6
6T	1109	176	933	84,2
Durchschnitt	1068	155	913	85,5

Test A - Creep $/22^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, 55% RF

Spannungwert für einzellne Muster wurde aus Arbeitsdiagramme in der Höhe cca 1/3 der Grenzspannung. Die Aufzeichnung des Messvorgangs ist auf der Abb. 14 und Abb. 15 in Koordinaten Verlängerung-Zeit angeführt Creep wurde binnen 2,5 Stunden gemessen.





In der Tabellen sind Anfangs-Elastizitätsmodul $E_c / t = 0/$, Kriechenmodul /Creep-Modul nach 2,5 St./ $E_c / t = 2,5 \text{ St/}$, ihre Differenz ΔE_c , Relation zwischen Moduländerung zum Anfangswert und Creepspannung für einzelne Muster und auch im Durchschnitt.

a/ Muster gehärtet unter normale Temperatur $/22^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$,
55% RF/

TABELLE 3

No.	$E_c / t = 0/$ MPa	$E_c / t = 2,5 \text{ St/}$ MPa	ΔE_c MPa	$\frac{\Delta E_c}{E_c / t = 0/} \%$	σ_c
7	538	19,5	518,5	96,4	3,7
8	538	12,2	525,8	97,7	3,85
9	538	12,8	525,2	97,6	3,85
Durchschnitt	538	14,8	523,2	97,2	3,8

b/ Muster gehärtet unter erhöhte Temperatur $/80^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$

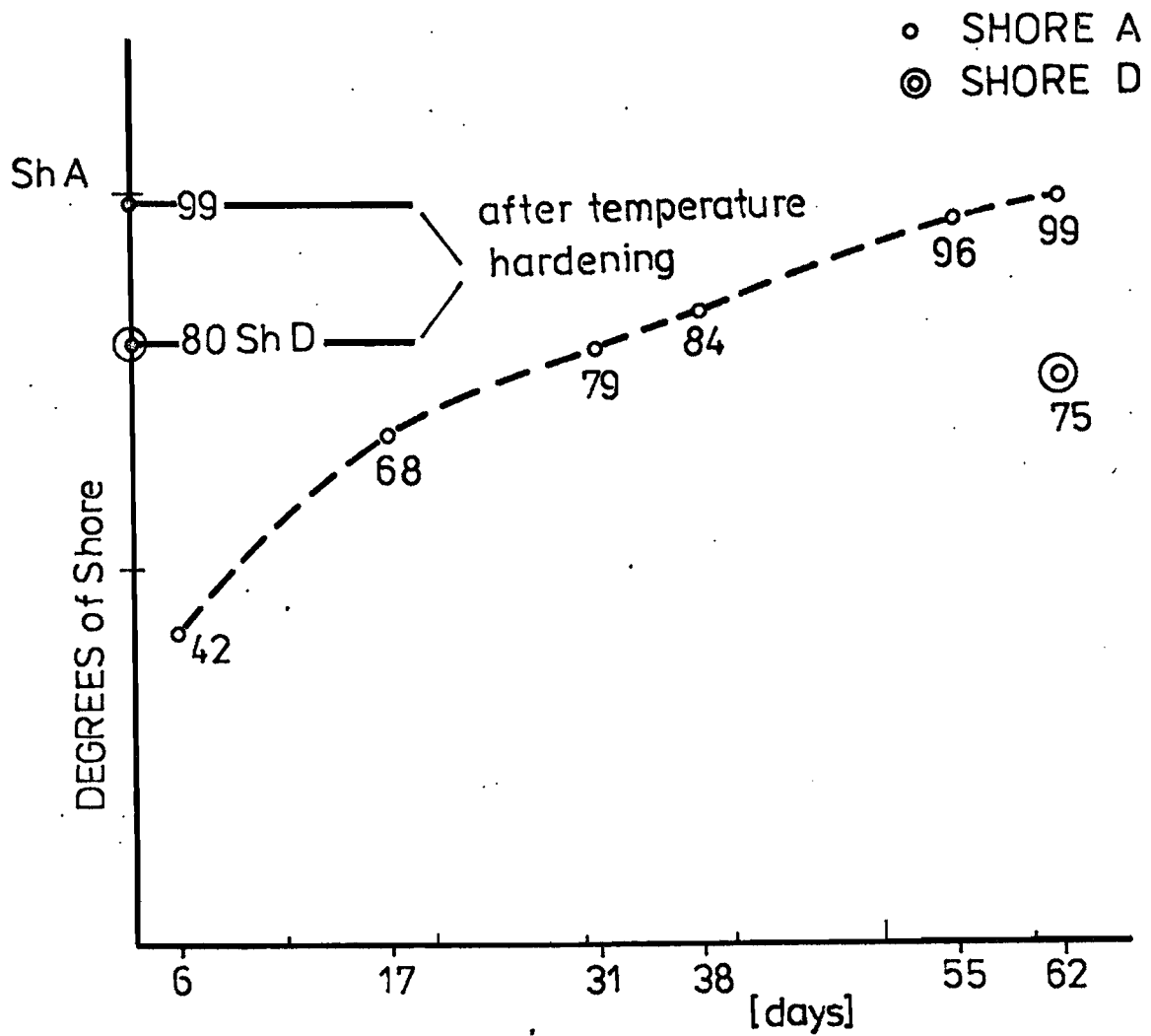
TABELLE 4

No.	$E_c / t = 0/$ MPa	$E_c / t = 2,5 \text{ St/}$ MPa	ΔE_c MPa	$\frac{\Delta E_c}{E_c / t = 0/} \%$	σ_c
7T	1092	87,6	1004,4	92,0	5,61
8T	1092	66,4	1025,6	93,9	5,59
9T	1092	84,1	1007,9	92,0	5,72
Durchschnitt	1092	79,4	1012,6	92,6	5,64

Test A - Härte SHORE

Durchschnittliche Härtenzahl-Werte Shore immer aus 10 Eindrücke laut der Skala A sind für verschiedene Musteralter in Abb. 16 angeführt /Muster gelagert bei Zimmertemperatur/. Härte erreicht nach 62 Tage Lagerung bei 20°C den gleichen Wert als das 72 Stunden

bei 80°C thermisch nachgehärtetes Material und weiter ein bisschen steigt. In Abb. 16 sind auch die Härtewerte Shore laut D-Skala nach 62 Tage bei 20°C und bei thermische Nachhärtung 72 Stunden bei 80°C bezeichnet.



Test B - Einfluss der Alterung und der thermischen Nachbehandlung auf die mechanische Haupteigenschaften.

Festgestellte Werte sind in Tabelle 5 angeführt. Auf der Abb. 17 sind für einzellige Zeitintervalle nach Musterherstellung die Arbeitsdiagramme angeführt, Abb. 17 zeigt Änderung der einzelligen Messgrößen mit dem Muster-Alter.

TABELLE 5

t	1	2	3	max	lim	max	lim	E	Muster St.	T°C
T	0,82	1,87	2,85	7,58	6,93	19,93	23,91	203,20	5	20,5
3	0,14	0,18	0,22	4,29	3,25	128,33	133,61	8,22	3	20,5
7	0,20	0,26	0,29	4,43	4,13	126,15	128,87	9,33	3	20,1
14	0,33	0,45	0,62	4,69	4,36	99,20	105,08	28,40	5	20,1
35	0,47	0,85	1,23	5,14	4,07	52,20	57,94	75,60	5	20,5
60	0,48	0,91	1,36	4,81	3,73	38,12	41,45	88,17	4	21,2

Test C - Ergebnisse der Creep- und Relaxationsmessungen im Test A /Abb. 12, Abb. 13 Abb. 14 und Abb. 15/ wurden als Unterlage für mathematische Verarbeitung benutzt.

Für einzellige Muster wurde die Relation für Creep-Nachgiebigkeit mathematisch ausgedrückt:

$$J /t/ = /a + bt^c/$$

für Relaxationsmodul

$$E_p /t/ = \frac{1}{d + et^f} ;$$

wie auf der Abb. 18 - Abb. 29 angeführt.

TENSILE TEST - TIRATEST

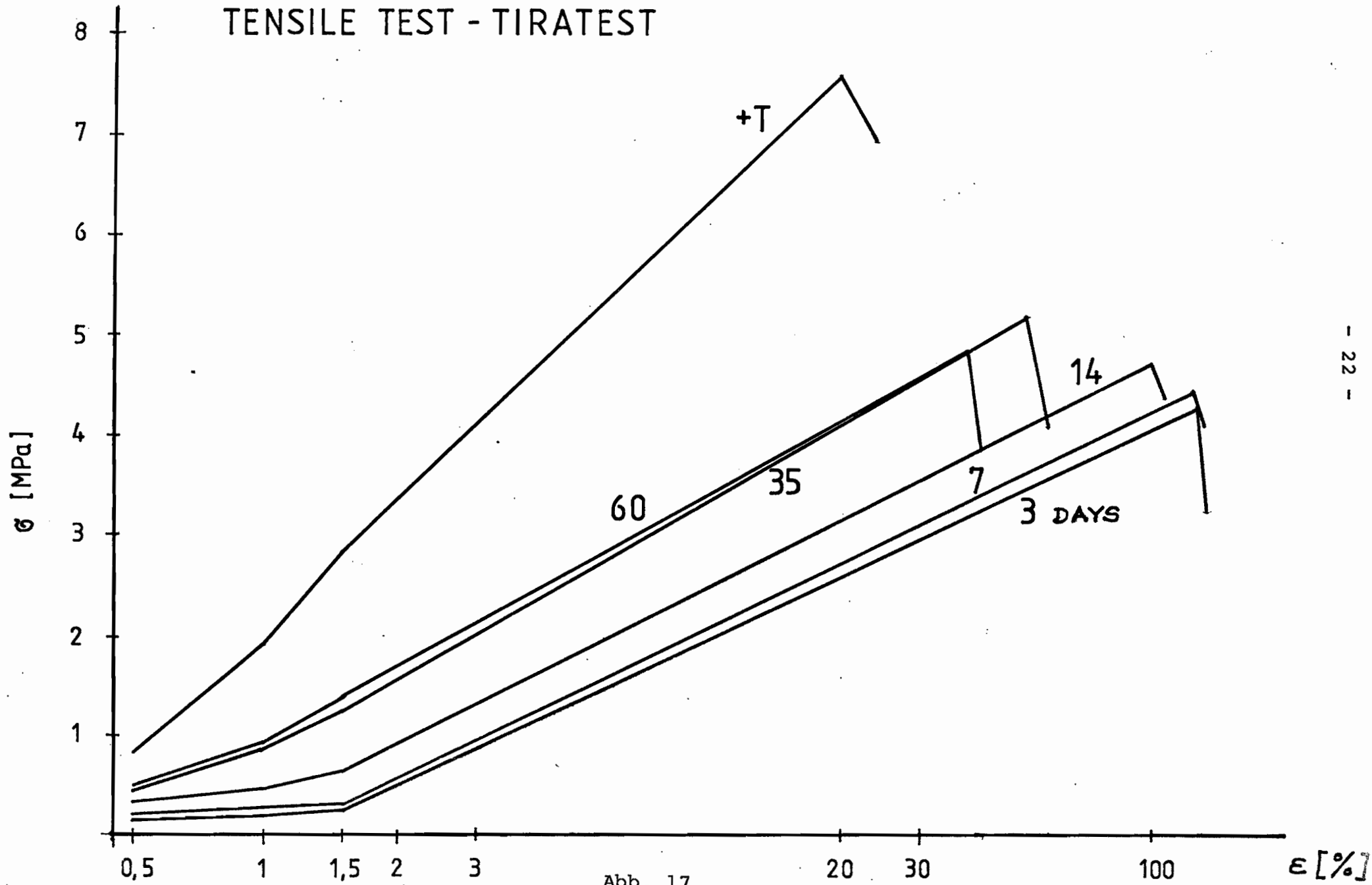


Abb. 17

SAMPLE
creep : vzorek 7t
 $J(t) = 0.324E-01 + 0.359E+00 * t^{**0.567}$

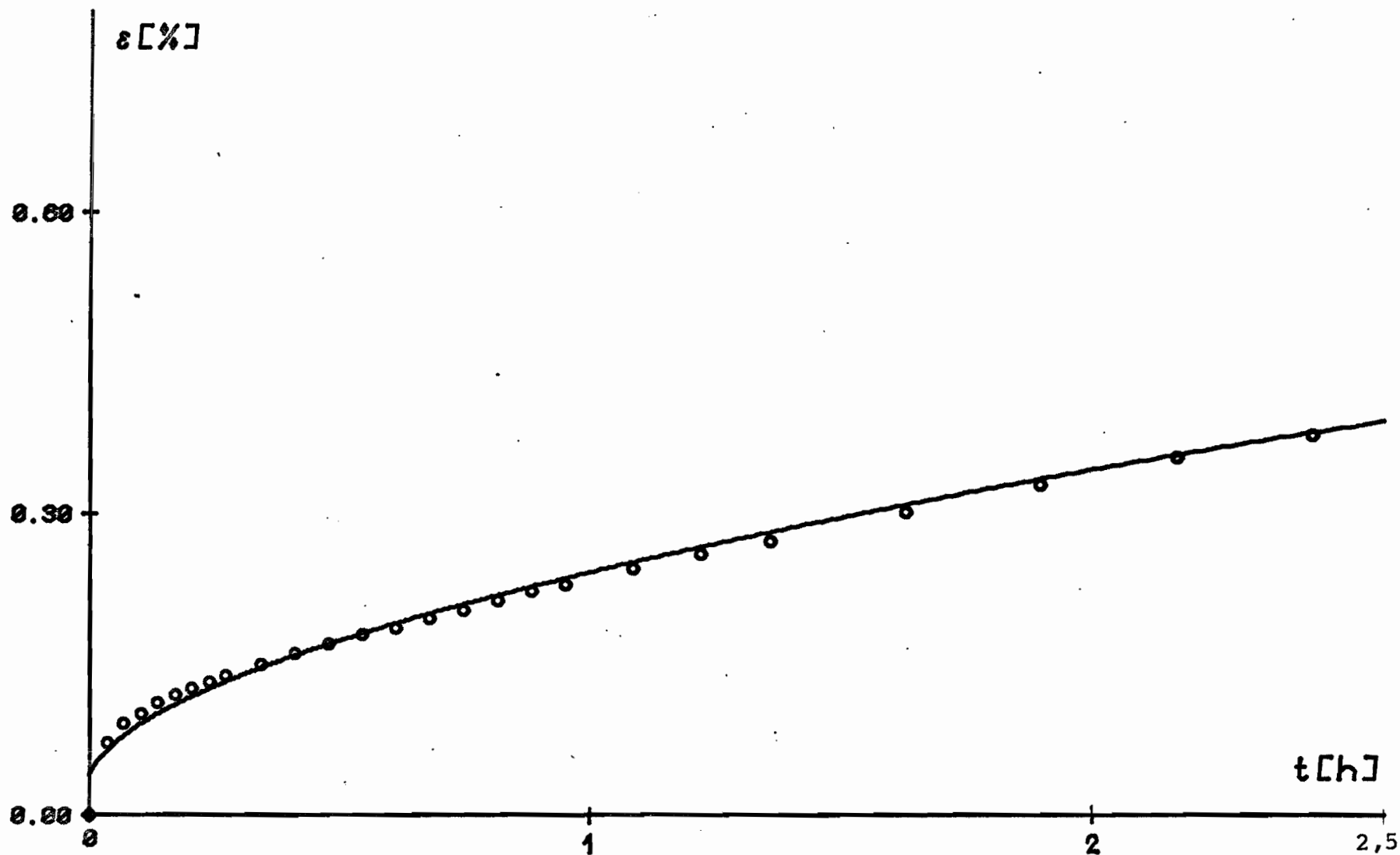


Abb.18

SAMPLE
creep : vzorek 8t
 $J(t) = 0.891E-02 + 0.466E+00 \cdot t + 0.619$

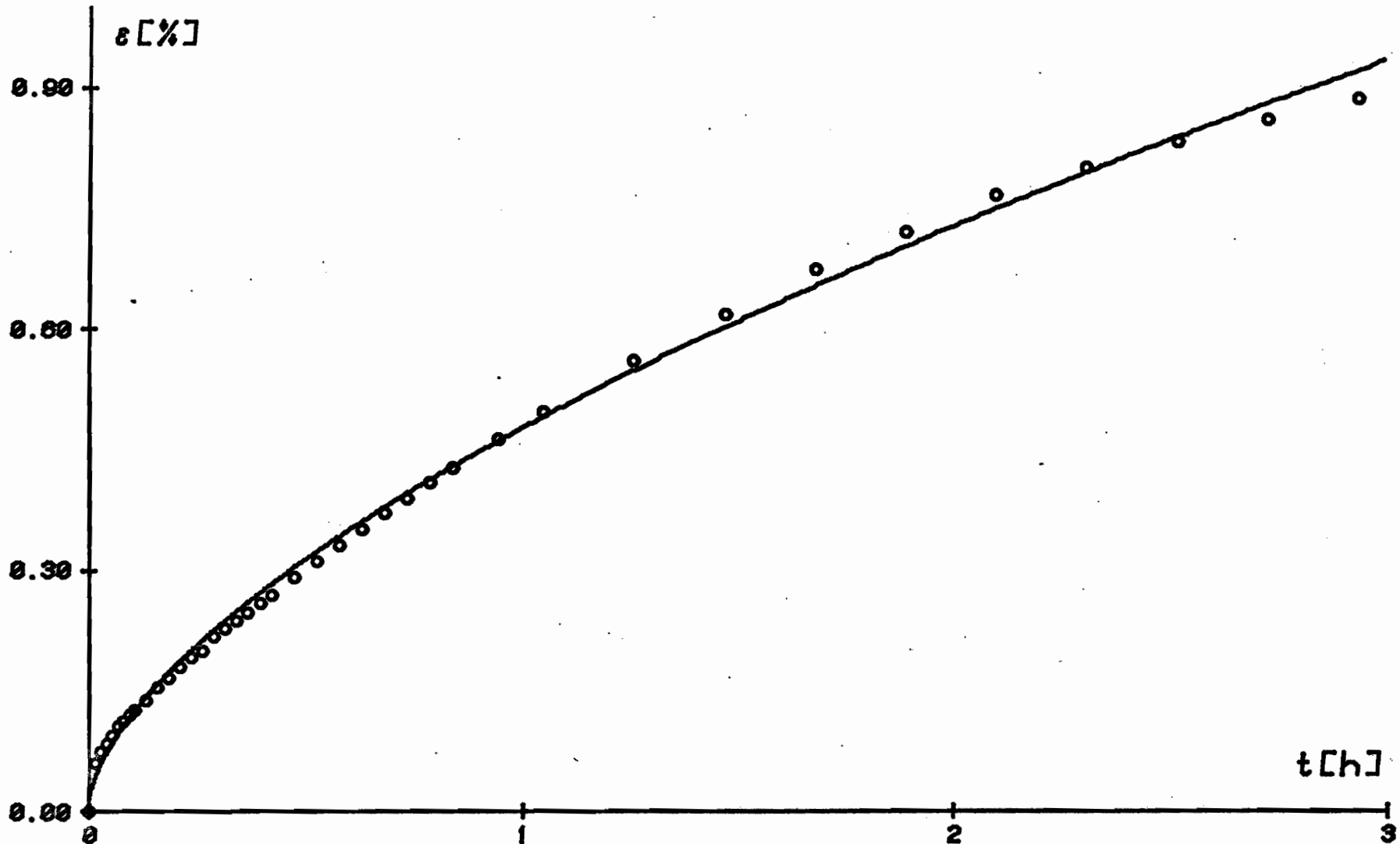


Abb. 19

SAMPLE

creep : vzorek 9t

$$J(t) = 0.279E-01 + 0.155E+00 t^{0.752}$$

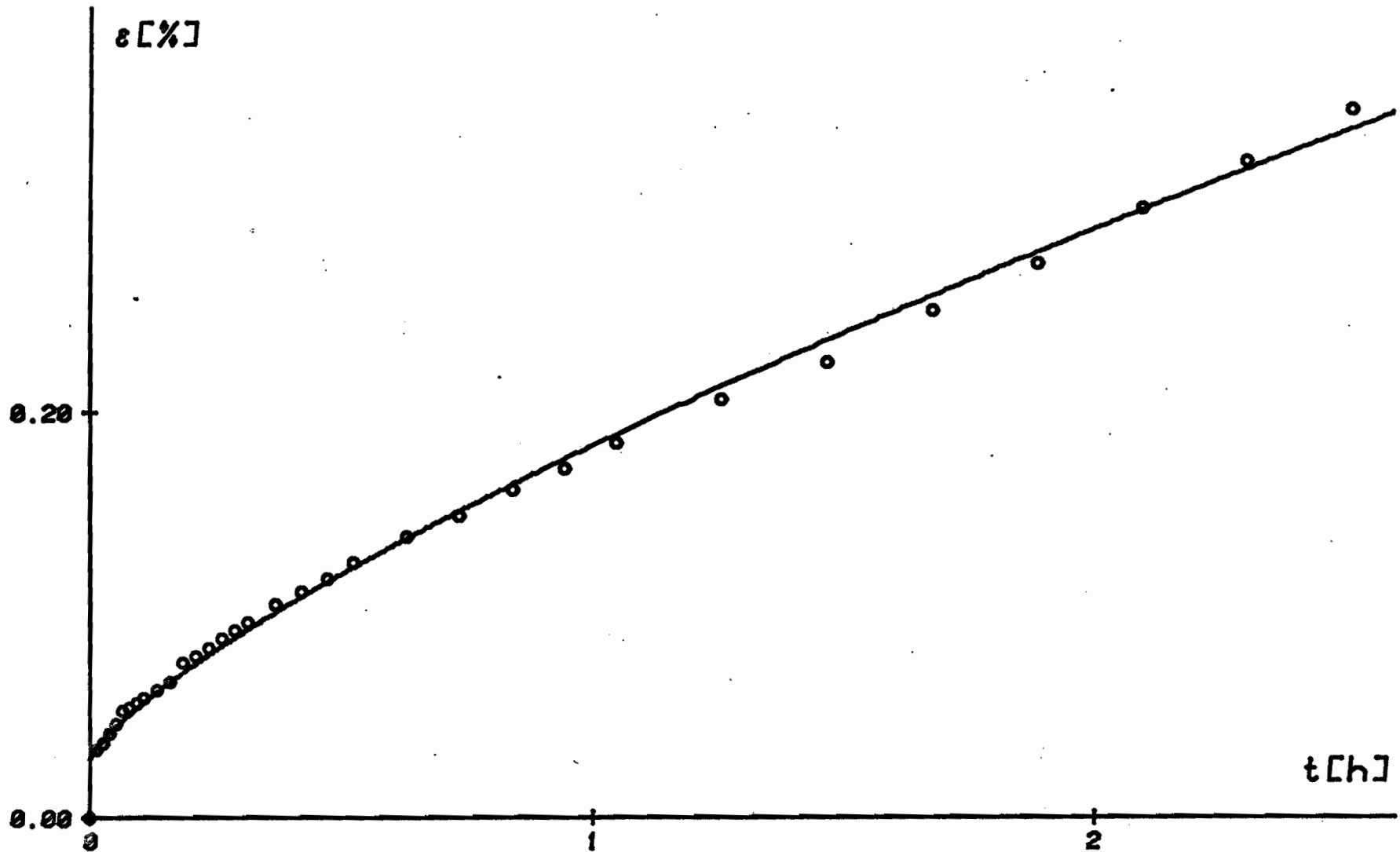


Abb. 20

SAMPLE

creep : vzorek 7

$$J(t) = -0.185E+00 + 0.155E+01 t^{0.379}$$

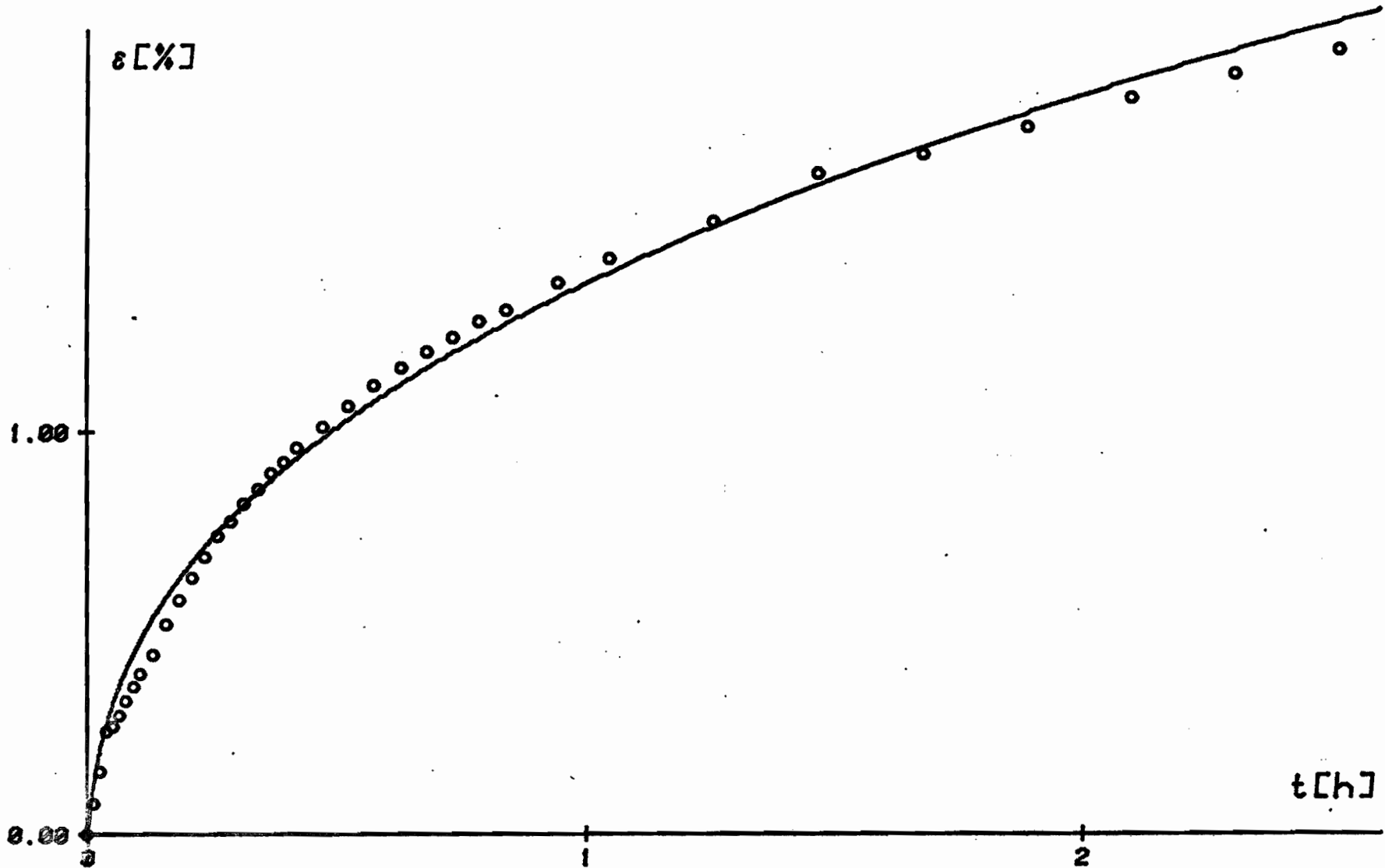


Abb. 21

SAMPLE

creep : vzorek 8

$$J(t) = -0.183E+00 + 0.259E+01 * t^{0.329}$$

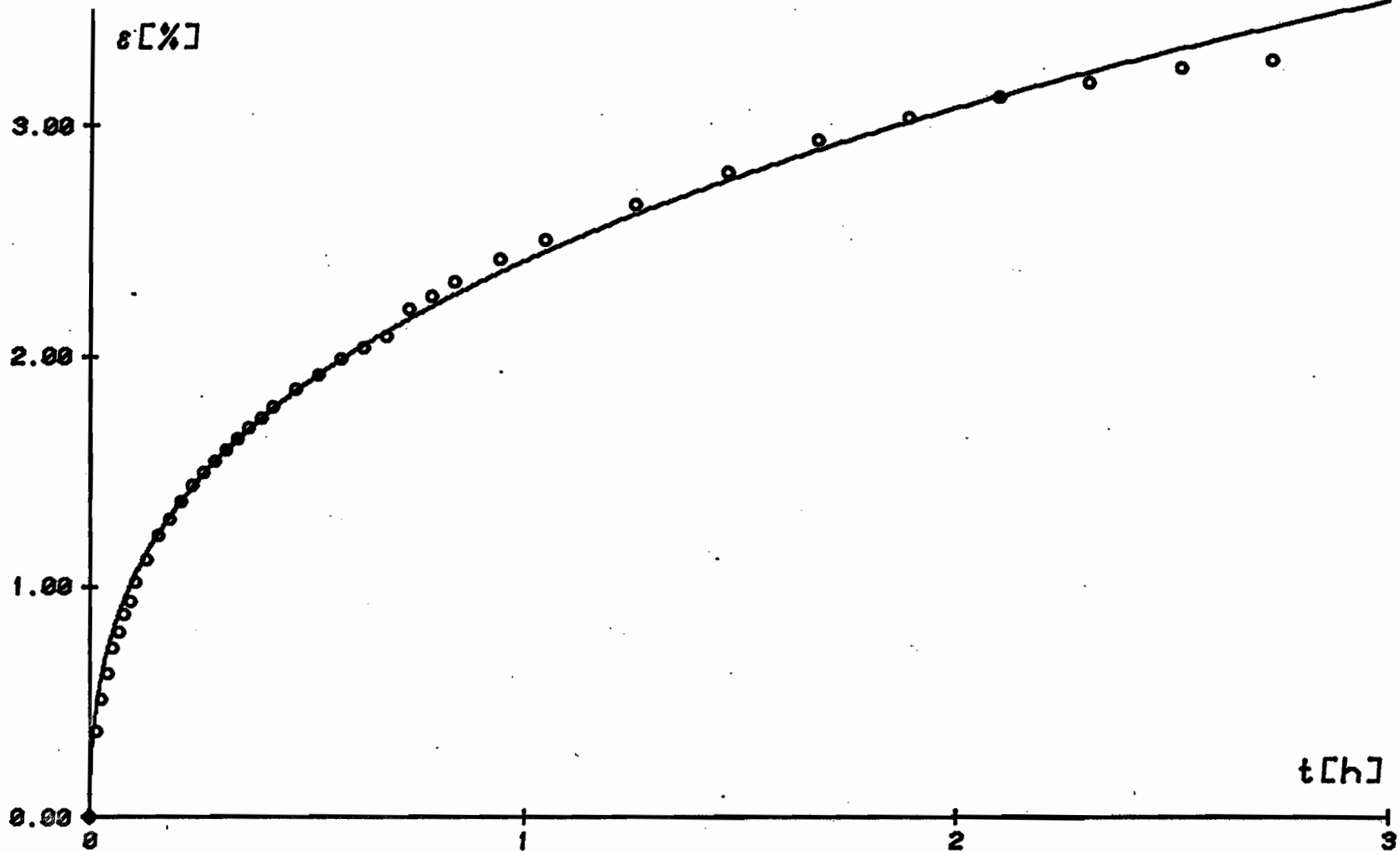


Abb. 22

SAMPLE

creep : vzorek 9

$$J(t) = -0.106E+00 + 0.244E+01 * t^{**}0.262$$

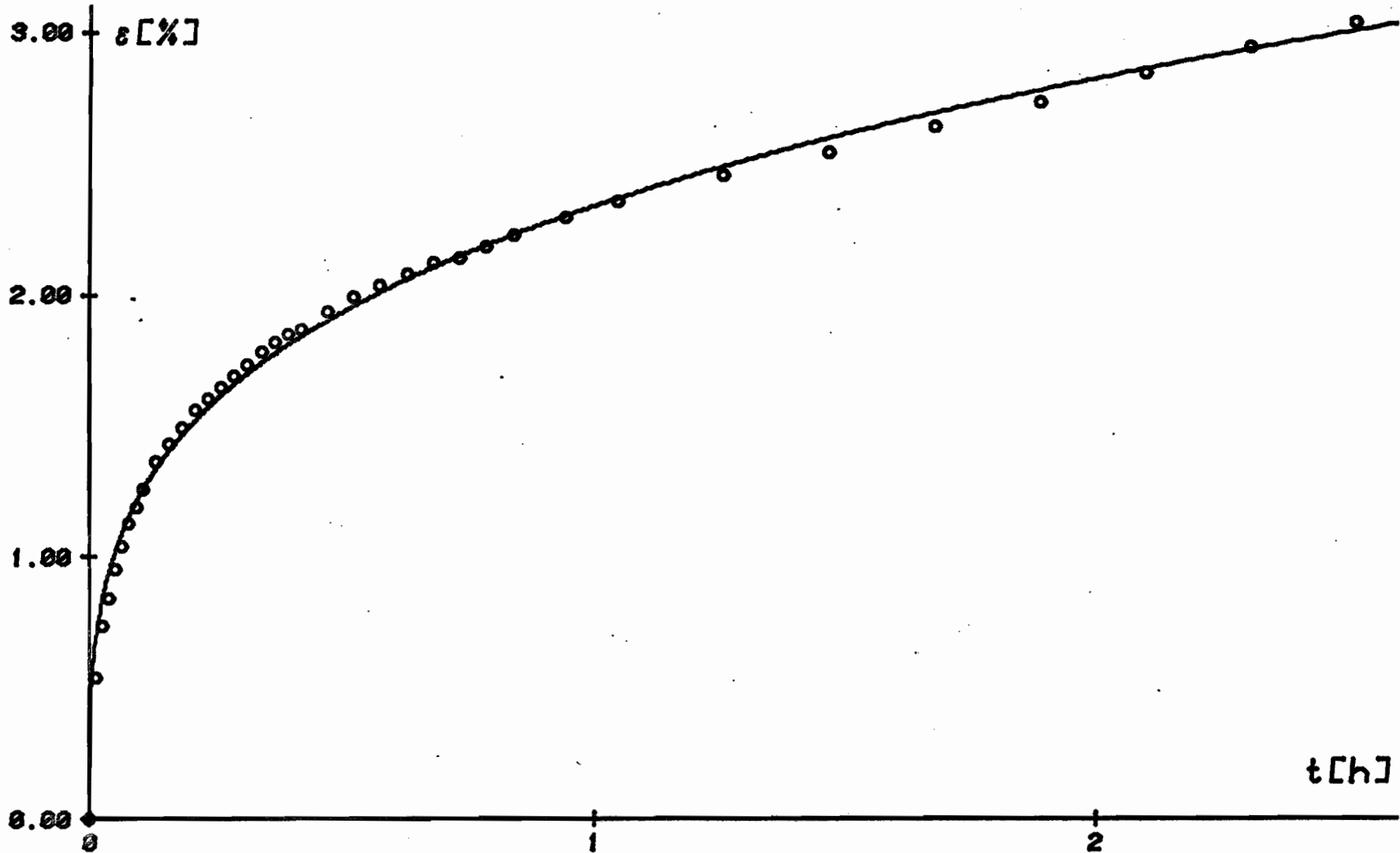


Abb. 23

RELAXATION SAMPLE
relaxace : vzorek 4
 $E_p(t) = 1 / (0.613E-01 + 0.287E+00 t^{**0.773})$

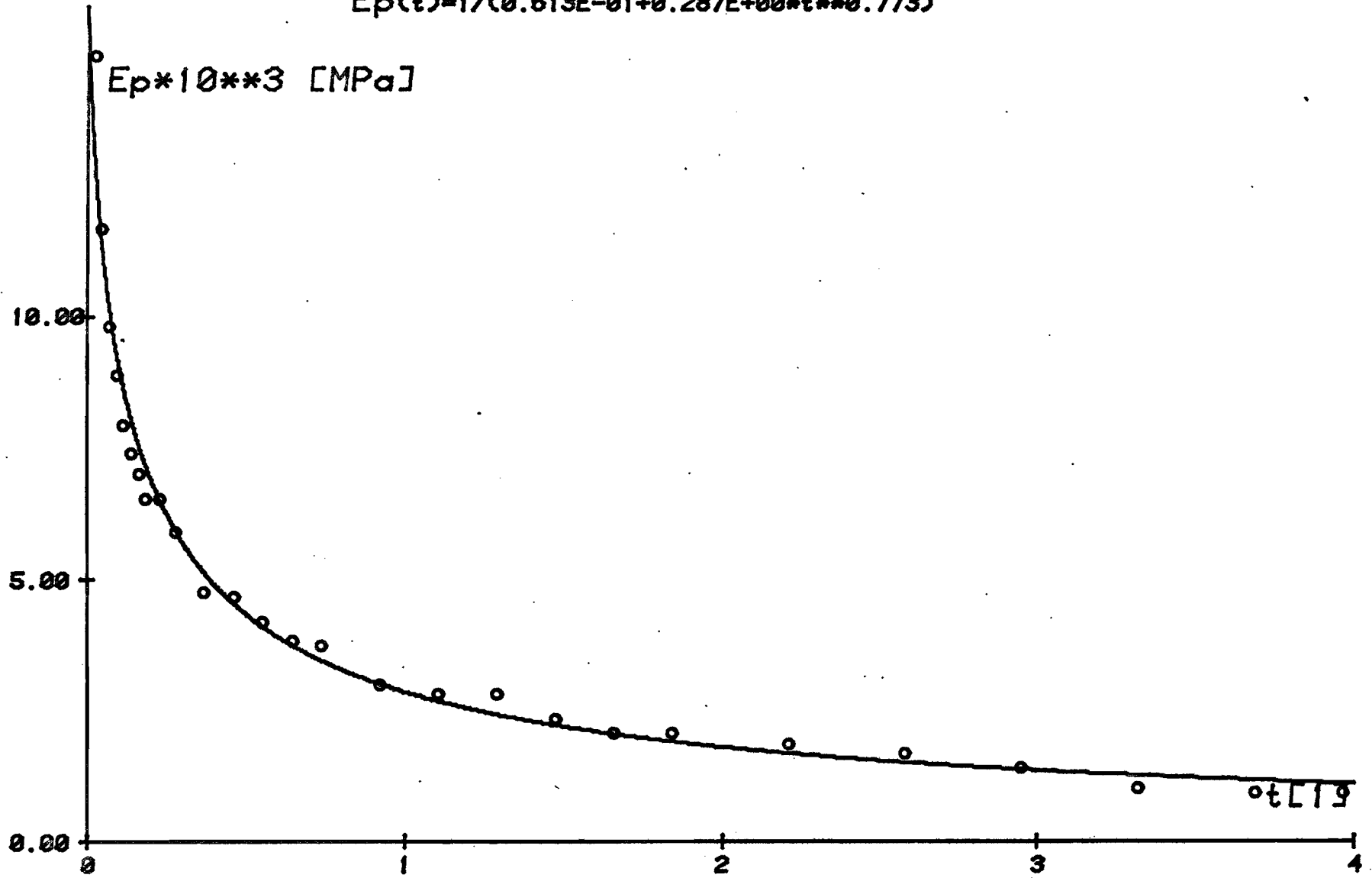


Abb. 24

RELAXATION SAMPLE

relaxace : vzorek 5

$$E_p(t) = 1 / (0.510E-02 + 0.867E-01 * t^{**0.384})$$

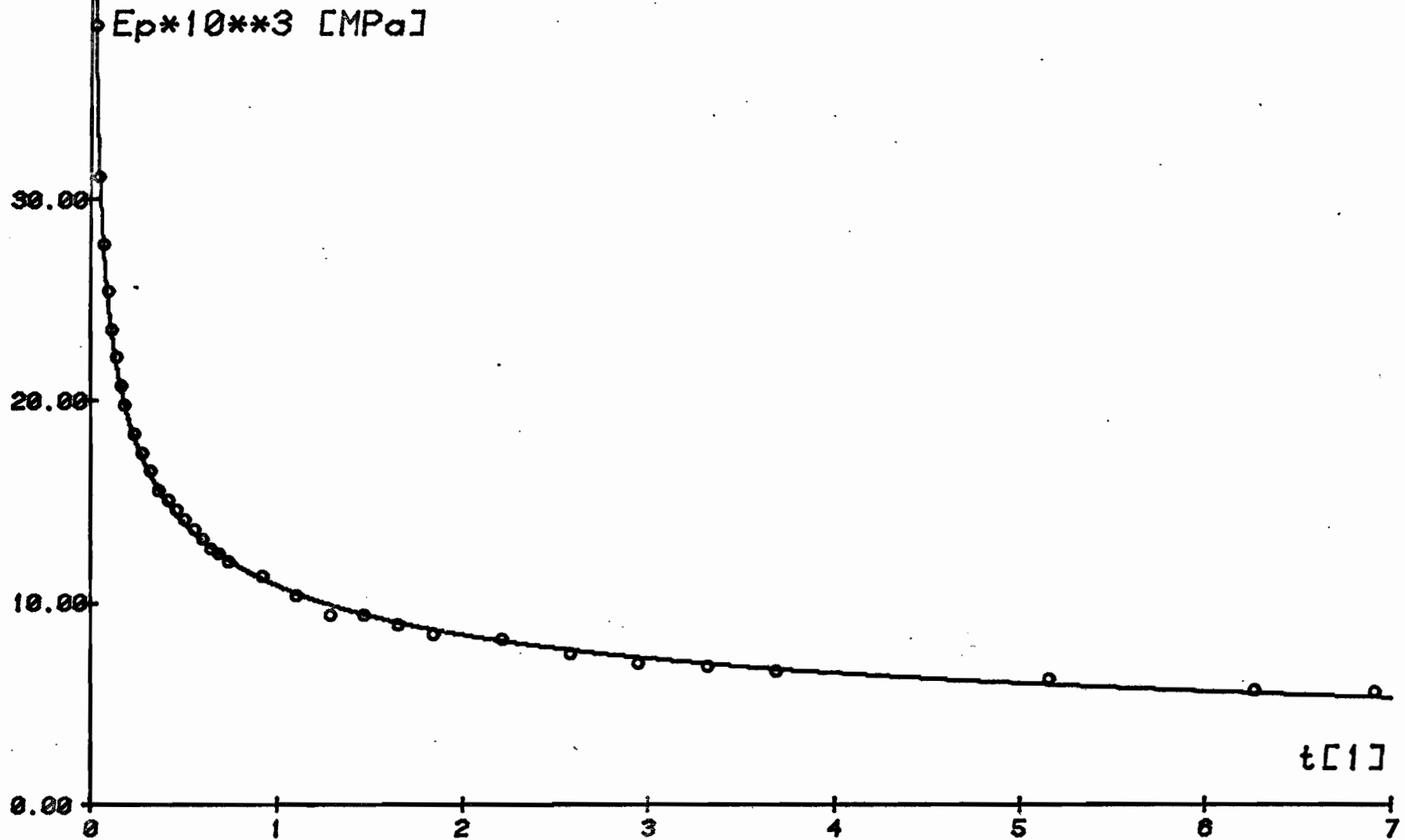


Abb. 25

RELAXATION SAMPLE

relaxace : vzorek 6

$$E_p(t) = 1 / (0.141E-01 + 0.888E-01 * t^{0.513})$$

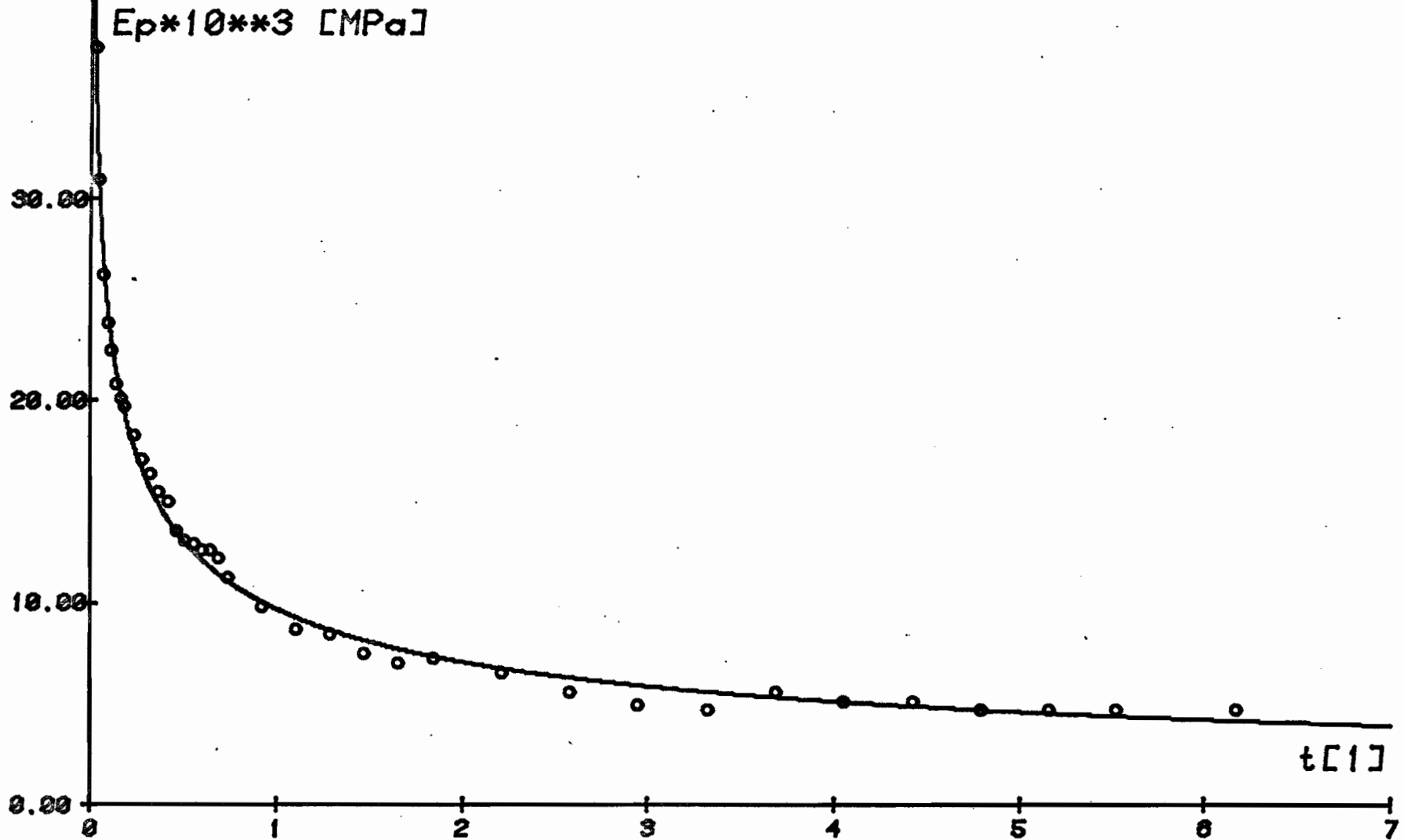


Abb. 26

RELAXATION

SAMPLE

relaxace : vzorek 6t

$$E_p(t) = 1 / (0.786E-02 + 0.305E-01 * t^{0.256})$$

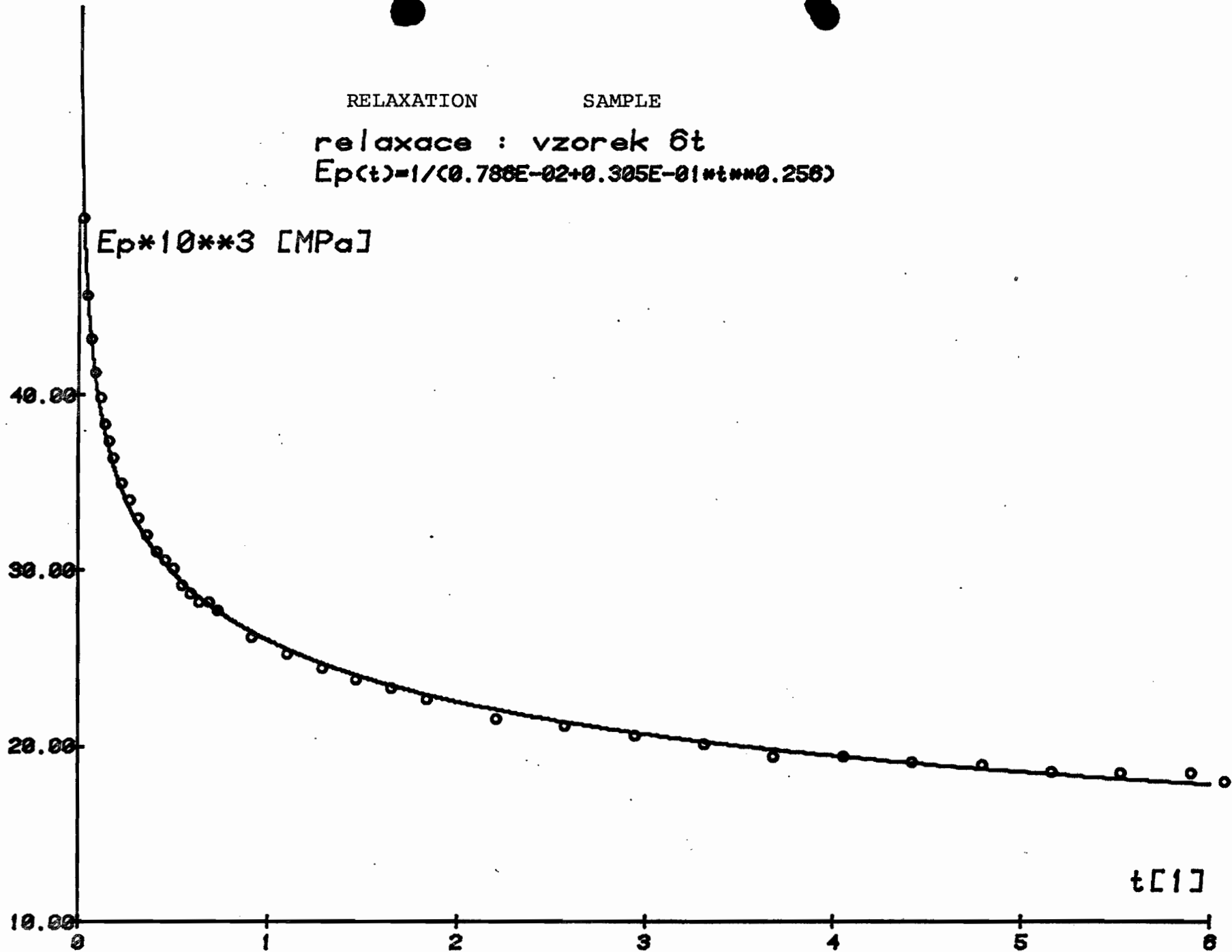


Abb. 27

RELAXATION SAMPLE

relaxace : vzorek 5t

$$E_p(t) = 1 / (0.192E-01 + 0.198E-01 * t^{0.614})$$

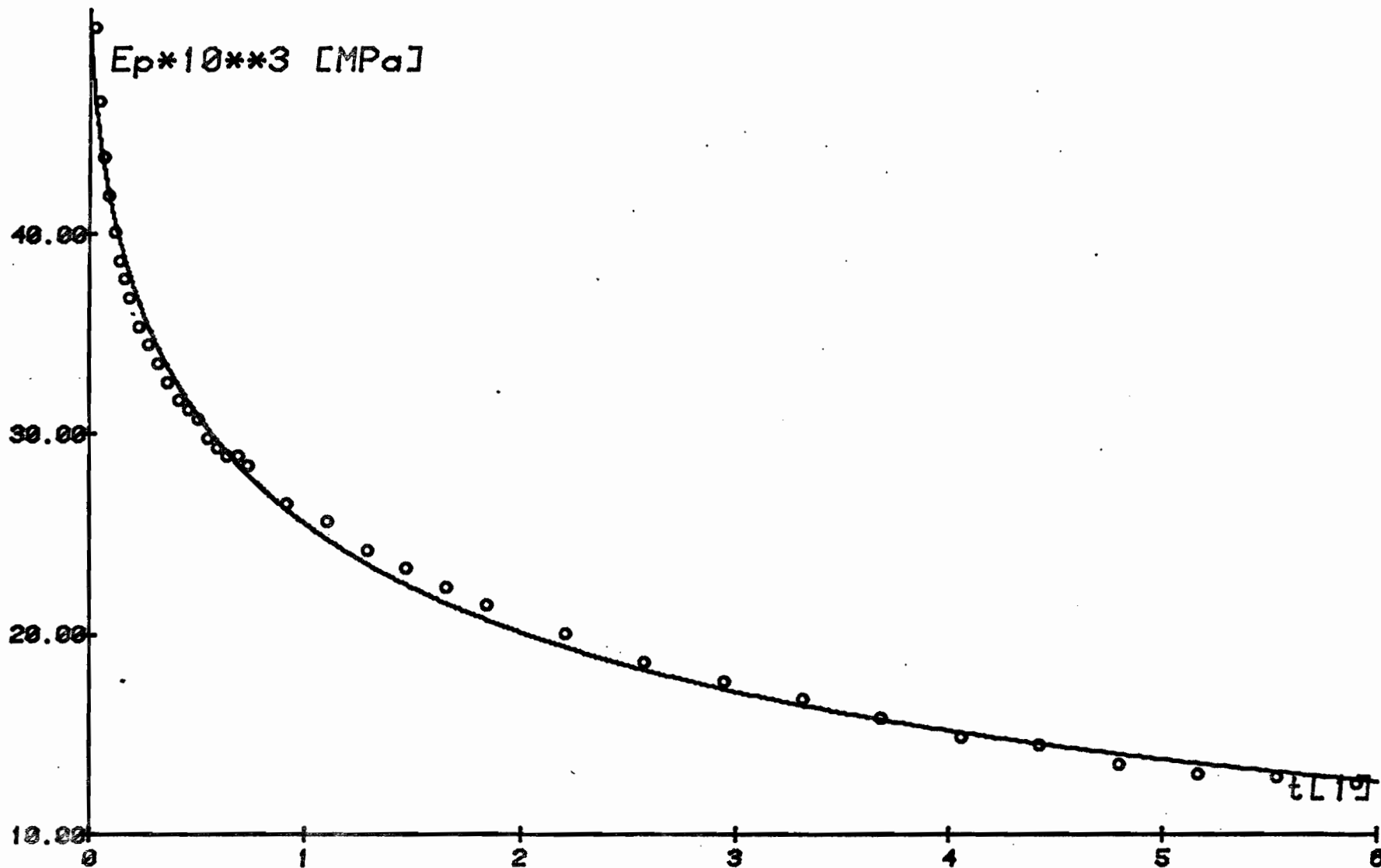


Abb. 28

RELAXATION SAMPLE

relaxace : vzorek 4t

$$E_p(t) = 1 / (0.131E-01 + 0.195E-01 * t^{0.435})$$

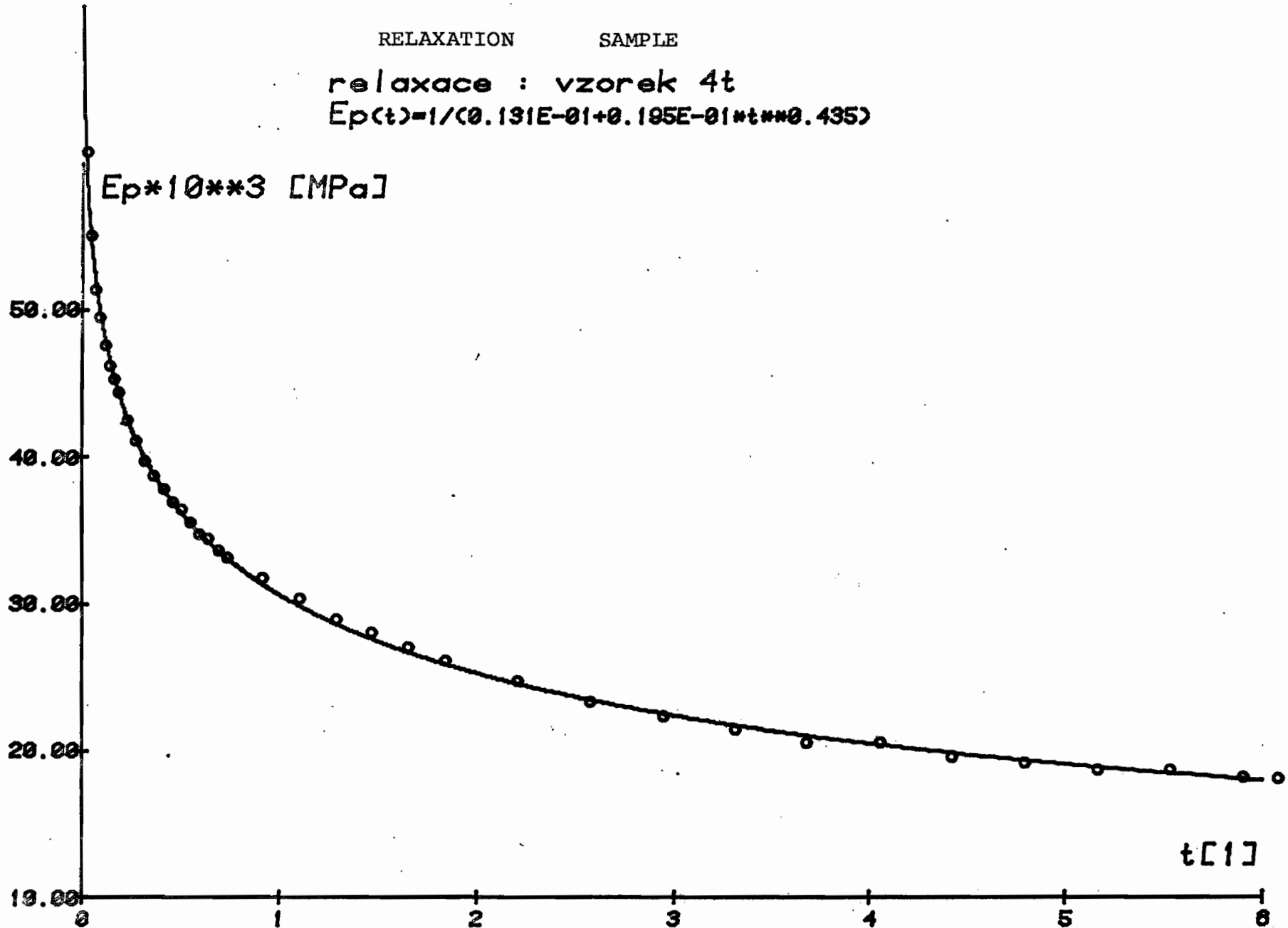


Abb. 29

Aus dem Durchschnitt von angemessenen Werten wurden vier Extrapolation-Kurven gewonnen /Abb. 30 - Abb. 33 /, die mit folgenden Beziehungen bestimmt sind:

- für Creep von Mustern ausgehärtet unter normale Temperatur /22°C/

$$J /t/ = - 0,115 + 2,15 \cdot t^{0,329}$$

- für Creep von Mustern nachgehärtet bei erhöhte Temperatur /72 Stunden bei 80°C/

$$J /t/ = - 0,039 + 0,309 \cdot t^{0,670}$$

- für Relaxation von Muster ausgehärtet bei normale Temperatur /22°C/

$$E_p /t/ = \frac{1}{0,0143 + 0,114 t^{0,478}}$$

- für Relaxation von Muster ausgehärtet bei erhöhte Temperatur /80°C/

$$E_p /t/ = \frac{1}{0,0137 + 0,0225 t^{0,401}}$$

Beglaubigung der angeführten Extrapolations-Kurven durch langfristiges Messen von weiteren Mustern läuft und die Ergebnisse werden in Form eines separaten Protokolls mitgeteilt.

Test D - Innere Spannung, Schwindung, Wärmeausdehnungskoeffizient

a/ freie Schwindung - Ergebnisse sind in Tabelle 6 angeführt

b/ durchschnittliches Länge-Wärmeausdehnungskoeffizient /+ 20; - 20°C/

- für Körper ausgehärtet bei der normalen Temperatur /20°C/

$$\alpha = 82 \cdot 10^{-6}$$

- für Körper nachgehärtet bei der erhöhten Temperatur /80°C/

$$\alpha = 82,5 \cdot 10^{-6}$$

creep : 7,8,9

$$J(t) = -0.115E+00 + 0.215E+01 * t^{0.329}$$

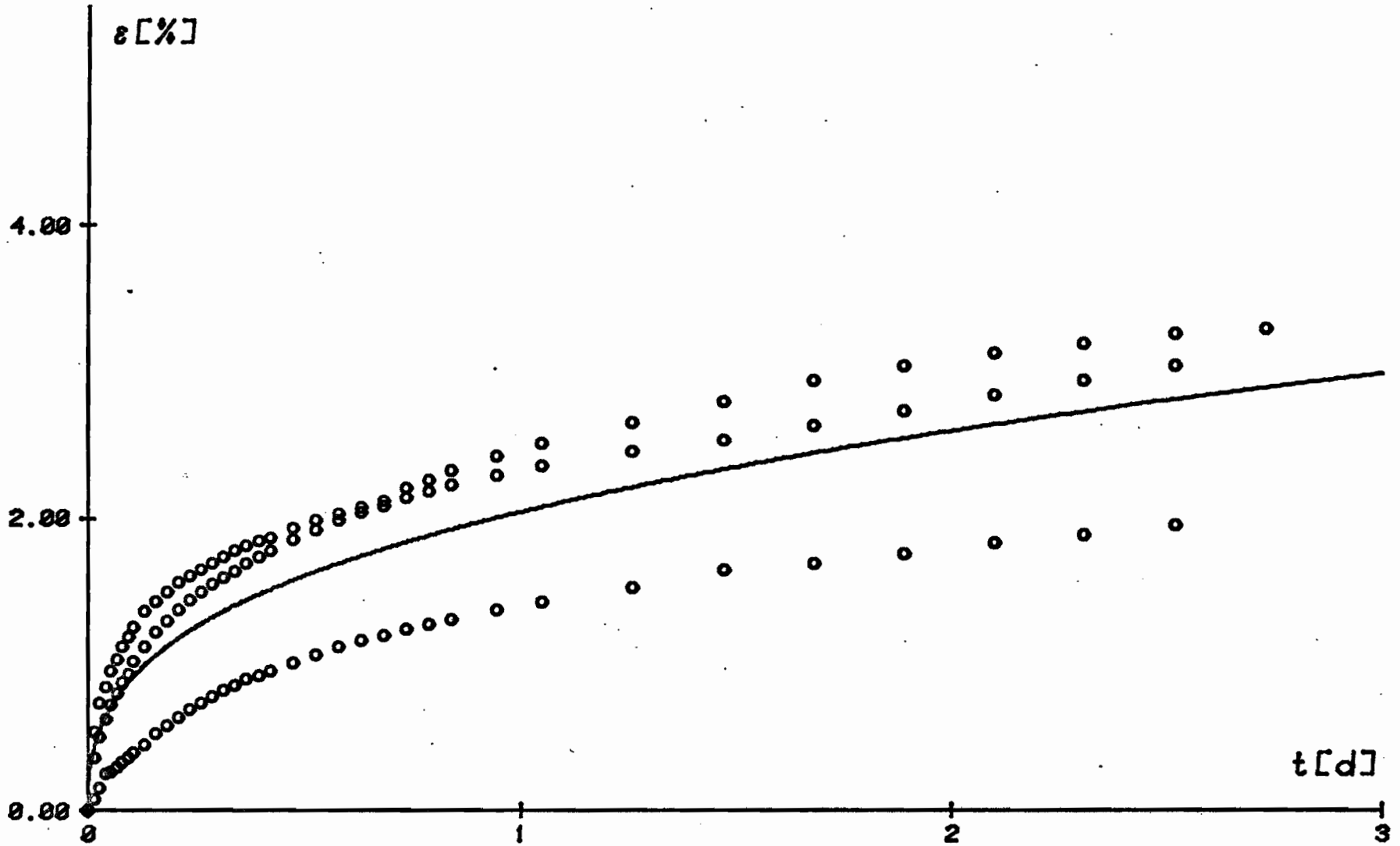
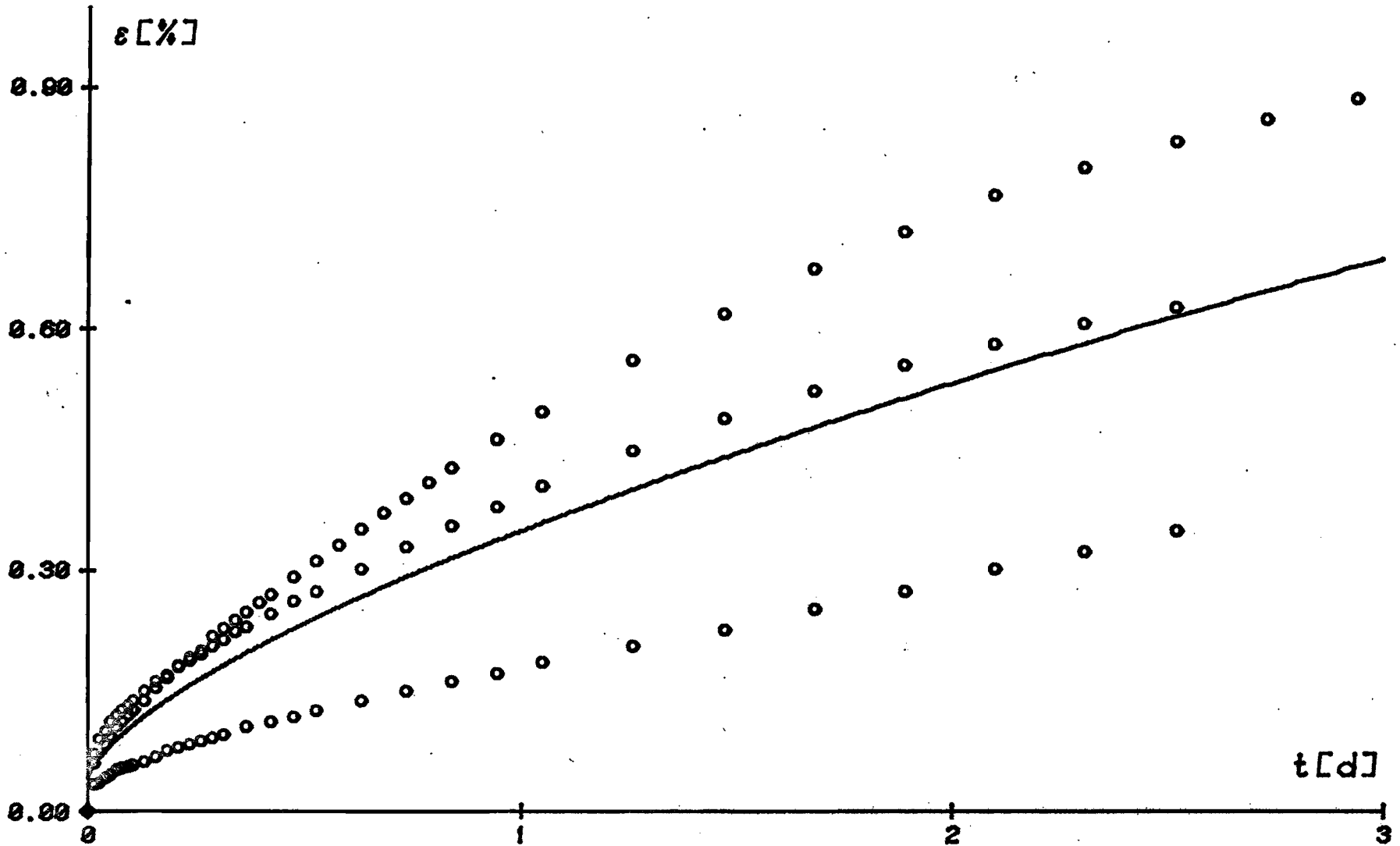


Abb. 30

creep : 8t, 9t, 7t
 $J(t) = 0.390E-01 + 0.309E+00 t^{0.670}$



- 37 -

- 38 -

RELAXATION

relaxace : 4,5,6

$$E_p(t) = 1 / (0.143E-01 + 0.114E+00 t^{0.478})$$

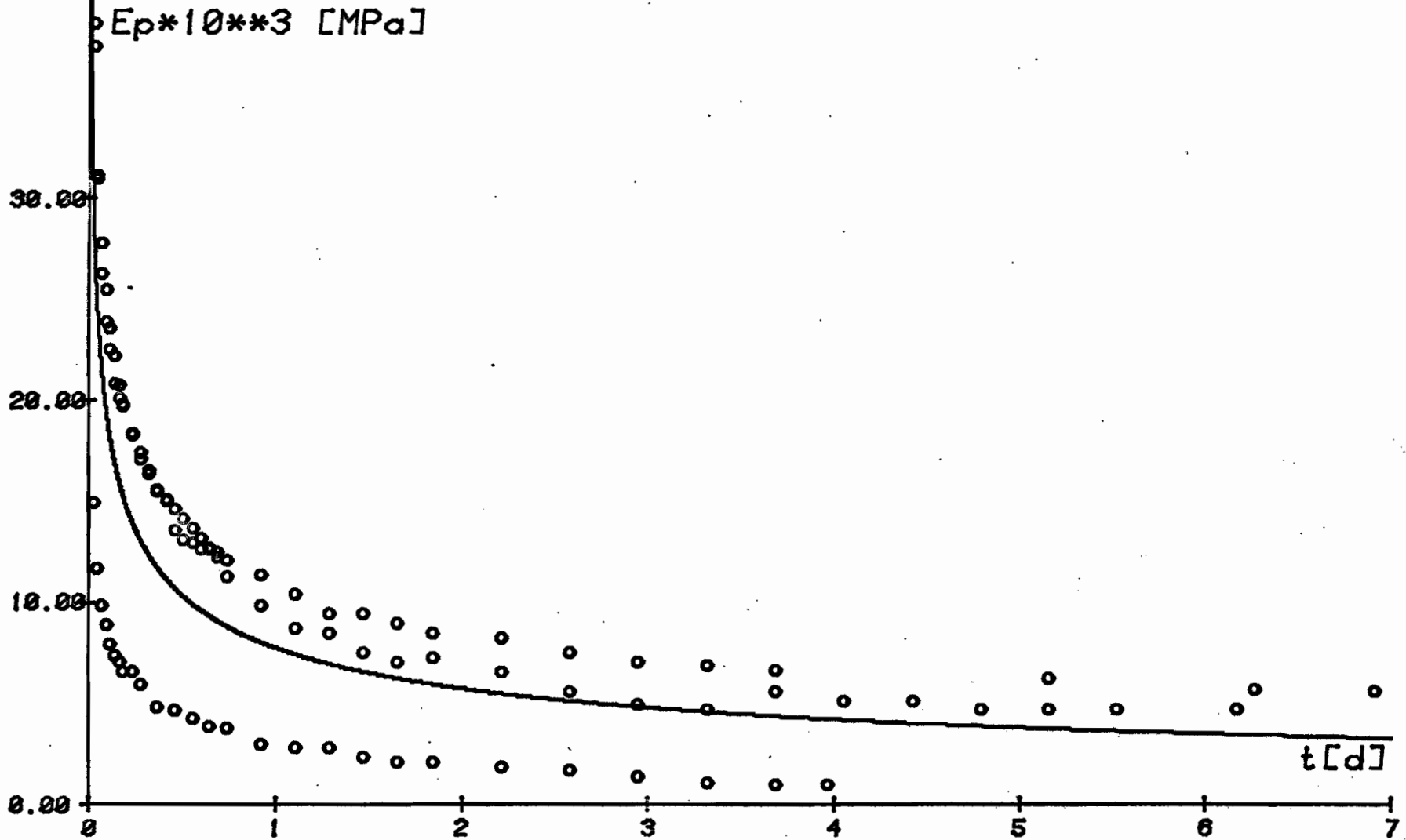


Abb. 32

RELAXATION

relaxace : vzorek 4t, 5t, 6t
 $E_p(t) = 1 / (0.137E-01 + 0.225E-01 * t^{0.401})$

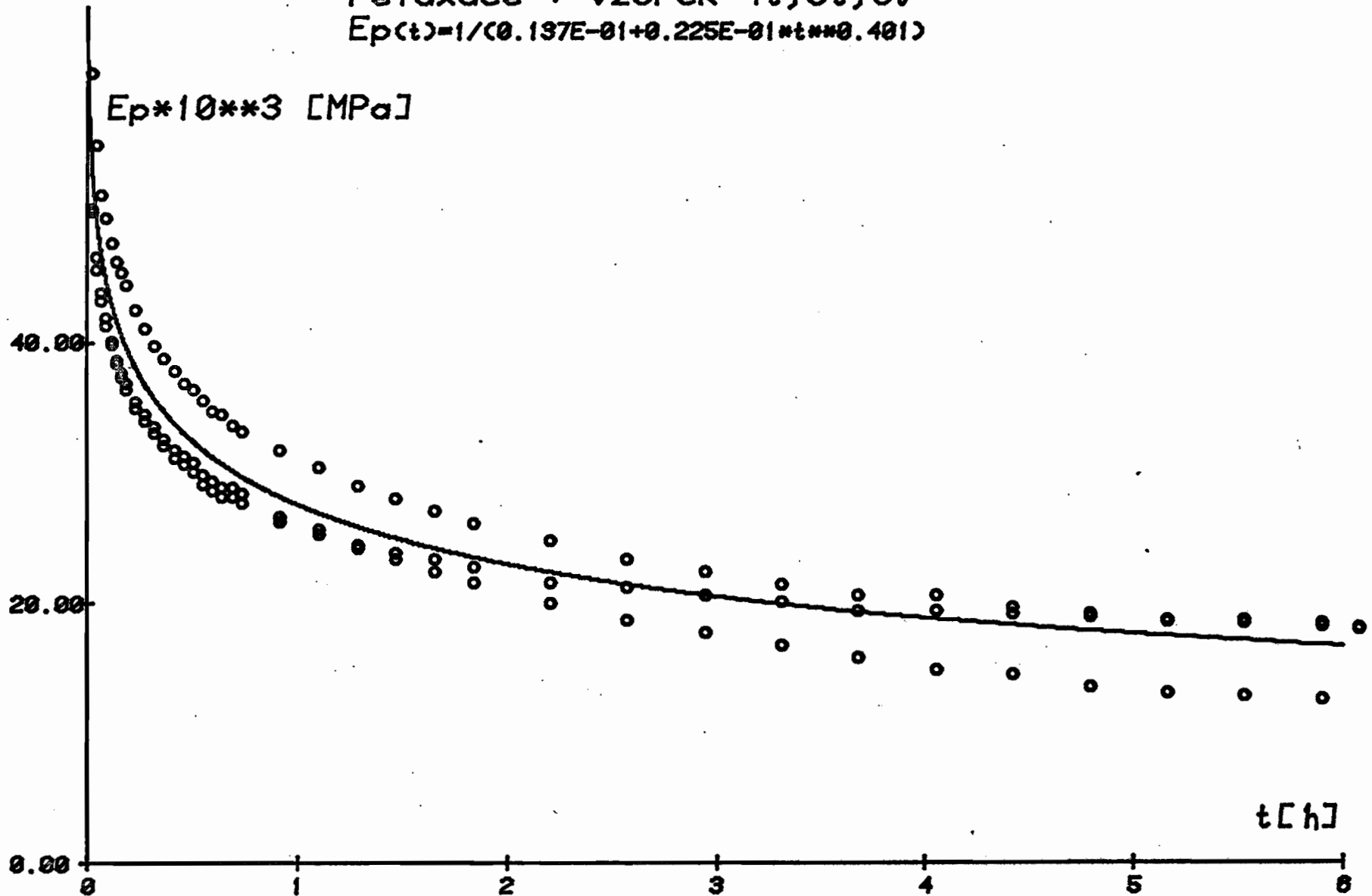


Abb. 33

TABELLE 6

Bisherige Ergebnisse Messen der freien Schwindung

Datum	Alter /Tage/	T ^{°C}	Prüf- körper N	freie Schwindung Prüf- körper T	ΔT
13. 11. 91	1	21,2	0	0	
	10	20,9	0	0	
	21	21,0	0,010	0,012	
	37	20,8	0,062	0,066	
	55	20,6	0,102	0,110	
	59	20,6	0,110	0,120	
	73	20,8	0,118	0,124	
	77	20,8	0,118	0,148 ^{x/}	0,024
	102	20,1	0,128	0,186	
21. 2. 1992	102	- 20,0	0,408	0,468	N 0,280 T 0,282

x/ nach der Temperung 72 Stunden bei 85^{°C}

Einfluss der Temperatur Nachhärtung 72 Stunden bei 85^{°C} auf die Werteänderung der freien Schwindung /Δ = 0,024%/ ist eindeutig unwichtig im Vergleich mit dem Einfluss der Zeitänderungen.

Das Messen der freien Schwindung-Werten läuft weiter mit längeren Ablesungszeiten in der Regel bis Musteralter 10 Jahre. Die Werte wurde stufenweise mitgeteilt.

Test D - Informative Prüfung mit Methode RGM wurde bei Musteralter 100 - 116 Tage durchgeführt. Thermische Nachhärtung nach dem Test RGM I + II war 72 Stunden bei 85^{°C}.

1/ Prüfung bei normale Temperatur:

Für das Fussbodenbelegmaterial Astra wurden vor als auch nach thermische Nachhärtung mit dem Gerät REOMETR keine messbare Werte festgestellt, d. h. für den Test RGM I + II

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \text{unmessbar} \\ \epsilon_s^z &= \text{unmessbar} \\ E_{r60} &= \text{unmessbar}\end{aligned}$$

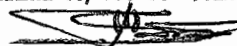
2/ Prüfung bei niedrigere Temperatur - 20°C - Grundfeststellung:

$$\begin{aligned}\sigma_{s+t} &= 2,432 \text{ MPa} \\ \epsilon_s^z &= 0,436\% \\ E_{r60} - 20^\circ\text{C} &= 2381 \text{ MPa}\end{aligned}$$

REOMETR 03 ist für Epoxid-, PUR und andere unnachgiebige Materialien konstruiert. Für nachgiebigen Fussbodenbelege PUR-Astra hat das Gerät keine genügende Empfindlichkeit und deshalb die Messungen bei normale und erhöhte Temperatur verzerrt und nicht benutzbar sind. Aus diesem Grund kann man mit dieser Methode auch kein Wärmeausdehnungskoeffizient bestimmen.

COMING

Nové materiály, systémy a technologie
Jakutská 15, 100 00 Praha 10



Dr.-Ing. František Fára

Direktor

B E S T Ä T I G U N G

Der unter unterschriebene Kenner bestätigt, dass die Prüfungen von den geschulten Angestellten der unabhängigen Prüfdivision COMTEST der Gesellschaft COMING durchgeführt wurden, deren Kenntnisse und Objektivität er persönlich überprüft hat. Die Prüfungen wurden laut bestätigten methodischen Vorschriften der Gesellschaft COMING durchgeführt und ausgewertet. Obenangeführte Ergebnisse kann man deshalb als amtlich zertifizierte beurteilen.



Prof. Dr.-Ing. Richard A. Bareš, DrSc.

ANNOTATION OF THE PERFORMED INVESTIGATIONS

Investigations on creep deformation and tensile stress relaxation have been carried out for two series of polyurethane materials, designated respectively PU-1 (cured under normal conditions) and PU-2 (thermally treated).

Creep has been investigated under constant stress σ_0 during 210 days. After unloading the samples the deformation recovery in the course of time (recoverable creep) has been studied for a 50 days time period.

Deformations have been measured on two sides in the middle third part of the samples on a base of 45 mm by means of mechanical strain gauges with accuracy of 1 μm . Parallel measurements on 2 samples are made for each value of the constant stress σ_0 , respectively the constant strain ϵ_0 .

The arithmetic mean results obtained for the total creep deformation $\epsilon(t) = \epsilon_k + \epsilon_c(t)$ at $\sigma_0 = \text{const}$ (ϵ_k is the deformation in the moment of loading, $\epsilon_c(t)$ is the creep deformation) for the material PU-1 are presented in Tables 1 and 2 and in Fig.1 and 2. The investigations are carried out for two values of the constant stress, respectively $\sigma_0 = 0.2$ MPa (line 1 in Fig.1 and 2) and $\sigma_0 = 0.5$ MPa (line 2 in Fig.1 and 2). Analogous data for the material PU-2 for constant stress $\sigma_0 = 0.5$ MPa and $\sigma_0 = 1.75$ MPa are shown in Tables 3 and 4 and in Fig.3 and 4 (line 1 - $\sigma_0 = 0.5$ MPa, line 2 - $\sigma_0 = 1.75$ MPa).

The stress relaxation $\sigma(t)$ has been investigated under constant strain $\epsilon_0 = \text{const}$, which is respectively for the two materials $\epsilon_0 = 0.260$ % (PU-1) and $\epsilon_0 = 0.065$ % (PU-2) and corresponds to the same stress $\sigma_k = 0.75$ MPa in the moment of load application. The arithmetic mean results for the stress relaxation in the course of 210 days are given in Table 5 and in Fig.5 and 6 (line 1 - for PU-1, line 2 - for PU-2).

Table 1. Total creep deformation $\epsilon(t)$ of polyurethane material PU-1

time			Total creep deformation $\epsilon(t)$, %	
d	h	min	$\sigma_o = 0.20$ MPa $\epsilon_k = 0.068$ %	$\sigma_o = 0.50$ MPa $\epsilon_k = 0.176$ %
1	2	3	4	5
		10	0.152	0.380
		20	0.183	0.475
		30	0.207	0.515
	1	60	0.263	0.657
	2	120	0.351	0.877
	3	180	0.416	1.042
	4	240	0.466	1.166
	5	300	0.516	1.291
	6	360	0.552	1.383
	7	420	0.584	1.463
	8	480	0.618	1.545
	9	540	0.633	1.582
	10	600	0.668	1.672
	15	900	0.760	1.903
1	24	1440	0.874	2.187
2	48	2880	1.044	2.613
3	72	4320	1.148	2.872
5	120	7200	1.300	3.253
10	240	14400	1.542	3.859
15	360	21600	1.704	4.261
20	480	28800	1.814	4.535
30	720	43200	1.988	4.969
40	960	57600	2.120	5.275
50	1200	72000	2.222	5.555

1	2	3	4	5
60	1440	86400	2.287	5.717
70	1680	100800	2.354	5.885
80	1920	115200	2.351	5.890
90	2160	129600	2.360	5.901
100	2400	144000	2.380	5.959
110	2640	158400	2.399	5.974
120	2880	172800	2.400	6.024
130	3120	187200	2.411	6.048
140	3360	201600	2.423	6.058
150	3600	216000	2.430	6.074
160	3840	230400	2.430	6.074
170	4080	244800	2.430	6.074
180	4320	259200	2.430	6.074
190	4560	273600	2.430	6.074
200	4800	288000	2.430	6.074
210	5040	302400	2.430	6.074

Table 2. Recovery of deformation $\epsilon_{c,r}(t)$ after load removal (recoverable creep) for polyurethane material PU-1

t i m e			Recoverable creep $\epsilon_{c,r}(t)$, %	
d	h	min	$\sigma_0 = 0.20$ MPa $\epsilon_k = 0.068$ %	$\sigma_0 = 0.50$ MPa $\epsilon_k = 0.176$ %
1	2	3	4	5
		10	2.282	5.705
		20	2.256	5.640
		30	2.238	5.595
	1	60	2.214	5.535
	2	120	2.172	5.430
	3	180	2.150	5.350
	4	240	2.126	5.315
	5	300	2.116	5.290
	6	360	2.096	5.240
	7	420	2.078	5.195
	8	480	2.072	5.180
	9	540	2.058	5.145
	10	600	2.050	5.116
	15	900	2.012	5.019
1	24	1440	1.958	4.895
2	48	2880	1.866	4.665
3	72	4320	1.814	4.535
5	120	7200	1.756	4.390
7	168	10080	1.698	4.245
10	240	14400	1.626	4.065
20	480	28800	1.448	3.620
30	720	43200	1.336	3.340
40	960	57600	1.246	3.110
50	1200	72000	1.210	3.022

Table 3. Total creep deformation $\epsilon(t)$ of polyurethane material PU-2

t i m e			Total creep deformation $\epsilon(t)$, %	
d	h	min	$\sigma_o = 0.50$ MPa $\epsilon_k = 0.043$ %	$\sigma_o = 1.75$ MPa $\epsilon_k = 0.152$ %
1	2	3	4	5
		10	0.086	0.301
		20	0.110	0.385
		30	0.123	0.430
	1	60	0.149	0.523
	2	120	0.182	0.639
	3	180	0.205	0.719
	4	240	0.225	0.787
	5	300	0.240	0.842
	6	360	0.250	0.875
	7	420	0.264	0.926
	8	480	0.274	0.961
	9	540	0.289	1.011
	10	600	0.296	1.036
	15	900	0.338	1.183
1	24	1440	0.400	1.400
2	48	2880	0.510	1.785
3	72	4320	0.574	2.011
5	120	7200	0.685	2.397
10	240	14400	0.877	3.069
15	360	21600	1.020	3.624
20	480	28800	1.162	4.069
30	720	43200	1.315	4.604
40	960	57600	1.428	4.999

1	2	3	4	5
50	1200	72000	1.535	5.372
60	1440	86400	1.627	5.696
70	1680	100800	1.717	6.011
80	1920	115200	1.802	6.309
90	2160	129600	1.871	6.548
100	2400	144000	1.910	6.635
110	2640	158400	1.957	6.811
120	2880	172800	1.992	6.854
130	3120	187200	2.001	6.951
140	3360	201600	2.032	7.030
150	3600	216000	2.037	7.061
160	3840	230400	2.042	7.119
170	4080	244800	2.049	7.141
180	4320	259200	2.049	7.155
190	4560	273600	2.050	7.175
200	4800	288000	2.050	7.175
210	5040	302400	2.050	7.175

Table 4. Recovery of deformation $\epsilon_{c,r}(t)$ after load removal
(recoverable creep) for polyurethane material PU-2

t i m e			Recoverable creep $\epsilon_{c,r}(t)$, %	
d	h	min	$\sigma_o = 0.50$ MPa $\epsilon_k = 0.043$ %	$\sigma_o = 1.75$ MPa $\epsilon_k = 0.152$ %
1	2	3	4	5
		10	2.001	7.003
		20	1.995	6.987
		30	1.980	6.782
	1	60	1.960	6.947
	2	120	1.942	6.902
	3	180	1.927	6.860
	4	240	1.920	6.842
	5	300	1.911	6.807
	6	360	1.903	6.790
	7	420	1.892	6.772
	8	480	1.880	6.755
	9	540	1.877	6.737
	10	600	1.871	6.717
	15	900	1.850	6.685
1	24	1440	1.835	6.623
2	48	2880	1.802	6.554
3	72	4320	1.775	6.510
5	120	7200	1.725	6.378
7	168	10080	1.695	6.291
10	240	14400	1.665	6.151
20	480	28800	1.575	5.880
30	720	43200	1.525	5.722
40	960	57600	1.480	5.635
50	1200	72000	1.435	5.531

Table 5. Stress relaxation under tensile loading with stress $\sigma_k = 0.75$ MPa for polyurethane materials PU-1 and PU-2

t i m e			Stress relaxation $\sigma(t) \cdot 10^4$ Pa	
d	h	min	PU-1 $\sigma_k = 75 \cdot 10^4$ Pa $\epsilon_o = 0.260$ %	PU-2 $\sigma_k = 75 \cdot 10^4$ Pa $\epsilon_o = 0.065$ %
1	2	3	4	5
		10	35.88	44.65
		20	29.46	33.86
		30	26.00	29.44
	1	60	20.72	24.31
	2	120	16.15	20.02
	3	180	14.01	17.81
	4	240	12.79	16.83
	5	300	11.86	15.73
	6	360	11.28	15.08
	7	420	10.79	14.49
	8	480	10.14	14.23
	9	540	10.09	13.52
	10	600	9.78	13.19
	15	900	8.74	11.89
1	24	1440	7.82	11.18
2	48	2880	6.68	8.71
3	72	4320	6.06	7.93
5	120	7200	5.43	7.02
10	240	14400	4.63	5.91
15	360	21600	4.24	5.33
20	480	28800	3.95	4.74
30	720	43200	3.56	4.22
40	960	57600	3.46	4.09

1	2	3	4	5
50	1200	72000	3.33	3.95
60	1440	86400	3.22	3.89
70	1680	100800	3.17	3.85
80	1920	115200	3.11	3.87
90	2160	129600	3.09	3.85
100	2400	144000	3.09	3.84
110	2640	158400	3.08	3.83
120	2880	172800	3.07	3.82
130	3120	187200	3.07	3.80
140	3360	201600	3.06	3.77
150	3600	216000	3.04	3.76
160	3840	230400	3.04	3.75
170	4080	244800	3.04	3.75
180	4320	259200	3.04	3.75
190	4560	273600	3.04	3.75
200	4800	288000	3.04	3.75
210	5040	302400	3.04	3.75

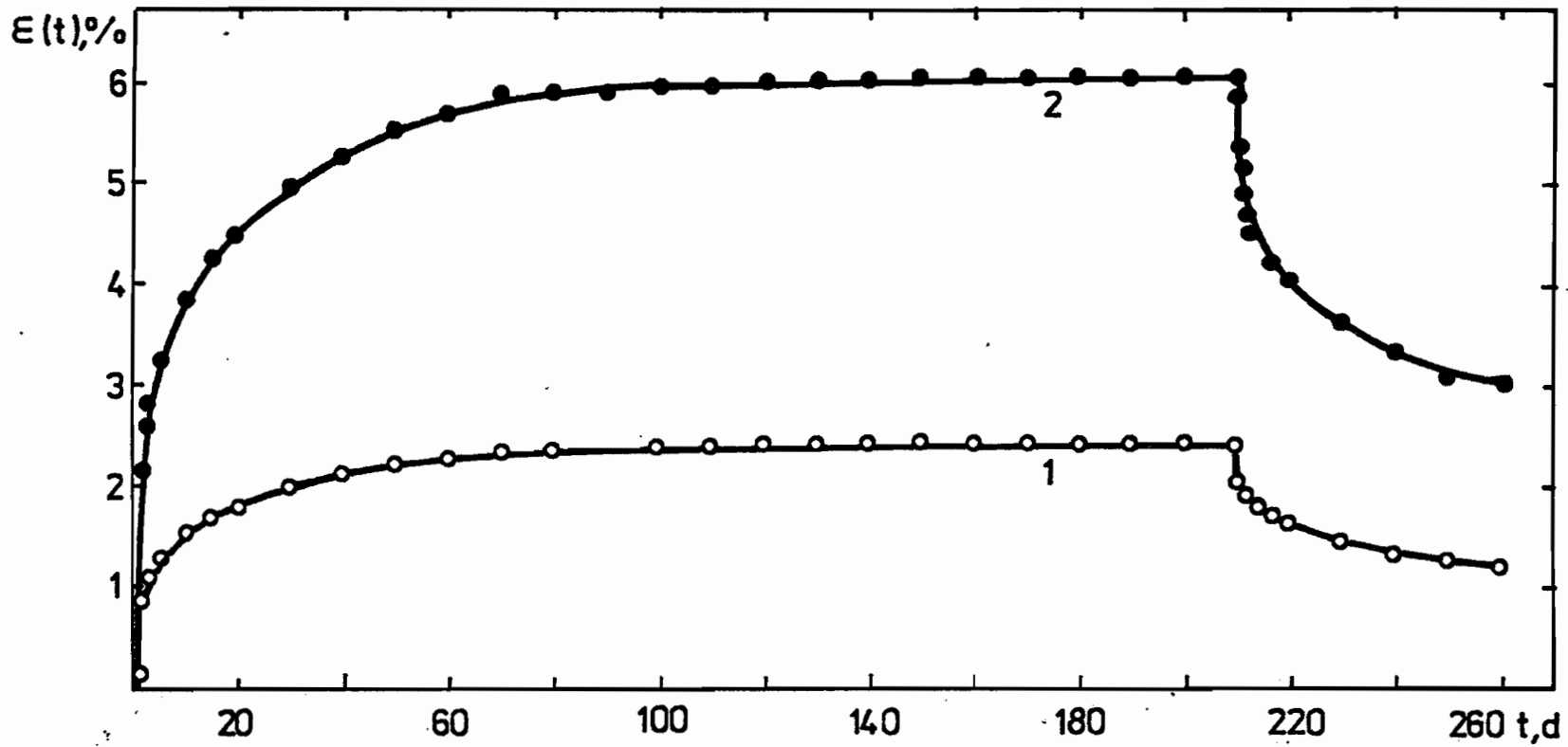


Fig.1. Total creep deformation $\epsilon(t)$ and deformation recovery after load removal (recoverable creep) of polyurethane material PU-1 under the action of constant tensile stress $\sigma_0 = 0.2$ MPa (1) and $\sigma_0 = 0.5$ MPa (2)

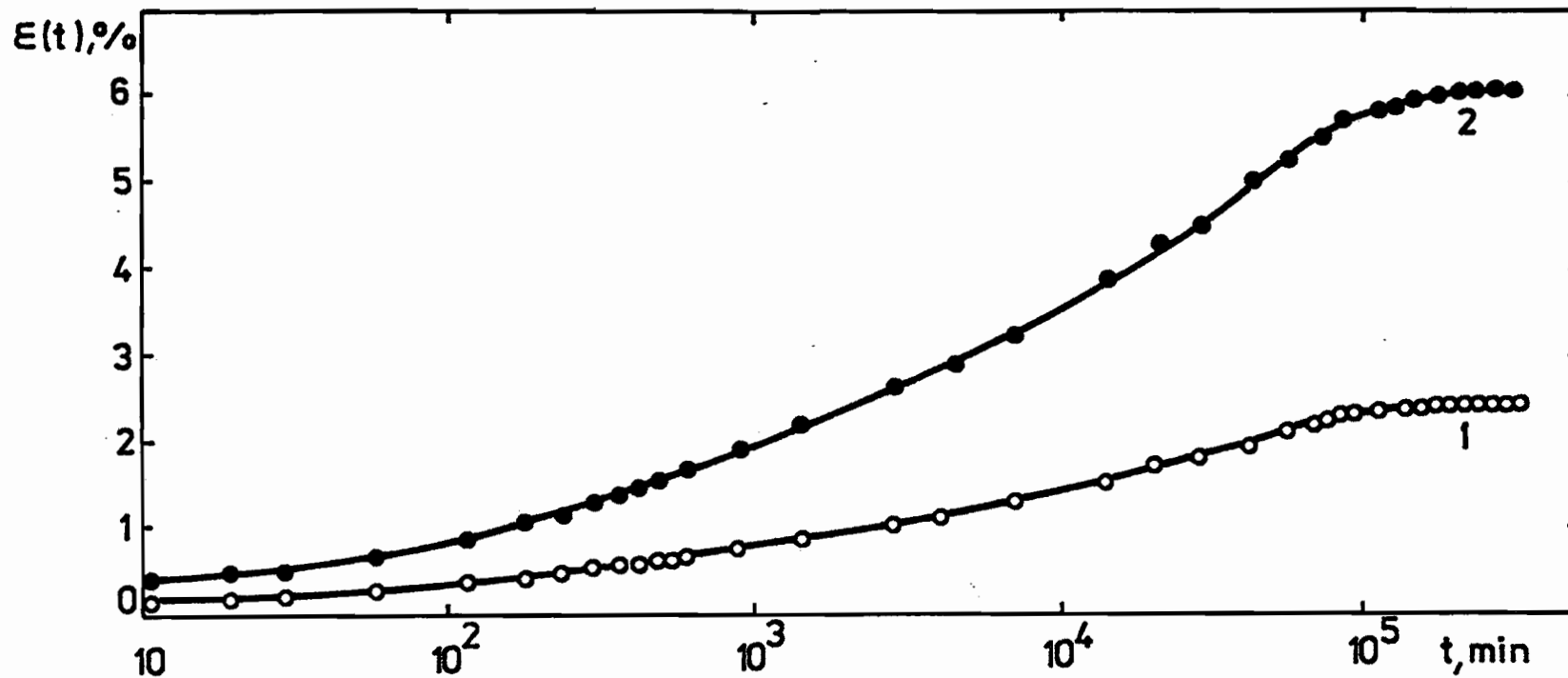


Fig.2. Total creep deformation $\varepsilon(t)$ of polyurethane material PU-1 under the action of constant tensile stress $\sigma_0 = 0.2$ MPa (1) and $\sigma_0 = 0.5$ MPa (2), presented in logarithmic time scale

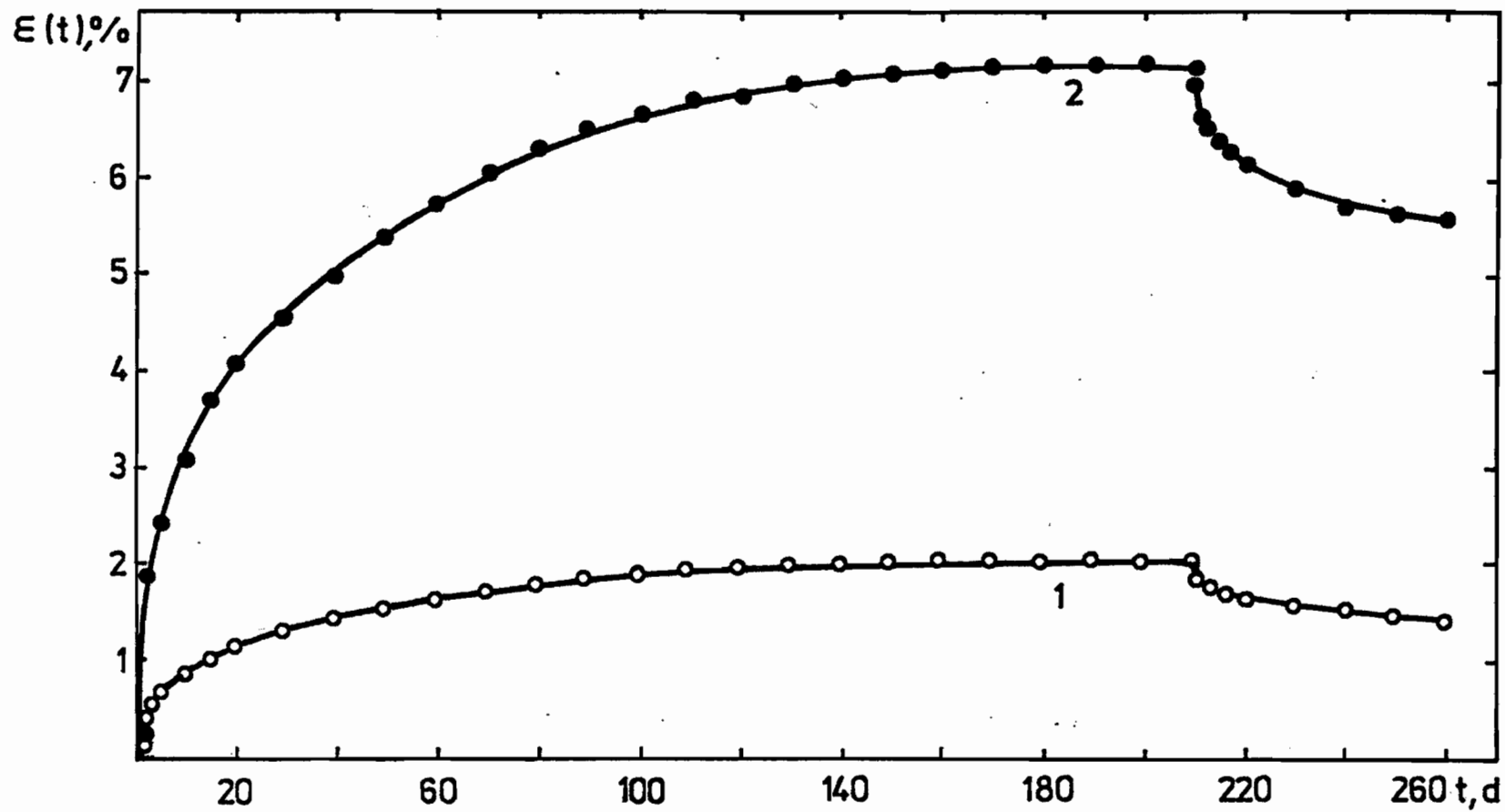


Fig.3. Total creep deformation $\varepsilon(t)$ and deformation recovery after load removal (recoverable creep) of polyurethane material PU-2 under the action of constant tensile stress $\sigma_0 = 0.5$ MPa (1) and $\sigma_0 = 1.75$ MPa (2)

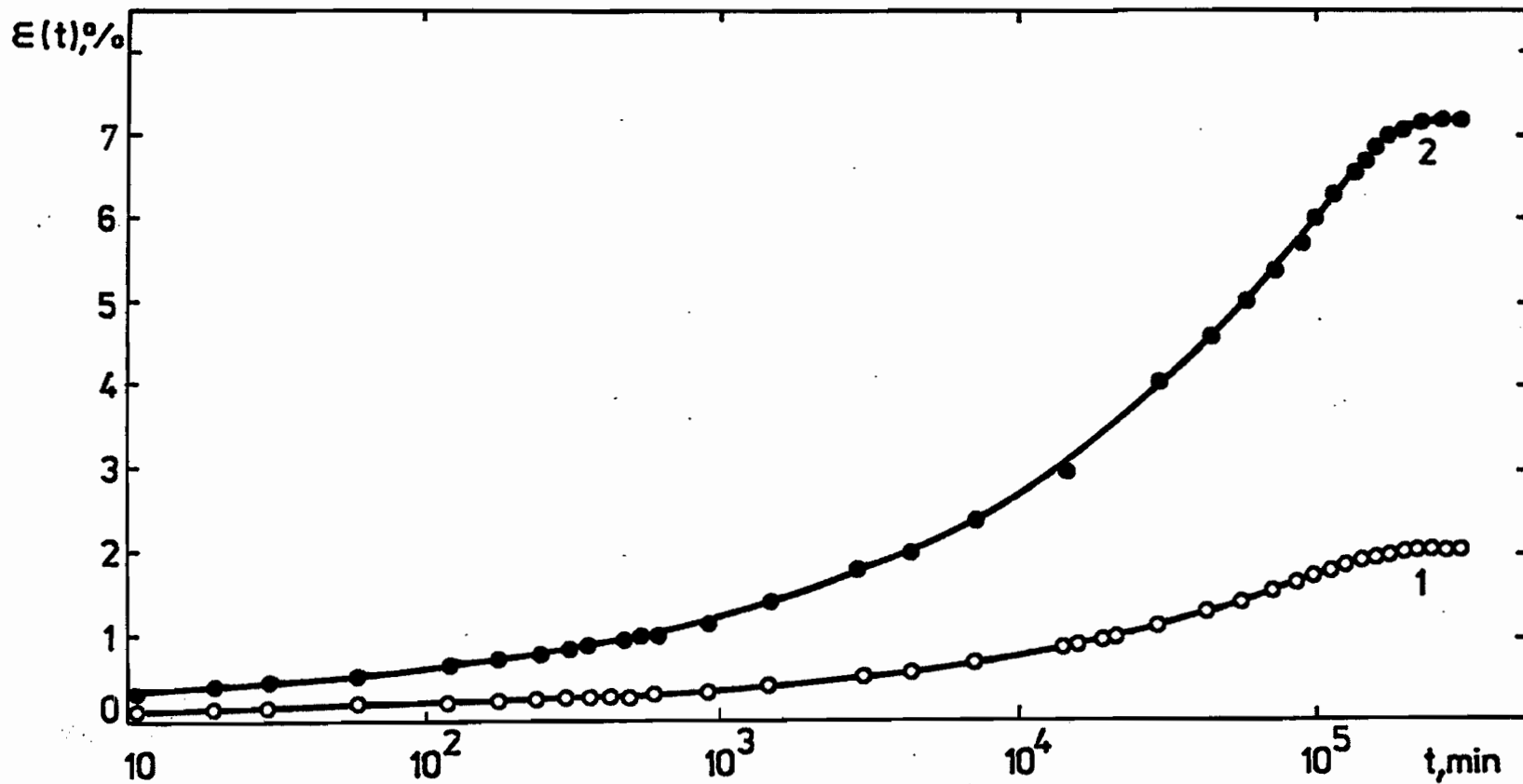


Fig.4. Total creep deformation $\epsilon(t)$ of polyurethane material PU-2 under the action of constant tensile stress $\sigma_0 = 0.5$ MPa (1) and $\sigma_0 = 1.75$ MPa (2), presented in logarithmic time scale

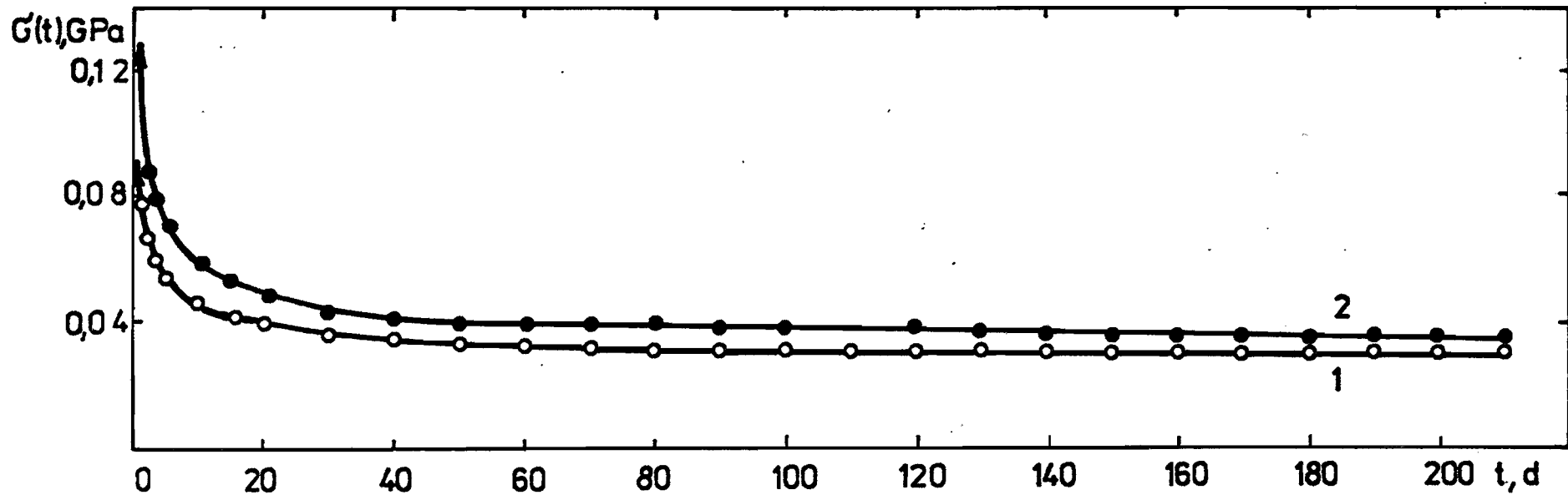


Fig.5. Stress relaxation under tensile loading with stress $\sigma_k = 0.75$ MPa for polyurethane materials PU-1 (1) and PU-2 (2) at constant deformation respectively $\epsilon_0 = 0.260$ % (PU-1) and $\epsilon_0 = 0.065$ % (PU-2)

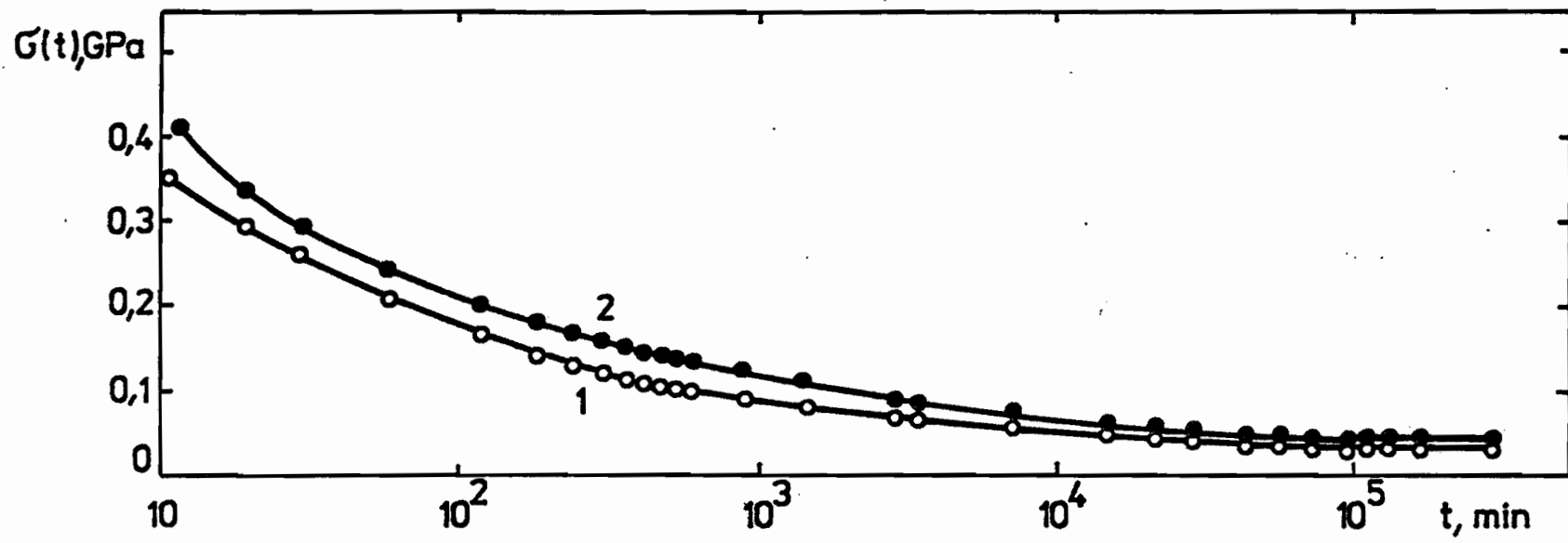


Fig.6. Stress relaxation under tensile loading with stress $\sigma_k = 0.75$ MPa for polyurethane materials PU-1 (1) and PU-2 (2) at constant deformation respectively $\epsilon_0 = 0.260$ % (PU-1) and $\epsilon_0 = 0.065$ % (PU-2), presented in logarithmic time scale