

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8
strojírenská technologie
zaměření

tváření kovů a plastických hmot
Katedra tváření a plastů

DLOUHODOBÁ PEVNOST TERMOPLASTU V TAHU
VYHODNOCENÍ MODULU PRUŽNOSTI

Jindra Burianová
KPT - 199

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Šafařík, VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

počet stran: 73
počet příloh
a tabulek: 27
počet obrázků: 33
počet výkresů: 2
počet modelů: -

Vysoká škola: **strojná a textilní**

Fakulta: **strojná**

Katedra: **tváření a plastů**

Školní rok: **1985/86**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Jindru Burianovou**

obor **strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Dlouhodobá pevnost termoplastů v tahu.**

Vyhodnocení modulu pružnosti.

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s metodikou dlouhodobé zkoušky. S používanými zařízeními a vyhodnocováním pevnosti a modulu pružnosti.
2. Proveďte u vybraných materiálů zkoušky na zařízení používaném na KPT.
3. Proveďte návrh úpravy zařízení pro zkoušky v kapalném prostředí.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÁ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ
PŠČ 461 17

V 129/865

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

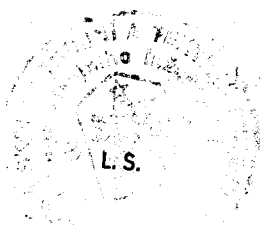
1. HOLZMÜLLER, WL, ALTENBURG, K. : Fyzika polymerů. SNTL, Praha 1966
2. Normy ČSN
3. Diplomová práce, VŠST Liberec, Janeček, 1983

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miloslav Šafařík

Datum zadání diplomové práce: 27. 9. 1985

Termín odevzdání diplomové práce: 23. 5. 1986



Jaroslav Tměj
Doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Vedoucí katedry

Alaxin
Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.

Děkan

v Liberci dne 25. 9. 1985

PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 23. května 1986

Jindra Burianová

OBSAH

str.

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| | Seznam použitých zkratk a symbolů | 5 |
| 1. | Úvod | 6 |
| 2. | Teoretická část | 7 |
| 2.1 | Teorie viskoelastického chování polymerů | 7 |
| 2.1.1 | Ideálně elastické chování látek | 7 |
| 2.1.2 | Ideálně viskozní chování látek | 8 |
| 2.1.3 | Teorie lineární viskoelasticity | 9 |
| 2.1.4 | Teorie nelineární viskoelasticity | 11 |
| 2.2 | Kríp | 12 |
| 2.2.1 | Zobecněný Voigtův model | 15 |
| 2.3 | Dlouhodobá pevnost plastů | 17 |
| 2.4 | Modul pružnosti | 19 |
| 2.5 | Základní vlivy na průběh deformačního chování plastů | 20 |
| 3. | Hodnocení dlouhodobé deformace plastických hmot /NDR/ | 21 |
| 3.1 | Metody a přístrojová technika při zkouškách dlouhodobého namáhání plastů | 21 |
| 3.2 | Získání charakteristických hodnot z pokusů tečení | 24 |
| 3.3 | Kvantitativní kritéria hodnocení dlouhodobého namáhání plastických hmot | 27 |
| 3.3.1 | Výsledky kvantitativního hodnocení | 29 |

| | str. |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| 4. Experimentální část | 33 |
| 4.1 Dlouhodobá zkouška v tahu | 33 |
| 4.1.1 Popis zkušebního zařízení | 34 |
| 4.1.2 Návrh zkušebního zařízení pro zkoušky v kapalném prostředí | 38 |
| 4.1.3 Zkušební tělesa | 39 |
| 4.1.4 Zpracování měření | 41 |
| 5. Závěr | 70 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|
| A, a - konstanta | ε - tahová deformace |
| b - šířka zkušebního tělesa, konstanta | ε_0 - okamžitá deformace |
| C - konstanta | ε_t - deformace v čase t |
| E - modul pružnosti v tahu | σ - tahové napětí |
| E_c - kríповý modul pružnosti | σ_c - kritické napětí |
| E_r - relaxační modul pružnosti | ν - integrační proměnná |
| F - síla, zatížení | τ - smykové napětí |
| g - gravitační zrychlení | |
| G - modul pružnosti ve smyku | |
| h - tloušťka zkušebního tělesa | |
| i - index | |
| K - konstanta | |
| m - index | |
| n - konstanta | |
| q - index | |
| p - tlak | |
| p_d - dotlak | |
| $p_{v\bar{S}}$ - vstřikovací tlak | |
| S - plocha příčného průřezu | |
| t - čas | |
| t_0 - jednotkový čas | |
| t_b - čas do lomu | |
| t_r - relaxační čas | |
| T - teplota | |
| T_f - teplota formy | |
| T_g - teplota zesklnění | |
| T_m - teplota tání | |
| T_t - teplota taveniny | |
| β - konstanta | |
| γ - smyková deformace | |
| $\frac{d\gamma}{dt}$ - rychlost smykové deformace | |
| η - viskozitní koeficient | |

1. ÚVOD

Plastické hmoty nabyly v posledních desetiletích takového významu, že dnes patří k nejdůležitějším materiálům umožňujícím modernizaci téměř všech odvětví národního hospodářství a podmiňujícím racionalizaci a efektivnost mnoha výrobních procesů. Příčinou jsou velmi výhodné fyzikální a mechanické vlastnosti plastů, kterými v mnoha směrech předčí klasické materiály. Světový trend rostoucího technického uplatnění plastů vyvolává neustále stoupající nároky zpracovatelů a uživatelů polymerů na vlastnosti těchto moderních konstrukčních materiálů.

Strojírenské výrobky jsou často vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání, a proto vyžadují poměrně vysoké hodnoty pevnosti a modulu pružnosti. Aby nedošlo k selhání těchto materiálů, je třeba řešit otázku předpokládané životnosti, po kterou jsou schopny za daných podmínek plnit svou funkci. Pro posouzení výrobků, případně jejich konstrukčního řešení, je důležité provedení zkoušek s ohledem na jejich požadovanou životnost. Mají-li všechny zkoušky poskytovat porovnatelné výsledky, je velká část zkušebních postupů normována. Pro celkovou orientaci v otázce zkušební techniky je nezbytná znalost platných používaných norem.

Při zjišťování statických vlastností polymerů je výhodné postupovat podle normy ČSN 64 0621 "Tečení plastických hmot při namáhání v tahu". Účelem této zkoušky je získat srovnatelné výsledky o chování plastů při dlouhodobém statickém namáhání a ověřené hodnoty využít pro vlastní konstrukci výrobků nebo pro kontrolu jejich jakosti.

Úkolem diplomové práce je provést tahovou zkoušku a na základě získaných výsledků vyhodnotit mechanické vlastnosti termoplastů dlouhodobě staticky namáhaných.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Teorie viskoelastického chování polymerů

Při aplikaci jakéhokoli materiálu jsou rozhodující jeho deformační vlastnosti, které vyjadřují odolnost látky proti změnám tvaru nebo objemu působením vnějších sil při různé době namáhání, různé době zatížení, různé teplotě. Termoplasty mohou být vzhledem ke svému mechanickému chování zařazeny mezi viskoelastické materiály. Jejich deformační chování je určeno výraznou závislostí na napětí, teplotě a čase. Vlivem vnějších podmínek se chování termoplastů přibližuje jednomu ze dvou extrémů, jimiž jsou ideálně pružné těleso a ideálně viskozni kapalina.

2.1.1 Ideálně elastické chování látek /1/, /2/, /5/

Deformace ideálně elastického tělesa se ustaví okamžitě při působení vnějšího napětí a s časem se dále nemění. Jestliže přestaneme těleso zatěžovat, ihned se vrací do stavu před deformací. Chování tělesa je charakterizováno modulem pružnosti, který nezávisí ani na velikosti deformace ani na době jejího trvání.

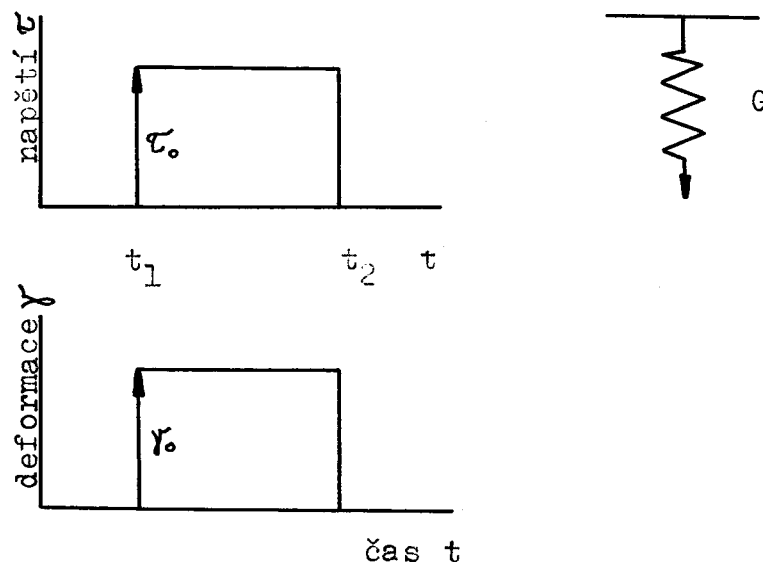
Pro deformaci ideálně elastických těles platí Hookův zákon lineární úměrnosti napětí a deformace. Oblast platnosti Hookova vztahu je relativně velmi úzká, neboť deformace jsou velmi malé.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad \text{pro tahové namáhání} \quad (2.1)$$

$$\tau = G \cdot \gamma \quad \text{pro smykové namáhání} \quad (2.2)$$

kde značí: σ je normálové napětí, E je modul pružnosti v tahu
 ϵ je relativní deformace, τ je smykové napětí,
 G je modul pružnosti ve smyku, γ je zkosenost

Mechanickým modelem je možno znázornit chování ideálně elastického tělesa pružinou, na jednom konci pevně uchycenou. Průběh deformace a napětí v závislosti na čase je na obr. 1.



Obr. 1 Průběh napětí a deformace v závislosti na čase

Pro plasty je tato teorie použitelná jen pro malé deformace / max. 0,1 / a krátkodobě působící napětí.

2.1.2 Ideálně viskozní chování látek /1/, /2/, /5/

Druhým mezním případem je chování ideálně viskozních kapalin. Při působení vnější síly dochází k posuvu jednotlivých vrstev kapalin, aniž by se ustavila rovnováha mezi smykovým napětím a smykovou deformací. Deformace narůstá po celou dobu působení síly a jakmile napětí přestane působit, nevracejí se vrstvy do výchozí polohy a deformovaný stav zůstává zachován. Zatímco celková deformace je funkcí jak velikosti smykového napětí, tak i doby jeho působení, je rychlost smykové deformace při daném napětí konstantní.

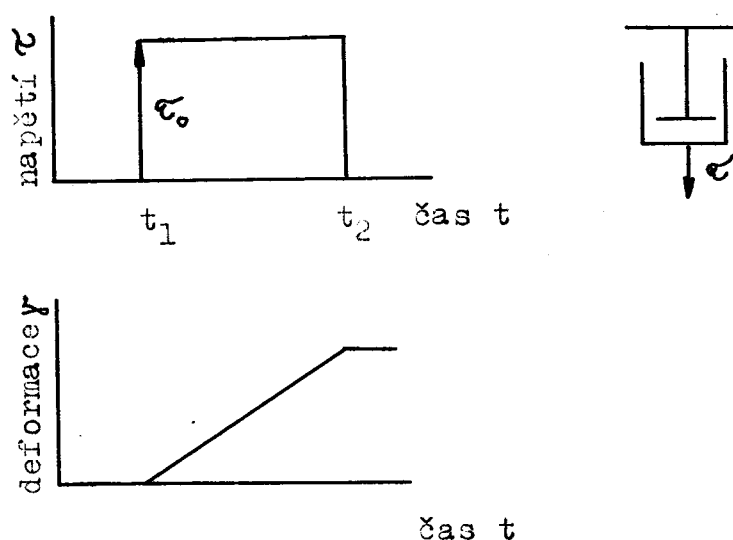
Vztah mezi smykovým napětím a deformací vyjadřuje Newtonův zákon:

$$\tau = \eta \cdot \frac{d\gamma}{dt} \quad (2.3)$$

kde značí: τ je smykové napětí, η je dynamická viskozita
 $\frac{d\gamma}{dt}$ je rychlost smykové deformace

Deformace je nevratná a práce vynaložená na deformaci se přeměňuje v kinetickou energii pohybujících se částic a posléze v teplo.

Mechanickým modelem pro ideálně viskozní chování je válec naplněný kapalinou s pevně uchyceným natěsnným pístem. Mechanický model a průběh deformace je znázorněn na obr. 2.



Obr.2 Znázornění deformace ideálně viskozní kapaliny

2.1.3 Teorie lineární viskoelasticity /3/, /4/

Ideálně pružný materiál, který je podroben sérii tahových deformací $\epsilon_0, \epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_{n-1}, \epsilon_n$ v oblasti Hookova zákona v časových intervalech $t_0 = 0, t_1, t_2, t_3, \dots, t_{n-1}, t_n$. Na konci tohoto postupného zatěžování se výsledné napětí rovná:

$$\begin{aligned} \sigma = E \cdot \epsilon_0 + E \cdot / \epsilon_1 - \epsilon_0 / + E \cdot / \epsilon_2 - \epsilon_1 / + \dots \\ \dots + E \cdot / \epsilon_n - \epsilon_{n-1} / = E \cdot \epsilon_n \end{aligned} \quad (2.4)$$

Chová-li se materiál viskoelasticky, závisí napětí vytvořené při každém z těchto postupných protažení na čase a tato závislost je vyjádřena relaxačním modulem E_r/t . Definici lineárního viskoelastického chování podává rovnice:

$$\begin{aligned} \sigma/t = & E_r/t \cdot \epsilon_0 + E_r \cdot (t - t_1) \cdot (\epsilon_1 - \epsilon_0) + E_r \cdot (t - t_2) \cdot (\epsilon_2 - \epsilon_1) \\ & + E_r \cdot (t - t_3) \cdot (\epsilon_3 - \epsilon_2) + \dots + E_r \cdot (t - t_n) \cdot (\epsilon_n - \epsilon_{n-1}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Pro plynulou orientovanou deformaci lze Boltzmannův princip vyjádřit integrální rovnicí:

$$\sigma/t = \int_0^t E_r \cdot (t - \nu) \cdot \dot{\epsilon}(\nu) \cdot d\nu \quad (2.6)$$

kde ν je "ubíhající čas" /integrační proměnná/ v průběhu deformace, $\dot{\epsilon}(\nu)$ značí $d\epsilon(\nu)/d\nu$ a t je čas, považovaný při integraci za konstantu. Předpokládá se, že "ubíhající čas" ν začíná od nuly, t.j. od okamžiku, kdy začala deformace. Obdobné rovnice platí i pro lineárně viskoelastické těleso, vystavené postupným napětím $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{n-1}, \sigma_n$ v okamžicích $t_0 = 0, t_1, t_2, t_3, \dots, t_{n-1}, t_n$. Místo relaxačního modulu použijeme časově závislých členů elastické poddajnosti. Důsledkem těchto rovnic, které definují lineární viskoelasticitu je to, že napětí relaxační nebo křívové křivky jsou nezávislá na konstantním protažení nebo konstantním napětí, při nichž byly stanoveny. Teorie lineární viskoelasticity může být použita pro popis chování plastů pouze při malých deformacích.

Jiný způsob matematického popisu deformačního chování v lineárně viskoelastické oblasti vychází ze skutečnosti, že závislost protažení na čase při různém napětí a teplotě lze dostatečným přiblížením vyjádřit funkcí

$$\epsilon = a \cdot t^b \quad (2.7)$$

kde t je čas, a, b jsou konstanty. Do těchto dvou konstant se přesouvají závislosti na napětí a teplotě.

Prolnutí křivek tečení /v logaritmických souřadnicích/ naznačuje, že pro termoplast je třeba počítat se závislostí b také na čase, takže:

$$a = a / \sigma, T / \quad b = b / \sigma, T, t / \quad (2.8)$$

Z tvaru některých naměřených závislostí vyplynulo, že obě výše uvedené funkce lze vyjádřit pomocí funkce exponenciální:

$$a = a_0 \cdot \sigma^{a_1} \cdot T^{a_2} \quad b = b_0 \cdot \sigma^{b_1} \cdot T^{b_2} \cdot t^{b_3} \quad (2.9)$$

Dosazením těchto výrazů do vztahu (2.7) dostaneme:

$$\varepsilon = a_0 \cdot \sigma^{a_1} \cdot T^{a_2} \cdot t^{b_0} \cdot \sigma^{b_1} \cdot T^{b_2} \cdot t^{b_3} \quad (2.10)$$

kde $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, b_3$ jsou konstanty.

Pro stanovení potřebných konstant ve vztahu (2.10) je doporučeno provést celkem tři měření kríповé deformace při dvou různých napětích a teplotách, které se zaznamenávají ve třech různých časech. Tím se získá dostatečný počet vztahů pro určení sedmi konstant v rovnici (2.10). Časy pokusů musí činit nejméně 100 hodin. Získání takové serie kríповých křivek pro každý typ materiálu je dosti nákladné a náročné na čas i měřicí zařízení. Výsledná rovnice (2.10) však s vyčíslenými konstantami pro daný typ materiálu umožňuje určit deformaci onoho materiálu pro celý, prakticky v úvahu přicházející rozsah času, teploty a napětí.

2.1.4 Teorie nelineární viskoelastivity ___ /5/, /6/

Při použití plastů je nutné počítat s viskoelastickou nelinearitou jako s činitelem komplikujícím předpověď jejich deformačního chování. Takové chování, kdy modul pružnosti závisí též na napětí se označuje viskoelastická nelinearita.

Pro popis nelineárního tečení bylo navrženo více způsobů. Jedním z nich je Nuttingova rovnice, založená na mocninovém zákonu.

$$\varepsilon = K \cdot \sigma^\beta \cdot t^n \quad (2.11)$$

kde K , β a n jsou konstanty při dané teplotě. Konstanta β je rovna 1 nebo je větší než 1. Tato rovnice poměrně přesně vystihuje experimentální údaje, ale není dostatečně teoreticky zdůvodněná.

Funkce hyperbolického sinu též vyhovuje četným experimentálním údajům a přitom je i značně teoreticky podložena:

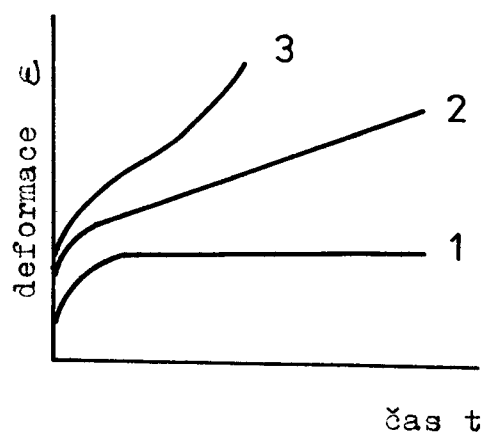
$$\varepsilon = K/t \cdot \sin h \cdot (\sigma/\sigma_c) \quad (2.12)$$

kde K/t je funkce definující časovou závislost krípu. Konstanta σ_c je jako kritické napětí charakteristikou materiálu. Při napětích, přesahujících tuto kritickou hodnotu, kríповá poddajnost rychle vzrůstá s napětím.

2.2 Kríp

/2/, /11/

Kríp vzniká při dlouhodobém statickém namáhání plastových součástí konstantní silou při konstantní teplotě. Při studiu tečení se tedy sleduje narůstání deformace tělesa zatíženého stálou silou. Zkoušku je možno provést až do lomu tělesa nebo jen do dosažení určité deformace. Kríp zahrnuje všechny složky deformace, tedy ideálně elastickou, zpožděně elastickou a viskozni tok. Nárůst deformace s časem je znázorněn na obr. 3:



Obr. 3 Znárodnění krípových křivek

Probíhá-li deformace podle křivky 3, dojde dříve nebo později k lomu tělesa. Křivka 2 představuje případ, kdy se po počáteční fázi klesající rychlost deformace ustálí a dále je konstantní. Protože deformace nemůže růst do nekonečna, musí i zde po určité době dojít k lomu jako v případě křivky 3 anebo křivka 2 přejde v křivku 1. Tato křivka představuje nejvýhodnější případ, protože děj je charakterizován vytvořením rovnováhy mezi vnějším namáháním a vnitřní reakcí materiálu, takže deformace s časem se dále zvětšovat nebude. To však bude jen v případě, že došlo ke zpevnění materiálu. I v tomto případě však může mít zpevnění jen dočasný charakter, takže deformace zůstává konstantní jen po určitou dobu. S ohledem na ni se potom volí doba životnosti součástí.

K matematickému vyjádření krípových křivek byla navržena řada víceméně empirických vztahů, např:

$$\epsilon_t = A/\sigma \cdot t^k \quad (2.13)$$

kde ϵ_t je deformace v čase t , A/σ je konstanta závislá

na napětí, t je čas a k je konstanta.

U jiného vztahu se uvažuje jak vliv času, tak napětí a předpokládá se, že deformace roste s napětím podle výrazu

$$\epsilon_t = C \cdot t \cdot \sin h \cdot \frac{\sigma}{\sigma_0} \quad (2.14)$$

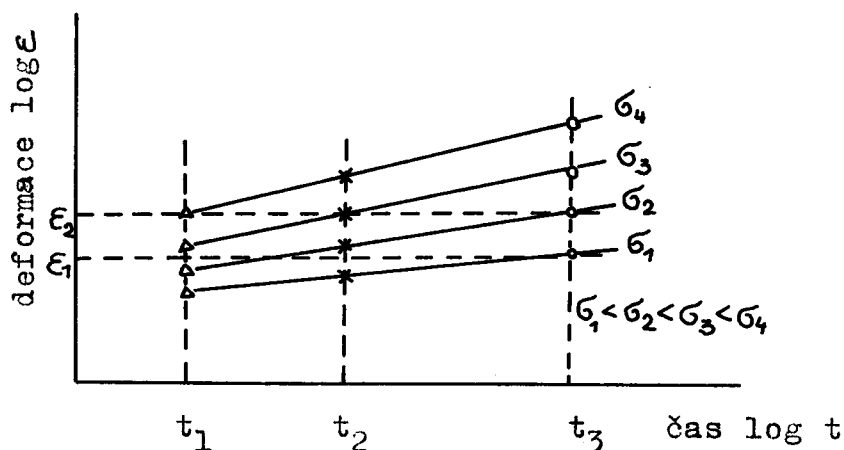
Pro praxi však dobře vyhovuje vztah

$$\epsilon_t = \epsilon_0 + m \cdot \left(\frac{t}{t_0} \right)^n \quad (2.15)$$

kde značí ϵ_t deformaci v čase t , ϵ_0 okamžitou deformaci, t_0 je jednotkový čas, který má stejný rozměr jako čas t , m a n jsou konstanty závislé na materiálu, napětí a na teplotě.

Studium kríkových jevů má velký význam u krystalických polymerů, které v rozmezí teplot mezi teplotou zesklnění T_g a teplotou tání T_m vykazují dostatečně vysoký modul pružnosti. U krystalických polymerů závisí rychlost tečení nepřímo na stupni krystalinity. U všech druhů polymerů se rychlost krípu zvětšuje se zvyšující se teplotou.

Je-li závislost deformace při krípu vyjádřena jako funkce v logaritmických souřadnicích, získá se často přímka, jak je zřejmé z obr. 4



Obr. 4. Závislost deformace na čase při krípu

Vztah mezi napětím a deformací při krípu lze vyjádřit:

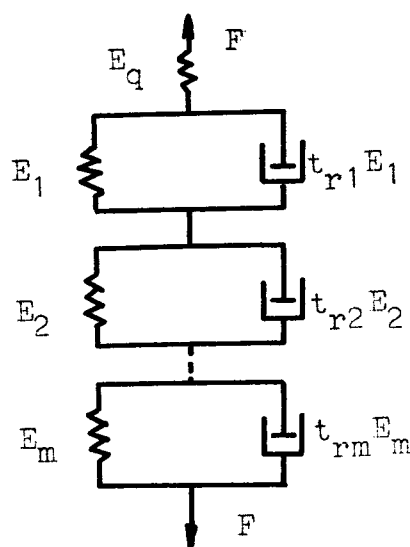
$$\tau = \gamma / t / \cdot G_c / t / \quad (2.16)$$

kde τ je napětí, $\gamma / t /$ časově závislá deformace, $G_c / t /$ je tzv. kríповý modul, který je funkcí doby zatížení a s rostoucí dobou se jeho hodnota zmenšuje.

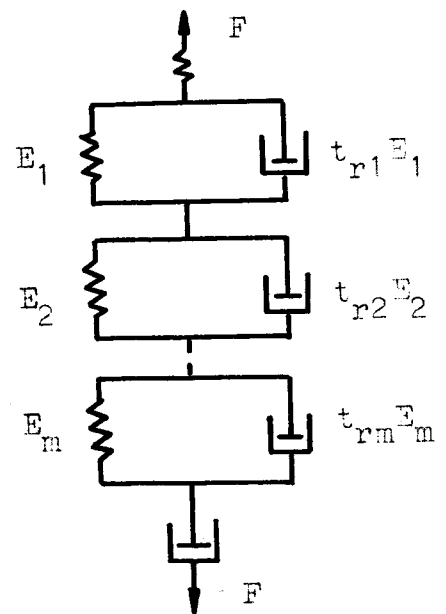
2.2.1 Zobecněný Voigtův model

/1/, /5/, /6/

Zobecněný Voigtův model je diferenciálním vyjádřením lineárního viskoelastického chování. Je zvláště vhodný pro popis kríповých zkoušek. Příslušné mechanické modely jsou znázorněny na obr. 5, 6.



Obr. 5 Voigtův - kelvinův model /I/



Obr. 6 Voigtův - Kelvinův model /II/

Chování modelu na obr. 5 popisují rovnice:

$$\sigma = E_q \cdot \epsilon_q$$

$$\sigma = E_1 \cdot \epsilon_1 + t_{r1} \cdot E_1 \frac{d\epsilon_1}{dt}$$

$$\sigma = E_2 \cdot \epsilon_2 + t_{r2} \cdot E_2 \frac{d\epsilon_2}{dt}$$

$$\sigma = E_m \cdot \epsilon_m + t_{rm} \cdot E_m \frac{d\epsilon_m}{dt}$$

$$\epsilon = \epsilon_q + \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \dots + \epsilon_m \quad (2.17)$$

Chování modelu na obr. 6 popisují rovnice:

$$\sigma = E_q \cdot \epsilon_q$$

$$\sigma = E_1 \cdot \epsilon_1 + t_{r1} \cdot E_1 \frac{d\epsilon_1}{dt}$$

$$\sigma = E_2 \cdot \epsilon_2 + t_{r2} \cdot E_2 \frac{d\epsilon_2}{dt}$$

$$\sigma = E_m \cdot \epsilon_m + t_{rm} \cdot E_m \frac{d\epsilon_m}{dt}$$

$$\sigma = \eta^{(t)} \cdot \frac{d\epsilon_m}{dt}$$

$$\epsilon = \epsilon_q + \epsilon_1 + \epsilon_2 + \dots + \epsilon_m + \epsilon_\eta \quad (2.18)$$

kde E_i značí modul pružnosti a t_r časové zpoždění i -tého elementu. Celkové protažení je součtem parciálních protažení všech těchto elementů. Veličina $\eta^{(t)}$ se zde objevuje místo η , protože se zabýváme tahovým, a nikoli smykovým namáháním. Pro viskoelastické chování ve smyku lze psát rovnice, které jsou přesně analytické rovnicím (2.17), (2.18).

Za konstantního napětí vyplývá ze soustavy rovnic (2.17) pro křivkou vztah:

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E_q} + \sum_{i=1}^m \frac{\sigma_0}{E_i} \left[1 - \exp \left/ - \frac{t}{t_r} \right/ \right] \quad (2.19)$$

První člen na pravé straně rovnice (2.19) představuje okamžitou pružnou odezvu, druhý člen vyjadřuje zpoždění odpružení.

Za konstantního napětí vyplývá ze soustavy rovnic (2.18) tato rovnice křivové křivky:

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E_0} + \sum_{i=1}^m \frac{\sigma_0}{E_i} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{t_r}\right) \right] + \frac{\sigma_0 \cdot t}{\eta(t)} \quad (2.20)$$

Třetí člen na pravé straně rovnice představuje limitní tok materiálu při konstantním tahovém zatížení. Rovnice (2.19) platí pro materiál, který za konstantního napětí nakonec dosáhne mezní elastické reakce. Rovnice (2.20) popisuje chování hmoty, která za konstantního napětí okamžitě reaguje pružně, potom se zpožděním pruží a nakonec teče. Rovnice (2.19) je vhodná pro popis chování zesítěných amorfních polymerů, rovnice (2.20) vyhovuje vlastnostem lineárních amorfních polymerů.

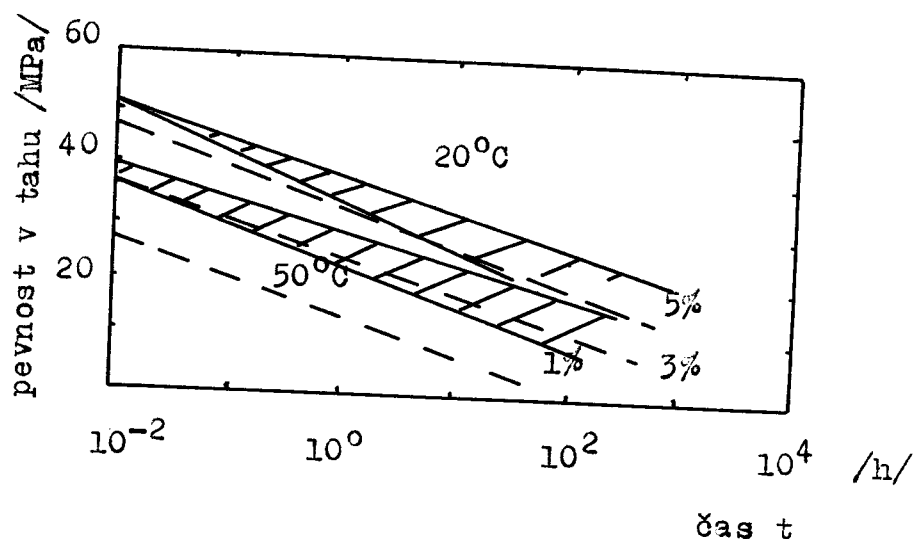
2.3 Dlouhodobá pevnost plastů

/2/, /11/

Působí-li na těleso z plastů konstantní napětí, dojde při postupně se zvětšující deformaci po určité době k lomu tělesa. Napětí, které působí porušení tělesa po určité době se nazývá dlouhodobá pevnost. Hodnota tohoto napětí musí být nižší než krátkodobá pevnost, zjištěná při měřeních na trhacím stroji. Příčinou poklesu je tzv. statická únava materiálu.

V konstrukční praxi většinou není účelné dimenzovat danou součást až na mezní stav porušení celistvosti materiálu, ale častěji případem je dimenzování konstrukčního dílu podle určité hodnoty maximálně přípustné deformace. Při dosažení tohoto stavu je sice životnost součástí vyčerpána, ale ta neztrácí svou celistvost. Mezní stav je v tomto případě charakterizován vzájemným vztahem mezi zatížením konstrukce a deformací materiálu.

Napětí, které vyvolá během určité doby maximálně přípustnou deformaci, se označuje dlouhodobá časová pevnost. Tyto hodnoty se stanoví z kríповých zkoušek. Příklad dlouhodobé pevnosti a dlouhodobé časové pevnosti je na obr. 7.



Obr. 7 Dlouhodobá pevnost a dlouhodobá časová pevnost tvrdého PVC

Mezi dlouhodobou pevností a dlouhodobou časovou pevností na jedné straně a dobou zatěžování na straně druhé platí v nejjednodušším případě vztah:

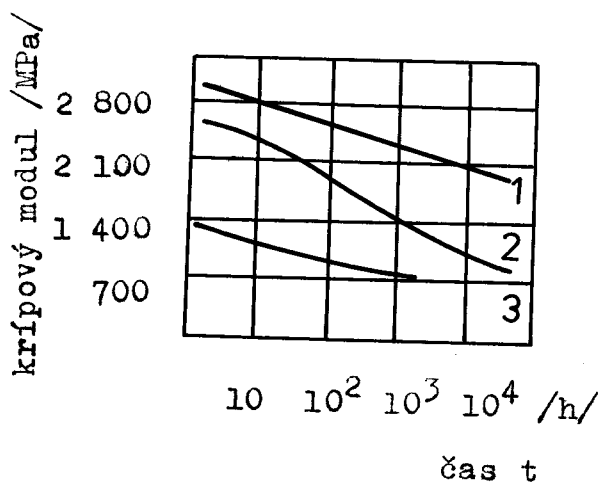
$$\sigma = a \cdot \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-n} \quad (2.21)$$

kde značí σ dlouhodobou pevnost nebo dlouhodobou časovou pevnost, a je konstanta, která odpovídá krátkodobé pevnosti, t je čas působení vnějšího napětí, t_0 je jednotkový čas, n je konstanta, která závisí na druhu polymeru a podmínkách namáhání.

2.4 Modul pružnosti

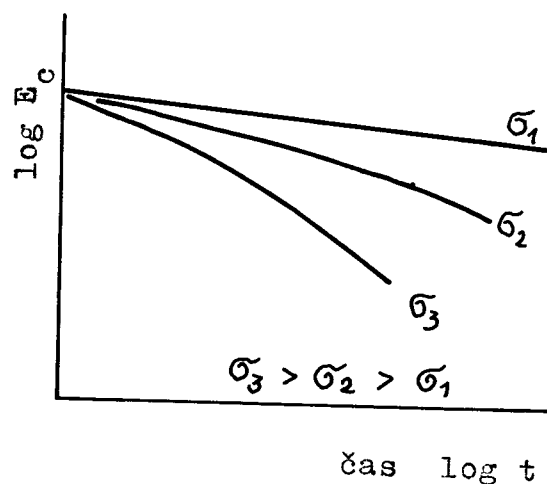
/2/, /11/

Plastické hmoty vykazují relativně velmi úzké oblasti platnosti Hookova zákona, neboť modul pružnosti E se následkem viskoelastického chování značně mění. Poměr mezi napětím a deformací není materiálovou konstantou, ale je vždy funkcí času, po který působí napětí. Má-li tato hodnota, nazývaná časově závislý modul pružnosti, charakterizovat daný materiál, musí být uvedeno, jakým způsobem a po jaké době působení byla stanovena. Deformace tělesa je brzděna vnitřními odpory ve hmotě, a proto se nemůže realizovat okamžitě. Čím rychleji má deformace nastat, tím intenzivněji se projevuje brzdící účinek viskozních členů a tím větší napětí je nutno vynaložit na dosažení určité hodnoty deformace. Modul pružnosti vždy závisí na teplotě, na době namáhání a na velikosti působícího napětí.



Obr. 8 Závislost krípkového modulu pružnosti na době namáhání

- 1 - organické sklo
- 2 - polyformaldehyd
- 3 - polyamid



Obr. 9 Závislost modulu pružnosti na napětí a na čase

Tyto závislosti, které jsou nutné pro praktické aplikace plastů, se zjišťují experimentálně.

Hodnoty modulu pružnosti lze výrazně ovlivnit složením plastu. Vyztužující plniva na bázi skleněných nebo kovových vláken zvyšují modul pružnosti až na desetinásobek. Změkčovadla jej naopak snižují.

2.5 Základní vlivy na průběh deformačního chování plastů

Deformační chování plastů je ovlivněno vnějšími podmínkami a také vztahem mezi strukturou a deformačním chováním plastů. Je-li teplota, při níž je plast namáhán mnohokrát nižší než teplota zesklenní T_g , chová se hmota jako dokonale pružné těleso. Při teplotě kolem T_g se začne projevovat i člen zpožděně elastický. Se zvýšením teploty nad T_g bude podíl nevratné deformace stoupat a naopak podíl ideálně pružného členu na celkové deformaci se bude snižovat. Při velmi vysokých teplotách zůstane pouze vliv viskozního členu a tavenina se bude blížit ideální kapalině. Tohoto stavu však nelze u tavenin makromolekulárních látek dosáhnout, protože dříve dojde k jejich tepelnému rozkladu.

Také vliv rozdílné rychlosti deformace a doby působení vnější síly je značný. Působí-li síla po velmi krátkou dobu, např. při namáhání rázem, výsledná deformace bude prakticky odpovídat deformaci ideálně pružného členu. Bude-li naopak působit síla po velmi dlouhou dobu, např. stovky hodin, bude mít jak zpožděně elastický, tak i viskózní člen dost času, aby se jeho deformace mohla plně rozvinout. Při velmi dlouhých časech tyto dvě složky deformace jednoznačně převládnu.

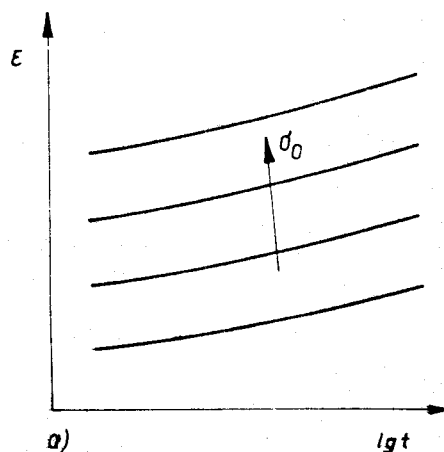
Mezi strukturální faktory, ovlivňující deformační chování plastů zařazujeme stupeň krystalinity, molekulovou hmotnost, orientaci makromolekul atd.

3. HODNOCENÍ DLOUHODOBÉ DEFORMACE PLASTICKÝCH HMOT /NDR//12/

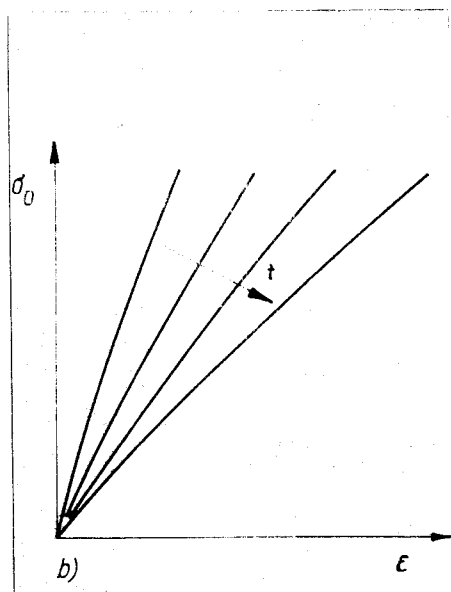
Na základě systematicky prováděných zkoušek statického dlouhodobého chování plastů byla v NDR vypracována dokumentace, ve které je souhrnné zhodnocení dlouhodobé zkoušky vybraných polymerů ze sortimentu NDR.

3.1 Metody a přístrojová technika při zkouškách dlouhodobého namáhání plastů

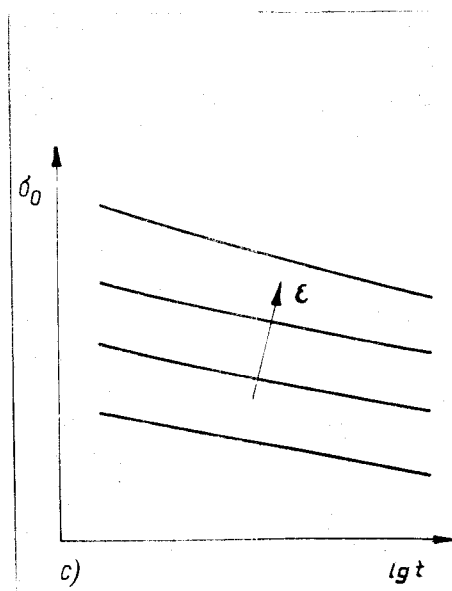
Pro získávání potřebných výsledků zkoušek byl zajištěn jednotný přístup ke zkouškám, k získání dat, způsobu měření, vyhodnocování. Tyto podklady ke zkouškám jsou k dispozici v Standard TGL 25246 /z prosince 1972/ "Zkoušky plastů; Určení tečení a meze pevnosti při tečení při jednocím, statickém tahovém namáhání". Tento předpis vznikl pro tahovou zkoušku, ale může být podle něho provedena tlaková i ohybová zkouška. Při tahové zkoušce se registruje protažení vlivem tečení závislé na čase a napětí, při tlaku stlačení hmoty, při ohybu protažení krajních vláken. Formy zobrazení měřených hodnot užívaných v TGL 25246 jsou reprodukovány v obr. 10.



a/ diagram deformace - čas



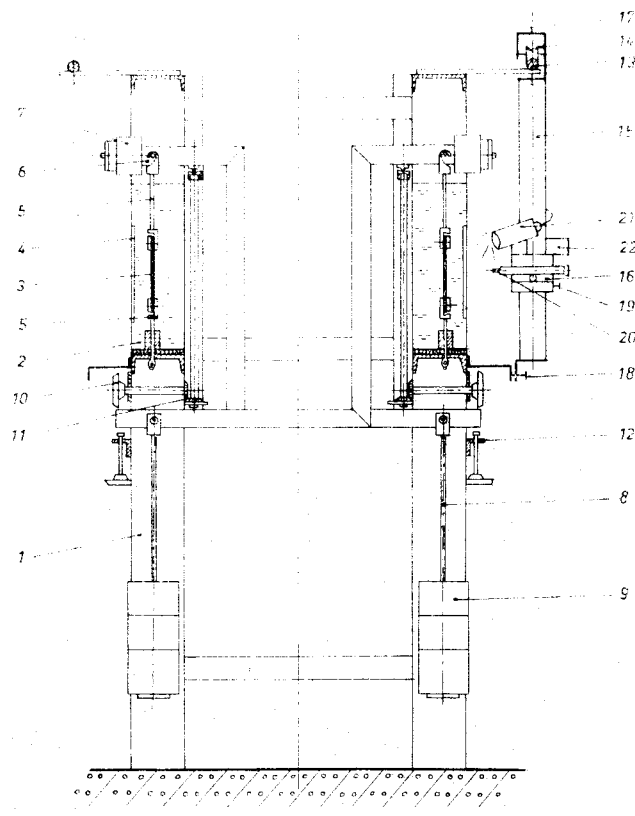
b/ izochronní diagram napětí - prodloužení



c/ diagram napětí - čas

Obr. 10 Formy zobrazení měřených hodnot užívaných v TGL

Nově vyvinuté zařízení ke zkoumání tečení materiálu při komplexním namáhání / mechanické - tepelné - mediální / je na obr. 11.



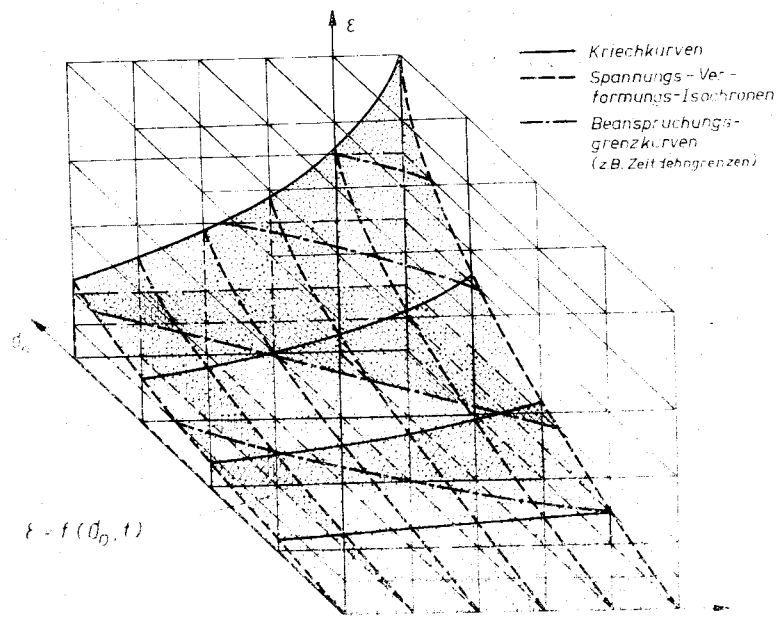
Obr. 11 Zkušební zařízení pro výzkum tečení při tahovém zatížení v kapalném mediu

1 - základní stojan, 2 - zásobník media, 3 - zkušební těle-
so, 4 - skleněný průzor, 5 - držák zkušební tyče, 6 - zatě-
žovací páka s vyvažovacími tělesy, 7 - vyvažovací elementy,
8 - závěsy, 9 - závaží, 10 - ruční kolo, 11 - kuželový

převod, 12 - opěrné zařízení, 13 - kolejnice, 14 - saně, 15 - vodící sloup, 16 - měřicí vozík, 17, 18 - stavěcí šrouby, 19 - křížový stůl, 20 - optika, 21 - osvětlovací zařízení pro jemné čtení.

3.2 Získání charakteristických hodnot z pokusů tečení

Charakteristická hodnota přetvoření ϵ_1/σ_0 , t/ získaná z výsledků měření je zatížená chybami vlivem různých příčin /geometrie vzorku, vady materiálu, měření/. Vlivem použití různých způsobů zobrazení, ručního obtahování charakteristik, subjektivního hodnocení dat mohou být získány různé vztahy σ - ϵ různými zpracovateli. Proto byly vypracovány postupy hodnocení, které vyloučily subjektivní chyby v hodnocení. V podstatě musí být zjištěny očekávané hodnoty pokusu, to znamená cílová funkce $\epsilon = f/\sigma_0$, t/ z obvyklých, chybami zatížených hodnot. Cílovou funkcí ϵ/σ_0 , t/ ze zkoušky tečení si lze představit jako prostorově zakřivenou plochu /obr. 12/. Jedná se o geometrické místo všech očekávaných hodnot pokusu tečení, během kterého se chybami zatížené hodnoty, které jsme naměřili, nacházejí v prostorovém rozptylovém poli okolo této plochy.



Obr. 12 Cílová funkce $\epsilon = f/\sigma_0, t/$

- křivky tečení
- izochrony napětí - přetvoření
- - křivky hranic namáhání /například meze prodloužení při tečení/

Současně obsahuje tato cílová funkce v řezech tyto charakteristické hodnotové funkce:

křivky tečení $\epsilon = f/t/$ pro $\sigma_0 = \text{konst.}$

křivky mezního namáhání $\sigma_0 = f/t/$ pro $\epsilon = \text{konst.}$

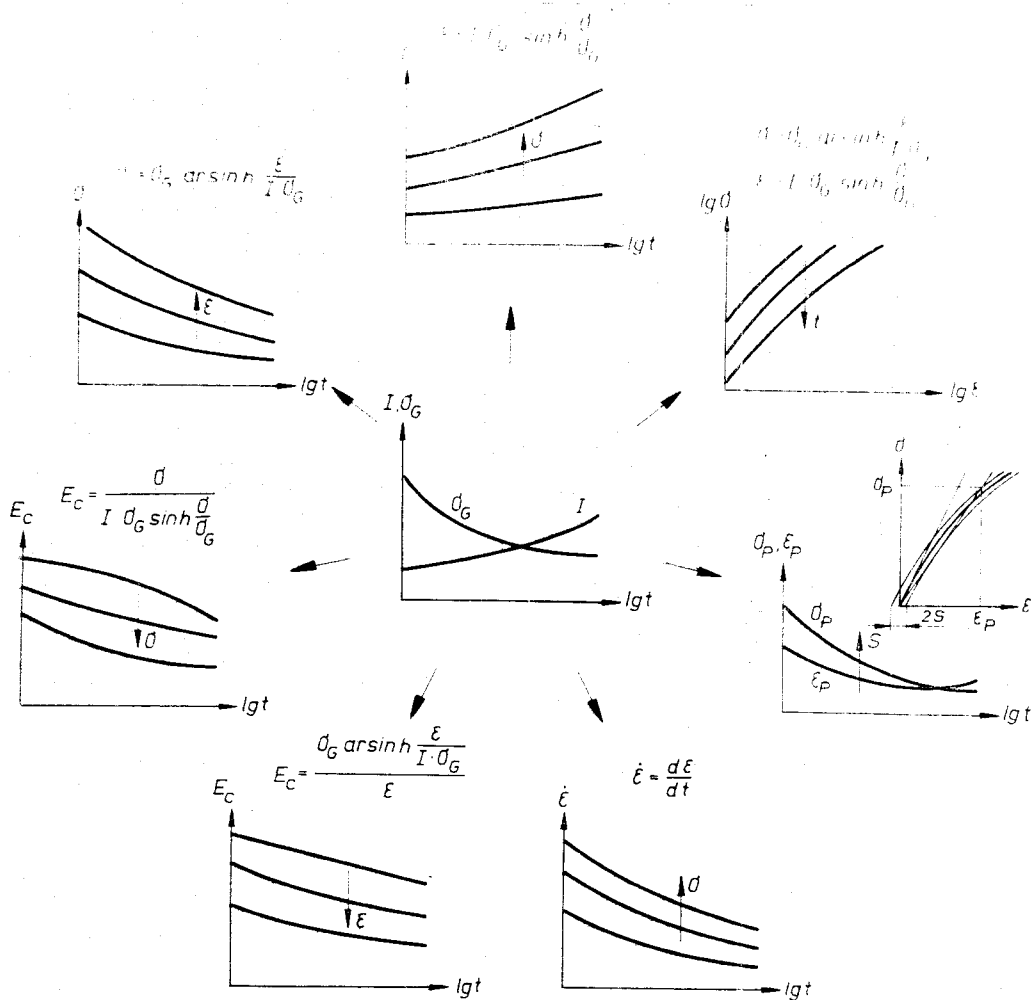
závislost napětí - přetvoření $\sigma_0 = f/\epsilon/$ pro $t = \text{konst.}$

Cílovou funkci $\epsilon/\sigma_0, t/$ lze automaticky formulovat v oblasti zajímavé pro technické využití následujícím vztahem:

$$\epsilon/\sigma_0, t/ = I/t/ \cdot \sigma_G/t/ \cdot \sin h \cdot \frac{\sigma_0}{\sigma_G} \quad (3.1)$$

kde $I/t/$ je parametrická funkce tečení, σ_G je parametrická funkce napětí /parametrem je zde čas/.

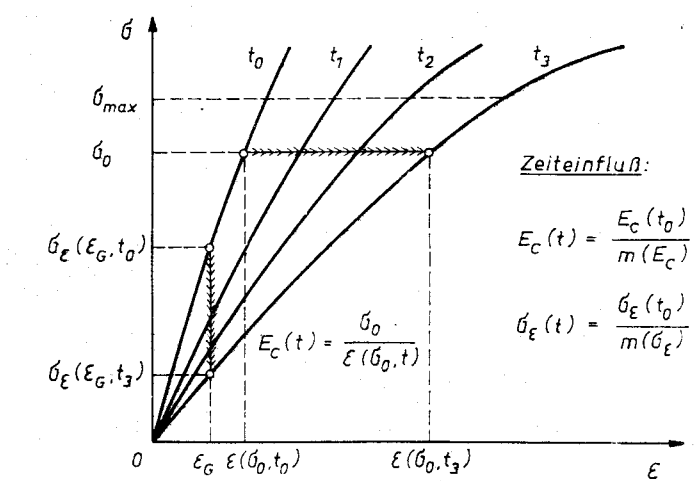
Cílová funkce se získá tím způsobem, že se nejdříve vztahem (3.1) aproximuje experimentálně získaná závislost $\sigma_0 - \epsilon$ při $t = \text{konst.}$, potom se "vypiluje" časová závislost parametru I a σ_G a nakonec se vypočítají příběhy požadovaných hodnot. Na obr. 13 jsou vidět závislosti různých veličin, charakteristických pro chování plastů při dlouhodobém namáhání a cílové funkce na parametrech $I/t/$ a $\sigma_G/t/$.



Obr. 13 Systém charakteristik při dlouhodobém namáhání plastů

3.3 Kvantitativní kritéria hodnocení dlouhodobého namáhání plastických hmot

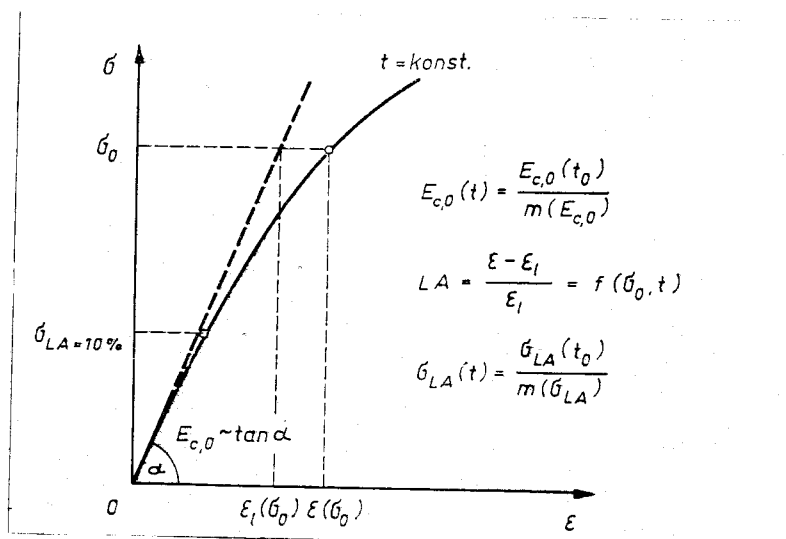
V oblasti namáhání, která je zajímavá pro technické využití, spočívají nejdůležitější účinky časové závislosti deformačních vlastností plastů nejen v ubývající tuhosti materiálu E_c /s rostoucí dobou zatížení/, nýbrž i v zatižitelnosti /obr. 14/.



Obr. 14 Kvantifikace vlivu času na tuhost a na zatižitelnost plastu při statickém namáhání

Časová změna těchto veličin proti platným krátkodobým hodnotám může být kvantifikována pomocí zmenšujících faktorů m/E_c / nebo m/σ_E /. Oba faktory jsou jako výraz nelineárního viskoelastického chování materiálu závislé z jedné strany časově, z druhé strany na zatížení a mají v oblasti

malých hodnot zatížení společnou mezní hodnotu $m/E_{c,0}$
/obr. 15/.



Obr. 15 Kvantifikace vlivu času na počáteční modul
a na nelinearitu vztahu $\sigma - \epsilon$ u plasti

Vedle počátečního modulu se může v případě statického zatížení měnit také stupeň nelinearity vztahů mezi napětím a přetvořením. Je-li stupeň nelinearity /v obr. 15 značeno LA/ charakterizován velikostí napětí σ_{LA} pro zadanou úchylku linearitu, potom se dá časová změna stupně nelinearity kvantifikovat pomocí zmenšujícího faktoru m / σ_{LA} .

Tím by byly analogicky ke známým faktorům bezpečnosti definovány následující vyhodnocovací faktory:

$$\begin{aligned}
 m/E_c/ &= \frac{E_c/t_o/}{E_c/t/} & m/\sigma_E/ &= \frac{\sigma_E/t_c/}{\sigma_E/t/} & (3.2) \\
 m/E_{c,0}/ &= \frac{E_{c,0}/t_o/}{E_{c,0}/t/} & m/\sigma_{LA}/ &= \frac{\sigma_{LA}/t_o/}{\sigma_{LA}/t/}
 \end{aligned}$$

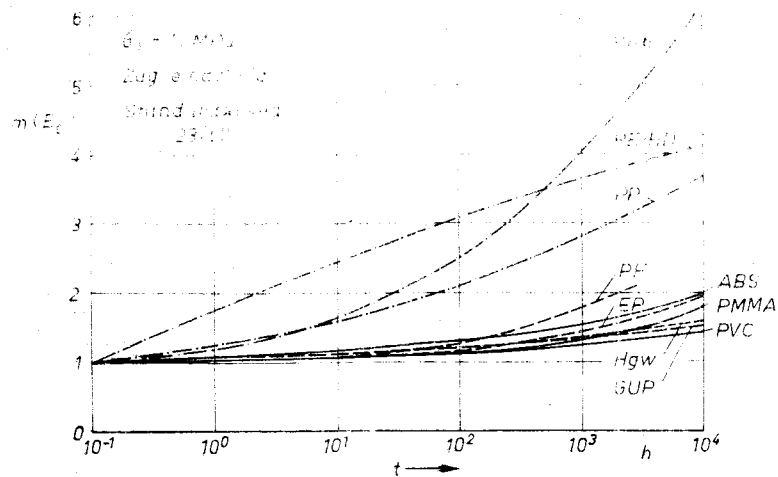
Na základě technických zkoušek byl určen základní vztažný čas $t_o = 0,1$ hod., ve kterém jsou popsány k tomuto času vztažené hodnoty $E_{c,0}$ a σ_{10} /dle obr. 15/ jako E^* a σ_{10}^* . Hodnoty E^* dostatečně přesně souhlasí s krátkodobými hodnotami.

3.3.1 Výsledky kvantitativního hodnocení

Pomocí uvedených faktorů hodnocení se hodnotí kvantitativně chování při dlouhodobé deformaci z následujících hledisek:

- vliv času na vztahy $\sigma - \epsilon$
- vliv druhu zatížení /namáhání/
- vliv teploty
- vliv typových rozdílů
- vliv struktury materiálu
- vliv přísad

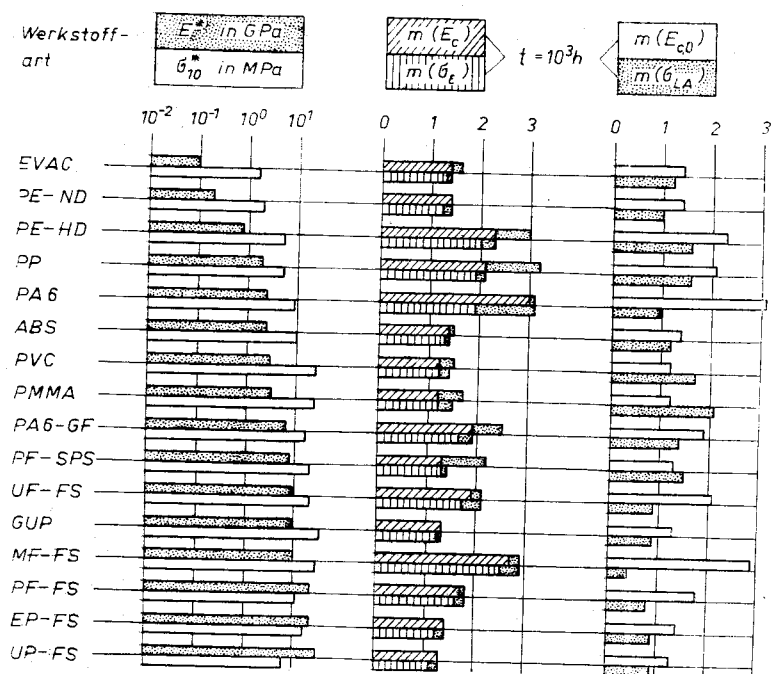
Obr. 16 obsahuje případy časově závislých změn vlastností zvolených plastů při tahovém napětí $\sigma_o = 10$ MPa / mE_c - hodnoty/.



Obr. 16 Zmenšujúci faktory m/E_c pro zvolené plasty při statickém tahovém namáhání $\sigma_0 = 10 \text{ MPa}$
 kde značí PA 6 - polyamid, PE-HD - polyetylen s vysokou hustotou, PP - polypropylen, PF - fenolformaldehydová pryskyřice, EP - epoxidová pryskyřice, ABS - kopolymer akrylonitril-butadien-styren, PMMA - polymethylmetakrylát, PVC - polyvinylchlorid, GUP - polyesterová hmota se skleněnými vlákny

Podle očekávání vykazují částečně krystalické plasty značně vyšší změnu m/E_c - hodnoty než amorfni termoplasty, jejichž změnové lhůty leží přibližně ve stejném rozsahu velikostí jako je tomu u termoseti se sklotextilní výplní. Během průběhu tečení se kromě změny materiálové tuhosti /popsané izochronním vzrůstem/ mění také stupeň nelinearity izochron $\sigma-\epsilon$.

Odpovídající experimentálně podložené závislosti jsou k dispozici na obr. 17.



Obr. 17 Kvantifikace chování při tahovém tečení plastů při standardním klima 23/50

zkratky plastů jsou dle TGL 21773:

SPS - vrstvená lisovaná hmota, FS - formovací hmota, HS -
 - tvrzená pěna, SS - strukturální pěna, PA 6 -GF - polyamid
 zesílený strukturálními vlákny, EVAC - etylen-vinylacetát-
 kaučuk, PE-ND - polyetylen s nízkou hustotou, PE-HD - po-
 lyetylen s vysokou hustotou, PP - polypropylen, PA 6 - po-
 lyamid, ABS - kopolymer akrylonitril-butadien-styren,
 PVC - polyvinylchlorid, PMMA - polymethylmetakrylát,
 UF-FS - močovinoformaldehydová formovací hmota, PF-SPS -
 - fenolformaldehydová vrstvená lisovací hmota, GUP - poly-

esterová hmota se skleněnými vlákny, MF-FS - melaminofor-
maldehydová formovací hmota, PF-FS - fenolformaldehydová
formovací hmota, EP-FS - epoxidová formovací hmota, UP-FS
- nenasycená polyesterová formovací hmota

Z předchozího je možné odvodit následující závěry. U většiny běžně používaných plastů se mění izochronní růst relativně silněji než stupeň nelinearity. To má za následek, že zmenšující faktor pro zatížitelnost m/σ_E vztahenou k přetvoření u většiny plastů s přibývajícím přetvořením klesá. Z tohoto jsou vyloučeny PMMA a PF, u kterých je tendence opačná. Časová změna relativní nelinearity může na-
proti tomu vykazovat různé tendence. Zatímco u většiny termoplastů se v průběhu zatížení stupeň nelinearity zvyšuje, u termosetů převážně dochází ke zmenšování stupně nelinearity. To má nevyhnutelně za následek, že zmenšovací faktor pro tuhost m/E_c při rostoucím napětí σ_0 u termoplastů obvykle stoupá, u termosetů většinou naopak klesá. Tato okolnost stejně jako pozorované odchylky od tohoto pravidla /obzvláště u částečně krystalických plastů/ znamenají, že snižováním nelinearity souvisí změny materiálu /např. překrytalizace/, které jsou z hlediska technického využití zajímavé.

Výsledky z obr. 17, které jsou specifikované pro tahové namáhání platí, také pro jiné druhy namáhání.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Úkolem experimentální části je ověřit vlastnosti polyetylenu značky Liten MB-62 na upraveném zkušebním zařízení a na základě zkušeností z měření navrhnout nové zařízení pro zkoušení v kapalném mediu.

Dlouhodobá zkouška tahem je prováděna v souladu s ČSN 64 0621 Tečení plastických hmot při namáhání v tahu.

4.1 Dlouhodobá zkouška v tahu /1/, /5/, /7/, /13/, /14/

Dlouhodobou zkoušku v tahu řadíme mezi statické únavové zkoušky, sloužící k vyšetření chování materiálu, vystaveného určitému nepřetržitému namáhání. Za předpokladu neměnné teploty jde o závislost tří veličin - napětí, deformace a času.

Podstatou zkoušky je zatěžování zkušebního tělesa konstantním zatížením při konstantní teplotě. V určených časových intervalech je měřena deformace vzorku. Doba zkoušky je dána mezi okamžikem úplného zatížení tělesa a dosažením dané hodnoty deformace, popřípadě přetržením tělesa.

Výsledky zkoušky je možné vyjádřit několika způsoby, například křivkami tečení nebo křivkami závislosti modul tečení - čas. Modul tečení $E_c/t/$ je dán vztahem:

$$E_c/t/ = \frac{\sigma}{\epsilon_t} \quad (4.1)$$

kde σ je napětí v MPa, t je deformace v čase t
Poměrné prodloužení lze vyjádřit vztahem:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \quad (4.2)$$

kde ϵ je poměrné prodloužení v %, $\Delta l = l - l_0$,
přičemž l_0 je původní délka, l je okamžitá délka.

Jmenovité napětí σ je síla působící na jednotku počátečního průřezu zkušebního tělesa

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (4.3)$$

kde F je síla v N, S je počáteční průřez v mm^2 .

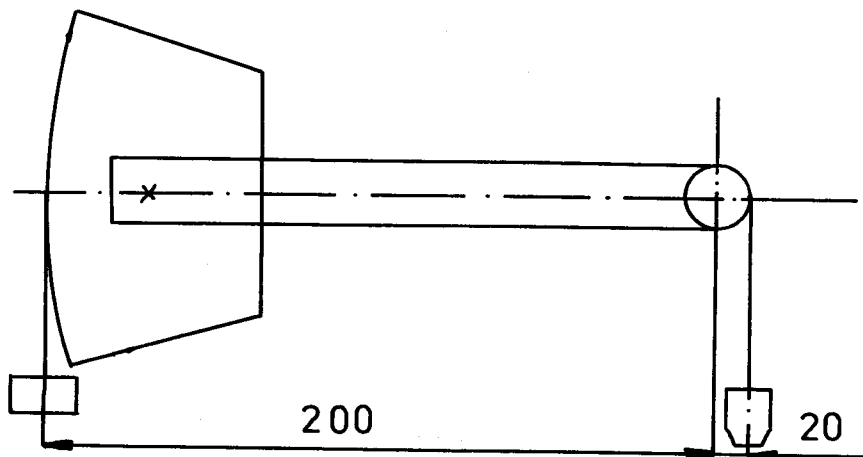
4.1.1 Popis zkušebního zařízení

Zkušební zařízení vyrobené v dílnách KPT - VŠST je šestimístné a je určeno pro měření deformace zkušebních těles, dlouhodobě namáhaných tahem za konstantního zatížení, v určitém časovém intervalu.

Zkušební zařízení je sestaveno ze zatěžovacího systému, z optického zařízení a z elektrického tepelného zdroje. Rám zařízení je svařen z tenkostěnných čtvercových a U profilů.

- Zatěžovací systém

Princip zatěžování je nepřímý / na obr. 18 /



Obr. 18 Princip zatěžování zkušebního tělesa
/nepřímé zatěžování/

Z obr. 18 je zřejmé, že síla je vyvozována v poměru 10:1. Současné působení zátěže na všechna zkušební tělesa umožňuje pohyblivá tyč.

Po zvednutí tyče ruční pákou se tato zajistí šroubem v poloze, ve které nedojde při navěšení závaží k zatížení zkušebních vzorků. Spuštění do zatěžovací polohy se provádí pozvolna pomocí ruční páky při současném povolení zajišťovacího šroubu tyče.

Pohyb tyče pak sledují páky s navěšeným závažím.

Zkušební tělesa jsou upnuta do naklápěcích čelistí. Nastavení polohy referenčních rysek vzorků lze doladit kontrastem na dně rámu přístroje.

- Optické zařízení

Okulár s nitkovým křížem se pohybuje ve vertikálním směru pomocí šroubu v rybině. Tento pohyb sleduje setinový úchylkoměr, který měří horní rysku na zkušební tyči přímo a dolní rysku pomocí vložené měřky o velikosti 50mm.

V podélném směru se optické zařízení pohybuje po vodící tyči, uchycené k rámu stojanu.

- Elektrický tepelný zdroj

byl navržen s ohledem na tyto požadavky:

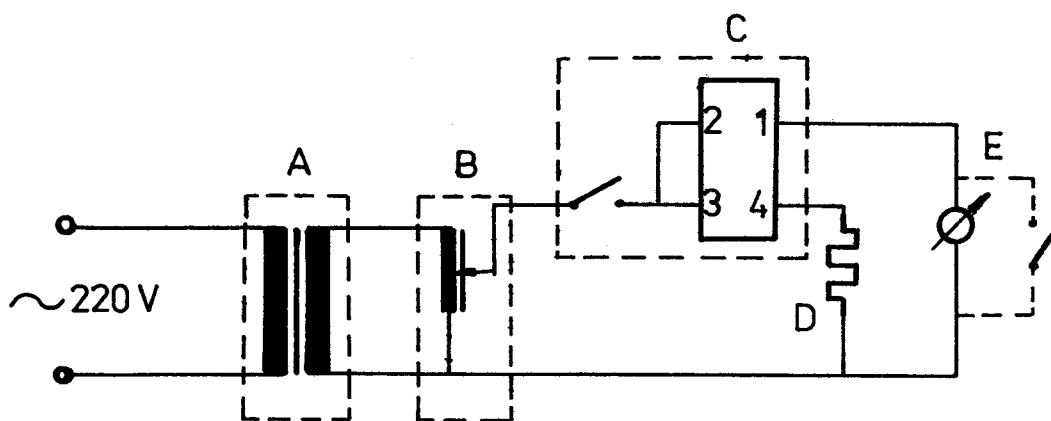
1. jednoduchá stavebnicová konstrukce
2. změna výkonu topné spirály plynulou přímou regulací od 5 W do 150 W
3. zajištění dlouhodobého bezpečného provozu bez dozoru obsluhy
4. plošný zdroj tepla

Plošný odporový článek byl zhotoven z dřevěné desky a topné spirály z konstantanu o měrném odporu $= 0,5 \text{ m}$. Potřebné nastavení výkonu topné spirály regulačním autotransformátorem RA 10 bylo vyzkoušeno přímo na zkušebním zařízení tak, aby teplota v pracovním prostoru byla 20°C .

Topný výkon použité spirály je při $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ přibližně 60 W. Maximální nastavení výkonu na autotransformátoru je 220 V při 10 A.

K indikaci teploty bylo použito rtuťového kontaktního teploměru VERTEX, který současně pracoval jako teplotní čidlo. Jeden kontakt teploměru vertex je nastavitelný pomocí pohybového šroubu uvnitř dutiny teploměru, pcháněného magnetickou spojkou.

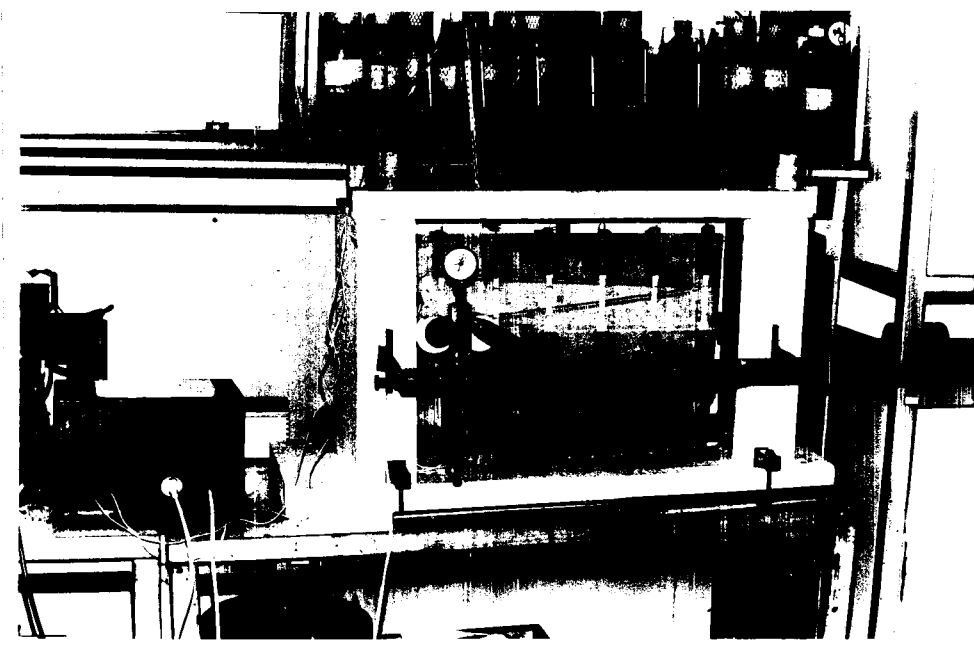
Plošným vytápěním byla zajištěna konstantní teplota v celém pracovním prostoru. Elektrické schéma regulace je na obr. 19.



- A - oddělovací transformátor
- B - regulační autotransformátor RA 10
- C - relé MRK 15
- D - topná spirála
- E - kontaktní teploměr

Obr. 19 Elektrické schéma regulace teploty

Celé zkušební zařízení je zakrytováno zpěněným polystyrenem. Přední stěna je z plexiskla. Tím je zajištěno snadné odečítání naměřených hodnot bez porušení rovnováhy teploty uvnitř pracovního prostoru.



Obr. 20 Zkušební zařízení s elektrickým tepelným zdrojem

4.1.2 Návrh zkušebního zařízení pro zkoušky v tahu v kapalném prostředí

Zkušební zařízení /číslo výkresu KPT - 199 - 01/
umožňuje tahovou zkoušku šesti vzorků.

Zařízení je sestaveno z těchto hlavních částí:

1. nosného rámu /1/
2. nádoby /32/
3. horního a dolního třmenu /21/, /25/
4. měřícího zařízení /7/, /9/, /49/, /50/

Technické parametry:

| | |
|----------------------------------------|----------|
| výška zařízení | 1 400 mm |
| délka zařízení | 800 mm |
| šířka zařízení | 600 mm |
| hmotnost zařízení | 35 kg |
| maximální povolená zkušební teplota | 60°C |
| přesnost měření | 0,01 mm |
| objem nádoby | 34,5 l |

Zkušební tělesa se upínají do třmenů /21/, /25/. Zatížení je vyvozováno pákovým mechanismem s převodem síly 10:1 pomocí výměnných závaží /24/. Výchozí poloha referenčních rysek na tyčích se seřizuje na stejnou úroveň maticemi.

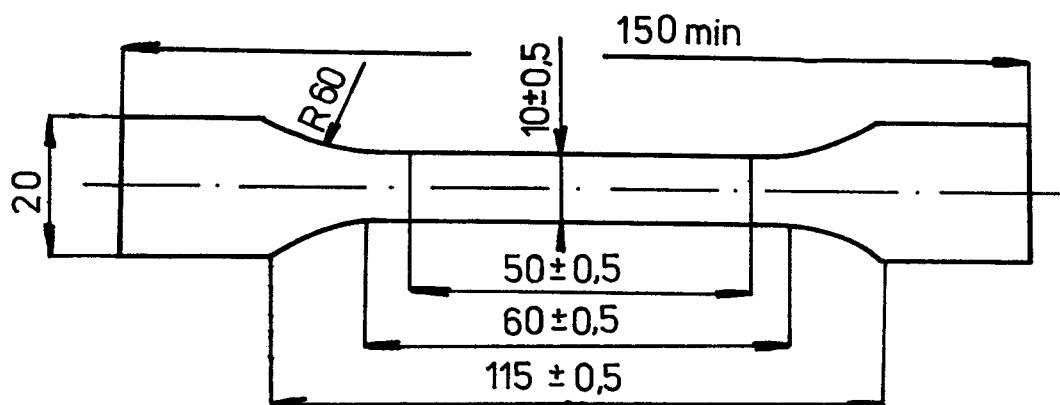
Po provedené přípravě vzorků k měření se prázdná nádoba z organického skla /32/ vsune do pracovní polohy a uloží se na pootočené konzoly /2/. Přívodní trubici se přivede do spodního rozdělovacího hradítka kapalina dané teploty. Voda otvory v hradítku rovnoměrně vstupuje do celého prostoru nádrže. Stejnou teplotu v celé nádobě zajišťuje horní hradítko, protože médium v celé šíři nádoby přes něj přepadává. Tak je zabráněno toku kapaliny do jednoho bodu, místa odtoku, a tím nerovnoměrnému ohřevu zkušebních tyčí.

Pro měření deformace vzorků je použito měřicího zařízení, které se volně posunuje po vodorovných lištách /29/, /31/ a po svislé liště /30/. Přesnost a stabilita vedení je zajištěna pružinami /11/. Celé měřicí zařízení je sestaveno z úchylkoměru /50/, upevněného v držáku /7/ a z okuláru /49/, který pojíždí společně s kostkou /9/. Měření v potřebném rozsahu zajišťuje pevná koncová měrka, vkládaná mezi hrot úchylkoměru a kostku, k níž je připevněn okulár. V případě nutnosti můžeme použít sadu koncových měrek potřebných rozměrů. Polohu celého přístroje lze vyrovnávat špalíky /33/.

4.1.3 Zkušební tělesa

Vzorky použité při zkoušce tahem jsou vyrobeny z přepravkového polyetyleny značky Liten MB-62. Vstřikování tyčí bylo provedeno na vstřikovacím lise CS88/66, umístěném v dílnách KPT - VŠST.

Rozměry zkušebního tělesa odpovídají normě ČSN 64 0605.



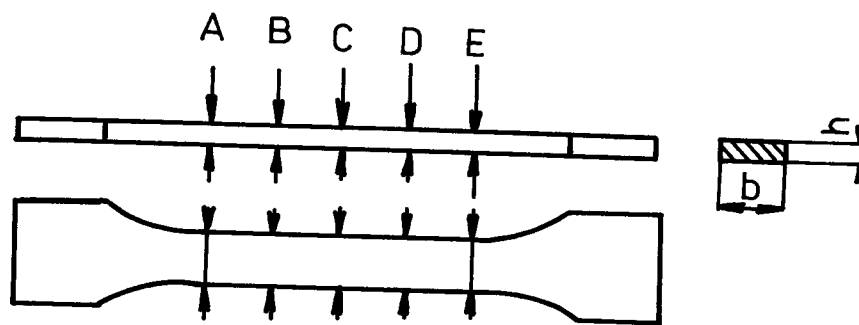
Obr. 21 Rozměry zkušebního tělesa - typ II dle ČSN 64 0605

Technologické parametry zkušebních vzorků za různých podmínek vstřikování pro jednotlivé serie jsou označeny:

- T_f ... teplota formy
- T_t ... teplota taveniny
- P_{VS} ... vstřikovací tlak
- P_d ... dotlak

hodnoty vstřikovacích parametrů pro jednotlivé tělesa jsou uvedeny v příloze /tab.č. I/.

Před zkouškou byl odstraněn u tyčí vtokový zbytek broušením a byly vyvrtány otvory pro upnutí vzorků do čelistí. Vrtací přípravek je uveden v příloze /číslo výkresu KPT - - 199 - 02/. Šířka a tloušťka zkušebních těles byla proměřena v pěti místech podél měřené délky dle ČSN. Rozměry jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze.



Obr. 22 Místa proměrování zkušebních těles

Vzdálenost referenčních rysek /podle ČSN 64 0605, $l_0=50\text{mm}/$, byla označena na vzorcích nalepením barevných proužků lepenky. Všechna měření byla prováděna o stejném zatížení. Přesný výpočet zkušební napětí je uveden v kap. 4.1.4. Hodnoty jednotlivých napětí jsou uvedeny v tabulkách v kap. 4.1.4.

Zkušební tělesa byla zatěžována po dobu t a při teplotě T :

1. zkouška - $t = 165$ hod, $T = 20^\circ\text{C}$
2. zkouška - $t = 45$ hod 25 min, $T = 30^\circ\text{C}$
3. zkouška - $t = 186$ hod 30 min, $T = 20^\circ\text{C}$
4. zkouška - $t = 96$ hod 45 min, $T = 30^\circ\text{C}$
5. zkouška - $t = 164$ hod 45 min, $T = 20^\circ\text{C}$
6. zkouška - $t = 96$ hod, $T = 30^\circ\text{C}$
7. zkouška - $t = 166$ hod 55 min, $T = 20^\circ\text{C}$
8. zkouška - $t = 99$ hod 30 min, $T = 30^\circ\text{C}$
9. zkouška - $t = 168$ hod 15 min, $T = 20^\circ\text{C}$
10. zkouška - $t = 97$ hod 10 min, $T = 30^\circ\text{C}$
11. zkouška - $t = 168$ hod 5 min, $T = 20^\circ\text{C}$

4.1.4 Zpracování měření

V průběhu zkoušky byly v určitých časových intervalech odečítány hodnoty deformace zkušebních těles namáhaných napětím:

$$\sigma = \frac{F_0}{S_0} \quad (4.4)$$

$$S_0 = b \cdot h \quad (4.5)$$

$$m = m_1 + m_2 = 3,732 \text{ kg} \quad (4.6)$$

$$F_0 = m \cdot g \cdot a = 3,732 \cdot 9,81 \cdot 10 = 366,1 \text{ N} \quad (4.7)$$

kde ve vztazích (4.4) až (4.6) značí:

σ je zatěžující napětí v MPa, F_0 je osová síla v tělese v N, S_0 je počáteční průřez tělesa v mm^2 , b , h je šířka a tloušťka vzorku v mm, m_1 je celková hmotnost závaží v kg,

m_2 je hmotnost závěsu v kg, m je celková hmotnost v kg, g je gravitační zrychlení v ms^{-2} , a je poměr na páce 10:1

Při vyhodnocování měření bylo vypočítáno působící zatěžující napětí pro jednotlivá tělesa a na základě naměřených hodnot /příloha tab.č. XIII - XXIII/ byla vypočítána deformace ϵ v daném čase dle vztahu (4.2).

Dále byl vypočítán modul tečení E_c/t jako poměr napětí k deformaci v daný moment zkoušky. Vypočítané hodnoty σ , ϵ , E_c/t jsou uvedeny v tab.č. I - XIV.

K vyjádření výsledků měření je výhodné použít křivky závislosti modulu tečení na čase /obr. 23 - 33/.

K optimálnímu proložení vypočítaných bodů grafu bylo použito metody regresní analýzy.

Vztah mezi kríповým modulem a časem je nelineární, proto bylo při vyhodnocení použito nelineární regrese. Pro vypočítané body vynesené do grafu byla zvolena regresní funkce:

$$Y = a + b \cdot \log x \quad (4.8)$$

kde Y je náhodná veličina, x je pevná, nenáhodná veličina, a , b jsou konstanty

$$a = \frac{\sum y_i - b \sum x_i}{n} = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad (4.9)$$

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n} \quad (4.10)$$

kde za y bylo dosazeno E_c/t a za x $\log t$, takže $\sum y_i$ je součet kríповých modulů při zkoušce, $\sum x_i$ je součet logaritmů času, ve kterých byly měřeny hodnoty ϵ , n je počet měření při zkoušce

Výsledky regresní analýzy:

| | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. zkouška - vzorek č. 1 | E = 884,54 - 191,59 log t |
| | vzorek č. 2 E = 612,84 - 124,42 log t |
| | vzorek č. 3 E = 586,62 - 113,59 log t |
| | vzorek č. 4 E = 561,90 - 107,48 log t |
| | vzorek č. 5 E = 966,28 - 224,82 log t |
| 2. zkouška - vzorek č. 1 | E = 312,34 - 67,49 log t |
| | vzorek č. 2 E = 493,56 - 142,33 log t |
| | vzorek č. 3 E = 336,08 - 87,54 log t |
| | vzorek č. 4 E = 351,82 - 79,76 log t |
| | vzorek č. 5 E = 297,09 - 73,91 log t |
| 3. zkouška - vzorek č. 1 | E = 656,41 - 135,88 log t |
| | vzorek č. 2 E = 444,98 - 82,96 log t |
| | vzorek č. 3 E = 658,44 - 137,79 log t |
| | vzorek č. 4 E = 742,69 - 157,57 log t |
| | vzorek č. 5 E = 709,0 - 153,44 log t |
| 4. zkouška - vzorek č. 1 | E = 266,12 - 48,73 log t |
| | vzorek č. 2 E = 333,12 - 75,07 log t |
| | vzorek č. 3 E = 265,81 - 47,87 log t |
| | vzorek č. 4 E = 311,62 - 65,92 log t |
| | vzorek č. 5 E = 252,91 - 46,54 log t |
| 5. zkouška - vzorek č. 1 | E = 509,74 - 97,91 log t |
| | vzorek č. 2 E = 487,23 - 90,81 log t |
| | vzorek č. 3 E = 438,61 - 81,60 log t |
| | vzorek č. 4 E = 414,44 - 75,37 log t |
| | vzorek č. 5 E = 381,48 - 66,75 log t |
| 6. zkouška - vzorek č. 1 | E = 414,38 - 101,54 log t |
| | vzorek č. 2 E = 325,60 - 64,41 log t |
| | vzorek č. 3 E = 240,51 - 39,98 log t |
| | vzorek č. 4 E = 266,67 - 48,85 log t |
| | vzorek č. 5 E = 294,79 - 69,26 log t |
| 7. zkouška - vzorek č. 1 | E = 495,17 - 101,14 log t |
| | vzorek č. 2 E = 462,86 - 106,54 log t |
| | vzorek č. 3 E = 419,84 - 87,02 log t |
| | vzorek č. 4 E = 555,16 - 113,89 log t |
| | vzorek č. 5 E = 653,33 - 177,49 log t |

| | | | | |
|---------------------------|------------|---|--------|-------|
| 8. zkouška - vzorek č. 1 | E = 331,91 | - | 69,63 | log t |
| vzorek č. 2 | E = 293,12 | - | 68,91 | log t |
| vzorek č. 3 | E = 334,64 | - | 81,88 | log t |
| vzorek č. 4 | E = 336,91 | - | 70,60 | log t |
| vzorek č. 5 | E = 286,19 | - | 62,23 | log t |
| 9. zkouška - vzorek č. 1 | E = 415,70 | - | 75,32 | log t |
| vzorek č. 2 | E = 465,85 | - | 93,15 | log t |
| vzorek č. 3 | E = 398,97 | - | 74,53 | log t |
| vzorek č. 4 | E = 371,55 | - | 66,27 | log t |
| vzorek č. 5 | E = 397,23 | - | 74,28 | log t |
| 10. zkouška - vzorek č. 1 | E = 309,63 | - | 66,65 | log t |
| vzorek č. 2 | E = 320,65 | - | 74,66 | log t |
| vzorek č. 3 | E = 304,79 | - | 73,16 | log t |
| vzorek č. 4 | E = 305,69 | - | 61,74 | log t |
| vzorek č. 5 | E = 277,07 | - | 62,45 | log t |
| 11. zkouška - vzorek č. 1 | E = 431,60 | - | 84,14 | log t |
| vzorek č. 2 | E = 476,20 | - | 100,74 | log t |
| vzorek č. 3 | E = 524,08 | - | 117,86 | log t |
| vzorek č. 4 | E = 501,69 | - | 102,05 | log t |
| vzorek č. 5 | E = 456,0 | - | 89,39 | log t |

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|--------------|----------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|--------|
| | σ /MPa/ | ϵ_t /%/ | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /%/ | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /%/ | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /%/ | E_c/t /MPa/ | |
| | 9,6033786 | | 9,5298833 | | 9,5298833 | | 9,6978077 | | 9,5689903 | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 1,148 | 836,0 | 1,930 | 493,78 | 2,058 | 462,98 | 2,092 | 463,57 | 1,180 | 810,93 |
| 20 | 1,652 | 581,32 | 1,934 | 492,76 | 2,129 | 447,68 | 2,203 | 440,21 | 1,255 | 762,20 |
| 40 | 1,736 | 553,19 | 2,097 | 454,45 | 2,203 | 432,63 | 2,312 | 419,46 | 1,506 | 635,39 |
| 100 | 1,885 | 509,40 | 3,025 | 315,04 | 2,534 | 376,08 | 3,053 | 317,65 | 2,285 | 418,77 |
| 160 | 2,360 | 406,92 | 3,144 | 303,11 | 2,969 | 320,98 | 3,125 | 310,33 | 2,489 | 384,45 |
| 340 | 3,177 | 302,28 | 3,642 | 261,67 | 3,553 | 268,23 | 3,721 | 260,62 | 3,109 | 307,78 |
| 1 300 | 3,593 | 267,28 | 4,716 | 202,08 | 4,683 | 203,48 | 5,007 | 193,69 | 4,607 | 207,71 |
| 5 570 | 4,785 | 200,7 | 5,663 | 168,28 | 5,579 | 170,81 | 5,142 | 188,60 | 5,624 | 170,15 |
| 9 900 | 5,257 | 182,68 | 6,431 | 148,19 | 6,209 | 153,48 | 6,424 | 150,96 | 5,864 | 163,18 |

tab.č.I Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 1

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|-----------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ |
| ζ /MPa/ | 9,5298833 | 9,5298833 | 9,5298833 | 9,4862745 | 9,5542564 | 9,5787545 | | | | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 3,657 | 260,59 | 2,747 | 346,92 | 3,874 | 244,87 | 3,385 | 282,25 | 4,287 | 223,44 |
| 20 | 4,143 | 230,02 | 3,024 | 315,14 | 4,293 | 220,97 | 3,722 | 256,70 | 4,825 | 198,52 |
| 40 | 4,687 | 203,33 | 3,627 | 262,75 | 4,773 | 198,75 | 4,355 | 219,39 | 5,244 | 182,66 |
| 60 | 5,144 | 185,26 | 4,013 | 237,48 | 5,213 | 181,97 | 4,779 | 199,92 | 5,714 | 167,64 |
| 100 | 5,674 | 167,96 | 4,548 | 209,54 | 5,851 | 162,13 | 5,080 | 188,08 | 6,509 | 147,16 |
| 160 | 6,347 | 150,15 | | | 6,718 | 141,21 | 5,922 | 161,34 | 7,339 | 130,52 |
| 340 | 7,113 | 133,98 | | | | | 6,582 | 145,16 | 8,406 | 113,95 |
| 1 410 | 9,156 | 104,08 | | | | | 8,129 | 117,53 | | |
| 2 725 | 10,137 | 94,01 | | | | | | | | |

tab.č.II Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 2

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ |
| σ /MPa/ | 9,4336219 | 9,4096178 | 9,4431604 | 9,4001227 | 9,4961169 | | | | | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 1,40 | 673,83 | 2,359 | 398,88 | 1,598 | 590,93 | 1,313 | 715,93 | 1,587 | 598,37 |
| 20 | 2,150 | 438,77 | 2,844 | 330,86 | 1,972 | 478,86 | 1,834 | 512,55 | 1,587 | 568,29 |
| 40 | 2,264 | 416,68 | 2,914 | 322,91 | 2,189 | 431,39 | 2,170 | 433,19 | 2,202 | 431,25 |
| 100 | 2,745 | 343,67 | 3,568 | 263,72 | 2,640 | 357,69 | 2,422 | 388,11 | 2,552 | 372,11 |
| 160 | 3,277 | 287,87 | 4,039 | 232,97 | 3,093 | 305,31 | 2,643 | 355,66 | 2,854 | 332,73 |
| 340 | 3,668 | 257,19 | 4,474 | 210,32 | 3,282 | 287,72 | 2,859 | 328,79 | 3,415 | 278,07 |
| 1 160 | 4,276 | 220,62 | 5,046 | 186,48 | 4,602 | 205,20 | 3,986 | 235,83 | 4,530 | 209,63 |
| 5 510 | 5,293 | 178,23 | 6,575 | 143,11 | 5,995 | 157,52 | 5,463 | 172,07 | 6,121 | 155,14 |
| 11 190 | 5,610 | 168,16 | 7,175 | 131,14 | 6,405 | 147,43 | 6,156 | 152,70 | 7,038 | 134,93 |

tab.č.III Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 3

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ |
| σ /MPa/ | 9,419132 | 9,419132 | 9,419132 | 9,476894 | 9,4673117 | 9,5063748 | | | | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 4,252 | 221,52 | 3,430 | 274,61 | 4,096 | 231,37 | 3,931 | 240,84 | 4,471 | 212,62 |
| 20 | 4,464 | 211,0 | 3,942 | 238,94 | 4,526 | 209,39 | 4,289 | 220,74 | 4,670 | 203,56 |
| 40 | 4,638 | 203,09 | 4,438 | 212,24 | 4,903 | 193,29 | 4,331 | 218,59 | 5,181 | 183,49 |
| 60 | 5,355 | 175,89 | 4,891 | 192,58 | 5,316 | 178,27 | 4,483 | 211,18 | 5,713 | 166,40 |
| 100 | 5,830 | 161,56 | 5,377 | 175,18 | 5,909 | 160,38 | 5,205 | 181,89 | 6,292 | 151,09 |
| 160 | 6,529 | 144,27 | 6,166 | 152,76 | 6,445 | 147,04 | 6,180 | 153,19 | 6,813 | 139,53 |
| 340 | 7,678 | 122,68 | 7,185 | 131,09 | 7,326 | 129,36 | 7,289 | 129,89 | 7,838 | 121,29 |
| 1 470 | 8,622 | 109,25 | 8,084 | 116,52 | 8,518 | 111,26 | 9,582 | 98,80 | 9,194 | 103,40 |
| 4 365 | 9,640 | 97,710 | | | 9,360 | 101,25 | 11,863 | 79,81 | 10,639 | 89,35 |
| 5 805 | 10,199 | 92,350 | | | 9,925 | 95,49 | | | 10,804 | 87,99 |

tab.č.IV Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 4

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|-----------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ |
| σ /MPa/ | 9,5838198 | 9,4573823 | 9,4477906 | 9,4048316 | 9,4621977 | | | | | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 2,146 | 446,59 | 2,308 | 409,77 | 2,468 | 382,81 | 2,695 | 348,97 | 2,691 | 351,62 |
| 20 | 2,324 | 412,39 | 2,476 | 381,96 | 2,719 | 347,47 | 2,723 | 345,38 | 3,122 | 303,08 |
| 40 | 2,778 | 344,99 | 2,588 | 365,43 | 2,865 | 329,77 | 2,964 | 317,30 | 3,891 | 243,18 |
| 100 | 3,498 | 273,98 | 3,302 | 286,41 | 4,042 | 233,74 | 4,059 | 231,70 | 4,098 | 230,90 |
| 160 | 3,553 | 269,74 | 3,651 | 259,04 | 4,091 | 230,94 | 4,186 | 224,67 | 4,207 | 224,92 |
| 340 | 4,011 | 238,94 | 4,169 | 226,85 | 4,648 | 203,27 | 5,010 | 187,72 | 4,571 | 207,01 |
| 1 380 | 5,254 | 182,41 | 4,755 | 198,89 | 5,206 | 181,48 | 5,781 | 162,69 | 5,709 | 165,74 |
| 4 320 | 5,616 | 170,65 | 5,702 | 165,86 | 6,115 | 154,50 | 5,959 | 157,83 | 6,189 | 152,89 |
| 9 885 | 6,357 | 150,76 | 6,492 | 145,68 | 6,966 | 135,63 | 6,754 | 139,25 | 7,622 | 124,14 |

tab.č.V Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 5

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ |
| σ /MPa/ | 9,4959445 | 9,5201689 | 9,4718431 | 9,5347977 | 9,4621977 | | | | | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 2,70 | 351,77 | 3,397 | 280,25 | 4,711 | 201,06 | 3,996 | 238,61 | 3,840 | 246,41 |
| 20 | 3,135 | 302,90 | 3,668 | 259,55 | 5,148 | 183,99 | 4,308 | 221,33 | 4,799 | 197,17 |
| 30 | 3,341 | 284,23 | 4,004 | 237,77 | 5,177 | 182,96 | 4,958 | 192,31 | 4,949 | 191,19 |
| 40 | 3,605 | 263,41 | 4,309 | 220,94 | 5,193 | 182,4 | 5,147 | 185,25 | 5,146 | 183,88 |
| 50 | 4,080 | 232,74 | 4,516 | 210,81 | 5,513 | 171,81 | 5,215 | 182,83 | 5,471 | 172,95 |
| 60 | 4,346 | 218,5 | 4,740 | 200,85 | 5,653 | 167,55 | 5,755 | 165,68 | 5,492 | 172,29 |
| 80 | 5,115 | 185,65 | 4,822 | 197,43 | 5,836 | 162,30 | 5,759 | 165,56 | 5,956 | 158,87 |

tab.č.VI Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 6

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ |
| σ /MPa/ | 9,4959445 | 9,5201689 | 9,4718431 | 9,5347977 | 9,4621977 | | | | | |
| čas /min/ | | | | | | | | | | |
| 100 | 5,525 | 171,87 | 5,177 | 183,89 | 5,913 | 160,19 | 5,817 | 163,91 | 6,249 | 151,42 |
| 170 | 6,308 | 150,54 | 5,688 | 167,37 | 6,251 | 151,53 | 6,753 | 141,19 | 7,503 | 126,11 |
| 340 | 6,336 | 149,87 | 6,698 | 142,14 | | | 7,222 | 132,02 | 8,118 | 116,56 |
| 1 370 | 8,599 | 110,42 | 7,875 | 120,89 | | | 8,598 | 110,90 | 10,103 | 93,66 |
| 2 870 | 9,365 | 101,40 | 8,825 | 107,88 | | | 9,250 | 103,08 | | |
| 4 330 | | | 9,512 | 100,09 | | | 9,596 | 99,36 | | |
| 5 760 | | | 9,550 | 99,69 | | | 10,296 | 92,61 | | |

tab.č.VII Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 6

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ |
| σ /MPa/ | 9,2960307 | 9,4477906 | 9,3525988 | 9,343123 | 9,3196478 | | | | | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 2,141 | 434,19 | 2,467 | 382,97 | 2,609 | 358,48 | 1,938 | 482,10 | 1,992 | 467,85 |
| 20 | 2,378 | 390,92 | 2,940 | 321,35 | 3,064 | 305,24 | 2,049 | 455,99 | 2,052 | 454,17 |
| 40 | 2,805 | 331,41 | 3,376 | 279,85 | 3,386 | 276,21 | 2,598 | 359,63 | 2,662 | 350,10 |
| 100 | 3,580 | 259,67 | 4,138 | 228,32 | 4,054 | 230,70 | 3,382 | 276,26 | 3,263 | 285,62 |
| 160 | 3,906 | 237,99 | 4,297 | 219,87 | 4,363 | 214,36 | 3,486 | 268,02 | 3,577 | 260,54 |
| 340 | 4,554 | 204,13 | 4,995 | 189,15 | 5,10 | 183,38 | 4,083 | 228,83 | 4,30 | 216,74 |
| 1 380 | 5,984 | 155,35 | 6,328 | 149,30 | 6,270 | 149,16 | 4,993 | 187,12 | | |
| 4 270 | 6,508 | 142,84 | | | 7,568 | 123,58 | 6,018 | 155,25 | | |
| 10 010 | 6,952 | 133,72 | | | | | 6,503 | 143,67 | | |

tab.č.VIII Vypočtené hodnoty $\epsilon_t, E_c/t$ - zkouška č. 7

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ |
| σ /MPa/ | 9,2263104 | 9,4047349 | 9,4527183 | 9,3762165 | 9,4238115 | | | | | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 3,372 | 273,62 | 4,143 | 227,0 | 3,575 | 264,41 | 3,333 | 281,32 | 4,153 | 226,92 |
| 20 | 3,710 | 248,69 | 4,712 | 199,59 | 4,429 | 213,43 | 4,064 | 230,71 | 4,645 | 202,88 |
| 40 | 4,074 | 226,47 | 5,082 | 185,06 | 4,605 | 205,27 | 4,074 | 230,15 | 4,992 | 188,78 |
| 100 | 4,988 | 184,97 | 6,105 | 154,05 | 5,550 | 170,32 | 4,998 | 187,60 | 5,868 | 160,60 |
| 160 | 5,682 | 162,38 | 6,696 | 140,45 | 6,166 | 153,30 | 5,413 | 173,22 | 6,497 | 145,05 |
| 340 | 6,703 | 137,65 | 7,788 | 120,76 | 7,188 | 131,51 | 5,995 | 156,40 | 7,476 | 126,05 |

tab.č.IX Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 8

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ |
| σ /MPa/ | 9,2263104 | | 9,4047349 | | 9,4527183 | | 9,3762165 | | 9,4238115 | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 1 380 | 8,413 | 109,67 | | | | | 7,954 | 117,88 | 9,931 | 94,89 |
| 2 880 | 9,956 | 92,67 | | | | | 9,569 | 97,99 | | |
| 4 240 | 11,366 | 81,18 | | | | | | | | |
| 5 720 | 11,554 | 79,85 | | | | | | | | |
| 5 970 | 11,871 | 77,72 | | | | | | | | |

tab.č.X Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 8

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------|--------|
| | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | | |
| σ /MPa/ | 9,2449494 | 9,2033022 | 9,3958043 | 9,3297655 | 9,3297655 | | | | 9,3297655 | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 2,571 | 359,59 | 2,396 | 384,11 | 2,748 | 341,91 | 3,009 | 310,06 | 2,802 | 332,97 |
| 20 | 2,840 | 325,53 | 2,513 | 366,23 | 2,921 | 321,66 | 3,051 | 305,79 | 2,953 | 315,91 |
| 40 | 3,012 | 306,94 | 2,840 | 324,06 | 3,482 | 269,84 | 3,673 | 254,01 | 3,375 | 276,44 |
| 100 | 3,707 | 249,39 | 3,594 | 256,07 | 3,970 | 236,67 | 4,011 | 232,61 | 3,926 | 237,64 |
| 160 | 4,126 | 224,07 | 3,919 | 234,84 | 4,366 | 215,20 | 4,378 | 213,11 | 4,517 | 206,55 |
| 340 | 4,583 | 201,72 | 4,524 | 203,43 | 4,851 | 193,69 | 4,963 | 187,99 | 4,662 | 200,12 |
| 1 380 | 5,076 | 182,13 | 5,039 | 182,64 | 5,583 | 168,29 | 5,359 | 174,10 | 5,378 | 173,48 |
| 4 350 | 6,162 | 150,03 | 6,104 | 150,78 | 7,046 | 133,35 | 6,712 | 139,0 | 6,695 | 139,35 |
| 10 090 | 7,194 | 128,51 | | | 8,271 | 113,6 | | | | |

tab.č.XI Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 9

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % / | E_c/t /MPa/ |
| σ /MPa/ | 9,3531484 | 9,3626924 | 9,3202647 | 9,4194713 | 9,2133542 | | | | | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 3,763 | 248,56 | 3,372 | 277,66 | 3,825 | 243,67 | 3,422 | 275,26 | 4,171 | 220,89 |
| 20 | 4,670 | 200,28 | 4,619 | 202,70 | 4,766 | 195,56 | 4,40 | 214,08 | 4,850 | 189,97 |
| 40 | 4,880 | 191,66 | 4,871 | 192,21 | 4,943 | 188,56 | 4,679 | 201,31 | 5,103 | 180,58 |
| 100 | 5,876 | 159,18 | 5,699 | 164,29 | 6,045 | 154,18 | 5,393 | 174,66 | 6,418 | 143,56 |
| 160 | 6,325 | 147,88 | 6,386 | 146,61 | 6,408 | 145,45 | 6,427 | 146,56 | 6,676 | 138,01 |
| 340 | 7,076 | 132,18 | 7,365 | 127,12 | 7,525 | 123,86 | 6,729 | 139,98 | 7,301 | 126,19 |

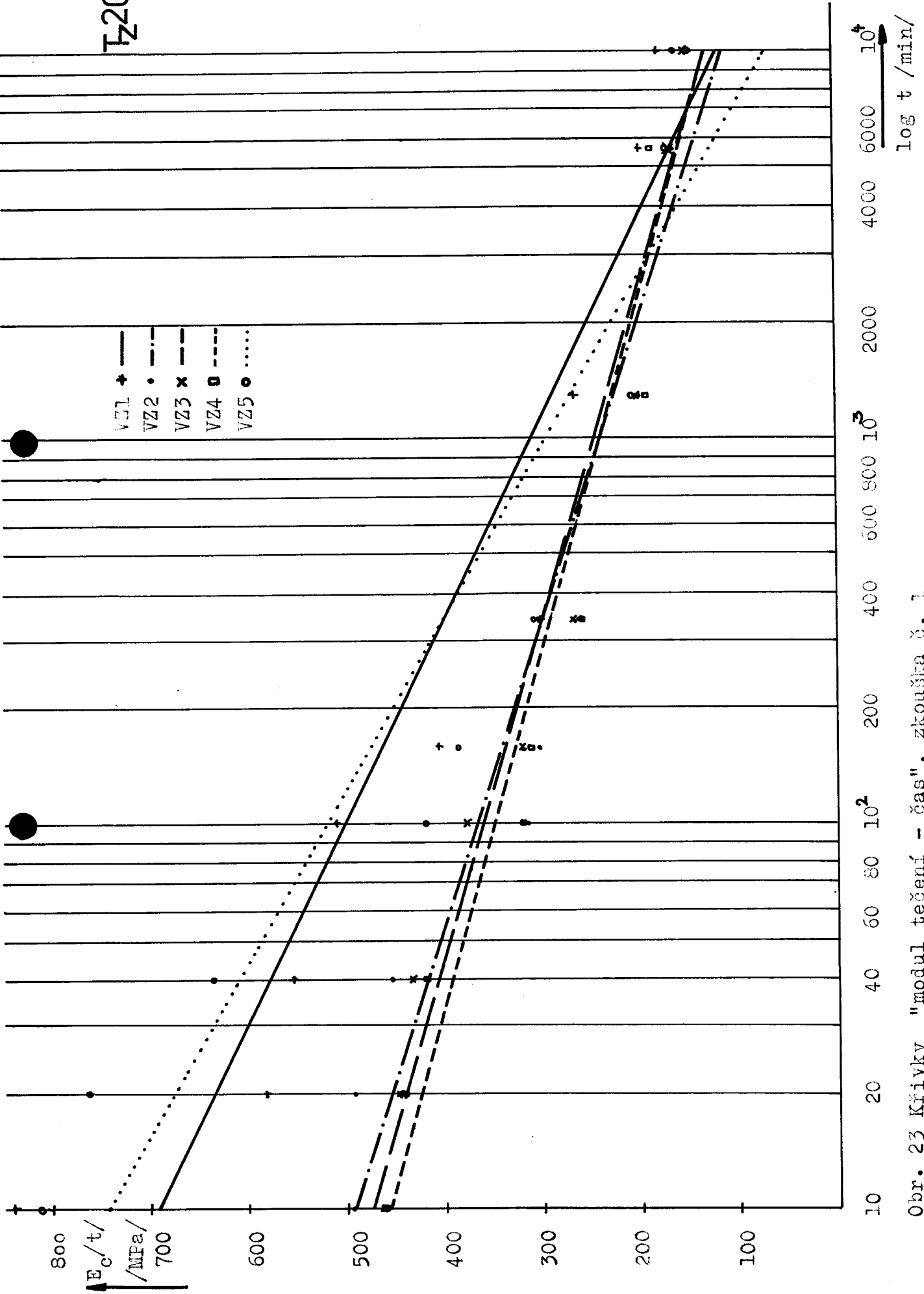
tab.č.XIII Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 10

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 |
|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------|
| | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | ϵ_t /% | E_c/t /MPa/ | |
| σ /MPa/ | 9,3531484 | | 9,3626924 | | 9,3202647 | | 9,4194713 | | 9,2133542 |
| čas t /min/ | | | | | | | | | |
| 1 570 | 9,078 | 103,03 | 9,440 | 99,18 | | | 8,121 | 115,99 | |
| 1 860 | 9,122 | 102,53 | | | | | 8,488 | 110,97 | |
| 2 970 | 10,328 | 90,56 | | | | | 9,418 | 100,02 | |
| 4 670 | 11,211 | 83,43 | | | | | | | |
| 5 830 | 12,144 | 77,02 | | | | | | | |

tab.č.XLIII Vypočtené hodnoty ϵ_t , E_c/t - zkouška č. 10

| číslo vzorku | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|-----------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|-------|--------|
| | ϵ_t / % | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % | E_c/t /MPa/ | ϵ_t / % | E_c/t /MPa/ | | |
| σ /MPa/ | 9,3714402 | 9,347775 | 9,3195055 | 9,3336664 | 9,3619741 | | | | | |
| čas t /min/ | | | | | | | | | | |
| 10 | 2,345 | 399,64 | 2,231 | 419,0 | 1,930 | 482,88 | 1,976 | 472,35 | 2,147 | 436,05 |
| 20 | 2,773 | 337,95 | 2,673 | 349,71 | 2,643 | 352,01 | 2,505 | 372,60 | 2,501 | 374,33 |
| 40 | 3,257 | 287,73 | 3,025 | 309,02 | 3,015 | 309,11 | 2,985 | 312,69 | 3,410 | 274,55 |
| 100 | 4,070 | 230,26 | 3,809 | 245,41 | 3,621 | 257,37 | 3,456 | 270,07 | 3,710 | 252,34 |
| 160 | 4,459 | 210,17 | 4,261 | 219,38 | 3,915 | 238,05 | 3,754 | 248,63 | 4,191 | 223,38 |
| 340 | 5,033 | 186,20 | 4,685 | 199,53 | 4,677 | 199,26 | 4,636 | 201,33 | 4,758 | 196,76 |
| 1 380 | 5,902 | 158,78 | 5,777 | 161,81 | 5,833 | 159,77 | 5,301 | 176,07 | 5,398 | 173,43 |
| 4 320 | 6,405 | 146,31 | 6,281 | 148,83 | 6,751 | 138,05 | 6,579 | 141,87 | 5,782 | 161,92 |
| 10 080 | 7,495 | 125,04 | | | | | 6,978 | 133,76 | 7,062 | 132,57 |

T=20°C



Obr. 23 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 1

$T = 30^\circ\text{C}$

- VZ1+ ———
- VZ2• - · - ·
- VZ3x - - -
- VZ4□ - - -
- VZ5○ ·····

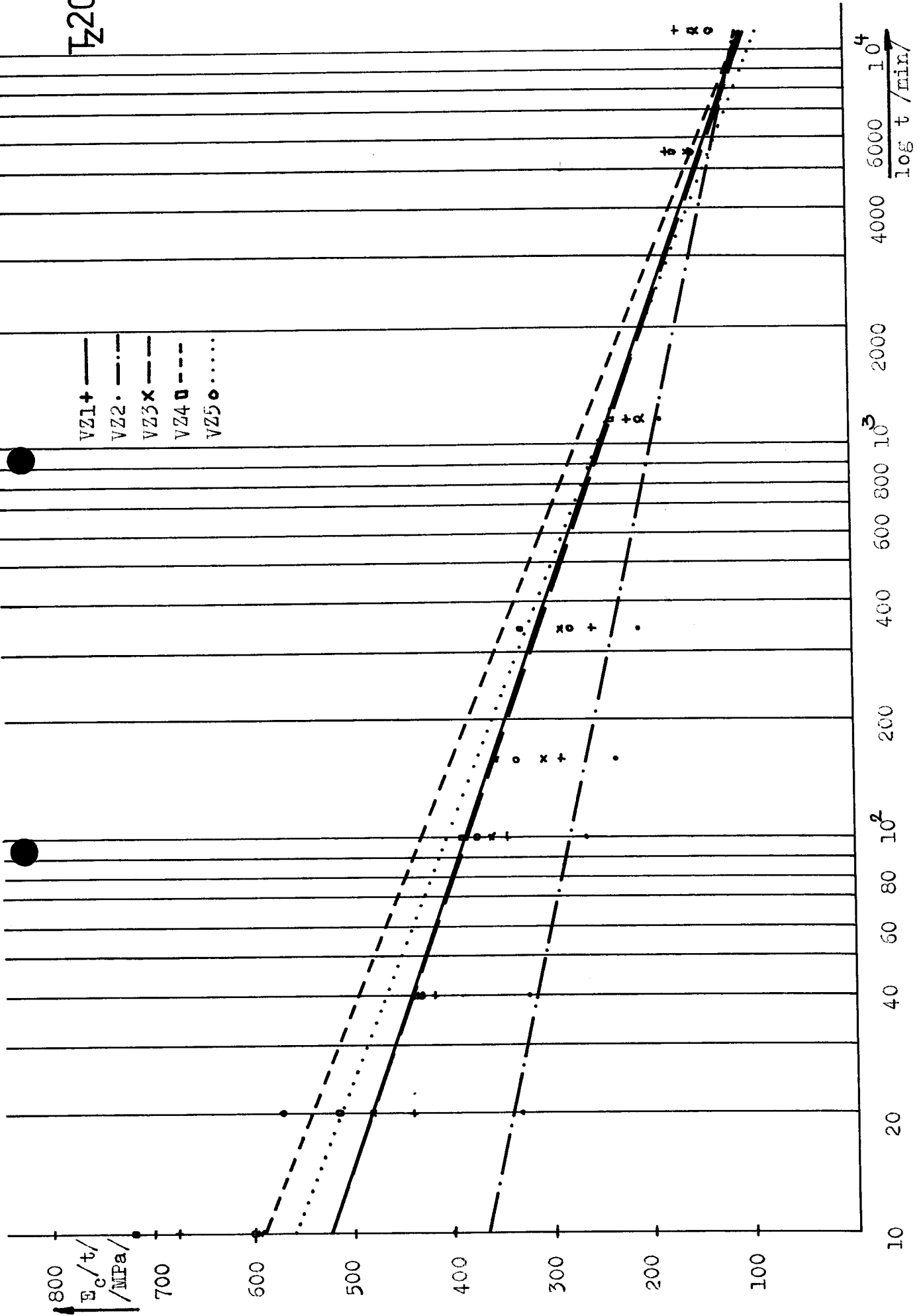
$E_c / t /$
/MPa/

800
700
600
500
400
300
200
100

10 20 40 60 80 10² 200 400 600 800 10³ 2000 4000 5000 10⁴
log t /min/

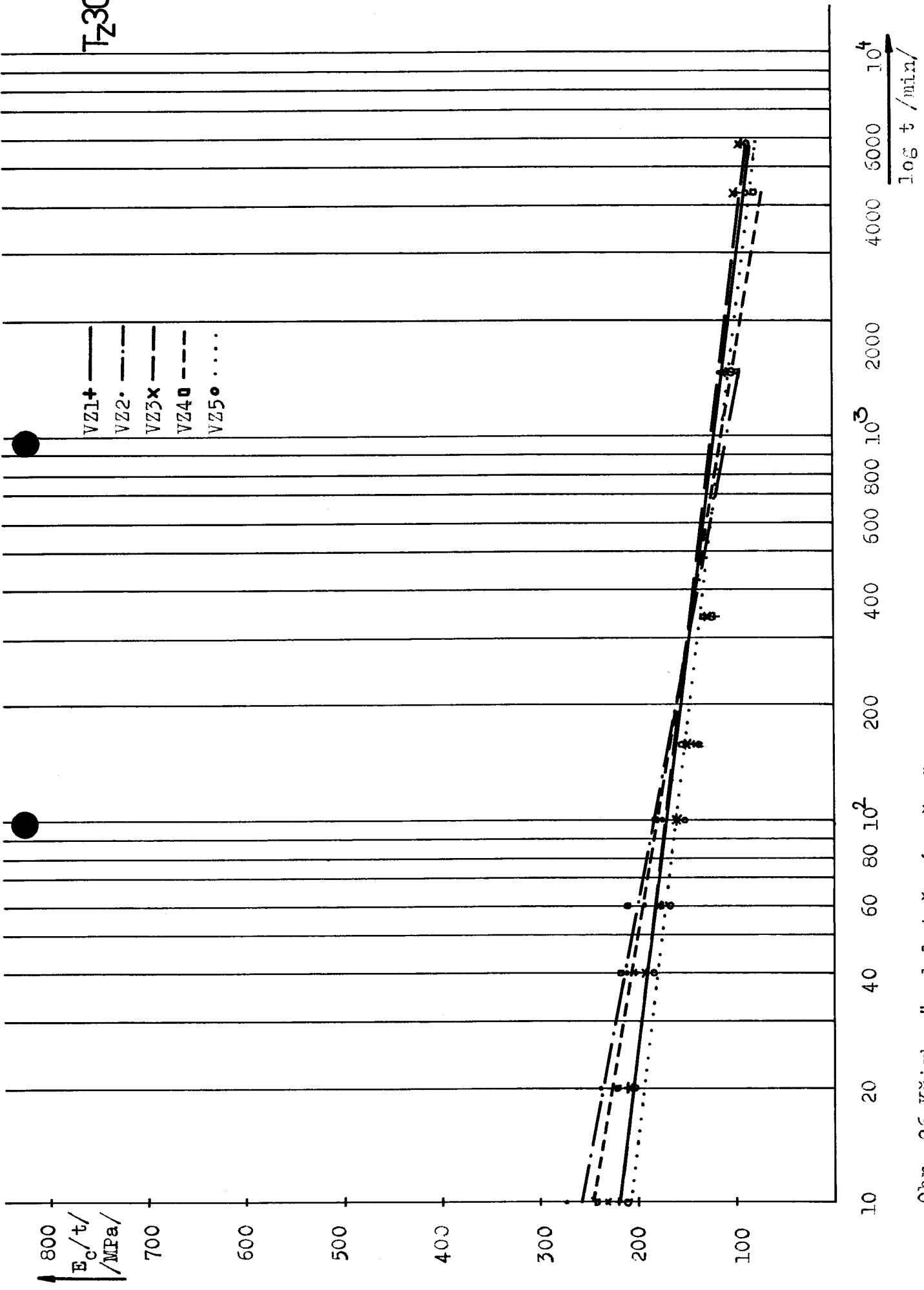
Obr. 24 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 2

T=20°C



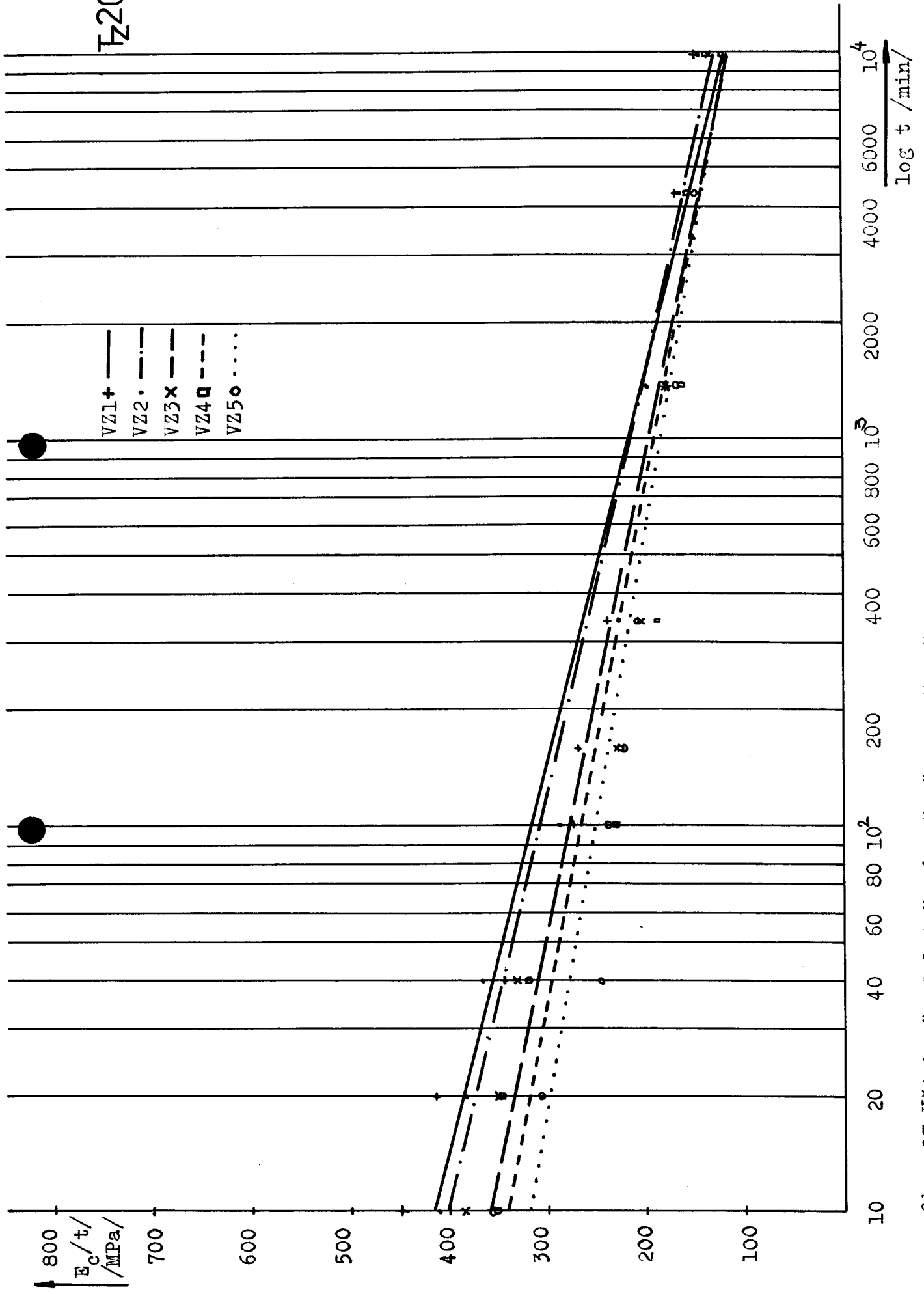
Obr. 25 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 3

T=30 °C



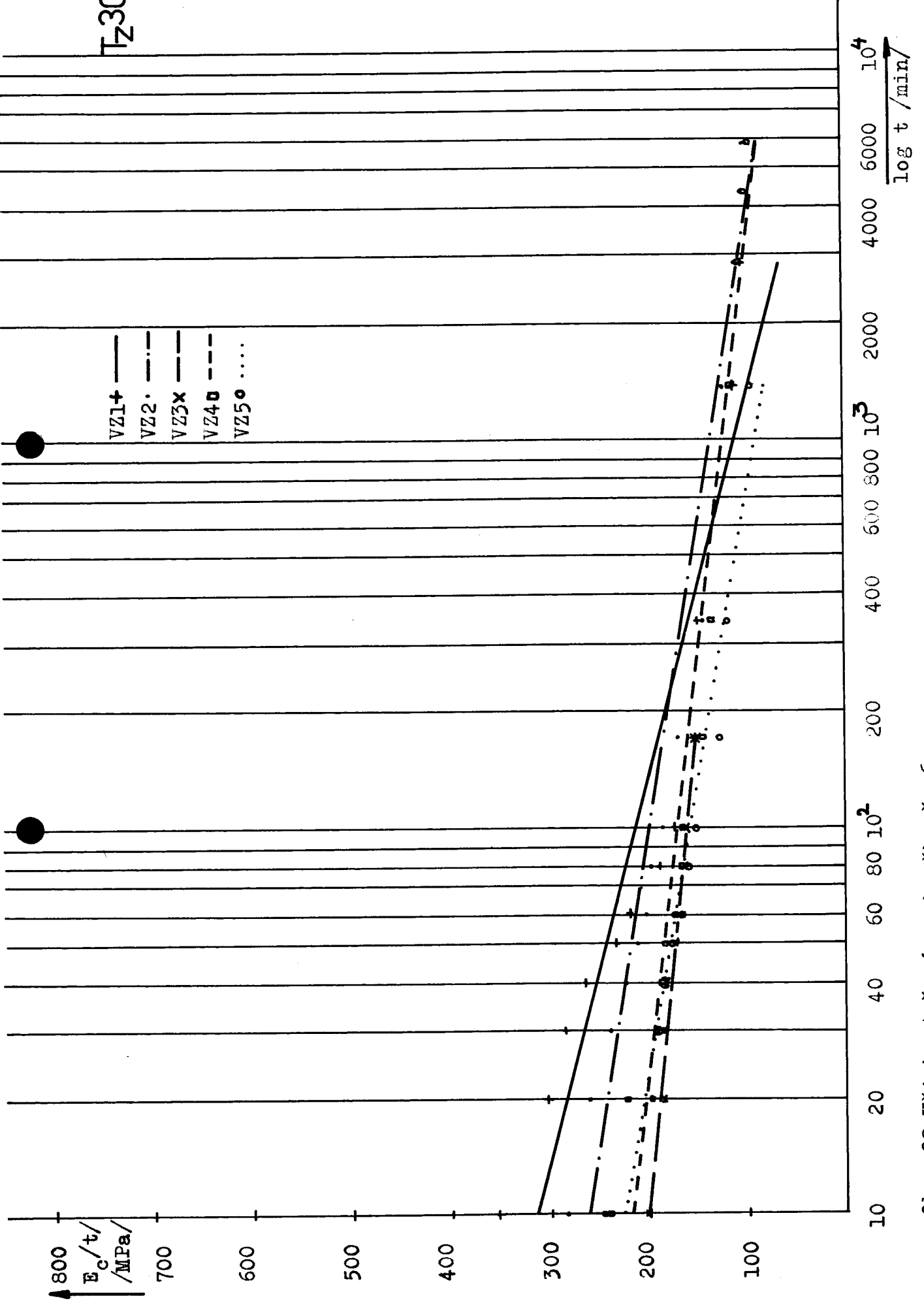
Obr. 26 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 4

T=20°C



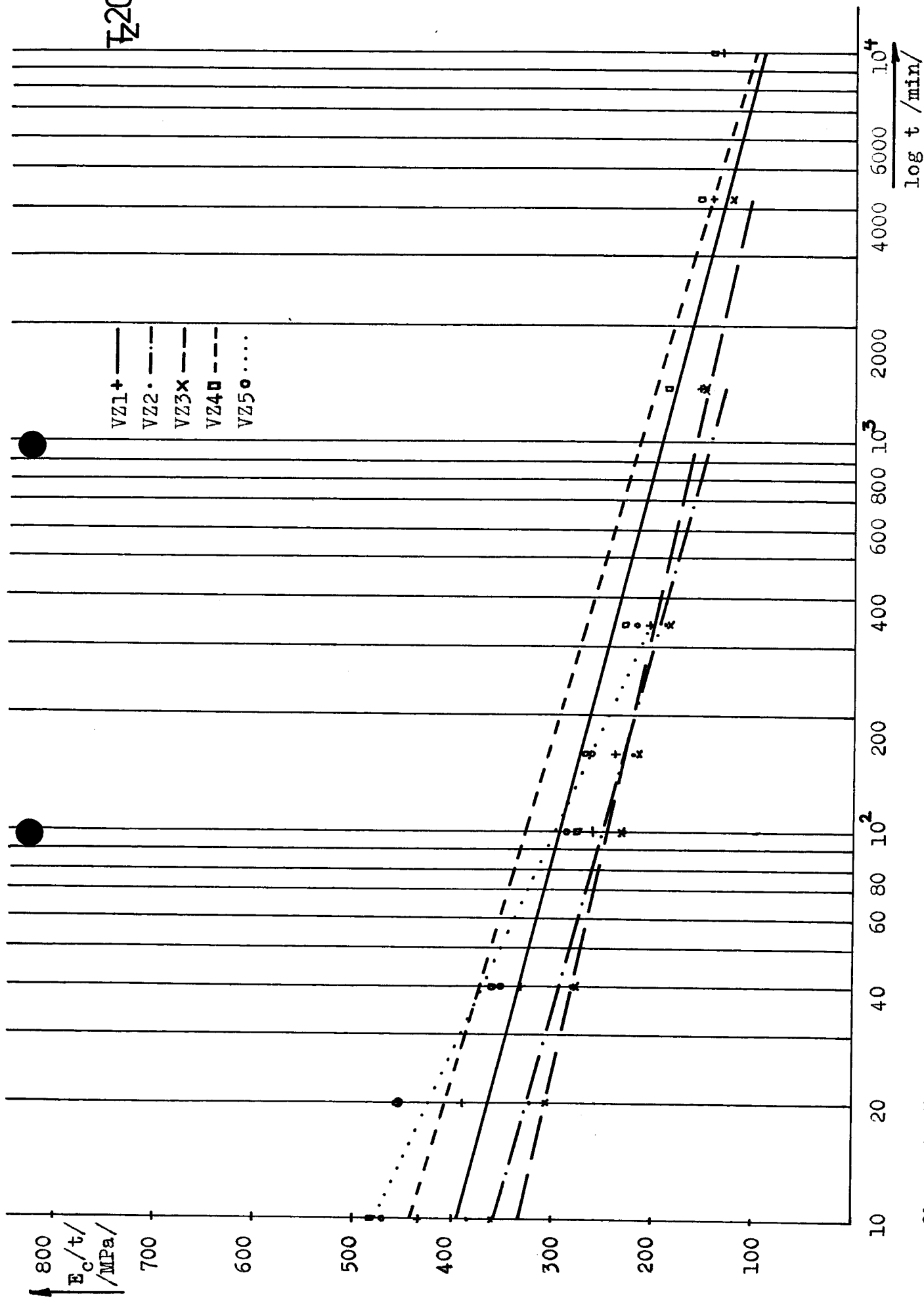
Obr. 27 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 5

T = 30 °C



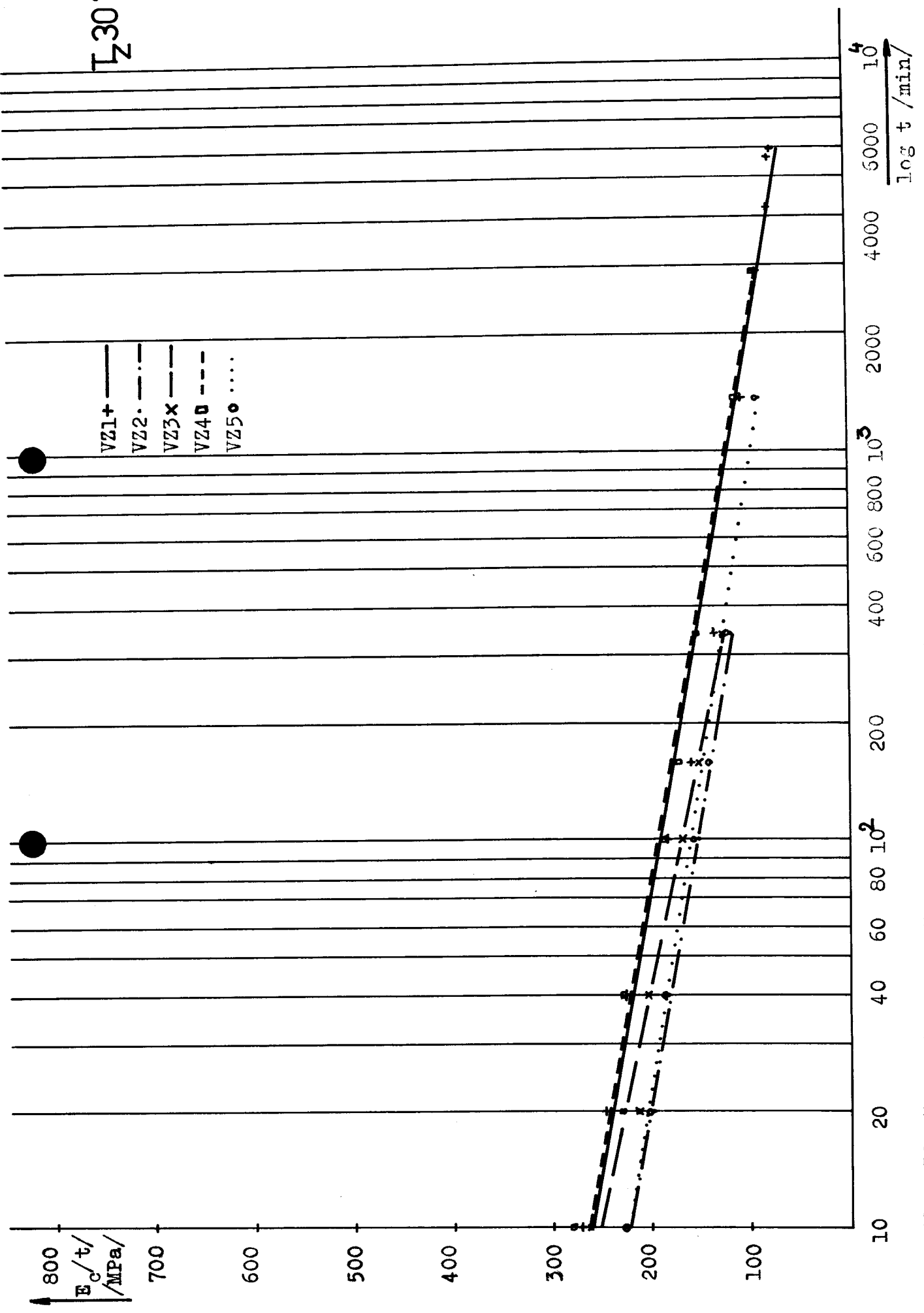
Obr. 28 Křivky tečení, zkouška č. 6

T=20°C



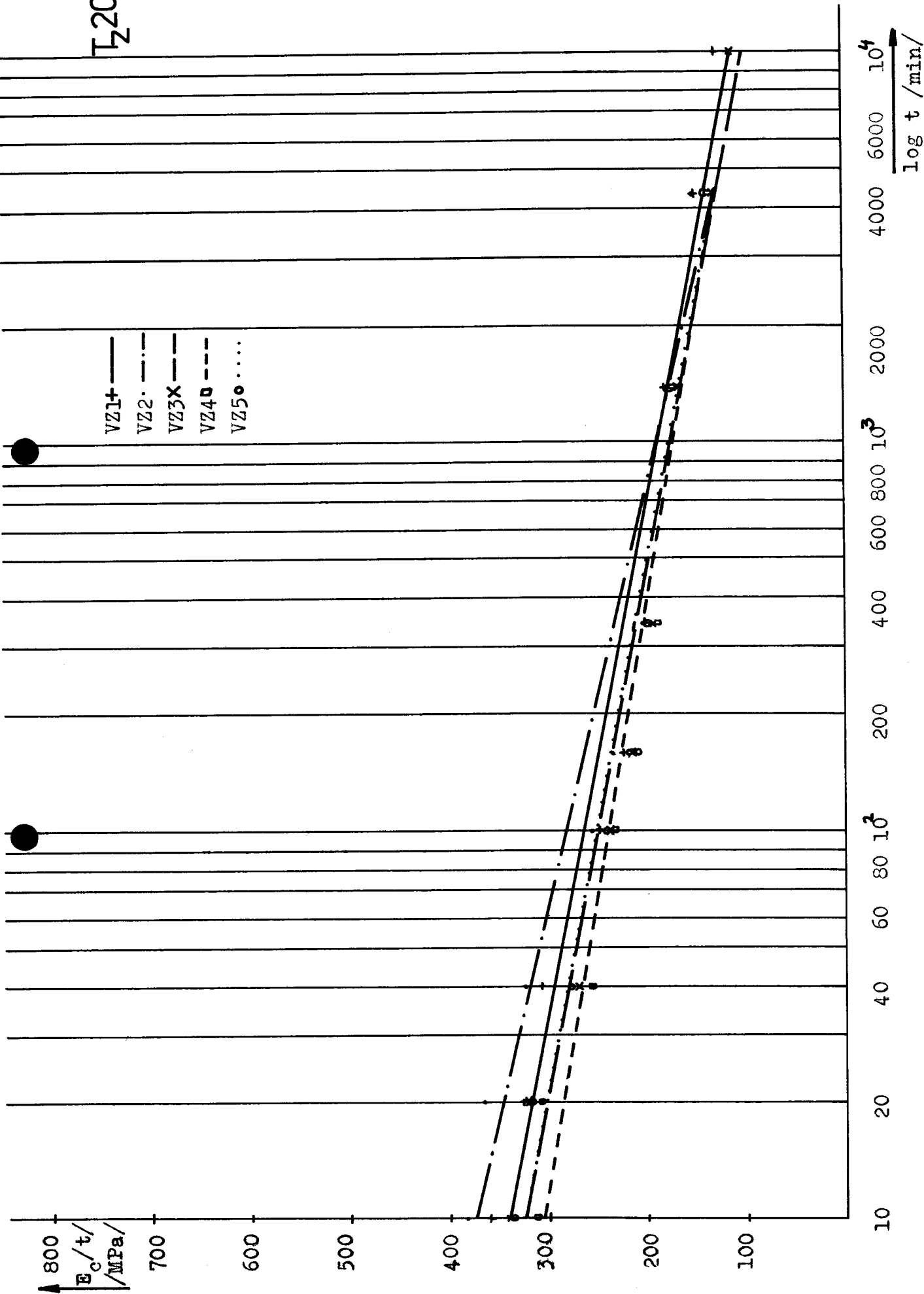
Obř. 29 Křivky "modul tečenř - čas", zkouška ř. 7

$T = 30^\circ\text{C}$



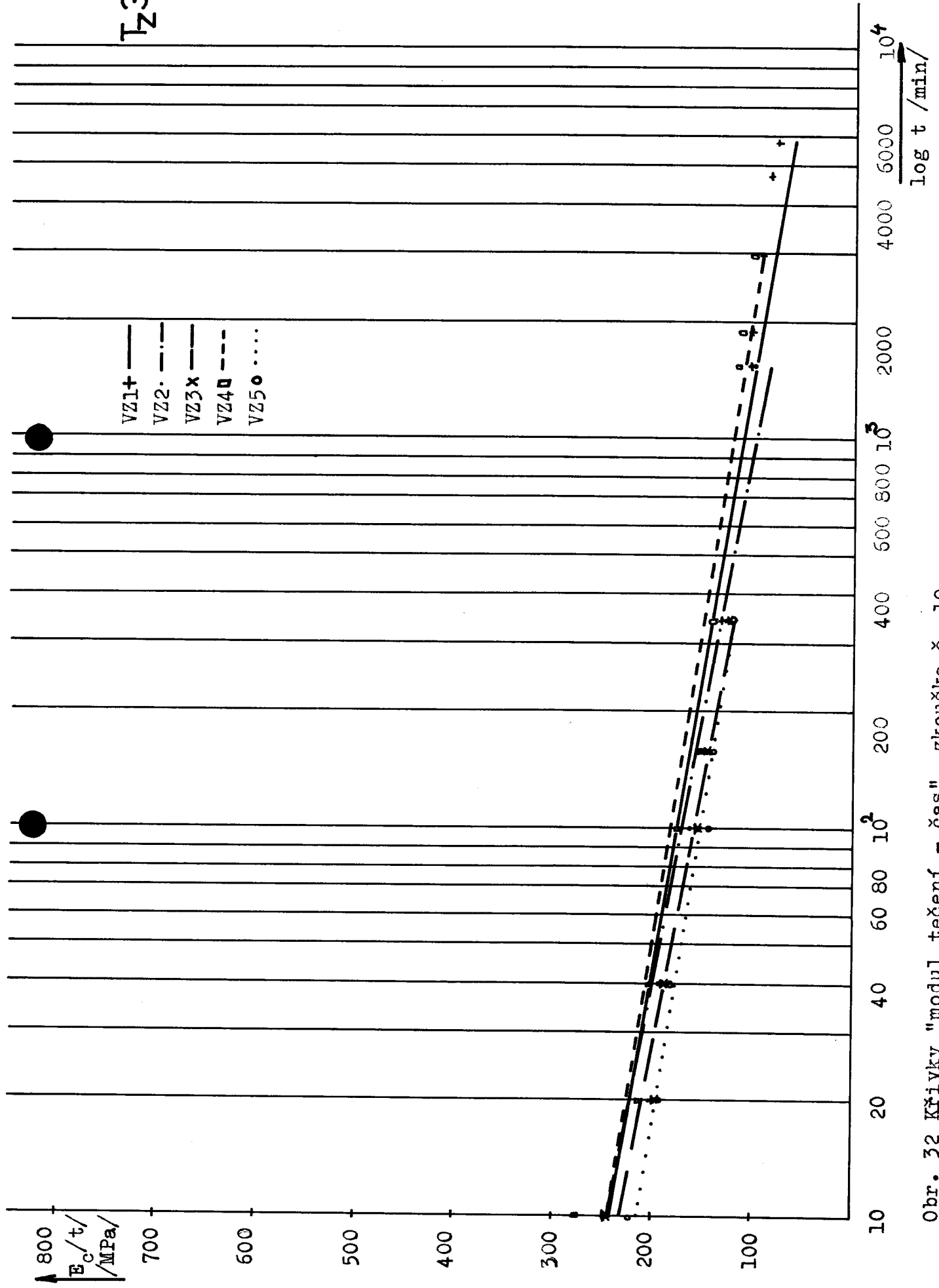
Obr. 30 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 8

T₂₀ °C



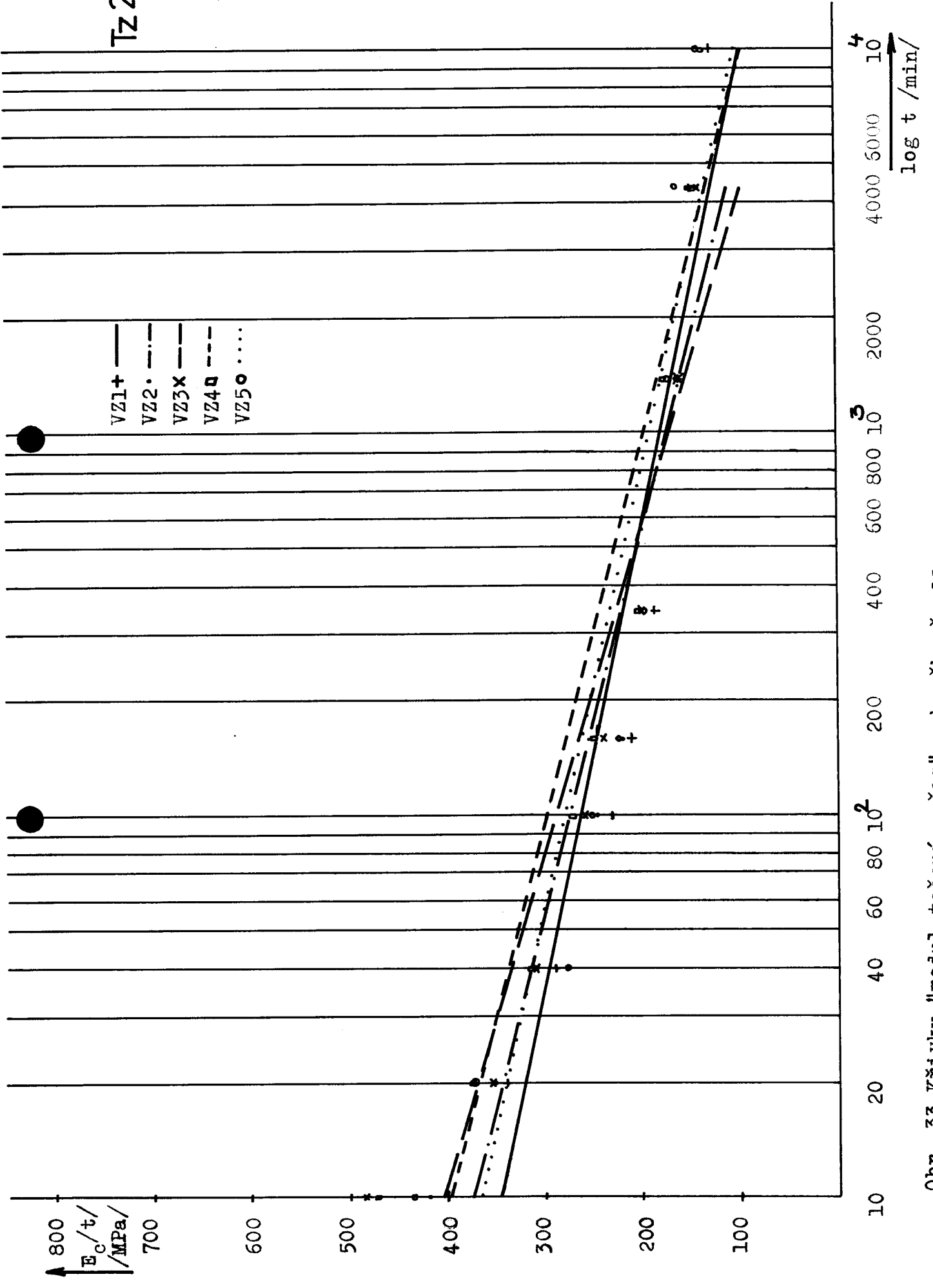
Obr. 31 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 9

$T = 30^{\circ}\text{C}$



Obr. 32 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 10

Tz 20°C



Obr. 33 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 11

5. Závěr

Cílem teoretické části diplomové práce bylo alespoň částečně shrnout nejdůležitější poznatky o mechanickém chování plastů vystavených dlouhodobému statickému zatížení. Toto téma je značně obsáhlé, proto byly vybrány jen teorie viskoelastického chování, zabývající se bezprostředně zkouškou v tahu.

Dále je v teoretické části uvedena dokumentace z experimentálních výzkumů dlouhodobých statických zkoušek v NDR. Metody jednotného vyhodnocování výsledků zkoušek, které jsou v této části popsány, vylučují subjektivní chyby měření a zhodnocení výsledků.

Experimentální část diplomové práce byla zaměřena na dlouhodobou zkoušku v tahu těles z přepravkového polyetyleny. Před zkouškou bylo nutné vyměnit bodový zdroj tepla, který nevyhovoval požadavkům zkoušky, za plošný tepelný článek. Na nově upraveném zařízení bylo provedeno jedenáct serií zkoušek v tahu.

Zkušební tělesa vstříkovaná za stejných technologických podmínek byla zkoušena při dvou teplotách a to 20°C a 30°C. Vzorky použité při zkoušce č. 11 byly zatěžovány pouze při teplotě 20°C. Výsledky měření jsou vyjádřeny v závislosti modulu tečení na čase /obr. 23 - 33/. Stejně časové intervaly u všech zkoušek nemohly být dodrženy v důsledku předčasného ukončení zatěžování u některých těles. K předčasnému ukončení zkoušky docházelo při teplotě 30°C, kdy se tyče více deformovaly a páky s navěšeným závažím dosedaly na pohyblivou tyč zařízení. Vzorky také jak při teplotě 20°C, tak i při 30°C praskaly v upínacích čelistech. Porušení těles mohlo být způsobeno vrubovým účinkem nebo tlakovým namáháním, vyvozeným tlakem čelistí. Zkušební zařízení také nezaručuje působení síly v ose tělesa.

Pro zlepšení a zjednodušení práce s přístrojem je třeba upravit zařízení pro odlehčování zatěžovacích pák, zpřístupnit seřizovací matice pro srovnání referenčních rysek vzorků a zajistit tělesa tak, aby byly upnuty v ose působící síly.

Zkušenosti z měření byly využity pro konstrukci nového zkušebního přístroje. Navržené zařízení umožňuje přesnější odečtení hodnot a snadnější obsluhu. Požadavek konstantní teploty v celém zkušebním prostoru je zaručen proudící kapalinou. Manipulace se zvedacím systémem je zde snadnější a působení síly v ose vzorku je zajištěno jinou konstrukcí třmenu. Optické zařízení je stabilnější, což ovlivní přesnost měření.

Realizace návrhu zkušebního zařízení pro zkoušky v tahu v teplotním rozsahu 20°C - 60°C je předpokladem pro docílení spolehlivých výsledků dlouhodobých zkoušek na tělesech z přepravečového polyetyleny.

Výsledky jednotlivých zkoušek dlouhodobých zatěžování spolu s ostatními veličinami, charakterizujícími mechanické chování polymerů, by měly usnadnit navrhování a dimenzování výrobků z plastů. Tím i zajistit co nejvýhodnější konstrukční řešení s ohledem na použitý materiál, funkční požadavky a potřebnou životnost výrobků.

POĚKOVÁNÍ

Na závěr děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Miloslavu Šafaříkovi, KPT VŠST Liberec, za odborné rady a pomoc při vypracování diplomové práce. Dále děkuji s. Kozákovi a s. Hoďeňovi za ochotnou pomoc s praktickou stránkou diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ Holzmüller, W.: Fyzika polymerů
Altenburg, K.: SNTL, Praha 1966
- /2/ Krebs, J.: Teorie a technologie zpracování plastů,
VŠST, Liberec 1981
- /3/ Tobolsky, A.: Vlastnosti a struktura polymerů,
SNTL, Praha 1963
- /4/ Němec, J.: Pevnost plastických hmot,
Serensen, V. SNTL, Praha 1970
- /5/ Hrnčíř, J.: Dlouhodobé zkoušky v tahu na tělesech
z přepraveckého polyetyleny, DP-ST-1772/81,
VŠST, Liberec 1981
- /6/ Čepičková, L.: Dlouhodobé mechanické vlastnosti modelo-
vých těles z plastů vyrobených vstříko-
váním, KPT - 135, VŠST, Liberec 1985
- /7/ Janeček, J.: Dlouhodobé zkoušky plastů v tahu,
DP-ST-075/83, VŠST, Liberec 1983
- /8/ Kadeřábek, J.: Matematika III, VŠST, Liberec 1979
- /9/ Dráb, V.: Teorie spolehlivosti a řízení jakosti,
Moc, L. VŠST, Liberec 1984
- /10/ Hoffman, P.: Vyhodnocování výsledků měření,
Budíček, L. SNTL, Praha 1983
- /11/ Kolouch, J.: Strojní součásti z plastů, SNTL, Praha 1981
- /12/ Hönlner, H.: Bewertung des Langzeitdeformationsver-
haltens von Plastwerkstoffen, Plaste
Reichelt, E. und Kautschuk, 3, 1983, str. 166 - 172
- /13/ ČSN 64 0605, Zkouška tahem plastických hmot
- /14/ ČSN 64 0621, Tečení plastických hmot při namáhání v tahu

| | | | | | | |
|----|-------------------|------------|--|--|--|----|
| 1 | RÁM | | | | | 1 |
| 2 | OTOČNÁ PODPĚRA | | | | | 2 |
| 2 | KONZOLA | | | | | 3 |
| 2 | OPĚRKA | | | | | 4 |
| 1 | JEZDEC | | | | | 5 |
| 1 | POJISTNÝ ŠROUB | | | | | 6 |
| 1 | DRŽÁK | | | | | 7 |
| 1 | UPÍNACÍ ŠROUB | | | | | 8 |
| 2 | KOSTKA | | | | | 9 |
| 2 | POSUVNÉ KOLEČKO | | | | | 10 |
| 4 | PRUŽINA | | | | | 11 |
| 2 | KLADKA | | | | | 12 |
| 1 | RUČNÍ KOLO | | | | | 13 |
| 1 | ZÁVĚS | | | | | 14 |
| 12 | ÚCHYT | | | | | 15 |
| 6 | SEGMENT | | | | | 16 |
| 6 | ÚCHYT | | | | | 17 |
| 6 | PAKA S KLADKOU | | | | | 18 |
| 12 | LANOVÁ SVORKA | | | | | 19 |
| 24 | ŠROUB M 6x8 | ČSN 021131 | | | | 20 |
| 6 | HORNÍ TRMEN | | | | | 21 |
| 12 | SVORNÍK | | | | | 22 |

4.3.16 *opisovatel*

| | | | | | |
|----|-------------------|------------|--------|--|----|
| 6 | TYČ | | | | 23 |
| 6 | ZÁVAŽÍ | | | | 24 |
| 6 | DOLNÍ TRMEN | | | | 25 |
| 2 | VEDENÍ | | | | 26 |
| 6 | ČEP KLADKY | | | | 27 |
| 1 | ODLEHČOVACÍ TYČ | | | | 28 |
| 1 | HORNÍ LIŠTA | | | | 29 |
| 1 | SVISLÁ LIŠTA | | | | 30 |
| 1 | DOLNÍ LIŠTA | | | | 31 |
| 1 | NÁDOBA | | | | 32 |
| 4 | ŠPALÍK | | | | 33 |
| 4 | ŠROUB | | 11 500 | | 34 |
| 1 | ŠROUB M8 x 25 | ČSN 021103 | | | 35 |
| 1 | MATICE M8 | ČSN 021402 | | | 36 |
| 2 | MATICE M5 | ČSN 021402 | | | 37 |
| 8 | ŠROUB M5 x 8 | ČSN 021103 | | | 38 |
| 36 | ŠROUB M6 x 10 | ČSN 021103 | | | 39 |
| 6 | ŠROUB M8 x 15 | ČSN 021103 | | | 40 |
| 12 | KOLÍK 5 x 10 | ČSN 022150 | | | 41 |
| 6 | LANO 3,15 - I 310 | ČSN 024322 | | | 42 |
| 6 | LANO 3,15 - I 270 | ČSN 024322 | | | 43 |
| 6 | PODLOŽKA 84 | ČSN 021702 | | | 44 |

8.3.86 *Automan*

2

ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

4 KPT 199-01

3

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|-----------------------|---------------------------------------------------|
| tab.č. I | Rozdělení zkoušek podle technologických parametrů |
| tab.č. II | Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 1 |
| tab.č. III | Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 2 |
| tab.č. IV | Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 3 |
| tab.č. V | Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 4 |
| tab.č. VI | Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 5 |
| tab.č. VII | Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 6 |
| tab.č. VIII | Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 7 |
| tab.č. IX | Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 8 |
| tab.č. X | Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 9 |
| tab.č. XI | Rozměry zkušebních těles - zkouška č.10 |
| tab.č. XII | Rozměry zkušebních těles - zkouška č.11 |
| tab.č. XIII | Naměřené hodnoty - zkouška č. 1 |
| tab.č. XIV | Naměřené hodnoty - zkouška č. 2 |
| tab.č. XV | Naměřené hodnoty - zkouška č. 3 |
| tab.č. XVI | Naměřené hodnoty - zkouška č. 4 |
| tab.č. XVII | Naměřené hodnoty - zkouška č. 5 |
| tab.č. XVIII | Naměřené hodnoty zkouška č. 6 |
| tab.č. XIX | Naměřené hodnoty - zkouška č. 7 |
| tab.č. XX | Naměřené hodnoty - zkouška č. 8 |
| tab.č. XXI | Naměřené hodnoty - zkouška č. 9 |
| tab.č. XXII | Naměřené hodnoty - zkouška č.10 |
| tab.č. XXIII | Naměřené hodnoty - zkouška č.11 |
| výkres KPT - 199 - 01 | Zkušební zařízení |
| výkres KPT - 199 - 02 | Vrtací přípravek |

| Technologické parametry | | | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------|---------|-----------|----------|
| číslo zkoušky | zkušeb. T /°C/ | Tt /°C/ | Tf /°C/ | PvS /MPa/ | Pd /MPa/ |
| 1 | 20 | 200/225/250/240 | 30 | 5 | 5 |
| 2 | 30 | 200/225/250/240 | 30 | 5 | 5 |
| 3 | 20 | 170/180/190/180 | 60 | 5 | 5 |
| 4 | 30 | 170/180/190/180 | 60 | 5 | 5 |
| 5 | 20 | 210/220/230/220 | 30 | 5 | 5 |
| 6 | 30 | 210/220/230/220 | 30 | 5 | 5 |
| 7 | 20 | 170/180/190/180 | 30 | 10 | 10 |
| 8 | 30 | 170/180/190/180 | 30 | 10 | 10 |
| 9 | 20 | 200/225/250/240 | 30 | 10 | 10 |
| 10 | 30 | 200/225/250/240 | 30 | 10 | 10 |
| 11 | 20 | 170/180/190/180 | 30 | 5 | 5 |

tab. č. I Rozdělení zkoušek podle technologických parametrů

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|----------------|--------------|------|------|-----|-----|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 |
| 2 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 |
| 3 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 |
| 4 | 9,75 | 9,75 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,78 |
| 5 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,8 | 9,8 | 9,81 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|------|------|------|------|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,85 | 3,89 |
| 2 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,92 |
| 3 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,9 | 3,92 |
| 4 | 3,85 | 3,85 | 3,9 | 3,85 | 3,85 | 3,86 |
| 5 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 |

tab. č. II Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 1

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|----------------|--------------|------|------|-----|-----|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 |
| 2 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 |
| 3 | 9,8 | 9,85 | 9,85 | 9,8 | 9,8 | 9,82 |
| 4 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 |
| 5 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|-----|------|------|------|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,92 |
| 2 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,9 | 3,92 |
| 3 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,93 |
| 4 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,9 | 3,91 |
| 5 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 |

tab. č.III Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 2

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|----------------|--------------|------|-----|------|------|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 |
| 2 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 |
| 3 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,89 |
| 4 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,95 | 9,91 |
| 5 | 9,8 | 9,85 | 9,9 | 9,85 | 9,9 | 9,86 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|-----|------|------|------|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,9 | 3,92 |
| 2 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,93 |
| 3 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,92 |
| 4 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,93 |
| 5 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,9 | 3,9 | 3,91 |

tab. č.IV Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 3

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|-----------------|--------------|------|-----|-----|-----|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,89 |
| 2 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,89 |
| 3 | 9,85 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,88 |
| 4 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,89 |
| 5 | 9,95 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|------|-----|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 3,95 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,93 |
| 2 | 3,9 | 3,95 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,93 |
| 3 | 3,95 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,91 |
| 4 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,9 | 3,91 |
| 5 | 3,85 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,89 |

tab. č.V Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 4

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|-----------------|--------------|------|------|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,85 | 9,8 | 9,82 |
| 2 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,85 |
| 3 | 9,85 | 9,85 | 9,9 | 9,85 | 9,85 | 9,86 |
| 4 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,83 |
| 5 | 9,8 | 9,85 | 9,8 | 9,85 | 9,8 | 9,82 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|------|------|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 3,9 | 3,85 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,89 |
| 2 | 3,95 | 3,95 | 3,9 | 3,95 | 3,9 | 3,93 |
| 3 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,93 |
| 4 | 3,95 | 3,95 | 4 | 3,95 | 3,95 | 3,96 |
| 5 | 3,95 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,94 |

tab. č.VI Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 5

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|----------------|--------------|------|------|------|------|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,8 | 9,85 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,81 |
| 2 | 9,8 | 9,85 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,81 |
| 3 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,81 |
| 4 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,85 | 9,8 | 9,82 |
| 5 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,8 | 9,85 | 9,82 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|------|------|------|------|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,9 | 3,95 | 3,93 |
| 2 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,9 | 3,92 |
| 3 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,94 |
| 4 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,9 | 3,9 | 3,91 |
| 5 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,9 | 3,94 |

tab. č.VII Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 6

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|-----------------|--------------|------|------|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,85 | 9,95 | 9,95 | 9,95 | 9,9 | 9,92 |
| 2 | 9,85 | 9,9 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,86 |
| 3 | 9,9 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,86 |
| 4 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,87 |
| 5 | 9,85 | 9,9 | 9,85 | 9,85 | 9,9 | 9,87 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|------|------|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 4,0 | 3,95 | 3,97 |
| 2 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,93 |
| 3 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 4,0 | 3,95 | 3,97 |
| 4 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 4,0 | 3,95 | 3,97 |
| 5 | 4,0 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 4,0 | 3,93 |

tab. č.VIII rozměry zkušebních těles - zkouška č. 7

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|-----------------|--------------|------|------|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,9 | 9,9 | 9,95 | 9,9 | 9,95 | 9,92 |
| 2 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,85 | 9,9 | 9,88 |
| 3 | 9,85 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,88 |
| 4 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,9 | 9,86 |
| 5 | 9,85 | 9,9 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,86 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|------|------|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| 2 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 3,94 |
| 3 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,92 |
| 4 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 3,96 |
| 5 | 3,9 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,94 |

tab. č. IX Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 8

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|----------------|--------------|------|-------|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,85 | 9,95 | 10,0 | 9,85 | 9,85 | 9,9 |
| 2 | 9,85 | 9,9 | 10,05 | 9,95 | 9,85 | 9,92 |
| 3 | 9,8 | 9,8 | 9,75 | 9,8 | 9,8 | 9,79 |
| 4 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,81 |
| 5 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,8 | 9,8 | 9,81 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| 2 | 4,05 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,01 |
| 3 | 3,9 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 3,98 |
| 4 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| 5 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |

tab. č.X Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 9

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|----------------|--------------|------|------|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,81 |
| 2 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 |
| 3 | 9,8 | 9,8 | 9,85 | 9,85 | 9,8 | 9,82 |
| 4 | 9,8 | 9,8 | 9,75 | 9,8 | 9,8 | 9,79 |
| 5 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,85 | 9,9 | 9,86 |

| tloušťka - h /mm | | | | | | |
|------------------|--------------|------|-----|------|------|------------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 3,95 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 3,99 |
| 2 | 3,95 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 3,99 |
| 3 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| 4 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 4,0 | 3,95 | 3,97 |
| 5 | 4,05 | 4,0 | 4,0 | 4,05 | 4,05 | 4,03 |

tab. č.XI Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 10

| šířka - b /mm/ | | | | | | |
|----------------|--------------|------|-----|------|------|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,89 |
| 2 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,89 |
| 3 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,95 | 9,95 | 9,92 |
| 4 | 9,85 | 9,85 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,88 |
| 5 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 |

| tloušťka - h /mm/ | | | | | | |
|-------------------|--------------|------|------|------|------|---------|
| číslo vzorku | místo měření | | | | | Ø hodn. |
| | A | B | C | D | E | |
| 1 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 |
| 2 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 3,95 | 3,96 |
| 3 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 3,95 | 3,95 | 3,96 |
| 4 | 3,95 | 3,95 | 4,0 | 3,95 | 4,0 | 3,97 |
| 5 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,95 |

tab. č.XII Rozměry zkušebních těles - zkouška č. 11

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|-----------------|--------|--------|-------|--------|
| l_0 /mm/ | 49,702 | 49,835 | 49,845 | 49,53 | 50,015 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 0,571 | 0,962 | 1,026 | 1,036 | 0,59 |
| 20 | 0,821 | 0,964 | 1,061 | 1,091 | 0,628 |
| 40 | 0,863 | 1,045 | 1,098 | 1,145 | 0,753 |
| 100 | 0,937 | 1,508 | 1,263 | 1,512 | 1,143 |
| 160 | 1,173 | 1,552 | 1,480 | 1,548 | 1,245 |
| 340 | 1,579 | 1,815 | 1,771 | 1,843 | 1,555 |
| 1 300 | 1,786 | 2,35 | 2,334 | 2,48 | 2,304 |
| 5 570 | 2,378 | 2,822 | 2,781 | 2,547 | 2,813 |
| 9 900 | 2,613 | 3,205 | 3,095 | 3,182 | 2,933 |

tab. č.XIIINaměřené hodnoty - zkouška č. 1

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| l_0 /mm/ | 49,63 | 50,267 | 49,359 | 49,785 | 49,407 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 1,815 | 1,381 | 1,912 | 1,685 | 2,118 |
| 20 | 2,056 | 1,52 | 2,119 | 1,853 | 2,384 |
| 40 | 2,326 | 1,823 | 2,356 | 2,168 | 2,591 |
| 60 | 2,553 | 2,017 | 2,573 | 2,379 | 2,823 |
| 100 | 2,816 | 2,286 | 2,888 | 2,529 | 3,216 |
| 160 | 3,15 | | 3,316 | 2,948 | 3,626 |
| 340 | 3,53 | | | 3,277 | 4,153 |
| 1 410 | 4,544 | | | 4,047 | |
| 2 725 | 5,031 | | | | |

tab. č.XIV Naměřené hodnoty - zkouška č. 2

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| l_0 /mm/ | 49,861 | 49,687 | 49,694 | 50,049 | 50,043 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 0,698 | 1,172 | 0,794 | 0,657 | 0,794 |
| 20 | 1,072 | 1,413 | 0,98 | 0,918 | 0,836 |
| 40 | 1,129 | 1,448 | 1,088 | 1,086 | 1,102 |
| 100 | 1,369 | 1,773 | 1,312 | 1,212 | 1,277 |
| 160 | 1,634 | 2,007 | 1,537 | 1,323 | 1,428 |
| 340 | 1,829 | 2,223 | 1,631 | 1,431 | 1,709 |
| 1 160 | 2,132 | 2,507 | 2,287 | 1,995 | 2,267 |
| 5 510 | 2,639 | 3,267 | 2,979 | 2,734 | 3,063 |
| 11 190 | 2,797 | 3,565 | 3,183 | 3,081 | 3,522 |

tab. č.XV Naměřené hodnoty - zkouška č. 3

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|-----------------|--------|--------|-------|-------|
| l_0 /mm/ | 49,504 | 49,825 | 49,604 | 50,24 | 50,24 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 2,105 | 1,709 | 2,032 | 1,975 | 2,246 |
| 20 | 2,21 | 1,964 | 2,245 | 2,155 | 2,346 |
| 40 | 2,296 | 2,211 | 2,432 | 2,176 | 2,603 |
| 60 | 2,651 | 2,437 | 2,637 | 2,252 | 2,87 |
| 100 | 2,886 | 2,679 | 2,931 | 2,615 | 3,161 |
| 160 | 3,232 | 3,072 | 3,197 | 3,105 | 3,423 |
| 340 | 3,801 | 3,58 | 3,634 | 3,662 | 3,938 |
| 1 470 | 4,268 | 4,028 | 4,225 | 4,814 | 4,619 |
| 4 365 | 4,772 | | 4,643 | 5,96 | 5,345 |
| 5 805 | 5,049 | | 4,923 | | 5,428 |

tab. č.XVI Naměřené hodnoty - zkouška č. 4

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| l_0 /mm/ | 49,393 | 49,418 | 49,352 | 49,022 | 49,394 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 1,06 | 1,141 | 1,218 | 1,321 | 1,329 |
| 20 | 1,148 | 1,224 | 1,342 | 1,335 | 1,542 |
| 40 | 1,372 | 1,279 | 1,414 | 1,453 | 1,922 |
| 100 | 1,728 | 1,632 | 1,995 | 1,99 | 2,024 |
| 160 | 1,755 | 1,804 | 2,019 | 2,052 | 2,078 |
| 340 | 1,981 | 2,06 | 2,294 | 2,456 | 2,258 |
| 1 380 | 2,595 | 2,35 | 2,569 | 2,834 | 2,82 |
| 4 320 | 2,774 | 2,818 | 3,018 | 2,921 | 3,057 |
| 9 885 | 3,14 | 3,208 | 3,438 | 3,311 | 3,765 |

tab. č.XVII Naměřené hodnoty - zkouška č. 5

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| l_0 /mm/ | 50,047 | 49,895 | 49,336 | 49,699 | 49,530 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 1,351 | 1,695 | 2,324 | 1,986 | 1,902 |
| 20 | 1,569 | 1,830 | 2,540 | 2,141 | 2,377 |
| 30 | 1,672 | 1,998 | 2,554 | 2,464 | 2,451 |
| 40 | 1,804 | 2,150 | 2,562 | 2,558 | 2,549 |
| 50 | 2,042 | 2,253 | 2,720 | 2,592 | 2,710 |
| 60 | 2,175 | 2,365 | 2,789 | 2,860 | 2,720 |
| 80 | 2,560 | 2,406 | 2,879 | 2,862 | 2,950 |
| 100 | 2,765 | 2,583 | 2,917 | 2,891 | 3,095 |
| 170 | 3,157 | 2,838 | 3,084 | 3,356 | 3,716 |
| 340 | 3,171 | 3,342 | | 3,589 | 4,021 |
| 1 370 | 4,304 | 3,929 | | 4,273 | 5,004 |
| 2 870 | 4,687 | 4,403 | | 4,597 | |
| 4 330 | | 4,746 | | 4,769 | |
| 5 760 | | 4,765 | | 5,117 | |

tab. č.XVIII Naměřené hodnoty - zkouška č. 6

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| l_0 /mm/ | 49,799 | 49,734 | 49,551 | 49,888 | 49,959 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 1,066 | 1,227 | 1,293 | 0,967 | 0,995 |
| 20 | 1,184 | 1,462 | 1,518 | 1,022 | 1,025 |
| 40 | 1,397 | 1,679 | 1,678 | 1,296 | 1,33 |
| 100 | 1,783 | 2,058 | 2,009 | 1,687 | 1,63 |
| 160 | 1,945 | 2,137 | 2,162 | 1,739 | 1,787 |
| 340 | 2,268 | 2,484 | 2,527 | 2,037 | 2,148 |
| 1 380 | 2,98 | 3,147 | 3,107 | 2,491 | |
| 4 270 | 3,241 | | 3,75 | 3,002 | |
| 10 010 | 3,462 | | | 3,244 | |

tab. č.XIX Naměřené hodnoty - zkouška č. 7

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|-----------------|-------|--------|--------|--------|
| l_0 /mm/ | 49,438 | 49,55 | 49,625 | 49,660 | 49,560 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 1,667 | 2,053 | 1,774 | 1,655 | 2,058 |
| 20 | 1,834 | 2,335 | 2,198 | 2,018 | 2,302 |
| 40 | 2,014 | 2,518 | 2,285 | 2,023 | 2,474 |
| 100 | 2,466 | 3,025 | 2,754 | 2,482 | 2,908 |
| 160 | 2,809 | 3,318 | 3,060 | 2,688 | 3,22 |
| 340 | 3,314 | 3,859 | 3,567 | 2,977 | 3,705 |
| 1 380 | 4,159 | | | 3,950 | 4,922 |
| 2 880 | 4,922 | | | 4,752 | |
| 4 240 | 5,619 | | | | |
| 5 720 | 5,712 | | | | |
| 5 970 | 5,869 | | | | |

tab. č.XX Naměřené hodnoty - zkouška č. 8

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| l_0 /mm/ | 49,903 | 49,752 | 49,743 | 49,584 | 49,571 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 1,283 | 1,192 | 1,367 | 1,492 | 1,389 |
| 20 | 1,417 | 1,250 | 1,453 | 1,513 | 1,464 |
| 40 | 1,503 | 1,413 | 1,732 | 1,821 | 1,673 |
| 100 | 1,850 | 1,788 | 1,975 | 1,989 | 1,946 |
| 160 | 2,059 | 1,950 | 2,172 | 2,171 | 2,239 |
| 340 | 2,287 | 2,251 | 2,413 | 2,461 | 2,311 |
| 1 380 | 2,533 | 2,507 | 2,777 | 2,657 | 2,666 |
| 4 350 | 3,075 | 3,037 | 3,505 | 3,328 | 3,319 |
| 10 090 | 3,590 | | 4,114 | | |

tab. č.XXI Naměřené hodnoty - zkouška č. 9

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| l_0 /mm/ | 49,506 | 49,638 | 49,645 | 49,586 | 49,625 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 1,863 | 1,674 | 1,899 | 1,697 | 2,070 |
| 20 | 2,312 | 2,293 | 2,366 | 2,182 | 2,407 |
| 40 | 2,416 | 2,418 | 2,454 | 2,320 | 2,532 |
| 100 | 2,909 | 2,829 | 3,001 | 2,674 | 3,185 |
| 160 | 3,131 | 3,170 | 3,181 | 3,187 | 3,313 |
| 340 | 3,503 | 3,656 | 3,736 | 3,337 | 3,623 |
| 1 570 | 4,494 | 4,686 | | 4,027 | |
| 1 860 | 4,516 | | | 4,209 | |
| 2 970 | 5,113 | | | 4,670 | |
| 4 670 | 5,550 | | | | |
| 5 830 | 6,012 | | | | |

tab. č.XXII Naměřené hodnoty - zkouška č. 10

| číslo vzorku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| l_0 /mm/ | 49,338 | 49,750 | 49,650 | 49,543 | 49,705 |
| čas t /min/ | Δl /mm/ | | | | |
| 10 | 1,157 | 1,110 | 0,958 | 0,979 | 1,067 |
| 20 | 1,368 | 1,330 | 1,312 | 1,241 | 1,243 |
| 40 | 1,607 | 1,505 | 1,497 | 1,479 | 1,695 |
| 100 | 2,008 | 1,895 | 1,798 | 1,712 | 1,844 |
| 160 | 2,20 | 2,120 | 1,944 | 1,860 | 2,083 |
| 340 | 2,483 | 2,331 | 2,322 | 2,297 | 2,365 |
| 1 380 | 2,912 | 2,874 | 2,896 | 2,626 | 2,683 |
| 4 320 | 3,160 | 3,125 | 3,352 | 3,259 | 2,874 |
| 10 080 | 3,698 | | | 3,457 | 3,510 |

tab.č.XXIII Naměřené hodnoty - zkouška č. 11

| | | | | | | |
|---|-------------------|-----------|------------|--|--|---|
| 1 | ZKUŠEBNÍ TĚLESO | | | | | 6 |
| 1 | ZARAZECI KOLÍK | 8x15 | ČSN 022150 | | | 5 |
| 1 | KOLÍK | 5x25 | ČSN 022150 | | | 4 |
| 5 | VODICÍ KOLÍK | 6x10 | ČSN 022150 | | | 3 |
| 1 | OTOČNÁ DESKA | 170x50x10 | ČSN 425524 | | | 2 |
| 1 | ZAKL. DESKA | 200x70x10 | ČSN 425524 | | | 1 |

5
1:1

VRTNÝ PŘÍPRAVEK KOT 153-02

