

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

VLIV PLNIVA A TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK
VSTŘIKOVÁNÍ SILAMIDU NA JEHO DLOUHODOBOU
PEVNOST V TAHU

Alena Illichmannová

256

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Šafařík, VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 73

Počet příloh: 33

Počet tabulek: 6

Počet obrázků: 35

Počet výkresů: 4

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VYKONU)

pro Alenu I l l i c h m a n o v o u
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: Vliv plniva a technologických podmínek
 vstřikování Silamidu na jeho dlouhodobou
 pevnost v tahu

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s technologií vstřikování a s dlouhodobou zkouškou v tahu, vč. zařízení, které má katedra k dispozici.
2. Seznamte se s matematicko-statistickými metodami plánování a vyhodnocování experimentálních zkoušek.
3. Proveďte a vyhodnoňte dlouhodobou zkoušku v tahu na tyčích ze Silamidu.
4. Proveďte vyhodnocení výsledků a konstrukční návrhy na změnu v uspořádání přístroje.

Strojní fakulta
Katedra tváření a plastů
1986/87

Rozsah grafických prací:

40 - 50 stran

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

1. KREBS J. : Teorie a technologie zpracování plastů.
Skript, VŠST, Liberec, 1981
2. FELIX, M. - BLÁHA, K. : Matematicko statistické metody
v chemickém průmyslu. SNTL, Praha, 1962

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miloslav Šafařík

Datum zadání diplomové práce: 25. 9. 1986

Termín odevzdání diplomové práce: 11. 5. 1987

L.S.

Doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Vedoucí katedry

Doc. Ing. Ján Alaxen, CSc.

Děkan

V Liberci 6. 10. 1986
dne

PROHLÁŠENÍ

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

V Liberci 11.května 1987

Alena Klíckmannová

OBSAH

1.	Úvod	4
2.	Teoretická část	6
2.1	Vstřikování	6
2.1.1	Vliv zpracovávaného plastu	6
2.1.2	Vliv technologických podmínek	8
2.1.3	Průběh plnění dutiny formy	11
2.2	Mechanické chování namáhaných plastů	18
2.2.1	Viskoelastické chování polymerů	18
2.2.2	Kríp	20
2.2.3	Dlouhodobá pevnost plastů	24
2.2.4	Modul pružnosti	25
2.3	Kompozitní materiály	29
3.	Experimentální část	34
3.1	Dlouhodobá zkouška v tahu	34
3.2	Postup zhotovení zkušebních těles	35
3.3	Zkoušený materiál	36
3.4	Postup zkoušky	37
3.5	Popis zkušebního zařízení	39
3.6	Vlastní zkouška	41
3.7	Zpracování výsledků	42
3.8	Hodnocení výsledků (diskuse)	62
3.9	Návrh nového zkušebního zařízení	64
4.	Závěr	67
	Seznam příloh	70
	Seznam použité literatury	72

1. ÚVOD

Rozvoj výroby plastů zaznamenal za posledních 20 let tak značný růst, že snad nemá obdoby v žádném oboru. Z původní "náhražky" klasických materiálů se plasty staly důležitými konstrukčními materiály, bez kterých se moderní průmysl neobejde.

Abychom mohli jednotlivé druhy a typy plastů úspěšně aplikovat na konkrétní dílce nebo výrobky, musíme dokonale ovládat jejich vlastnosti (fyzikálně mechanické, tepelné, elektrické, optické, chemické a technologické) a chování v průběhu používání, kdy se začne uplatňovat vliv prostředí (teplota, relativní vlhkost, atmosférické vlivy) a času. Na teplotě značně závisí zejména mechanické vlastnosti plastů. Dále jsou vlastnosti plastů významně ovlivňovány obsahem a druhem přídavných látek - především plniv - a polydisperzitou, která způsobuje určité rozptyly vlastností.

Rostoucí požadavky průmyslu na materiály s vyšší pevností, tuhostí a tepelnou odolností, s menší teplotní roztažností a současně levné vedly k vytvoření kompozitních materiálů, u kterých je plně využito vlivu plniv k dosažení výhodných vlastností plastů. /1/

Jednou z největších výhod plastů je snadná a rychlá výroba i nejsložitějších výrobků. Tuto výhodu je nezbytné plně uplatnit i při výrobě polymerních kompozitů, navíc za maximálního využití mikroelektroniky, automatizace a robotizace, což umožní větší stupeň přesnosti a výrobu bezdefektních výrobků. Na druhé straně stále přesnější a komplikovanější složení moderních kompozitů přímo automatizaci vyžaduje.

Každý kompozitní materiál je neobyčejně složitý strukturní systém, jehož deformační změny, toky a koncentrace napětí,

interakce přítomných fází, mikroporušovací procesy a vznik a rozvoj poruch, tedy vesměs mechanické procesy, určují jeho výsledné vlastnosti v reálných podmínkách vnějšího namáhání a prostředí.

Rostoucí podíl kompozitů v konstrukčních částech a prvcích, jejich masové využití zejména v automobilovém a stavebním průmyslu a skutečnost, že kompozitní prvky se stávají ve všech odvětvích průmyslu ekonomičtější a energeticky úspornější než prvky vyrobené z tradičních materiálů, si vyžádaly studium využitelnosti kompozitů. /2/

Stanovení funkční schopnosti a upotřebitelnosti výrobků z plastů ve vývojovém a výrobním procesu předpokládá znalost a dostupnost zkušebních metod, včetně zkušebních pomocných prostředků. Důležitá je znalost profilu namáhání jednotlivých výrobků. Takové informace jsou nezbytné, aby bylo možno realizovat zkušební program směřující co nejbližší k praxi. Ze znalosti specifického chování tvářené látky se odhadne časový posun průběhu zkoušky. /3/

Srovnatelnost výsledků zkoušek je zaručena státní normou. Norma předepisuje: podmínky při zkoušce, požadavky na zkušební zařízení, zkušební těleso, postup zkoušky. V našem případě je vhodné postupovat podle ČSN 64 0621 Plasty. Zkouška tečení při namáhání v tahu.

Úkolem této diplomové práce je provést a vyhodnotit dlouhodobou zkoušku v tahu na tyčích z plněného Silamidu a získané zkušenosti z měření využít k návrhu změn v uspořádání zkušebního přístroje.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je způsob tváření polymerů, při němž se dávka zplastikovaného materiálu vstřikuje vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Vstřikování je jednou z nejdůležitějších technologií zpracování termoplastů, je vhodné pro velkosériovou a hromadnou výrobu často velmi složitých součástí.

Výrobek získaný vstřikováním se nazývá výstřik. Pro jeho zhotovení jsou nutné určité operace zahrnuté do vstřikovacího cyklu. Vstřikovací cyklus začíná např. okamžikem impulsu k zavření formy. Po zavření formy následuje plnění dutiny formy, chladnutí hmoty v dutině, otevření formy a vyhození výrobku.

Přesto, že je princip vstřikování v podstatě velmi jednoduchý, uplatňuje se při něm během výrobního procesu řada faktorů, ovlivňujících nejen kvalitu výrobku, ale i ekonomickou stránku výroby.

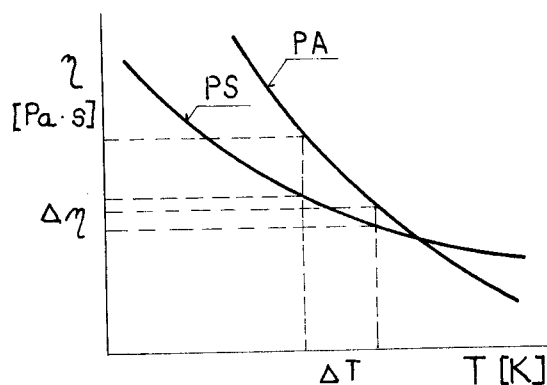
2.1.1 Vliv zpracovávaného plastu

Od zpracovávané hmoty se očekávají dobré zpracovatelské vlastnosti. Hotový výrobek pak by měl být kvalitní s požadovanými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi.

Z technologického hlediska má mít zpracovávaná hmota:

1) Dobré tokové vlastnosti (zabíhavost), které rozhodují o tom, zda navržený tvar výstřiku bude vůbec možno vyrobit. Tekutost se zvyšuje se snižující se molekulovou hmotností. Roste také se stoupající teplotou, protože klesá viskozita. Pro ovládání zpracovatelského procesu je také důležitá rychlost změny viskozity s teplotou (obr.1). Není výhodné,

když se tekutost mění s teplotou příliš rychle, protože se zvyšují nároky na přesnost regulace teploty.



Obr.1 Průběh viskozity v závislosti na teplotě

Např. u PA malá změna teploty způsobí velkou změnu viskozity taveniny. Takové hmoty vykazují úzkou teplotní oblast zpracování.

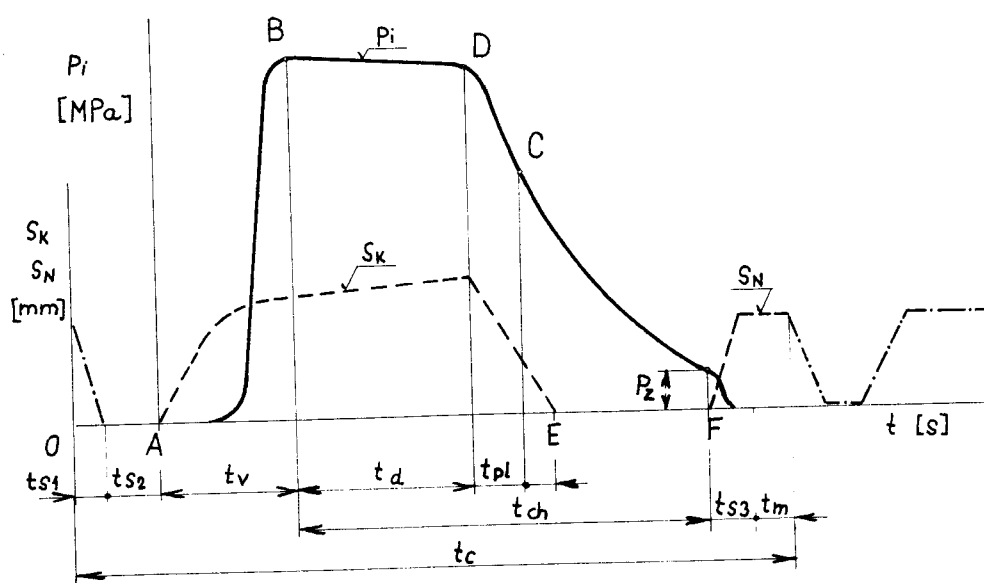
2) Dostatečnou tepelnou stabilitu v celém rozsahu zpracovatelských teplot. Tento rozsah je zespoda vymezen teplotou T_m , při níž polymer přechází do stavu viskózní kapaliny, zeshora pak teplotou rozkladu T_R (degradace). Z technologického hlediska je výhodné, když je oblast zpracování co nejširší, protože taková hmota umožňuje větší variabilitu konkrétních podmínek při zpracování.

3) Hmota nesmí při zpracování uvolňovat těkavé látky (PA vodu), protože se tím zhoršují vlastnosti výrobku. Takovou hmotu je nutno předem zbavit těkavých látek sušením. Hmota má při smršťování vykazovat kontrolovatelnou míru smrštění a po ztuhnutí minimální vnitřní pnutí.

2.1.2 Vliv technologických podmínek

Vliv jednotlivých technologických parametrů nelze brát izolovaně, protože spolu navzájem souvisejí a ve svých účincích se doplňují nebo si odporují.

Vstřikovací tlak je síla, působící na zplastikovaný materiál v tavicí komoře stroje během vstřikování, vztažená na jednotku plochy průřezu šneku. Tlak taveniny v dutině formy je vnitřní vstřikovací tlak, který je nižší o tlakové ztráty v komoře, v trysce a ve vtokové soustavě. Jeho průběh vyjadřuje poměry ve formě (obr.2).



Obr..2 Tlakový cyklus a časový cyklus při vstřikování

S_K - pohyb šneku při vstřikování a dotlaku

S_N - pohyb formy

V časovém úseku t_{s1} , dojde k uzavření a uzamknutí formy, v t_{s2} se k formě přisune tavicí komora. Pak se dá do pohybu

šnek v tavicí komoře a začíná vstřikování hmoty do formy (A). Během doby plnění t_v roste prudce tlak ve formě. Doba chlazení se dělí na dobu při plném vstřikovacím tlaku (t_d) a dobu bez tlaku. Doba dotlaku t_d slouží k zabránění zpětnému úniku taveniny a vyrovnává se při ní zmenšení objemu hmoty v důsledku jejího smršťování. Končí zatuhnutím hmoty ve vtokovém kanálu (C), takže další prodloužení doby dotlaku již nemá vliv na tlakové poměry v dutině formy. V bodě D se začne šnek otáčet, nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu. Doba potřebná na přípravu nové dávky hmoty se nazývá doba plastikace t_{pl} . Teprve po jejím skončení odjede tavicí komora od formy (E). S pokračujícím chlazením tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku těsně před otevřením formy (F). Výstřik je ochlazen za požadovanou teplotu, dosáhl určité tuhosti. Za čas t_{s3} se forma otevře a výrobek je vyhozen z formy. Doba manipulace t_m slouží k provedení nutných úkonů při otevřené formě (odstranění vtokového zbytku, mazání či očištění formy a pod.).

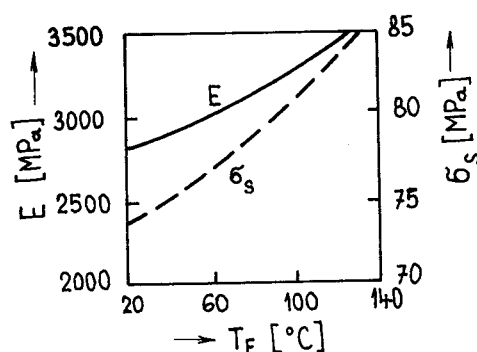
Celková doba strojních časů ($t_{s1} + t_{s2} + t_{s3}$) nepřesahuje u moderních strojů několik málo sekund. Rozhodující část vstřikovacího cyklu představuje doba chlazení, a proto je snaha zkrátit ji např. účinným chlazením formy, zejména míst, kde hmota chladne nejpomaleji.

Vstřikovací teplota. Do pracovního cyklu vstupuje granulovaný plast s teplotou asi 20°C . Pohybem šneku je vtlačován do vyhřívané zóny tavicí komory a stykem se stěnou se ohřívá. Zpočátku stoupá teplota velmi rychle, potom rychlost ohřevu vlivem zmenšení teplotního spádu klesá. Teplota taveniny se tedy jen blíží teplotě vnitřní stěny tavicí komory, přičemž záleží na době plastikace.

Jakmile je hmota vstříknuta do formy (A) , nastává prudké ochlazení stykem se studenou formou a chladnutí pokračuje až do dosažení tuhosti výrobku potřebné k jeho vyjmutí z formy. Po otevření formy a vyjmutí výstřiku pokračuje jeho chladnutí na vzduchu až do vyrovnání teploty s okolím.

S ohledem na požadavek optimální zabíhavosti je výhodná co nejvyšší vstřikovací teplota (snižuje viskozitu hmoty), ale nesmí dojít k degradaci plastu. Zvýšení teploty má současně za následek zvýšení tlaku v dutině formy, protože snižující se viskozita způsobí snížení tlakových ztrát v komoře a ve vtokové soustavě.

Teplota vstřikovací formy. Hlavním úkolem vstřikovací formy je dát zpracovávané hmotě požadovaný tvar a ochladit ji na takovou teplotu, kdy je již výstřik natolik tuhý, že se může bez nebezpečí deformace z formy vyjmout. Z ekonomického hlediska by bylo účelné volit teplotu formy co nejnižší, aby se vstřikovací cyklus co nejvíce zkrátil, avšak z hlediska technologie a vlastností výrobku by měla být co nejvyšší. Čím vyšší je teplota formy, tím větší je zatékavost hmoty a tím nižší může být vstřikovací tlak nebo delší dráha tečení. Výstřik chladne rovnoměrněji, takže se snižuje vnitřní pnutí a zlepšují se mechanické vlastnosti (obr.3).



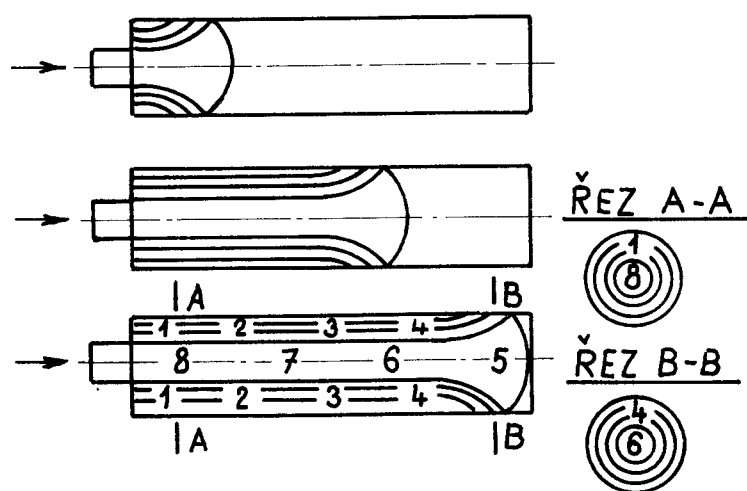
Obr.3 Vliv teploty formy na některé vlastnosti PA 6 /7/

Vyšší teplota formy má za následek větší smrštění výstřiku během výroby, avšak rozměrová stabilita se zvýší. Nejvyšší použitelná teplota musí být vždy nižší, než je teplota tuhnutí příslušného plastu, tzn. u krystalických polymerů to musí být pod T_m .

2.1.3 Průběh plnění dutiny formy

Plnění dutiny formy je nejdůležitějším úsekem celého vstřikovacího cyklu, protože rozhoduje do značné míry o vlastnostech hotového výrobku. Přitom je to děj trvající velmi krátkou dobu (až několik sekund) a probíhající značně složitým mechanismem.

Při popisu průběhu zaplňování dutiny formy roztavenou hmotou je nutno vzít v úvahu, že teplota formy je vždy podstatně nižší než je teplota tuhnutí plastu. Jakmile tedy tavenina přijde do styku s povrchem dutiny formy, okamžitě ztuhne a na stěně formy vytvoří vrstvu nepohyblivé hmoty (obr.4).



Obr.4 Průběh plnění dutiny formy

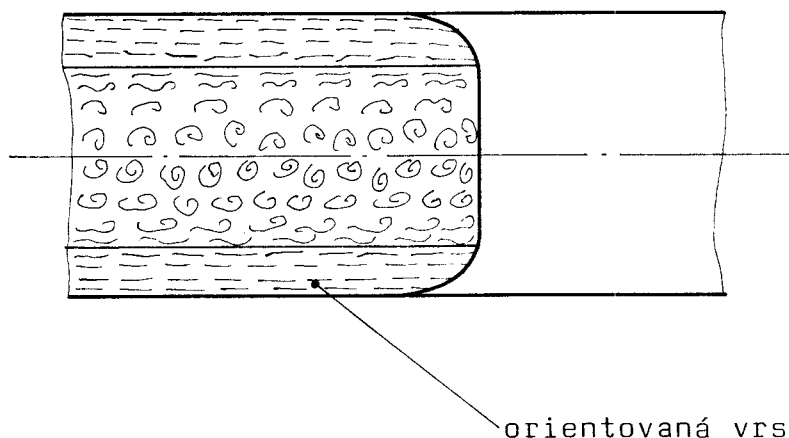
Směrem k ose dutiny se teplota hmoty zvyšuje, protože ztuhlá vrstva působí jako tepelný izolátor. Tak se vytvoří tzv. "plastické jádro" (zóna hmoty s nízkou viskozitou), které umožňuje průtok další taveniny. Hmotu v plastickém jádru je další hmotou vtlačována dále do dutiny formy a na čele postupujícího proudu se roztéká směrem ke stěnám. Tímto mechanismem probíhá proces až do úplného zaplnění dutiny formy.

Zjednodušeně lze říci, že na stěnách dutiny se v okolí vtoku nachází hmota, která do dutiny vstoupila jako první. Dále na stěně dávka číslo 2, 3 atd., zatímco části hmoty vtlačené jako poslední se nacházejí ve středu dutiny (výrobku). V okolí vtoku zůstane ve styku hmota, která přišla do dutiny první s posledním dílem hmoty, což vede ke vzniku velkých vnitřních pnutí v okolí vtoku. Toto místo je náchylné k praskání.

Má-li dojít k dokonalému zaplnění celé dutiny formy, musí být teplota hmoty i na konci formy stále ještě vyšší než spodní teplota zpracování, do které si ještě hmota zachovává využitelnou tekutost. / 4 /

Orientace makromolekul při vstřikování. Není-li zplastikovaná hmota podrobena účinkům vnějších sil, vytvoří se určitá rovnováha, při níž jsou makromolekuly uspořádány v podobě nahodilých klubíček u amorfních plastů nebo v podobě proužků, které tvoří krystalické plasty. Při vstřikování je hmota pod tlakem dopravována tryskou a systémem vtokových kanálů do dutiny formy. Tímto usměrněním proudu hmoty dochází k natažení makromolekul a jejich uspořádání ve směru toku - k tzv. orientaci. Současně probíhá ochlazování od stěn formy a hmota ztuhne, aniž by se natažené makromolekuly stačily vrátit do rovnovážného stavu. A tak se tato energeticky nestabilní struktura

fixuje ve ztuhlém výstřiku (mluví se o zamrzlé orientaci). Míra orientace souvisí s tokovými vlastnostmi plastu a tedy i s technologickými parametry vstřikování: teplotou taveniny a formy, vstřikovacím tlakem a vstřikovací rychlostí. Podmínky k " natažení " makromolekuly jsou tím lepší, čím je smykové napětí mezi sousedními vrstvami proudící hmoty větší. Protože nejvyšší spád smykové rychlosti a tedy i smykového napětí je u stěn trysky a vtokových kanálů a směrem do středu klesá, je orientace největší u stěn a směrem do středu se zmenšuje (obr.5).



Obr.5 Tok zplastikované hmoty kruhovým kanálem

Čím viskóznější je tavenina, tím jsou lepší podmínky pro orientaci. Stupeň orientace roste i s rychlostí vstřikování a se vstřikovacím tlakem. Vyšší teplota formy může stupeň orientace snížit.

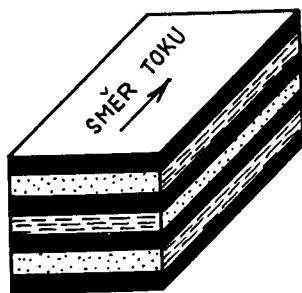
Orientace makromolekul se ve výstřiku projeví především značným zvýšením mechanické pevnosti materiálu ve směru orientace a dodatečným smrštěním výstřiku při ohřevu nad teplotu zesklennosti T_g , zvláště blížíme-li se teplotě T_m , kdy se makromolekuly vracejí do stavu pro ně energeticky nejvýhodnějšího, t.j. neorientovaného. /5/.

Postup plnění dutiny formy taveninou plněného termoplastu.

Díly vyráběné vstřikováním z termoplastů plněných krátkými skleněnými vlákny vykazují kromě orientace molekul a krystalitů (mikrostruktury) také charakteristický stav orientace vyztužujícího plniva (makrostruktury).

Příčinou tohoto jevu jsou smyková napětí provázející tok roztaveného materiálu a nelineární pokles tlaku ve směru dráhy toku. Největší vliv na uspořádání vyztužujících skleněných vláken má geometrie vstřikovaného dílce, zvláště tloušťka stěny, a umístění ústí vtoku. Změny technologických parametrů způsobují jen větší či menší rozdíly v uspořádání. /6/

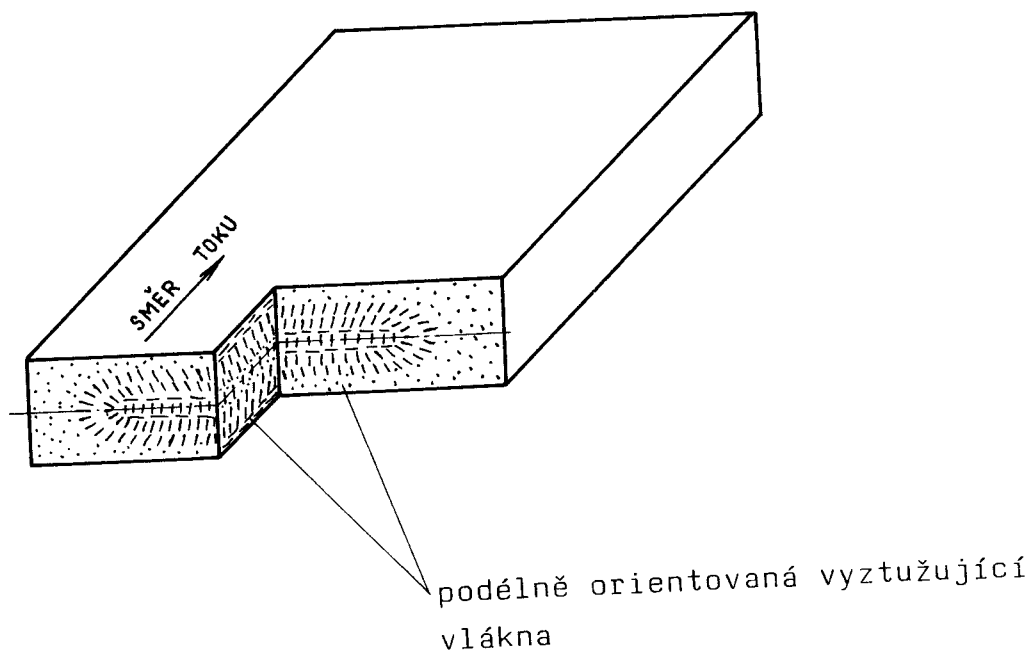
Orientace výztuže způsobuje anizotropii mechanických vlastností a rozměrové změny výstřiků. Ploché výstřiky jsou charakteristické ukládáním vrstev s rozdílným směrem a stupněm orientace skleněných vláken. Kolem střední vrstvy stěny s vlákny převážně orientovanými kolmo ke směru toku materiálu se vytvářejí homogenní ortotropní a podélně orientované vrstvy. Tento jev znázorňuje obr.6.



Obr.6 Orientace vláken v jednotlivých vrstvách stěny desky

Zvětšující se tloušťka stěny způsobuje zvětšení podílu střední vrstvy s orientací vláken kolmo na směr toku. Tloušťka vrstev s podélnou orientací vláken naproti tomu klesá, klesá i tloušťka homogenních ortotropních vrstev. Kromě toho klesá i stupeň orientace vláken.

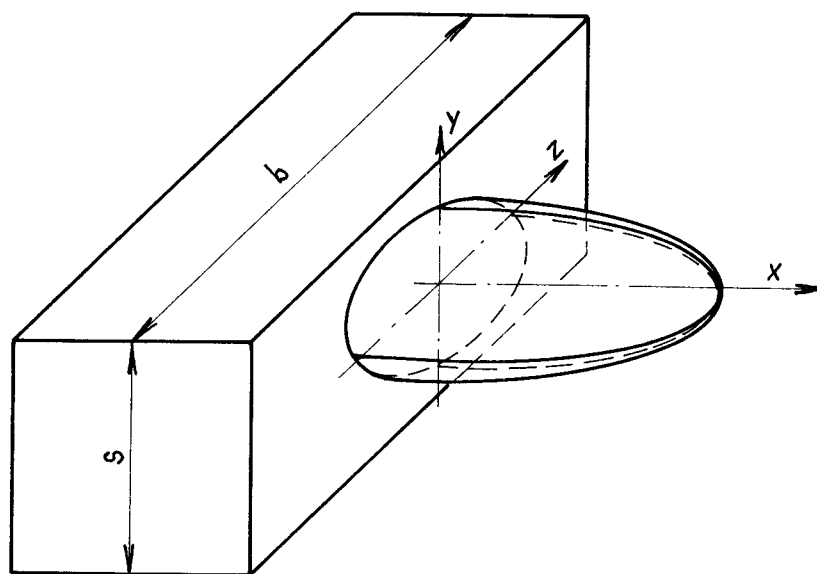
Vzhledem k tvaru tyčí, které používám pro experimentální zkoušku, je pro mě zajímavá makrostruktura vstřikovaných pravoúhlých tyčí. V tyčovém výstřiku z plněného termoplastu vstřikovaném štěrbinovým vtokem na užší straně tyče je vlivem omezeného poměru šířky a tloušťky tvorba vrstev omezena prostorově, jak ukazuje obr.7.



Obr.7 Orientace skleněných vláken ve vstřikované pravoúhlé tyči z termoplastu vyztuženého sklem

Vzniká jenom slabě podélně orientovaná okrajová zóna s následující silně orientovanou zónou uvnitř tyče. Ve středu průřezu vzniká prostorová orientace.

Pokusy na výbrusech ukázaly, že uložení vláken ve střední zóně dostatečně přesně vyhovuje popis pomocí kvadratických parabol, jejichž ortogonálními trajektoriemi jsou elipsy. Z idealizovaného hlediska leží vlákna jako prostorové útvary na pláštích po sobě následujících eliptických paraboloidů, schema znázorňuje obr.8.

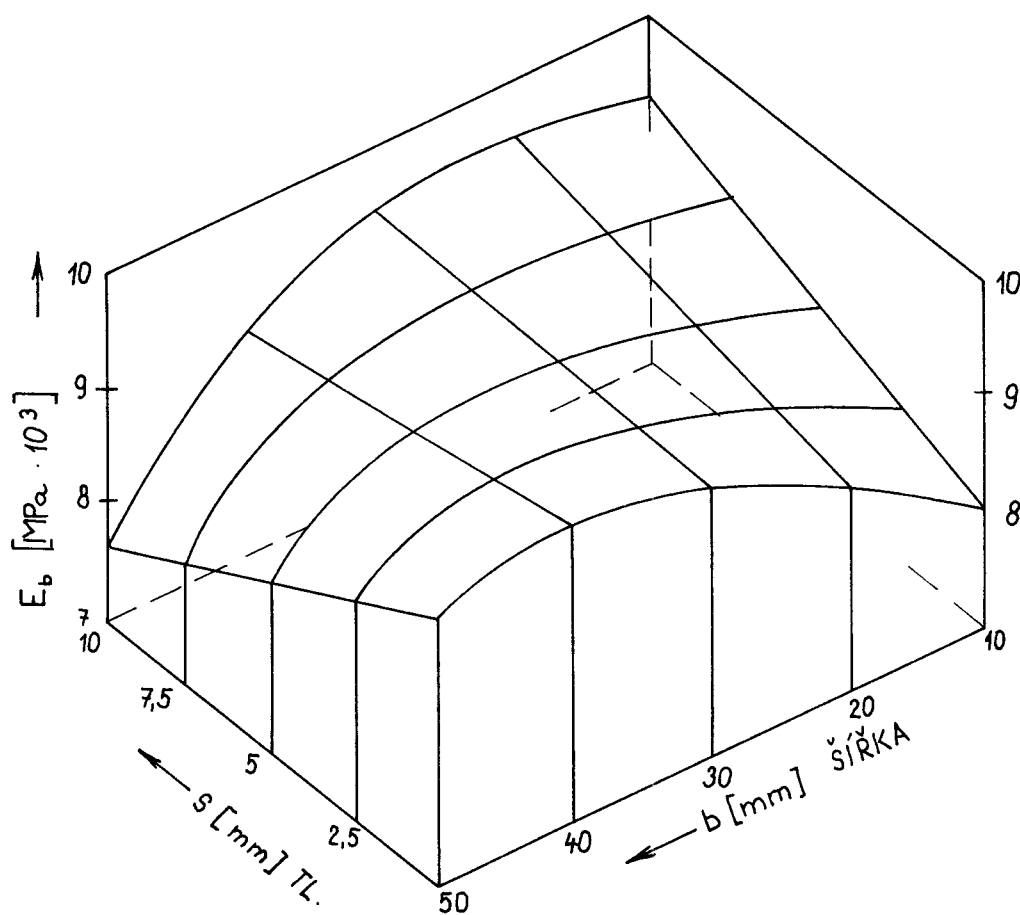


s.. TLOUŠŤKA

b.. ŠÍŘKA

Obr.8 Schema eliptického paraboloidu sloužícího k popisu uspořádání vyztužujících vláken ve střední zóně vstřikované pravoúhlé tyče z plněného termoplastu /6/

Geometrie uspořádání vláken ve střední zóně a její podíl na průřezu určují významně rozložení mechanických vlastností. To je možno ukázat na příkladě závislosti modulu pružnosti v ohybu na rozměrech průřezu s , b , který je zachycen na obr.9.



Obr.9 Závislost modulu pružnosti v ohybu E_b u pravoúhlých tyčí na šířce a tloušťce tyče /6/

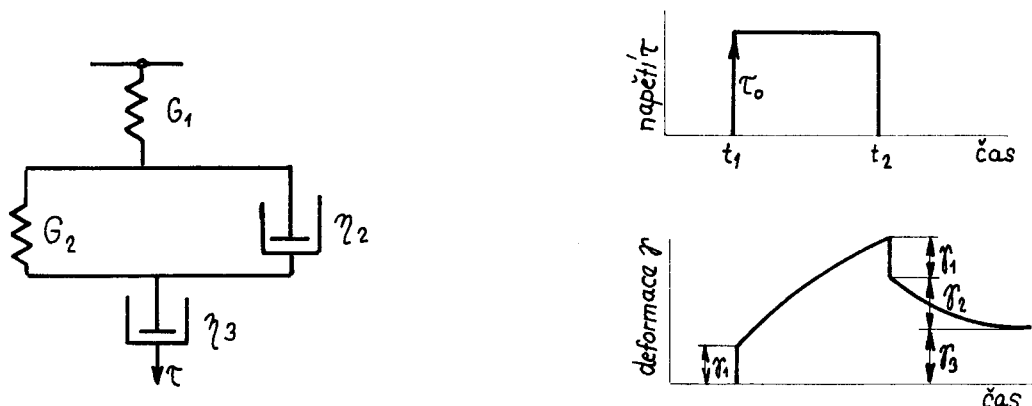
2.2 MECHANICKÉ CHOVÁNÍ NAMÁHANÝCH PLASTŮ

Mechanickým chováním rozumíme odezvu, kterou materiál reaguje na působení vnější síly. Reakce na působení vnější síly je specifickým projevem každého materiálu, její průběh je určen působící silou a souborem vnitřních i vnějších vlivů. Působící síla je charakterizována velikostí, směrem působení a časovým průběhem. Vnější vlivy představují uplatnění parametrů okolí, v němž síla působí: fyzikální vlivy (např. teplota, magnetické pole, záření), chemické vlivy (atmosféra, korozní prostředí a pod.). Vnitřní vlivy představuje struktura materiálu. /8/

2.2.1 Viskoelastické chování polymerů

Mechanické chování plastů označujeme jako viskoelastické, to znamená, že jejich chování vykazuje vždy současně složku elastickou, která přísluší ideálně pružné látce, i viskózní, příslušející viskózní kapalině. Přitom celková deformace polymeru závisí nejen na velikosti působícího napětí, ale i na době jeho působení.

Viskoelastické chování je možné znázornit Tucketovým modelem (obr.10).



Obr.10 Znázornění deformace viskoelastického tělesa

Model sestává ze tří členů. První, znázorněný pružinou, představuje ideálně pružnou čili Hookovu deformaci γ_1 , druhý, reprezentovaný paralelním zapojením pružiny a netěsného válce s pístem, představuje zpožděně elastickou deformaci γ_2 a třetí člen, znázorněný samostatným válcem s pístem, představuje viskózní tok čili plastickou deformaci γ_3 . Celková deformace se rovná:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 \quad (1)$$

Deformace γ_1 a γ_2 jsou dokonale vratné, ale zatímco γ_1 nastává okamžitě, jakmile se na těleso vloží vnější napětí τ anebo se naopak zruší, deformace γ_2 závisí na čase. Funkcí času je i deformace γ_3 , má však trvalý charakter, je nevratná. Deformaci Tucketova modelu popisuje rovnice:

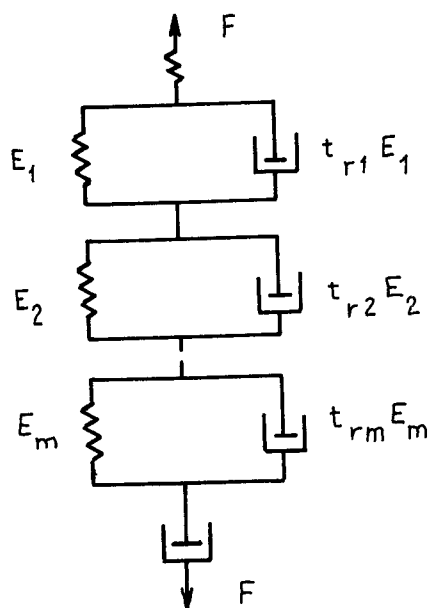
$$\gamma = \frac{\tau}{G_1} + \frac{\tau}{G_2} \left[1 - \exp \left(- \frac{G_2}{\eta_2} \cdot t \right) \right] + \frac{\tau}{\eta_3} \cdot t \quad (2)$$

Zde G_1 (G_2) značí modul pružnosti ve smyku prvního (druhého) členu modelu, η_2 (η_3) je dynamická viskozita druhého (třetího) členu modelu. Poměr $\frac{\eta_2}{G_2} = \tau_r$ se nazývá relaxační čas a vyjadřuje dobu, kterou potřebují makromolekuly polymeru k tomu, aby vytvořily při změně vnějšího napětí rovnovážný stav.

Viskoelastické chování se vyznačuje těmito znaky: Deformace je funkcí nejen napětí, ale i času a je vratná jen částečně. Práce spotřebovaná na deformaci se v deformovaném tělese zčásti ukládá jako potenciální energie a tuto část je možno získat zpět, zčásti se ztrácí ve formě tepla. 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 napětí byla stanovena. Deformace tělesa je bržděna vnitřními viskózními odpory ve hmotě, a proto se nemůže realizovat okamžitě. Čím rychleji má deformace nastat, tím intenzivněji se projevuje brzdicí účinek viskózních členů a tím větší napětí je nutno vynaložit na dosažení určité hodnoty deformace.

Abychom se přiblížili deformačnímu chování skutečných polymerů, kombinuje se více Kelvinových modelů (představují zpožděně elastické členy) za sebou, a tak vzniká modelové spektrum, v němž se jednotlivé členy liší délkou relaxačního času. Nejběžnější spektrum je na obr.11. /4/

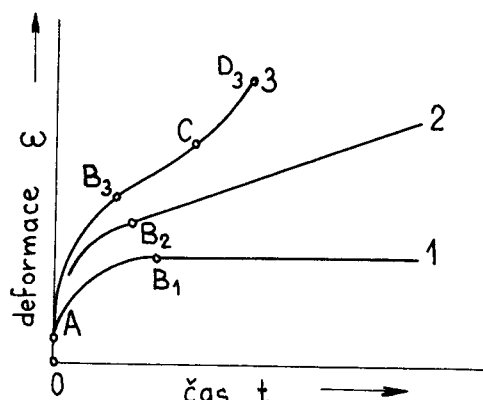


Obr.11 Voigtův - Kelvinův model II

2.2.2 Kríp

Kríp je časově závislá deformace materiálu. Znázorňuje se tzv. kríčovými křivkami, které se získají z výsledků zkoušky tečení při namáhání v tahu /9/. Zkouška spočívá v dlouhodobém statickém namáhání zkušebního tělesa konstantním tahovým zatížením při konstantní teplotě. Deformace může

s časem narůstat různým způsobem, jak ukazuje obr.12.



Obr.12 Schematické znázornění kríповých křivek

Jestliže probíhá deformace podle křivky 3, dojde po určité době k lomu tělesa. V úseku AB křivky 3 dochází ke zmenšování rychlosti deformace, v úseku BC deformace narůstá konstantní rychlostí a úsek CD představuje časový interval narůstání rychlosti deformace, až v bodě D nastane lom. Křivka 2 představuje případ, kdy se po počáteční fázi klesající rychlosti rychlost deformace ustálí a dále je konstantní. Protože však deformace nemůže růst do nekonečna, musí po určité době i zde dojít k lomu anebo křivka 2 přejde v křivku 1. Ta představuje nejvýhodnější případ. Děj je totiž charakterizován vytvořením rovnováhy mezi vnějším namáháním a vnitřní reakcí materiálu, takže v optimálním případě se deformace s časem dále zvětšovat nebude. K tomu dojde v případě zpevnění materiálu. Zpevnění může mít jen dočasný charakter, takže deformace zůstává konstantní jen po určitou dobu. S ohledem na ni se potom volí doba životnosti součásti.

K matematickému vyjádření kríповých křivek byla navržena řada empirických vztahů, např.:

$$\varepsilon_t = A (\sigma) \cdot t^k \quad (3)$$

kde ε_t je deformace v čase t , $A(\sigma)$ je konstanta závislá na napětí, t je čas a k je konstanta.

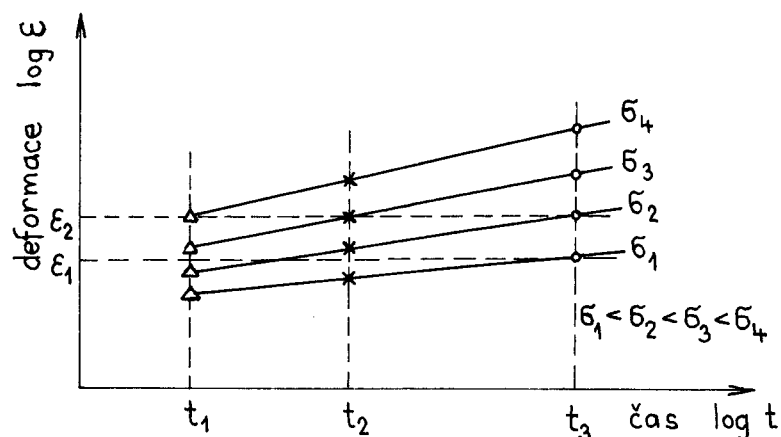
Pro praxi dobře vyhovuje vztah:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 + m \left(\frac{t}{t_0} \right)^n \quad (4)$$

kde ε_t značí deformaci v čase t , ε_0 okamžitou deformaci odpovídající ideálně pružnému členu Tucketova modelu (na obr.12 je vyznačena úsekem OA), t_0 je jednotkový čas, m a n jsou konstanty závislé na materiálu, napětí a na teplotě.

Studium kríkových jevů má zvlášť velký význam u krystalických polymerů, které v rozmezí teplot mezi T_g a T_m vykazují dostatečně vysoký modul pružnosti. Rychlost krípu roste se zvyšující se teplotou a nepřímo závisí na stupni krystalinity.

Je-li závislost deformace při krípu vyjádřena jako funkce času v logaritmických souřadnicích, získá se často přímka (obr.13).



Obr.13 Závislost deformace na čase při krípu

Vztah mezi napětím a deformací při krípu lze vyjádřit vzorcem:

$$\sigma = \varepsilon(t) \cdot E_c(t) \quad (5)$$

kde σ je napětí, $\varepsilon(t)$ časově závislá deformace a $E_c(t)$ tzv. kríповý modul, který nepřímo závisí na době zatížení. /4/

Voigtův - Kelvinův model z obr.11, který se přibližuje deformačnímu chování skutečných polymerů, je zvláště vhodný pro popis kríповých zkoušek.

Chování modelu popisují rovnice:

$$\begin{aligned}\sigma &= E_q \cdot \varepsilon_q \\ \sigma &= E_1 \cdot \varepsilon_1 + t_{r1} \cdot E_1 \cdot \frac{d\varepsilon_1}{dt} \\ \sigma &= E_2 \cdot \varepsilon_2 + t_{r2} \cdot E_2 \cdot \frac{d\varepsilon_2}{dt} \\ &\quad \vdots \\ \sigma &= E_m \cdot \varepsilon_m + t_{rm} \cdot E_m \cdot \frac{d\varepsilon_m}{dt} \\ \sigma &= \eta^{(t)} \cdot \frac{d\varepsilon_m}{dt} \\ \varepsilon &= \varepsilon_q + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_m + \varepsilon_\eta\end{aligned}\quad (6)$$

V rovnicích E_i značí modul pružnosti, t_{ri} časové zpoždění i -tého elementu. Celkové prodloužení je součtem parciálních protažení všech těchto elementů. Protože se zabýváme tahovým namáháním, objevuje se zde místo η veličina $\eta^{(t)}$.

Za konstantního napětí σ_0 vyplývá ze soustavy rovnic (6) pro křivku vztah:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_q} + \sum_{i=1}^m \frac{\sigma_0}{E_i} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{t_{ri}}\right) \right] + \frac{\sigma_0 \cdot t}{\eta^{(t)}} \quad (7)$$

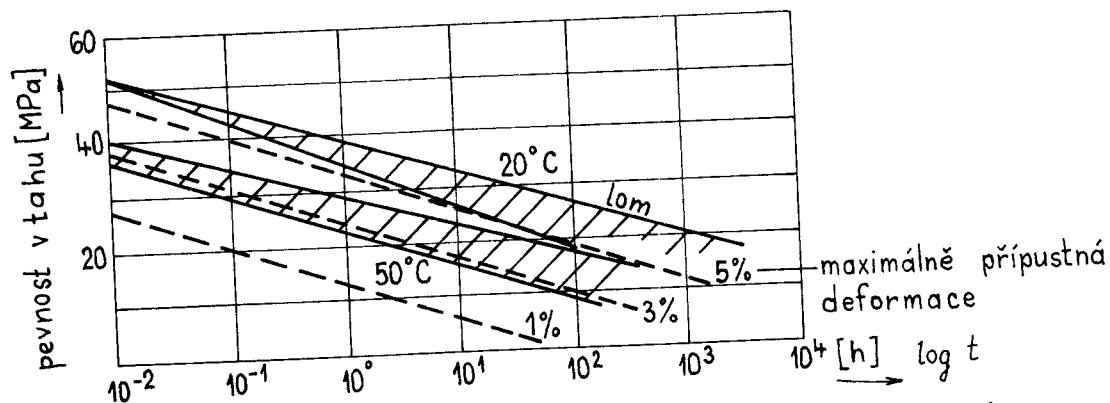
První člen na pravé straně rovnice (7) představuje okamžitou pružnou odezvu, druhý člen vyjadřuje zpoždění odpružení a třetí je limitní tok materiálu při konstantním tahovém zatížení. Rovnice (7) vyhovuje vlastnostem lineárních amorfních polymerů. Popisuje hmotu, která za konstantního napětí okamžitě reaguje pružně, potom se zpožděním pruží a nakonec teče. /10/

2.2.3 Dlouhodobá pevnost plastů

Působí-li na těleso z plastů konstantní napětí, dojde při postupně se zvětšující deformaci po určité době k lomu tělesa. Napětí, které způsobí porušení tělesa po jisté delší době, se nazývá dlouhodobá pevnost (obr.14). Jeho hodnota je nižší než krátkodobá pevnost zjištěná při měření na trhačím stroji. Příčinou poklesu je tzv. statická únava materiálu. /4/

Mez použitelnosti konstrukce je charakterizována jejím mezním stavem, který lze vyjádřit jako okamžik, v němž konstrukce ztrácí schopnost plnit funkci, pro níž byla určena.

Účelnější než dimenzovat součást až na mezní stav porušení celistvosti materiálu je tedy dimenzování podle určité hodnoty maximálně přípustné deformace. Životnost součásti je tím vyčerpána, ale ta neztrácí svou celistvost. Materiálové ovlivnění tohoto mezního stavu lze charakterizovat veličinami, které uvádějí vzájemný vztah mezi zatížením konstrukce a deformační odezvou materiálu. Jsou to napětí, deformace, modul pružnosti. Napětí, které vyvolá během určité doby maximálně přípustnou deformaci, se označuje dlouhodobá časová pevnost (obr.14). Tyto hodnoty se stanoví z krípkových zkoušek. /4/, /8/



Obr.14 Dlouhodobá pevnost (do lomu) a dlouhodobá časová pevnost tvrdého PVC.

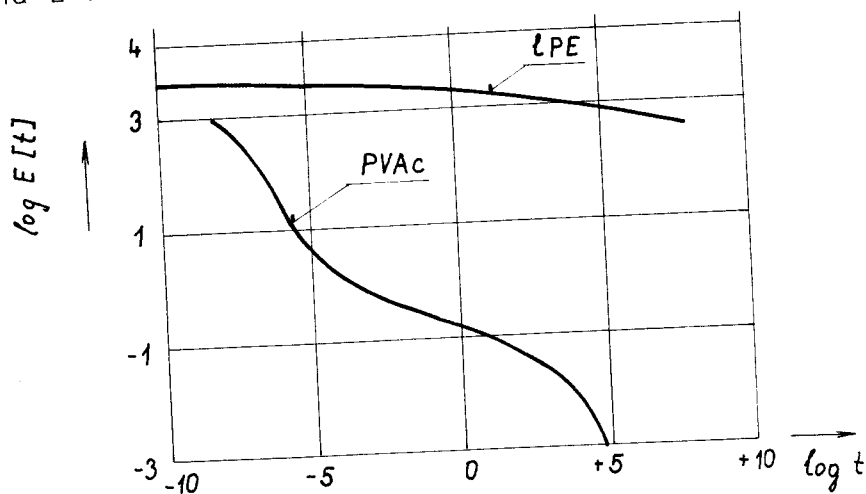
Mezi dlouhodobou pevností nebo dlouhodobou časovou pevností na jedné straně a dobou zatěžování na straně druhé platí v nejjednodušším případě vztah:

$$\sigma = a \cdot \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-n} \quad (8)$$

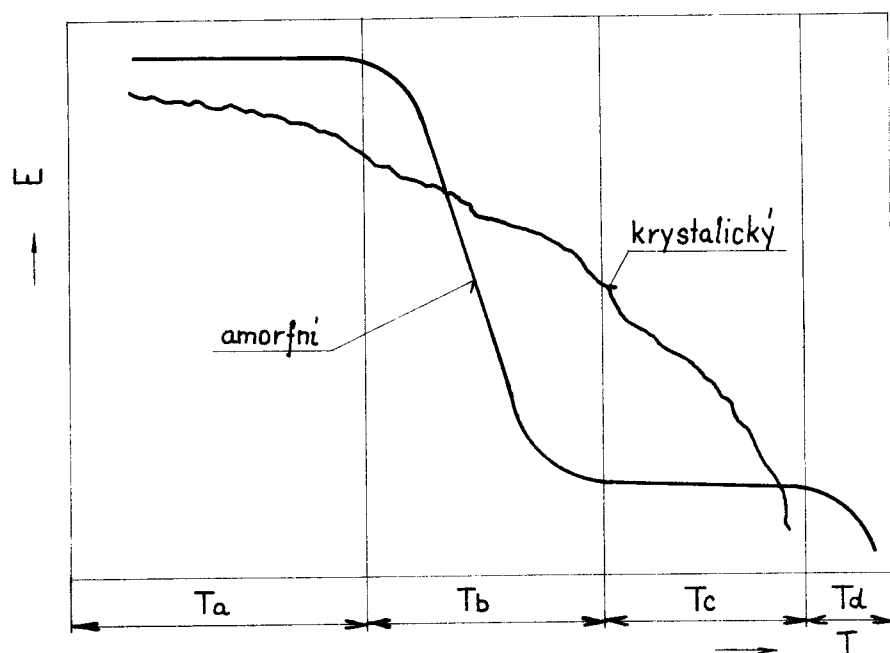
kde značí a konstantu odpovídající krátkodobé pevnosti, t čas působení vnějšího napětí, t_0 jednotkový čas, n konstantu podle druhu polymeru a podmínek namáhání.

2.2.4 Modul pružnosti

Modul, stejně jako napětí u násilně deformovaného dílce či deformace u trvale zatíženého dílce, je funkcí času a teploty. Tvar funkčních závislostí modulu pružnosti v tahu E na čase a na teplotě ukazují obr.15 a 16.



Obr.15 Časová závislost modulu E pro lineární PE a polyvinilacetát

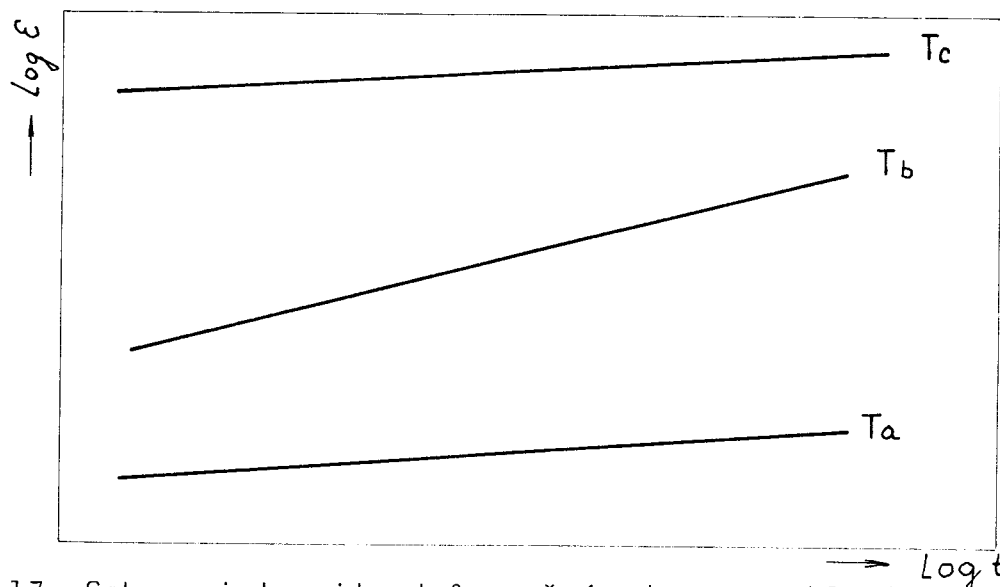


Obr.16 Schema teplotní závislosti modulu E amorfních a krystalických termoplastů. T_a - teplotní oblast sklovitého chování, T_b - oblast přechodových teplot, T_c - oblast kaučukové elasticity, T_d - toková oblast

Na průběhu závislosti z obr.16 vidíme jasně odlišené oblasti mechanického chování: ve sklovité oblasti (T_a) má materiál vysokou hodnotu modulu E , přechodová oblast (T_b) je charakteristická poklesem E o několik řádů. Během kaučukovité (T_c) a tokové oblasti (T_d) zůstává modul pružnosti nejprve na stálé úrovni v nízkých hodnotách resp. klesá (u krystalických polymerů) a při přechodu v kapalně skupenství (oblast T_d) klesá k zanedbatelným úrovním.

Uvedeným oblastem mechanického chování přísluší rozdílný charakter odezvy na vloženu sílu. Ve sklovité oblasti (T_a) je materiál tuhý, podíl elastické deformace je vysoký, rychlost tečení malá. V přechodové oblasti (T_b) se zvyšuje rychlost tečení při zvýšeném podílu zpožděné elasticity (obr.17). Elastické deformace ve vysokém stupni

a nízká rychlost tečení jsou průvodními znaky oblasti kaučukové elasticity (T_c).



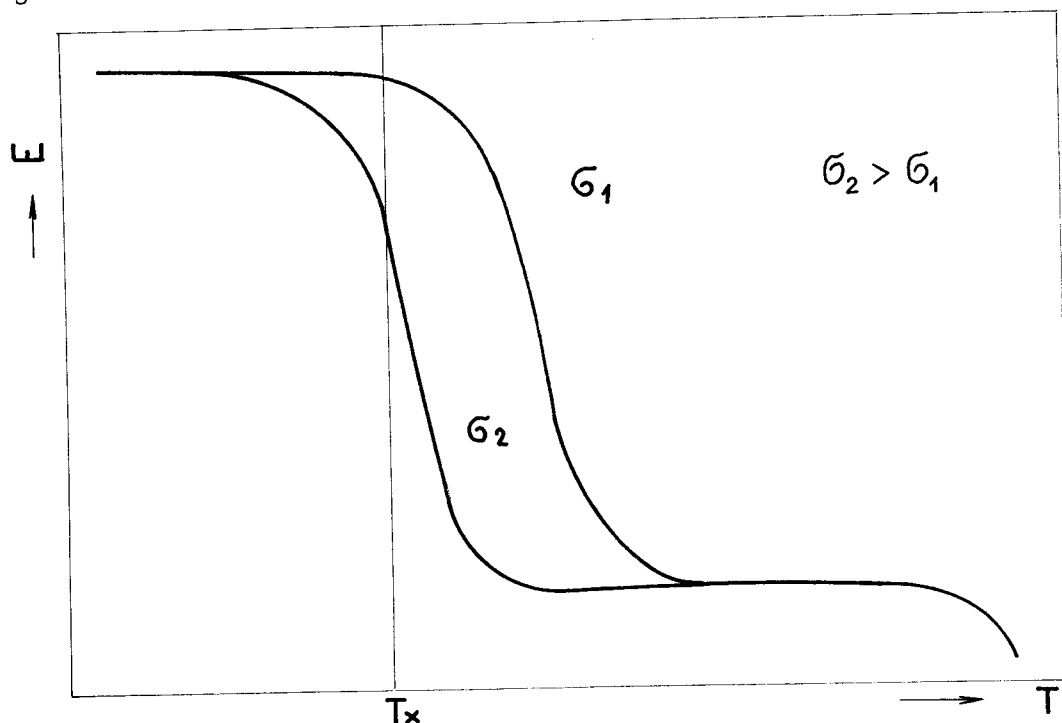
Obr.17 Schema intenzity deformační odezvy v oblasti krípu pro pokusy uskutečněné v různých oblastech teplotního spektra podle obr.16

Obr.15 a 16 ukazují shodný tvar časové i teplotní závislosti modulu pružnosti. Shodné jsou i pojmy odezvy na vloženou sílu. Plast, který se bude při krátkodobě působící síle za teploty odpovídající sklovité oblasti chovat jako křehká tvrdá hmota, se při dlouhodobém zatížení může chovat jako kaučukovitý materiál s řádově značně nižší hodnotou modulu E .

Modul pružnosti je definován jako poměr napětí a deformace $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$. Je-li jejich podíl ve sledované časové souřadnici při dané teplotě konstantní pro několik hodnot napětí, je materiál v daném časově teplotním rozsahu tzv. viskoelasticky lineární - modul E v této oblasti nezávisí na napětí. Z výpočetního hlediska výhodná oblast viskoelastické linearit (viz uvedené modely deformačního chování) je omezena na velmi úzké a z hlediska aplikace nepodstatné oblasti napětí, časů a teplot.

S viskoelastickou nelinearitou je nutno počítat i při hodnocení přejímaných nebo empiricky zjišťovaných informací

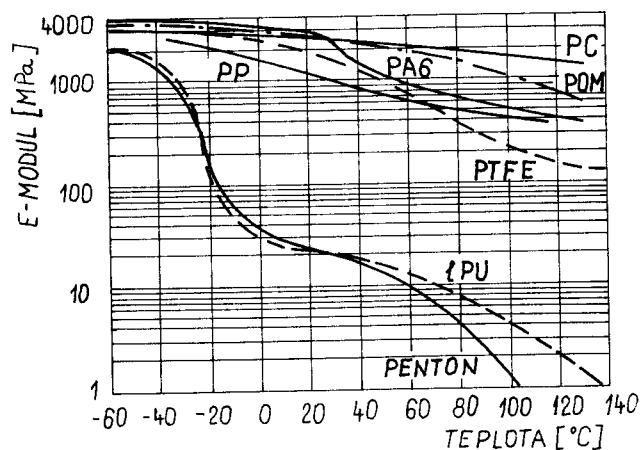
o mechanickém chování plastů. Příklad ovlivnění teplotního spektra modulu pružnosti amorfního plastu úrovní napětí σ , z níž je modul stanoven, ukazuje obr.18. Největší rozdíly jsou v oblasti přechodových teplot.



Obr. 18 Schema vlivu výše σ působícího při stanovení modulu E na ovlivnění výsledku při překročení mezí viskoelastické linearity

Uvedené tvary závislostí jsou společné celé paletě plastů. Změna jejich tvaru je ovlivněna odlišností struktury ať v makroměřítku (vliv plniva u zkoušeného Silamidu), v měřítku nadmolekulární struktury (krystalické plasty - obr.16) nebo v molekulárním měřítku (zesíťované či trojrozměrné struktury). Při rozhodování o konstrukčním užití plastů je zvláště nutno brát v úvahu údaje vystihující projevy mechanického chování ve vztahu k době působení

zatěžující síly a k teplotě, při které síla působí
(obr.19). /8/



Obr.19 Závislost E - modulu na teplotě pro některé termoplasty

2.3 Kompozitní materiály

Polymery mají proti klasickým materiálům vedle řady výhod i některé nevýhody, které brání určitým aplikacím. Zlepšování funkčních vlastností homogenních materiálů náročnějšími technologiemi a ovlivňování jejich fyzikální skladby často nevede k výsledkům úměrným námaze. V současné době převládá trend využít vynikajících vlastností kombinovaných materiálů a plánovaným stupněm heterogenity dosáhnout požadovaných kombinací vlastností. /11/

Návrh doplňků k názvoslovné normě ISO 472 definuje kompozit jako " buď a) materiál složený ze dvou nebo více fází, které zahrnují pojivo (matrici) a v něm dispergované pevné částice nebo vlákna nebo b) materiál tvořený dvěma nebo více vrstvami, jako jsou fólie, desky, tvrdé lehčené hmoty, kov, dřevo nebo i kompozit podle první definice,

a to buď s adhezními mezivrstvami nebo bez nich."

Z obecného pohledu je však rozdíl mezi homogenním a heterogenním (kompozitním) materiálem vlastně jen smluvní, protože zcela homogenní kontinuum se v přírodě nevyskytuje /12/. Důležitou podmínkou dobrých vnějších konstrukčních vlastností je schopnost materiálu blokovat vznik a šíření trhlin. Aby byly strukturní bariéry proti trhlinám účinné, nesmějí být struktury příliš malé, zhruba pod desetinu mikrometru (10^{-7}m). Termín kompozitní materiál má tedy praktický smysl v podstatě až nad touto hranicí velikosti strukturních útvarů.

Vývoj kompozitních materiálů simulací přírodních pochodů je velmi perspektivní. Při optimálním navržení a důsledném dodržení výrobní technologie může kompozitní materiál dosáhnout značně vyšší mechanické pevnosti, tažnosti a houževnatosti, než má výchozí homogenní materiál. Zlepšování plastů pomocí plniv má i některé záporné důsledky. Nevýhodou je např. skutečnost, že většina plniv je abrazivní. Tím trpí především formy, ale i ostatní zařízení, v nichž se plasty vyrábějí. Dále se prakticky nedaří naplnit polymer více než 30 až 35 hmotnostními procenty plniva, protože směs se pak těžko zpracovává. /11/

Kritickým místem každého kompozitu je styčná plocha nebo mezivrstva mezi pojivem a výztuží. Zde se rozhoduje o vnější pevnosti a sem se koncentrují mechanická napětí. Fázové rozhraní slouží jako nukleační plocha pro krystalizaci, místo, kde se uplatňuje přednostní adsorpce a probíhají chemické reakce. Pro maximální možnou tuhost kompozitního systému je jediným požadavkem, aby obě fáze byly v kontaktu, který je schopen přenášet mechanické napětí. Obecně platí, že všechny pevnostní vlastnosti a životnost jsou citlivé na pevnost a stabilitu mezifázové adheze. Nedokonalá vazba obou fází v kompozitu je nejen příčinou snížené krátkodobé pevnosti, ale navíc usnadňuje pronikání aktivního prostředí

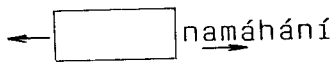
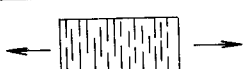
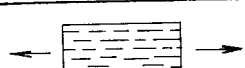
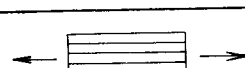
(např.vody) podél rozhraní, což je po určité době příčinou celkového selhání materiálu. /12/

Zlepšené vlastnosti, které kompozitní materiály získávají, jim umožňují konkurovat i velmi pevným kovům a slitinám. Často je dokonce překonávají, vztáhne-li se jejich pevnost na měrnou hmotnost materiálu. Z tohoto hlediska lze materiál charakterizovat tzv. tržnou délkou, t.j. hypotetickou délkou zkušebního tělesa, které by se při zavěšení přetrhlo působením své vlastní hmotnosti. Např.tržná délka oceli je 14 km, zatímco u epoxidu vyztuženého skleněnými vlákny ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$) dosahuje 80 km (u homogenního epoxidu pouze 3 km). /11/

Vyztužené plasty tedy získávají v porovnání s neplněnými vyšší pevnostní hodnoty i vyšší tepelnou odolnost. Snižuje se však tažnost a tedy i houževnatost, zmenšuje se kríp.

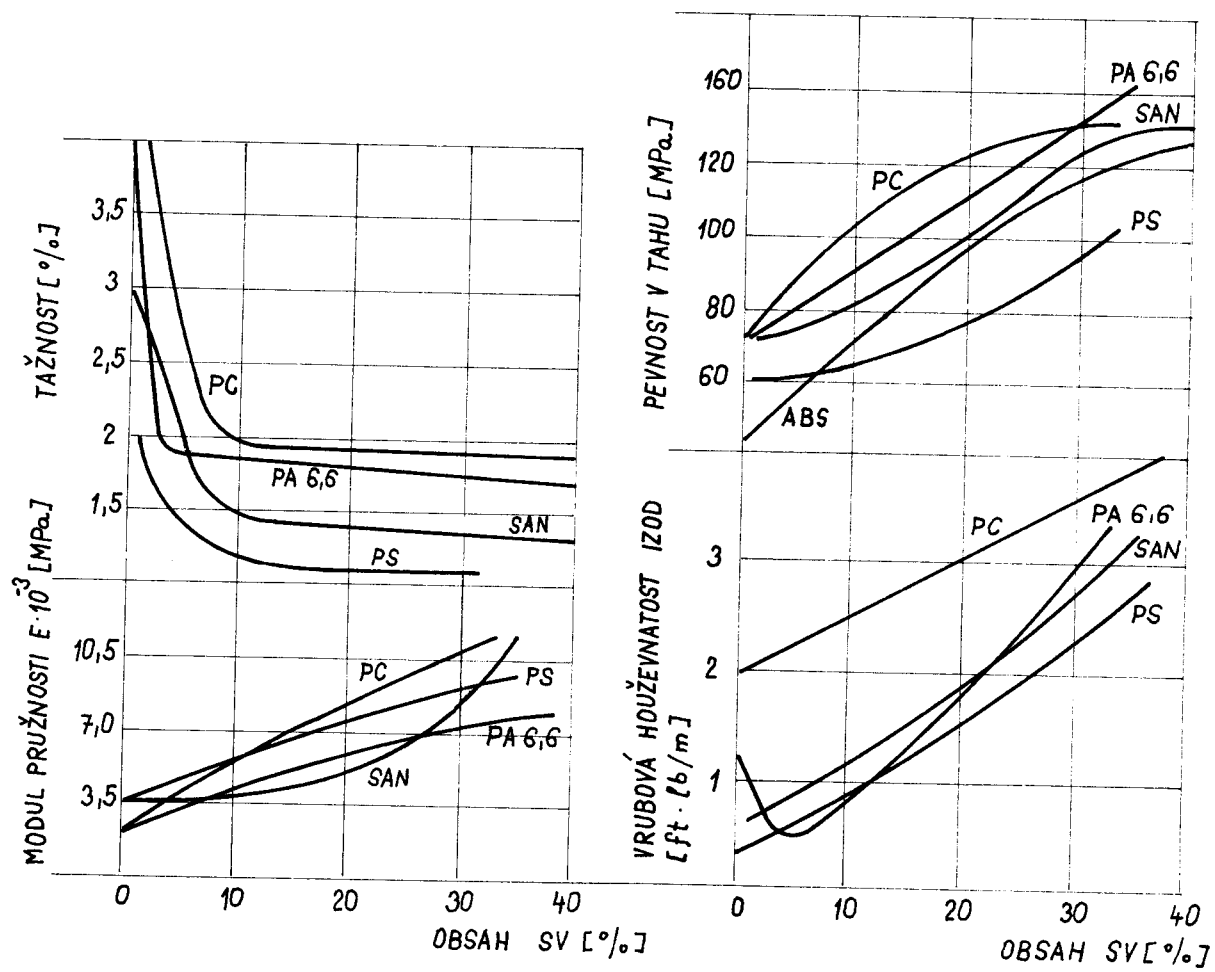
Ovlivnění mechanických vlastností značně závisí na tvaru částic plniva. Nejmenšího ztužení se dosáhne u izotropních plniv, vyšší ztužení dávají vrstevnatá plniva a vlákna. Vlastnosti vláknových kompozitů dále závisí na orientaci vláken vzhledem k působící síle a také na tom, jde-li o krátká nebo dlouhá vlákna. Pro systémy epoxid - sklo to dokumentuje tab.I. /12/

Tab.I Mechanické vlastnosti kompozitu epoxid - sklo
podle směru působící síly

Geometrie kompozitu	v_f	σ_{bf} /MPa/	E /GPa/	tažnost %/
 namáhání	0	70 - 85	2 - 3	4 - 5
	0,5	60 - 75	10 - 12	2 - 2,5
	0,5	40	10	0,4 - 0,5
	0,5	280	31	0,6 - 1
	0,6	35 - 40	12,5 - 14,5	0,4
	0,6	900 - 1100	43 - 47	2

v_f ...objemový zlomek výztuže , σ_{bf} ..pevnost v tahu vlákn

V současné době je velice rozšířeno používání skleněných vláken jako vyztužujícího plniva u výrobků z termoplastů zhotovovaných vstřikováním. Skleněná vlákna při obsahu asi 30 hmotnostních procent zvyšují ve srovnání s neplněnými hmotami pevnost v tahu 1,5 až 3,5 krát, pevnost v ohybu 1,2 až 4 krát, modul pružnosti v tahu 2,7 až 7,5 krát a tvarovou stabilitu o 10 až 120°C. Dále udržují dobrou houževnatost za nízkých teplot a omezují protažení (na 3 až 50%) a délkovou roztažnost (na 20 až 50). Dovolují vyrábět hmoty s E = 75 až 80 GPa, pevností v tahu 35 až 160 MPa a v ohybu 55 až 200 MPa. Mezi nejvýznamnější zlepšení vlastností patří zvýšení dlouhodobé pevnosti. /13/ Vliv obsahu skleněných vláken na mechanické vlastnosti ukazuje obr.20.



Obr.20 Vliv obsahu SV na mechanické vlastnosti některých plastů /8/

3. Experimentální část

Úkolem experimentální části bylo provedení dlouhodobé zkoušky v tahu na tyčích ze Silamidu a ze získaných výsledků určit vliv plniva a technologických podmínek vstřikování na dlouhodobou pevnost v tahu. Zkušební z měření měly vést k návrhu změn v uspořádání přístroje.

3.1 Dlouhodobá zkouška v tahu

Patří mezi zkušební postupy poskytující informace o vlivu času na deformační a lomové chování materiálu. Získané údaje často představují podklady pro konstrukci a výpočet dílců.

V našem případě, kdy je prodlužování zkušebních těles omezeno rozsahem pohybu pákového převodu, lze uvažovat jako mezní podmínku namáhání nepřekročení určité deformace. Pak jde o zkoušku tečení (kríp), při které se sleduje izotermně vzrůst deformace zkušebního tělesa zatíženého konstantní silou. Naměřené hodnoty, které jsou výsledkem měření, je obvyklé převést na formu pracovních diagramů, podávajících informace o průběhu mechanického chování.

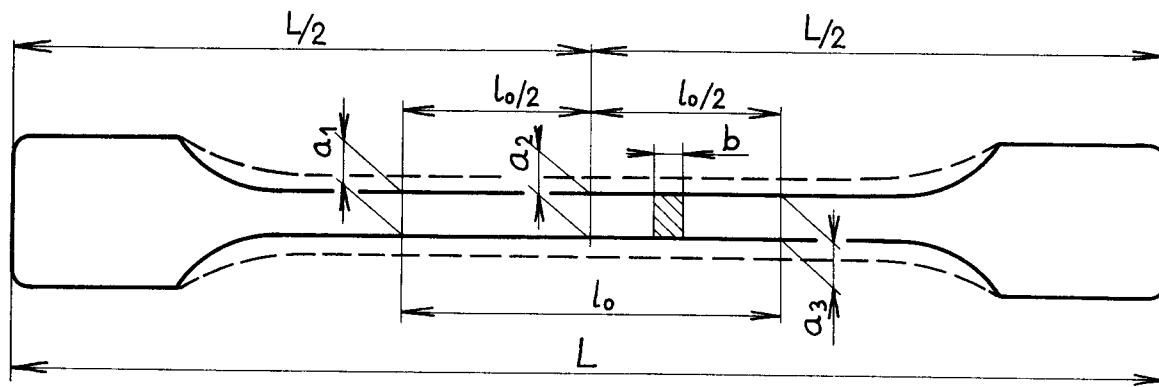
Dlouhodobé zkoušky poskytují mnohem více informací o materiálu než tzv. krátkodobé zkoušky (závislosti deformace - napětí - čas, i teplotně časové vztahy při zkouškách za různých teplot) a poskytují tedy úplnější podklad pro rozvahu o použití plastu za namáhaný dílec. Ani tyto údaje nelze přejímat jako vyčerpávající podklady pro konstrukci. Zkušební těleso představuje totiž ve značné míře idealizaci posuzovaného materiálu. Proto nejmodernější směry výzkumu materiálu používají zkušební

metody realizované na modelových zkušebních tělesech nebo na hotových výrobcích. /14/

Zkouška tečení při namáhání v tahu probíhá podle ČSN 64 0621.

3.2 Postup zhotovení zkušebních těles

Pro zkoušku tečení se používají zkušební tělesa podle /15/ typu 2 vstřikovaná na lisu CS 88/63 umístěném v dílnách KPT - VŠST. Frézováním jsou upravena tak, že se šířka pracovní části zmenšila přibližně na polovinu, jak ukazuje obr.21. Původní rozměr průřezu nedovoloval při zatížení, které je možno na stávajícím zařízení vyvodit, dosáhnout zaznamenané prodloužení zkušební tyčky. Proto bylo nutno zmenšit průřez zkušební tyčky i za cenu porušení struktury výstřiku, které obráběním nastalo.



Obr.21 Úprava rozměrů zkušební tyčky. Vyznačení míst proměřování.

Materiál zkušebních těles je Silamid vstřikovaný za různých technologických podmínek neplněný nebo plněný 30% resp.15% skleněných vláken. Skupiny tyček podle technologických podmínek vstřikování a podle obsahu plniva jsou uvedeny v tab.II.

Tab.II Varianty technologických podmínek a obsahu SV
pro zkušební tělesa

SV /%/	15				30				0			
T_f /°C/	40		80		40		80		40		80	
p_{vs} /MPa /	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
Označení varianty v textu	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B	C	D

SV - skleněná vlákna, T_f - teplota formy, p_{vs} - vstřikovací tlak

3.3 Zkoušený materiál

Silamid je polyamid PA 6 vyráběný v PCHZ Žilina. PA 6 je krystalický polymer s charakteristickou amidovou skupinou - NH - CO -. Monomer přítomný v PA 6 působí jako změkčovadlo, zvyšuje houževnatost, snižuje σ_k . PA 6 patří vlivem polárního charakteru hmoty k silně navlhavým plastům. Také voda plní funkci změkčovadla, současně snižuje teplotu zesklenní T_g . PA 6 vykazuje značný kríp, který se zvětšuje s rostoucím obsahem vody a monomeru a samozřejmě se stoupající teplotou a zatížením. Mechanické vlastnosti se tedy mohou pohybovat v širokém rozmezí, protože závisí značně na obsahu vody a monomeru. Z těchto důvodů závisí i na technologii výroby plastů u konkrétního výrobce, na způsobu přepravy a skladování i na podmínkách zpracování. To platí pro neplněný PA. Ke zkoušce byla použita také tělesa vstřikovaná z PA 6 plněného krátkými skleněnými vlákny. Takové zkušební tyčky mají zlepšené pevnostní hodnoty, tvarovou stálost při vyšších teplotách, nižší navlhavost a smrštění. Vykazují však orientaci plniva, která způsobuje anizotropii mechanických vlastností i rozměrových změn. Hodnoty některých vlastností Silamidu

13.01 E - SV 30, které uvádí výrobce, jsou v tab.III. Pro srovnání jsou v tabulce uvedeny i hodnoty neplněného Silamidu 11.01. /16/ " 15 procentní PA " byl vystříknut ze směsi neplněného PA a Silamidu 13.01 E - SV 30, který obsahuje 30% skleněných vláken.

Tab.III Vlastnosti plněného (30% SV) a neplněného PA 6

Vlastnost	Silamid 13.01 E-SV 30	Silamid 11.01
Měrná hmotnost /kg.m ⁻³ /	min 1 330	1 130
Teplota tání /°C/	218 ¹⁾	224
Pevnost v tahu /MPa/	min 75	37 - 56
Tažnost /%/	3,9 - 4,2 ¹⁾	12 - 71
Vrubová houževnatost /kJ.m ⁻³ /	min 10	0,3 - 1,9

Hodnoty označené ¹⁾ převzaty z /16/

3.4 Postup zkoušky

Před zkouškou byl na pákových nůžkách odstřižen vtokový zbytek výstřiků a pomocí vrtacího přípravku se vyvrtaly otvory na obou koncích tyček. Otvory slouží k upnutí tyček pomocí šroubů do čelistí zkušebního zařízení. Šířka a tloušťka byla proměřena na 3 místech po měřené délce (obr.21), rozměry jednotlivých těles jsou uvedeny v příloze. Měřená délka 50 mm (obr.21) se vyznačí barevnou lepicí páskou. Po upnutí tyček do zkušebního zařízení je nutno znovu změřit referenční vzdálenost a tuto hodnotu zaznamenat jako počáteční délku l_0 . Čas

uvolnění závaží se zapíše jako čas $t = 0$. Poté v určitých časových intervalech, zpočátku kratších (5 min), s dobou zatížení se intervaly prodlužují, provádíme měření. Změnu hodnoty měřené délky sledujeme pomocí optického měřicího zařízení, měřidlem je mechanický setinový úchylkoměr. Výsledkem zkoušky jsou hodnoty prodloužení zkušebních těles. Ty spolu s hodnotou zatížení slouží k určení modulu tečení v tahu:

$$E_c(t) = \frac{\sigma}{\varepsilon(t)} \quad (9)$$

kde σ je napětí v MPa a $\varepsilon(t)$ celkové poměrné prodloužení v čase t , které se vypočítá ze vztahu:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (10)$$

nebo v procentech: $\varepsilon'(t) = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \quad (11)$

kde $\Delta l = l - l_0$ je celkové prodloužení v mm, přičemž l je měřená délka zkušebního tělesa v daném okamžiku zkoušky v mm, l_0 je počáteční měřená délka nezatíženého zkušebního tělesa v mm.

Pro $E_c(t)$ je nutné udat podmínky, za kterých byl stanoven (teplota, napětí).

Jmenovité napětí σ v MPa se vypočítá:

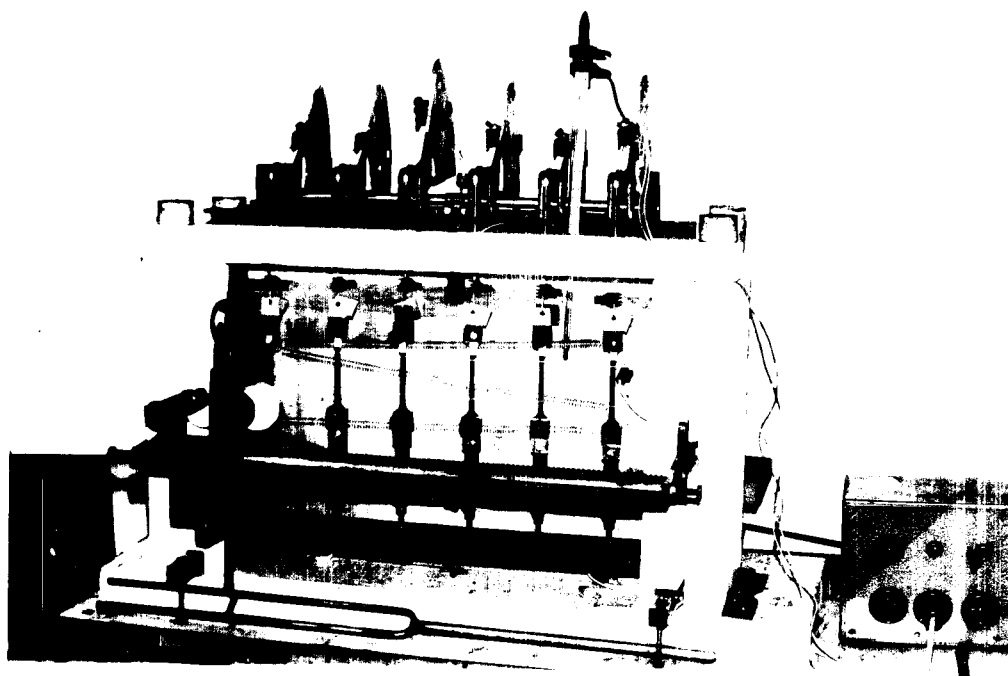
$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (12)$$

kde F je zatížení v N, S počáteční příčný průřez zkušebního tělesa v mm^2 .

Vyjádřením výsledků zkoušek tečení jsou křivky závislosti modulu tečení v tahu na čase.

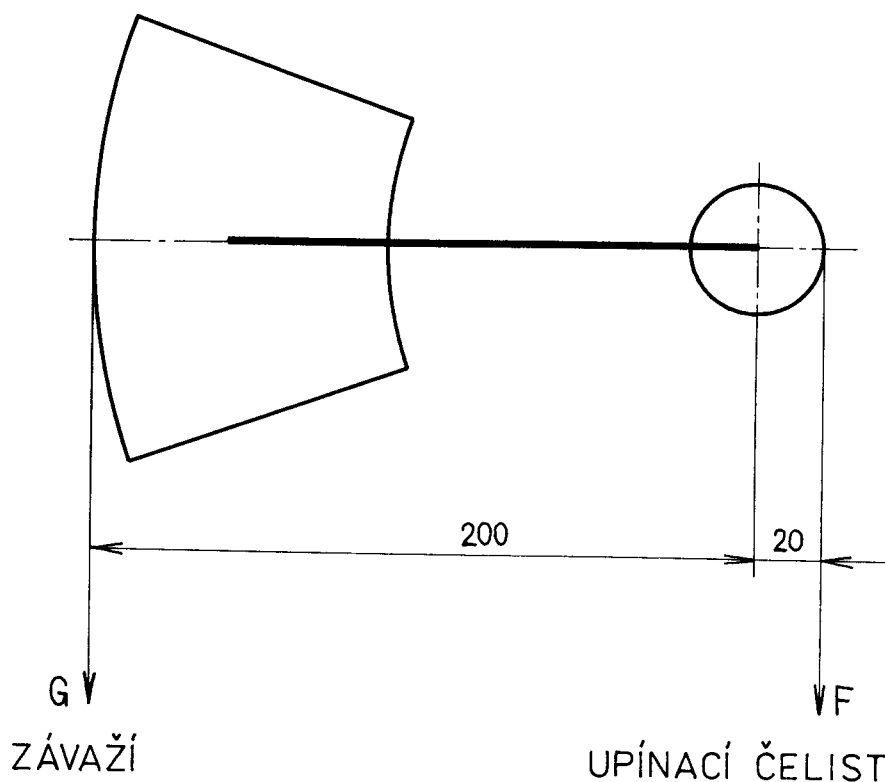
3.5 Popis zkušebního zařízení

Zkušební zařízení vyrobené v dílnách KPT - VŠST určené pro dlouhodobou zkoušku v tahu je šestimístné. Skládá se z rámu, který nese zatěžovací systém a vodící tyč optického systému. Zařízení je izolováno od okolí deskami z pěnového polystyrénu a vytápěno plošným odporovým článkem. Přední stěna je z plexiskla. Obr.22.



Obr.22 Zkušební zařízení

Rám zkušebního zařízení je svařen z tenkostěnných čtvercových a U profilů. Zatěžování je nepřímé, přes pákový převod v poměru 10 : 1 (obr.23).



Obr.23 Princip nepřímého zatěžování

V ose zkušebního tělesa působí tedy síla 10 krát větší, než jakou vyvozuje závaží. Současné zatížení všech tyček umožňuje tyč pohyblivě uložená pomocí čepu vedeného v pouzdře, který je součástí rámu. Při velkém zatížení je ovládání tyče ruční pákou značně obtížné. Zkušební tělesa jsou upnuta do naklápěcích čelistí. Spodní čelisti jsou upevněné na spodním nosníku rámu stroje maticemi, kterými je možno měnit polohu čelistí. Horní čelisti přenáší

zatížení na zkušební tyčky přes brzdové lanko, jenž zajišťují totožnost směru působící síly a osy tyčky.

Deformace zkušebního tělesa se měří pomocí optického zařízení s nitkovým křížem. Ve vertikálním směru se okulár posouvá pomocí pohybového šroubu v rybině. Tento pohyb sleduje setinový úchylkoměr. Vložením měrky o délce 50 mm do ryby pod úchylkoměr lze měřit polohou dolních rysek zkušebních těles, horní rysky se změří přímo. Mezi jednotlivými vzorky se optické zařízení pohybuje po vodící tyči s drážkou.

Plošný odporový článek je zhotoven z dřevěné desky, na které je připevněna topná spirála z konstantanu o měrném odporu $0,5 \Omega \text{ m}$. Výkon topné spirály lze nastavit regulačním autotransformatorem RA 10. Regulace teploty je zajištěna teploměrem Vertex se rtuťovým relé MRK 15.

3.6 Vlastní zkouška

Dlouhodobou zkoušku v tahu jsem prováděla vždy na šesti vzorcích, z nichž každý byl zástupcem jiné skupiny (např. 1. zkouška byla se vzorky 1, 3, 5, 7, A, C). Zkoušky probíhaly nejprve při teplotě okolí $T = (10 \pm 3)^\circ\text{C}$ a při stejném zatížení pro každou zkušební tyč.

Požadavek byl zjistit hodnotu zatížení, které by přibližně po 7 dnech vedlo k přetržení zkušebního tělesa. Nastal by případ odpovídající úseku CD na obr. 12 kapitoly 2.2.2 Kríp, kdy rychlost deformace rychle narůstá s časem až nastane lom. Vyšla jsem z informací od výrobce Silamidu 13.01 E - SV 30 a z hodnot zjištěných krátkodobou zkouškou v tahu, která byla provedena v n.p. Plastimat Liberec na 6-i tyčích z téhož materiálu. Minimální hodnota meze pevnosti v tahu při zkoušce v Plastimatu dosáhla 131,19 MPa. Výrobce uvádí jako minimální hodnotu 75 MPa, a té odpovídá síla 3000 N, tj. 305,81 kg. Na zkušebním zařízení lze vyvodit

sílu $F = 1019,0628 \text{ N}$ na jednu tyčku. Po změření zkušební série bylo nutno zmenšit průřez tyček na polovinu, aby bylo dosaženo měřitelného prodloužení (obr.21). Hodnota jmenovitého napětí tak dosáhla 67,9% minimální meze pevnosti. Prodloužení vykazovalo poměrně nízké hodnoty, a proto byla dosti vysoká pravděpodobnost nepřesného odečtení měřených hodnot. Při zvýšení teploty od osmé zkoušky na $(40 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ dosáhlo prodloužení některých vzorků mezní hodnoty (dána rozsahem pohybu pákového převodu) za dobu kratší než 7 dní, a u těch bylo nutno při další zkoušce snížit zatížení.

3.7 Zpracování výsledků

V průběhu zkoušky byly v určitých časových intervalech odečítány hodnoty celkového prodloužení zkušebních těles (uvedeny v tab.č.VII až XVIII přílohy) namáhaných napětím σ , které se vypočítá podle (12). Síla ve vztahu (12) se vypočítá:

$$F = m \cdot g \cdot a \quad (13)$$

$$m = m_1 + m_2 \quad (14)$$

kde m je celková hmotnost v kg, m_1 hmotnost závaží a $m_2 = 0,448 \text{ kg}$ hmotnost závěsu, g je gravitační zrychlení v $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a = 10$ je vyjádřením poměru převodu na páce.

Hmotnost závaží při jednotlivých zkouškách a tomu odpovídající síly jsou uvedeny v tab.IV.

Tab.IV Hmotnost závaží a velikost sil pro zkoušky tečení

Číslo zkoušky	1 až 8 12	vzorky 9.zkoušky			vzorky 10.,11.zkoušky		
		2,4	6,8,B	D	2,4	6,8,B	D
hmotnost závaží /kg/	9,94	8,49	9,94	7,06	8,49	9,94	5,61
zatížení/N/	1019,06	876,82	1019,06	736,53	876,82	1019,06	594,29

Hodnoty prodloužení naměřené při zkouškách byly použity k výpočtu poměrného prodloužení $\varepsilon(t)$. Výsledky dlouhodobé zkoušky v tahu se získají výpočtem modulu tečení $E_c(t)$. K jejich vyjádření je výhodné použít křivky závislosti modulu tečení na čase (obr.24 až 35). Hodnoty σ , $\varepsilon(t)$, $E_c(t)$ jsou uvedeny v tab.č.XIX až XXX přílohy.

K optimálnímu proložení bodů grafu bylo použito metody regresní analýzy. Vztah mezi kríčovým modulem a časem je nelineární. V určité době od začátku zatěžování se rychlost deformace vzorků zpomalí a dále narůstá přibližně konstantní rychlostí. Tento úsek lze linearizovat vyjádřením času v logaritmických souřadnicích. Regresní funkce má pak tvar:

$$y = a + b \cdot x \quad (15)$$

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

Vyhodnocení lineární závislosti modulu tečení v tahu na logaritmu času spočívá v aproximaci dat vztahem:

$$E_c(t) = a + b \cdot \log t \quad (16)$$

Konstanty určíme ze vztahů:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \log t_i \cdot \sum_{i=1}^n E_{ci}(t) - n \cdot \sum_{i=1}^n (\log t_i \cdot E_{ci}(t))}{\left(\sum_{i=1}^n \log t_i\right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n (\log t_i)^2} \quad (17)$$

$$a = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n E_{ci}(t) - b \sum_{i=1}^n \log t_i \right) \quad (18)$$

kde n je počet měření při zkoušce (počet bodů, kterými prokládáme přímku), t_i čas měření deformace, $E_{ci}(t)$ modul tečení odpovídající času t_i .

Podobný vztah jako (16) uvádí /17/ jako jednu z metod vyhodnocování výsledků dlouhodobých zkoušek, je tu řešena závislost logaritmu času na úrovni namáhání při více úrovních namáhání.

Lineární závislost jsem vyhodnocovala z bodů, které v grafu ukazovaly na přímkový průběh, takže u některých zkoušek jsou zanedbány časy až do 140 min (zkouška č.9) od začátku zkoušky. U dlouhodobé zkoušky sledujeme průběh závislostí směrem k delším časům, takže podrobné sledování začátku zatěžování není nutné.

Stupeň přiléhavosti rovnice: (16) k výsledkům dlouhodobé zkoušky lze vyjádřit pomocí korelačního koeficientu

$r_{\log t, E_c(t)}$ ($0 \leq |r_{\log t, E_c(t)}| \leq 1$), jehož velikost se určí z výrazu:

$$r_{\log t, E_c(t)} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \log t_i \cdot E_{ci}(t) - \sum_{i=1}^n \log t_i \cdot \sum_{i=1}^n E_{ci}(t)}{\left[\left(n \cdot \sum_{i=1}^n (\log t_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \log t_i \right)^2 \right) \cdot \left(n \cdot \sum_{i=1}^n E_{ci}^2(t) - \left(\sum_{i=1}^n E_{ci}(t) \right)^2 \right) \right]^{1/2}}$$

Soubor výsledků s větší absolutní hodnotou korelačního koeficientu se lépe přimyká závislosti (16). /18/

Výsledky regresní analýzy uvádí tab.V.

Tab.V Výsledky regresní analýzy

Číslo zkoušky a vzorku	Rovnice lineární regrese	Korelační koeficient $ r_{\log t, E_c(t)} $	$E_c(t)$ pro $t=500$ min
1 - 1	$E_c(t) = 5366,95 - 438,04 \log t$	0,9807	4185
1 - 2	$E_c(t) = 7116,62 - 733,89 \log t$	0,9527	5136 *
1 - 3	$E_c(t) = 8310,81 - 1027,19 \log t$	0,9399	5538 *

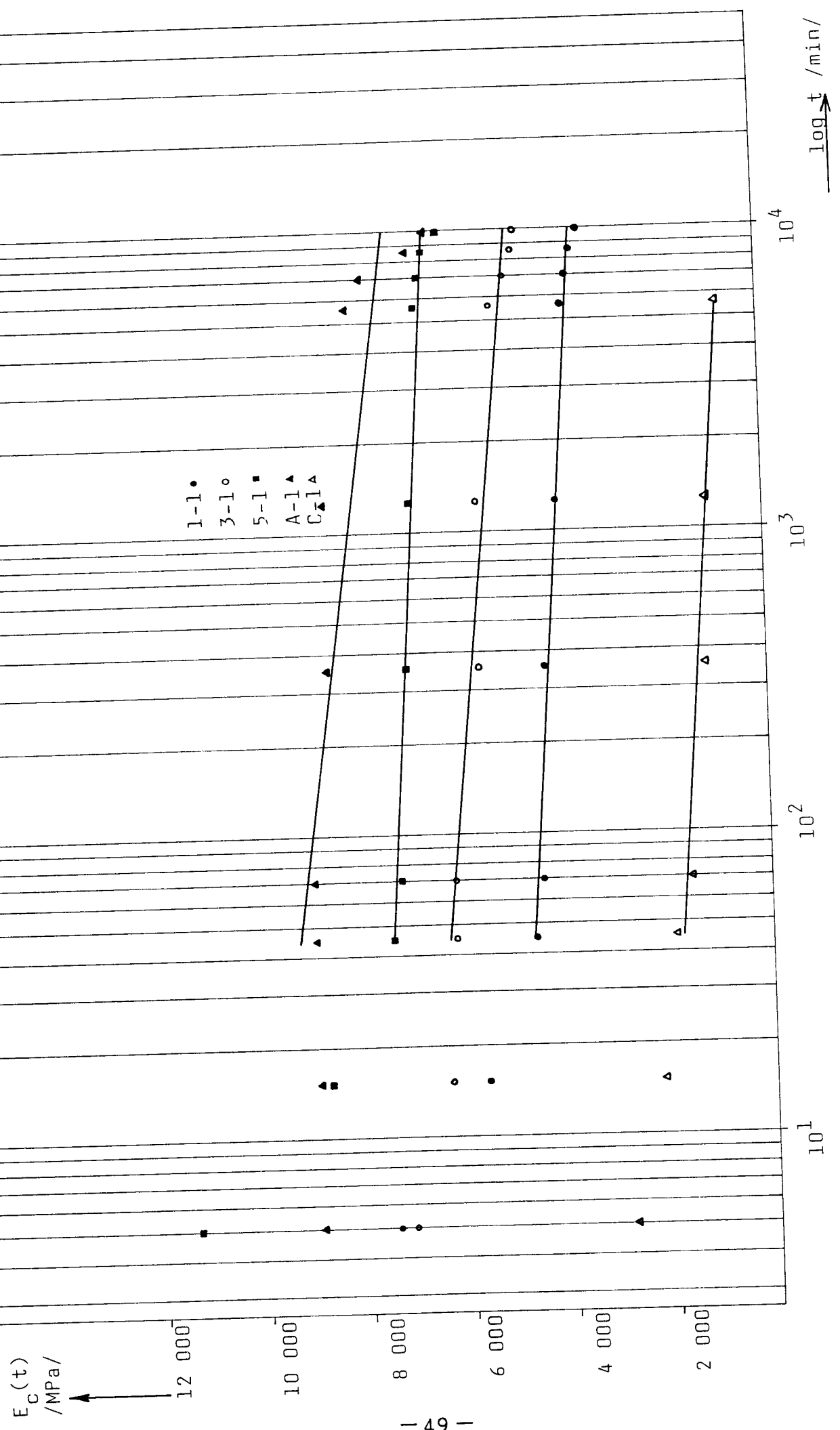
Číslo zkoušky a vzorku	Rovnice lineární regrese	Korelační koeficient $ r_{\log t, E_c(t)} $	$E_c(t)$ pro $t=500$ min
1 - 4	$E_c(t) = 13\,088,61 - 1808,33 \log t$	0,9967	8208
3 - 1	$E_c(t) = 7\,277,67 - 601,71 \log t$	0,9690	5654 *
3 - 3	$E_c(t) = 9\,370,39 - 1231,16 \log t$	0,9801	6048 *
3 - 4	$E_c(t) = 5\,778,05 - 684,78 \log t$	0,9837	3930
3 - 5	$E_c(t) = 9\,944,00 - 1436,58 \log t$	0,9922	6067
5 - 1	$E_c(t) = 8\,097,54 - 404,96 \log t$	0,9506	7005
5 - 2	$E_c(t) = 8\,997,59 - 775,06 \log t$	0,9932	6906
5 - 3	$E_c(t) = 15\,339,23 - 1773,78 \log t$	0,9948	10552
5 - 4	$E_c(t) = 8\,924,17 - 368,06 \log t$	0,9509	7931 *
5 - 5	$E_c(t) = 9\,769,20 - 687,12 \log t$	0,9288	7915 *
7 - 3	$E_c(t) = 12\,667,26 - 1575,28 \log t$	0,9733	8416 *
7 - 4	$E_c(t) = 11\,124,19 - 848,50 \log t$	0,9823	8834 *
7 - 5	$E_c(t) = 17\,882,65 - 2263,34 \log t$	0,9877	11774
A - 1	$E_c(t) = 10\,605,61 - 838,86 \log t$	0,8464	8342 *
A - 2	$E_c(t) = 9\,844,35 - 601,90 \log t$	0,9947	8220
A - 3	$E_c(t) = 21\,958,69 - 3516,76 \log t$	0,9817	12467 *
A - 4	$E_c(t) = 11\,091,18 - 1266,22 \log t$	0,9816	7674
A - 5	$E_c(t) = 29\,427,03 - 3510,95 \log t$	0,9798	19951

Číslo zkoušky a vzorku	Rovnice lineární regrese	Korelační koeficient $ r_{\log t, E_C(t)} $	$E_C(t)$ pro $t = 500$ min
C - 1	$E_C(t) = 2530,70 - 463,51 \log t$	0,9655	1280 *
C - 2	$E_C(t) = 3474,94 - 801,97 \log t$	0,9904	1310 *
C - 3	$E_C(t) = 2572,66 - 587,57 \log t$	0,8786	987
C - 4	$E_C(t) = 3594,56 - 606,09 \log t$	0,9841	1959
C - 5	$E_C(t) = 6400,18 - 1494,20 \log t$	0,9806	2367
2 - 6	$E_C(t) = 10063,47 - 1416,09 \log t$	0,9791	6241 *
2 - 7	$E_C(t) = 7351,09 - 562,81 \log t$	0,9406	5832 *
2 - 8	$E_C(t) = 2427,03 - 405,76 \log t$	0,9846	1332
2 - 9	$E_C(t) = 2526,29 - 393,56 \log t$	0,9691	1464
2 - 10	$E_C(t) = 2906,92 - 455,19 \log t$	0,9968	1678
2 - 11	$E_C(t) = 2058,59 - 294,13 \log t$	0,9822	1265
4 - 6	$E_C(t) = 5294,53 - 439,14 \log t$	0,9700	4109 *
4 - 7	$E_C(t) = 5442,67 - 459,22 \log t$	0,9790	4203 *
4 - 8	$E_C(t) = 1476,75 - 175,56 \log t$	0,9065	1003
4 - 9	$E_C(t) = 2030,39 - 271,02 \log t$	0,9733	1299
4 - 10	$E_C(t) = 2171,70 - 324,61 \log t$	0,9947	1296
4 - 11	$E_C(t) = 1928,41 - 303,32 \log t$	0,9912	1110
6 - 6	$E_C(t) = 5848,28 - 359,78 \log t$	0,8865	4877 *

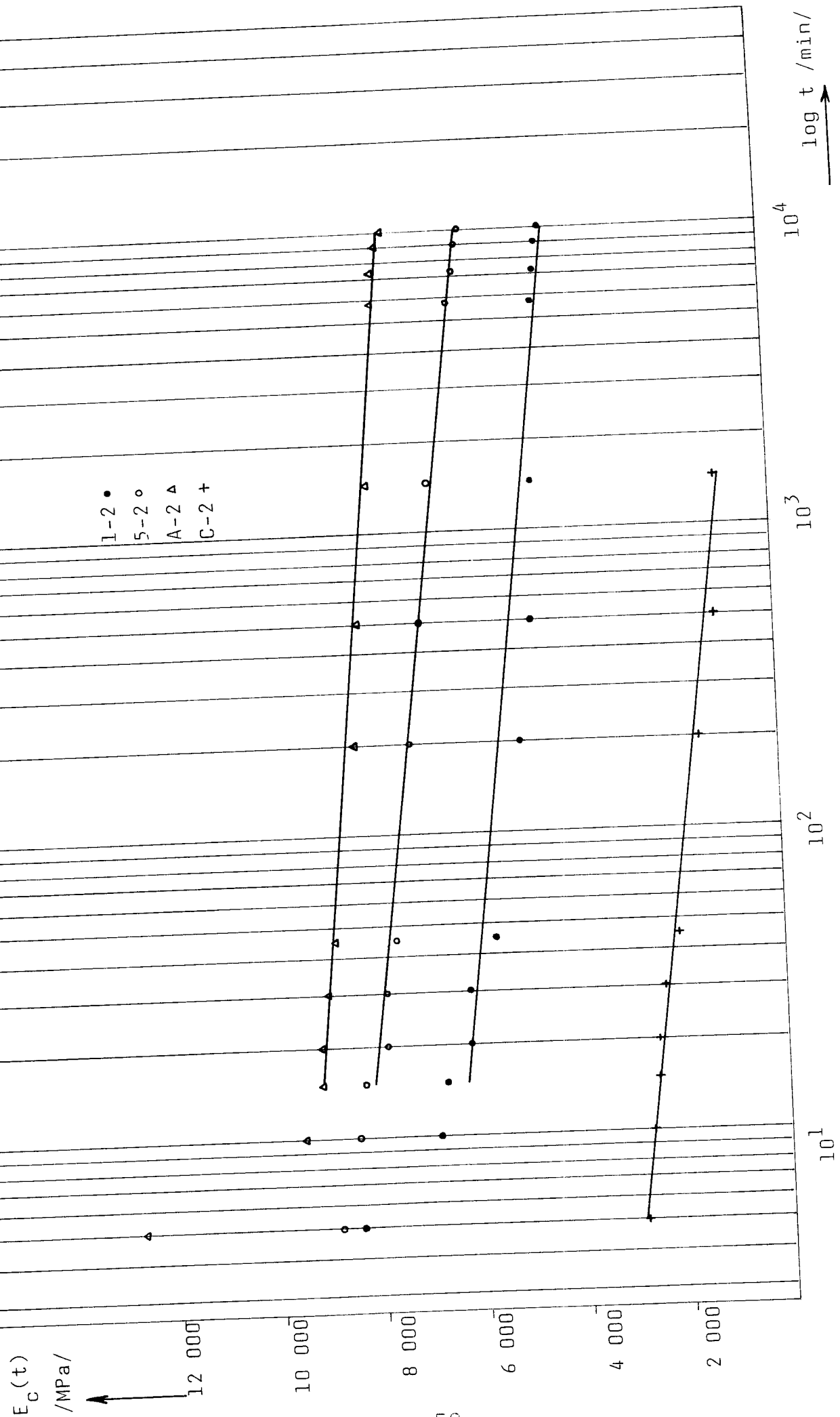
Číslo zkoušky a vzorku	Rovnice lineární regrese	Korelační koeficient $ r_{\log t, E_c(t)} $	$E_c(t)$ pro $t = 500$ min
6 - 7	$E_c(t) = 6280,85 - 165,36 \log t$	0,9550	5835 *
6 - 8	$E_c(t) = 4126,59 - 304,11 \log t$	0,9706	3306
6 - 9	$E_c(t) = 5076,20 - 713,87 \log t$	0,9770	3149
6 - 10	$E_c(t) = 5038,68 - 612,74 \log t$	0,9837	3385
6 - 11	$E_c(t) = 3584,89 - 345,76 \log t$	0,9789	2652
8 - 6	$E_c(t) = 15195,88 - 1896,31 \log t$	0,9958	10078 *
8 - 7	$E_c(t) = 9532,23 - 178,66 \log t$	0,9755	9050 *
8 - 8	$E_c(t) = 8507,71 - 851,14 \log t$	0,9638	6211
8 - 9	$E_c(t) = 8012,64 - 1002,75 \log t$	0,9752	5306
8 - 10	$E_c(t) = 7996,70 - 893,18 \log t$	0,9836	5586
8 - 11	$E_c(t) = 8672,67 - 715,54 \log t$	0,9437	6741
B - 6	$E_c(t) = 18037,83 - 1731,75 \log t$	0,9814	13364 *
B - 7	$E_c(t) = 12456,09 - 892,99 \log t$	0,9955	10046 *
B - 8	$E_c(t) = 8054,56 - 1103,57 \log t$	0,9862	5076
B - 9	$E_c(t) = 7278,29 - 1053,36 \log t$	0,9842	4435
B - 10	$E_c(t) = 8251,09 - 1329,80 \log t$	0,9933	4662
B - 11	$E_c(t) = 4103,61 - 452,19 \log t$	0,9834	2883
D - 6	$E_c(t) = 3905,34 - 746,71 \log t$	0,9939	1890 *
D - 7	$E_c(t) = 5286,10 - 989,39 \log t$	0,9962	2616 *

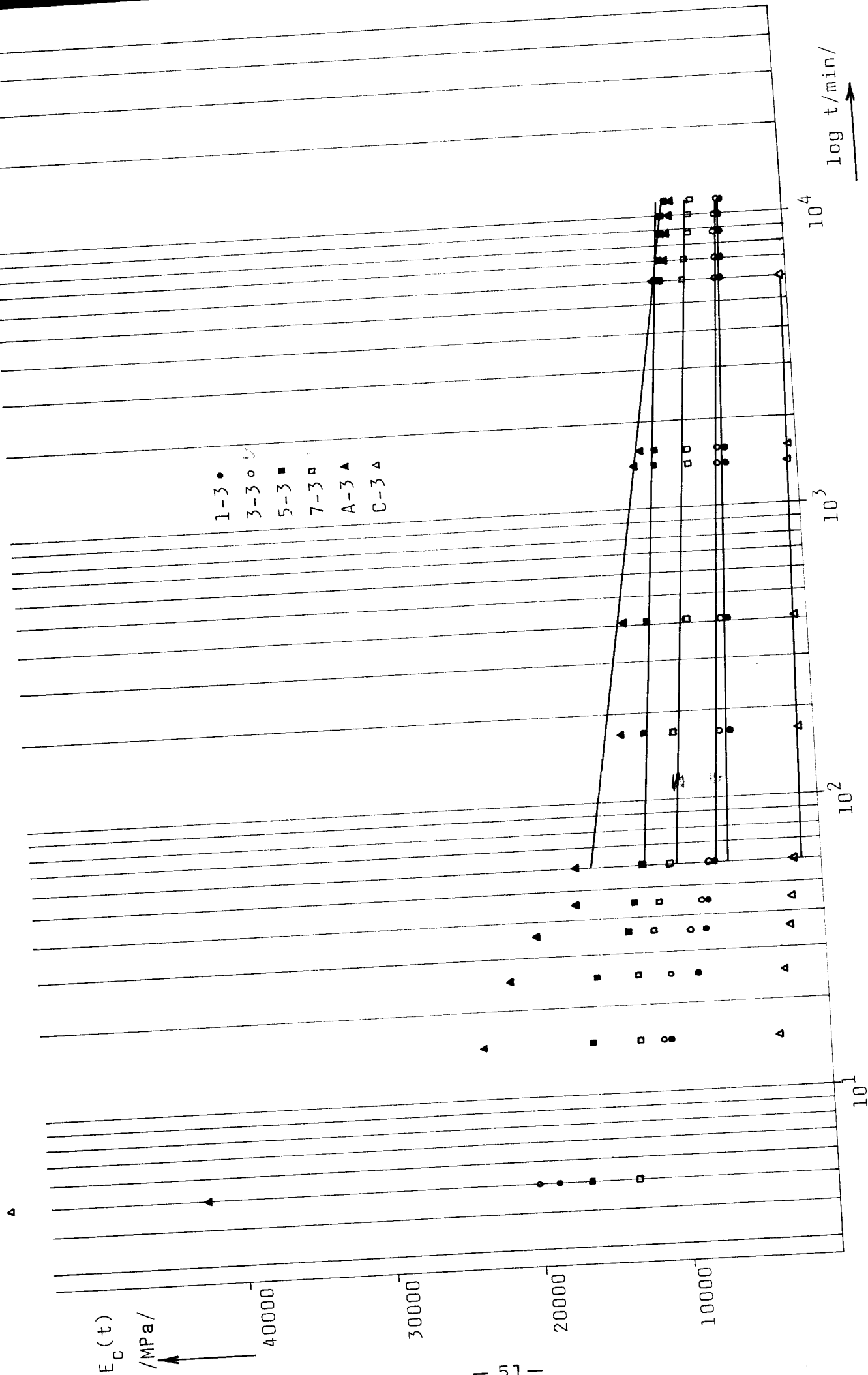
Číslo zkoušky a vzorku	Rovnice lineární regrese	Korelační koeficient $ r_{\log t, E_c(t)} $	$E_c(t)$ pro $t = 500$ min
D - 9	$E_c(t) = 2728,08 - 962,97 \log t$	0,9572	129
D - 10	$E_c(t) = 1234,28 - 225,56 \log t$	0,9796	626
D - 11	$E_c(t) = 1026,65 - 169,60 \log t$	0,9760	569
M1	$E_c(t) = 1602,39 - 192,11 \log t$	0,9757	1084
M2	$E_c(t) = 1249,15 - 163,49 \log t$	0,9772	808
M3	$E_c(t) = 1279,58 - 173,62 \log t$	0,9635	811
M4	$E_c(t) = 1496,82 - 181,31 \log t$	0,9864	1007
M5	$E_c(t) = 1465,49 - 203,63 \log t$	0,9681	916
M6	$E_c(t) = 1628,21 - 227,45 \log t$	0,9702	1014

Vliv technologických podmínek vstřikování a obsahu plniva na mechanické vlastnosti při dlouhodobé zkoušce se zjišťoval faktorovým pokusem $2^3 - 3$ faktory (T_f , p_{VS} , SV) na dvou úrovních. Pro obsahy plniva 0,15, 30% bylo nutno provést 3 faktorové pokusy, každý pro 2 úrovně obsahu SV. Faktorové pokusy jsem realizovala pro kríповé moduly pružnosti zkušebních těles vypočtené z výsledků regresní analýzy pro stejný čas $t = 500$ min od začátku zkoušky. Hodnoty $E_c(t)$ pro $t = 500$ min uvádí tab.V. Faktorový pokus musí být proveden při stejných podmínkách zkoušky (stejně zatížení, teplota) pro všechny vzorky. Proto ze skupin 2, 4, 6, 8, B, D mohla být analýza provedena pouze pro 2 zástupce každé skupiny (ze zkoušek č.6, 7). U ostatních skupin jsem tedy z 5 hodnot $E_c(t)_{500}$ vybrala dvě, které se nejvíce blížily průměrné hodnotě $E_c(t)_{500}$ skupiny a ty jsem použila jako vstupní hodnoty pro analýzu faktorového pokusu (v tab.V jsou označeny*).

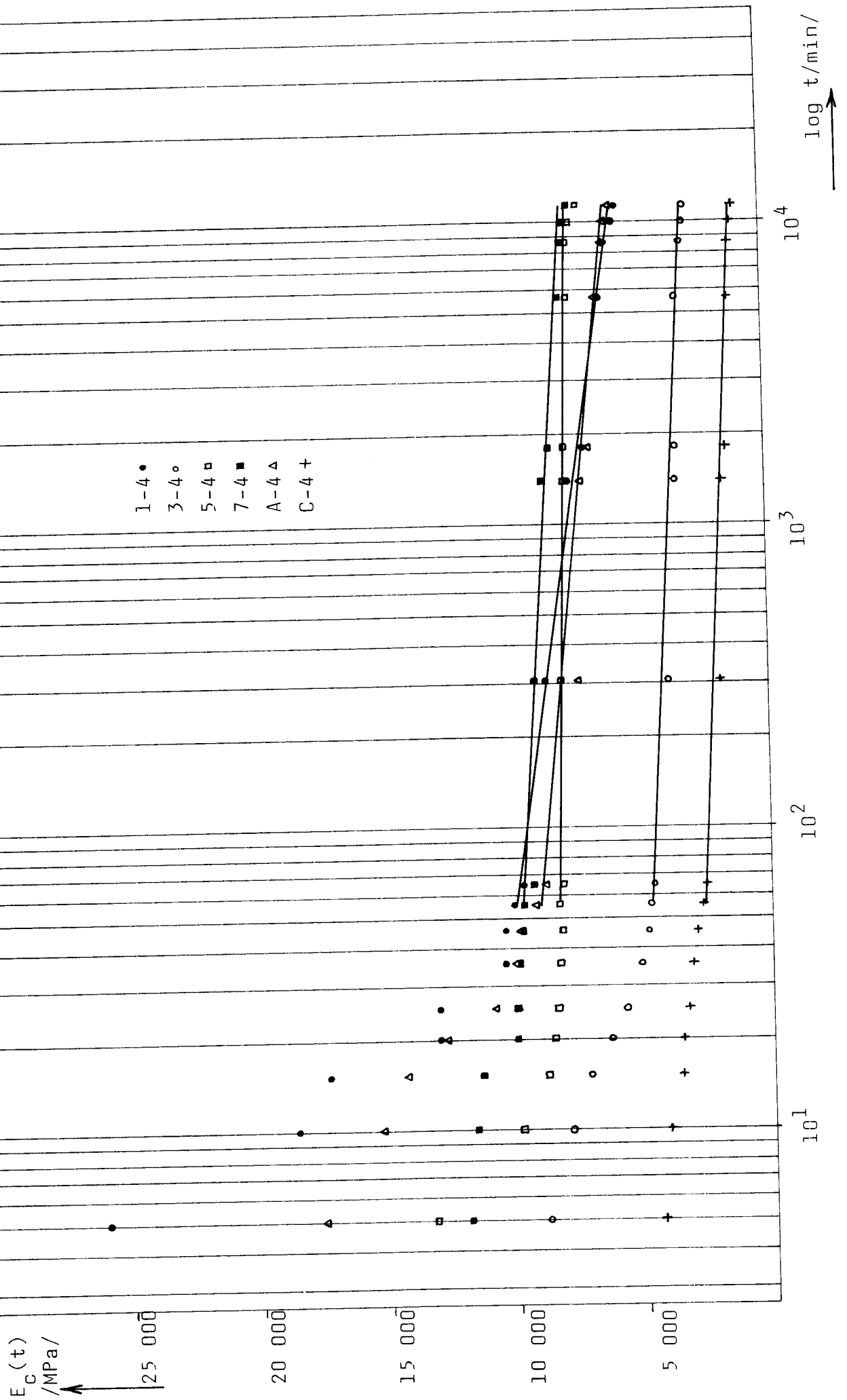


Obr. 24 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č. 1

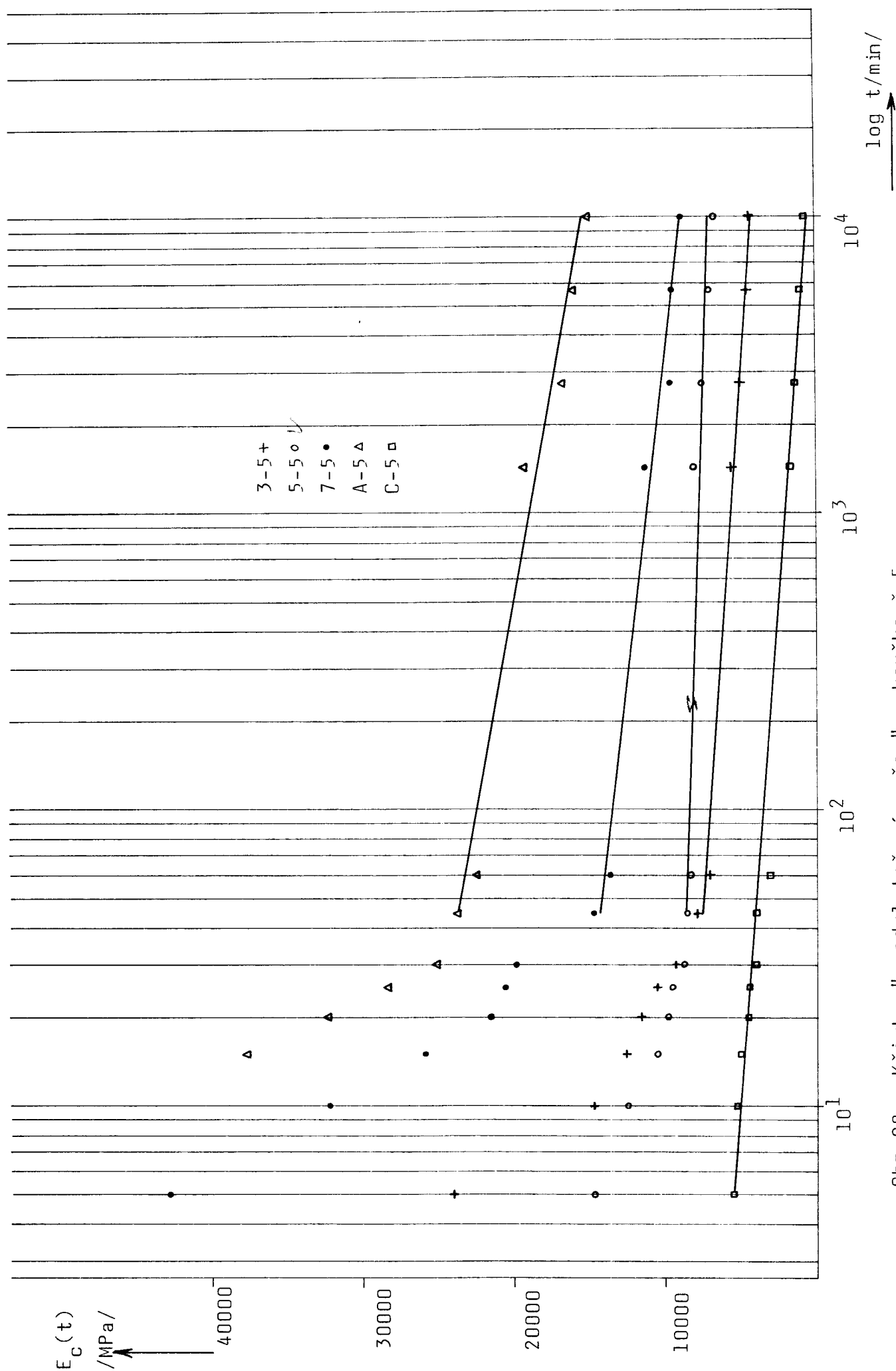


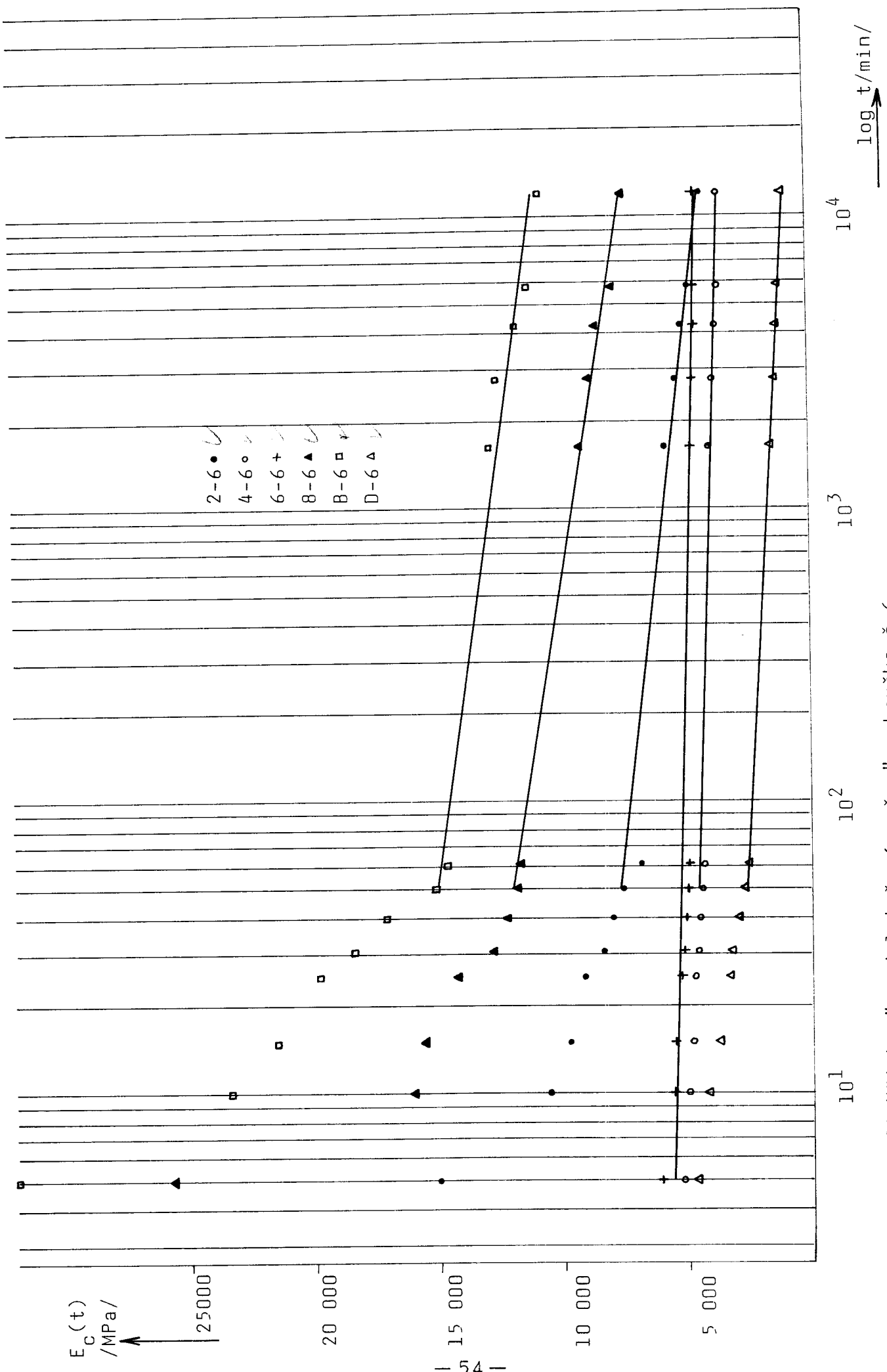


Obr. 26 Křivky " modul tečení - čas", zkouška č. 3

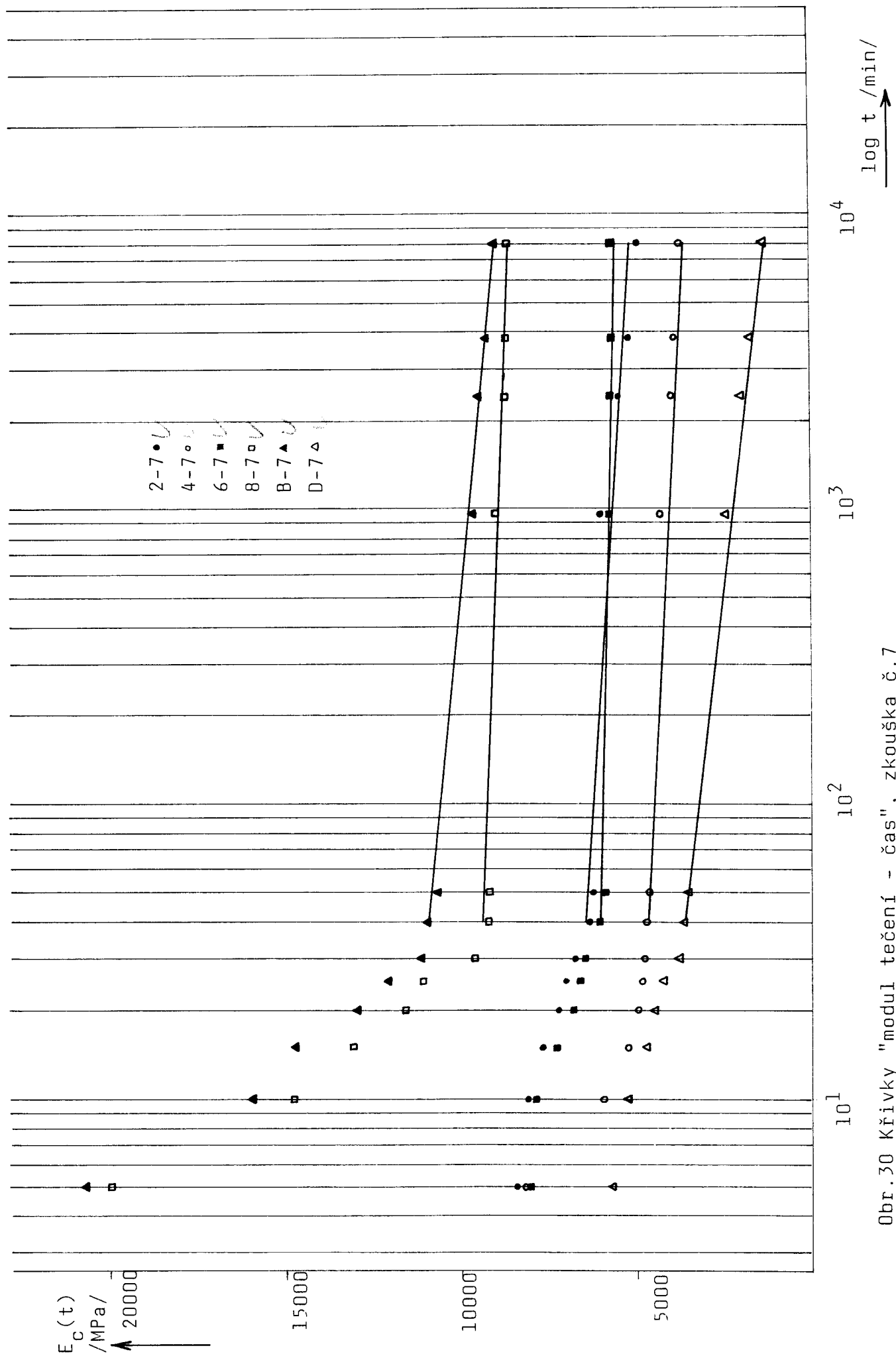


Obr.27 Křivky " modul tečení - čas", zkouška č.4

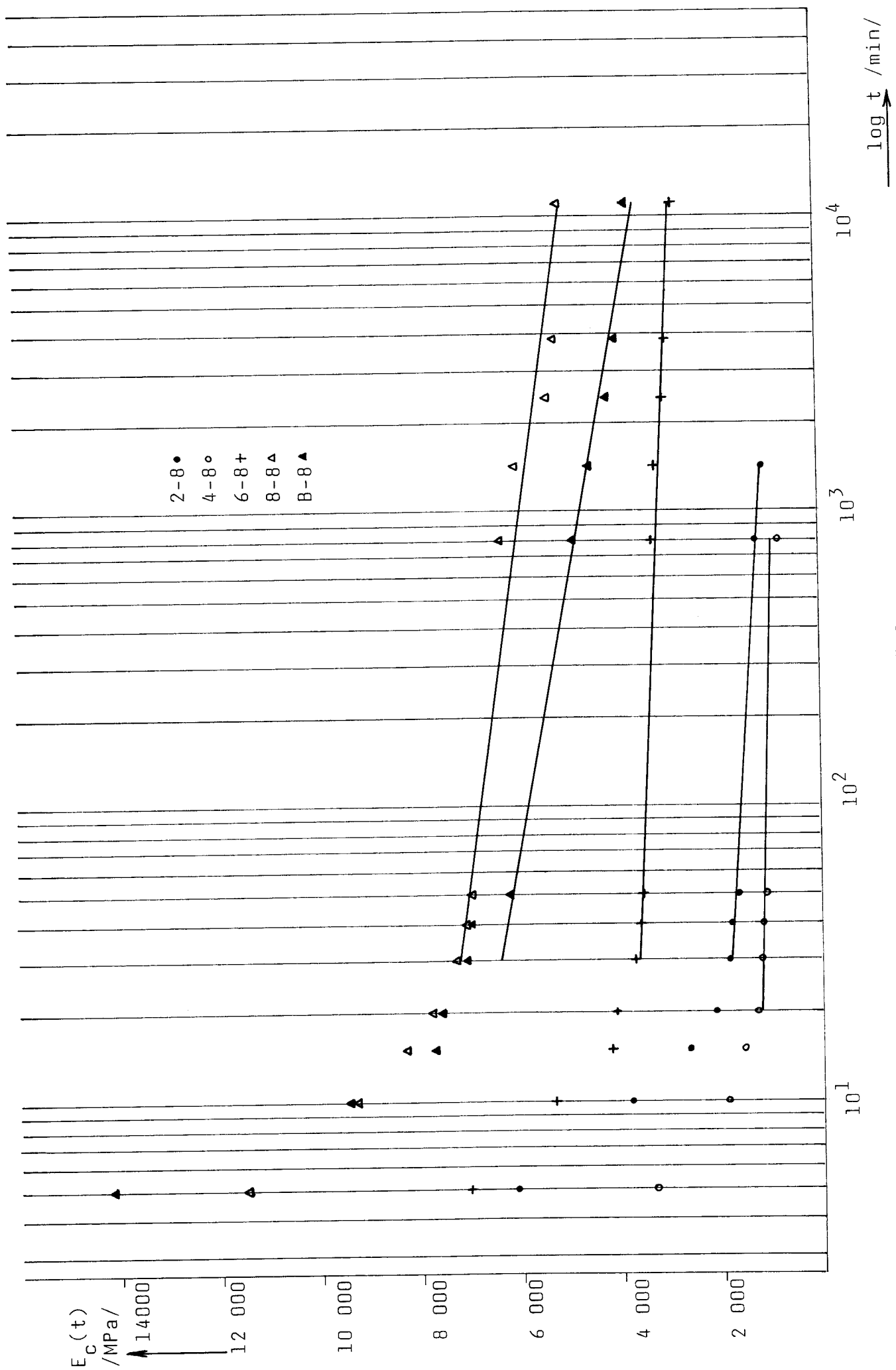




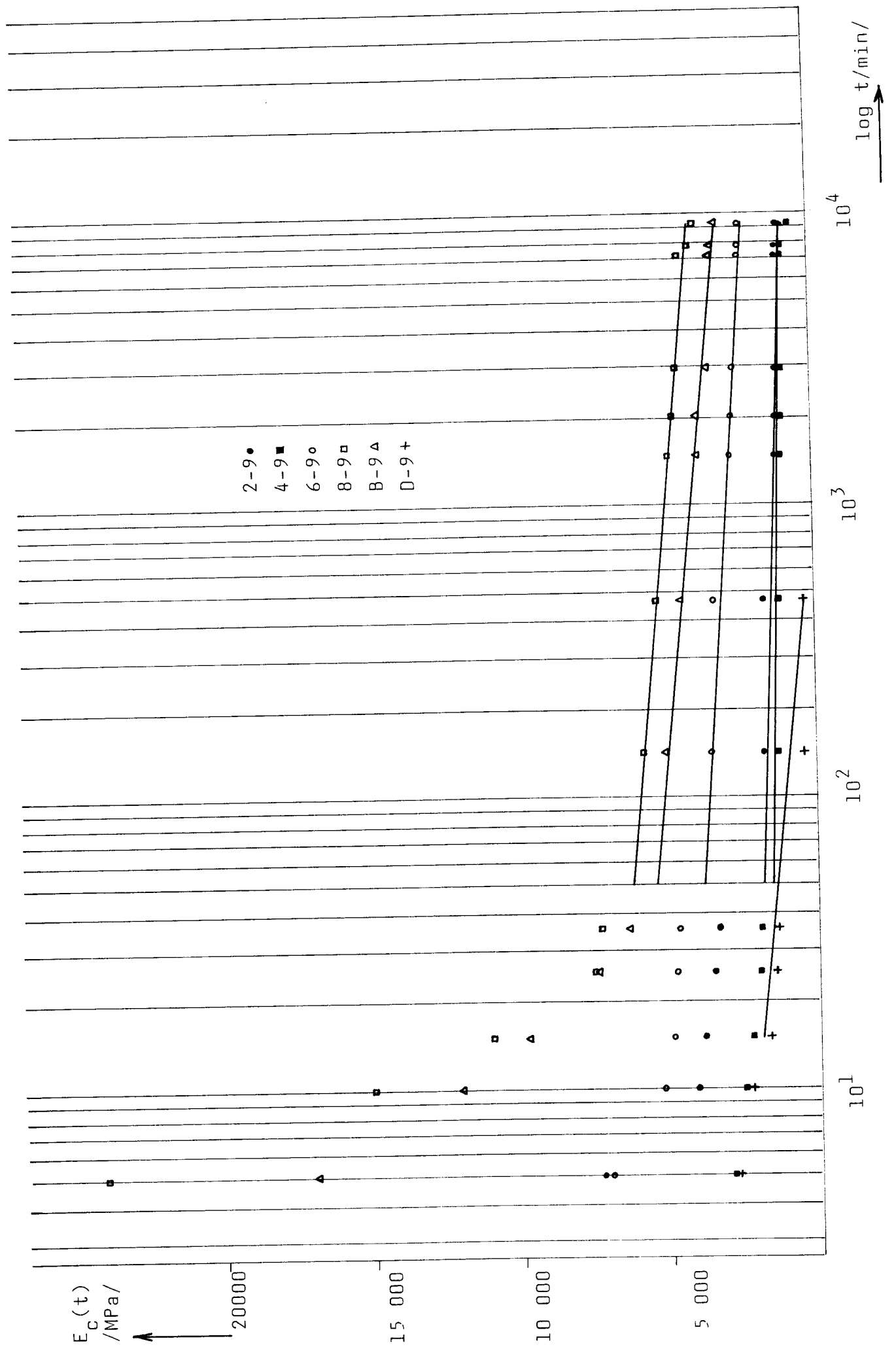
Obr.29 Křivky " modul tečení - čas", zkouška č.6



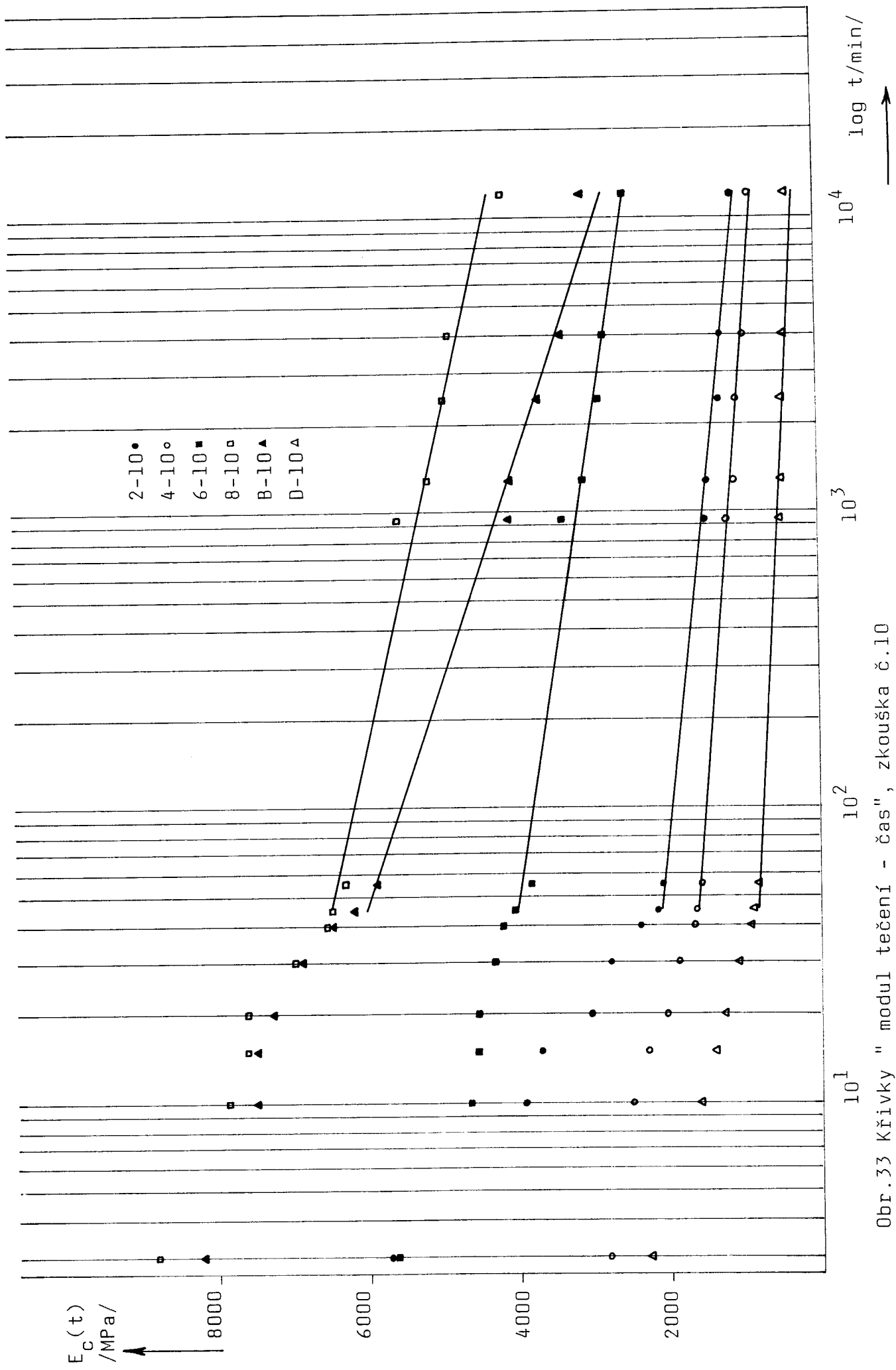
Obr.30 Křivky "modul tečení - čas", zkouška č.7



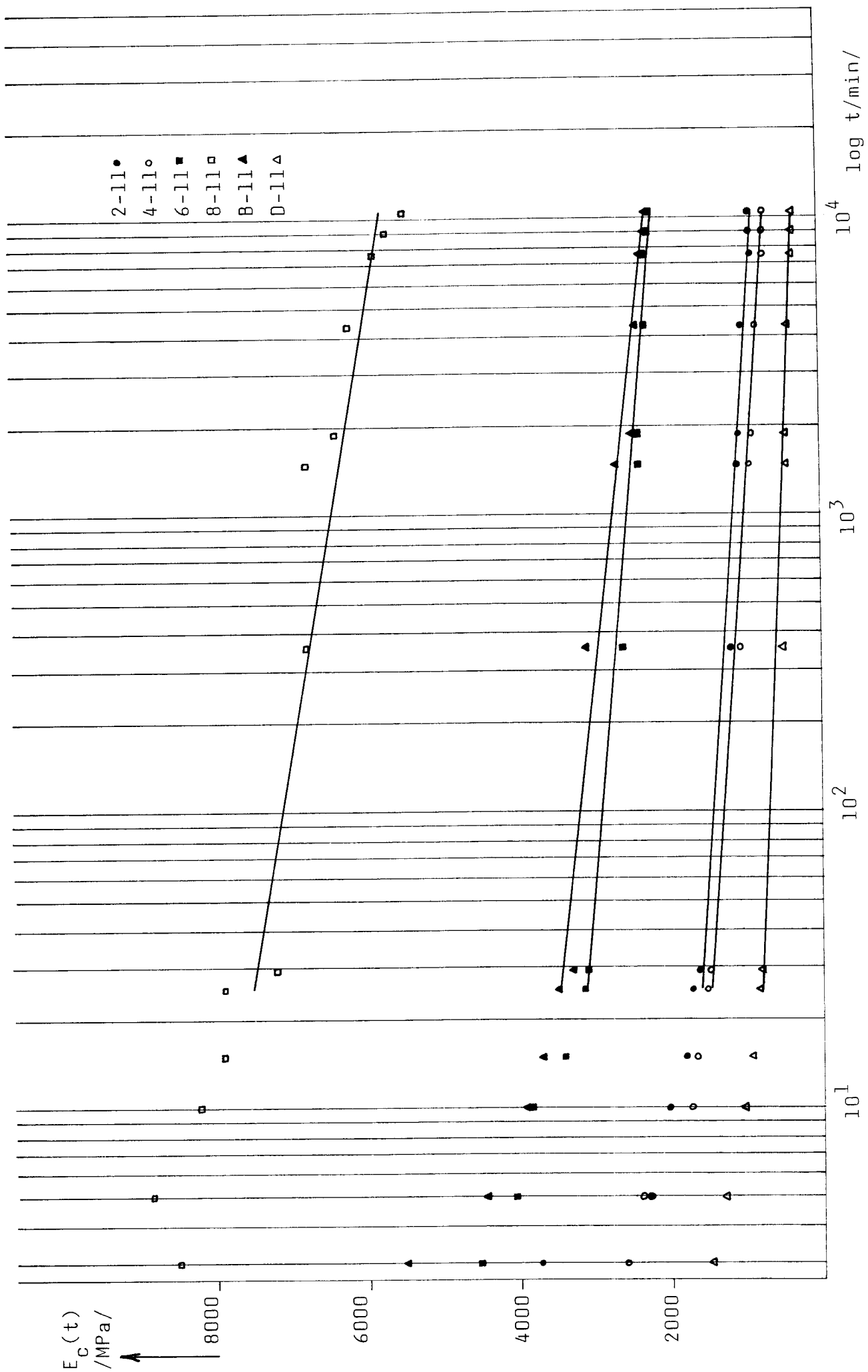
Obr.31 Křivky " modul tečení - čas", zkouška č.8



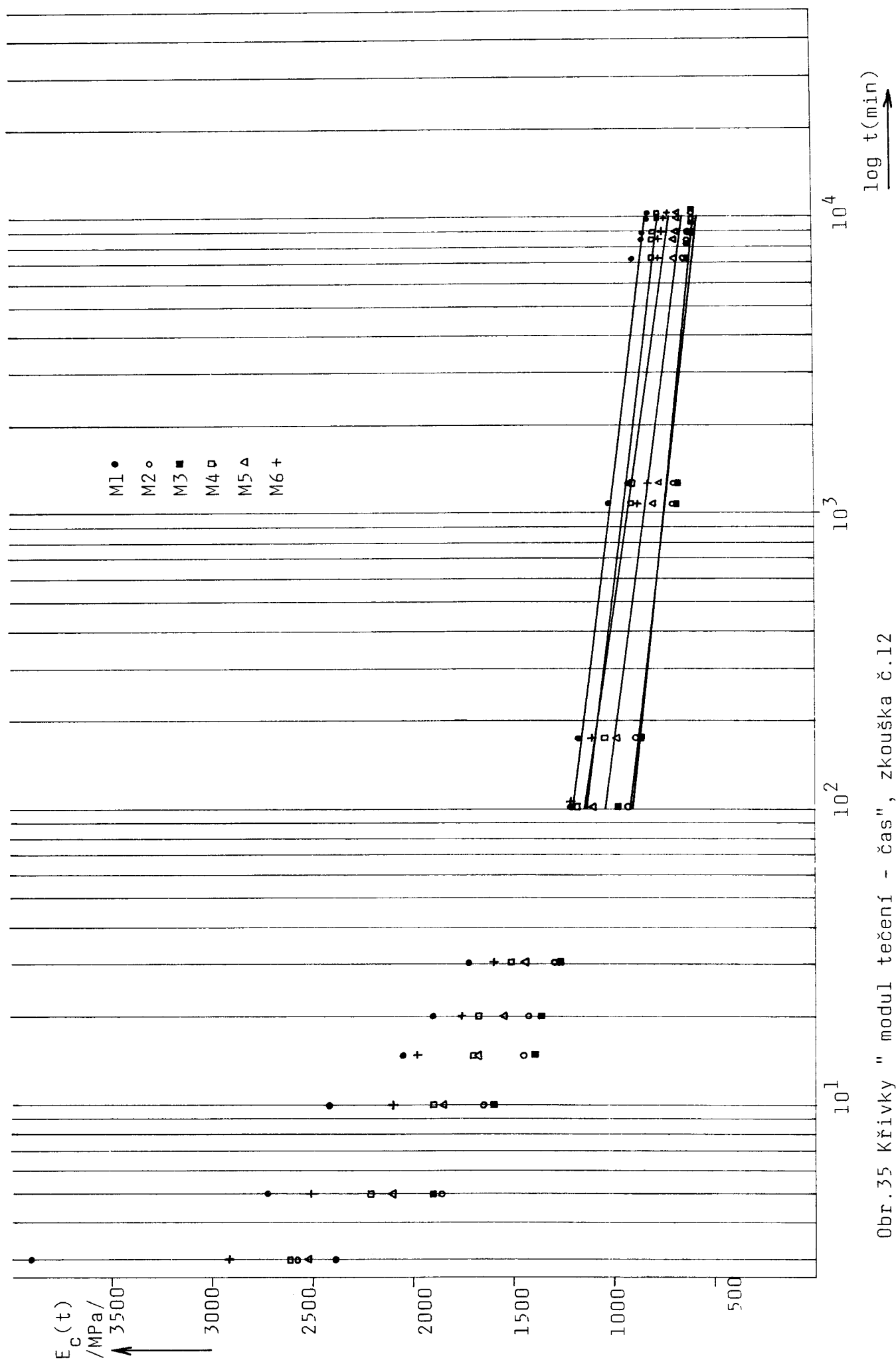
Obr. 32 Křivky " modul tečení - čas", zkouška č. 9



Obr. 33 Křivky " modul tečení - čas", zkouška č. 10



Obr. 34 Křivky " modul tečení - čas", zkouška č. 11



Obr.35 Křivky " modul tečení - čas", zkouška č.12

Postup analýzy faktorového pokusu byl převzat z /19/. Dosažené výsledky jsou uspořádány v tab.č.XXXI až XXXIII přílohy. Jednotlivé parametry - faktory jsou označeny velkými písmeny s číselnými indexy podle úrovně faktoru (obsah SV - A, teplota formy - B, vstřikovací tlak - C). Výpočet byl prováděn s 99% spolehlivostí. Kritická hodnota F - rozložení byla nalezena v tabulce /19/. Konečné výsledky faktorových pokusů, tzn.vliv technologických faktorů a jejich interakcí na hodnoty modulů jsou uvedeny v tab.VI.

Tab.VI Vliv obsahu plniva (A), teploty formy (B), vstřikovacího tlaku (C) a jejich interakcí na hodnotu krípkového modulu pružnosti

Kombinace obsahů SV /%/	Vliv faktorů a jejich interakcí						
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
15 x 30	1	1	0	1	0	0	1
30 x 0	0	1	0	1	0	0	0
15 x 0	0	1	0	1	0	0	0

1 - prokázaný vliv

0 - bez statistického vlivu

Pro detailní vyhodnocení vlivu technologických podmínek (kladný nebo záporný vliv a v jakém rozsahu) byl použit interval spolehlivosti /20/. Vycházíme ze vztahu:

$$d \pm t_{\alpha} \cdot s_r \cdot \sqrt{\frac{2}{n}} \quad (20)$$

kde $d = y_2 - y_1$

- y_1 ... aritmetický průměr ze všech měření prováděných při nižší úrovni faktoru
 y_2 ... aritmetický průměr ze všech měření prováděných při vyšší úrovni faktoru
 t_α ... kritická hodnota Studentova rozdělení (pro ν stupňů volnosti)
 α ... úroveň významnosti (zde $\alpha = 0,01$)
 s_r ... $s_r = \sqrt{\frac{S_r}{\nu}}$
 S_r ... reziduální součet druhých mocnin
 ν ... počet stupňů volnosti reziduálního součtu
 n ... počet provedených měření pro danou úroveň faktorů
 Součin $t_\alpha \cdot s_r \cdot \sqrt{\frac{2}{n}}$ vyjadřuje experimentální chybu. Pokud hodnota d spadá do intervalu experimentální chyby, můžeme vliv faktorů považovat za nepodstatný. Výpočet intervalů spolehlivosti a rozbor vlivu faktorů a jejich interakcí je uveden v tab.č.XXXI až XXXIII.

3.8 Hodnocení výsledků (diskuse)

Výsledky zkoušek byly jistě zkresleny porušením struktury výstřiků při ofrézování na poloviční rozměr. Ani sama zkouška neprobíhala ideálním způsobem. Nepodařilo se totiž zajistit její průběh za konstantní teploty a vlhkosti. Přitom norma /9/ požaduje dodržení konstantní teploty po celé zkoušené délce tělesa a relativní vlhkost nemá kolísat více než $(50 \pm 5)\%$. Upínací čelisti musí zajistit namáhání prostým tahem. Při zatížení se však horní čelisti natáčely podle toho, jak se lanko zajišťující přenos síly na čelist pod vlivem zatížení rozmotávalo. Tyčky proto byly částečně namáhány také na krut a to mohlo být dalším zdrojem chyb. Optický měřicí systém není ideálním řešením ke sledování průběhu deformace i při měření prodloužení je určitá pravděpodobnost vzniku chyb.

Průběh závislostí kríповý modul - čas (obr.24 až 35) ukazuje prudký pokles $E_c(t)$ během první hodiny zatěžování. Zvláště výrazné snížení tuhosti z vysokých hodnot plněného plastu nastalo u PA plněného 30% SV. Linearizace průběhu závislostí mohla být provedena až od okamžiku snížení rychlosti deformace vzorků, aby přímka regresní analýzy co nej-přesněji proložila body grafu zvláště směrem k delším časům. Hodnoty korelačního koeficientu v tab.V ukazují na velmi dobrou přiléhavost všech rovnic k příslušným bodům v grafech.

Z porovnání zkoušek za zvýšené teploty a zkoušek za $T = 10^0C$ je zvláště patrný rozdíl tuhostí obou druhů plněného polyamidu. Zatímco polyamid s 30% SV snesl původní zatížení, u polyamidu s 15% SV bylo nutno zatížení snížit v důsledku rychlého nárůstu prodloužení. Přes větší zatížení vykazuje PA s 30% SV i v delších časech přibližně dvojnásobnou tuhost než PA s 15% SV.

Neplněný polyamid se výrazně deformoval i při nižší teplotě. Tím patrnější je rozdíl $E_c(t)$ vzorků skupin A, B (tab.II) ve srovnání se vzorky skupin C, D, které se tuhostí velmi podobají PA s 30% SV. Ze zkoušek za vyšších teplot je tato podobnost ještě výraznější. Z toho vyplývá, že zřejmě došlo k záměně vzorků.

Jako srovnávací měření jsem provedla dlouhodobou zkoušku v tahu vzorků z Miramidu VE 30, které byly také upravené frézováním. Je to PA 6 plněný sklem vyráběný ve VEB Leuna Werke, NDR. Hodnoty $E_c(t)_{500}$ odpovídají hodnotám kríповého modulu našeho Silamidu s 15% SV tab.V, přitom Miramid nevykazuje při stejné teplotě zkoušky (40^0C) a stejném zatížení ($F = 1019,06 N$) tak výrazné prodlužování. Technologické parametry těchto vzorků nebyly známy.

Analýza faktorových pokusů, provedená s hodnotami $E_c(t)_{500}$ získanými z dlouhodobých zkoušek na tyčích ze Silamidu, přinesla výsledky ukazující vliv technologických

podmínek a obsahu plniva na hodnoty kríповého modulu pružnosti. Pro tělesa, kterým přísluší kombinace těchto parametrů: SV = 15 a 30%, $T_f = 40$ a 80°C , $p_{VS} = 5$ a 10 MPa (tab.II), má nejvýraznější vliv obsah plniva. Zvýšením obsahu SV vzrostla hodnota kríповého modulu pružnosti o 2522 ± 682 MPa.

Podstatně menší vliv na tuhost polyamidu má teplota formy. Zvýšením teploty formy na 80°C se zvýší $E_c(t)_{500}$ o 886 ± 682 MPa. Významné jsou oba tyto faktory působící v interakci. Při dodržení teploty formy 80°C dojde u PA plněného 30% SV oproti PA plněnému 15% SV ke zvýšení tuhosti o $4\,091 \pm 964$ MPa. Podobně při vstřikování polyamidu plněného 30% SV do formy o vyšší teplotě bude kríповý modul pružnosti v porovnání s tímtož plastem vstřikovaným ale do formy s $T_f = 40^{\circ}\text{C}$ vyšší o 2455 ± 964 MPa (tab.XXXI).

Analýzy faktorových pokusů pro tělesa obsahující kombinace s SV = 0% jakoby odporovaly výše uvedeným závěrům. To pouze potvrzuje přesvědčení, že vzorky skupin A, B byly zaměněny, protože svými vlastnostmi neodpovídají parametrům uvedeným v tab.II.

3.9 Návrh nového zkušebního zařízení

Zkušenosti z měření na stávajícím přístroji jsem využila k návrhu změn v jeho uspořádání. Nové zkušební zařízení na dlouhodobou zkoušku v tahu zachovává základní princip stávajícího zařízení, a to nepřímé zatěžování zkušebních těles pomocí páky s převodem 10 : 1.

Rám pracovního prostoru přístroje je přivařen ke stojanu, který je základnou i pro ostatní části zařízení. Upínací čelisti jsou závěsné. Při výměně vzorků se tedy zkušební tyčka vyjme z pracovního prostoru spolu s čelistmi, do kterých je upnutá. Mimo přístroj se z čelistí vyjme a nahradí se dalším vzorkem. Taková "sestava" se zavěsí zpátky do

přístroje. Horní čelist je zavěšena na válečku, kterým prochází a je v něm zajištěno lanko přenášející zatěžovací sílu. Spodní čelist přidržuje v zavěšené poloze pružina, která brání vypadnutí čelisti vlastní tíhou. Působení zatěžující síly v ose tyčky zaručuje u spodní čelisti výkyvná matice, pomocí které je v rámu upnut držák, na který se čelist zavěšuje. Dostatečný rozsah pohybu horní čelisti zajišťuje lanko. Obě části každé čelisti jsou vůči sobě vedeny dvěma kolíky. Aretačním šroubem se nastaví šířka mezery mezi oběma díly čelistí, a tak lze zkoušet tyčky různých tloušťek, přičemž je vždy zajištěno rovnoměrné sevření hlavy tyčky po celé její ploše.

Vytápění prostoru zkoušky může být dosaženo vzduchem proudícím přes odporově vyhřívanou cívku. Motorek s cívkou a jejich zapojení jsou převzaty z /21/. Regulace teploty může být zajištěna jako u stávajícího zařízení. Proti víření vzduchu pod spodním nosníkem rámu je motorek s cívkou umístěn v "tunýlku" z plechu, který usměrňuje proud vzduchu do prostoru, kde jsou zavěšena zkušební tělesa. Pracovní prostor je izolován od okolí skříní, jejíž stěny jsou z pěnového polystyrénu polepeného dýhou; přední stěna je z plexiskla. Víko skříně je napevno zabudováno na horním nosníku rámu. Snímací spodek skříně se upevní v přístroji zachycením čtyřmi pružinami spuštěnými z víka. Jednotlivé zkušební tyčky jsou umístěny poměrně těsně vedle sebe, aby vytápěný prostor zaujímal malý objem. Proto musí být závaží vůči sobě přesazena. K páce jsou připevněna řetězem. Při výměně zkušebních těles musí být páky zatěžovacího systému v horní úvratí (HÚ), aby mohlo dojít k uvolnění čelistí. Všechny páky současně jsou drženy v HÚ pomocí tyče (spuštěná vymezuje dolní úvrať - DÚ) ovládané zvedacím zařízením. Nejprve je třeba pákám odlehčit od závaží. K tomu slouží pohybovými šrouby ovládané vidlice, kterými se závaží nadzdvihne. Každé závaží se ovládá zvlášť, každému závaží přísluší vlastní pohybový šroub. Tyto šrouby jsou uloženy v pouzdrech na

nosnicích, které jsou přivařeny ke stojanu zkušebního zařízení. Vidlice zároveň slouží jako tlumič při přetržení tyčky a uvolnění závaží. Aby nedošlo tíhou závaží k nárazu páky na tyč zvedacího zařízení, a tím k rázu, který by ovlivnil průběh ostatních zkoušek, musí vidlice při pádu toto závaží zachytit. Proto je opatřena pryžovou podložkou ke zmírnění nárazu. Je vhodné při každém měření sledovat vzdálenost závaží od vidlic a v případě potřeby ji upravovat, aby závaží nespadlo z velké výšky či naopak nedosedlo na vidlice ještě v průběhu měření.

Páky odlehčené od závaží jsou v rovnovážné poloze s vyvažovacím závažím, které je umístěné na prodloužené tyči páky na čelní straně přístroje. Vyvážení zajistí přesné určení zatížení zkušebních tyčí a zaručí snadnou manipulaci při výměně tyček. Páky zatěžovacího systému se snadno zdvihnou zvedacím zařízením do HÚ a tam zůstanou zajištěny. Po výměně vzorků se spustí vidlice se závažím. Současné spuštění všech pák se provede zvedacím zařízením - je tak splněn požadavek normy /9/ o plynulém zatížení všech těles najednou.

Ze stávajícího zařízení je převzat optický systém, jehož zajištění je v možnostech KPT - VŠST. Ideální by bylo automatické odečítání deformace. S takovým systémem odečítání prodloužení tyček pracuje 6-i místný přístroj fy Toyoseiki pro dlouhodobou zkoušku v tahu umístěný v Chemických závodech k.p. Litvínov, který je vybaven automatickým zapisovačem deformace. Převodníky mění mechanické prodloužení každého tělesa na elektrický signál, elektrický výstup je spojen s indikátorem. Zatěžování je přímé. Cirkulací ohřátého vzduchu se udržuje konstantní teplota v uzavřeném pracovním prostoru zařízení.

Také přístroj RAPRA zobrazený v /22/ používá k měření deformace spolehlivé metody. Je to zaznamenávání prodloužení pomocí digitálního Moirého extenzometru, konstruovaného na základě optického systému. RAPRA je jednomístné zařízení pro zkoušku

tečení. Hydraulický píst zajišťuje plynulé zatížení - plného zatížení se dosáhne za 1 s. Upínací čelisti jsou závěsné. Zatěžování je nepřímé, pákové.

Pákový je také stroj pro kríповé zkoušky instalovaný v laboratoři ÚFM ČSAV Brno, který je popsán v /23/. Je jednomístný.

Některé jednodušší prvky z uvedených zařízení byly využity při návrhu nového zkušebního zařízení.

4. ZÁVĚR

Název práce - vliv plniva a technologických podmínek vstřikování Silamidu na jeho dlouhodobou pevnost v tahu - dává k dispozici téma značně široké. S ohledem na rozsah práce jsem se omezila na rozbor jen některých, podle mého soudu charakteristických oblastí tématu.

Teoretickou část jsem rozdělila na tři části. V kapitole vstřikování se zabývám vlivem zpracovávaného plastu a technologických podmínek vstřikování na konečné vlastnosti výstřiku, především mechanické. Velký význam má s ohledem na ovlivnění vlastností materiálu průběh plnění dutiny formy. Orientace makromolekul, a u plněných plastů také orientace plniva, způsobuje anizotropii mechanických vlastností výrobku, kterou lze často výhodně využít.

Kapitola mechanické chování namáhaných plastů vysvětluje viskoelastické chování polymerů. Podstatou dlouhodobé zkoušky v tahu je kríp neboli tečení. Studium kríповých jevů je velmi důležité, protože mechanické vlastnosti závisí kromě teploty výrazně na čase, na době působení zatížení. Časově závislá deformace může velmi nepříznivě ovlivnit životnost součásti z plastu. Časová a teplotní závislost modulu pružnosti v tahu rozděluje mechanické chování plastů na charakteristické oblasti, které se liší rozdílným způsobem odezvy na vložnou sílu.

V kapitole kompozitní materiály je definován pojem kompozit. Dále následuje stručné nahlédnutí do problému těchto progresivních materiálů především z pohledu ovlivnění mechanických vlastností plnivem.

Experimentální část práce se pak zabývá vlastní dlouhodobou zkouškou v tahu na tyčích ze Silamidu, a to plněného i neplněného, vstřikovaných za různých technologických podmínek. Je zde popsán postup zhotovení zkušebních těles, dále obsahuje informace o zkoušeném materiálu a popis zkušebního zařízení.

Výsledkem zkoušek tečení jsou závislosti " modul tečení - čas" zpracované regresní analýzou. Vliv plniva a technologických podmínek vstřikování se zjišťoval pomocí analýzy faktorového pokusu pro zkoušky provedené za stejných podmínek. Vstupními hodnotami zde byly srovnávací moduly tečení vypočtené z rovnic regresní analýzy pro čas $t = 500$ min. Silamid plněný 30% vláken prokázal několikanásobné zlepšení tuhosti oproti neplněnému i Silamidu plněnému 15% skleněných vláken. Dále se zjistilo, že neplněné vzorky skupin A,B byly zřejmě zaměněny za plněný Silamid. Tak se snížilo množství využitelných výsledků zkoušek tečení.

Byla provedena také dlouhodobá zkouška na tyčích z plněného Miramidu. Pro podrobné srovnání se Silamidem však chybí dostatek informací o tomto materiálu.

Diplomovou práci uzavírá popis nového zkušebního přístroje pro dlouhodobou zkoušku v tahu, na kterém byly provedeny oproti stávajícímu zařízení určité konstrukční změny. Výhodou nového přístroje by mělo být zajištění konstantní teploty v pracovním prostoru a snazší obsluha zařízení při provádění zkoušky.

Poděkování

Závěrem děkuji vedoucímu diplomové práce ing. Miloslavu Šafaříkovi za rady a připomínky poskytnuté při vypracování diplomové práce. Zaměstnancům dílen KPT - VŠST děkuji za pomoc při řešení praktické stránky diplomové práce.

SEZNAM PŘÍLOH

Tab.č.I	Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.1 a č.2
II	Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.3 a č.4
III	Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.5 a č.6
IV	Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.7 a č.8
V	Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.9 a č.10
VI	Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.11 a č.12
VII	Naměřené hodnoty - zkouška č.1
VIII	Naměřené hodnoty - zkouška č.2
IX	Naměřené hodnoty - zkouška č.3
X	Naměřené hodnoty - zkouška č.4
XI	Naměřené hodnoty - zkouška č.5
XII	Naměřené hodnoty - zkouška č.6
XIII	Naměřené hodnoty - zkouška č.7
XIV	Naměřené hodnoty - zkouška č.8
XV	Naměřené hodnoty - zkouška č.9
XVI	Naměřené hodnoty - zkouška č.10
XVII	Naměřené hodnoty - zkouška č.11
XVIII	Naměřené hodnoty - zkouška č.12
XIX	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.1
XX	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.2
XXI	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.3
XXII	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.4
XXIII	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.5
XXIV	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.6
XXV	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.7
XXVI	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.8
XXVII	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.9
XXVIII	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.10
XXIX	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.11
XXX	Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.12
XXXI	Analýza faktorového pokusu pro kríkový modul pružnosti

XXXII Analýza faktorového pokusu pro kríkový modul
pružnosti

XXXIII Analýza faktorového pokusu pro kríkový modul
pružnosti

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ Neuhäusl, E.: Základní vlastnosti plastů a jejich aplikační vhodnost, In: Vlastnosti a použití plastů ve strojírenství, Praha, 1975
- /2/ Bareš, R.A. : Trendy a možnosti rozvoje polymerních kompozitů v ČSSR, Strojírenství 36, 1986, s.633
- /3/ Kiessling, D.: Zkoušení výlisků z plastů v NDR, Plasty a kaučuk, 1983, s.142
- /4/ Krebs, J.: Teorie a technologie zpracování plastů, VŠST, Liberec, 1981
- /5/ Neuhäusl, E.: Vstřikování plastických hmot, SNTL, Praha, 1973
- /6/ Tvrzník, P.: Výzkum vlastností výstřiků z vyztuženého polyamidu./Diplomová práce/ Liberec 1985 - VŠST FS KPT
- /7/ Neuhäusl, E.: Studium významnosti technologických parametrů v procesu vstřikování termoplastů, Plasty a kaučuk, 1984, s.68
- /8/ Jirouš, M.: Mechanické chování namáhaných plastů, In: Vlastnosti, zpracování a použití plastů ve strojírenství, Praha, 1975, s.21
- /9/ ČSN 64 0621
- /10/ Hrnčíř, J.: Dlouhodobé zkoušky v tahu na tělesech z přepraveckého polyetyleny /Diplomová práce/ Liberec 1981 - VŠST FS KPT
- /11/ Stříbrná, J.: Kompozitní materiály, In: Rozvoj materiálové základny, Praha, 1978
- /12/ Raab, M.: Problémy kompozitů, Plasty a kaučuk, 1986, s.161
- /13/ Vočadlo, M.: Technický rozvoj nových nekovových materiálů, Praha, 1980
- /14/ Jirouš, M.: Zkoušení plastů a aplikace výsledků zkoušek, In: Vlastnosti, zpracování a použití plastů ve strojírenství, Praha, 1975, s.34

/15/ ČSN 64 0605
/16/ Koťátko, J.:

Studium vlastností výstřiků z plněných
a neplněných termoplastů /Diplomová
práce/ Liberec 1983 - VŠST FS KPT

/17/ ČSN 64 0007
/18/ ČSN 42 0368
/19/ Maixner, L.:

Navrhování automatických výrobních
systémů, SNTL, Praha, 1980

/20/ Felix, M.-Bláha, K.: Matematicko statistické metody
v chemickém průmyslu, SNTL, Praha, 1962

/21/ Janeček, J.:
Dlouhodobé zkoušky plastů v tahu
/Diplomová práce/ Liberec 1983 - VŠST
FS KPT

/22/ Brown, R.P.:
Taschenbuch Kunststoff - Prüftechnik,
München, 1984

/23/ Hostinský, T.-Čadek, J.: Stroj pro creepové zkoušky
v tahu při konstantním napětí, kovové
materiály 12, 1974, s.543

Tab. XXXIII Analýza faktorového pokusu pro klíkový modul pružnosti

Parametry: A1 = 12% SV B1 = 40°C C1 = 2 MPa
A2 = 0% SV B2 = 80°C C2 = 10 MPa

Kombinace	Hodnoty	$E_c(t)$ (MPa)	Součet R_i
A1B1C1	2 136	2 538	10 674
A1B1C2	6 241	2 832	12 073
A1B2C1	4 109	4 203	8 312
A1B2C2	8 242	12 467	20 809
A2B1C1	13 364	10 046	23 410
A2B1C2	1 280	1 310	2 590
A2B2C1	1 890	2 616	4 506

$F_{0,01}(1; 8) = 11,26$

$F_B, F_{AB} > F_{0,01}(1; 8)$

Effekt	Součet druhých mocnin	Stupně volnosti	F
A	4 273 182	1	2,22
B	69 281 296	1	24,69
C	398 792	1	0,22
AB	73 917 006	1	40,72
AC	2 647 129	1	1,46
BC	1 872 792	1	1,03
ABC	1 022 676	1	0,58
Residuální	14 222 841	8	
celkový	198 262 714	12	

Rozbor vlivu interakce AB

	A1	A2	A2 - A1
B1	2667	11022	2368
B2	2004	1774	-3230
B2-B1	-683	-9281	

B1	B2	B2 - B1
8321	3389	-4982

AB interval spolehlivosti: $\bar{q} \pm 3,3554 \cdot 1,347,32,0,707 = \bar{q} \pm 3196 \text{ MPa}$
B interval spolehlivosti: $\bar{q} \pm 3,3554 \cdot 1,347,32,0,2 = \bar{q} \pm 260 \text{ MPa}$

TabXXXI Analýza faktorového pokusu pro kríповý modul pružnosti

Parametry: A1 = 15% SV B1 = 40°C C₁ = 5 MPa
 A2 = 30% SV B2 = 80°C C₂ = 10 MPa

Kombinace	A1B1C1	A1B1C2	A1B2C1	A1B2C2	A2B1C1	A2B1C2	A2B2C1	A2B2C2
Hodnoty E _c (t)/MPa/	5136 5538	6241 5832	5654 6048	4109 4203	7931 7915	4877 5835	8416 8834	10078 9050
Součet R _i	10674	12073	11702	8312	15846	10712	17250	19128

Efekt interakce	Součet druhých mocnin	Stupeň volnosti	F
A	25 439 414	1	154,03
B	3 139 098	1	19,01
C	1 720 688	1	10,42
AB	9 848 613	1	59,63
AC	100 014	1	0,61
BC	308 858	1	1,87
ABC	8 703 975	1	52,70
reziduální	1 321 243	8	
celkový	48 861 215	15	

$$F_{0,01}(1; 8) = 11,26$$

$$F_A, F_B, F_{AB}, F_{ABC} > F_{0,01}(1; 8)$$

Rozbor vlivu faktoru A

A1	A2	A2 - A1
5 345	7 867	2 522

Rozbor vlivu faktoru B

B1	B2	B2 - B1
6 163	7 049	886

Rozbor vlivu interakce AB

	A1	A2	A2 - A1
B1	5 687	6 640	953
B2	5 004	9 095	4 091
B2-B1	- 683	2 455	

Interval spolehlivosti pro interakci AB:

$$d \pm 3,3554.406,3931.0,707 = d \pm 964 \text{ MPa}$$

Interval spolehlivosti pro faktory A,B: $d \pm 3,3554.406,3931.0,5$

$$d \pm 682 \text{ MPa}$$

Číslo vzorku	Rozměry zkušebních tyček v mm								Průřez /mm ² /
	a ₁	a ₂	a ₃	$\overline{a}$	b ₁	b ₂	b ₃	$\overline{b}$	
1 - 1	5,0	5,0	5,0	5,0	3,9	3,9	3,9	3,9	19,5
3 - 1	4,9	4,85	4,75	4,83	3,9	3,85	3,85	3,87	18,69
5 - 1	5,0	5,0	4,95	4,98	3,9	3,9	3,9	3,9	19,43
7 - 1	5,2	5,1	4,8	5,03	3,9	3,9	3,9	3,9	19,63
A - 1	5,6	5,6	5,6	5,6	3,9	3,9	3,9	3,9	21,84
C - 1	4,8	4,75	4,85	4,8	3,95	3,95	3,95	3,95	18,96
1 - 2	5,0	5,0	5,0	5,0	3,9	3,9	3,9	3,9	19,5
3 - 2	4,8	4,9	4,9	4,87	3,9	3,9	3,9	3,9	18,98
5 - 2	4,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,9	3,9	3,9	19,11
7 - 2	5,0	5,0	5,0	5,0	3,9	3,9	3,9	3,9	19,5
A - 2	5,7	5,7	5,65	5,68	3,9	3,9	3,9	3,9	22,16
C - 2	4,8	4,8	4,8	4,8	3,9	3,9	3,9	3,9	18,72

Tab.č.I Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.1 a č.2

Číslo vzorku	Rozměry zkušebních tyček v mm								Průřez /mm ²
	a ₁	a ₂	a ₃	$\bar{a}$	b ₁	b ₂	b ₃	$\bar{b}$	
1 - 3	4,95	4,95	4,95	4,95	3,9	3,9	3,9	3,9	19,30
3 - 3	5,0	5,0	5,0	5,0	3,8	3,9	3,9	3,87	19,33
5 - 3	4,9	4,9	5,0	4,93	3,9	3,9	3,9	3,9	19,24
7 - 3	5,2	5,1	4,8	5,03	3,9	3,9	3,9	3,9	19,63
A - 3	5,4	5,6	5,7	5,57	3,9	3,9	3,9	3,9	21,71
C - 3	4,6	4,5	4,7	4,6	3,9	3,95	4,0	3,95	18,17
1 - 4	5,0	5,0	5,0	5,0	3,9	3,9	3,9	3,9	19,5
3 - 4	4,95	4,49	4,95	4,95	3,9	3,9	3,9	3,9	19,30
5 - 4	4,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,9	3,9	3,9	19,11
7 - 4	5,25	5,1	4,7	5,02	3,9	3,9	3,8	3,87	19,39
A - 4	5,7	5,7	5,7	5,7	3,9	3,9	3,9	3,9	22,23
C - 4	4,7	4,4	4,6	4,57	3,9	3,9	3,9	3,9	17,81

Tab.č.II Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.3 a č.4

Číslo vzorku	Rozměry zkušebních tyček v mm								Průřez $\frac{1}{2}$ / mm ²
	a ₁	a ₂	a ₃	$\bar{a}$	b ₁	b ₂	b ₃	$\bar{b}$	
1 - 5	5,0	5,0	5,0	5,0	3,9	3,9	3,9	3,9	19,5
3 - 5	4,95	4,95	4,9	4,93	3,9	3,9	3,9	3,9	19,24
5 - 5	4,9	4,9	4,95	4,91	3,9	3,9	3,9	3,9	19,17
7 - 5	4,8	5,1	5,2	5,03	3,9	3,9	3,9	3,9	19,63
A - 5	5,7	5,7	5,7	5,7	3,95	3,95	3,95	3,95	22,51
C - 5	4,7	4,7	4,8	4,73	4,0	4,0	4,0	4,0	18,93
2 - 6	4,7	4,7	4,7	4,7	3,95	3,95	3,95	3,95	18,56
4 - 6	4,8	4,8	4,8	4,8	3,95	3,95	3,95	3,95	18,96
6 - 6	5,0	5,0	5,0	5,0	3,95	3,95	3,95	3,95	19,75
8 - 6	5,0	5,05	5,1	5,05	3,9	3,9	3,9	3,9	19,69
B - 6	5,0	5,0	5,0	5,0	3,95	3,95	3,95	3,95	19,75
D - 6	4,9	4,9	4,9	4,9	3,95	3,95	3,95	3,95	19,35

Tab.č.III Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.5 a č.6

Číslo vzorku	Rozměry zkušebních tyčů v mm								Průřez mm^2
	a_1	a_2	a_3	$\bar{a}$	b_1	b_2	b_3	$\bar{b}$	
2 - 7	4,9	4,9	4,9	4,9	3,95	3,95	3,95	3,95	19,35
4 - 7	5,0	5,0	5,1	5,03	3,95	3,95	3,95	3,95	19,88
6 - 7	4,9	4,9	4,9	4,9	3,95	3,95	3,95	3,95	19,35
8 - 7	5,7	5,9	5,75	5,78	3,95	3,95	3,95	3,95	22,84
8 - 7	4,7	4,65	4,7	4,68	3,95	4,0	4,0	3,98	18,65
10 - 7	4,8	4,8	4,9	4,83	4,0	4,0	3,95	3,98	19,25
2 - 8	4,9	4,9	4,9	4,9	3,95	3,95	3,95	3,95	19,35
4 - 8	4,85	4,8	4,8	4,81	3,95	3,9	3,95	3,93	18,94
6 - 8	4,8	4,8	4,85	4,81	3,9	3,95	3,95	3,93	18,94
8 - 8	5,4	5,45	5,3	5,38	3,9	3,9	3,9	3,9	20,99
8 - 8	5,0	5,0	4,95	4,98	4,0	4,0	4,0	4,0	19,93
10 - 8	4,95	4,95	4,95	4,95	3,95	3,95	3,95	3,95	19,55

Tab.č.IV Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.7 a č.8

Číslo vzorku	Rozměry zkušebních tyček v mm								Průřez /mm ² /
	a ₁	a ₂	a ₃	$\overline{a}$	b ₁	b ₂	b ₃	$\overline{b}$	
2 - 9	4,95	4,95	4,95	4,95	4,0	4,0	4,0	4,0	19,8
4 - 9	4,9	4,8	4,8	4,83	3,95	3,95	3,95	3,95	19,09
6 - 9	4,85	4,8	4,8	4,81	4,0	4,0	4,0	4,0	19,26
8 - 9	5,3	5,4	5,3	5,3	3,95	3,95	3,9	3,93	20,97
8 - 9	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	20,0
0 - 9	4,8	4,9	4,8	4,83	4,0	4,0	3,95	3,98	19,25
2 - 10	4,95	4,95	4,95	4,95	4,0	4,0	4,0	4,0	19,8
4 - 10	4,85	4,9	4,9	4,88	3,95	3,95	3,95	3,95	19,28
6 - 10	4,8	4,8	4,9	4,83	3,95	3,95	3,95	3,95	19,09
8 - 10	5,65	5,75	5,55	5,65	3,95	3,9	3,9	3,91	22,12
8 - 10	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	20,0
0 - 10	4,9	4,9	4,9	4,9	4,0	4,0	4,0	4,0	19,6

Tab.č.V Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.9 a č.10

Číslo vzorku	Rozměry zkušebních tyček v mm								Průřez /mm ² /
	a ₁	a ₂	a ₃	$\bar{a}$	b ₁	b ₂	b ₃	$\bar{b}$	
2 - 11	4,95	4,95	4,95	4,95	4,0	4,0	4,0	4,0	19,8
4 - 11	4,9	4,9	4,9	4,9	3,95	3,95	3,95	3,95	19,35
6 - 11	4,80	4,85	4,85	4,83	3,95	4,0	3,95	3,96	19,17
8 - 11	5,5	5,7	5,6	5,6	3,9	3,95	3,95	3,93	22,03
8 - 11	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	20,0
0 - 11	4,9	4,95	4,95	4,93	4,0	4,0	4,0	4,0	19,73
M 1	6,25	6,35	6,4	6,3	3,8	3,8	3,8	3,8	24,06
M 2	6,3	6,3	6,2	6,26	3,8	3,8	3,8	3,8	23,81
M 3	5,95	5,95	5,95	5,95	3,8	3,8	3,8	3,8	22,61
M 4	6,15	6,2	6,1	6,15	3,8	3,8	3,8	3,8	23,37
M 5	6,2	6,2	6,1	6,16	3,8	3,8	3,8	3,8	23,43
M 6	6,2	6,25	6,15	6,2	3,8	3,8	3,8	3,8	23,56

Tab.č.VI Rozměry zkušebních těles - zkoušky č.11 a č.12

Číslo vzorku	1 - 1	3 - 1	5 - 1	A - 1	C - 1
l_o /mm/	49,7	50,0	49,8	49,8	49,82
čas t /min/	Δl / mm/				
5	0,35	0,38	0,23	0,26	0,94
15	0,46	0,43	0,30	0,26	1,21
45	0,56	0,44	0,35	0,26	1,41
70	0,58	0,445	0,36	0,26	1,68
355	0,60	0,48	0,37	0,27	2,21
1 270	0,64	0,485	0,375	0,27	2,33
5 570	0,68	0,52	0,39	0,29	3,26
7 000	0,70	0,55	0,395	0,30	
8 550	0,715	0,57	0,40	0,34	
9 885	0,75	0,58	0,42	0,36	

Tab.č.VII Naměřené hodnoty - zkouška č.1

Číslo vzorku	1 - 2	5 - 2	A - 2	C - 2
l_0 /mm/	49,93	49,94	49,78	50,04
čas t /min/	Δl /mm/			
5	0,31	0,30	0,18	0,96
10	0,38	0,315	0,24	1,01
15	0,39	0,32	0,25	1,065
20	0,42	0,34	0,25	1,08
30	0,42	0,34	0,255	1,14
45	0,46	0,35	0,26	1,32
200	0,52	0,37	0,275	1,765
500	0,55	0,385	0,28	2,28
1 445	0,565	0,40	0,29	2,565
5 700	0,58	0,435	0,30	
7 260	0,59	0,445	0,30	
8 815	0,595	0,45	0,305	
10 100	0,61	0,465	0,31	

Tab.č.VIII Naměřené hodnoty - zkouška č.2

Číslo vzorku	1 - 3	3 - 3	5 - 3	7 - 3	A - 3	C - 3
l_0 /mm/	49,90	49,99	50,11	49,925	50,01	50,05
čas t /min/	Δl /mm/					
5	0,14	0,13	0,16	0,20	0,055	0,05
15	0,245	0,234	0,165	0,195	0,10	0,83
25	0,30	0,25	0,17	0,205	0,11	0,95
35	0,325	0,29	0,20	0,225	0,12	1,20
45	0,34	0,32	0,21	0,235	0,14	1,285
60	0,37	0,35	0,22	0,255	0,14	1,50
170	0,46	0,41	0,23	0,275	0,18	2,78
410	0,50	0,455	0,245	0,32	0,19	3,49
1 380	0,55	0,475	0,275	0,355	0,215	4,02
1 610	0,55	0,49	0,28	0,355	0,22	4,13
6 010	0,58	0,535	0,305	0,37	0,255	5,27
7 110	0,60	0,560	0,305	0,375	0,275	5,44
8 580	0,60	0,57	0,315	0,40	0,29	
10 020	0,605	0,60	0,32	0,405	0,30	
11 470	0,620	0,62	0,335	0,415	0,31	

Tab.č.IX Naměřené hodnoty - zkouška č.3

Číslo vzorku	1 - 4	3 - 4	5 - 4	7 - 4	A - 4	C - 4
l_o /mm/	49,79	50,12	49,80	49,75	50,07	50,16
čas t/min/	Δl /mm/					
5	0,10	0,30	0,20	0,22	0,13	0,75
10	0,14	0,335	0,27	0,225	0,15	0,81
15	0,15	0,37	0,30	0,23	0,16	0,90
20	0,2	0,42	0,31	0,26	0,18	0,93
25	0,2	0,46	0,315	0,26	0,21	1,00
35	0,25	0,52	0,32	0,265	0,23	1,06
45	0,25	0,55	0,325	0,27	0,235	1,14
55	0,26	0,56	0,32	0,27	0,25	1,23
65	0,27	0,58	0,325	0,28	0,26	1,29
305	0,30	0,68	0,33	0,285	0,31	1,76
1 375	0,34	0,75	0,34	0,30	0,32	1,94
1 805	0,37	0,76	0,34	0,31	0,33	2,07
5 660	0,41	0,78	0,35	0,33	0,36	2,41
8 630	0,43	0,85	0,35	0,34	0,37	2,53
9 990	0,45	0,88	0,355	0,34	0,375	2,74
11 430	0,46	0,88	0,37	0,345	0,39	2,98
15 960	0,48	0,89	0,39	0,345	0,44	3,69

Tab.č.X Naměřené hodnoty - zkouška č.4

Číslo vzorku	3 - 5	5 - 5	7 - 5	A - 5	C - 5
l_0 /mm/	49,99	49,95	49,78	49,98	50,205
čas t/min/	Δl /mm/				
5	0,11	0,18	0,06	0,01	0,485
10	0,18	0,21	0,08	0,04	0,505
15	0,21	0,25	0,10	0,06	0,535
20	0,23	0,27	0,12	0,07	0,605
25	0,25	0,28	0,125	0,08	0,61
30	0,285	0,30	0,13	0,09	0,725
45	0,34	0,305	0,18	0,095	0,745
60	0,37	0,32	0,19	0,10	0,885
1 440	0,48	0,33	0,23	0,115	1,775
2 715	0,54	0,35	0,27	0,135	2,145
5 675	0,60	0,38	0,275	0,14	2,965
10 035	0,61	0,39	0,29	0,15	3,685

Tab.č.XI

Naměřené hodnoty - zkouška č.5

Číslo vzorku	2 - 6	4 - 6	6 - 6	8 - 6	B - 6	D - 6
l_0 /mm/	49,87	49,89	49,56	49,65	49,91	50,03
čas t/min/	Δl /mm/					
5	0,18	0,51	0,42	0,10	0,08	0,55
10	0,26	0,54	0,45	0,16	0,11	0,62
15	0,28	0,56	0,46	0,165	0,12	0,71
25	0,30	0,57	0,49	0,18	0,13	0,80
30	0,33	0,59	0,50	0,20	0,14	0,81
40	0,34	0,60	0,51	0,21	0,15	0,88
50	0,36	0,615	0,515	0,215	0,17	0,96
60	0,40	0,62	0,52	0,22	0,175	1,05
1 635	0,48	0,68	0,54	0,28	0,20	1,79
2 770	0,51	0,69	0,545	0,29	0,205	2,10
4 210	0,54	0,72	0,55	0,30	0,22	2,25
5 770	0,60	0,75	0,56	0,33	0,23	2,42
11 855	0,66	0,75	0,58	0,35	0,24	2,70

Tab.č.XII Naměřené hodnoty - zkouška č.6

Číslo vzorku	2 - 7	4 - 7	6 - 7	8 - 7	B - 7	D - 7
l_0 /mm/	49,71	49,77	49,70	49,68	49,85	49,93
čas t/mm/	Δl /mm/					
5	0,31	0,31	0,32	0,11	0,13	0,46
10	0,32	0,43	0,33	0,15	0,17	0,50
15	0,34	0,49	0,36	0,17	0,185	0,56
20	0,36	0,51	0,38	0,19	0,21	0,59
25	0,37	0,52	0,395	0,20	0,225	0,64
30	0,39	0,53	0,40	0,23	0,24	0,68
40	0,41	0,54	0,43	0,24	0,245	0,72
50	0,415	0,555	0,44	0,24	0,25	0,74
955	0,435	0,60	0,455	0,245	0,28	1,08
2 410	0,47	0,67	0,46	0,25	0,29	1,30
3 825	0,50	0,68	0,46	0,25	0,295	1,54
8 165	0,53	0,70	0,46	0,25	0,30	2,03

Tab.č.XIII

Naměřené hodnoty - zkouška č.7

Číslo vzorku	2 - 8	4 - 8	6 - 8	8 - 8	8 - 8
l_0 /mm/	50,02	49,85	49,58	49,70	49,90
čas t/min/	Δl /mm/				
5	0,43	0,8	0,38	0,21	0,18
10	0,69	1,42	0,50	0,26	0,27
15	0,99	1,71	0,63	0,29	0,33
20	1,25	2,03	0,65	0,31	0,335
30	1,42	2,19	0,72	0,33	0,36
40	1,44	2,31	0,74	0,34	0,365
50	1,60	2,41	0,745	0,345	0,41
875	2,08	2,73	0,80	0,38	0,52
1 400	2,33		0,815	0,40	0,56
2 400			0,87	0,45	0,61
3 790			0,89	0,46	0,65
10 960			0,94	0,47	0,67

Tab.č.XIV Naměřené hodnoty - zkouška č.8

Číslo vzorku	2 - 9	4 - 9	6 - 9	8 - 9	8 - 9	0 - 9
l_0 /mm/	49,80	49,75	49,60	49,80	49,92	49,84
čas t/min/	Δl /mm/					
5	0,30	0,79	0,38	0,10	0,15	0,70
10	0,54	0,90	0,51	0,16	0,21	0,86
15	0,56	1,01	0,545	0,22	0,26	1,19
25	0,62	1,17	0,56	0,32	0,34	1,33
35	0,67	1,19	0,58	0,33	0,40	1,45
140	1,31	1,56	0,76	0,42	0,50	5,28
470	1,40	1,695	0,80	0,44	0,56	5,89
1 475	1,87	2,05	0,97	0,50	0,67	
2 020	1,88	2,11	1,04	0,52	0,68	
2 915	1,98	2,14	1,06	0,54	0,74	
7 220	2,10	2,20	1,12	0,55	0,76	
7 670	2,16	2,30	1,15	0,59	0,77	
9 100	2,20	2,38	1,16	0,63	0,82	

Tab.č.XV Naměřené hodnoty - zkouška č.9

Číslo vzorku	2 - 10	4 - 10	6 - 10	8 - 10	B - 10	D - 10
l_0 /mm/	49,85	49,75	49,76	49,79	49,90	49,74
čas t/min/	Δl /mm/					
3	0,39	0,80	0,47	0,26	0,31	0,66
10	0,56	0,89	0,57	0,29	0,34	0,92
15	0,59	0,98	0,58	0,3	0,34	1,08
20	0,72	1,1	0,58	0,3	0,35	1,19
30	0,79	1,17	0,61	0,33	0,37	1,36
40	0,92	1,35	0,63	0,35	0,39	1,59
45	1,01	1,36	0,65	0,355	0,41	1,67
55	1,05	1,42	0,69	0,36	0,43	1,79
945	1,42	1,85	0,78	0,41	0,62	2,86
1 295	1,51	2,01	0,85	0,44	0,625	3,17
2 410	1,68	2,12	0,92	0,46	0,69	3,29
3 990	1,71	2,33	0,94	0,47	0,75	3,58
10 965	2,0	2,5	1,05	0,55	0,82	3,89

Tab.č.XVI Naměřené hodnoty - zkouška č.10

Číslo vzorku	2 - 11	4 - 11	6 - 11	8 - 11	8 - 11	0 - 11
l_0 /mm/	49,75	49,76	49,65	49,81	49,78	49,93
čas t/min/	Δl /mm/					
3	0,89	0,87	0,58	0,27	0,46	1,03
5	0,96	0,95	0,65	0,26	0,57	1,15
10	1,09	1,29	0,69	0,28	0,64	1,47
15	1,23	1,35	0,78	0,29	0,69	1,63
25	1,28	1,46	0,83	0,29	0,73	1,83
30	1,35	1,50	0,85	0,32	0,76	1,87
360	1,85	2,11	1,02	0,34	0,81	2,88
1 470	2,02	2,39	1,10	0,34	0,93	3,37
1 885	2,09	2,52	1,11	0,36	1,0	3,41
4 350	2,14	2,65	1,13	0,37	1,05	3,60
7 515	2,40	2,93	1,14	0,39	1,07	3,90
8 780	2,38	3,01	1,16	0,40	1,10	3,92
10 330	2,39	3,05	1,18	0,42	1,12	3,95

Tab.č.XVII Naměřené hodnoty - zkouška č.11

Číslo vzorku	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6
l_o /mm/	49,75	49,99	49,71	49,80	49,92	49,90
čas t /min/	Δl /mm/					
3	0,54	0,83	0,94	0,83	0,86	0,74
5	0,77	1,15	1,18	0,98	1,03	0,86
10	0,87	1,29	1,40	1,14	1,17	1,03
15	1,03	1,47	1,60	1,28	1,29	1,09
20	1,10	1,49	1,63	1,29	1,40	1,22
30	1,22	1,64	1,75	1,43	1,50	1,34
105	1,73	2,28	2,29	1,85	1,95	1,78
225	1,78	2,40	2,55	2,07	2,20	1,93
1 065	2,06	3,03	3,21	2,37	2,74	2,43
1 230	2,26	3,05	3,31	2,38	2,84	2,59
7 200	2,34	3,35	3,61	2,70	3,15	2,81
8 295	2,44	3,46	3,62	2,715	3,17	2,84
8 630	2,49	3,49	3,68	2,76	3,21	2,89
9 760	2,54	3,52	3,72	2,79	3,22	2,92
10 170	2,55	3,62	3,80	2,80	3,29	3,00

Tab.č.XVIII

Naměřené hodnoty - zkouška č.12

Číslo vzorku	1 - 1		3 - 1		5 - 1		A - 1		C - 1	
σ /MPa/	52,2596308		54,5274119		52,4344121		46,6603846		53,748038	
$\dot{\epsilon}$ (t) /min/ /	$\dot{\epsilon}$ (t) /	E_c (t) /MPa/	$\dot{\epsilon}$ (t) /	E_c (t) /MPa/	$\dot{\epsilon}$ (t) /	E_c (t) /MPa/	$\dot{\epsilon}$ (t) /	E_c (t) /MPa/	$\dot{\epsilon}$ (t) /	E_c (t) /MPa/
5	0,704	7423	0,76	7175	0,462	11349	0,522	8939	1,887	2848
15	0,926	5644	0,86	6340	0,602	8710	0,522	8939	2,429	2213
45	1,127	4637	0,88	6196	0,703	7459	0,522	8939	2,830	1899
70	1,167	4478	0,88	6196	0,723	7252	0,522	8939	3,372	1594
355	1,207	4330	0,96	5680	0,743	7057	0,542	8609	4,436	1212
1270	1,288	4057	0,97	5621	0,753	6963	0,542	8609	4,677	1149
5570	1,368	3820	1,04	5243	0,783	6697	0,582	8017	6,544	821
7000	1,408	3712	1,10	4957	0,793	6612	0,602	7751		
8550	1,439	3632	1,14	4783	0,803	6530	0,683	6832		
9885	1,509	3463	1,16	4701	0,843	6220	0,723	6454		

Tab .č.XIX Vypočtené hodnoty $\dot{\epsilon}(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.1

Pozn.: U vzorku 7-1 nedokončeno měření v důsledku uvolnění lanka přenášejícího zatěžující sílu z páky na čelist.

Číslo vzorku	1 - 2	5 - 2	A - 2	C - 2				
σ /MPa/	52,2596308	53,3261539	45,9762148	54,4371154				
čas t /min/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/		
5	0,621	8415	0,601	8873	0,362	12701	1,918	2838
10	0,761	6867	0,631	8451	0,482	9539	2,018	2698
15	0,781	6691	0,641	8319	0,502	9159	2,128	2558
20	0,841	6214	0,681	7831	0,502	9159	2,158	2523
30	0,841	6214	0,681	7831	0,512	8980	2,278	2390
45	0,921	5674	0,701	7607	0,522	8808	2,638	2064
200	1,041	5020	0,741	7197	0,552	8329	3,527	1543
500	1,102	4742	0,771	6916	0,562	8181	4,556	1195
1445	1,132	4617	0,801	6657	0,583	7886	5,126	1062
5700	1,162	4497	0,871	6122	0,603	7625		
7260	1,182	4421	0,891	5985	0,603	7625		
8815	1,191	4388	0,901	5919	0,613	7500		
10100	1,222	4277	0,911	5854	0,623	7380		

Tab. č. XX Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č. 2

Pozn.: U vzorků 3 - 2 a 7 - 2 nedokončeno měření v důsledku uvolnění lanka přenášejícího zatěžující sílu z páky na čelist.

Číslo vzorku	1 - 3	3 - 3	5 - 3	7 - 3	A - 3	C - 3
σ /MPa/ čas t /min/	52,787506	52,710145	52,965842	51,913541	46,939788	56,084909
$\epsilon'(t)/\%$ $E_G(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)/\%$ $E_G(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)/\%$ $E_G(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)/\%$ $E_G(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)/\%$ $E_G(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)/\%$ $E_G(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)/\%$ $E_G(t)$ /MPa/
5	0,281 18786	0,260 20273	0,319 16604	0,391 13277	0,110 42673	0,100 56085
15	0,491 10751	0,468 11263	0,329 16099	0,401 12946	0,200 23470	1,658 3383
25	0,601 8783	0,500 10542	0,339 15624	0,411 12631	0,220 21336	1,898 2955
35	0,651 8109	0,580 9088	0,399 13275	0,451 11511	0,240 19558	2,398 2339
45	0,681 7752	0,640 8236	0,419 12641	0,471 11022	0,280 16764	2,567 2185
60	0,741 7124	0,700 7530	0,439 12065	0,511 10159	0,280 16764	2,997 1871
170	0,922 5725	0,820 6428	0,459 11539	0,551 9422	0,360 13039	5,554 1010
410	1,002 5268	0,910 5792	0,489 10832	0,641 8099	0,380 12353	6,973 804
1380	1,102 4790	0,950 5548	0,549 9648	0,711 7301	0,430 10916	8,032 698
1610	1,102 4790	0,980 5379	0,559 9475	0,711 7301	0,440 10668	8,252 680
6010	1,162 4543	1,070 4926	0,609 8697	0,741 7006	0,510 9204	10,529 533
7110	1,202 4392	1,120 4706	0,609 8697	0,751 6913	0,550 8535	
8580	1,202 4392	1,140 4624	0,629 8421	0,801 6481	0,580 8093	
10020	1,212 4355	1,200 4393	0,639 8289	0,811 6401	0,600 7823	
11470	1,242 4250	1,240 4251	0,669 7917	0,831 6247	0,620 7571	

Tab.č.XXI Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_G(t)$ - zkouška č.3

Číslo vzorčku	1 - 4	3 - 4	5 - 4	7 - 4	A - 4	C - 4						
6/MPa/	52,2596301	52,7875058	53,3261539	52,5350281	45,8417814	57,2185738						
čas t /min/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/				
5	0,201	26000	0,599	8813	0,402	13265	0,442	11886	0,260	17631	1,311	4364
10	0,281	18598	0,668	7902	0,542	9839	0,452	11623	0,300	15281	1,416	4041
15	0,301	17362	0,738	7153	0,602	8858	0,462	11371	0,320	14326	1,573	3638
20	0,402	13000	0,838	6299	0,622	8573	0,523	10045	0,359	12769	1,625	3521
25	0,402	13000	0,918	5750	0,633	8424	0,523	10045	0,419	10941	1,748	3273
35	0,502	10410	1,038	5086	0,643	8293	0,533	9856	0,459	9987	1,853	3088
45	0,502	10410	1,097	4812	0,653	8166	0,543	9675	0,469	9774	1,992	2872
55	0,522	10011	1,117	4726	0,643	8293	0,543	9675	0,499	9187	2,150	2661
65	0,542	9642	1,157	4562	0,653	8166	0,563	9331	0,519	8833	2,255	2537
305	0,603	8667	1,357	3890	0,663	8043	0,573	9168	0,619	7406	3,076	1860
1375	0,683	7651	1,496	3529	0,683	7808	0,603	8712	0,639	7174	3,391	1687
1805	0,743	7034	1,516	3482	0,683	7808	0,623	8433	0,659	6956	3,618	1581
5660	0,823	6350	1,556	3393	0,703	7586	0,663	7924	0,719	6376	4,212	1358
8630	0,864	6049	1,696	3112	0,703	7586	0,683	7692	0,739	6203	4,422	1294
9990	0,904	5781	1,756	3006	0,713	7479	0,683	7692	0,749	6120	4,789	1195
11430	0,924	5656	1,756	3006	0,743	7177	0,693	7581	0,779	5885	5,208	1099

Tab.č.XXII Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.4

Číslo vzorku	3 - 5		5 - 5		7 - 5		A - 5		C - 5	
σ /MPa	52,965842		53,1453872		51,9135405		45,2615057		53,823739	
čas t /min/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/
5	0,220	24075	0,360	14763	0,121	42904	0,020	226308	0,966	5572
10	0,360	14713	0,420	12654	0,161	32244	0,080	56577	1,006	5350
15	0,420	12611	0,501	10608	0,201	25828	0,120	37718	1,066	5049
20	0,460	11514	0,541	9824	0,241	21541	0,140	32330	1,205	4467
25	0,500	10593	0,561	9473	0,251	20683	0,160	28288	1,215	4430
30	0,570	9292	0,601	8843	0,261	19890	0,180	25145	1,444	3727
45	0,680	7789	0,611	8698	0,362	14341	0,190	23822	1,484	3627
60	0,740	7158	0,641	8291	0,382	13590	0,200	22631	1,763	3053
1440	0,960	5517	0,661	8040	0,462	11237	0,230	19679	3,536	1522
2715	1,080	4904	0,701	7581	0,542	9578	0,270	16757	4,272	1260
5675	1,200	4414	0,761	6984	0,552	9405	0,280	16165	5,906	911
10035	1,220	4341	0,781	6805	0,583	8905	0,300	15087	7,340	733

Tab.č.XXIII Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.5

Pozn.: U vzorku 1 - 5 nedokončeno měření v důsledku přetržení vzorku. Lom byl způsoben vadou materiálu, dutiny v materiálu zeslabily průřez tyčky.

Číslo vzorku	2 - 6	4 - 6	6 - 6	8 - 6	B - 6	D - 6						
G/MPa/	54,891613	53,748038	51,5981165	51,7422087	51,5981165	52,6511392						
čas t /min/	$\epsilon'(t)$ / % /	$E_G(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ / % /	$E_G(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ / % /	$E_G(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ / % /	$E_G(t)$ /MPa/				
5	0,361	15205	1,022	5259	0,847	6092	0,201	25742	0,160	32249	1,099	4791
10	0,521	10536	1,082	4967	0,908	5683	0,322	16069	0,220	23454	1,239	4249
15	0,561	9785	1,122	4790	0,928	5560	0,332	15585	0,240	21499	1,419	3710
25	0,602	9118	1,143	4702	0,989	5217	0,363	14254	0,260	19845	1,599	3293
30	0,662	8292	1,183	4543	1,009	5114	0,403	12839	0,281	18362	1,619	3252
40	0,682	8049	1,203	4468	1,029	5014	0,423	12232	0,301	17142	1,759	2993
50	0,722	7603	1,233	4359	1,039	4966	0,433	11950	0,341	15131	1,919	2744
60	0,802	6844	1,243	4324	1,049	4919	0,443	11680	0,351	14700	2,099	2508
1635	0,963	5700	1,363	3943	1,090	4734	0,564	9174	0,401	12867	3,578	1472
2770	1,023	5366	1,383	3886	1,100	4691	0,584	8860	0,411	12554	4,197	1254
4210	1,083	5068	1,443	3725	1,110	4648	0,604	8567	0,441	11700	4,497	1171
5770	1,203	4563	1,503	3576	1,130	4566	0,665	7781	0,461	11193	4,837	1089
11855	1,323	4149	1,503	3576	1,170	4410	0,705	7339	0,481	10727	5,397	976

Tab.č.XXIV Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_G(t)$ - zkouška č.6

Číslo vzorku	2 - 7	4 - 7	6 - 7	8 - 7	B - 7	D - 7
σ /MPa/	52,6511392	51,2564071	52,6511392	44,6096481	54,6267918	52,9300784
$\dot{\epsilon}(t)$ /min/	$\dot{\epsilon}(t)$ / %/	$\dot{\epsilon}(t)$ / %/	$\dot{\epsilon}(t)$ / %/	$\dot{\epsilon}(t)$ / %/	$\dot{\epsilon}(t)$ / %/	$\dot{\epsilon}(t)$ / %/
$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/
5	0,624	0,623	0,644	0,221	0,261	0,921
10	0,644	0,864	0,664	0,302	0,341	1,001
15	0,684	0,985	0,724	0,342	0,371	1,122
20	0,724	1,025	0,765	0,382	0,421	1,182
25	0,744	1,045	0,795	0,403	0,451	1,282
30	0,785	1,065	0,805	0,463	0,481	1,362
40	0,825	1,085	0,865	0,483	0,491	1,442
50	0,835	1,115	0,885	0,483	0,502	1,482
955	0,875	1,206	0,915	0,493	0,562	2,163
2410	0,945	1,346	0,926	0,503	0,582	2,604
3825	1,006	1,366	0,926	0,503	0,592	3,084
8165	1,066	1,406	0,926	0,503	0,602	4,066

Tab.č.XXV Vypočtené hodnoty $\dot{\epsilon}(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.7

Číslo vzorku	2 - 8	4 - 8	6 - 8	8 - 8	B - 8
6/MPa/	52,6511392	53,7890165	53,7890165	48,5383568	51,1235519
čas t /min/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/
	$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/
5	0,860	1,605	0,766	0,423	0,361
10	1,379	2,849	1,008	0,523	0,541
15	1,979	3,430	1,271	0,584	0,661
20	2,499	4,072	1,311	0,624	0,671
30	2,839	4,393	1,452	0,664	0,721
40	2,879	4,634	1,493	0,684	0,731
50	3,199	4,835	1,503	0,694	0,822
875	4,158	5,476	1,614	0,765	1,042
1400	4,658	1130	1,644	0,805	1,122
2400			1,755	0,905	1,222
3790			1,795	0,926	1,303
10960			1,896	0,946	1,343

Tab.č.XXVI Vypočtené hodnoty $\dot{\epsilon}(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.8

Pozn.: U vzorku D - 8 nedokončeno měření v důsledku vyčerpání možné míry
prodloužení během 15 minut. Způsobeno malou tuhostí vzorku za zvýšené
teploty.

Číslo vzorku	2 - 9		4 - 9		6 - 9		8 - 9		B - 9		D - 9	
σ /MPa	44,2837273		45,9307386		53,892533		48,5782055		50,95314		38,2555861	
čas t /min/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)$ %/	$E_c(t)$ /MPa/
5	0,602	7356	1,588	2892	0,766	7036	0,201	24168	0,300	16984	1,404	2725
10	1,084	4085	1,809	2539	1,028	5242	0,321	15133	0,421	12103	1,726	2216
15	1,124	3940	2,030	2263	1,099	4904	0,442	10991	0,521	9780	2,388	1602
25	1,245	3557	2,352	1953	1,129	4773	0,643	7555	0,681	7482	2,669	1433
35	1,345	3292	2,392	1920	1,169	4610	0,663	7327	0,801	6361	2,909	1315
140	2,631	1683	3,136	1465	1,532	3518	0,843	5763	1,002	5085	10,594	361
470	2,811	1575	3,407	1348	1,613	3341	0,884	5495	1,122	4541	11,818	324
1475	3,755	1179	4,121	1115	1,956	2755	1,004	4838	1,342	3797		
2020	3,775	1173	4,241	1083	2,097	2570	1,044	4653	1,362	3741		
2915	3,976	1114	4,302	1068	2,137	2522	1,084	4481	1,482	3438		
7220	4,217	1050	4,422	1039	2,258	2387	1,104	4400	1,522	3348		
7670	4,337	1021	4,623	994	2,319	2324	1,185	4099	1,542	3304		
9100	4,418	1002	4,784	960	2,339	2304	1,265	3840	1,643	3101		

Tab.č.XXVII

Vypočtené hodnoty $\dot{\epsilon}(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.9

Číslo vzorku	2 - 10	4 - 10	6 - 10	8 - 10	B - 10	D - 10
σ /MPa/ čas t /min/	$\epsilon'(t)$ /%/	$\epsilon'(t)$ /%/	$\epsilon'(t)$ /%/	$\epsilon'(t)$ /%/	$\epsilon'(t)$ /%/	$\epsilon'(t)$ /%/
3	0,782	1,608	0,945	0,522	0,621	1,327
10	1,123	1,789	1,145	0,582	0,681	1,850
15	1,184	1,970	1,166	0,603	0,681	2,171
20	1,444	2,211	1,166	0,603	0,701	2,392
30	1,585	2,352	1,226	0,663	0,741	2,734
40	1,846	2,714	1,266	0,703	0,782	3,197
45	2,026	2,734	1,306	0,713	0,822	3,357
55	2,106	2,854	1,387	0,723	0,862	3,599
945	2,848	3,719	1,568	0,823	1,242	5,750
1295	3,029	4,040	1,708	0,884	1,253	6,373
2410	3,370	4,261	1,849	0,924	1,383	6,614
3990	3,430	4,683	1,889	0,944	1,503	7,197
10965	4,012	5,025	2,110	1,105	1,643	7,821

Tab.č. XXVIII Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.10

Číslo vzorku	2 - 11		4 - 11		6 - 11		8 - 11		B - 11		D - 11	
σ/MPa/	44,2837273		45,3018755		53,1537033		46,2642575		50,95314		30,1211252	
čas t /min/	$\dot{\epsilon}(t)/\%$	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)/\%$	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)/\%$	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)/\%$	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)/\%$	$E_c(t)$ /MPa/	$\dot{\epsilon}(t)$ /MPa/	$E_c(t)$ /MPa/
3	1,179	3 756	1,748	2 592	1,168	4 551	0,542	8 536	0,924	5 514	2,063	1460
5	1,930	2 294	1,909	2 373	1,309	4 061	0,522	8 863	1,145	4 450	2,303	1308
10	2,191	2 021	2,592	1 748	1,390	3 824	0,562	8 232	1,286	3 962	2,944	1023
15	2,472	1 791	2,713	1 670	1,571	3 383	0,582	7 949	1,386	3 676	3,265	923
25	2,573	1 721	2,934	1 544	1,672	3 179	0,582	7 949	1,466	3 476	3,665	822
30	2,714	1 632	3,014	1 503	1,712	3 105	0,642	7 206	1,527	3 337	3,745	804
360	3,719	1 191	4,240	1 068	2,054	2 588	0,683	6 774	1,627	3 132	5,768	522
1470	4,060	1 091	4,803	943	2,216	2 399	0,683	6 774	1,868	2 728	6,749	446
1885	4,201	1 054	5,064	895	2,236	2 377	0,723	6 399	2,009	2 536	6,830	441
4350	4,302	1 029	5,326	851	2,276	2 335	0,743	6 227	2,109	2 416	7,210	418
7515	4,824	918	5,888	769	2,296	2 315	0,783	5 909	2,149	2 371	7,811	386
8780	4,804	922	6,049	749	2,336	2 275	0,803	5 761	2,210	2 306	7,891	382
10330	4,784	926	6,129	739	2,377	2 236	0,843	5 488	2,250	2 265	7,901	381

Tab.č.XXIX Vypočtené hodnoty $\dot{\epsilon}(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.11

Číslo vzorku	M 1		M 2		M 3		M 4		M 5		M 6	
σ /MPa/	42,3433297		42,7937906		45,0713313		43,6055969		43,487744		43,253939	
čas t /min/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/	$\epsilon'(t)$ /%/	$E_c(t)$ /MPa/
3	1,085	3903	1,660	2578	1,891	2383	1,667	2616	1,723	2524	1,483	2917
5	1,548	2735	2,300	1861	2,374	1899	1,968	2216	2,063	2108	1,723	2510
10	1,749	2421	2,581	1658	2,816	1601	2,289	1905	2,344	1855	2,064	2096
15	2,070	2046	2,941	1455	3,219	1400	2,570	1697	2,584	1683	2,184	1980
20	2,211	1915	2,981	1436	3,279	1375	2,590	1684	2,804	1551	2,445	1769
30	2,452	1727	3,281	1304	3,520	1280	2,871	1519	3,005	1447	2,685	1611
105	3,477	1218	4,561	938	4,607	978	3,715	1174	3,906	1113	3,567	1213
225	3,578	1183	4,801	891	5,130	879	4,157	1049	4,407	987	3,868	1118
1 065	4,141	1023	6,061	706	6,457	698	4,759	916	5,489	792	4,870	888
1 230	4,543	932	6,101	701	6,659	677	4,779	912	5,689	764	5,190	833
7 200	4,704	900	6,701	639	7,262	621	5,422	804	6,310	689	5,631	768
8 295	4,905	863	6,921	618	7,282	619	5,452	800	6,350	685	5,691	760
8 630	5,005	846	6,981	613	7,403	609	5,542	787	6,430	676	5,792	747
9 760	5,106	829	7,041	608	7,483	602	5,602	778	6,450	674	5,852	739
10 170	5,126	826	7,241	591	7,644	590	5,622	776	6,591	660	6,012	719

Tab.č.XXX Vypočtené hodnoty $\epsilon'(t)$, $E_c(t)$ - zkouška č.12

Tab.XXXII Analýza faktorového pokusu pro křipový modul pružnosti

Parametry: A1 = 30% SV
A2 = 0% SV

B1 = 40°C
B2 = 80°C

C1 = 5 MPa
C2 = 10 MPa

Kombinace	A1B1C1	A1B1C2	A1B2C1	A1B2C2	A2B1C1	A2B1C2	A2B2C1	A2B2C2
Hodnoty	7931	4877	8416	10 078	8342	13 364	1280	1890
$E_c(t)$ /MPa	7915	5835	8834	9 050	12467	10 046	1310	2616
Součet R_i	15 846	10 712	17 250	19 128	20 809	23 410	2590	4506

Efekt interakce	Součet druhých mocnin	Stupeň volnosti	F
A	8 440 478	1	4,40
B	46 590 863	1	24,28
C	99 383	1	0,05
AB	137 727 828	1	71,77
AC	3 776 221	1	1,97
BC	2 501 933	1	1,30
ABC	3 702 738	1	1,93
reziduální	15 351 126	8	
celkový	218 190 570	15	

$$F_{0,01}(1;8) = 11,26$$

$$F_B, F_{AB} > F_{0,01}(1;8)$$

Rozbor vlivu interakce AB

	A1	A2	A2 - A1
B1	6 640	11 055	4 415
B2	9 095	1 744	-7 321
B2-B1	2 455	- 9 281	

B1	B2	B2 - B1
8 847	5 434	- 3413

AB Interval spolehlivosti: $d^{\pm} 3,3554.1\ 385,24.0,707 = d^{\pm} 3\ 286$ MPa

B Interval spolehlivosti: $d^{\pm} 3,3554.1\ 385,24.0,5 = d^{\pm} 2\ 324$ MPa

6	KLUZNÁ PODLOŽKA	Ø 24 - 4	11 500			22
6	DOLNÍ POUZDRO	Ø 24 - 18	42 3016			21
6	HORNÍ POUZDRO	Ø 30 - 24	42 3016			20
6	MATICE	Ø 40 - 40	42 3046			19
6	TYČ	Ø 8 - 250	11 500			18
6	ČEP	Ø 12 - 26	11 600			17
6	DRŽÁK	M 10 - 75	11 523			16
6	POHYBOVÝ ŠROUB	Ø 20 - 600	11 600			15
1	OBJÍMKA MOTORU	Ø 40 - 40	42 4057			14
1	VODICÍ TYČ	Ø 40 - 800	11 500			13
6	PROTIZÁVAŽÍ	Ø 60 - 36	OCEL TŘ.10			12
6	ZÁVAŽÍ	Ø 90 - 200	OCEL TŘ.10	SLOŽENO Z DÍLŮ		11
1	MOTOR K 6A - 1			S VRTULKOU		10
1	TOPNÉ TĚLESO					9
1	OPTICKÝ SYSTÉM					8
6	KOZLÍK S KLADKOU					7
2	VODÍTKO	SVAŘENEC	OCEL TŘ.11			6
6	VIDLICE	SVAŘENEC	OCEL TŘ.11			5
1	TYČ ZVEDACÍHO ZAŘÍZENÍ	SVAŘENEC	11 523			4
1	DRŽÁK ZVEDACÍHO ZAŘÍZENÍ	SVAŘENEC	OCEL TŘ.11			3
1	STOJAN	SVAŘENEC	OCEL TŘ.11			2
12	UPÍNACÍ ČELIST				4-256-20	1

Počet kusů	Název	Rozměr	Materiál	Poznámka	Číslo výkresu	Pos.

Měřítka	Kreslil	Datum	Podpis	Č. snímku	Celková č. váha kg			
	15.1987				Změna	Datum	Podpis	Index změny
	Přezkoušel							
	Norm. ref							
	Výr. projednal			Č. transp.				
	Schválil							

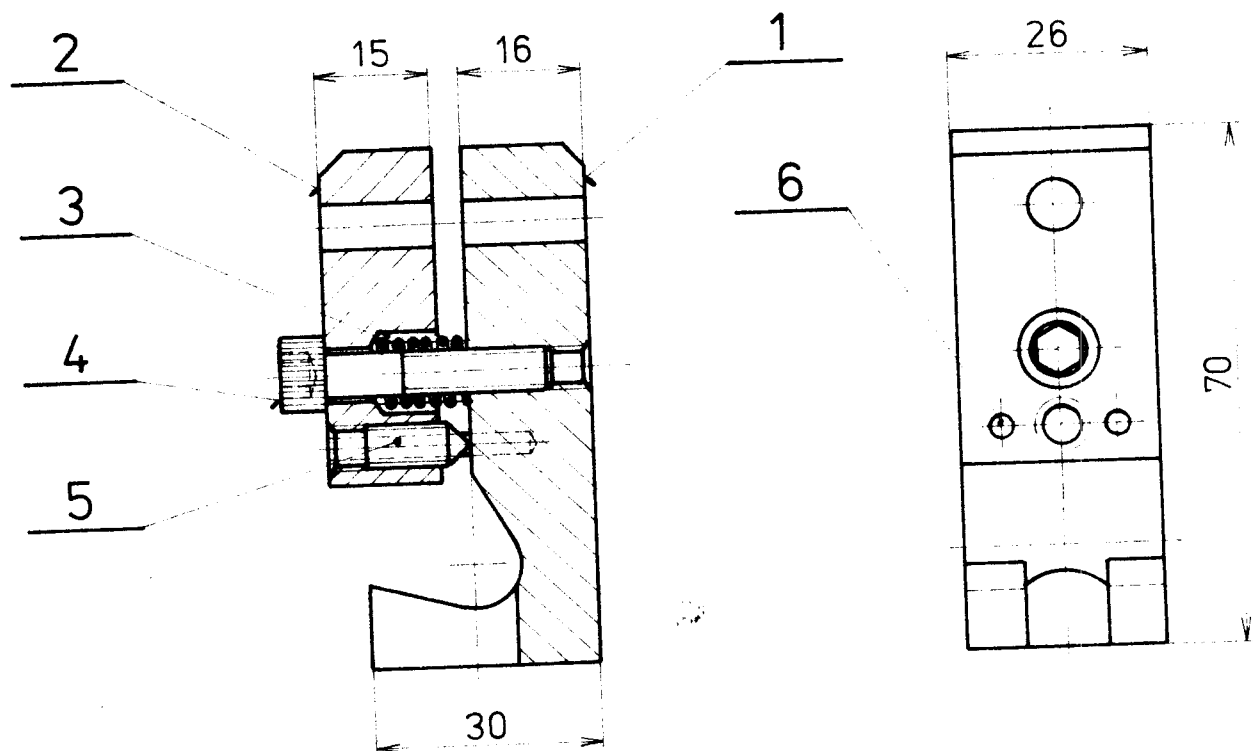
VŠST LIBEREC	Typ	Skupina	Starý výkres	Nový výkres
	Název			

ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ	1 - 256 - 10
----------------------	--------------

Počet listů 4	List 2
---------------	--------

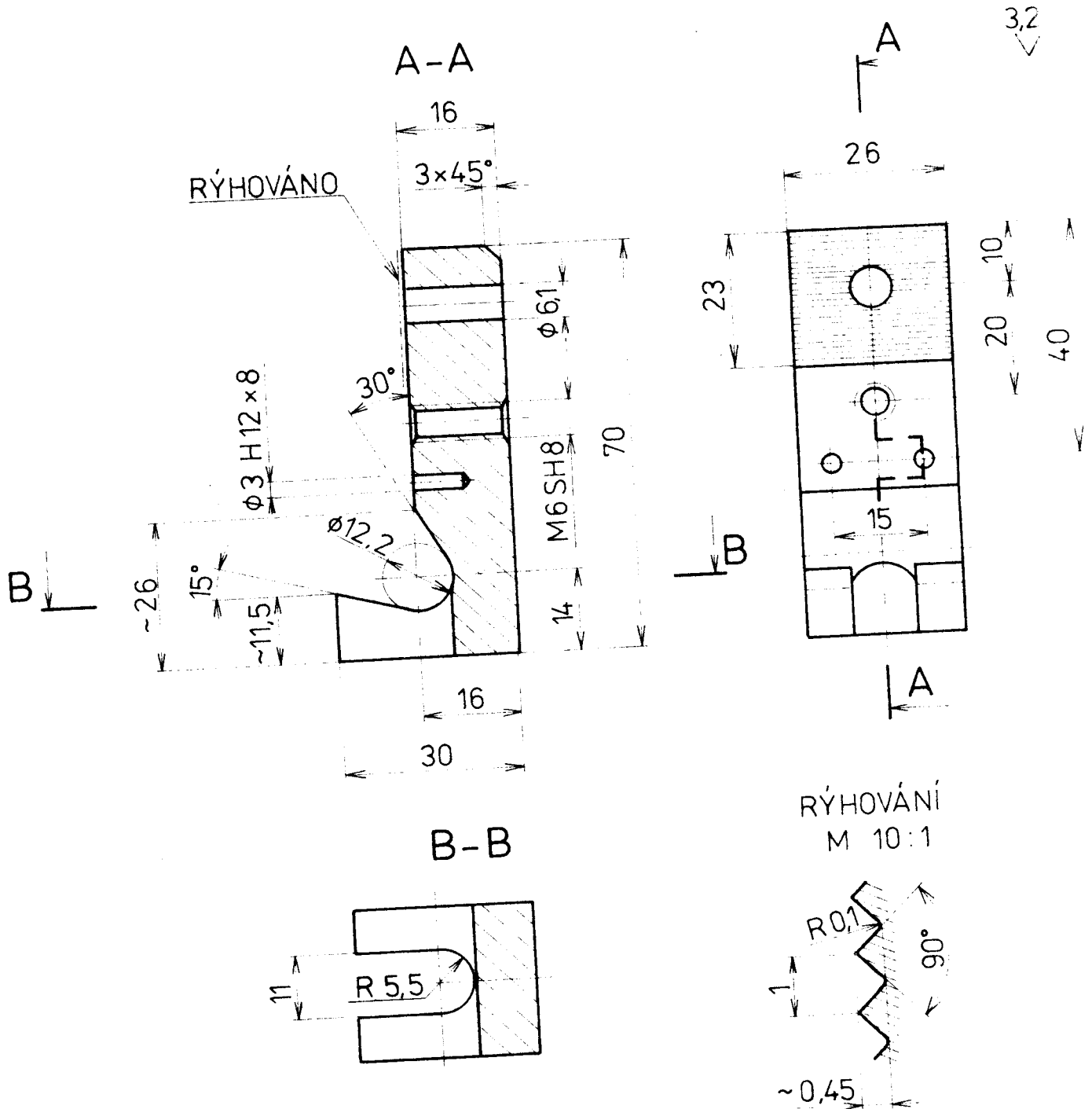
12	KOLÍK 5 x 10	ČSN 02 2150.2	58
6	KOLÍK 8 x 36	ČSN 02 2150.1	57
14	VRUT 3,5 x 40	ČSN 02 1814.0	56
4	ŠROUB M 4 x 10	ČSN 02 1131.21	55
6	ŠROUB M 8 x 20	ČSN 02 1162.21	54
2	PODLOŽKA 7	ČSN 02 1739.10	53
12	PODLOŽKA 6,4	ČSN 02 1702.11	52
14	MATICE M6	ČSN 02 1401.11	51
2	ŠROUB M6 x 25	ČSN 02 1101.11	50
12	ŠROUB M6x28	ČSN 02 1101.11	49
18	PODLOŽKA 8,4	ČSN 02 1702.11	48
18	MATICE M8	ČSN 02 1401.11	47
12	ŠROUB M8 x 16	ČSN 02 1103.11	46
22	PODLOŽKA 10,5	ČSN 02 1702.11	45

Počet kusů	Název	Rozměr	Materiál	Poznámka	Číslo výkresu	Pos.																																																						
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Datum</td> <td colspan="2">Podpis</td> <td rowspan="5">Č. snímku</td> <td colspan="2">Celková č. váha kg</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">Měřítka</td> <td>Kreslil</td> <td>15.1987</td> <td>Mlechmannová</td> <td rowspan="4">Č. transp.</td> <td rowspan="4">Změna</td> <td rowspan="4">Datum</td> </tr> <tr> <td>Přezkoušel</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Norm. ref.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Výn. projednal</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Schválil</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Typ</td> <td colspan="2">Skupina</td> <td colspan="2">Starý výkres</td> <td colspan="2">Nový výkres</td> </tr> <tr> <td colspan="2">VŠST</td> <td colspan="2">Název</td> <td colspan="3">1 - 256 - 10</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">LIBEREC</td> <td colspan="2">ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ</td> <td colspan="3">Počet listů 4</td> <td>list 4</td> </tr> </table>							Datum		Podpis		Č. snímku	Celková č. váha kg		Měřítka	Kreslil	15.1987	Mlechmannová	Č. transp.	Změna	Datum	Přezkoušel			Norm. ref.			Výn. projednal			Schválil							Typ		Skupina		Starý výkres		Nový výkres		VŠST		Název		1 - 256 - 10				LIBEREC		ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ		Počet listů 4			list 4
Datum		Podpis		Č. snímku	Celková č. váha kg																																																							
Měřítka	Kreslil	15.1987	Mlechmannová		Č. transp.	Změna	Datum																																																					
	Přezkoušel																																																											
	Norm. ref.																																																											
	Výn. projednal																																																											
Schválil																																																												
Typ		Skupina		Starý výkres		Nový výkres																																																						
VŠST		Název		1 - 256 - 10																																																								
LIBEREC		ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ		Počet listů 4			list 4																																																					



Počet kusů	Název	Rozměr	Material	Poznamka	Číslo výkresu	Pos.
Měřítko	Kreslil	Datum	Podpis	Č snímku	Celková hmotnost a váha kg	
1:1	Přezkoušel	24.4.1987	Elšmanová	Č transp.	Změna	
	Norm. ref.				Datum	Podpis
	Výn. projednal				Index změny	
	Schválil					
VŠST		Typ	Skupina	Starý výkres	Nový výkres	
LIBEREC		Název		4-256-20		
		UPÍNAČÍ ČELIST		Počet listů 2	List	1

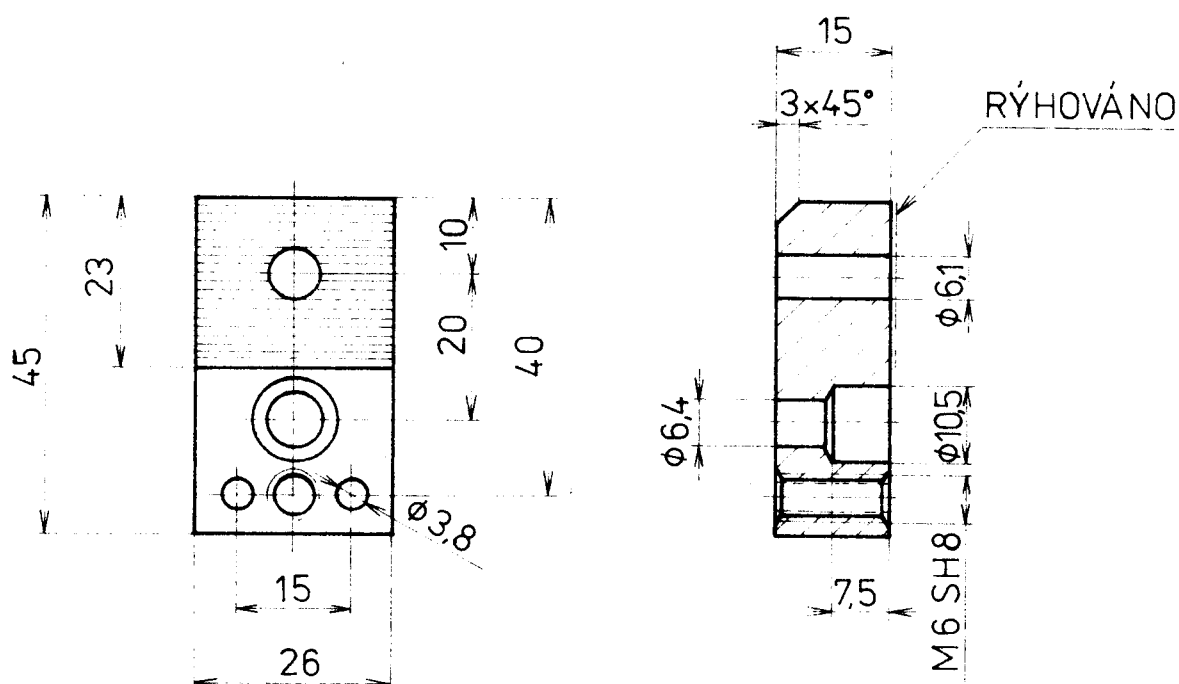
[illegible]



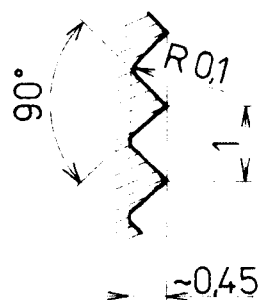
KALENO NA TVRDOST 32 - 38 HRC

Počet kusů		Název		Rozměr	Material	Poznámka	Číslo výkresu	Pos
				26x30-70	11 600			1
Měřítko	Kreslil	Datum	Podpis	Č. snímku	Celková č. váha kg			
1:1	Přezkoušel	24.4.1977	Cháman					
(10:1)	Norm. ref.			Č. transp.				
	Výn. projednal				Změna	Datum	Podpis	Index změny
	Schválil							
VŠST		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres		
LIBEREC		PEVNÁ ČELIST				4-256-21		
				Počet listů		List		

3,2



RÝHOVÁNÍ
M 10:1



KALENO NA TVRDOST 32 - 38 HRC

Počet kusů		Název		Rozměr	Material	Poznámka	Číslo výkresu	Pos.
				15×26-45	11 600			2
Měřítko	Kreslí	Datum	Podpis	Č. snímku	Celková č. váha kg			
1:1	Přezkoušel	24.4.1987	Eliešmanová					
(10:1)	Norm. ref.			Č. transp.	Změna	Datum	Podpis	Index změny
	Výn. projednal							
	Schválil							
VŠST		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres		
LIBEREC		Název		4-256-22				
		POHYBLIVÁ ČELIST		Počet listů				
				List				