

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
Fakulta strojní

Monika KLODOVÁ

Hodnocení tuhosti plastů

Diplomová práce

1994

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulka strojn

Obor 23-07-08

STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE

zaměření

Tváření kovů a plastů

Katedra tváření a plastů

Hodnocení tuhosti plastů

Monika KLODOVÁ

KPT - 565

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef Krebs, Csc. KPT VŠST Liberec

Konzultant : Ing. Petr Lenfeld KPT VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh

Počet stran	74
Počet příloh a tabulek	72
Počet obrázků	25
Počet výkresů	0
Počet modelů nebo jiných příloh ..	0

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146075356

Datum 9.5. 1994

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Školní rok: 1993/94

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Moniku K l o d o v o u

obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Hodnocení tuhosti plastů.

Zásady pro vypracování:

1. Analýza experimentálních metod umožňujících hodnotit tuhost (či poddajnost) konstrukčních dílů z plastů.
2. Teoretický rozbor chování plastů při dlouhodobém zatěžování.
3. Provedení úprav zařízení pro měření krípu v ohybu na zkušebních tělesech.
4. Výběr vhodných druhů plastů a praktická měření jejich tuhosti.
5. Analýza dosažených výsledků a návrh na využití metody.

V 33/94 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1779, Liberec 1
750 01 17

KPT/TP

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 až 50 stran textu včetně obrázků

Seznam odborné literatury:

- /1/ RYBNÍKÁŘ, F. a j.: Analýza a zkoušení plastických hmot. SNTL Praha, 1965.
- /2/ LEVER, A.E.-RHYS, J.: The properties and testing of plastic materials. Temple Press Books, London.
- /3/ LENFELD, P.: Vypracování návrhu metodiky měření krípu z obové zkoušky. Diplomová práce VŠST Liberec, 1989.
- /4/ ŠARF, J.: Stanovení kríповých zkoušek z ohybové zkoušky na tělesech z PA 6 se skleněným vláknem. Diplomová práce VŠST Liberec, 1990.

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing.Josef Krebs,CSc.

Konzultant: Ing. Petr Lenfeld

Zadání diplomové práce: 29.10.1993

Termín odevzdání diplomové práce: 27.5.1994

Prof.Ing.Viktor Mikeš,CSc.

Vedoucí katedry



Prof.Ing. Jaroslav Exner,CSc.

Děkan

V Liberci

dne 27.10. 19 93

ANOTACE

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Obor: Strojírenská technologie

Školní rok: 1993/94

Diplomant: Monika Klodová

Téma práce: Hodnocení tuhosti plastů

Číslo DP: 565

Vedoucí DP: Doc. Ing. Josef Krebs, Csc. KPT VŠST Liberec

Konzultant: Ing. Petr Lenfeld

KPT VŠST Liberec

Stručný výtah:

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením tuhosti plastů. Zkoušenými materiály jsou PP TABOREN, PP MOSTEN a ABS.

Úvod diplomové práce je věnován podrobnému vysvětlení mechanického chování polymerů při změnách teploty. Vysvětlení pojmů je nutné pro vlastní popis křípu. Definice křípu je doplněna teoretickou částí, ve které jsou popsány a objasněny základní vlivy na průběh deformačního chování plastů a uvedeny doposud užívané zkušební metody stanovení křípu.

V experimentální části je podrobně vysvětlena ohybová zkouška. Dále tato část obsahuje popis zařízení, vlastní provedení měření a shrnutí dosažených výsledků. V závěru této části jsou zhodnoceny výsledky zkoušek a na základě zkušeností z měření jsou navrženy i úpravy na zkušebním zařízení, které by umožnily přesnější výsledky.

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ:

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

V Liberci, dne 9.5. 1994

Monika Kladová
.....

OBSAH :

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	6
1. ÚVOD	8
2. TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1 Charakteristika jednotlivých stavů	9
2.2 Základní vlivy na průběh deformačního chování plastů	11
2.3 Kríp	12
2.4 Mechanické vlastnosti při dlouhodobém namáhání	15
2.5 Experimentální metody stanovení kríповých křivek	17
2.5.1 Zkoušky tečení	17
2.5.1.1 Zkouška tahem	18
2.5.1.2 Zkouška tlakem	19
2.5.1.3 Zkouška ohybem	19
3. HODNOCENÍ DEFORMACE PLASTICKÝCH HMOT	20
3.1 Kvantitativní kritéria hodnocení dlouhodobého namáhání plastů	20
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	23
4.1 Dlouhodobá zkouška v ohybu	23
4.2 Zkušební zařízení	26
4.2.1 Zkušební zařízení s přímým zatěžováním	26
4.3 Postup zkoušky	27
4.4 Popis zkušebního zařízení	29
4.5 Zkoušený materiál	32
4.6 Vlastní zkouška	35
4.7 Zpracování výsledků	35
4.8 Hodnocení výsledků	67
4.9 Návrh úprav zkušebního zařízení	67
5. ZÁVĚR	69
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	71

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

b	šířka zkušebního tělesa
c	vlhkost
E	modul pružnosti v tahu
E_C	křípový modul
E_K	modul pružnosti v tahu
E_r	relaxační modul pružnosti
$E(t)$	časový modul pružnosti
$E_C(t)$	časově závislá tuhost materiálu
e_d	vzdálenost krajního vlákna pro tlakové namáhání
e_t	vzdálenost krajního vlákna pro tahová namáhání
F	zátěžná síla
G	modul pružnosti ve smyku
g	gravitační zrychlení $9,89665 \text{ m/s}^2$
h	tloušťka zkušebního tělesa
I	moment setrvačnosti plochy průřezu k neutrální ose
LA	stupeň nelinearity
l	vzdálenost vyložení
M_O	ohybový moment
m	materiálová konstanta, celková hmotnost
m_1	hmotnost závaží
m_2	hmotnost závěsu
$m(E_C)$	zmenšující faktor pro tuhost materiálu
$m(\sigma_{LA})$	zmenšující faktor pro stupeň nelinearity
$m(\sigma_\varepsilon)$	zmenšující faktor pro zatížitelnost
n	materiálová konstanta, exponent dlouhodobého tečení
T_f	teplota měknutí
T_g	teplota zesklennění
T_m	teplota tání
t	čas
t_o	jednotkový čas

W_0	průřezový modul v ohybu
$y(t)$	průhyb v čase t
ABS	akrylonitril-butadien-styrén
ATP	amorfní termoplasty
KTP	krystalické termoplasty
PE	polyetylén
PP	polypropylén
RP	reaktoplasty
γ	zkos
σ	normálové napětí
σ_0	napětí v čase $t=0$
σ_d	tlakové napětí
σ_{LA}	velikost napětí, charakterizující stupeň nonlinearity
σ_{Pt}	dlouhodobá pevnost v tahu
σ_t	tahové napětí
$\sigma(t)$	zatížitelnost v čase t
ϵ	relativní deformace
ϵ_0	okamžitá deformace
ϵ_{cel}	celková deformace
$\epsilon(t)$	deformace v čase t
τ	smykové napětí

1. Ú V O D

V historickém vývoji prošla civilizace několika obdobími, z nichž každé je pojmenováno podle materiálu, který převládal a určoval úroveň výrobní technologie. Po nejstarší době kamenné nastoupila doba bronzová, která byla vystřídána dobou železnou. Dnes žijeme v "mnohamateriálovém" věku, který je charakterizován mnoha převratnými objevy, které posunuly technické znalosti na kvalitativně vyšší úroveň.

Plasty nabyly v posledním desetiletí takového významu, že dnes patří k nejdůležitějším materiálům, umožňujícím modernizaci téměř všech odvětví hospodářství a podmiňujícím racionalizaci a efektivnost mnoha výrobních procesů. Zvláště významné místo zaujímají plasty ve strojírenství, kde představují samostatnou skupinu konstrukčních materiálů, která v průmyslově vyspělých státech tvoří asi jednu třetinu všech plastů. Příčinou jsou velmi výhodné fyzikální a mechanické vlastnosti, kterými v mnoha směrech předčí klasické materiály a v neposlední řadě i snížení spotřeby elektrické energie o 3-4 MWh na jednu tunu materiálu a snížení pracnosti 3x až 10x oproti kovům.

Světový trend rostoucího technického uplatnění u plastů vyvolává neustále stoupající nároky na zpracování polymerů a na vlastnosti těchto moderních konstrukčních materiálů. Základním směrem vývoje materiálové báze je zvyšování stupně heterogenity kombinací materiálu a strukturních prvků.

Plastové materiály jsou často vystavovány mechanickému a tepelnému namáhání, a proto pro jejich efektivní využití, je nutno porozumět chování těchto materiálů pod daným zatížením. Proto jsou nutné, vedle materiálově ekonomických charakteristik i konstruktivně použitelné materiálové informace o chování při používání plastů. V této souvislosti hraje důležitou úlohu u konstrukčních materiálů s termoplastovou matricí dlouhodobé deformační chování.

2. TEORETICKÁ ČÁST [1]

Plasty jsou makromolekulární látky (polymery) a jejich struktura i chování jsou jiné než u kovů. Struktura kovů je tvořena krystalickými mřížkami, v nichž jednotlivé atomy (ionty) jsou vzájemně vázány pevnými meziatomovými vazbami, které jsou příčinou jejich typické vysoké pevnosti. Plasty jsou naproti tomu tvořeny makromolekulárními řetězci, tj. dlouhými molekulami s opakujícími se základními strukturními jednotkami a tyto řetězce mohou nebo nemusí být mezi sebou spojeny chemickými vazbami.

Mechanické chování polymerů při změnách teploty charakterizuje odlišnost plastů od kovů. Zatímco kovy stejně jako nízkomolekulární látky mohou existovat ve stavu tuhém, kapalném nebo plynném, nemohou být polymery vzhledem k rozměrnosti makromolekul ve stavu plynném. Naproti tomu se však u nich objevuje mezi stavem tuhým (sklovitým) a kapalným (viskózním) ještě pro ně charakteristický stav kaučukovitý. Hranice mezi sklovitým a kaučukovitým stavem je teplota skelného přechodu, která je značena T_g . Tato teplota je charakteristická pro každý druh polymeru.

2.1 CHARAKTERISTIKA JEDNOTLIVÝCH STAVŮ [1]

SKLOVITÝ STAV (pod T_g) - makromolekuly jako celky jsou tuhé a působením mechanického napětí dojde k okamžité se projevujícím pružným deformacím (ideálně elastické deformace), neboť se jen nepatrně mohou měnit vzdálenosti atomů v makromolekule. Jestliže přestaneme těleso zatěžovat, ihned se vrací do stavu před deformací. Chování tělesa je charakterizováno modulem pružnosti, který nezávisí ani na velikosti deformace, ani na době jejího trvání. Platí zde Hookův zákon lineární úměrnosti napětí a deformace. Oblast platnosti Hookova vztahu je relativně velmi úzká, neboť deformace jsou velmi malé.

Pro tahové namáhání platí:

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2.1)$$

A pro smykové namáhání platí:

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (2.2)$$

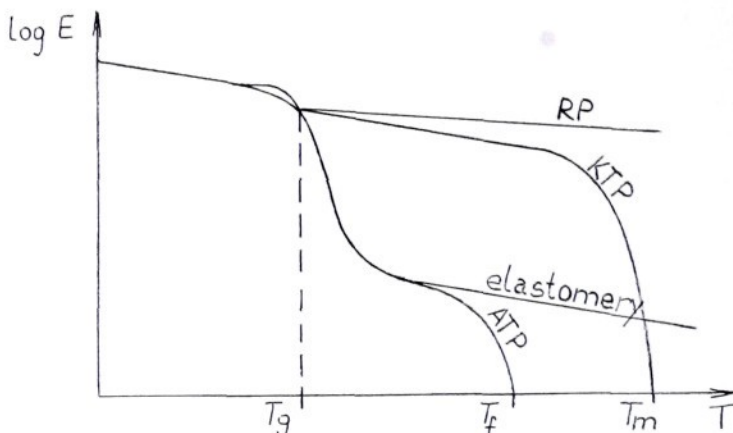
kde σ je normálové napětí, E je modul pružnosti v tahu, ϵ je relativní deformace, τ je smykové napětí, G je modul pružnosti ve smyku a γ je zkos. Polymer je v tomto stavu tvrdý a křehký.

Oblast skelného přechodu (okolí T_g) - při ohřevu na tuto teplotu se objevuje již pohyblivost celých úseků makromolekul, řetězce se působením napětí začínají rozvíjet a schopnost deformace se zvyšuje. Hmota měkne, modul pružnosti náhle klesá a schopnost tlumit vibrace a rázy dosahuje maxima.

KAUČUKOVITÝ STAV (nad T_g) - při mechanickém namáhání se řetězce již snadno rozvíjejí, ale nikoli ihned, protože k tomu potřebují určitou dobu. Po uvolnění napětí se opět pozvolna vrací do původního neuspořádaného stavu, který je pro ně nejstabilnější. Tato zpožděná elastická deformace se nazývá viskoelastická deformace a je charakteristická právě pro chování plastů. Amorfni termoplasty jsou v tomto stavu měkké a pružně tvárné, semikrystalické termoplasty jsou pevné a houževnaté, protože pevnost krystalických oblastí je stále dosti vysoká. Kaučukovitý stav se projevuje jen v amorfních oblastech polymeru. U reaktoplastů je pokles modulu pružnosti v této oblasti nepatrný.

VISKÓZNÍ STAV - se objevuje u lineárních polymerů, a to u amorfních nad teplotu měknutí T_f a semikrystalických nad teplotou tání T_m . V tomto stavu se mohou řetězce již volně přemisťovat a nastává tak viskózní tok, způsobující nevratnou plastickou deformaci. U zesíťovaných polymerů tento stav nenastává.

Deformační stav polymerů je dán nejen teplotou, ale i velikostí a dobou působení mechanického namáhání. Proto se viskoelastická deformace současně s plastickou deformací mohou objevovat v malé míře v kaučukovitém stavu a nepatrně i ve sklovitém stavu polymerů, zejména u termoplastů. Jsou příčinou tečení (křípu) a relaxace napětí.



Obr.1 Závislost modulu pružnosti E na teplotě T

Tečení je vratná a nevratná deformace narůstající s časem, vyvolaná dlouhodobým mechanickým namáháním. Je větší u semikrystalických termoplastů, neboť se používají převážně nad T_g a menší u amorfních termoplastů, protože se používají jen pod T_g . Relaxace napětí je časově závislý pokles napětí v konstantně deformovaném předpjatém tělese z termoplastu. U reaktoplastů jsou jen v nepatrné míře.

2.2 ZÁKLADNÍ VLIVY NA PRŮBĚH DEFORMAČNÍHO CHOVÁNÍ PLASTŮ [2]

Deformační chování plastů je ovlivněno vnějšími podmínkami a také vztahem mezi strukturou a deformací plastů. Je-li teplota, při níž je plast namáhán, mnohokrát nižší, než teplota zesklenní T_g , chová se hmota jako dokonale pružné těleso. Při teplotě kolem T_g se začne projevovat i člen

zpožděně elastický. Se zvýšením teploty nad teplotu zesklenní bude podíl nevratné deformace stoupat a naopak podíl ideálně pružného členu na celkové deformaci se bude snižovat.

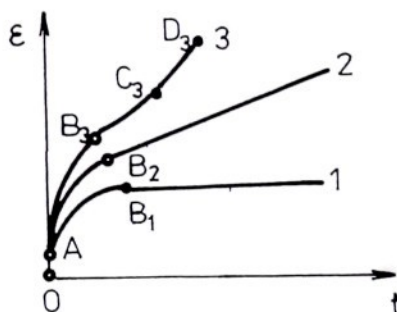
Při velmi vysokých teplotách zůstane pouze vliv viskózního členu a tavenina se bude blížit ideální kapalině. Tohoto stavu však u tavenin makromolekulárních látek nelze dosáhnout, protože dříve dojde k jejich tepelnému rozkladu.

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

Mezi strukturní vlivy, ovlivňující deformační chování plastů, zařazujeme stupeň krystalinity, molekulovou hmotnost atd.

2.3 KRÍP [2]

Kríp, nebo-li tečení za studena, znamená změnu rozměrů tělesa z plastu při dlouhodobém statickém namáhání konstantní silou při konstantní teplotě. Při krípu se tedy sleduje narůstání deformace tělesa zatíženého stálou silou, přičemž je možné zkoušku provést až do lomu tělesa, nebo jen do dosažení určité deformace. Při rozvoji deformace s časem se uplatňují všechny složky deformace, to znamená ideálně elastická, zpožděně elastická a viskózní tok, které odpovídají Tucketově modelu. Deformace může s časem narůstat různým způsobem, což je znázorněno na obr.2.



Obr.2 Schématické znázornění křívových křivek

Jestliže probíhá deformace podle křivky 3, dojde dříve nebo později k lomu tělesa. Na křivce lze pozorovat tři úseky: v úseku AB dochází ke zmenšování rychlosti deformace, v úseku BC deformace narůstá konstantní rychlostí a úsek CD představuje časový interval, kdy se rychlost deformace zvyšuje, až v době D nastane lom. Křivka 2 představuje případ, kdy se po počáteční fázi klesající rychlosti rychlost deformace ustálí a dále je konstantní. Deformace však nemůže růst do nekonečna, proto i zde musí po určité době dojít k lomu, jako v případě křivky 3, anebo přejde v křivku 1. Ta představuje nejvýhodnější případ, protože děj je charakterizován vytvořením rovnováhy mezi vnějším namáháním a vnitřní reakcí materiálu, takže v optimálním případě se deformace s časem dále zvětšovat nebude (dochází ke zpevnění materiálu, které však může být pouze dočasné, takže deformace zůstane konstantní jen po určitou dobu).

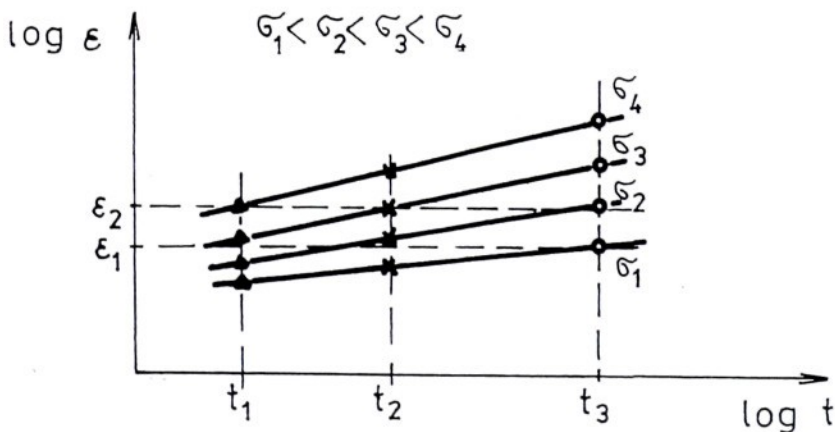
K matematickému vyjádření křívových křivek byla navržena řada empirických vztahů. Pro praxi nejlépe vyhovuje vztah:

$$\epsilon(t) = \epsilon_0 + m \cdot (t / t_0)^n \quad (2.3)$$

kde $\epsilon(t)$ značí deformaci v čase t ; ϵ_0 značí okamžitou deformaci, odpovídající ideálně pružnému členu Tucketova modelu; t_0 je jednotkový čas; m, n jsou konstanty závislé na materiálu, napětí a na teplotě; t je čas.

Kríp úzce souvisí se změnou konformace makromolekul, což je podmíněno pohyblivostí části molekul. Čím je možnost pohybu menší, tím je i menší rychlost krípu. Proto plasty se zesíťovanou strukturou kríp prakticky nevykazují, podobně jako lineární amorfní polymery, pokud se nacházejí při teplotách hluboko pod teplotou zesíťování T_g (polymer je křehký a tvrdý). Studium krípvých jevů má zvlášť velký význam u krystalických polymerů, které v rozmezí teplot mezi T_g a teplotou tání T_m vykazují dostatečně vysoký modul pružnosti. U krystalických polymerů závisí rychlost tečení nepřímo na stupni krystalinity. U všech druhů polymerů se rychlost krípu zvětšuje se zvyšující se teplotou.

Je-li závislost deformace při krípu vyjádřena jako funkce času v logaritmických souřadnicích, získá se často přímka, což je zřejmé z obr.3.



Obr.3 Závislost deformace na čase v logaritmických souřadnicích

Součásti z plastů jsou někdy vystaveny dlouhodobému namáhání. Za působení statické síly nebo napětí se zjišťuje chování materiálu za konkrétních zkušebních podmínek v podstatně delším časovém úseku. Zjišťují se závislosti hodnot zkoušených vlastností na čase. Podmínky zkoušek (napětí, teplota,...) se mohou měnit v širokém rozmezí dle účelu.

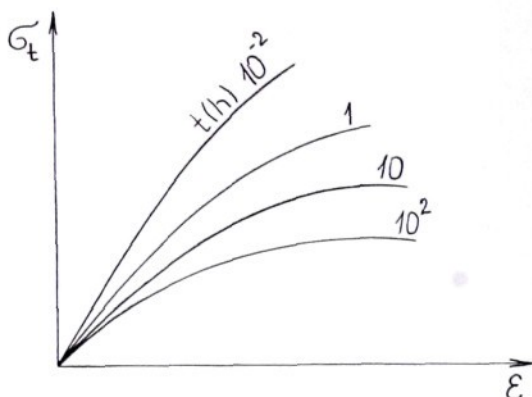
Za předpokladu konstantní teploty jde o závislost tří veličin: napětí, deformace a času. Vzájemný vztah těchto veličin se zjišťuje dvěma základními zkouškami: 1. Křípovou zkouškou, která slouží ke zjištění časového růstu celkové deformace ϵ_c při konstantním napětí σ . 2. Relaxační zkouškou, která zjišťuje časový pokles napětí σ při konstantní deformaci ϵ .

Zkoušky se uskutečňují za stálé teploty. V praxi nastává typický kříp např. u trvale zatížených závěsů, potrubí atd. Typická relaxace se vyskytuje v nalisovaných spojích, v předepjatých šroubech, atd.

Jestliže použijeme při křípových zkouškách tak velká napětí, že dojde časem k lomu zkušebního tělíska, zjistíme tím dlouhodobou pevnost σ_{pt} v tahu, kterou konstruktér potřebuje k výpočtu dovolených napětí u dlouhodobě zatížených součástí. Dlouhodobá pevnost je pro různé plasty, za různých teplot a pro různé doby zatížení různá. Tato hodnota musí být nižší než krátkodobá pevnost, zjištěná při měřeních na trhacím stroji. Příčinou je tzv. statická únava materiálu.

Napětí, které vyvolá během určité doby maximálně přípustnou deformaci, se označuje dlouhodobá časová pevnost.

Z výsledků křípových zkoušek jsou sestavené izochronní diagramy pro různé plasty. Slouží ke zjištění vzájemného vztahu $\sigma_t - \epsilon_{celk.}$ za určitou dobu a při určité teplotě, kde σ_t je napětí v tahu a $\epsilon_{celk.}$ je celkové měrné prodloužení.



Obr.4 Izochronní křivky

Ze sklonu křivek, v okolí počátku, kde se jejich průběh blíží přímce, můžeme určit konstrukční modul pružnosti E_k , platný pro danou teplotu a určitou dobu na základě vztahu:

$$E_k = \sigma_t / \epsilon_{\text{celk.}} \quad (2.4)$$

kde E_k je modul pružnosti v tahu, platný pro určité podmínky. Oblast platnosti E_k v okolí daných podmínek je tím širší, čím více se průběh závislosti $\sigma - \epsilon$ blíží přímce. E_k se obvykle zjišťuje křepovou zkouškou v tahu a označuje se jako křepový modul E_c . Méně často se zjišťuje také z relaxačních zkoušek a označuje se jako relaxační modul pružnosti E_r . E_c a E_r jsou v oblasti lineárního průběhu $\sigma - \epsilon$ při dané teplotě a času přibližně stejné. V nelineární oblasti je E_c vyšší než E_r (pro danou úroveň napětí).

Ze zkoušek tečení se získávají údaje o časové závislosti deformace v různých podmínkách napětí, teploty, vlhkosti atd. a v neposlední řadě i údaje o lomovém chování materiálu. Tečení plastů se zjišťuje buď při konstantním napětí zkouškou v tahu, v tlaku, nebo v ohybu, a nebo při konstantní síle.

2.5 EXPERIMENTÁLNÍ METODY STANOVENÍ KRÍPOVÝCH KŘIVEK

Plasty se od ostatních konstrukčních materiálů liší hlavně tím, že jejich vlastnosti jsou závislé na čase a na teplotě. Proto jsou pro praxi důležité zkoušky, které zahrnují v sobě časový faktor tj. čas působení síly nebo napětí se blíží či řádově odpovídá době provozu materiálu v praxi. Z tohoto hlediska se získávají ze zkoušky tečení údaje o časové závislosti deformace v různých podmínkách napětí, teploty, vlhkosti atd.

2.5.1 Zkoušky tečení [3]

Zkoušky tečení u plastů se provádějí buď při konstantním napětí (v tahu, v ohybu, v tlaku) nebo při konstantní síle. U těchto zkoušek je žádoucí, aby byla zachována i stálá teplota. Zkušební zařízení pro udržování konstantního napětí během dlouhodobé zkoušky tečení je poměrně složité, a proto se volí nejčastěji zkoušky tečení při konstantní síle. Předpokládá se, že zmenšení průřezu zkušebního tělesa, a tím i změna napětí jsou zanedbatelné. Sleduje se vzrůst deformace zkušebního tělesa a získané údaje se převádějí do pracovních diagramů. Výsledkem těchto zkoušek mohou být kríповé křivky (závislost deformace a napětí), závislost deformace na čase nebo závislost kríповého modulu na čase.

Při zkouškách se vychází z ČSN 64 03 71 - Tečení plastických hmot, ve které jsou definovány pojmy:

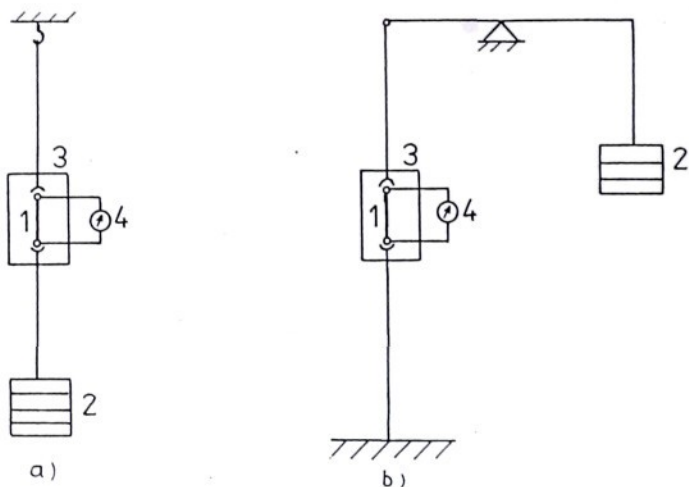
TEČENÍ - s časem narůstající deformace zkušebního tělesa, vyvolaná neproměnným mechanickým namáháním při konstantní teplotě.

POČÁTEČNÍ DEFORMACE - deformace, ke které dojde bezprostředně po plném zatížení zkušebního tělesa.

CELKOVÁ DEFORMACE - deformace zkušebního tělesa v kterémkoliv čase působení, zahrnuje se do ní počáteční deformace a deformace při tečení.

2.5.1.1 Zkouška tahem

Křípová zkouška tahem je jednoduchá zkouška, při které se používají mechanické stroje s přímým nebo pákovým zatěžováním zkušební tělesa závažím (obr.5).



Obr.5 Principy zatěžování: a - přímé zatěžování,
b - pákové zatěžování
1 - zkušební těleso, 2 - závaží, 3 - termostát,
4 - měřidlo s indikátorem

Podstata zkoušky spočívá v tom, že se zkušební těleso upne do čelistí stroje a nechá se na něj působit závaží. Většinou se provádí najednou několik měření zkušebních těles. Nejsložitějším zařízením u této zkoušky je termostát a měřidlo s indikátorem. Termostát udržuje zkušební těleso ve stálé teplotě a musí spolehlivě pracovat po celou dobu zkoušky. Měřidlo s indikátorem je umístěno v místě upnutí zkušební tělesa a indikátor měří vzdálenost obou čelistí zkušební stroje. Může se také použít optického měřidla, které měří prodloužení bez přímého spojení se zkušebním tělesem. Výsledkem této zkoušky je závislost napětí na deformaci.

2.5.1.2 Zkouška tlakem

Některé zahraniční normy předepisují zkoušky tečení v tlaku. Zkušební zařízení má pákový zatěžovací systém a je vybaveno potřebným příslušenstvím pro měření deformace, temperaci, atd. Zkušební tělesa jsou válcového tvaru a mohou být složena i z několika kusů.

V průběhu zkoušky se zkušební těleso tlakem deformuje, je prostoupeno značným množstvím trhlinek, které vznikají při přemísťování materiálu (tečení) za stanovených zkušebních teplot. Výsledky jsou obdobné a zpracování tlakové zkoušky je stejné jako u zkoušky tahem.

2.5.1.3 Zkouška ohybem

Zkouška tečení ohybem je poslední jednoduchou zkouškou, která se provádí. Potřebné zařízení na zkoušku je jednoduché, nevelkých rozměrů, snadno klimatizovatelné a k měření průhybu není třeba složitého zařízení, plně stačí úchylkoměr s přesností 0,01 mm. Vlastní ohyb lze snadno měřit a k dosažení toku materiálu není třeba velké síly.

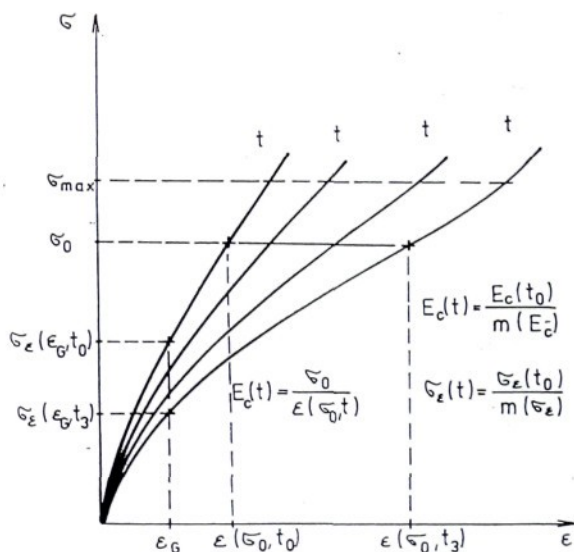
Tento způsob je zvláště výhodný pro krátkodobé zkoušky. Výsledky měření jsou zaneseny do grafů průhyb - čas nebo modul tečení - čas.

3. HODNOCENÍ DEFORMACE PLASTICKÝCH HMOT [6],[7]

Na základě systematicky prováděných zkoušek statického dlouhodobého chování plastů byla vypracována dokumentace, ve které je souhrnné zhodnocení dlouhodobé zkoušky.

3.1 KVANTITATIVNÍ KRITÉRIA HODNOCENÍ DLOUHODOBÉHO NAMÁHÁNÍ PLASTŮ [6],[7]

V oblasti namáhání, která je zajímavá pro technické využití, spočívají nejdůležitější účinky časové závislosti deformačních vlastností plastů nejen v ubývající tuhosti materiálu E_c s rostoucí dobou zatížení, nýbrž i v zatížitelnosti (obr. 6).

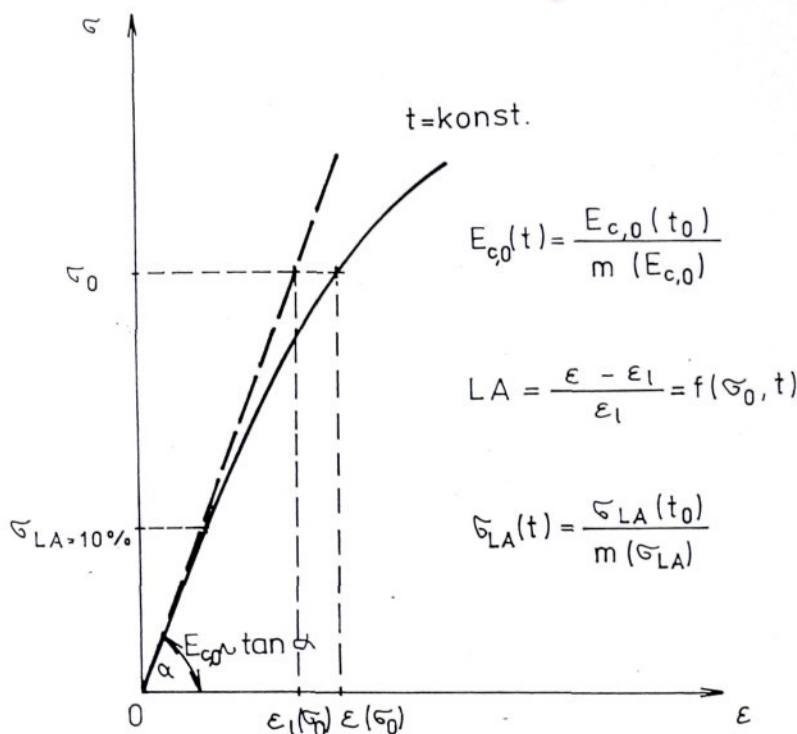


Obr.6 Kvantifikace vlivu času na tuhost a na zatížitelnost plastu při statickém namáhání

$E_c(t)$ značí tuhost materiálu závislou na čase

$\sigma_z(t)$ značí zatížitelnost závislé na čase

Časová změna těchto veličin, proti platným krátkodobým hodnotám, může být kvantifikována pomocí zmenšujících faktorů $m(E_C)$ nebo $m(\sigma_\epsilon)$. Oba faktory jsou jako výraz nelineárního viskoelastického chování materiálu závislé z jedné strany časově, z druhé strany na zatížení a mají v oblasti malých hodnot zatížení společnou mezní hodnotu $m(E_{C,0})$ obr. 7.



Obr.7 Kvantifikace vlivu času na počáteční modul a na nelinearitu vztahu $\sigma - \epsilon$ u plastů

LA značí stupeň nelinearity, σ_{LA} značí velikost napětí, charakterizující stupeň nelinearity.

Vedle počátečního modulu se může v případě statického zatížení měnit také stupeň nelinearity (LA) vztahů mezi napětím a přetvořením. Je-li stupeň nelinearity

charakterizován velikostí napětí σ_{LA} pro zadanou úchylku linearity, potom se dá časová změna stupně nelinearity kvantifikovat pomocí zmenšujícího faktoru $m(\sigma_{LA})$.

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

$$m(E_C) = E_C(t_0) / E_C(t) \quad m(\sigma_\varepsilon) = \sigma_\varepsilon(t_0) / \sigma_\varepsilon(t) \quad (3.1)$$

$$m(E_{C,o}) = E_{C,o}(t_0) / E_{C,o}(t) \quad m(\sigma_{LA}) = \sigma_{LA}(t_0) / \sigma_{LA}(t) \quad (3.2)$$

Na základě technických zkoušek byl určen základní vztažný čas $t_0 = 0,1$ hod. , ve kterém jsou popsány k tomuto času vztažné hodnoty $E_{C,o}$ a σ_o (obr. 7).

Z předchozího je možné odvodit následující závěry. U většiny běžně používaných plastů se mění izochronní růst relativně silněji, než stupeň nelinearity. To má za následek, že zmenšující se faktor pro zatížitelnost $m(\sigma)$, vztažený k přetvoření, u většiny plastů s přibývajícím přetvořením klesá. Časová změna relativní nelinearity může naproti tomu vykazovat různé tendence. Zatímco u většiny termoplastů se v průběhu zatížení stupeň nelinearity zvyšuje, u reaktoplastů dochází převážně ke zmenšování stupně nelinearity. To má nevyhnutelně za následek, že zmenšovací faktor pro tuhost $m(E_C)$, při rostoucím napětí u termoplastů obvyčejně stoupá, u reaktoplastů naopak většinou klesá. Tato okolnost, stejně jako pozorování odchylky od tohoto pravidla znamenají, že se snižováním nelinearity souvisí změny materiálu, které jsou z hlediska technického využití zajímavé.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

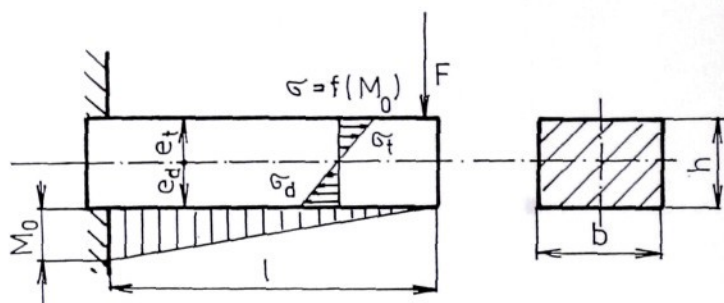
Hlavním úkolem experimentální části bylo vyzkoušet měřicí zařízení zkonstruované pro měření krípu při ohybovém namáhání a prakticky využít toto zařízení při hodnocení tuhosti plastů. V praxi se většinou kríповé zkoušky provádějí při tahovém zatížení, což se však ukázalo jako málo přesná a spolehlivá metoda. Proto jsme využili ohybovou zkoušku.

4.1 DLOUHODOBÁ ZKOUŠKA V OHYBU [3],[4],[5]

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

Podstatou zkoušky je zatěžování zkušebního tělesa konstantním zatížením, při kterém se izotermě sleduje vzrůst deformace zkušebního tělesa. Naměřené hodnoty, které jsou výsledkem měření, jsou obvykle převáděny na formu pracovních diagramů, podávajících informace o průběhu mechanického chování. Zkouška je zvláště výhodná pro stanovení rychlosti tečení nebo pro zjišťování časově závislého modulu pružnosti.

Princip zkoušky tečení je jiný, než jak je popsán v [9]. Ohybová zkouška se provádí na zkušebních tělesech obdélníkového průřezu (důvodem je jejich snadná příprava) a uspořádání zkoušky je buď na principu vetknutého nosníku (obr. 8) nebo na principu nosníku volně ležícího na dvou podpěrách (obr. 9).



Obr.8 Zkouška ohybem na principu vetknutého nosníku

Na volném konci působí na nosník síla a způsobuje jeho ohyb. Napětí v průřezu je rozloženo tak, že v horních vláknech od neutrální osy je napětí tahové a v dolní polovině průřezu je napětí tlakové. Napětí v neutrální vrstvě je nulové. Vlastní ohybový moment je vyjádřen rovnicí:

$$M_0 = F \cdot l \quad (4.1)$$

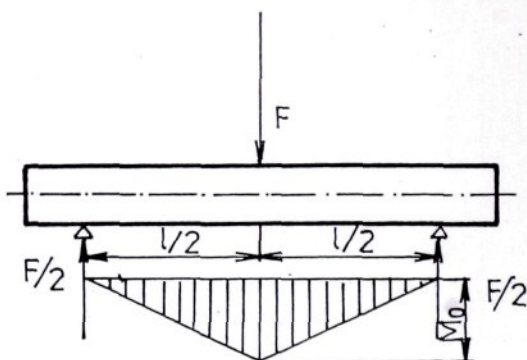
kde F je zátěžná síla v N , l značí délku vyložení v mm .

Největší napětí je na povrchových vláknech a zjistí se podle vztahů:

$$\sigma_t = M_0 \cdot e_t / I = M_0 / W_0 \quad (4.2)$$

$$\sigma_d = M_0 \cdot e_d / I = M_0 / W_0 \quad (4.3)$$

kde σ_t je tahové napětí v MPa , σ_d je tlakové napětí v MPa , e_t , e_d je vzdálenost krajních vláken od neutrální osy v mm , I značí moment setrvačnosti plochy průřezu zkušebního tělesa vzhledem k neutrální ose v mm^4 , $W_0 = I/e$ je průřezový modul v mm^3 .



Obr.9 Zkouška ohybem na principu podepřeného nosníku

Pro uspořádání na obr.9, kdy působí síla uprostřed mezi podpěrami, je ohybový moment určen vztahem:

$$M_O = F \cdot l / 4 \quad (4.4)$$

kde F je zátěžná síla v N , l je vzdálenost mezi podpěrami v mm .

Největší napětí v ohybu se určí z rovnice:

$$\sigma_O = M_O / W_O \quad (4.5)$$

a pro obdélníkový průřez platí:

$$W_O = b \cdot h^2 / 6 \quad (4.6)$$

a po dosazení dostaneme vztah pro napětí v ohybu:

$$\sigma_O = 3 \cdot F \cdot l / 2 \cdot b \cdot h^2 \quad (4.7)$$

kde b , h jsou rozměry zkušebního tělesa v mm .

Největší průhyb je v místě působící síly a platí vztah:

$$y(t) = F \cdot l^3 / 48 \cdot E(t) \cdot b \cdot h^3 \quad (4.8)$$

kde $y(t)$ je průhyb v mm , $E(t)$ je modul pružnosti v MPa ,

obě hodnoty jsou závislé na čase působení zatížení.

Ohybová zkouška je zvláště výhodná pro stanovení modulu pružnosti, ale hlavně u plastů s nepatrnou tažností.

4.2 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ [8]

Zkušební zařízení pro měření křípu z ohybové zkoušky je navrženo s ohledem na tyto požadavky:

1. jednoduché zařízení, nevelkých rozměrů, snadno klimatizovatelné
2. zajištění dlouhodobého bezpečného provozu bez dozoru obsluhy
3. snadná montáž zařízení a výměna zkušebních těles
4. snadné a rychlé odečítání naměřených hodnot

4.2.1. Zkušební zařízení s přímým zatěžováním [8]

Zkušební zařízení umožňuje ohybovou zkoušku deseti vzorků a je určeno pro měření deformace zkušebních těles dlouhodobě namáhaných ohybem za konstantního zatížení v určitém časovém intervalu.

Zařízení je sestaveno z těchto hlavních částí:

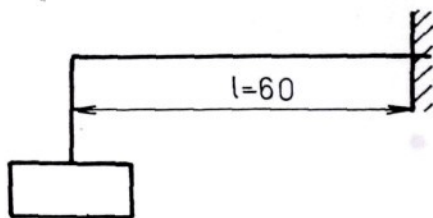
1. z rámu, s pevnou upínací částí
2. ze zatěžovacího systému
3. z měřicího zařízení

Technické parametry:

výška zařízení.....370 mm
délka zařízení.....940 mm
šířka zařízení.....440 mm
hmotnost zařízení včetně
zatěžovacího systému.....12 kg
max. zkušební teplota.....60°C
přesnost měření.....0,01 mm

Popis zkušebního zařízení

Zařízení je založeno na principu přímého zatěžování (obr. 10).



Obr.10 Princip přímého zatěžování

Zkušební tělesa se upínají do třmenů. Třmeny jsou složeny z pevné a pohyblivé části, která je pohyblivá ve vertikálním směru. Upnutí a silový styk je zajištěn dotažením šroubů.

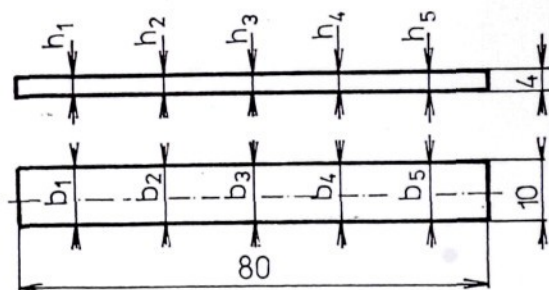
Optické zařízení je složeno z okuláru s nitkovým křížem a pohybuje se ve vertikálním směru pomocí šroubu. Tento pohyb sleduje setinový úchylkoměr, který měří průhyb přímo s přesností 0,01 mm. V podélném směru se optické zařízení pohybuje po vodící tyči, uchycené k rámu, který je svařen z tenkostěnných čtvercových, obdélníkových a U profilů.

Pevná upínací část je připevněna šrouby k tenkostěnnému U profilu, který je přivařen k rámu zkušebního zařízení.

Zatěžovací systém je složen z třmenu a z části, na které se umísťují výměnná závaží. Výkyvné uložení mezi třmenem a závažími nám zajišťuje, že zátěžná síla působí stále ve svislém směru.

4.3 POSTUP ZKOUŠKY

Pro vlastní zkoušku byly získány zkušební vzorky odstříhnutím z výstřiku. Šířka a tloušťka byly proměřeny na pěti místech po měřené délce (obr. 11), rozměry jednotlivých těles jsou uvedeny v tab. č. IIIa až VIIb v přílohách 1 až 10.



Obr.11 Rozměry a místa proměřování zkušebních těles

Zkušební tělesa, s vyznačenou délkou l , se upnou do zkušebního zařízení a zatíží se danou hodnotou zatížení. Čas uvolnění závaží se запиše jako čas $t = 0$. Poté v určitých časových intervalech, zpočátku kratších (s dobou zatížení se intervaly prodlužují), provádíme měření průhybu u daných vzorků. Tuto změnu, oproti počátečnímu stavu, sledujeme pomocí optického měřicího zařízení. Měřidlem je mechanický setinový úchylkoměr, pracující s přesností 0,01 mm.

Výsledkem zkoušky jsou hodnoty průhybu zkušebních těles. Ty, spolu s hodnotou zatížení, slouží k určení deformace $\epsilon(t)$ a modulu tečení $E_c(t)$:

$$\epsilon(t) = 3 \cdot h \cdot y(t) / 2 \cdot l^2 \quad (4.9)$$

$$E_c(t) = 4 \cdot F \cdot l^3 / b \cdot h^3 \cdot y(t) \quad (4.10)$$

kde l je délka vyložení v mm, b, h jsou rozměry zkušebního tělesa v mm, F značí zatížení v N, $y(t)$ je průhyb vzorku v mm, $E_c(t)$ značí modul v čase t , $\epsilon(t)$ je deformace v čase t .

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

Ohybové napětí σ_o v MPa se vypočítá dle vztahu:

$$\sigma_o = M_o / W_o \quad (4.11)$$

kde $M_o = F \cdot l$ je ohybový moment v N.mm, $W_o = b \cdot h^2 / 6$

značí průřezový modul v ohybu v mm^3 .

Vyjádřením výsledků zkoušek tečení jsou krípkové křivky závislosti deformace - čas a křivky závislosti modulu tečení na čase.

4.4 POPIS ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Zkušební zařízení, vyrobené v dílnách KPT - VŠST, určené pro dlouhodobou zkoušku v ohybu, je desetimístné.

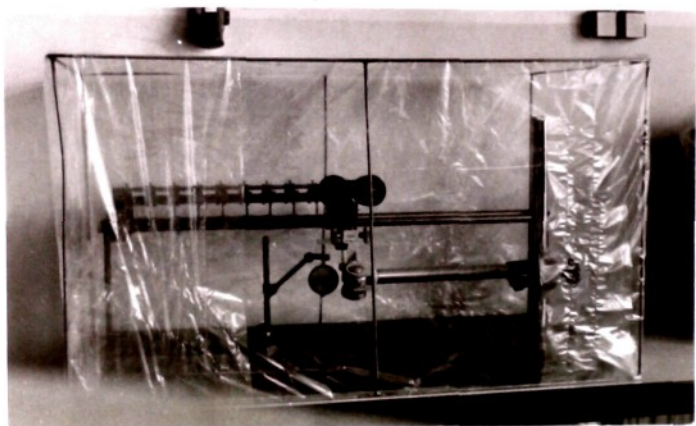
Jedná se o zařízení s přímým zatěžováním. Oproti původnímu návrhu, který je popsán v kapitole 4.2.1, byla učiněna změna u měřicího zařízení. Optický systém je umístěn na samostatném stojanu, který je pevně uchycen k základní desce pomocí šroubů.

Zatěžování je přímé, pomocí zatěžovacího systému, složeného z upínacího třmenu a výměnných závaží.

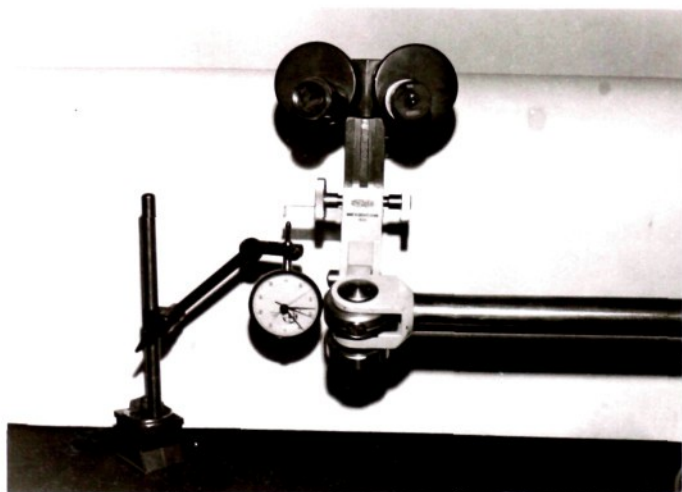
Upínací část, oproti původnímu provedení, je umístěna na dvou vodících tyčích. Tím je umožněno nastavení zkušebního tělesa před pevně uchyceným optickým systémem. Na této části je ve stejné výši, jako je výška třmenu zatěžovacího systému, vyrobena ryska, která odpovídá hodnotě nezatíženého vzorku.

Deformace zkušebního tělesa se měří pomocí optického zařízení s nitkovým křížem. Ve vertikálním směru se okulár posouvá pomocí třetího převodu na stojanu měřicího zařízení. Tento pohyb sleduje setinový úchylkoměr, pracující s přesností 0,01 mm. Optické zařízení se nejdříve nastaví pomocí ozubeného hřebene na vyrobenou rysku, a potom do polohy, ve které se budou odečítat naměřené hodnoty. Následným posuvem ve vertikálním směru se změří průhyb zkušebního vzorku. Tento postup se opakuje u každého zkušebního tělesa. Průhyb se měří přímo. Mezi jednotlivými zkušebními vzorky se zařízení přesouvá ručně.

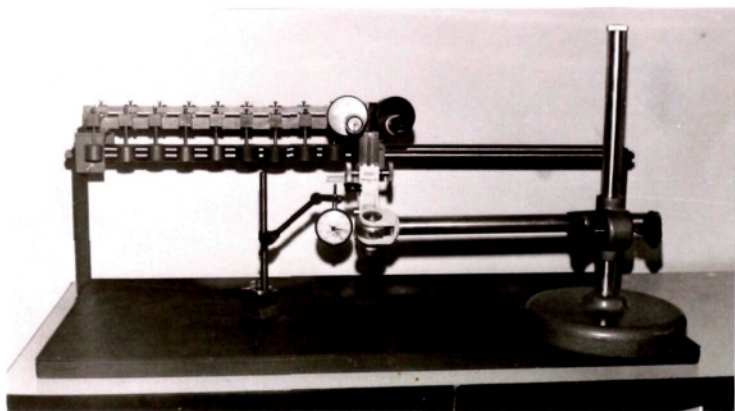
Měřicí zařízení je od okolí izolováno krytem, který je vyroben z polyetylenové fólie. Toto řešení nám zčásti odstraňuje vliv kolísání teplot a vlhkostí vzduchu na zkušební tělesa.



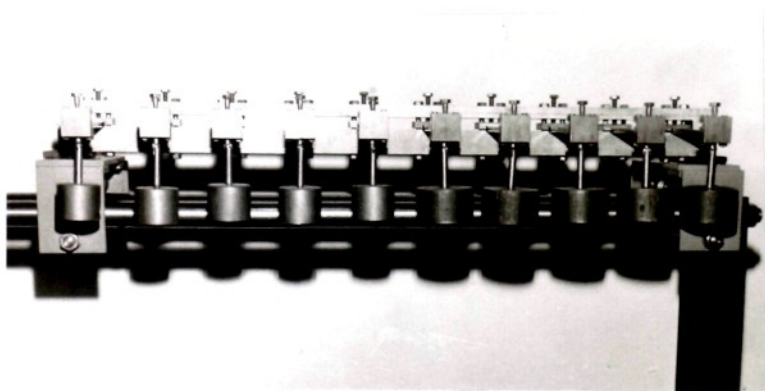
Obr.12 Celkový pohled na zkušební zařízení.



Obr.13 Stojan s optickým zařízením a číselníkovým
úchylkoměrem



Obr.14 Zařízení připravené k měření v okamžiku
zavěšení všech zkušebních těles



Obr.15 Pohled na měření vzorků na přední části
měřicího zařízení

Zkušební tělesa byla vyrobena z materiálů PP Taboren, PP Mosten, ABS a dodána Plastimatem a.s. Liberec.

PP TABOREN [13]

Je materiál na bázi polyolefinů modifikovaných anorganickými plnivy a dalšími přísadami. TABOREN PR značí: P - základní polymer je polypropylen a dalším písmenem je určena specifikace, R - směsi polymerů. Taboren může obsahovat různá plniva, která jsou uváděna za dvojčíslicím, H - hybrid.

TABOREN je krystalický polymer bez chuti a zápachu, zdravotně nezávadný ve styku s potravinami. Ve srovnání s neplněnými polyolefiny má vyšší tuhost, vyšší tvarovou stálost za tepla a menší smrštění. Velmi nízká navlhavost způsobuje, že elektrické vlastnosti jsou nezávislé na relativní vlhkosti ovzduší.

Odolává organickým rozpouštědlům (benzín, alkoholy, oleje, tuky) a vodným roztokům solí, alkálií a slabým nebo zředěným kyselinám. Naopak málo odolný je vůči silným kyselinám, které rozpouštějí přítomné plnivo, ale jen v povrchových vrstvách výrobku.

Používá se zejména v automobilovém průmyslu na výrobu vnitřních dílů interiéru.

TABOREN PR 53 H30 - základní PP (40%) je modifikován 17% EPDM kaučuku a 30% plniva Talku a CaCO_3 .

TABOREN PR 43 H25 - základní PP je modifikován 20% EPDM kaučuku a 25% plniva Talku a CaCO_3 .

TABOREN REGENERÁT - je směsí obou uvedených typů.

PP MOSTEN 52 534 [11]

Je krystalický polymer jehož fyzikální a mechanické vlastnosti závisí na molekulové hmotnosti, molekulární a nadmolekulární struktuře.

MOSTEN 52 534 je černý homopolymer modifikovaný přísadkou EPDM kaučuku zaručujícího dobré fyzikálně mechanické vlastnosti tohoto typu v širokém rozmezí teplot. Svými elektroizolačními a dielektrickými vlastnostmi patří k nejvyšší kvalitě materiálů. Navlhavost a nasákavost je velmi malá (0,2%) a sorbce vody se týká pouze povrchových vrstev výrobku. Odolává roztokům anorganických solí, kyselin a zásad. Naopak nestálý je vůči oxidačním činidlům, v některých rozpouštědlech a halogenových uhlovodících bobtná.

Materiál obsahuje vysoce účinné stabilizátory proti působení povětrnostních vlivů. Dobrá tekutost taveniny umožňuje vstřikování rozměrných a členitých výrobků. Je vhodný pro vstřikování technických dílů, u kterých je vyžadována vysoká rázová odolnost a houževnatost i za snížených teplot. Typickou aplikační oblastí je výroba nárazníků pro osobní automobily. Není vhodný pro všeobecné ani omezené použití při němž dochází ke styku s poživatinami.

ABS FORSAN 548 [12]

Termopolymer akrylonitril-butadién-styren je amorfní polymer s vysokou houževnatostí, velmi dobrou tuhostí a dobrou tepelnou odolností. Pro své všestranně dobré vlastnosti se zařazuje mezi tzv. konstrukční termoplasty a má použití prakticky ve všech průmyslových odvětvích.

Určujícím kritériem pro výsledné vlastnosti polymeru je zejména vzájemný poměr výchozích monomerů. Při růstu butadiénového podílu vzrůstá houževnatost a tažnost, naopak s rostoucím obsahem styren - akrylonitrilové složky pak roste pevnost, tvrdost, tuhost, tepelná odolnost a odolnost vůči křípu. Amorfní charakter způsobuje relativně malé smrštění proti formě při vstřikování.

Má sníženou odolnost v prostředí koncentrovaných minerálních kyselin. Velmi dobrou odolnost má v oleji a dále odolává louhům a uhlovodíkům.

Je materiálem bez chuti a zápachu, odolný proti baktériím a plísním. Je zdravotně nezávadný s omezením jeho styku s tuky a poživatinami obsahující více než 5% tuků.

FORSAN 548 je základní vstřikovací typ s výbornou tekutostí a dobrou rázovou a vrubovou houževnatostí. Je vhodný pro všeobecné použití na díly v automobilovém a spotřebním průmyslu, které nejsou tepelně namáhány. Výrobky se vyznačují dobrým leskem.

4.6 VLASTNÍ ZKOUŠKA

Dlouhodobá zkouška v ohybu byla provedena vždy na pěti vzorcích, tak, aby byla vyzkoušena a ověřena správná funkce zkušebního zařízení. Zkoušky byly provedeny při teplotě okolí (22°C) a při stejném zatížení pro každou zkušební tyč při dané zkoušce.

Požadavkem bylo na základě naměřených hodnot, vyhodnocených do grafů deformace - čas a modulu tečení - čas, určit tuhost daných plastů. Pro zkušební tělesa bylo použito pěti druhů plastů, z nichž se měl porovnáním vyhodnotit plast s největší tuhostí.

4.7 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

V průběhu zkoušky byly v určitých časových intervalech odečítány hodnoty celkového průhybu zkušebních těles, které jsou uvedeny v tab. č. VIIIA až XIIb v přílohách 11 až 20, namáhaných napětím σ_0 , které se vypočítá dle vztahu (4.11). Síla ve vztahu (4.11) se vypočítá:

$$F = m \cdot g \quad (4.12)$$

$$m = m_1 + m_2 \quad (4.13)$$

kde m je celková hmotnost v kg, m_1 je hmotnost závaží a m_2 je hmotnost závěsu, g značí gravitační zrychlení v m/s^2 . Hmotnost závěsu při jednotlivých zkouškách, a tomu odpovídající síly jsou uvedeny v tab. č. I a II.

Tab. č.I Hmotnost závaží při zkouškách č.1, 2, 3, 5

VZOREK	1	2	3	4	5
m [g]	171.8	172.1	172.0	172.3	171.0
VZOREK	6	7	8	9	10
m [g]	278.2	279.2	278.3	278.6	278.4

Tab. č.II Hmotnost závaží při zkoušce č.4

VZOREK	1	2	3	4	5
m [g]	96.4	96.5	96.8	96.7	96.8
VZOREK	6	7	8	9	10
m [g]	171.8	172.1	172.0	172.3	171.0

Hodnoty průhybu, naměřené při kríčových zkouškách, byly použity k výpočtu deformace $\epsilon(t)$ podle vztahu (4.9) a k výpočtu modulu tečení $E_c(t)$ podle vztahu (4.10). K jejich vyjádření je výhodné použít křivky závislosti deformace na čase a modulu tečení na čase (obr. 16 až 25).

Vypočtené hodnoty σ_0 , $\epsilon(t)$, $E_c(t)$ jsou uvedeny v tab. č.1 až 50.

Tab. č.1 ZKOUŠKA Č.1 - vypočtené hodnoty, vzorek č.1
PP Taboren

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312	Teplota: 22[C]		
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.68	1.0	2.060	0.193	2674.5	5.150	
1.68	5.0	2.120	0.198	2598.8	5.150	
1.68	15.0	2.340	0.219	2354.5	5.150	
1.68	30.0	3.200	0.299	1721.7	5.150	
1.68	60.0	3.700	0.346	1489.1	5.150	
1.68	360.0	3.850	0.360	1431.0	5.150	
1.68	1560.0	4.570	0.427	1205.6	5.150	
1.68	2880.0	5.320	0.497	1035.6	5.150	
1.68	5760.0	5.725	0.535	962.4	5.150	
1.68	10080.0	5.910	0.552	932.2	5.150	

Tab. č.2 Vzorek č.2

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312	Teplota: 22[C]		
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.69	1.0	1.500	0.140	3664.7	5.143	
1.69	5.0	1.680	0.157	3272.0	5.143	
1.69	15.0	1.890	0.177	2908.5	5.143	
1.69	30.0	2.640	0.247	2082.2	5.143	
1.69	60.0	3.110	0.291	1767.5	5.143	
1.69	360.0	3.400	0.318	1616.8	5.143	
1.69	1560.0	3.910	0.366	1405.9	5.143	
1.69	2880.0	5.105	0.478	1076.8	5.143	
1.69	5760.0	5.140	0.481	1069.5	5.143	
1.69	10080.0	5.230	0.489	1051.1	5.143	

Tab. č.3 Vzorek č.3

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312	Teplota: 22[C]		
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.69	1.0	1.240	0.116	4431.4	5.141	
1.69	5.0	2.010	0.188	2733.8	5.141	
1.69	15.0	2.170	0.203	2532.2	5.141	
1.69	30.0	2.300	0.215	2389.1	5.141	
1.69	60.0	2.460	0.230	2233.7	5.141	
1.69	360.0	2.640	0.247	2081.4	5.141	
1.69	1560.0	3.260	0.305	1685.6	5.141	
1.69	2880.0	4.380	0.410	1254.6	5.141	
1.69	5760.0	4.530	0.424	1213.0	5.141	
1.69	10080.0	4.660	0.436	1179.2	5.141	

Tab. č.4 Vzorek č.4

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312	Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.69	1.0	1.470	0.138	3728.8	5.134
1.69	5.0	1.700	0.159	3224.3	5.134
1.69	15.0	1.790	0.168	3062.2	5.134
1.69	30.0	1.940	0.182	2825.4	5.134
1.69	60.0	2.000	0.187	2740.7	5.134
1.69	360.0	2.370	0.222	2312.8	5.134
1.69	1560.0	3.020	0.283	1815.0	5.134
1.69	2880.0	4.000	0.375	1370.3	5.134
1.69	5760.0	4.350	0.407	1260.1	5.134
1.69	10080.0	4.400	0.412	1245.8	5.134

Tab. č.5 Vzorek č.5

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312	Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.68	1.0	2.130	0.199	2554.2	5.095
1.68	5.0	2.340	0.219	2325.0	5.095
1.68	15.0	2.540	0.238	2141.9	5.095
1.68	30.0	2.690	0.252	2022.5	5.095
1.68	60.0	2.815	0.264	1932.7	5.095
1.68	360.0	3.070	0.288	1772.2	5.095
1.68	1560.0	3.670	0.344	1482.4	5.095
1.68	2880.0	4.890	0.458	1112.6	5.095
1.68	5760.0	4.955	0.464	1098.0	5.095
1.68	10080.0	5.190	0.486	1048.3	5.095

Tab. č.6 Vzorek č.6

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312	Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	3.080	0.289	2870.7	8.283
2.73	5.0	3.510	0.329	2519.1	8.283
2.73	15.0	3.850	0.361	2296.6	8.283
2.73	30.0	3.940	0.369	2244.1	8.283
2.73	60.0	4.185	0.392	2112.8	8.283
2.73	360.0	5.095	0.477	1735.4	8.283
2.73	1560.0	6.015	0.563	1470.0	8.283
2.73	2880.0	7.120	0.667	1241.8	8.283
2.73	5760.0	7.680	0.719	1151.3	8.283
2.73	10080.0	8.165	0.765	1082.9	8.283

Tab. č.7 Vzorek č.7

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312	Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.74	1.0	2.760	0.259	3202.6	8.293
2.74	5.0	3.365	0.316	2626.8	8.293
2.74	15.0	3.790	0.356	2332.2	8.293
2.74	30.0	3.860	0.362	2289.9	8.293
2.74	60.0	4.025	0.378	2196.1	8.293
2.74	360.0	4.710	0.442	1876.7	8.293
2.74	1560.0	5.640	0.529	1567.2	8.293
2.74	2880.0	6.870	0.645	1286.6	8.293
2.74	5760.0	7.105	0.667	1244.1	8.293
2.74	10080.0	8.670	0.813	1019.5	8.293

Tab. č.8 Vzorek č.8

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312	Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	3.000	0.281	2949.9	8.290
2.73	5.0	3.410	0.319	2595.2	8.290
2.73	15.0	3.540	0.332	2499.9	8.290
2.73	30.0	3.650	0.342	2424.5	8.290
2.73	60.0	3.740	0.350	2366.2	8.290
2.73	360.0	4.630	0.434	1911.3	8.290
2.73	1560.0	5.550	0.520	1594.5	8.290
2.73	2880.0	6.550	0.614	1351.1	8.290
2.73	5760.0	7.030	0.659	1258.8	8.290
2.73	10080.0	8.395	0.786	1054.1	8.290

Tab. č.9 Vzorek č.9

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
2.73	1.0	2.710	0.254	3262.3	8.288	
2.73	5.0	3.165	0.297	2793.4	8.288	
2.73	15.0	3.435	0.322	2573.8	8.288	
2.73	30.0	3.580	0.336	2469.5	8.288	
2.73	60.0	3.765	0.353	2348.2	8.288	
2.73	360.0	4.930	0.462	1793.3	8.288	
2.73	1560.0	5.720	0.536	1545.6	8.288	
2.73	2880.0	6.930	0.650	1275.8	8.288	
2.73	5760.0	7.520	0.705	1175.7	8.288	
2.73	10080.0	8.980	0.842	984.5	8.288	

Tab. č.10 Vzorek č.10

Material: TABOREN PR 53 H30			Serie: 312		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
2.73	1.0	2.480	0.233	3546.0	8.257	
2.73	5.0	2.775	0.261	3169.0	8.257	
2.73	15.0	3.250	0.305	2705.9	8.257	
2.73	30.0	3.470	0.326	2534.3	8.257	
2.73	60.0	3.640	0.342	2416.0	8.257	
2.73	360.0	4.270	0.401	2059.5	8.257	
2.73	1560.0	5.260	0.494	1671.9	8.257	
2.73	2880.0	6.460	0.607	1361.3	8.257	
2.73	5760.0	7.060	0.663	1245.6	8.257	
2.73	10080.0	8.430	0.791	1043.2	8.257	

Tab.č.11 ZKOUŠKA Č.2 - vypočtené hodnoty, vzorek č.1
PP Taboren

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.68	1.0	3.170	0.297	1715.6	5.102	
1.68	5.0	3.290	0.309	1653.0	5.102	
1.68	15.0	3.400	0.319	1599.6	5.102	
1.68	30.0	3.610	0.339	1506.5	5.102	
1.68	60.0	3.740	0.351	1454.1	5.102	
1.68	360.0	4.230	0.397	1285.7	5.102	
1.68	1560.0	4.370	0.410	1244.5	5.102	
1.68	2880.0	4.780	0.448	1137.8	5.102	
1.68	5760.0	5.170	0.485	1051.9	5.102	
1.68	10080.0	5.440	0.510	999.7	5.102	

Tab. č.12 Vzorek č.2

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.69	1.0	2.720	0.255	1999.5	5.105	
1.69	5.0	2.910	0.273	1869.0	5.105	
1.69	15.0	3.115	0.292	1746.0	5.105	
1.69	30.0	3.220	0.302	1689.0	5.105	
1.69	60.0	3.290	0.309	1653.1	5.105	
1.69	360.0	3.750	0.352	1450.3	5.105	
1.69	1560.0	3.880	0.364	1401.7	5.105	
1.69	2880.0	4.320	0.406	1259.0	5.105	
1.69	5760.0	4.865	0.457	1117.9	5.105	
1.69	10080.0	5.040	0.473	1079.1	5.105	

Tab. č.13 Vzorek č.3

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.69	1.0	3.210	0.301	1690.8	5.097	
1.69	5.0	3.680	0.346	1474.8	5.097	
1.69	15.0	3.720	0.349	1459.0	5.097	
1.69	30.0	3.810	0.358	1424.5	5.097	
1.69	60.0	3.935	0.370	1379.3	5.097	
1.69	360.0	4.250	0.399	1277.0	5.097	
1.69	1560.0	4.550	0.427	1192.8	5.097	
1.69	2880.0	4.810	0.452	1128.4	5.097	
1.69	5760.0	5.080	0.477	1068.4	5.097	
1.69	10080.0	5.540	0.520	979.7	5.097	

Tab. č.14 Vzorek č.4

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316	Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.69	1.0	2.870	0.269	1901.9	5.120
1.69	5.0	3.025	0.284	1804.4	5.120
1.69	15.0	3.060	0.287	1783.8	5.120
1.69	30.0	3.240	0.304	1684.7	5.120
1.69	60.0	3.605	0.338	1514.1	5.120
1.69	360.0	3.770	0.354	1447.8	5.120
1.69	1560.0	4.090	0.384	1334.6	5.120
1.69	2880.0	4.180	0.392	1305.8	5.120
1.69	5760.0	4.560	0.428	1197.0	5.120
1.69	10080.0	4.900	0.460	1114.0	5.120

Tab. č.15 Vzorek č.5

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316	Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.68	1.0	2.710	0.254	1993.8	5.073
1.68	5.0	2.990	0.281	1807.1	5.073
1.68	15.0	3.050	0.286	1771.5	5.073
1.68	30.0	3.210	0.301	1683.2	5.073
1.68	60.0	3.440	0.323	1570.7	5.073
1.68	360.0	3.750	0.352	1440.8	5.073
1.68	1560.0	3.980	0.374	1357.6	5.073
1.68	2880.0	4.170	0.392	1295.7	5.073
1.68	5760.0	4.760	0.447	1135.1	5.073
1.68	10080.0	5.120	0.481	1055.3	5.073

Tab. č.16 Vzorek č.6

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
2.73	1.0	4.080	0.383	2156.0	8.255	
2.73	5.0	4.550	0.427	1933.3	8.255	
2.73	15.0	4.645	0.436	1893.8	8.255	
2.73	30.0	4.855	0.456	1811.8	8.255	
2.73	60.0	5.330	0.500	1650.4	8.255	
2.73	360.0	5.880	0.552	1496.0	8.255	
2.73	1560.0	6.790	0.637	1295.5	8.255	
2.73	2880.0	6.925	0.650	1270.3	8.255	
2.73	5760.0	7.640	0.717	1151.4	8.255	
2.73	10080.0	8.300	0.779	1059.8	8.255	

Tab. č.17 Vzorek č.7

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
2.74	1.0	4.020	0.378	2187.3	8.260	
2.74	5.0	4.500	0.423	1954.0	8.260	
2.74	15.0	4.580	0.430	1919.8	8.260	
2.74	30.0	4.710	0.442	1866.8	8.260	
2.74	60.0	5.130	0.482	1714.0	8.260	
2.74	360.0	5.690	0.535	1545.3	8.260	
2.74	1560.0	6.375	0.599	1379.3	8.260	
2.74	2880.0	6.660	0.626	1320.2	8.260	
2.74	5760.0	7.485	0.703	1174.7	8.260	
2.74	10080.0	8.080	0.759	1088.2	8.260	

Tab. č.18 Vzorek č.8

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
2.73	1.0	3.870	0.364	2259.6	8.223	
2.73	5.0	4.310	0.405	2028.9	8.223	
2.73	15.0	4.490	0.422	1947.5	8.223	
2.73	30.0	4.720	0.444	1852.6	8.223	
2.73	60.0	4.840	0.455	1806.7	8.223	
2.73	360.0	5.390	0.507	1622.4	8.223	
2.73	1560.0	6.080	0.572	1438.2	8.223	
2.73	2880.0	6.550	0.616	1335.0	8.223	
2.73	5760.0	7.150	0.672	1223.0	8.223	
2.73	10080.0	7.700	0.724	1135.6	8.223	

Tab. č.19 Vzorek č.9

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
2.73	1.0	3.760	0.353	2335.7	8.248	
2.73	5.0	3.910	0.367	2246.1	8.248	
2.73	15.0	4.410	0.414	1991.4	8.248	
2.73	30.0	4.535	0.426	1936.6	8.248	
2.73	60.0	4.580	0.430	1917.5	8.248	
2.73	360.0	5.430	0.510	1617.4	8.248	
2.73	1560.0	6.210	0.583	1414.2	8.248	
2.73	2880.0	6.735	0.633	1304.0	8.248	
2.73	5760.0	7.250	0.681	1211.3	8.248	
2.73	10080.0	8.010	0.752	1096.4	8.248	

Tab. č.20 Vzorek č.10

Material: TABOREN PR 43 H25			Serie: 316		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
2.73	1.0	3.140	0.295	2799.4	8.251	
2.73	5.0	3.600	0.338	2441.7	8.251	
2.73	15.0	3.875	0.364	2268.4	8.251	
2.73	30.0	4.235	0.398	2075.6	8.251	
2.73	60.0	4.320	0.406	2034.7	8.251	
2.73	360.0	4.765	0.447	1844.7	8.251	
2.73	1560.0	5.660	0.531	1553.0	8.251	
2.73	2880.0	6.110	0.574	1438.6	8.251	
2.73	5760.0	6.835	0.642	1286.0	8.251	
2.73	10080.0	7.560	0.710	1162.7	8.251	

Tab. č.21 ZKOUŠKA Č.3 - vypočtené hodnoty, vzorek č.1
PP Taboren

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.68	1.0	3.800	0.357	1431.7	5.106	
1.68	5.0	3.950	0.371	1377.3	5.106	
1.68	15.0	4.090	0.384	1330.2	5.106	
1.68	30.0	4.160	0.390	1307.8	5.106	
1.68	60.0	4.250	0.399	1280.1	5.106	
1.68	360.0	4.340	0.407	1253.6	5.106	
1.68	1560.0	4.600	0.432	1182.7	5.106	
1.68	2880.0	5.090	0.478	1068.9	5.106	
1.68	5760.0	5.240	0.492	1038.3	5.106	
1.68	10080.0	5.790	0.543	939.6	5.106	

Tab. č.22 Vzorek č.2

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.69	1.0	3.510	0.330	1537.4	5.077	
1.69	5.0	3.840	0.361	1405.3	5.077	
1.69	15.0	3.860	0.363	1398.0	5.077	
1.69	30.0	3.890	0.366	1387.2	5.077	
1.69	60.0	4.010	0.377	1345.7	5.077	
1.69	360.0	4.040	0.380	1335.7	5.077	
1.69	1560.0	4.140	0.389	1303.4	5.077	
1.69	2880.0	4.640	0.437	1163.0	5.077	
1.69	5760.0	4.960	0.467	1087.9	5.077	
1.69	10080.0	5.110	0.481	1056.0	5.077	

Tab. č.23 Vzorek č.3

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11		Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.69	1.0	3.550	0.334	1519.6	5.075	
1.69	5.0	3.850	0.362	1401.2	5.075	
1.69	15.0	3.860	0.363	1397.6	5.075	
1.69	30.0	3.940	0.371	1369.2	5.075	
1.69	60.0	3.970	0.373	1358.9	5.075	
1.69	360.0	4.220	0.397	1278.4	5.075	
1.69	1560.0	4.300	0.405	1254.6	5.075	
1.69	2880.0	4.850	0.456	1112.3	5.075	
1.69	5760.0	4.930	0.464	1094.3	5.075	
1.69	10080.0	5.140	0.484	1049.6	5.075	

Tab. č.24 Vzorek č.4

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11	Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.69	1.0	2.950	0.277	1842.7	5.104
1.69	5.0	3.190	0.300	1704.1	5.104
1.69	15.0	3.310	0.311	1642.3	5.104
1.69	30.0	3.370	0.316	1613.1	5.104
1.69	60.0	3.420	0.321	1589.5	5.104
1.69	360.0	3.650	0.343	1489.3	5.104
1.69	1560.0	3.930	0.369	1383.2	5.104
1.69	2880.0	4.320	0.406	1258.3	5.104
1.69	5760.0	4.440	0.417	1224.3	5.104
1.69	10080.0	4.640	0.436	1171.6	5.104

Tab. č.25 Vzorek č.5

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11	Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.68	1.0	3.275	0.308	1636.3	5.043
1.68	5.0	3.740	0.352	1432.8	5.043
1.68	15.0	3.750	0.353	1429.0	5.043
1.68	30.0	3.910	0.368	1370.5	5.043
1.68	60.0	3.980	0.375	1346.4	5.043
1.68	360.0	4.090	0.385	1310.2	5.043
1.68	1560.0	4.420	0.416	1212.4	5.043
1.68	2880.0	4.890	0.460	1095.9	5.043
1.68	5760.0	4.970	0.468	1078.2	5.043
1.68	10080.0	5.190	0.488	1032.5	5.043

Tab. č.26 Vzorek č.6

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11	Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	4.100	0.386	2123.7	8.197
2.73	5.0	4.470	0.421	1947.9	8.197
2.73	15.0	4.700	0.442	1852.5	8.197
2.73	30.0	5.050	0.475	1724.2	8.197
2.73	60.0	5.220	0.491	1668.0	8.197
2.73	360.0	5.550	0.523	1568.8	8.197
2.73	1560.0	6.230	0.587	1397.6	8.197
2.73	2880.0	6.770	0.637	1286.1	8.197
2.73	5760.0	7.210	0.679	1207.6	8.197
2.73	10080.0	7.510	0.707	1159.4	8.197

Tab. č.27 Vzorek č.7

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11	Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.74	1.0	4.410	0.414	1998.7	8.274
2.74	5.0	4.900	0.460	1798.9	8.274
2.74	15.0	4.920	0.462	1791.5	8.274
2.74	30.0	5.170	0.485	1704.9	8.274
2.74	60.0	5.230	0.491	1685.3	8.274
2.74	360.0	5.570	0.523	1582.5	8.274
2.74	1560.0	6.610	0.620	1333.5	8.274
2.74	2880.0	6.900	0.648	1277.4	8.274
2.74	5760.0	7.480	0.702	1178.4	8.274
2.74	10080.0	7.770	0.729	1134.4	8.274

Tab. č.28 Vzorek č.8

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11	Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	3.790	0.356	2304.5	8.213
2.73	5.0	4.110	0.386	2125.0	8.213
2.73	15.0	4.310	0.405	2026.4	8.213
2.73	30.0	4.440	0.417	1967.1	8.213
2.73	60.0	4.560	0.429	1915.3	8.213
2.73	360.0	4.950	0.465	1764.4	8.213
2.73	1560.0	5.800	0.545	1505.8	8.213
2.73	2880.0	6.530	0.614	1337.5	8.213
2.73	5760.0	6.960	0.654	1254.9	8.213
2.73	10080.0	7.310	0.687	1194.8	8.213

Tab. č.29 Vzorek č.9

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11	Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	3.600	0.339	2419.3	8.202
2.73	5.0	3.730	0.351	2335.0	8.202
2.73	15.0	4.140	0.390	2103.7	8.202
2.73	30.0	4.400	0.414	1979.4	8.202
2.73	60.0	4.700	0.443	1853.1	8.202
2.73	360.0	4.750	0.447	1833.6	8.202
2.73	1560.0	5.750	0.541	1514.7	8.202
2.73	2880.0	6.530	0.615	1333.8	8.202
2.73	5760.0	7.130	0.671	1221.5	8.202
2.73	10080.0	7.420	0.699	1173.8	8.202

Tab. č.30 Vzorek č.10

Material: TABOREN REGENERAT			Serie: 9/11	Teplota: 21[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	3.920	0.368	2234.9	8.234
2.73	5.0	4.050	0.381	2163.1	8.234
2.73	15.0	4.110	0.386	2131.6	8.234
2.73	30.0	4.340	0.408	2018.6	8.234
2.73	60.0	4.660	0.438	1880.0	8.234
2.73	360.0	4.960	0.466	1766.3	8.234
2.73	1560.0	5.840	0.549	1500.1	8.234
2.73	2880.0	6.360	0.598	1377.5	8.234
2.73	5760.0	7.030	0.661	1246.2	8.234
2.73	10080.0	7.550	0.710	1160.4	8.234

Tab. č.31 ZKOUŠKA Č.4 - vypočtené hodnoty, vzorek č.1
PP Mosten

Material: MOSTEN 52 534			Series: 773	Teplota: 22[.C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
0.95	1.0	3.510	0.329	875.4	2.879
0.95	5.0	3.690	0.346	832.7	2.879
0.95	15.0	4.020	0.377	764.4	2.879
0.95	30.0	4.080	0.382	753.1	2.879
0.95	60.0	4.150	0.389	740.4	2.879
0.95	360.0	4.380	0.410	701.5	2.879
0.95	1560.0	4.860	0.455	632.2	2.879
0.95	2880.0	5.420	0.508	566.9	2.879
0.95	5760.0	5.900	0.553	520.8	2.879
0.95	10080.0	6.080	0.570	505.4	2.879

Tab. č.32 Vzorek č.2

Material: MOSTEN 52 534			Serie: 773		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
0.95	1.0	3.420	0.320	907.2	2.899	
0.95	5.0	3.635	0.340	853.6	2.899	
0.95	15.0	3.930	0.367	789.5	2.899	
0.95	30.0	4.010	0.375	773.7	2.899	
0.95	60.0	4.190	0.392	740.5	2.899	
0.95	360.0	4.420	0.413	702.0	2.899	
0.95	1560.0	4.850	0.453	639.7	2.899	
0.95	2880.0	5.370	0.502	577.8	2.899	
0.95	5760.0	5.550	0.519	559.0	2.899	
0.95	10080.0	5.780	0.540	536.8	2.899	

Tab. č.33 Vzorek č.3

Material: MOSTEN 52 534			Series: 773	Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
0.95	1.0	3.290	0.308	941.4	2.898
0.95	5.0	3.580	0.335	865.1	2.898
0.95	15.0	3.630	0.340	853.2	2.898
0.95	30.0	3.730	0.349	830.3	2.898
0.95	60.0	3.840	0.359	806.5	2.898
0.95	360.0	4.190	0.392	739.2	2.898
0.95	1560.0	4.690	0.439	660.4	2.898
0.95	2880.0	5.040	0.472	614.5	2.898
0.95	5760.0	5.390	0.504	574.6	2.898
0.95	10080.0	5.550	0.519	558.0	2.898

Tab. č.34 Vzorek č.4

Material: MOSTEN 52 534			Serie: 773	Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
0.95	1.0	2.720	0.253	1153.2	2.922
0.95	5.0	2.900	0.270	1081.6	2.922
0.95	15.0	3.090	0.288	1015.1	2.922
0.95	30.0	3.140	0.293	999.0	2.922
0.95	60.0	3.260	0.304	962.2	2.922
0.95	360.0	3.550	0.331	883.6	2.922
0.95	1560.0	4.310	0.402	727.8	2.922
0.95	2880.0	4.540	0.423	690.9	2.922
0.95	5760.0	4.930	0.459	636.3	2.922
0.95	10080.0	5.150	0.480	609.1	2.922

Tab. č.35 Vzorek č.5

Material: MOSTEN 52 534			Serie: 773		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
0.95	1.0	2.770	0.258	1138.3	2.934	
0.95	5.0	2.820	0.262	1118.1	2.934	
0.95	15.0	2.960	0.275	1065.2	2.934	
0.95	30.0	3.010	0.280	1047.6	2.934	
0.95	60.0	3.170	0.295	994.7	2.934	
0.95	360.0	3.430	0.319	919.3	2.934	
0.95	1560.0	3.870	0.360	814.8	2.934	
0.95	2880.0	4.300	0.400	733.3	2.934	
0.95	5760.0	4.720	0.439	668.0	2.934	
0.95	10080.0	5.000	0.465	630.6	2.934	

Tab. č.36 Vzorek č.6

Material: MOSTEN 52 534			Serie: 773	Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.68	1.0	5.330	0.496	1049.0	5.205
1.68	5.0	5.900	0.549	947.6	5.205
1.68	15.0	5.940	0.553	941.3	5.205
1.68	30.0	5.970	0.556	936.5	5.205
1.68	60.0	6.480	0.603	862.8	5.205
1.68	360.0	6.950	0.647	804.5	5.205
1.68	1560.0	7.770	0.723	719.6	5.205
1.68	2880.0	8.280	0.771	675.3	5.205
1.68	5760.0	8.800	0.819	635.4	5.205
1.68	10080.0	9.390	0.874	595.4	5.205

Tab. č.37 Vzorek č.7

Material: MOSTEN 52 534		Serie: 773		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.69	1.0	4.150	0.386	1348.9	5.211
1.69	5.0	4.670	0.435	1198.7	5.211
1.69	15.0	4.820	0.449	1161.4	5.211
1.69	30.0	4.960	0.462	1128.6	5.211
1.69	60.0	5.190	0.483	1078.6	5.211
1.69	360.0	5.630	0.524	994.3	5.211
1.69	1560.0	6.250	0.582	895.7	5.211
1.69	2880.0	7.080	0.659	790.7	5.211
1.69	5760.0	7.350	0.684	761.6	5.211
1.69	10080.0	8.150	0.759	686.9	5.211

Tab. č.38 Vzorek č.8

Material: MOSTEN 52 534			Serie: 773	Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.69	1.0	4.500	0.420	1235.7	5.187
1.69	5.0	4.710	0.439	1180.6	5.187
1.69	15.0	4.840	0.451	1148.9	5.187
1.69	30.0	5.100	0.476	1090.3	5.187
1.69	60.0	5.340	0.498	1041.3	5.187
1.69	360.0	5.770	0.538	963.7	5.187
1.69	1560.0	6.310	0.589	881.2	5.187
1.69	2880.0	7.060	0.659	787.6	5.187
1.69	5760.0	7.650	0.714	726.9	5.187
1.69	10080.0	8.430	0.786	659.6	5.187

Tab. č.39 Vzorek č.9

Material: MOSTEN 52 534			Serie: 773		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.69	1.0	4.500	0.419	1241.1	5.204	
1.69	5.0	4.940	0.460	1130.5	5.204	
1.69	15.0	5.030	0.469	1110.3	5.204	
1.69	30.0	5.170	0.482	1080.2	5.204	
1.69	60.0	5.380	0.501	1038.1	5.204	
1.69	360.0	5.710	0.532	978.1	5.204	
1.69	1560.0	6.560	0.611	851.3	5.204	
1.69	2880.0	7.060	0.658	791.0	5.204	
1.69	5760.0	7.460	0.695	748.6	5.204	
1.69	10080.0	8.230	0.767	678.6	5.204	

Tab. č.40 Vzorek č.10

Material: MOSTEN 52 534			Serie: 773		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]	
1.68	1.0	4.510	0.422	1218.0	5.135	
1.68	5.0	4.940	0.462	1112.0	5.135	
1.68	15.0	5.020	0.469	1094.3	5.135	
1.68	30.0	5.160	0.482	1064.6	5.135	
1.68	60.0	5.420	0.507	1013.5	5.135	
1.68	360.0	5.960	0.557	921.7	5.135	
1.68	1560.0	6.900	0.645	796.1	5.135	
1.68	2880.0	7.300	0.682	752.5	5.135	
1.68	5760.0	8.010	0.749	685.8	5.135	
1.68	10080.0	8.970	0.838	612.4	5.135	

Tab. č.41 ZKOUŠKA Č.5 - vypočtené hodnoty, vzorek č.1
ABS Forsan

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.68	1.0	2.360	0.224	2198.3	4.929
1.68	5.0	2.470	0.235	2100.4	4.929
1.68	15.0	2.600	0.247	1995.4	4.929
1.68	30.0	2.780	0.264	1866.2	4.929
1.68	60.0	2.880	0.274	1801.4	4.929
1.68	360.0	2.890	0.275	1795.2	4.929
1.68	1560.0	2.900	0.276	1789.0	4.929
1.68	2880.0	2.920	0.277	1776.7	4.929
1.68	5760.0	2.950	0.280	1758.7	4.929
1.68	10080.0	2.970	0.282	1746.8	4.929

Tab. č.42 Vzorek č.2

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.69	1.0	2.280	0.217	2239.2	4.870
1.69	5.0	2.300	0.219	2219.7	4.870
1.69	15.0	2.390	0.228	2136.1	4.870
1.69	30.0	2.450	0.234	2083.8	4.870
1.69	60.0	2.570	0.245	1986.5	4.870
1.69	360.0	2.700	0.258	1890.9	4.870
1.69	1560.0	2.750	0.262	1856.5	4.870
1.69	2880.0	2.770	0.264	1843.1	4.870
1.69	5760.0	2.840	0.271	1797.7	4.870
1.69	10080.0	2.930	0.279	1742.5	4.870

Tab. č.43 Vzorek č.3

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.69	1.0	2.250	0.216	2226.7	4.803
1.69	5.0	2.370	0.227	2113.9	4.803
1.69	15.0	2.480	0.238	2020.1	4.803
1.69	30.0	2.560	0.245	1957.0	4.803
1.69	60.0	2.650	0.254	1890.6	4.803
1.69	360.0	2.760	0.265	1815.2	4.803
1.69	1560.0	2.800	0.268	1789.3	4.803
1.69	2880.0	2.890	0.277	1733.6	4.803
1.69	5760.0	2.930	0.281	1709.9	4.803
1.69	10080.0	2.980	0.286	1681.2	4.803

Tab. č.44 Vzorek č.4

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.69	1.0	2.170	0.207	2362.7	4.888
1.69	5.0	2.240	0.214	2288.9	4.888
1.69	15.0	2.300	0.219	2229.1	4.888
1.69	30.0	2.320	0.221	2209.9	4.888
1.69	60.0	2.370	0.226	2163.3	4.888
1.69	360.0	2.450	0.234	2092.7	4.888
1.69	1560.0	2.540	0.242	2018.5	4.888
1.69	2880.0	2.620	0.250	1956.9	4.888
1.69	5760.0	2.710	0.258	1891.9	4.888
1.69	10080.0	2.740	0.261	1871.2	4.888

Tab. č.45 Vzorek č.5

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
1.68	1.0	2.100	0.200	2428.9	4.860
1.68	5.0	2.150	0.205	2372.4	4.860
1.68	15.0	2.250	0.214	2266.9	4.860
1.68	30.0	2.340	0.223	2179.8	4.860
1.68	60.0	2.360	0.225	2161.3	4.860
1.68	360.0	2.410	0.230	2116.4	4.860
1.68	1560.0	2.500	0.238	2040.3	4.860
1.68	2880.0	2.570	0.245	1984.7	4.860
1.68	5760.0	2.610	0.249	1954.3	4.860
1.68	10080.0	2.650	0.252	1924.8	4.860

Tab. č.46 Vzorek č.6

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	2.760	0.263	3030.0	7.954
2.73	5.0	2.850	0.271	2934.4	7.954
2.73	15.0	2.890	0.275	2893.7	7.954
2.73	30.0	2.990	0.284	2797.0	7.954
2.73	60.0	3.100	0.295	2697.7	7.954
2.73	360.0	3.150	0.300	2654.9	7.954
2.73	1560.0	3.190	0.303	2621.6	7.954
2.73	2880.0	3.210	0.305	2605.3	7.954
2.73	5760.0	3.400	0.323	2459.7	7.954
2.73	10080.0	3.590	0.341	2329.5	7.954

Tab. č.47 Vzorek č.7

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.74	1.0	2.800	0.267	2981.4	7.953
2.74	5.0	2.870	0.273	2908.7	7.953
2.74	15.0	2.910	0.277	2868.7	7.953
2.74	30.0	2.970	0.283	2810.8	7.953
2.74	60.0	3.090	0.294	2701.6	7.953
2.74	360.0	3.160	0.301	2641.8	7.953
2.74	1560.0	3.200	0.305	2608.8	7.953
2.74	2880.0	3.280	0.312	2545.1	7.953
2.74	5760.0	3.400	0.324	2455.3	7.953
2.74	10080.0	3.620	0.345	2306.1	7.953

Tab. č.48 Vzorek č.8

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	2.700	0.258	3044.2	7.848
2.73	5.0	2.750	0.263	2988.8	7.848
2.73	15.0	2.850	0.272	2883.9	7.848
2.73	30.0	2.980	0.285	2758.1	7.848
2.73	60.0	3.040	0.290	2703.7	7.848
2.73	360.0	3.100	0.296	2651.4	7.848
2.73	1560.0	3.150	0.301	2609.3	7.848
2.73	2880.0	3.270	0.312	2513.5	7.848
2.73	5760.0	3.360	0.321	2446.2	7.848
2.73	10080.0	3.480	0.332	2361.9	7.848

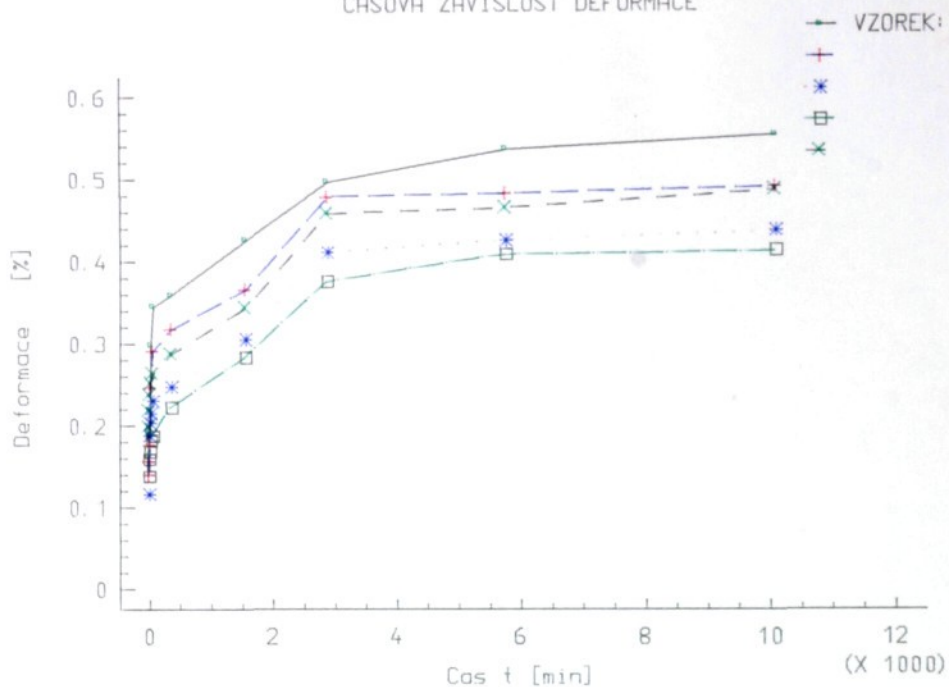
Tab. č.49 Vzorek č.9

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	2.840	0.271	2905.2	7.874
2.73	5.0	2.910	0.278	2835.4	7.874
2.73	15.0	2.990	0.285	2759.5	7.874
2.73	30.0	3.060	0.292	2696.4	7.874
2.73	60.0	3.100	0.296	2661.6	7.874
2.73	360.0	3.130	0.299	2636.1	7.874
2.73	1560.0	3.250	0.310	2538.7	7.874
2.73	2880.0	3.270	0.312	2523.2	7.874
2.73	5760.0	3.340	0.319	2470.3	7.874
2.73	10080.0	3.450	0.329	2391.6	7.874

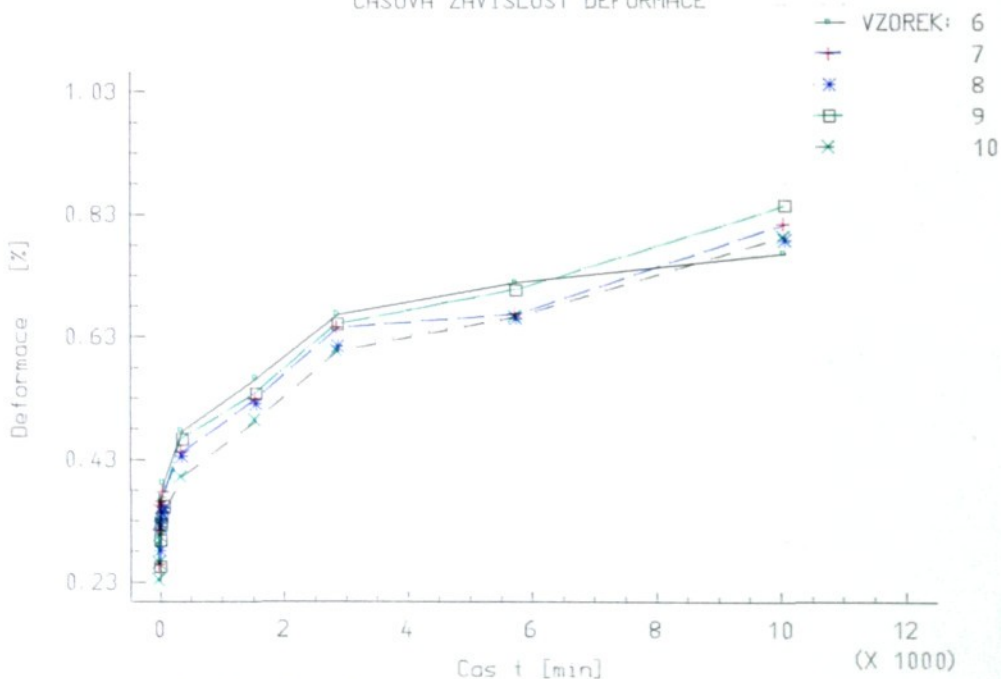
Tab. č.50 Vzorek č.10

Material: FORSAN 548		Serie: 438		Teplota: 22[C]	
F[N]	t[min]	pruhyb[mm]	deformace[%]	modul[MPa]	napeti[MPa]
2.73	1.0	2.500	0.238	3321.2	7.913
2.73	5.0	2.540	0.242	3268.9	7.913
2.73	15.0	2.620	0.250	3169.1	7.913
2.73	30.0	2.730	0.260	3041.4	7.913
2.73	60.0	2.840	0.271	2923.6	7.913
2.73	360.0	2.900	0.276	2863.1	7.913
2.73	1560.0	2.940	0.280	2824.2	7.913
2.73	2880.0	2.990	0.285	2776.9	7.913
2.73	5760.0	3.120	0.297	2661.2	7.913
2.73	10080.0	3.200	0.305	2594.7	7.913

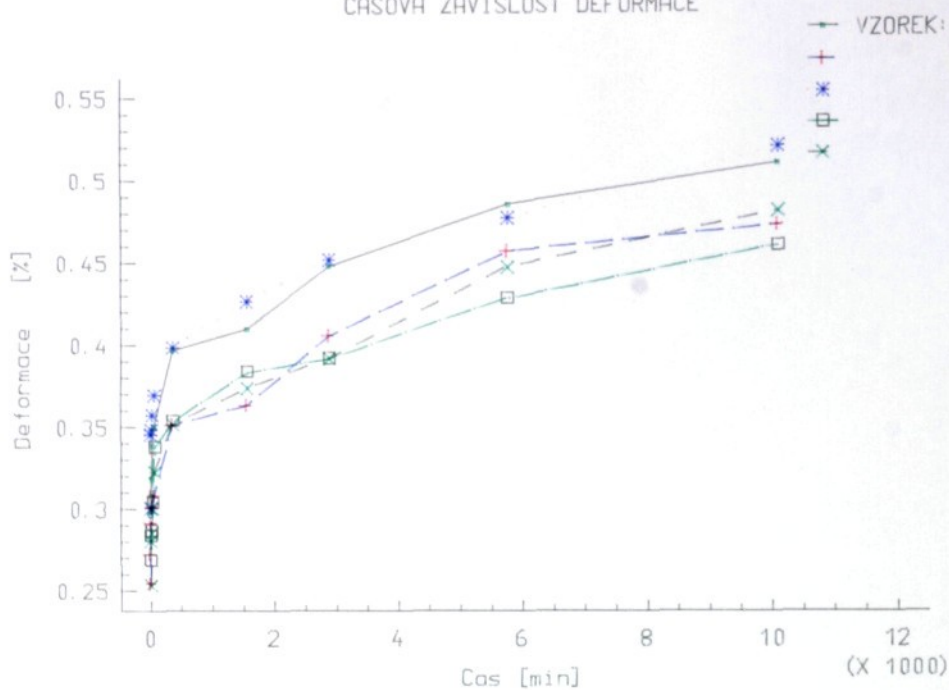
CASOVÁ ZAVISLOST DEFORMACE



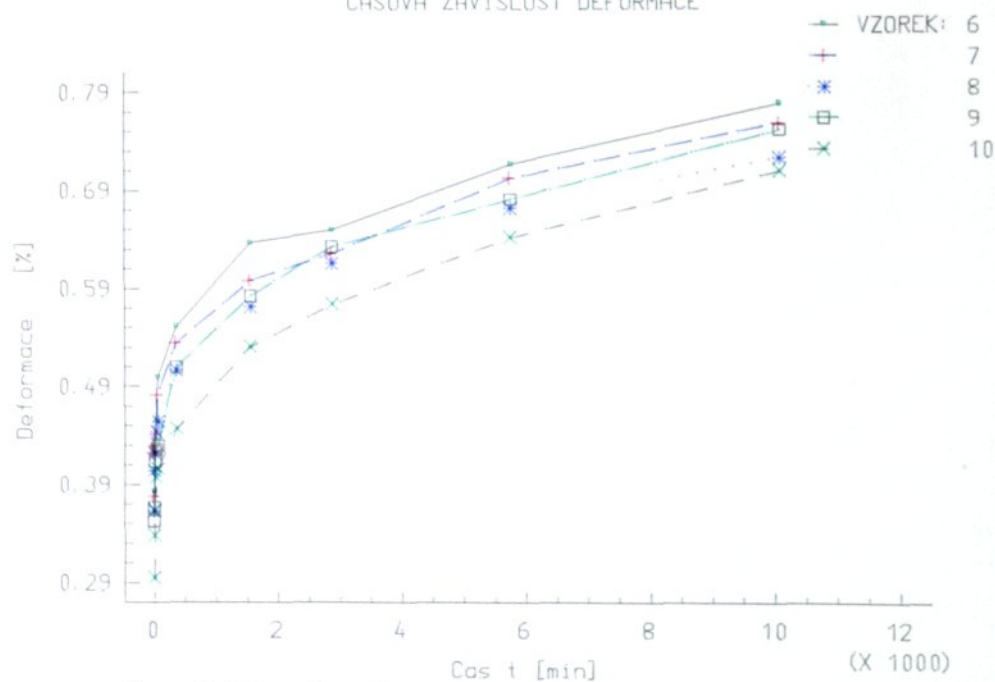
CASOVÁ ZAVISLOST DEFORMACE



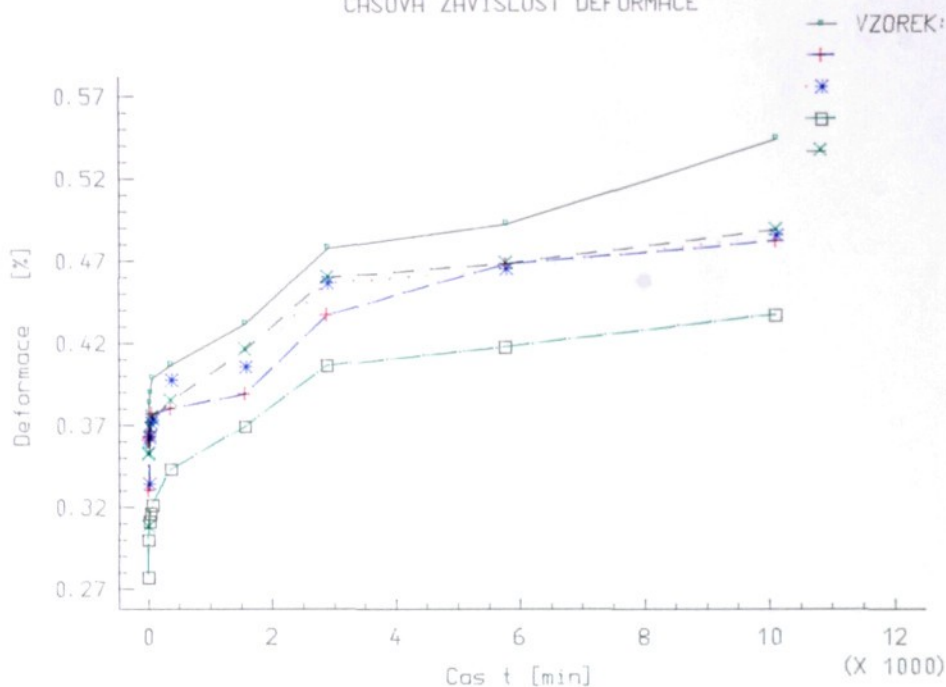
CASOVA ZAVISLOST DEFORMACE



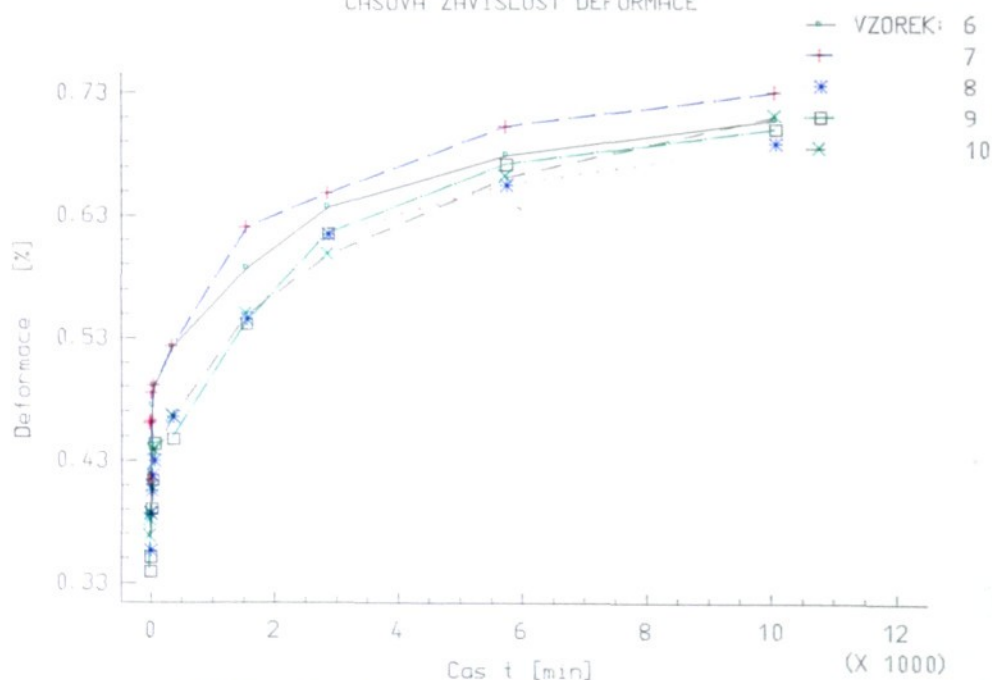
CASOVA ZAVISLOST DEFORMACE



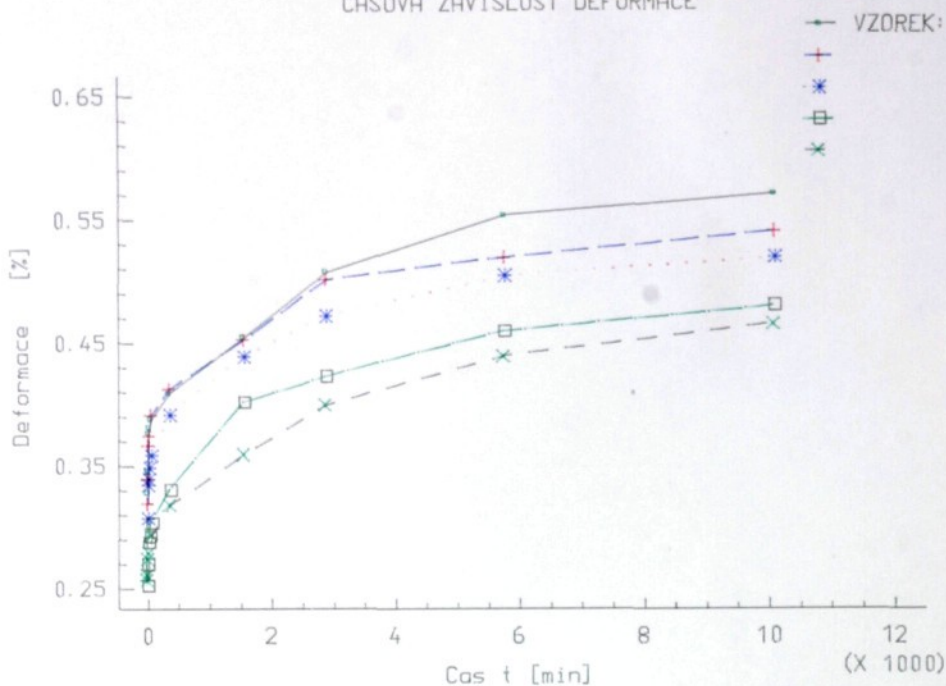
CASOVA ZAVISLOST DEFORMACE



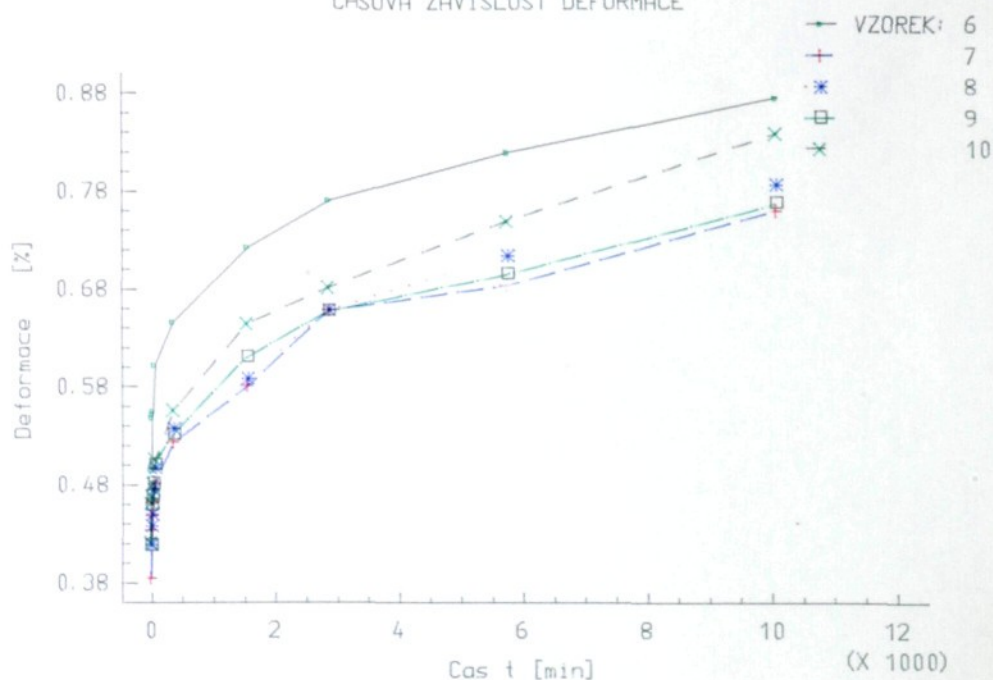
CASOVA ZAVISLOST DEFORMACE



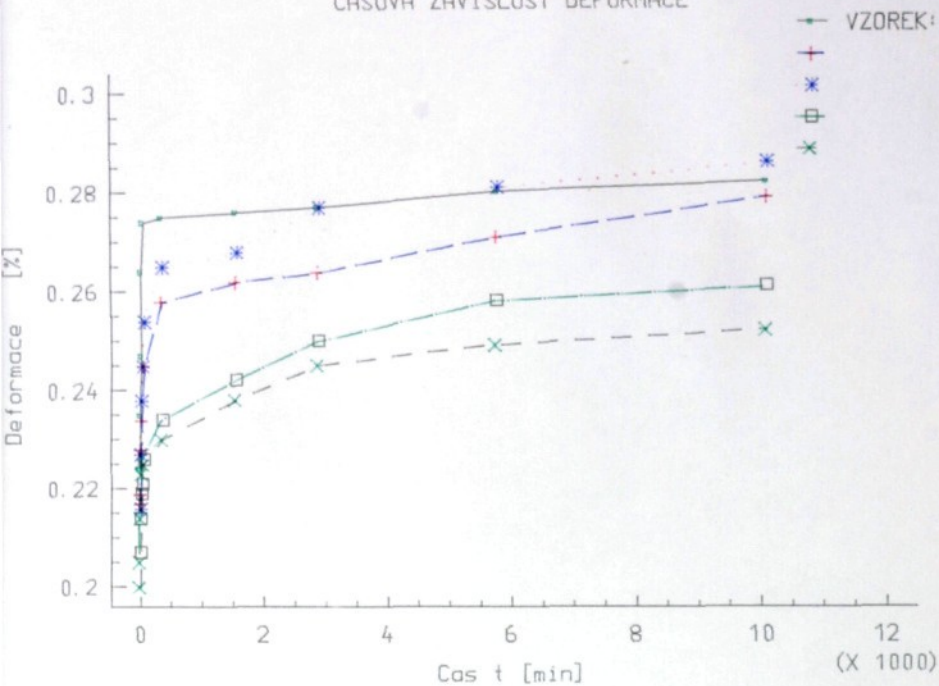
CASOVA ZAVISLOST DEFORMACE



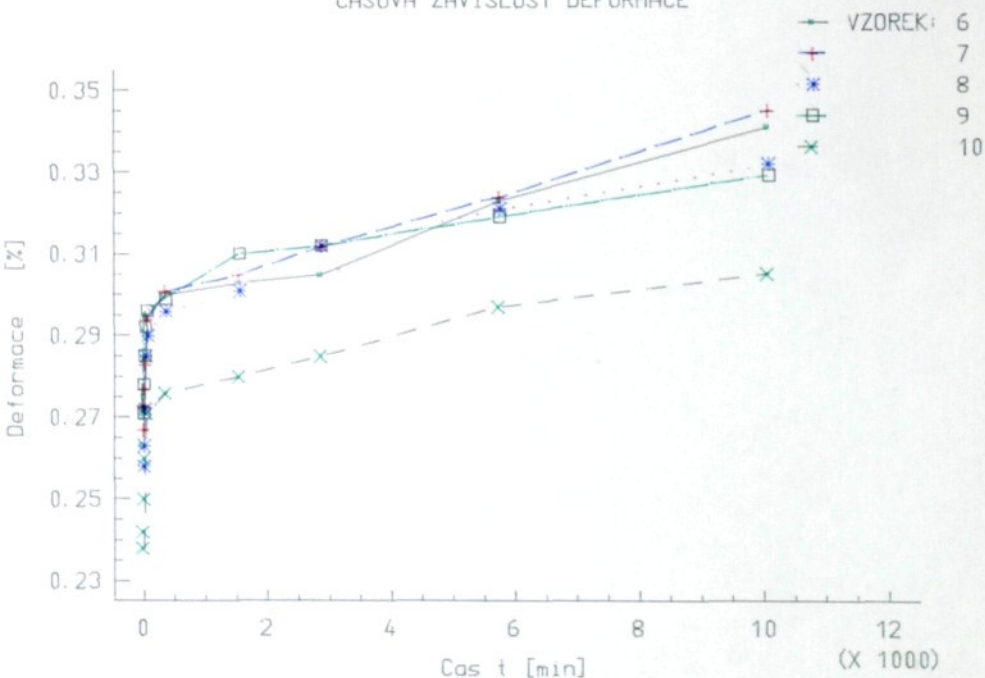
CASOVA ZAVISLOST DEFORMACE



CASOVÁ ZAVISLOST DEFORMACE

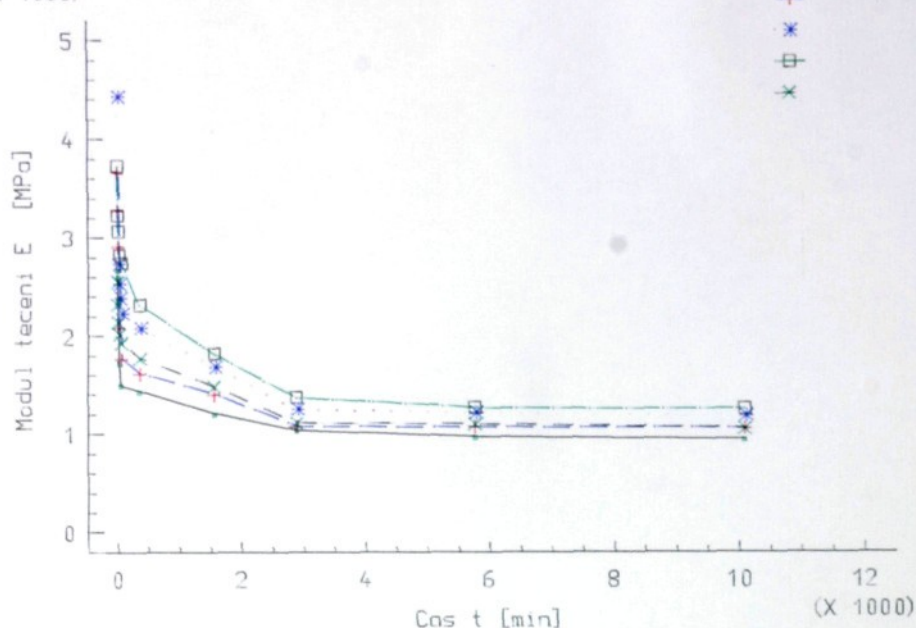


CASOVÁ ZAVISLOST DEFORMACE



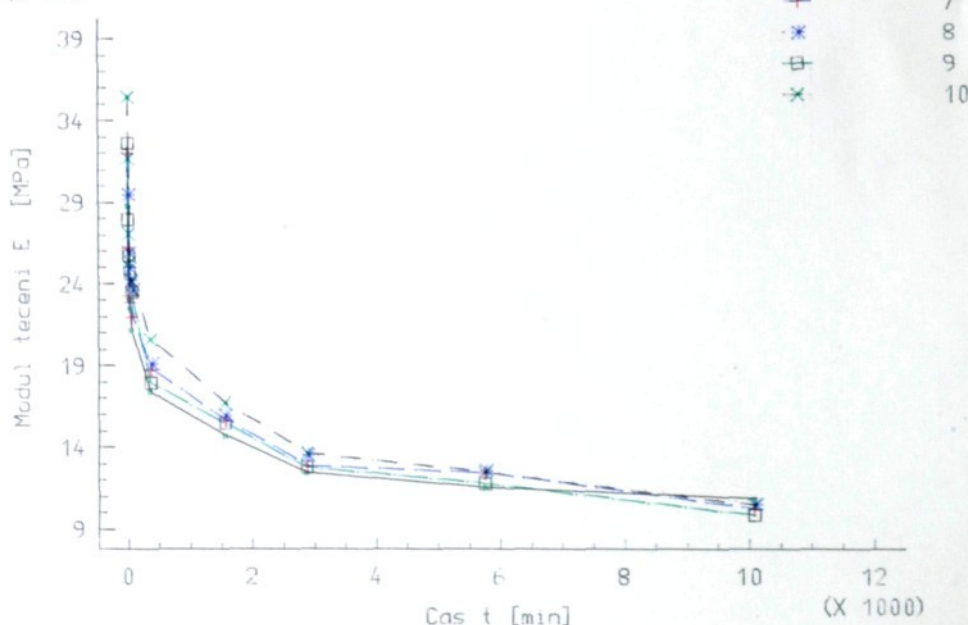
CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI

(X 1000)



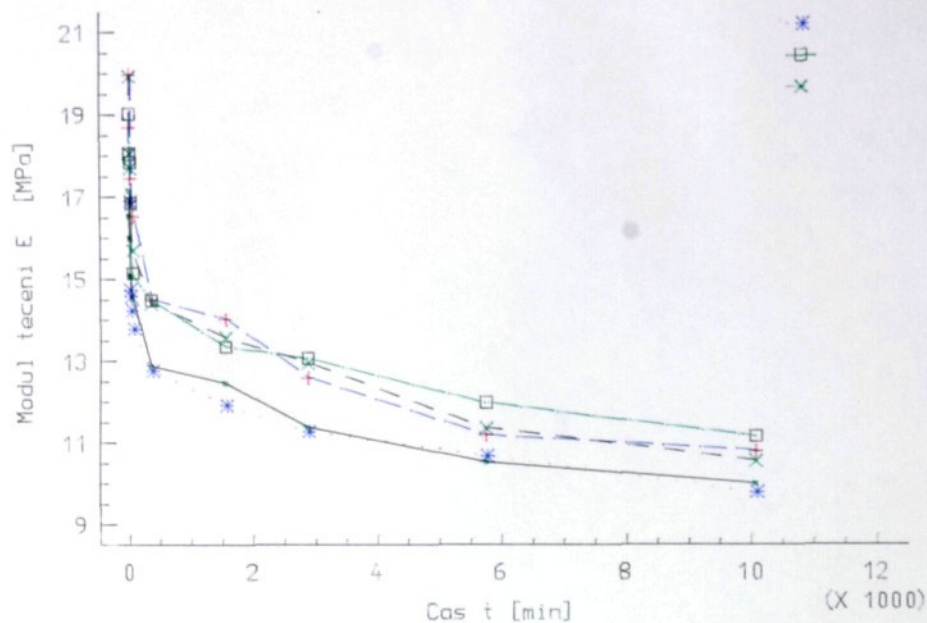
CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI

(X 100)



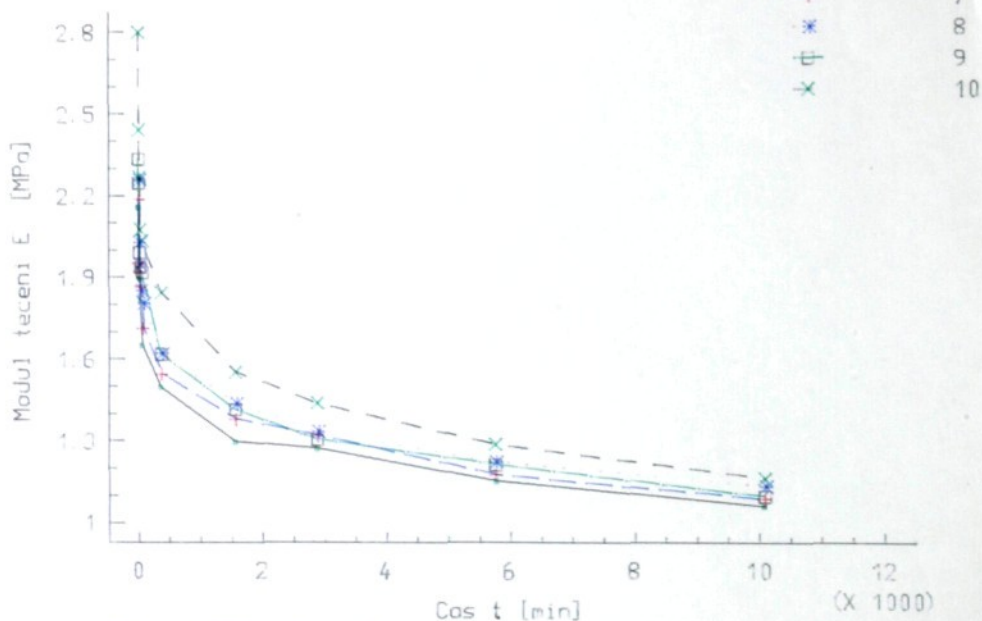
CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI

(X 100)

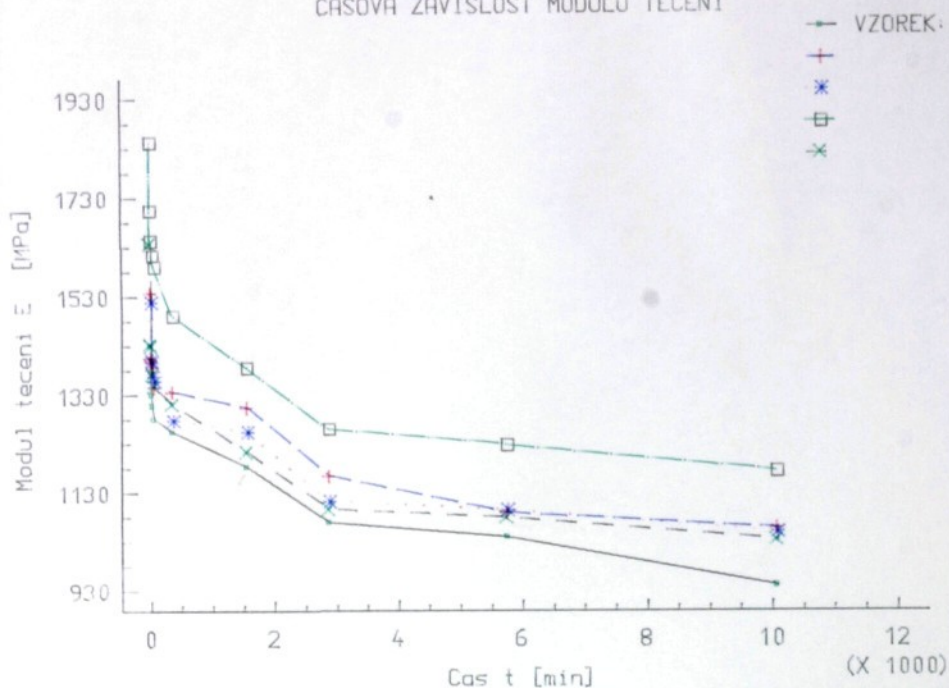


CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI

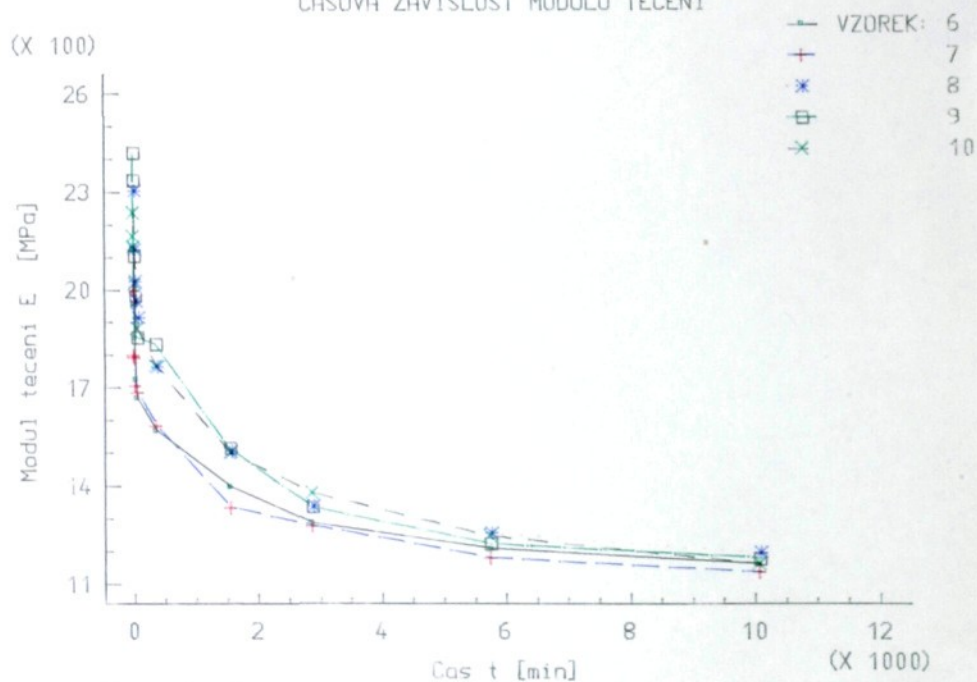
(X 1000)



CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI

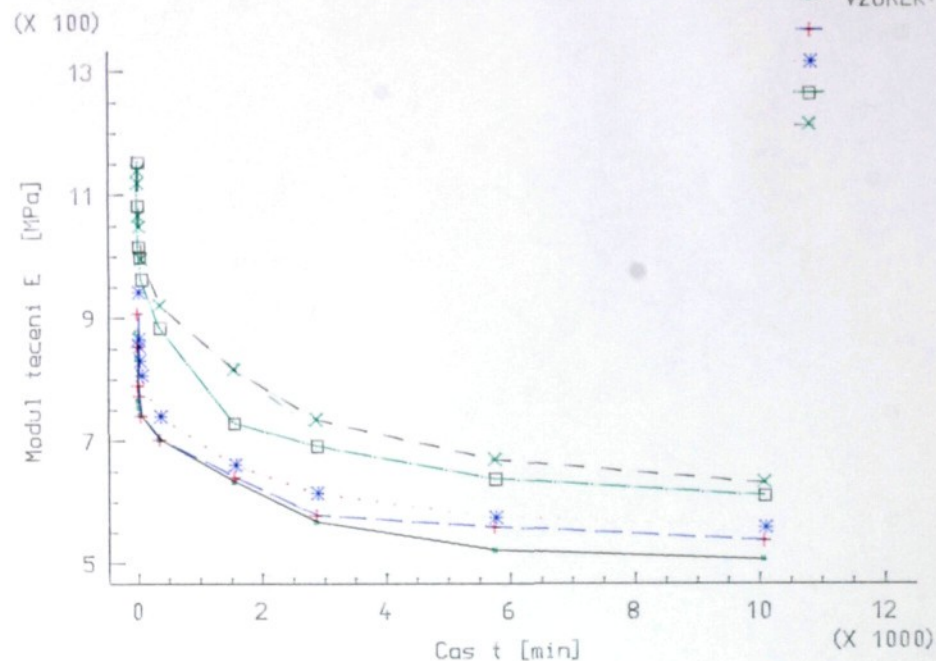


CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI



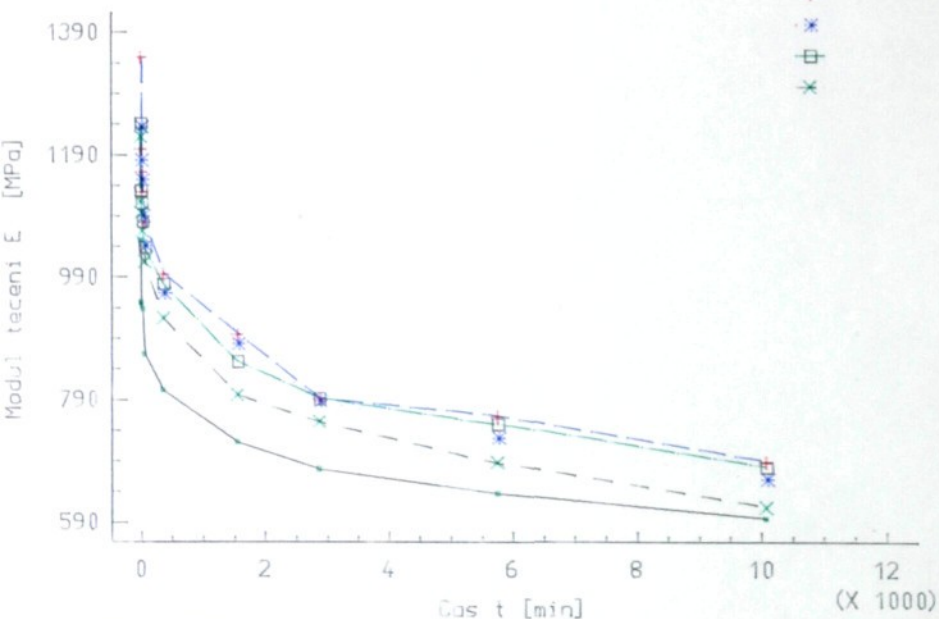
CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI

VZOREK: 1
2
3
4
5

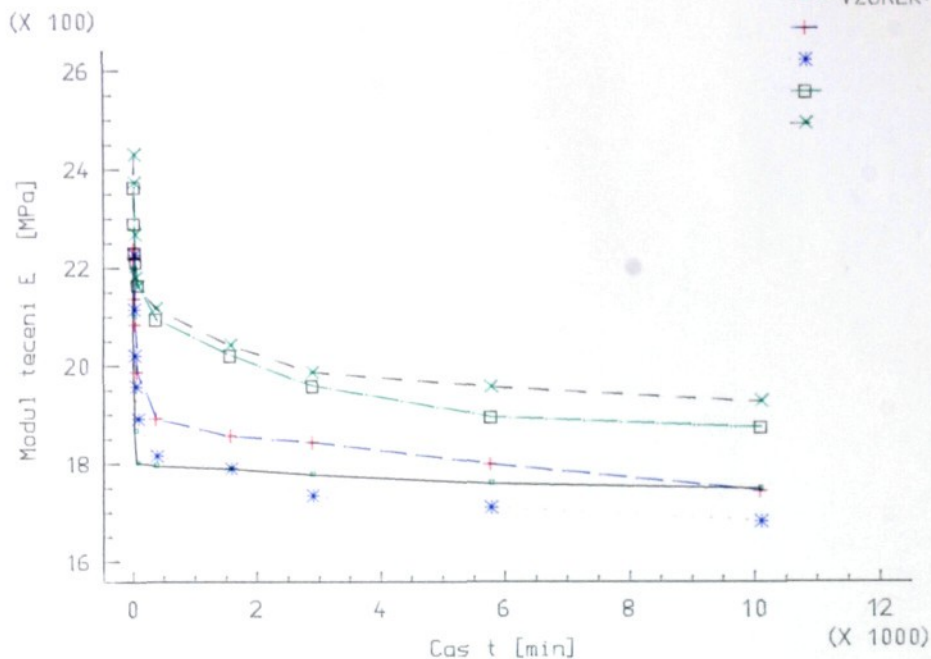


CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI

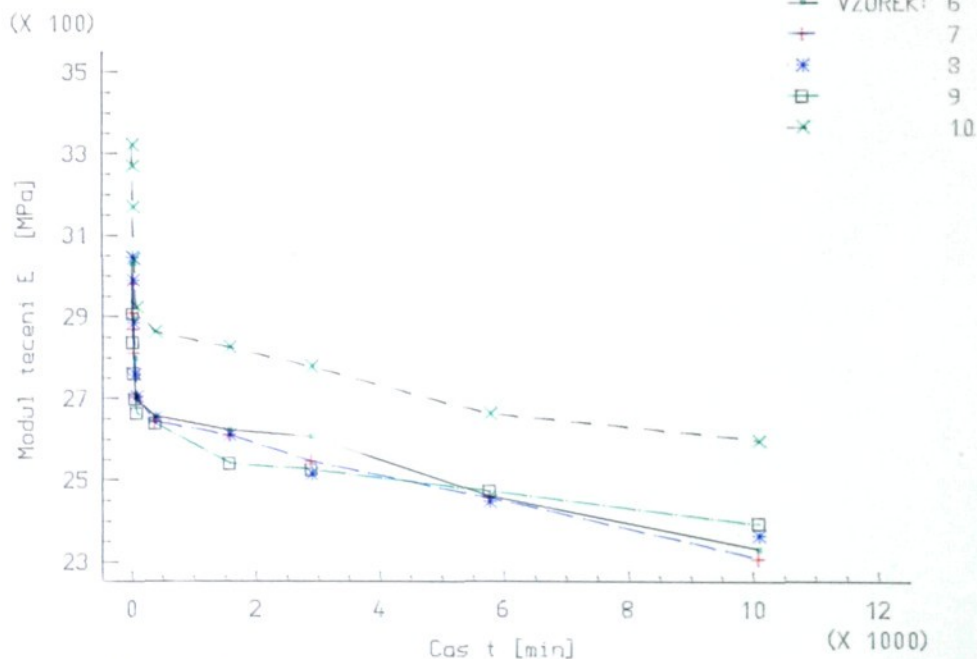
VZOREK: 6
7
8
9
10



CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI



CASOVA ZAVISLOST MODULU TECENI



4.8 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ (diskuse)

Uvedené naměřené hodnoty je nutno brát jako informativní, které slouží k hrubému určení nejvyšší tuhosti vzorků. Na deformační chování namáhaných polymerů má určitý vliv i ta skutečnost, že v průběhu zkoušky nebyla zajištěna konstantní teplota, ani konstantní vlhkost, což také do jisté míry ovlivnilo přesnost měření.

Průběh závislosti deformace - čas (obr. 16 až 20) ukazuje na to, že rychlost deformace během prvních hodin zatěžování roste mnohem rychleji, než v dalším průběhu dlouhodobé zkoušky, a to u všech druhů použitých polymerů.

Průběh závislosti kríповý modul - čas (obr. 21 až 25) ukazuje, že snížení tuhosti během prvních hodin zatěžování je přibližně poloviční a v dalším průběhu se stává téměř lineární.

Z porovnání všech druhů zkoušených materiálů vyplývá, že ABS má nejvyšší tuhost a po celou dobu zkoušky vykazoval i nejmenší deformaci. Naopak PP MOSTEN vykazoval nejnižší tuhost a velkou deformaci. Srovnáním typů PP TABORENU vyšlo, že nejvíce odolným proti dlouhodobému namáhání se jeví TABOREN REGENERÁT. Oproti TABORENŮM 53 H30 a 43 H25, které vykazují přibližně stejnou odolnost, ale nižší tuhost.

4.9 NÁVRH ÚPRAV ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Zkušební z měření na použitém zařízení jsem využila k návrhu změn v jeho uspořádání. Tyto změny nejsou zásadního charakteru a funkci zařízení v podstatě nemění.

K vytápění prostoru zkoušky bych použila temperaci pomocí proudícího vzduchu přes odporově vyhřívanou cívku. Cirkulaci vzduchu by zajišťoval motorek s vrtulkou. Regulace teploty může být zajištěna regulačním autotransformatorem.

Jednotlivá zkušební tělesa jsou umístěna poměrně blízko sebe a při použití většího závaží není možné využít celého zařízení. Proto by měla být závaží vůči sobě přesazena.

Optický měřicí systém, tak, jak byl použit není ideálním

řešením ke sledování průběhu deformace, protože vzniká vždy určitá pravděpodobnost chyb. Tyto chyby jsou způsobeny ne vždy přesným určením základny, od které se měří průhyb. Ideálním by bylo použití automatického odečítání deformace, kdy převodníky mění mechanickou změnu každého tělesa na elektrický signál. Elektrický výstup by byl spojen s automatickým zapisovačem deformace.

Přesun upínací části by měl být proveden pomocí kladkového mechanismu, který by zajistil plynulý pohyb zkušebních těles po vodících tyčích, a tím by zabránil jejich rozkmitání a následnému ovlivnění průhybu.

5. Z Á V Ě R

Úkolem diplomové práce bylo zhodnocení tuhosti plastů. Toto hodnocení bylo provedeno křípovou zkouškou v ohybu. Kříp, čili tečení za studena je jednou z vlastností, které omezují konstrukční využití plastů, a proto je věnována jeho výzkumu trvalá pozornost.

Diplomová práce obsahuje dvě hlavní části: část teoretickou a část experimentální.

Cílem teoretické části diplomové práce bylo alespoň částečně shrnout nejdůležitější poznatky o deformačním chování plastů, vystavených dlouhodobému statickému zatížení. Dále se objasňuje pojem křípu a ve spojitosti s ním i výčet zkoušek a metod, používaných v praxi pro stanovení životnosti součástí. V závěru teoretické části jsou uvedeny hlavní myšlenky experimentálních výzkumů dlouhodobých statických zkoušek v Německu, jejichž výsledky je možné použít pro další možná řešení.

Hlavním úkolem experimentální části bylo vyzkoušet měřicí zařízení zkonstruované pro měření křípu při ohybovém namáhání a vypracovat metodický postup měření. Ohybová zkouška byla provedena pro přímé zatěžování, kdy bylo bráno v úvahu nejen funkční hledisko, ale i hledisko ekonomické.

V závěru experimentální části diplomové práce je podrobně vysvětlena a uvedena metodika měření křípu ze zkoušky ohybu. Vlastní naměřené hodnoty sloužily jako podklad pro zpracování do tabulek a jejich výsledky byly vyneseny do grafů deformace - čas a modulu tečení - čas. Zkoušenými materiály byly PP TABOREN, PP MOSTEN a ABS. Z výsledků jednotlivých měření vyplývá, že nejvyšší tuhost a malé doformace vykazoval materiál ABS. Naopak nejméně tuhým se jevil PP MOSTEN, který vykazoval velké deformace.

Zkušební z měření byly využity pro návrh změn konstrukce zkušebního zařízení, čímž by se značně snížila nepřesnost měření a z ní vyplývající chyby.

Výsledky jednotlivých zkoušek dlouhodobého namáhání by měly, spolu s ostatními veličinami, charakterizujícími

mechanické chování polymerů, usnadnit navrhování a dimenzování výrobků z plastů, a tím zajistit co nejvýhodnější konstrukční řešení s ohledem na použitý materiál, funkční požadavky a potřebnou životnost výrobků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. KOLOUCH, J. : Strojní součásti z plastů, SNTL, Praha, 1981
2. KREBS, J. : Teorie a technologie zpracování plastů, VŠST, Liberec, 1991
3. RYBNÍKÁŘ, F. : Analýza a zkoušení plastických hmot, SNTL, Praha, 1965
4. HOLZMÜLLER, W., ALTENBURG, K. : Fyzika polymerů, SNTL, 1966
5. HRNČÍŘ, J. : Dlouhodobé zkoušky v tahu na tělesech z přepravečného polyetylenu, DP, VŠST, Liberec, 1981
6. HÖNINGER, H. - REICHELT, E. : Über die Wirkung teilchenförmiger Verstärkungsmaterialien in Thermoplast - Einfachverbunden auf das Verformungsverhalten bei statischer Langzeitbeanspruchung, Plaste und Kautschuk, 8, 1988, str. 322 - 328
7. HÖNINGER, H. - REICHELT, E : Bewertung des Langezeitdeformationsverhaltens von Plastwerkstoffen, Plaste und Kautschuk, 3, 1983, str. 170
8. LENFELD, P. : Vypracování návrhu metodiky měření křípu z ohybové zkoušky, Diplomová práce, VŠST, Liberec, 1989
9. ČSN 64 0607 : Ohybová zkouška, ÚNM, Praha, 1980
10. ČSN 64 0621 : Tečení plastických hmot při namáhání v tahu, ÚNM, Praha, 1982

11. PP MOSTEN 52 534 : Materiálový list
12. KOLEKTIV ÚVAP : Katalog plastů a elastomerů, Chemopetrol,
Tomos Praha, 1983
13. CIHLÁŘOVÁ A KOLEKTIV : Zpracování plastických hmot, LNH,
Vrbno pod Pradědem

SEZNAM PŘÍLOH:

- Příloha č.1,2 : Tab. č.IIIa,b - Rozměry zkušebních těles
PP TABOREN PR 53 H30
- Příloha č.3,4 : Tab. č.IVa,b - Rozměry zkušebních těles
PP TABOREN PR 43 H25
- Příloha č.5,6 : Tab. č.Va,b - Rozměry zkušebních těles
PP TABOREN REGENERÁT
- Příloha č.7,8 : Tab. č.VIa,b - Rozměry zkušebních těles
PP MOSTEN 52 534
- Příloha č.9,10 : Tab. č.VIIa,b - Rozměry zkušebních těles
ABS FORSAN 548
- Příloha č.11,12: Tab. č.VIIIa,b - Naměřené hodnoty průhybu
PP TABOREN PR 53 H30
- Příloha č.13,14: Tab. č.IXa,b - Naměřené hodnoty průhybu
PP TABOREN PR 43 H25
- Příloha č.15,16: Tab. č.Xa,b - Naměřené hodnoty průhybu
PP TABOREN REGENERÁT
- Příloha č.17,18: Tab. č.XIa,b - Naměřené hodnoty průhybu
PP MOSTEN 52 534
- Příloha č.19,20: Tab. č.XIIa,b - Naměřené hodnoty průhybu
ABS FORSAN 548

Příloha č. 1

Tab. č. IIIa Rozměry zkušebních těles - zkouška č.1
PP TABOREN PR 53 H30

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	1	2	3	4	5
b_1	9.90	9.91	9.89	9.91	9.90
b_2	9.87	9.88	9.88	9.89	9.88
b_3	9.86	9.87	9.88	9.88	9.89
b_4	9.87	9.87	9.88	9.89	9.89
b_5	9.87	9.88	9.88	9.90	9.90
b	9.874	9.884	9.882	9.894	9.893
h_1	4.00	4.00	3.98	4.02	4.00
h_2	4.00	4.01	4.02	4.01	4.02
h_3	4.01	4.01	4.01	3.99	4.00
h_4	3.97	3.97	3.98	3.98	3.98
h_5	3.96	3.98	3.97	3.97	3.98
h	3.988	3.992	3.992	3.996	3.996

Příloha č. 2

Tab. č.IIIb Rozměry zkušebních těles

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	6	7	8	9	10
b_1	9.91	9.89	9.90	9.90	9.90
b_2	9.89	9.89	9.89	9.88	9.88
b_3	9.89	9.88	9.87	9.89	9.88
b_4	9.89	9.88	9.88	9.88	9.89
b_5	9.90	9.89	9.91	9.89	9.89
b	9.896	9.890	9.891	9.889	9.890
h_1	4.01	4.01	4.00	4.01	4.01
h_2	4.01	4.03	4.01	4.02	4.03
h_3	3.99	3.99	4.00	4.00	4.01
h_4	3.98	3.99	3.98	3.99	3.98
h_5	3.98	3.99	3.99	3.98	3.99
h	3.997	4.003	3.997	4.000	4.006

Příloha č. 3

Tab. č.IVa Rozměry zkušebních těles - zkouška č.2
PP TABOREN PR 43 H25

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	1	2	3	4	5
b_1	9.95	9.90	9.91	9.90	9.89
b_2	9.91	9.89	9.88	9.88	9.88
b_3	9.88	9.88	9.88	9.88	9.88
b_4	9.89	9.88	9.88	9.87	9.88
b_5	9.90	9.91	9.91	9.91	9.90
b	9.891	9.893	9.893	9.891	9.887
h_1	4.02	4.01	4.03	4.01	4.03
h_2	4.02	4.03	4.02	4.03	4.01
h_3	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00
h_4	3.99	3.98	4.00	3.99	4.00
h_5	3.98	3.99	3.99	3.98	3.99
h	4.003	4.005	4.007	4.002	4.006

Příloha č. 4

Tab. č.IVb Rozměry zkušebních těles

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	6	7	8	9	10
b_1	9.92	9.94	9.90	9.94	9.92
b_2	9.89	9.91	9.90	9.90	9.92
b_3	9.88	9.88	9.88	9.88	9.88
b_4	9.88	9.88	9.89	9.88	9.88
b_5	9.90	9.91	9.92	9.91	9.91
b	9.895	9.905	9.898	9.903	9.902
h_1	4.02	4.03	4.01	4.01	4.02
h_2	4.03	4.03	4.04	4.03	4.03
h_3	4.00	4.01	4.02	4.01	4.00
h_4	3.99	3.99	4.00	3.99	3.99
h_5	3.98	3.98	3.99	3.99	3.98
h	4.004	4.008	4.012	4.007	4.005

Příloha č. 5

Tab. č.Va Rozměry zkušebních těles - zkouška č.3
PP TABOREN REGENERÁT

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	1	2	3	4	5
b_1	9.89	9.92	9.92	9.93	9.90
b_2	9.88	9.90	9.89	9.89	9.90
b_3	9.88	9.88	9.88	9.89	9.90
b_4	9.88	9.89	9.89	9.88	9.89
b_5	9.86	9.92	9.92	9.92	9.92
b	9.880	9.904	9.901	9.902	9.902
h_1	4.00	4.04	4.03	4.01	4.04
h_2	4.03	4.04	4.03	4.02	4.04
h_3	4.00	4.01	4.01	4.01	4.00
h_4	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00
h_5	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99
h	4.004	4.014	4.014	4.006	4.015

Příloha č. 6

Tab. č.Vb Rozměry zkušebních těles

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	6	7	8	9	10
b_1	9.90	9.91	9.94	9.90	9.91
b_2	9.90	9.89	9.91	9.93	9.89
b_3	9.89	9.90	9.89	9.89	9.89
b_4	9.89	9.89	9.90	9.89	9.88
b_5	9.92	9.92	9.91	9.91	9.92
b	9.900	9.903	9.910	9.904	9.898
h_1	4.02	4.01	4.01	4.03	4.01
h_2	4.04	4.02	4.03	4.02	4.02
h_3	4.02	4.00	4.02	4.03	4.02
h_4	4.00	3.99	4.00	4.01	4.00
h_5	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00
h	4.017	4.005	4.012	4.018	4.010

Příloha č. 7

Tab. č.VIa Rozměry zkušebních těles - zkouška č.4
PP MOSTEN 52 534

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	1	2	3	4	5
b_1	9.85	9.86	9.86	9.86	9.86
b_2	9.85	9.85	9.86	9.86	9.86
b_3	9.84	9.85	9.85	9.85	9.85
b_4	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85
b_5	9.85	9.85	9.85	9.87	9.86
b	9.848	9.853	9.854	9.858	9.857
h_1	3.99	4.00	3.98	3.98	4.00
h_2	3.98	3.98	3.99	3.97	4.01
h_3	3.97	3.99	3.97	3.97	3.99
h_4	3.96	3.94	3.99	3.98	3.96
h_5	3.96	3.95	3.97	3.98	3.98
h	3.972	3.972	3.980	3.976	3.988

Příloha č. 8

Tab. č.VIb Rozměry zkušebních těles

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	6	7	8	9	10
b_1	9.86	9.86	9.86	9.86	9.86
b_2	9.86	9.86	9.86	9.86	9.86
b_3	9.86	9.85	9.86	9.85	9.85
b_4	9.86	9.85	9.85	9.86	9.85
b_5	9.86	9.86	9.86	9.86	9.85
b	9.860	9.856	9.860	9.858	9.854
h_1	4.01	3.98	3.98	3.98	3.97
h_2	4.01	3.99	4.00	3.98	3.96
h_3	4.03	3.99	4.01	3.97	3.97
h_4	3.96	3.99	3.99	3.96	3.98
h_5	3.98	3.98	3.98	3.97	3.97
h	3.998	3.987	3.993	3.975	3.970

Příloha č. 9

Tab. č.VIIa Rozměry zkušebních těles - zkouška č.5
ABS FORSAN 548

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	1	2	3	4	5
b ₁	10.04	10.15	10.18	10.11	10.11
b ₂	9.99	10.09	10.15	10.08	10.05
b ₃	9.98	10.02	10.11	10.01	10.02
b ₄	9.95	9.98	9.98	9.97	9.98
b ₅	9.95	9.97	9.97	9.96	9.96
b	9.982	10.042	10.078	10.026	10.024
h ₁	4.07	4.09	4.11	4.09	4.09
h ₂	4.11	4.12	4.15	4.12	4.11
h ₃	4.04	4.06	4.09	4.07	4.06
h ₄	4.04	4.05	4.06	4.04	4.04
h ₅	4.01	4.03	4.04	4.02	4.02
h	4.054	4.070	4.090	4.068	4.065

Příloha č. 10

Tab. č.VIIb Rozměry zkušebních těles

ROZMĚRY ZKUŠEBNÍCH TĚLES [mm]					
č.vz.	6	7	8	9	10
b_1	10.07	10.05	10.17	10.16	10.09
b_2	10.01	10.03	10.12	10.10	10.06
b_3	9.99	10.00	10.04	10.02	10.01
b_4	9.96	9.96	9.99	9.98	9.97
b_5	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96
b	9.998	10.000	10.057	10.044	10.018
h_1	4.08	4.09	4.09	4.09	4.10
h_2	4.11	4.10	4.13	4.12	4.11
h_3	4.06	4.06	4.07	4.08	4.07
h_4	4.03	4.04	4.04	4.04	4.03
h_5	4.01	4.03	4.04	4.03	4.02
h	4.058	4.065	4.074	4.072	4.066

Příloha č. 11

Tab. č.VIIIa Naměřené hodnoty průhybu - zkouška č.1
PP TABOREN PR 53 H30

č.vz.	1	2	3	4	5
l_0 [mm]	79.3	79.5	79.3	79.3	79.4
čas[min]	průhyb [mm]				
1	2.06	1.50	1.24	1.47	2.13
5	2.12	1.68	2.01	1.70	2.34
15	2.34	1.89	2.17	1.79	2.54
30	3.20	2.64	2.30	1.94	2.69
60	3.70	3.11	2.46	2.00	2.81
360	3.85	3.40	2.64	2.37	3.07
1560	4.57	3.91	3.26	3.02	3.67
2880	5.32	5.10	4.38	4.00	4.89
5760	5.72	5.14	4.53	4.35	4.95
10080	5.91	5.23	4.66	4.40	5.19

T = 22°C
c = 53

Příloha č. 12

Tab. č.VIIIb

Naměřené hodnoty průhybu

č.vz.	6	7	8	9	10
l_0 [mm]	79.3	79.4	79.3	79.4	79.4
čas [min]	průhyb [mm]				
1	3.08	2.76	3.00	2.71	2.48
5	3.51	3.36	3.41	3.16	2.77
15	3.85	3.79	3.54	3.43	3.25
30	3.94	3.86	3.65	3.58	3.47
60	4.18	4.02	3.74	3.76	3.64
360	5.09	4.71	4.63	4.93	4.27
1560	6.01	5.64	5.55	5.72	5.26
2880	7.12	6.87	6.55	6.93	6.46
5760	7.68	7.10	7.03	7.52	7.06
10080	8.16	8.67	8.39	8.98	8.43

T = 22°C

c = 53

Příloha č. 13

Tab. č. IXa Naměřené hodnoty průhybu - zkouška č.2
PP TABOREN PR 43 H25

č.vz.	1	2	3	4	5
l_0 [mm]	79.4	79.3	79.3	79.4	79.4
čas [min]	průhyb [mm]				
1	3.17	2.72	3.21	2.87	2.71
5	3.29	2.91	3.68	3.02	2.99
15	3.40	3.11	3.72	3.06	3.05
30	3.61	3.22	3.81	3.24	3.21
60	3.74	3.29	3.93	3.60	3.44
360	4.23	3.75	4.25	3.77	3.75
1560	4.37	3.88	4.55	4.09	3.98
2880	4.78	4.32	4.81	4.18	4.17
5760	5.17	4.86	5.08	4.56	4.76
10080	5.44	5.04	5.54	4.90	5.12

T = 21°C

c = 50

Příloha č. 14

Tab. č. IXb Naměřené hodnoty průhybu

č.vz.	6	7	8	9	10
l_0 [mm]	79.6	79.3	79.4	79.3	79.3
čas [min]	průhyb [mm]				
1	4.08	4.02	3.87	3.76	3.14
5	4.55	4.50	4.31	3.91	3.60
15	4.64	4.58	4.49	4.41	3.87
30	4.85	4.71	4.72	4.53	4.23
60	5.33	5.13	4.84	4.58	4.32
360	5.88	5.69	5.39	5.43	4.76
1560	6.79	6.37	6.08	6.21	5.66
2880	6.93	6.66	6.55	6.73	6.11
5760	7.64	7.48	7.15	7.25	6.83
10080	8.30	8.08	7.70	8.01	7.56

T = 21 °C

c = 50

Příloha č. 15

Tab. č.Xa Naměřené hodnoty průhybu - zkouška č.3
PP TABOREN REGENERÁT

č.vz.	1	2	3	4	5
l_0 [mm]	79.4	79.4	79.3	79.3	79.4
čas [min]	průhyb [mm]				
1	3.80	3.51	3.55	2.95	3.27
5	3.95	3.84	3.85	3.19	3.74
15	4.09	3.86	3.86	3.31	3.75
30	4.16	3.89	3.94	3.37	3.91
60	4.25	4.01	3.97	3.42	3.98
360	4.34	4.04	4.22	3.65	4.09
1560	4.60	4.14	4.30	3.93	4.42
2880	5.09	4.64	4.85	4.32	4.89
5760	5.24	4.96	4.93	4.44	4.97
10080	5.79	5.11	5.14	4.64	5.19

T = 21 °C

c = 58

Příloha č. 16

Tab. č.Xb Naměřené hodnoty průhybu

č.vz.	6	7	8	9	10
l_0 [mm]	79.4	79.4	79.4	79.3	79.3
čas[min]	průhyb [mm]				
1	4.10	4.41	3.79	3.60	3.92
5	4.47	4.90	4.11	3.73	4.05
15	4.70	4.92	4.31	4.14	4.11
30	5.05	5.17	4.44	4.40	4.34
60	5.22	5.23	4.56	4.70	4.66
360	5.55	5.57	4.95	4.75	4.96
1560	6.23	6.61	5.80	5.75	5.84
2880	6.77	6.90	6.53	6.53	6.36
5760	7.21	7.48	6.96	7.13	7.03
10080	7.51	7.77	7.31	7.42	7.55

T = 21°C

c = 58

Příloha č. 17

Tab. č.XIa Naměřené hodnoty průhybu - zkouška č.4
PP MOSTEN 52 534

č.vz.	1	2	3	4	5
l_0 [mm]	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0
čas [min]	průhyb [mm]				
1	3.51	3.42	3.29	2.72	2.77
5	3.69	3.63	3.58	2.90	2.82
15	4.02	3.93	3.63	3.09	2.96
30	4.08	4.01	3.73	3.14	3.01
60	4.15	4.19	3.84	3.26	3.17
360	4.38	4.42	4.19	3.55	3.43
1560	4.86	4.85	4.69	4.31	3.87
2880	5.42	5.37	5.04	4.54	4.30
5760	5.90	5.55	5.39	4.93	4.72
10080	6.08	5.78	5.55	5.15	5.00

T = 22°C
c = 58

Příloha č. 18

Tab. č.XIb Naměřené hodnoty průhybu

č.vz.	6	7	8	9	10
l_0 [mm]	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0
čas [min]	průhyb [mm]				
1	5.33	4.15	4.50	4.50	4.51
5	5.90	4.67	4.71	4.94	4.94
15	5.94	4.82	4.84	5.03	5.02
30	5.97	4.96	5.10	5.17	5.16
60	6.48	5.19	5.34	5.38	5.42
360	6.95	5.63	5.77	5.71	5.96
1560	7.77	6.25	6.31	6.56	6.90
2880	8.28	7.08	7.06	7.06	7.30
5760	8.80	7.35	7.65	7.46	8.01
10080	9.39	8.15	8.43	8.23	8.97

T = 22°C

c = 58

Příloha č. 19

Tab. č.XIIa Naměřené hodnoty průhybu - zkouška č.5
ABS FORSAN 548

č.vz.	1	2	3	4	5
l_0 [mm]	79.6	79.6	79.6	79.7	79.6
čas [min]	průhyb [mm]				
1	2.36	2.28	2.25	2.17	2.10
5	2.47	2.30	2.37	2.24	2.15
15	2.60	2.39	2.48	2.30	2.25
30	2.78	2.45	2.56	2.32	2.34
60	2.88	2.57	2.65	2.37	2.36
360	2.89	2.70	2.76	2.45	2.41
1560	2.90	2.75	2.80	2.54	2.50
2880	2.92	2.77	2.89	2.62	2.57
5760	2.95	2.84	2.93	2.71	2.61
10080	2.97	2.93	2.98	2.74	2.65

T = 22 °C

c = 60

Příloha č. 20

Tab. č.XIIb Naměřené hodnoty průhybu

č.vz.	6	7	8	9	10
l_0 [mm]	79.7	79.6	79.6	79.6	79.7
čas [min]	průhyb [mm]				
1	2.76	2.80	2.70	2.84	2.50
5	2.85	2.87	2.75	2.91	2.54
15	2.89	2.91	2.85	2.99	2.62
30	2.99	2.97	2.98	3.06	2.73
60	3.10	3.09	3.04	3.10	2.84
360	3.15	3.16	3.10	3.13	2.90
1560	3.19	3.20	3.15	3.25	2.94
2880	3.21	3.28	3.27	3.27	2.99
5760	3.40	3.40	3.36	3.34	3.12
10080	3.59	3.62	3.48	3.45	3.20

T = 22°C

c = 60