

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní



Jiří Volák

**POROVNÁNÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ NAMĚŘENÝCH
NA VYSOKOTLAKÉM PLASTOMETRU**

Diplomová práce

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Obor 23 - 07 - 08

STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE

zaměření

tváření kovů a plastů

Katedra tváření a plastů

Název diplomové práce

Porovnání reologických vlastností měřených na vysokotlakém plastometru.

JŘÍ VOLÁK

KPT - 573

Vedoucí práce : Ing. Anna Šolcová, VŠST Liberec

Konzultant : Ing. Jan Vláčil, a.s. Plastimat Liberec

Rozsah práce a příloh

Počet stran55

Počet příloh

a tabulek18

Počet obrázků15

Počet výkresů 0

Počet modelů

a jiných příloh .. 0

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146075409

DATUM: 20.5.1994

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů Školní rok: 1993/94

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Jiřího V o l á k a

obor strojírenská technologie

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

Název tématu: Porovnání reologických vlastností měřených na vysokotlakém plastometru.

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou měření reologických vlastností.
2. Návrh metodiky měření reologických veličin na vysokotlakém plastometru.
3. Stanovení reologických vlastností různých druhů plastů v a.s. Plastimat.
4. Porovnání výsledků měření s hodnotami uvedenými v databance.
5. Rozbor výsledků a závěr.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1329, Liberec 1
PSČ 461 17

V 46/94 S

KPT/TP

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: cca 45 stran

Seznam odborné literatury:

/1/ ŠTĚPEK, J.-ZELINGER, J.-KUTA, A.: Technologie zpracování a vlastnosti plastů. SNTL Praha, 1989.

/2/ Odborné časopisy.

/3/ Normy ČSN.

/4/ Technické popisy přístroje.

/5/ Databanka CAMPUS

Vedoucí diplomové práce: Ing. Anna Šolcová

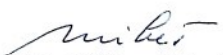
Konzultant: Doc.Ing.Josef Krebs, CSc.

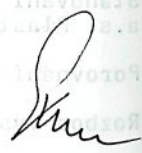
Zadání diplomové práce: 29.10.1993

Termín odevzdání diplomové práce: 27.5.1994

L.S.




Prof. Ing. Viktor Mikeš, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.
Děkan

V Liberci

dne 27.10. 19 93

A N O T A C E

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Obor : Tváření plastů

Diplomant : Jiří Volák

Téma práce : Porovnání reologických vlastností
měřených na vysokotlakém plastometru.

Číslo DP : 624169

Vedoucí DP : Ing. Anna Šolcová

Konzultant : Ing. Jan Vláščil

Stručný výťah :

V první části dipl. práce je všeobecně pojednáno o reologických vlastnostech tavenin plastů. Další kapitola se pak zabývá návrhem metodiky měření na vys. kap. viskozimetru HKV 2000 a stanovením reol. veličin, které lze na tomto zařízení měřit. V závěrečném vyhodnocení je uvedeno porovnání naměř. hodnot s údaji poskytovanými databází plastů Campus. Ve spolupráci s a.s. Plastimat Liberec bylo vybráno 5 zkušebních materiálů, které se zpracovávají technologiemi vstřikování a vytlačování. Vyhodnocení výsledků měření se provádělo porovnáním tokových křivek sestavených jednak z naměřených hodnot a jednak z hodnot odečtených v databance .

Místopřísežné prohlášení.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod
vedením vedoucího s konzultantem.

V Liberci 20.5. 1994

Jan Polak

Místopřísežné prohlášení.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího s konzultantem.

V Liberci 20.5.1994

Jiří Kolář

Prohlášení

Souhlasím, aby moje diplomová práce byla podle směrnice, uveřejněné v Pokynech a informacích VŠST 1/1975, zapůjčena nebo odprodána za účelem využití jejího obsahu.

Souhlasím, aby po pěti letech byla diplomová práce vrácena na níže uvedenou adresu, nebo v případě nedoručitelnosti skartována.

Jiří Volák
.....

podpis

Jméno a příjmení

Jiří Volák

Adresa stálého bydliště

Zrenjaninská 294

415 03 TEPLICE

OBSAH

1.	Úvod	...1
2.	Teoretická část	...2
2.1.1	Reologické vlastnosti plastů	...2
2.1.2	Hodnocení reol. vlastností - výpočet a určení reol. konstant	..13
2.2	Zdroje informací o polymerech	..16
2.2.1	Materiálová databanka Campus	..20
2.3	Zkušební zařízení	..22
2.3.1	Vysokotlaký kapilární viskozimetr	..22
2.3.2	Metodika měření na HKV 2000	..23
2.3.3	Reologické vlastnosti zjišťované měřením na vysokotlakém plastometru	..28
2.3.4	Zdroje chyb při měření	..30
3.	Experimentální část	..33
3.1	Materiály použité pro experiment	..33
3.2	Postup měření	..35
3.3	Postup výpočtu	..38
4.	Vyhodnocení měření	..42
5.	Závěr	..51
	Literatura	..54

POUŽITÉ ZKRATKY a SYMBOLY

τ	- smykové napětí
τ_0	- smykové napětí jednotkové
ϵ_a	- dynamická viskozita
ϵ_{tae}	- elongační viskozita
ϵ_{tazp}	- zdánlivá viskozita
D	- smyková rychlost
ξ	- koeficient tekutosti
n	- index toku
m	- exponent mocninového zákona
K	- index konzistence
Q	- objemová rychlost
p	- tlakový spád
p_H	- tlak v hydraulice
v	- rychlost pístu
ϵ_{xx}	- rychlost deformace
DMH	- hmotnostní distribuční křivka
VKV	- vysokotlaký kapilární viskozimetr
NKV	- nízkotlaký kapilární viskozimetr

Tímto chci poděkovat Ing. Anně Šolcové a Ing. Janu Vláčilovi za pomoc při vypracování diplomové práce, za cenné připomínky, které mi poskytli k řešení diplomové práce.

1. ÚVOD

Plasty, či jak se v technické praxi stále ještě nazývají plastické hmoty, jsou dle ČSN 64 0001 materiály, jejichž podstatou jsou makromolekulární látky, které lze tvářet, např. teplem nebo tlakem. Za makromolekulární látku se považuje taková, jejíž molekulární hmotnost je vyšší než 1000. Z chemického hlediska se jedná o organické sloučeniny.

K hlavním přednostem plastů patří jejich výborná zpracovatelnost. Zpracovávají se mnoha způsoby tváření na finální výrobky, které se mohou dále tvarovat, svařovat, lepit, obrábět atd. Z celospolečenského hlediska je důležité, že jak na vlastní výrobu plastů, tak na jejich zpracování je nutno vynaložit mnohem méně energie i práce než u kovů. Vynikající tvařitelnost plastů umožňuje konstruktérům sdružovat v jeden díl několik funkčních součástí, které by se v případě kovů musely vyrábět každá samostatně. Zvláště se také cení jejich malá měrná hmotnost, která je asi 4x až 8x menší než u oceli. Mnohé plasty předčí kovy svou odolností vůči chemikáliím, mají dobré tepelně izolační i elektroizolační vlastnosti.

Na druhé straně je ovšem nutno vidět, že existují i určité faktory limitující použitelnost plastů. Patří k nim relativně nízká teplotní odolnost, chování plastů při mechanickém namáhání vykazuje časovou závislost (creep), plasty mají větší teplotní roztažnost, rovněž je třeba znát, že cena 1 kg plastů může být až několikrát vyšší než u kovů (1).

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1.1. Reologické vlastnosti plastů.

Plasty se zpracovávají v tekutém stavu. Proto se zjišťují některé vlastnosti, které napomáhají k obohacení dříve již získaných zkušeností. Mezi mnohé patří i reologické chování tavenin plastů, t.j. zjišťování dynamické viskozity a reologických konstant. Tyto veličiny se také staly předmětem měření.

Reologie jako nauka o toku se zabývá vztahem mezi smykovým napětím a smykovou rychlostí D . Nejjednodušším vyjádřením je Newtonův zákon, který platí pro laminární tok makromolekulárních kapalin. Bývá psán ve tvaru:

$$\tau = \dot{\epsilon} \eta \quad \text{nebo} \quad \tau = \dot{\epsilon} \eta \cdot dv/dx \quad (1)$$

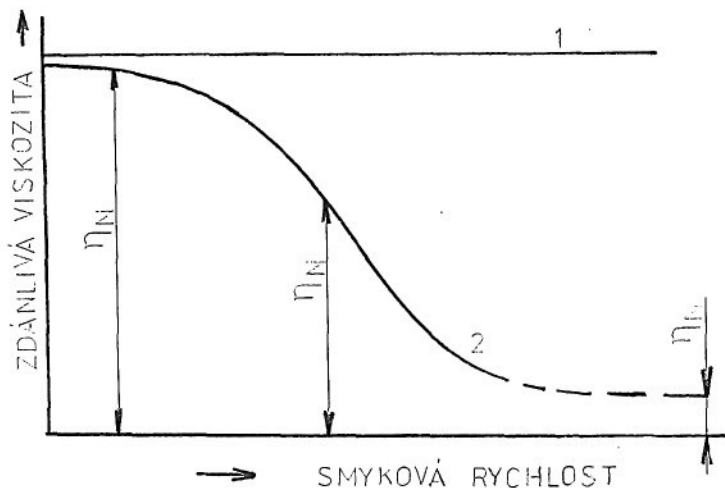
kde : τ ... smykové napětí [N.m⁻²]

$\dot{\epsilon} \eta$... dynamická viskozita [Pa.s]

D ... smyková rychlost [1/s]

dv/dx ... gradient smykové rychlosti [1/s]

U newtonských kapalin je dynamická viskozita při konstantní teplotě nezávislá na smykové rychlosti. Taveniny plastů však patří k nenewtonským kapalinám, jejich viskozita klesá se zvyšujícím se smykovým napětím a takové kapaliny nazýváme strukturně viskozní nebo také pseudoplastické. Tuto závislost je možno pro velmi široký rozsah smykových rychlostí vyjádřit graficky dle obr. č. 1. /1/



Obr.č.1 Závislost dynamické viskozity roztavených polymerů na smykové rychlosti.

Na křivce můžeme rozlišit tři oblasti. Při velmi malých smykových rychlostech, asi do $D=1/s$, viskozita na smykové rychlosti nezávisí. Je to oblast tzv. maximální newtonské viskozity $\eta_{\max}$. Při dalším zvýšení smykové rychlosti viskozita klesá se smykovou rychlostí a její hodnota je dána podílem okamžitých hodnot smykového napětí a smykové rychlosti D . Označuje se zdánlivá viskozita a je rovna :

$$\eta_{\text{zd}} = \tau / D \quad (2)$$

η_{zd} ... zdánlivá viskozita [Pa/s]

τ ... smykové napětí [N/m²]

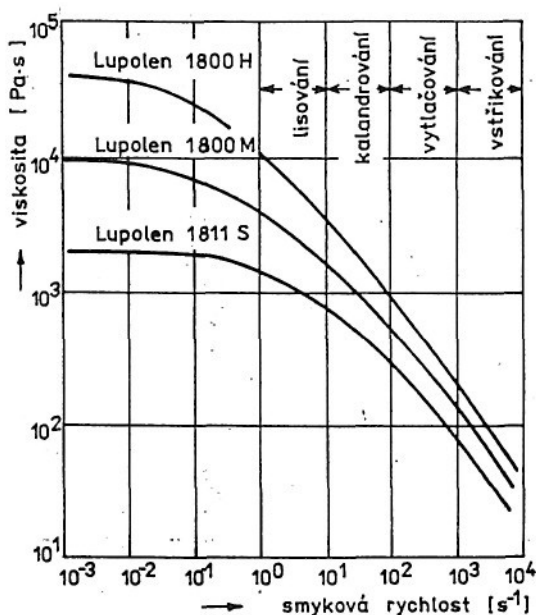
D ... smyková rychlost [1/s]

Tato oblast se nazývá přechodovou oblastí. Poloha tohoto přechodu závisí na distribuci mol. hmotností, v prvním přiblížení tím dříve, čím je váhový průměr molekulových hmotností M_w vyšší. Celkový tvar a průběh takové křivky v nenewtonské oblasti závisí jak na M_w , tak i na celkové křivce distribuce molekulových hmotností (DMH). Kvalitativně je známo, že pokles viskozity se smykovou rychlostí je větší u materiálů s širší DMH. /14/

Při extrémně vysokých smykových rychlostech by se viskozita opět stala nezávislou na smykové rychlosti. Tato hodnota se nazývá viskozita při nekonečném smyku a značí se η_{∞} .

V praxi však nelze těchto podmínek dosáhnout. Takové chování polymerních tavenin lze vysvětlit následující úvahou. V tavenině zaujímají makromolekuly tvar volně zbalených klubíček. Při velmi malých smykových rychlostech nastává při toku přemísťování klubíček jako celku, což odpovídá oblasti η_{∞} . Zvyšováním rychlosti dochází k rozvinování klubíček do směru toku. Více nebo méně rozbalené makromolekuly se pohybují snadněji, což se projevuje poklesem zdánlivé viskozity η_{zd} . V případě, že došlo k dokonalému rozbalení všech makromolekul, pohybovaly by se po sobě jako hladké nitkovité útvary a viskozita by nabyla konstantní hodnoty. Tohoto stádia však u tavenin pastů nelze v praxi dosáhnout. Jiným pokusem o vysvětlení takového chování se zabývá fenomenologická teorie, do které patří tzv. reologické modely s pamětí, jež nám umožňují zahrnout vliv předcházejících deformací na současnou hodnotu napětí. Příklad závislosti

viskozity skutečného polymeru na smykové rychlosti je uveden na příkladě polyethylénu na obr. č.2 .



Obr. č.2 Závislost tří druhů rozvětveného polyethylénu na smykové rychlosti.

Z hlediska praxe je důležité vědět, že reologické chování plastů při všech zpracovatelských postupech leží v oblasti strukturní viskozity. /15/

V oblasti středních a vyšších smykových rychlostí lze závislost smykových napětí na smykové rychlosti popsat mocni-
novým vztahem , který se udává buď ve tvaru :

$$D = \dot{\gamma} \cdot \tau^m \quad (3)$$

D... smyková rychlost [1/s]

ξ ...koeficient tekutosti-odpovídá smykové
 rychlosti při zvolené hustotě
 τ ...smykové napětí [$N.m^{-2}$]
 m ...exponent mocninového zákona-vyjadřuje
 velikost odchylky tokového chování od
 newtonského. Je větší než 1.

Druhý tvar mocninového zákona zní:

$$\tau = K.D^n \quad (4)$$

kde: K ... index konzistence - udává extrapolované
 smykové napětí při jednotkové smykové
 rychlosti.

n ... index toku - je mírou odchylky od
 newtonského chování, je menší než 1, čím
 je n nižší, tím je tavenina pseudoplastičtější.

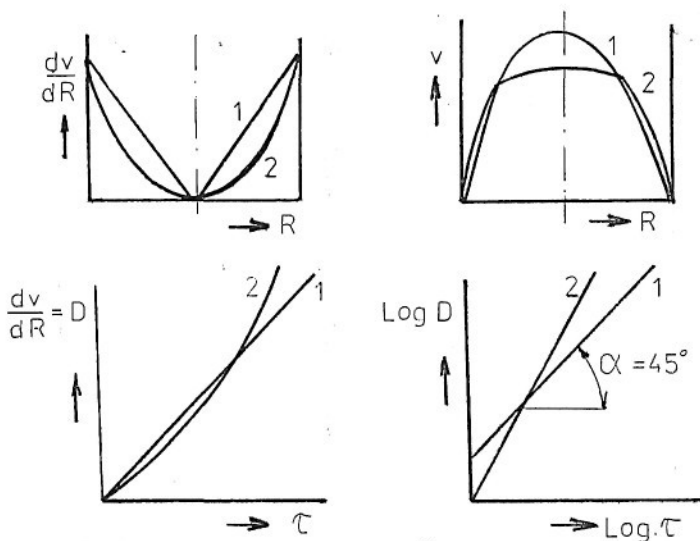
Mocninový zákon v praxi dobře vyhovuje, i když proti ně-
 mu byly vzneseny různé námitky. Jedna z nich se týká
 skutečnosti, že veličina nemá rozměr reciproké hodnoty dyna-
 mické viskozity. Reciprocita totiž platí jen u newtonských
 kapalin, kde $m = 1$. Proto byl vztah upraven na:

$$D = \xi.(\tau/\tau_0)^m \quad (5)$$

kde: τ_0 ...jednotkové smykové napětí, které má stejný
 rozměr jako τ [$N.m^{-2}$]
 ξ ...koeficient tekutosti [$1/s$]

Jiná námitka uvádí, že mocninový zákon nepopisuje reolo-
 gické chování polymerů v celém rozsahu smykových rychlostí,
 ale týká se pouze oblasti zdánlivé viskozity. K přesnějšímu
 vyjádření byla odvozena řada rovnic, zejména Eyringem a jeho
 spolupracovníky, které jsou sice z teoretického hlediska do-

konalejší, avšak jejich používání při matematických operacích přináší značné komplikace, pokud jsou vůbec použitelné, takže se v praxi neuplatňují. Rozdíly v chování newtonských a strukturně viskózních kapalin jsou znázorněny na obr. č.3.



Obr.č.3. Rozdíly v reologickém chování newtonských (1) a strukturně viskózních (2) kapalin.

Z obrázku je zřejmé, že závislost rychlosti v na poloměru kruhového kanálu R je u newtonských kapalin vyjádřena parabolou 2. řádu, u strukturně viskózních parabolou vyššího řádu. Dále je zobrazena závislost smykové rychlosti na poloměru R a smykové rychlosti na smykovém napětí. V logaritmických souřadnicích je tato závislost dána přímkou, jejíž směrnice je u newtonských kapalin rovna 1.

Taveniny polymerů vykazují vždy větší či menší kaučukovitou elasticitu. Ta se projevuje tak, že tavenina po výstupu z trysky zvětšuje své rozměry, např. u kruhové trysky se

zvětšuje průměr. Zvětšení průměru závisí na tlaku, kterým je tavenina tryskou protlačována. Roztavené termoplasty jsou tedy značně stlačitelné a elastické zvětšování rozměrů představuje určitou energii, kterou je nutno tavenině dodat prostřednictvím vytlačovacího tlaku. Celková energie potřebná k vytlačování se rozdělí na několik dějů. Použitý tlakový rozdíl p_c se při toku viskoelastické taveniny kapilárou spotřebuje jednak na vlastní viskózní tok tj. na vytvoření rychlostního profilu v kapiláře a s tím spojené překonávání viskózních odporů, které se vlivem tření později mění v teplo p , jednak na překonávání elastického odporu taveniny při jejím vtlačování do kapiláry a na její vytlačování z kapiláry p_e , což se projevuje jako kinetická energie vytékající taveniny. Tlakovou bilanci pak lze zapsat vztahem:

$$p_c = p + p_e \quad (6)$$

$$\text{po dosazení: } p_c = 2\tau \cdot L/R + p_e \quad (7)$$

Bylo zjištěno, že p_e na délce kapiláry nezávisí, p však s její délkou roste.

Teoreticky si lze poměry představit tak, jako by tryska měla větší délku než ve skutečnosti a část vynaloženého tlaku se spotřebovala na překonání odporu v této prodloužené části trysky. Pro výpočet tlakového spádu Bagley zavedl korekci k , která vlastně odpovídá podílu L/R prodloužené trysky. Vztah (7) pro p_c po zavedení Bagleyho korekce lze psát:

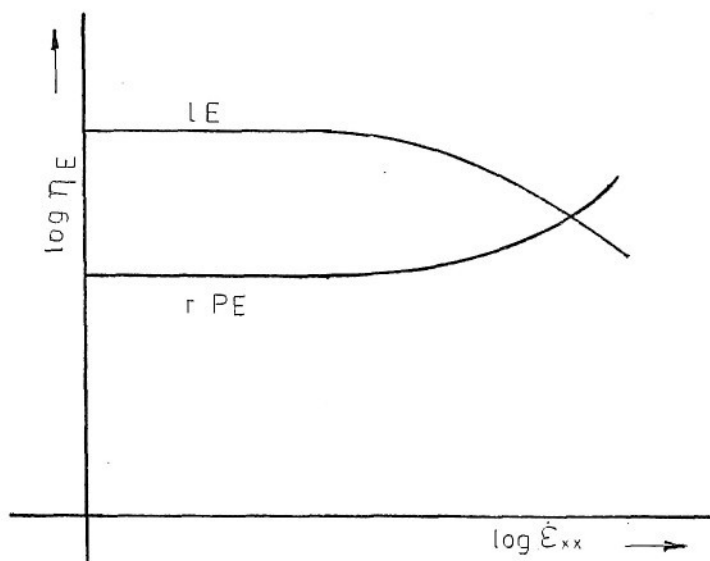
$$p_c = 2\tau \cdot (L/R + K) \quad (8)$$

Korekci K je nutno stanovit experimentálně. Je to bezroz-

měrná veličina, která má význam efektivní hodnoty L/R odpovídající tlakové ztrátě po Bagleyho korekce závisí na smykové rychlosti. Při malých rychlostech má malou a poměrně konstantní hodnotu, v oblasti strukturně viskozního chování se její hodnota zvyšuje a při velmi vysokých rychlostech se stává opět konstantou. U různých polymerů má podle smykové rychlosti hodnotu od 1 do 15. Dále závisí na teplotě taveniny a na geometrii kapiláry. Bylo zjištěno, že korekce se uplatňuje u trysek s relativně malou délkou vůči průměru (pro L/R menší než asi 30). V případě našeho měření prováděného na vysokotlakém kapilárním viskozimetru se tedy Bagleyho korekce neuplatnila, neboť bylo použito trysek s $L/R > 30$ - (50/0.5 a 40/1).

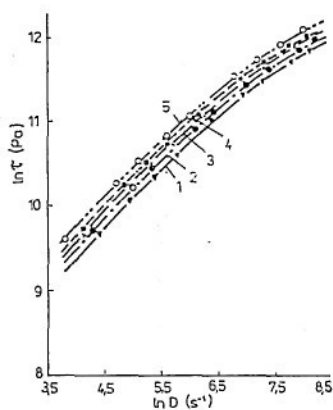
Představa o velikosti elastické deformace taveniny v kapiláře byla získána měřením dvojlomu během toku. Bylo zjištěno, že deformace se projevuje již v zásobníku nad tryskou a maximum dosahuje ve vstupu do kapiláry. Za vstupem dvojlom klesá, což ukazuje na zmenšení elastické deformace a na jistou relaxaci. Po výstupu z kapiláry tavenina narůstá, vytlačený profil má větší průměr než kapilára. Mírou narůstání je veličina $B = d/d_0$, která může nabýt hodnoty až 4 i větší. Narůstání je v podstatě způsobeno elastickým zotavením po skončení toku, uvolněním elastické deformační energie obsažené v tavenině. / 1 /

Mezi další projevy chování taveniny při toku patří tzv. elongační chování, což je reakce materiálu na deformace ve směru normál (tlaková deformace je smyková). Jako příklad může být uveden rozdílný tvar křivek, jež jsou vyjádřením závislosti elongační viskozity na rychlosti deformace.

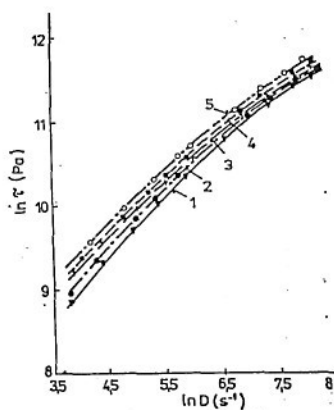


Obr.č.4 Závislost elongační viskozity na rychlosti deformace pro rPE a lPE.

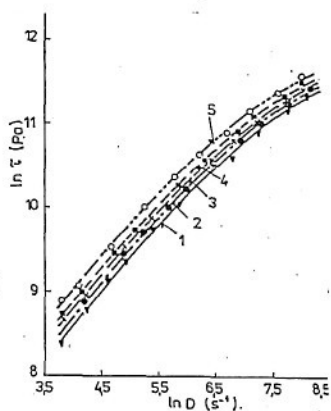
Teoreticky byla závislost vysvětlena jako důsledek zpevnování materiálu. Pro velké hodnoty $\dot{\epsilon}_{xx}$ je viskozita rPE větší a stále se zvětšuje, tzn. materiál se touto deformací jakoby zpevňuje. Při dosažení takového zpevnění, kdy již materiál není schopen se za daných podmínek deformovat, dojde k jeho přetržení. Naopak u lPE ke zpevnování nedochází, což umožňuje dosáhnout oblasti velkých rychlostí deformace, a tedy i malých tloušťek. Reologické vlastnosti tavenin plastů závisí také na různých plnivech. Jako příklad je uveden vliv plniva na tokové vlastnosti taveniny polypropylénu. /2/



obr. č.5: T 230 °C



obr. č.6: T 270 °C



obr. č.7: T 290 °C

Na obr. 5-7 jsou uvedeny tokové křivky taveniny polypropylénu s různým obsahem plniva - mikromletého vápence (1 - 0%, 2 - 10%, 3 - 20%, 4 - 30%, 5 - 40%) při různých

teplotách. Z jejich průběhu je možno konstatovat, že se stoupajícím obsahem plniva je na dosažení určité smykové rychlosti potřeba vyvinout větší smykové napětí.

Zvyšováním teploty taveniny a v důsledku toho snižováním zdánlivé viskozity se smykové napětí potřebné na dosažení určité smykové rychlosti posouvá k nižším hodnotám./3/

Při všech měřeních závislosti viskozity musí tavenina protékat kanálem definovaného geometrického tvaru. Měří se odpor proti tomuto tečení a tento odpor charakterizuje viskozitu. K tomuto účelu se většinou používají kapilární a rotační viskozimetry. V nízkotlakém kapilárním viskozimetru

(NKV) vytéká tavenina působením známého tlaku tryskou známých rozměrů a sleduje se, jaké množství vyteče za jednotku času. Z tohoto množství a z rozměrů trysky se pak určí velikost smykové rychlosti a z tlaku a rozměrů trysky smykové napětí. Princip měření na vysokotlakém kapilárním viskozimetru (VKV) spočívá ve vytlačování roztaveného polymeru přes kapiláru do volného prostoru. Během měření se sleduje tlak, působící v tavenině, a registruje se okamžitá poloha pístu, z které lze výpočtem zjistit objemovou rychlost vytékající taveniny. Stejným způsobem jako u NKV se pak určí smyková rychlost a napětí. Měřením na VKV se podrobně zabývá kapitola č.3.2

V rotačním viskozimetru se tavenina nachází mezi dvěma rotačně symetrickými stěnami, z nichž každá se otáčí jinou rychlostí. Snímá se silový moment, kterým působí tavenina na stěny, jako reakce na smykové namáhání. Z údajů o tvaru a úhlové rychlosti se určí smyková rychlost a z naměřeného silo-

vého momentu a rozměrů smykové napětí.

Obvykle se po měření v oblasti malých smykových rychlostí ($D(1)$) používají rotační viskozimetry, pro větší smykové rychlosti se používají kapilární /2/ .

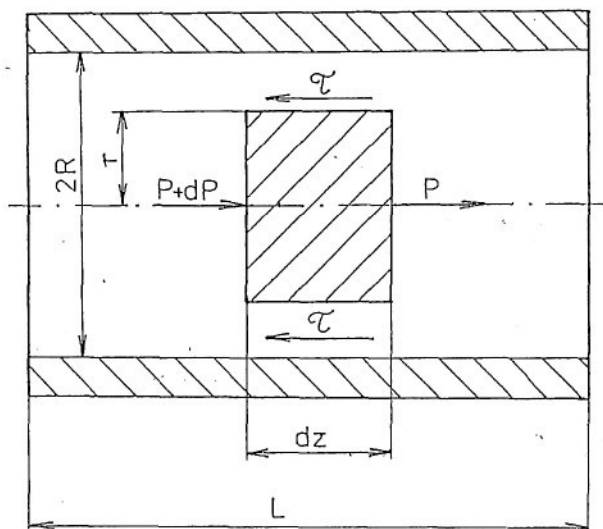
V praxi se takové vlastnosti roztavených plastů posuzují na základě tzv. indexu toku taveniny (ITT). Index toku taveniny udává množství taveniny v gramech, které proteče tryskou za deset minut při předepsaných podmínkách zkoušky. Měří se na NKV při dohodnuté teplotě taveniny, při konstantní hodnotě tlakového spádu a s použitím standartní trysky. Jedná se o technologickou zkoušku, která přísně vzato umožňuje spolehlivé srovnání jen takových polymerů, které mají shodný anebo velmi blízký exponent mocninového zákona m . ITT je cenným údajem pro technology, protože jim umožňuje volit optimální druh plastů pro danou technologii./1/

2.1.2 Hodnocení reologických vlastností - výpočet a určení reologických konstant.

Tokové chování newtonských kapalin je tedy charakterizováno jedinou reologickou konstantou, dynamickou viskozitou, která je funkcí pouze teploty. U pseudoplastických kapalin jsou však k popisu chování nutné dvě konstanty, totiž ξ a m , nebo ekvivalentní dvojice K a n . Koeficient tekutosti a index konsistence K jsou funkcí teploty taveniny plastu, indexy m a n závisí na druhu plastů a pro určitou oblast teploty je možno je považovat za konstantní./1/

Odvození rovnice vyjadřující vztah mezi působícím tlakem a množstvím vytlačené taveniny je nejjednodušší u trysky

s kruhovým průřezem. V trysce kruhového průřezu se vytkne element taveniny a pro něho se stanoví základní rovnice rovnováhy. Schéma je zřejmé z obrázku č.8.



obr. č.8: Rozložení sil působících na elementární objem taveniny v trysce kruhového průřezu.

Výsledkem matematického odvození je tzv. redukováný tvar mocninového zákona.

$$4Q / \pi \cdot R^3 = [4 \xi / (m+3)] \cdot (\Delta p \cdot R / 2L)^m \quad (9)$$

$$\text{což je možno psát : } D = (4\xi / (m+3)) \cdot \tau^m \quad (10)$$

kde : $D = 4Q / \pi \cdot R^3$ a $\tau = \Delta p \cdot R / 2L$

Qobjemová průtoková rychlost [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Rpoloměr trysky [m]

ξ koeficient tekutosti [s^{-1}]

Ptlakový spád po celé délce trysky L [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$]

Ldélka trysky [m]

Výraz $4Q/\pi.R^3$ představuje tzv. zdánlivou smykovou rychlost na stěně trysky. Zdánlivou proto, že se počítá jakoby se jednalo o newtonskou kapalinu. Pro výpočet objemové průtokové rychlosti Q použijeme vztah :

$$Q = V / t_p \quad (11)$$

kde : Vobjem taveniny určený rozměrem L [m^3]

t_p doba dráhy pístu při zvolené L [s]

$$V = D_0^2 \cdot L \cdot \pi / 4 \quad (12)$$

kde : D_0 ...pracovní průměr komory [m]

Ldélka cejchované dráhy [m]

Zlogaritmováním rovnice (9) se získá tvar :

$$\log 4Q/\pi.R^3 = \log(4\delta/m+3) + m.\log(\delta.R/2L) \quad (13)$$

Tento tvar mocninového zákona nám představuje rovnici přímky. Její směrnice je rovna hodnotě $m./15/$

Při konstrukci grafu z vypočtených hodnot τ a D se používá lineární aproximační metoda nejmenších čtverců. Měřením se získá "k" dvojic $[x_i, y_i]$ souřadnic bodů v rovině, $i = 1, 2, 3, \dots$, kterými se proloží regresní přímka. Regresní přímka je vyjádřena obecnou rovnicí:

$$y = Ax + B \quad (14)$$

kde: yzávislá veličina

xnezávislá veličina

A, Bkonstanty

$$A = (k.\Sigma x_i.y_i - \Sigma x_i.\Sigma y_i) / k.\Sigma x_i^2 - |\Sigma x_i|^2 \quad (15)$$

$$B = (\Sigma y_i - A.\Sigma x_i) / k \quad (16)$$

k ...počet naměřených hodnot

x_i, y_i ...naměřené hodnoty

Do vztahu pro obecnou rovnici přímky (14) se dosadí vztah (13). Z toho plyne, že:

$$\begin{aligned} A &= \operatorname{arctg} \alpha = m & x &= \log \tau \\ B &= \log(4\bar{\epsilon} / m+3) & y &= \log D \end{aligned}$$

Protože kromě tvaru $D = \bar{\epsilon} \cdot \tau^m$ lze mocninový zákon psát ve tvaru $\tau = K \cdot D^n$, provede se i pro tento tvar grafické a matematické vyhodnocení. Použije se stejná metodika jako v předchozím případě. Z postupu plyne, že :

$$\begin{aligned} A &= \operatorname{arctg} \alpha = n & x &= \log D \\ B &= \log K & y &= \log \tau \\ k &\dots \text{koeficient konzistence} & n &\dots \text{index toku} \end{aligned}$$

Úsek na ose y pro zvolenou hodnotu smykového napětí τ se rovná $\log(4\bar{\epsilon}/m+3)$. S pomocí stanovené hodnoty m se z něj vypočítá koeficient tekutosti $\bar{\epsilon}$. S ohledem na jednotky používané před zavedením jednotek SI je vhodné pro základ stanovení $\bar{\epsilon}$ zvolit $\tau = 0.1 \text{ MPa}$, tedy $\log \tau = -1$.

Při stanovení celé tokové křivky se měření musí provádět při konstantní teplotě taveniny polymerů a mění se pouze tlakový spád. Jestliže se zjišťují tokové vlastnosti při různých teplotách, jsou přímky získané v logaritmických souřadnicích pouze posunuty ve směru osy D , neboť jejich směrnice n zůstává konstantní./1/

2.2. Zdroje informací o polymerech - databanka CAMPUS

Jedním z úkolů této diplomové úlohy byla práce s databankou, která obsahuje velké množství informací o polymerních materiálech. V této kapitole je proto uveden stručný popis a přehled a možnosti využití těchto databází:

Jako faktografická báze dat označujeme takové počítačem čitelné informační zdroje, které poskytují přímo konkrétní hledané údaje, např. numerické, a to buď s příslušným odkazem na literaturu nebo i bez něho. Pro vědeckovýzkumné a projekční práce, v kterékoliv oblasti vývoje plastických hmot potřebujeme na jedné straně univerzální všeobecné zdroje informací jako jsou velká kompendia nebo tabulková díla, a na druhé straně specializované báze dat, týkající se pouze nebo převážně daného oboru. V současné době daleko větší podíl zaujímají fakt. banky dat specializované./4/

Specializované databanky o plastech a elastomerech obsahují všechny dostupné údaje o fyzikálních a chemických vlastnostech příslušných polymerů nebo směsí na jejich základě a někdy také ceny. Umožňují dva typy dotazů. Buď zjistit pro daný polymer všechny jeho vlastnosti uvedené v bázi, nebo na základě formulovaného dotazu vyhledat všechny polymery obsažené v bázi, které vyhovují požadavku v dotazu. Posuzování výhod a nevýhod počítačového vyhledávání faktografických informací bude pochopitelně ovlivněno dostupností této technologie, tedy technickým vybavením, které má potenciální uživatel k dispozici. Z toho vyplývá, že největší vliv na distribuci databank má dnes velmi rychlý rozvoj výpočetní techniky. Velkou roli zde hraje již dosažená určitá standardizace jako např. v kategorii osobních počítačů představuje typ IBM PC případně XT nebo AT. Za předpokladu, že tato otázka je nebo bude v dohledné době uspokojivě vyřešená, je možné uvést tyto argumenty ve prospěch počítačového uložení těchto informací:

- rychlost a pohodlnost přístupu k datům
- možnost přístupu k potenciálně velkému množství dat z jednoho místa
- možnost bezprostředního dalšího zpracování nalezených dat
- snadnost inverze dat, tj. možnost vyhledávat nejenom ve směru od sloučeniny k její vlastnosti, ale i obráceně
- možnost práce přímo se strukturami chem. sloučenin jako s grafy
- faktografická databáze může být integrální součástí měřicích systémů.

Na straně nevýhod je možno uvést univerzálně vysoké finanční náklady na jejich budování a otázky prodejnosti, tedy návratnosti investic.

Producenty materiálovýchází jsou buď velcí výrobci polymerů nebo nezávislé instituce. Firemní báze jsou určeny zákazníkům těchto firem i ostatním zájemcům pro lepší a pohotovější orientaci v obsáhlém sortimentu výrobků. Jsou proto provozovány na osobních počítačích a zájemcům jsou poskytovány zpravidla zdarma. Nevýhodou firemníchází je to, že neobsahují údaje o vlastnostech plastů konkurenčních firem a také skutečnost, že takové údaje převzaté z několika různýchází, nelze jednoduše srovnávat./3/

Faktografická banka může také být součástí rozsáhlých programových systémů typu CAD/CAM. Jako zdroj reologických informací ji využívá programový systém Moldflow. Moldflow systém představuje obsáhlé shromáždění reologických materiálových

dat uložených v paměti ústředního počítače, jakož i dispoziční schopnost příslušných operací počítače pro analýzu procesu tečení plastických tvářecích hmot ve vstřikovací formě pro optimalizaci konstruování vtoku a vtokových ústí. Před vlastním započítáním konstruování formy může být programů Moldflow systému využito k tomu, zjišťovat výpočetním způsobem teplotu a průběh tlaků ve formě ve směru dráhy tečení. Podstatnou součástí programů je vyhodnocení s ohledem na očekávané vnitřní tlaky ve formě a smykové rychlosti. Posledně jmenované mají zvláštní význam u na smyk citlivých termoplastů. Tak je možno např. vypočítat optimální průřezy rozdělovacích kanálů a vtokových ústí a uspořít tak značné náklady na změny při zajištění forem./7/

Jako v každém konstruktérském postupu se i zde vychází z definovaného zadání tj. z určení konečných vlastností navrhovaného výrobku. Na základě definice vlastností se vybere materiál výrobku. K tomu slouží např. databáze firmy BAYER nesoucí označení Campus, která je blíže popsána v kapitole 2.2.1. Zvláštní význam má zadání reologických materiálových dat. Jedním ze zdrojů reologických dat uváděných v databance je měření na vysokotlakém kapilárním viskozimetru, které bylo také součástí této diplomové práce.

Název báze	Gestor	Stát
Dacapo	AKZO	Holandsko
WIS	BASF	SRN
Plascams 220	RAPRA	Anglie
Thermofile	Thermofil	USA
Epos	ICI+LNP	SRN
	plastics	Holandsko
ISP	SVÚM	ČR
Polimer	Inforchim	Rusko
Polydata	Perstorp	SRN
Polymat	DkI	SRN
Eremis	Du Point	USA
Campus	BAYER	SRN

Tab. č. 1: Přehled nejznámějších materiálových
bází plastů a elastomerů

2. 2. 1 Materiálová databanka CAMPUS

Materiálové báze dat, jejichž přehled je uveden v tabulce č. 1, mají rozdílnou úroveň nejen podle počtu obsažených polymerů a počtu vlastností, ale také podle úplnosti, spolehlivosti a přesnosti udávaných hodnot. Podle těchto hledisek patří k nejpropracovanějším materiálová báze firmy Bayer nesoucí označení CAMPUS (Computer Aided Material Preselection by Uniform Standarts - Předběžná volba materiálů s pomocí počítačů na základě jednotných norem). Používáním Campusu dostáváte údaje o vlastnostech plastů, které jsou srovnatelné

a schopné poskytovat informace, neboť Campus splňuje tyto požadavky:

- databanka PC s jednotnou obsluhou a strukturou u různých výrobků plastů
- srovnatelnost dat pomocí zvolených jednotných znaků, jednotné výroby zkušebních těles a jednotných zkušebních podmínek
- stálá aktualizace sortimentu, doplňování zkušebních metod a přizpůsobování vývoji norem.

Campus má vzat za základ katalog základních charakteristik, který byl vypracován institucí Normenausschuss Kunststoff e DIN. Tato databanka obsahuje údaje o materiálech těchto firem: BASF, BAYER, HOECHST, HÜLS, MONSANTO. Jsou zde k dispozici jednotné údaje o výrobě zkušebních těles a tyto oblasti vlastností:

- mechanické
- tepelné
- elektrické
- zpracovatelsko - technické
- optické a ostatní
- chování vůči vnějším vlivům

Dále je zde možnost vyvolání údajů o mechanickém chování materiálů v širokém časovém a teplotním rozmezí, včetně údajů o viskozitě a o tepelném chování materiálů.

Mezi velké přednosti této databanky se řadí možnost dalších operací s daty. Patří mezi ně např. přímé porovnání hodnot určité vlastnosti několika polymerů nebo pohotové promítnutí funkční závislosti (na čase, teplotě a pod.) na ob-

razovce počítače a její přehledné vytisknutí./10/

Tato databáze je v současné době k dispozici v a.s. PLASTIMAT Liberec a na VŠST v Liberci. Vybraných reologických údajů z databanky Campus bylo využito v této dipl. práci pro porovnání hodnot naměřených na VKV.

2.3. Zkušební zařízení

2.3.1 Vysokotlaký kapilární viskozimetr HKV 2 000

Jedná se o vysokotlaký viskozimetr pro reologické zkoumání tavenin polymerů za vyšších smykových rychlostí a napětí. Výrobce je firma GÖTTFERT Feinwert- Technik GmbH Buchen - Odenwald, SRN.

Technické údaje :

rozsah pracovního tlaku v tavenině: 5 - 200 MPa

rozsah pracovního tlaku v h. kapalině: 0.1 - 3.5 MPa

rozsah pracovních teplot: 100 - 400°C

způsob regulace teploty: 2 topná odporová tělesa,
2 regulátory - ETR 15s výrobce
Rohlf

přesnost regulace teploty: ± 0.5 °C

přesnost regulace v hydraulice: manometr

průměr výtlačného válce: 9.5 mm

délka výtlačného válce: 150 mm

maximální rychlost posuvu pístu: 20 mm/s (naprázdno)

rozměry trysek (L/D):

A	8 : 2.1
B	5 : 1
C	10 : 1
D	20 : 1

E 30 : 1

F 40 : 1

G 50 : 0.5

H 20 : 0 (slepá)

kontrola teploty - dvě odporová čidla Pt 100 (horní
a dolní pásmo), 3 rozsahy: 100 - 200 °C

200 - 300 °C

300 - 400 °C

max. teor. smyková rychlost : $4 \cdot 10^5$ 1/s

max. teor. smykové napětí : 13 MPa

rychlost posuvu registračního papíru : 0.1-10mm/s

šíře zápisu : 120 mm

Rychlost posuvu pístu lze nastavit konstantní regulátorem množství protékajícího oleje. Koeficient pro přepočet měrného tlaku v hydraulice na měrný tlak v tavenině je 70.46.

Přístroj je vybaven konektorem pro připojení zapisovače tlaku v tavenině. Dále je přístroj vybaven odporovým vysílačem (ZPA1 x 100 Ω) pro sledování dráhy pístu a manometrem s odporovým vysílačem (ZPA - Stará Turá, rozsah 0-6 MPa, výstup 0-100 Ω). Tyto úpravy umožňují sledování měřených veličin na obrazovce osciloskopu OPD 230 Tesla a případně jejich fotografování./6/

2.3.2 Metodika měření na HKV 2000

Princip měření spočívá ve vytlačování roztaveného polymeru přes kapiláru do volného prostoru. Během měření se registruje skutečná poloha pístu, z které lze výpočtem zjistit objemovou rychlost vytékající taveniny. Teplota taveniny je zvolena dle typu polymeru, tlak působící na taveninu se během

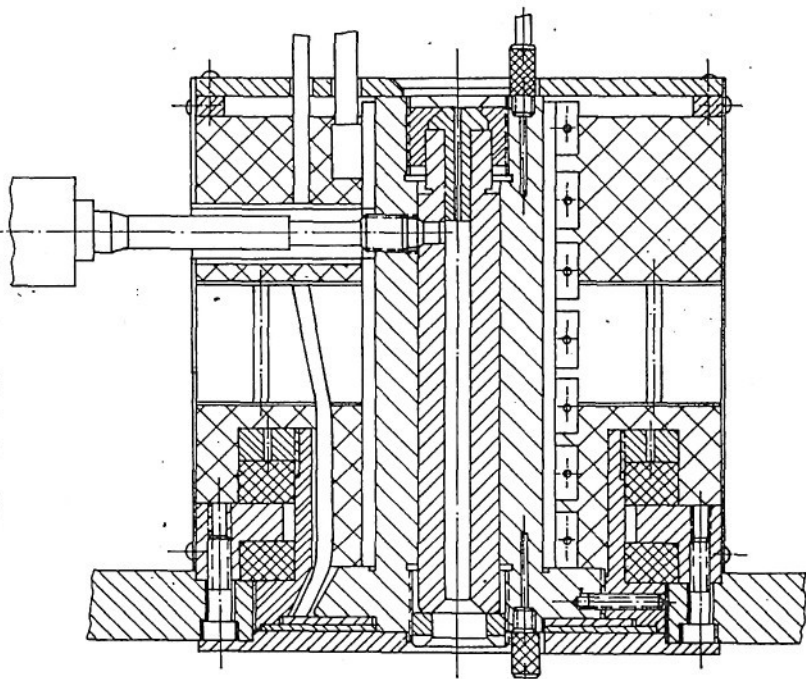
měření několikrát změnit. Geometrické rozměry trysky závisí na tekutosti polymerů a jsou voleny s ohledem na průměrnou tekutost polymeru.

Touto metodou lze vyhodnocovat běžné konvenční termoplasty, určené ke zpracování technologií vstřikování, vytlačování, vyfukování, a podobně.

Podstatou VKV je válec, ve kterém se temperuje měřený materiál. Průměr válce by měl být co nejmenší, aby bylo možno materiál rychle dokonale prohřát. Tlak, který vzniká v tavenině se vyvíjí působením pístu. Tlak v tavenině musí být dostatečně velký (100-200) MPa, aby se v materiálu vytvořilo dostatečně velké smykové napětí. Zařízení musí být vybaveno vyměnitelnými tryskami o různých geometrických rozměrech. Dále je nezbytné přesné odečítání a dokonalá regulce nastavené teploty s přesností ± 0.5 °C. Též je nutný zápis vytlačeného množství taveniny za časovou jednotku a možnost měření tlaku působícího na taveninu.

Plastometr HKV 2000, na kterém bylo prováděno měření je laboratorní přístroj, který umožňuje provádět měření tokových křivek až do tlaku 200 MPa a podle použité trysky a podle viskozity měřeného materiálu až do smykové rychlosti 4×10^{-1} /s a smykového napětí 1 MPa.

A : Zkušební komora :



obr. č.9

Dotažení matic se musí provádět pouze po dosažení žádané zkušební teploty. Stejně tak po zakončení zkoušky musí být matice opět uvolněny před vychladnutím zkušebního válce.

Při použití delších trysek (40/1, 50/0.5) lze tyto vytlačit ze zkušebního válce pomocí speciální matice. Vytlačení matice se má provádět rovněž v teplém stavu. Normální matice se nahradí speciální maticí a zkušebním lisovníkem za tlaku asi 0.2-0.3 MPa lze trysku vytlačit.

Čištění zkušebního válce po provedení zkoušky lze provést pomocí dodaného nářadí. Je účelné provést hrubé čištění

již v teplém stavu.

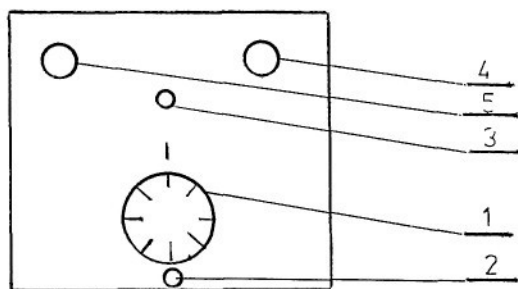
V bezprostřední blízkosti trysky jsou umístěná teplotní čidla. Tato čidla se mají pevně ručně dotáhnout.

B : Zkušební lisovník : je na hydraulickém plunžru upevněn pohyblivě. Přenos síly z hydraulického plunžru na zkušební lisovník probíhá přes čelní stranu zkušební lisovnicku.

Zavedení zkušební lisovnicku do zkušební válce lze provést ve studeném stavu jen tehdy, jestliže jsou jak válec, tak i lisovník zcela čisté.

C: Hydraulika : pohyb zkušební lisovnicku se provádí pomocí ruční posuvné páčky, umístěné ve spodní části přístroje. Pohyb doprava vyvolá posuv lisovnicku nahoru a doleva způsobí pohyb dolů. V hydraulice je použito oleje o viskozitě 3-3.5°E při 50°C. Stav se kontroluje měrkou. Po 2000-3000 provozních hodinách se musí olej vyměnit.

D : Regulátor teploty :



obr.c.10

Nastavení jmenovité hodnoty elektronického regulátoru teploty se provádí otočným knoflíkem (1) viz obr., tzn. žádaná teplota se kryje se značkou . Aretace (2) umožňuje zajištění nastavení jmenovité hodnoty, aby se zamezilo mimovolnému přestavení. Pomocí knoflíku Xp(3) lze nastavit regulační amp-

litudu topení. Signální žárovka (4) ukazuje, zda je zapnuto topení. Signální žárovka (5) ukazuje, že do regulátoru přichází proud.

E : Vytápění a indikace teploty

Zkušební komora je vybavena dvěma regulovanými topnými okruhy. Páčkovým spínačem se teplota přepne na indikátor, který má měřidlo s otočnou cívku. Přepínač nahoru znamená - horní topný okruh.

Přepínač dolů znamená - dolní topný okruh.

Zapnutí indikátoru teploty se má provádět teprve nad 100°C, aby se zamezilo jeho poškození. Přístroj má tři měřicí rozsahy. Volba měřicího rozsahu se provádí přepínačem.

Poloha přepínače 1 : měřicí rozsah 100 - 200 °C

Poloha přepínače 2 : měřicí rozsah 200 - 300 °C

Poloha přepínače 3 : měřicí rozsah 300 - 400 °C

F : Registrační přístroj

Tento přístroj slouží k časově závislé registraci výtokového množství. Rychlost posuvu papíru lze měnit přepínací páčkou. Příslušná rychlost v mm/s je uvedena na stupnici. Registrační přístroj je zapínán a vypínán posuvnou páčkou hydrauliky pro pohyb pístu. Navíc lze provést zapnutí přístroje také pomocí příslušného tlačítka na ovládací skříni. Je nutno dbát na to, že pro každou použitou trysku se má provádět nastavení délky záznamového raménka pomocí šroubu s rýhovanou hlavou při prázdném zkušebním válci. Přitom při zasunutém zkušebním lisovníku se má písátko dotýkat dolní linie diagramu. Po naplnění zkušebního válce a po skončení doby k nastavení se uvolní záznamové raménko z aretace a písátko se nasa-

dí na registrační papír.

Nastavení tlaku v hydraulice - se provádí škrcením regulačního ventilu, který je umístěn ve střední části přístroje. Nastavený tlak se sleduje na jednom ze dvou manometrů, přičemž v levé části je umístěn manometr s jemným dělením a na hydraulickém válci je manometr s hrubším dělením. Ve spodní části přístroje se nachází ovladač rychlosti posuvu pístu. Otáčením ve směru šipky je možno nastavit max. rychlost 2 cm/s. /12/

2.3.3. Reologické vlastnosti zjišťované měřením na vysokotlakém plastometru

Metoda stanovení reologických vlastností na vysokotlakém plastometru byla vypracována pro účely hlubšího zkoumání materiálů za podmínek podobných poměrům při zpracování. Při měření je v materiálu vytvořeno dostatečně velké smykové napětí i smyková rychlost, při které se již výrazně uplatňuje nenewtonský charakter polymeru. Výsledky měření poskytují pro zpracovatelskou praxi vhodnější informace, než které může dát nízkotlaký plastometr. Měřením na vysokotlakém plastometru můžeme získat tyto výsledné hodnoty, které jsou nutné k popisu chování pseudoplastických kapalin :

1. Smyková rychlost D [s^{-1}]
2. Smykové napětí τ [$N.m^{-2}$]
3. Zdánlivá viskozita [$Pa.s$]
4. Mocninový koeficient n
5. Koeficient tekutosti $\dot{\gamma}$ [$Pa. 1/s$]

Případně: Koeficient konzistence K a index toku n

Význam jednotlivých hodnot byl popsán v kapitole 2.1.2.



2.3.4. Zdroje chyb při měření

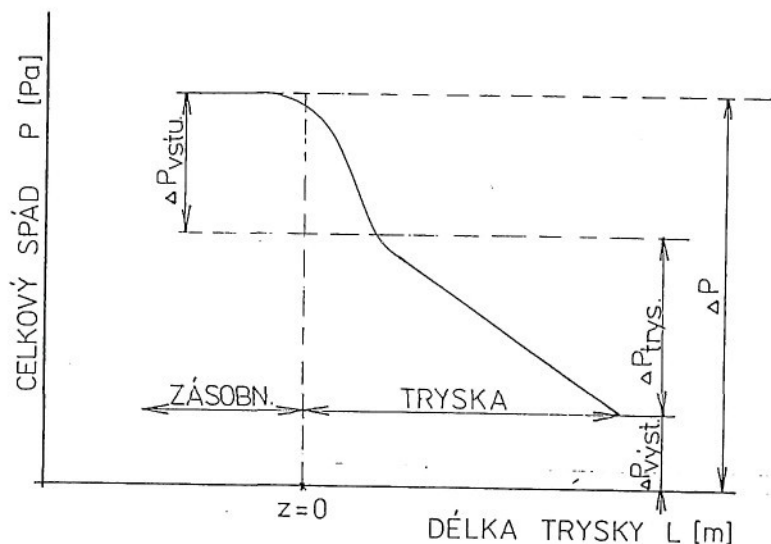
Kapilární reometrie je vhodná především pro střední a vysoké smykové rychlosti.

Průběh tlakového spádu, počínaje zásobníkem na vytlačovaný materiál, tryskou a výstupem z ní ilustruje obr. č.11. Je vidět, že celkový spád "p" mezi nejvyšším tlakem v zásobníku a atmosférou je složen ze tří částí:

$$P = P_{\text{vstup.}} + P_{\text{trysky}} + P_{\text{výst.}} \quad (17)$$

$P_{\text{vstup.}}$ je tlaková ztráta v zásobníku a na vstupu do trysky,

$P_{\text{kap.}}$ je ztráta v rozvinutém toku tryskou a $P_{\text{výst.}}$ je nenulový tlak v místě výstupu taveniny z trysky.



obr. č.11 Průběh tlakového spádu v zásobníku i trysce
při vytlačování taveniny polymeru

Vchází-li tavenina do trysky z relativně velkého zásobníku, rychlostní profil se rozvíjí a mění se až do určité vzdálenosti, ve které ho můžeme označit za rozvinutý. Veli-

kost vstupní délky je závislá na rychlosti kapaliny, rozměrech zásobníku i trysky a na viskoelastických vlastnostech vytlačovaného materiálu. Experimenty s vizualizací toku v této oblasti ukazují velké cirkulační toky nebo víry v rozích zásobníku u vstupu do kapiláry u některých polymerů (r-PE, PS), zatímco jiné (lPE, izotaktický PP) tyto víry nejeví. Velikost vírů roste s rychlostí toku, až se zcela poruší tokové obrazce a vzniká spirálový, až nepravidelně pulsující pohyb v blízkosti vstupu do trysky, provázený tzv. lomem taveniny.

Bylo prokázáno, že P_{vstup} je určena převážně ztrátami, způsobenými elastickou deformací taveniny.

Další komplikace mohou nastat v oblasti rozvinutého toku, kdy je nenulová rychlost na stěně kapiláry - skluz. Lze se s ním setkat právě poměrně často u tavenin polymerů (vysokomolekulární PVC a lPE, vysoce plněné polymery). Rozvoj skluzu nastává obvykle postupně, anebo skokem při napětích větších než určité kritické, což lze někdy pozorovat na zlomu, nebo ohybu tokové křivky.

Zdroje chyb mohou souviset i s poruchami toku. Je známo, že existuje určitá kritická hodnota smykového napětí, při které povrch vytlačené taveniny se stává hrubý, zkroucený, až hrubě nepravidelný. To pochopitelně dává omezení produkční rychlosti.

Typy poruch toku jsou poměrně rozmanité, neexistuje pravděpodobně jednotný mechanismus jejich vzniku.

Hrubá toková porucha - lom taveniny, závisí na geometrických faktorech trysky. Je tím výraznější, čím je tryska

kratší a čím je menší vstupní úhel ze zásobníku do trysky. Vznik lomu taveniny je obvykle spojen se zborcením tokového pole na vstupu do trysky, vznikem pulzace rychlosti a tlaku na vstupu i podél kapiláry. V řadě, zvláště u lineárních polymerů je pozorováno tzv. oscilační proudění, při kterém dochází střídavě ke skluzu a ulpívání taveniny na stěně kapiláry /stick - slip flow/, což se projevuje charakteristickým vzhledem vytlačené struny, s úseky výrazně článkovými a úseky bez poruchy. Na tokové křivce je v této oblasti pozorovatelný zlom.

Uvedené jevy jsou závislé na elasticitě taveniny. Tomu nasvědčuje i závislost na molekulárních parametrech taveniny, zvláště posun kritického smykového napětí k nižším hodnotám při růstu mol. hmotnosti a šířky DMH./2/

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Materiály použité pro experiment

Při srovnávání tokových vlastností různých termoplastů se hodnotí materiály stejného typu polymeru t.j. polystyreny mezi sebou, kopolymery ABS vzájemně, nízkotlaké polyetyleny navzájem, podobně polypropyleny a další skupiny. Pro tento experiment bylo vybráno 5 materiálů, které se zpracovávají technologií vstřikování v a.s.Plastimat Liberec.Jedná se vesměs o zahraniční materiály, jejich vlastnosti jsou uvedené v databance Campus.

Přehled měřených materiálů

FIREMNÍ OZNAČENÍ	DRUH	VÝROBCE
TERLURAN 967 K	ABS	BASF
NOVOLEN 2300 KX	PP	BASF
NOVOLEN 1181	PP	BASF
LUSTRAN 440	ABS	MONSANTO
POLYSTYROL 2711	SB(hPS)	BASF

VYTÝPOVANÉ VLASTNOSTI	ZNAČKA JEDNOTKA	NOVOLEN 1186	NOVOLEN 2300	TERLURAN 967	POLYSTYROL 2711	LUSTRAN U40 AS
HUSTOTA TAVENINY	— g . m ⁻³	0,767	0,768	0,892	0,892	900
TEP. VODIV. TAVENINY	λ W. (m.K) ⁻¹	0.118	0.118	0.14	0.14	0.15
MĚRNÉ TEP. TAVENINY	q J. (Kg.K) ⁻¹	2930	2930	2100	1970	2100
TEPLOTA ZTRÁTY TOKU	— °C	180	180	130	130	130
TEPLOTA ZAMRZNUTÍ	— °C	138	138	99	78	107
TEPLOTA TVAR. STÁL. 10 N	VICAT A/10 °C	151	152	107	88	107
TEPLOTA TVAR. STÁL. 50 N	VICAT B/50 °C	90	73	99	79	98

TAB. Č. 2 HODNOTY VYTÝPOVANÝCH MATERIÁLOVÝCH
VLASTNOSTÍ Z DATABANKY CAMPUS

NOVOLEN 1181 RCX : Vhodný pro vstřikování tenkostěnných součástí (kryty spotřebičů v domácnosti), dobrá tekutost, velmi dobré antistatické vlastnosti.

POLYSTYROL 2711 : Vyznačuje se dobrou tekutostí, obzvláště odolnost proti vzniku napěťových trhlin.

TERLURAN 967K : Dobrá tekutost, standardní druh pro součásti s vysokou hodnotou rázové houževnatosti, vysoká teplotní stálost v širokém okruhu upotřebení, především v oblasti domácího sektoru.

NOVOLEN 2300 : Pro vstřikování součástí s dobrou rázovou houževnatostí za studena, možnost přípravy zvláštních typů.

LUSTRAN : Vysoká hodnota rázové houževnatosti, dobrá kombinace

3.2 POSTUP MĚŘENÍ

1. Příprava přístroje k měření :

Viskozimetr vytemperujeme na zvolenou teplotu zapnutím odporového topení a nastavením příslušné teploty na regulátoru. Teplotu obou pásem sledujeme na zabudovaném teploměru. Za tepla našroubujeme do přístroje zvolenou trysku a zkontrolujeme dotažení tlakového čidla.

2. Vložení materiálu do válce :

Jakmile je válec vytemperován na zvolenou teplotu, vyčistíme jej od zbytků materiálu z minulého měření. Válec naplníme měřeným materiálem a ihned pístem vytlačujeme přes trysku do volného prostoru. Tuto operaci provedeme 3-5x. Poté se tavící komora naplní znovu měřeným materiálem tak, aby se píst mohl zasunout asi 40mm do komory. Tím docílíme ohřev

pístu a snížíme odvod tepla z komory při vytlačování na minimum. V tomto stavu necháme materiál temperovat 15 min..

3. Příprava registračního zařízení :

Během temperace se připraví registrace pohybu pístu. Písátka se položí na počátek registračního papíru, přepínačem se zvolí rychlost posuvu registračního papíru a zapne se tlačítko "zapisovač" na polohu "zapnuto. Regulační ventil pro rychlost pístu se nastaví na polohu 10 (t.j. maximum -20mm/s).

4. Zahájení měření :

Po uplynutí 15 min. temperace se zahájí vlastní měření. Chod pístu se spustí dolů a škrticím ventilem se nastaví tlak v hydraulice na první hodnotu. Jakmile se na registračním papíře vytvoří úsečka dlouhá 60-80 mm, zvýší se tlak na další stupeň. Takto se zkouší postupně při všech tlakových stupních.

Podmínky měření pro jednotlivé materiály

materiál podmínky	NOVOLEN 1181 NOVOLEN 2300	TERLURAN LUSTRAN	POLYSTYROL
TEPLOTA °C	240 °C	240 °C	230 °C
TRYSKA L/D (mm/mm)	50/0.5	40/1	50/0.5
HYDRAULICKÝ TLAK Ph (MPa)	0.4, 0.6, 0.9 1, 1.2, 1.5	0.2, 0.6, 0.8 1, 1.2, 1.5	0.3, 0.6, 0.9 1.2, 1.5, 2

tab. č.2

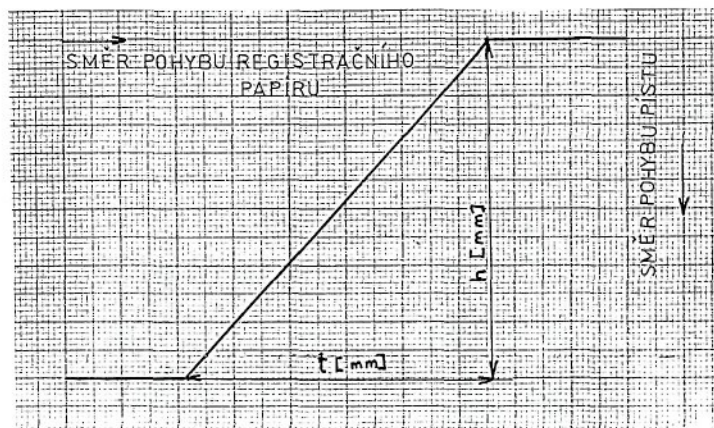
5. Praktické připomínky a doporučení k měření

Při zkoušení méně tekutých materiálů doporučujeme vynechat nejmenší hodnotu hydraulického tlaku, pokud průtok je příliš malý, u velmi tekutých termoplastů často nelze nastavit nejvyšší hodnotu hydraulického tlaku (odpovídající rychlost pístu je mimo rozsah přístroje). Při měření za vyšších tlaků P_h (1-2 MPa) vznikají při přechodu na vyšší stupeň obtíže s jeho přesným nastavením. Pro zpřesnění měření doporučujeme pro každou hodnotu těchto tlaků použít nové náplně komory. Měření doporučujeme provádět alespoň při 5 hodnotách tlaku pro každý materiál.

Při plnění tavicí komory náplní (nejčastěji ve formě granulátu) dochází při styku materiálu se vstupním otvorem zkušebního válce k jeho rychlému natavení. To způsobuje, že se vstup do válce ucpává a komplikuje se tak plnění. Doporučujeme proto vyrobit speciální nástavec z materiálu s nízkou teplotní vodivostí. Jeho použitím zabráníme zanášení otvoru a výrazně tak zkrátíme dobu plnění.

Při sledování průtoku taveniny tryskou doporučujeme zaznamenávat podmínky (tlak, teplota, tryska), při kterých se na vytlačované straně objeví nepravidelnost (zdrsnění povrchu, vlnění výtlačku, deformace povrchu).

3.3 Postup výpočtu:



obr.č. 12: Ukázka vyhodnocení grafického záznamu

1. Z grafu odečteme rychlost pístu "V" :

$$v = v_1 \cdot h / t_1 \quad (18)$$

v ... rychlost pístu [mm /s]

h ... úsek na grafu (obr.12) rovný
dráze pístu za čas měření [mm]

t_1 ... úsek na grafu, (obr.12) úměrný
času měření [mm]

v_1 ... rychlost posuvu registračního
papíru [mm/s]

Hodnoty "h" a "t" se odečítají pro přímkový úsek grafu, kdy
tok tryskou je ustálený.

2. Objemová rychlost "Q" se určí ze vztahu :

$$Q = v \cdot \pi \cdot r^2 \quad (19)$$

Q ...[mm³ /s]

v ...rychlost pístu [mm/s]

r^2 ...poloměr pístu [mm]

3. Stanovíme smykovou rychlost "D" :

$$D = 4.Q / \pi.R^3 \quad (20)$$

D...[1/s]

R...poloměr trysky [mm]

Q...objemová rychlost [mm³/s]

4. Tlak pístu na taveninu "p" :

$$p = Z.P_h \quad (21)$$

p...[MPa]

P_h...tlak v hydraulice [MPa]

z...převodní poměr pístu

stroje (=70.46)

5. Určení smykového napětí "τ" :

$$\tau = p.R / 2L \quad (22)$$

τ...[MPa]

p...tlak pístu na taveninu [MPa]

R...poloměr trysky [mm]

L...délka trysky [mm]

6. Vypočítáme hodnotu zdánlivé viskozity "étaz_D"

$$\text{étaz}_D = \tau / D \quad (23)$$

τ...smykové napětí [MPa]

D...smyková rychlost [MPa]

étaz_D...[MPa/s]

Hodnoty τ a D se musí přepočítat z "MPa" na "Pa".

7. Hodnoty indexu mocninového "m" a koeficientu tekutosti "ξ"
případně indexu toku "n" a koeficientu konzistence "K"
stanovíme podle postupu v kapitole 2.1.2.

8. Tokové křivky se sestojí v souřadném systému

$\log \tau = f(\log D)$ a $\text{étaz}_D = f(D)$.

Pro zjednodušení a urychlení práce s naměřenými hodnotami je na KTP k dispozici výpočtový program. Byl sestaven na základě vztahů uvedených v kapitole 2.1.2 a 3.3. Popis způsobu zadání naměřených hodnot je následující :

DOTAZY, KTERÉ SE OBJEVÍ NA PŘÍKLA ZADÁNÍ
MONITORU PO VYVOLÁNÍ ZADÁNÍ

MATERIÁL	NOVOLEN
SÉRIE	1
TEPLOTA MĚŘENÍ [°C]	240
DÉLKA TRYSKY [m]	0.05
POLOMĚR TRYSKY [m]	0.00025
p_h [MPa]	1
h [mm]	29
t [s]	7

Hodnota dráhy pístu "h" se odečte z grafu viz. obr.12. Doba pohybu pístu se spočítá : $t = v_1/t_1$

v_1 - rychlost posuvu reg. papíru

t_1 - úsek na grafu viz. obr.12

Program začne vyhodnocovat uvedená data, až po zadání minimálně 4 hodnot hydraulického tlaku p_h a jemu odpovídajících hodnot h a t . Potom se zadají nulové hodnoty p_h , h , t a program se rozeběhne. Výsledkem je zobrazení přehledné tabulky na monitoru, již lze jednoduchým způsobem vytisknout. Příklad této tabulky je na str.41, tab. č. 3.

Material: POLYSTYROL 2711 Serie: 1 Teplota: 230[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1498.2	0.00010	7.333	597.5	2.776	0.0528	-1.2770	88.4328
2996.3	0.00045	31.671	2380.8	3.412	0.1057	-0.9760	40.9492
4494.5	0.00134	95.066	7746.6	3.889	0.1585	-0.7999	20.4631
5992.7	0.00320	226.823	18483.2	4.267	0.2114	-0.6750	11.4353
7490.9	0.00656	464.672	37864.9	4.578	0.2642	-0.5781	6.9775
9987.8	0.01182	837.699	68261.8	4.834	0.3523	-0.4531	5.1605

FI(0)=1387213.7336 [1/s]

FI(-1)=3729.243932 [1/s]

m = 2.570523

K = 0.004735065 [MPa]

n = 0.386797525

Material: POLYSTYROL 2711 Serie: 2 Teplota: 230[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1498.2	0.00012	8.339	679.5	2.832	0.0528	-1.2770	77.7599
2996.3	0.00040	28.625	2332.6	3.368	0.1057	-0.9760	45.3055
4494.5	0.00125	88.797	7235.9	3.859	0.1585	-0.7999	21.9076
5992.7	0.00320	228.398	18611.6	4.270	0.2114	-0.6750	11.3564
7490.9	0.00600	425.293	34656.0	4.540	0.2642	-0.5781	7.6235
9987.8	0.01200	850.586	69312.0	4.841	0.3523	-0.4531	5.0823

FI(0)=1219878.3264 [1/s]

FI(-1)=3723.561815 [1/s]

m = 2.515358

K = 0.004516436 [MPa]

n = 0.392751308

Material: POLYSTYROL 2711 Serie: 3 Teplota: 230[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1498.2	0.00012	8.179	666.5	2.824	0.0528	-1.2770	79.2846
2996.3	0.00045	31.671	2580.8	3.412	0.1057	-0.9760	40.9492
4494.5	0.00131	92.791	7561.3	3.879	0.1585	-0.7999	20.9647
5992.7	0.00341	241.833	19706.4	4.295	0.2114	-0.6750	10.7255
7490.9	0.00625	443.014	36100.0	4.558	0.2642	-0.5781	7.3186
9987.8	0.01200	850.586	69312.0	4.841	0.3523	-0.4531	5.0823

FI(0)=1261625.3041 [1/s]

FI(-1)=3858.111381 [1/s]

m = 2.521386

K = 0.004426466 [MPa]

n = 0.393351313

Material: POLYSTYROL 2711 Serie: 4 Teplota: 230[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1498.2	0.00013	8.860	722.0	2.859	0.0528	-1.2770	73.1858
2996.3	0.00044	31.503	2567.1	3.409	0.1057	-0.9760	41.1670
4494.5	0.00127	90.214	7351.3	3.866	0.1585	-0.7999	21.5637
5992.7	0.00304	215.728	17579.1	4.245	0.2114	-0.6750	12.0234
7490.9	0.00667	472.548	38506.7	4.586	0.2642	-0.5781	6.8612
9987.8	0.01050	744.263	60648.0	4.783	0.3523	-0.4531	5.8084

FI(0)=1064879.2424 [1/s]

FI(-1)=3861.914161 [1/s]

m = 2.440498

K = 0.004029271 [MPa]

n = 0.404650440

Material: POLYSTYROL 2711 Serie: 5 Teplota: 230[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1498.2	0.00011	7.733	630.1	2.799	0.0528	-1.2770	83.8587
2996.3	0.00041	29.187	2378.4	3.376	0.1057	-0.9760	44.4342
4494.5	0.00127	89.784	7316.3	3.864	0.1585	-0.7999	21.6668
5992.7	0.00130	91.884	7487.4	3.874	0.2114	-0.6750	28.2288
7490.9	0.00583	413.479	33693.3	4.528	0.2642	-0.5781	7.8413
9987.8	0.01200	850.586	69312.0	4.841	0.3523	-0.4531	5.0823

FI(0)=883239.7922 [1/s]

FI(-1)=3234.732177 [1/s]

m = 2.436240

K = 0.004898861 [MPa]

n = 0.390861758

4. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Jedním z úkolů této diplomové práce bylo porovnání tokových křivek zjištěných měřením na HKV 2000 s tokovými křivkami uvedenými v databance Campus. Při porovnání tokových křivek se vycházelo z následujícího postupu:

1. Pro naměřené hodnoty "D" se z tokových křivek v databance odečetly příslušné hodnoty zdánlivé viskozity.
2. Z naměřených a odečtených hodnot (viz. tab. č.4) se sestrojily tokové křivky a porovnávaly se.

Tokové křivky byly počítačově zpracovány procedurou nazvanou REGRESNÍ ANALÝZA, která je součástí rozsáhlého statistického programu STATGRAPHICS.

Stručný popis metody:

Jedním z ústředních úkolů regresní analýzy je volba vhodné metody odhadu neznámých parametrů. V paketu STATGRAPHICS je používána metoda nejmenších čtverců. Její princip spočívá ve volbě určitého regresního modelu, o němž se domníváme, že dostatečně přesně popisuje chování vysvětlované proměnné v závislosti na vysvětlujících proměnných. Naměřená pozorování závisle proměnné si můžeme představit jako množinu bodů v prostoru. Danou soustavou bodů prochází nekonečné množství funkcí. Tyto funkce jsou dány námi zvoleným funkčním předpisem - regresní funkcí a liší se pouze svými parametry. Metoda nejmenších čtverců pak z nich vybere jednu, a to takovou, pro níž platí, že součet čtverců odchylek mezi

naměřenými pozorováními závisle proměnné a tzv. "teoretický-
mi" hodnotami (to je těmi, které leží na proložené funkci) je
minimální. /13 /

Metoda regresní analýzy byla pro konstrukci a porovnání
tokových křivek zvolena proto, neboť jejím cílem je posti-
hnout souvislost mezi dvěma proměnnými. V regresní analýze
tedy hledáme vhodnou funkci, která by dostatečně přesně popi-
sovala vztah mezi tzv. závisle proměnnou (v našem případě
hodnotou zdánlivé viskozity) a nezávisle proměnnou (v našem
případě hodnotou smykové rychlosti). Ze čtyř nabízených
v praxi velmi užívaných modelů byly použity dva:

1. reciproký model $1/Y = A + B.X$

2. multiplikativní model $Y = A.B^X$

Jako kritérium vhodnosti použití modelů byl vzat koefi-
cient korelace. Pro oba případy užitých modelů nabýval hodnot
blízkých 1, což potvrdilo správnost volby použitých regres-
ních funkcí.

Příklad grafického porovnání tokových křivek sestroje-
ných z naměřených a odečtených hodnot je uveden na obr. č.13
až 15 a v příloze č. 9 - 16. Na obrázku č.13 jsou tokové křiv-
ky znázorněny v základním souřadném systému. Jako vhodnější
se však jevílo jejich zobrazení v logaritmickém souř. syst.
viz. obr. č.14,15 kde jsou lépe znázorněny oblasti jejich
překrytí. Na těchto obrázcích je také uveden model použité
regrese a pro každou křivku příslušné hodnoty koef. korelace
a směrodatné odchylky. Přerušovanou čarou je v okolí tokové
křivky (ozn. NAMĚŘENO) znázorněna oblast konfidenčního in-
tervalu 95%.

Porovnáním tokových křivek jsme došli k těmto závěrům :

NOVOLEN 1181 (PP) - toková křivka Camnpus leží v konfi-
denčním pásmu v celém intervalu měřených smykových rychlostí
tj. ($10^3 \div 10^4$) 1/s. Můžeme tedy říci, že naměřené hodnoty od-
povídají v celém rozsahu s 95% statistickou jistotou hodnotám
v databance.

NOVOLEN 2300 (PP) - úplná shoda nam. a dat. hodnot "zv" by-
la zjištěna v oblasti smykových rychlostí ($10^3 \div 10^3$) 1/s. S
rostoucími hodnotami smyk. rychlostí se nam. hodnoty "zv"
mírně odchyľují směrem k vyšším hodnotám. Maximum této od-
chylky odpovídá nastavenému tlaku v hydraulice 1.2 MPa.

POLYSTYROL 2711 (PS) - tokové křivky se protínají v pásmu
smyk. rychlostí ($10^3 \div 10^4$) 1/s. V oblasti smyk. rychlostí
menších než 10^3 se hodnoty nam. "zv" posouvají vůči dat.
k nižším hodnotám, v oblastech větších než 10^4 je pozorova-
telná naopak kladná odchylka od těchto hodnot.

TERLURAN 967 (ABS) - zde se hodnoty shodují v intervalu
smyk. rychl. ($10^2 \div 10^3$) 1/s. Při vyšších smyk. rychl. se
nam. hodnoty v kladném smyslu odchyľují od dat. ,maximu od-
chylky odpovídá p_H 1.2 MPa.

LUSTRAN 440 (ABS) - v tomto případě nedošlo k úplné shodě
hodnot v žádném intervalu měř. smyk. rychlostí, i když směrem
k vyšším smyk. rychl. se odchylka výrazně zmenšuje.

Jednou z příčin kladných odchylek v obl. vyšších smyk.
rychlostí u materiálu Novolen a Terluran vidíme v nastavení
příliš vysokého tlaku v hydraulice přístroje $p_H = 1.2 - 1.5$.
Jednalo se o materiály s velmi dobrou tekutostí a při nasta-
vení těchto p_H byla odpovídající rychlost pístu mimo rozsah

přístroje (kap.3.2.za 5.). Záporné odchylky v oblastech nižších smyk. rychl. u mat.Polystyrol odpovídají nastavenému tlaku p_h menší než 0.6 MPa. Při těchto tlacích byl průtok tryskou příliš pomalý a záznam zapisovače neodpovídal plně lineárnímu (přímkovému) průběhu.Proto doporučujeme vynechat u méně tekutých materiálů nejnižší hodnoty p_h a naopak u velmi tekutých termoplastů nejvyšší hodnoty p_h (z tab. č. 2) U Lustranu (ABS) je možno konstatovat,že ve stavu, kdy byl připraven k měření u něho nebyla dosažena vnitřní technologická homogenita v celém objemu.To se projevilo právě odchýlením nam. hodnot od databankových.Z porovnání výsledků u obou materiálů ABS (Lustran, Terluran) se dá usoudit, že firma BASF (Terluran) má dokonalejší technologii výroby polymerů než firma MONSANTO (Lustran).

Nejpřesnějších výsledků bylo tedy dosaženo pro měřené typy materiálů při takto nastavených tlacích v hydraulice:

PS...1.2 MPa

PP..Q8 MPa

ABS.Q6 MPa

Proto doporučujeme pro stanovení přesných hodnot zdánlivé viskozity provádět měření právě při těchto hodnotách tlaku.

Je však nutno konstatovat , že s výjimkou Novolenu 1181 se naměřené a databankové hodnoty úplně shodují jen v určitých již zmíněných intervalech smykových rychlostí.

V této diplomové práci se měření provádělo při jedné teplotě taveniny. Jako předmět dalšího pozorování bychom doporučovali porovnání tokových křivek i při jiných teplotách

taveniny uvedených v databázi Campus.

Hlavní příčiny rozdílných výsledků vidíme v tom ,že jsme neměli možnost(s výjimkou teploty) dodržet úplně stejné podmínky experimentu při kterých byly zjišťovány hodnoty uvedené v databance (jedná se především o modernější typ plastometru).Odchyłky od těchto hodnot mohly být také dány chybami měření, které jsou popsáné v kap. 2. 3. 4. Tyto chyby jsme se snažili co nejvíce eliminovat použitím trysek L/R 50/0.5 a 40/1, neboť právě koncové ztráty toku se nejvíce zmírňují měřením s dostatečně dlouhými tryskami. K dalším chybám měření mohlo docházet vlivem nedokonalého odečítání hodnot z grafického záznamu. Již při malých chybách při odečítání hodnot mohlo být dosaženo rozdílných D a τ a z nich vyplývající zdánlivé viskozity. Tyto chyby jsme se snažili odstranit tím, že jsme měření prováděli pro každou hodnotu tlaku pětkrát.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

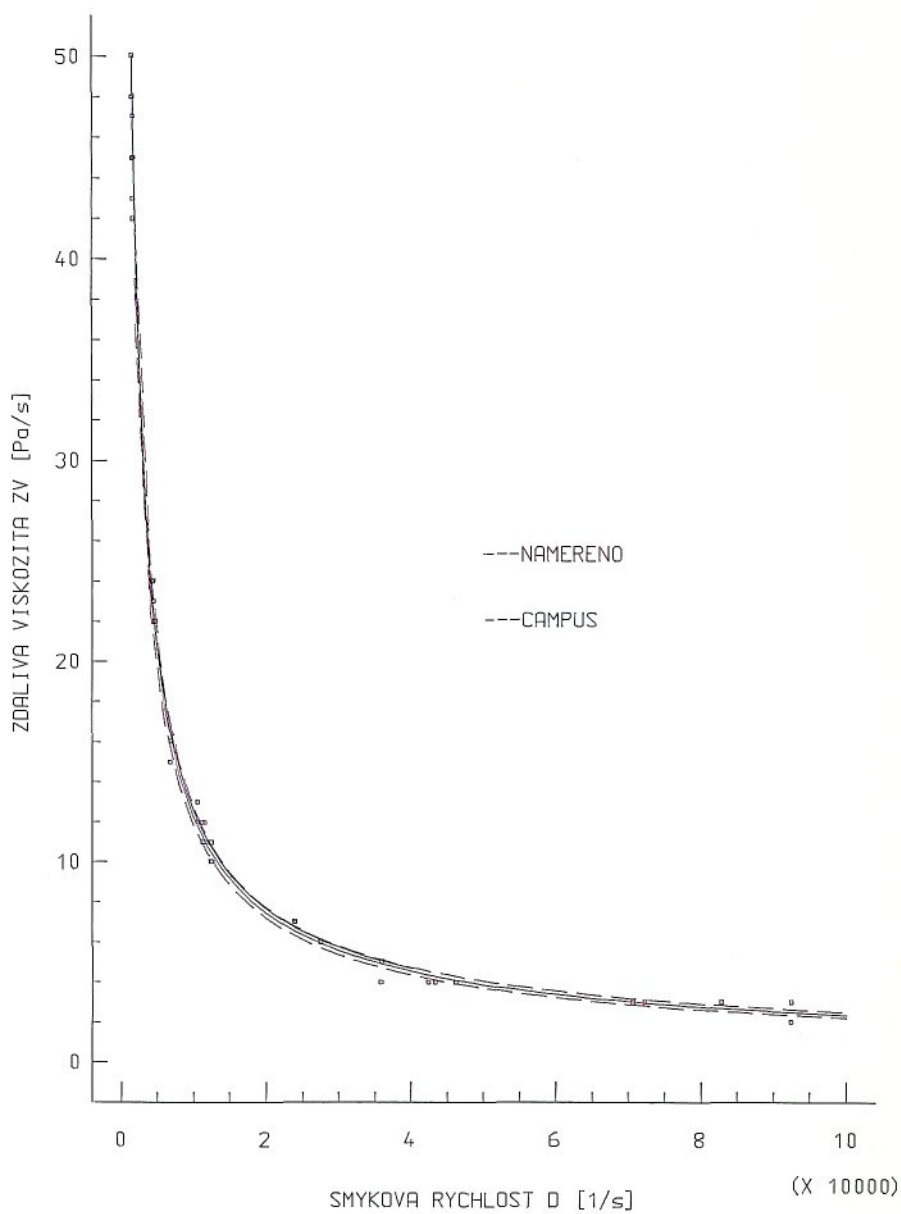
NOVOLEN 1181 – PP / 240 °C			
p[MPa]	D [1/s]	ZV [Pa/s]	ZVC [Pa/s]
28.2	1459	48	50
	1459	45	47
	1604	44	45
	1540	46	48
	1650	43	45
42.3	4290	25	24
	4620	23	22
	6738	16	16
	4416	24	23
	4332	24	24
56.4	10501	13	12
	12440	11	10
	11191	13	11
	11552	12	11
	12348	11	10
70.5	23929	7	7
	27547	6	6
	23929	7	7
	35811	5	5
	23929	7	7
84.5	43320	5	NEUV.
	42357	5	NEUV.
	42357	5	NEUV.
	46208	5	NEUV.
	42357	5	NEUV.
105,7	70595	4	NEUV.
	92416	3	NEUV.
	82789	3	NEUV.
	72200	4	NEUV.
	92416	3	NEUV.

TAB. Č. 4 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT S HODNOTAMI CAMPUS

VÝZNAM HODNOT V TABULCE : p – TLAK V TAVENINĚ, D – SMYKOVÁ RYCHLOST [1/s], ZV – ZDÁNLIVÁ VIZKOZITA NAMĚŘENÁ [Pa/s], ZVC – VIZKOZITA ODEČTENÁ Z TOKOVÉ KŘIVKY V CAMPUSU.

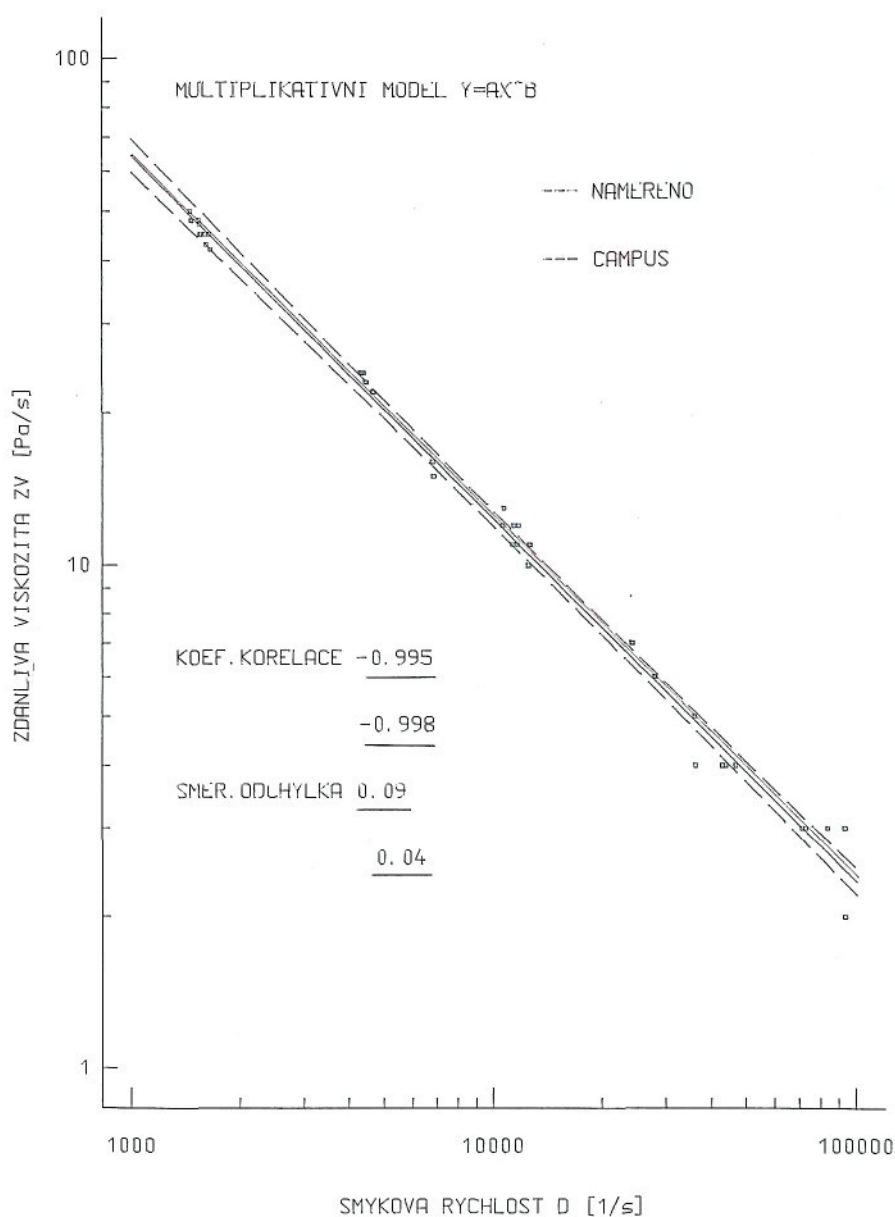
POROVNANI HODNOT REGRESNI ANALYZOU

NOVOLEN 1181



POROVNANI HODNOT REGRESNI ANALIZOU

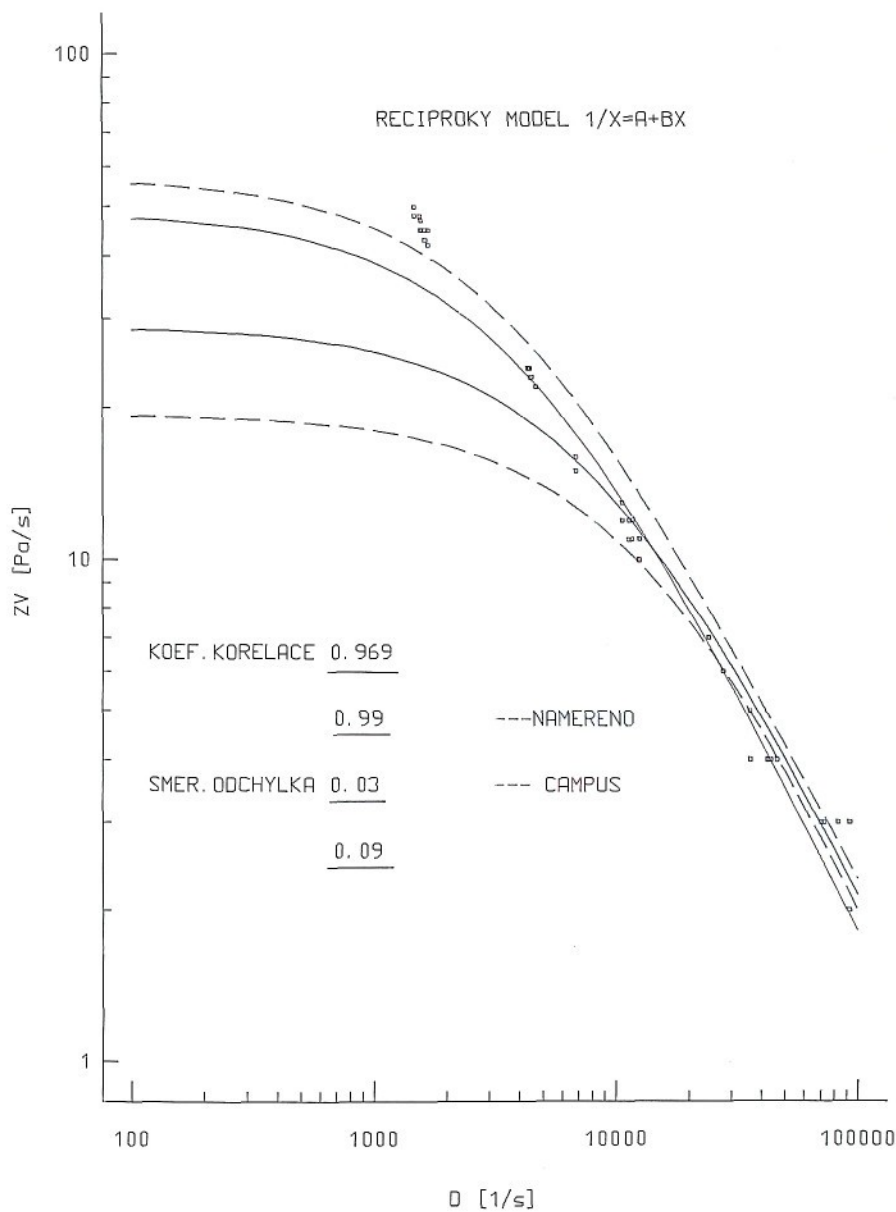
NOVOLEN 1181



obr.č.14

POROVNANI HODNOT REGRESNI ANALYZOU

NOVOLEN 1181



obr.č.15

5. Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout metodiku měření viskozity a reologických konstant na vysokotlakém kapilárním viskozimetru a porovnání naměřených výsledků s hodnotami uvedenými v databance Campus. Měření bylo provedeno na zařízení HKV 2000. Navrhnutá metodika měření a popis zařízení je uveden v kap. 2.3.2. Pro zpracování naměřených výsledků bylo použito výpočetního programu, který je popsán v kap. 3.3 a výsledky byly přehledně vytisknuty do tabulek viz. tab. č. 3. Posouzení naměřených výsledků bylo prováděno porovnáním tokových křivek sestavených z naměřených hodnot a hodnot odečtených v databance Campus. Křivky pak byly sestaveny s využitím programu Statgraphics, který je popsán v kapitole 4.

Ve spolupráci s a.s. Plastimat Liberec bylo vybráno 5 zkušebních materiálů: Novolen 1181, Novolen 2300 - PP Terluran 967, Lustran 440 AS - ABS; Polystyrol 2711 - hPS. Jednalo se vesměs o materiály zahraniční výroby, jejich vlastnosti jsou uvedeny v databance Campus viz. kap. 3.1.

Porovnáním tokových křivek jsme došli k těmto závěrům:

- naměřené a databankové hodnoty se shodovaly v těchto intervalech smykových rychlostí: Polystyrol 2711 - 10^3 - 10^4 1/s

Novolen 1181 - 10^3 - 10^4 1/s

Novolen 2300 - 10^2 - 10^3 1/s

Terluran 967 - 10^2 - 10^3 1/s

Lustran 440 AS - ----- 1/s

Z výsledků pozorování je možno konstatovat, že naměřené

hodnoty se s hodnotami v databance úplně shodují v oblastech smykových rychlostí ,které odpovídají podmínkám vstřikování a vytlačování (10^2-10^4) 1/s , při kterých se již výrazně uplatňuje nenewtonský charakter polymeru . Nejpresnějších výsledků bylo dosaženo pro měřené typy materiálů při takto nastavených tlacích v hydraulice:PS....1.2 MPa

PP...08 MPa

ABS..06 MPa

Při stanovení přesných hodnot zdánlivé viskozity doporučujeme tedy měřit právě při těchto tlacích.

Je však nutno konstatovat že s výjimkou Novolenu 1181 se naměřené a databankové hodnoty úplně shodují jen v určitých již zmíněných intervalech smyk. rychlostí.Hlavní příčiny rozdílných výsledků jsou popsány v kap.4.

Za účelem hlubšího zkoumání reologického chování tavenin termoplastů, jako jsou např. poruchy toku při vytlačování,navrhujeme do budoucnosti přístroj dovybavit zapisovačem tlaku v tavenině, případně osciloskopem a pozorovat prostřednictvím zabudovaného odporového vysílače dráhu pístu při vytlačování.

Hlavním úkolem vys.kap. viskozimetrie vidíme ve srovnání tokových vlastností u různých termoplastů, při kterém se hodnotí materiály stejného typu polymeru. V tomto ohledu se domníváme, že hodnoty m a ξ odpovídají měření. Odchyłky ξ a m u jednotliv. materiálů jsou dány právě jejich odlišnými vlastnostmi, neboť určité rozmezí teplot, při kterých má polymer vyhovující vlastnosti je vždy individuální záležitost

závislá na technologii zpracování a účelu použití. Výsledky porovnání tokových křivek naměřených a databankových potvrzují, že přesnost HKV 2000 je postačující pro simulování nejpoužívanějších zpracovatelských technologií, tedy vstřikování a vytlačování.

Použitá literatura :

- /1/ Krebs, J. : Teorie zpracování nekovových materiálů.
Skripta VŠST Liberec, 1991.
- /2/ Štěpek, J.- Zelinger, J.- Kuta, A. : Technologie zpracování
a vlastnosti plastů. SNTL, Praha /Alfa
Bratislava 1989.
- /3/ Pokludová, E. : Nové zdroje informací o plastech a
elastomerech, Plasty a kaučuk, 25 (1988)
č. 10, str. 310.
- /4/ Šilhánek, J.- Jirkal, Č. : Faktografické báze dat v
technol. zprac. plastů, Plasty a kaučuk,
24 (1987), č. 7, str. 213.
- /5/ Laboratorní předpis - tokové křivky termoplastů na
plastometru HKV 2000, a.s. Plastimat Liberec, 1970.
- /6/ Kačanová, J. - Straka, F. : Metody hodnocení termoplastů
z hlediska zpracovatelnosti a vlastností
výrobků, Liberec, a.s. Plastimat, 1970.
- /7/ Mohnberg, H. J.- Bach, K. : Plast Verarbeiter, 34 (1983)
č. 1, str. 1087.
- /8/ Norma ČSN 640861 : Stanovení indexu toku taveniny
termoplastů.
- /9/ Moos, K. A. : Hochdruck - Kapillarrheometrie, Kunststoffe
81 (1991), č. 11 str. 1032
- /10/ Campus, die Kunststoff - Datebank, Version 2, Frankfurt am
Main 1991.
- /11/ Databanka Campus
- /12/ Hejman, J. : Vysokotlaký kapilární viskozimetr HKV 2000
pracovní překlad, a.s. Plastimat Liberec 1969.

- /13/ Koschm, F. a kol.: Statgraphics aneb statistika pro každého. Grada a.s. Praha 1992.
- /14/ Bíš, L.: Návrh metodiky měření dyn. viskozity a reol. konstant. na vysokotlakém plastometru (diplomová práce) VŠST Liberec, fakulta strojní, 1993.
- /15/ Rybníkář, F. - Ditrych, Z.: Analýza a zkoušení plastických hmot, Praha 1969.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1-4

Význam hodnot uvedených v tabulkách :

F [N]	...	tlak nastavený v hydraulice plastometru
v [m/s]	...	z graf. záznamu odečtená rychlost pohybu vytlačovacího pístu
Q [mm ³ /s]	...	objemový průtok
D [1/s]	...	smysková rychlost
zv [Pa/s]	...	zdánlivá viskozita
ξ (0)	...	koef. tekutosti (stanoveno pro $\log \tau = 0$)
ξ (-1)	...	koef. tekutosti (stanoveno pro $\log \tau = -1$)
m	...	exponent mocninového zákona
K	...	index konzistence
n	...	index toku

Příloha 5-8

Tokové křivky měř. materiálu - databanka Campus

Příloha 9 - 16

Porovnání tokových křivek

Příloha 17 - 18

Tabulky obsahují naměřené a odečtené hodnoty.

Význam hodnot uvedených v tabulkách:

P	tlak v tavenině
D	smysková rychlost
zv ...	zdánlivá viskozita
zvc ..	zdánlivá viskozita Campus
neuv ..	hodnoty nejsou v databance uvedeny

Material: NOVOLEN 2300 Serie: 1 Teplota: 240[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00007	4.945	403.0	2.605	0.0705	-1.1521	174.8327
2996.3	0.00020	14.176	1155.2	3.063	0.1057	-0.9760	91.4822
3995.1	0.00026	18.653	1520.0	3.182	0.1409	-0.8511	92.7020
4993.9	0.00095	67.507	5501.0	3.740	0.1761	-0.7542	32.0188
5992.7	0.00185	130.859	10663.4	4.028	0.2114	-0.6750	19.8212
7490.9	0.00525	372.131	30324.0	4.482	0.2642	-0.5781	8.7126

FI(0)=2466621.9997 [1/s]

FI(-1)=1457.306193 [1/s]

m = 3.228552

K = 0.013504907 [MPa]

n = 0.295294320

Material: NOVOLEN 2300 Serie: 2 Teplota: 240[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00007	4.725	385.1	2.586	0.0705	-1.1521	182.9645
2996.3	0.00018	12.404	1010.8	3.005	0.1057	-0.9760	104.5511
3995.1	0.00045	32.011	2608.5	3.416	0.1409	-0.8511	54.0181
4993.9	0.00095	67.152	5472.0	3.738	0.1761	-0.7542	32.1882
5992.7	0.00076	53.870	4389.8	3.642	0.2114	-0.6750	48.1486
7490.9	0.00538	380.992	31046.0	4.492	0.2642	-0.5781	8.5100

FI(0)=1440839.1047 [1/s]

FI(-1)=1406.459693 [1/s]

m = 3.010488

K = 0.012637241 [MPa]

n = 0.306703351

Material: NOVOLEN 2300 Serie: 3 Teplota: 240[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00006	3.938	320.9	2.506	0.0705	-1.1521	219.5574
2996.3	0.00018	12.658	1031.4	3.013	0.1057	-0.9760	102.4601
3995.1	0.00042	29.989	2443.7	3.388	0.1409	-0.8511	57.6615
4993.9	0.00100	70.882	5776.0	3.762	0.1761	-0.7542	30.4941
5992.7	0.00175	124.044	10108.0	4.005	0.2114	-0.6750	20.9102
7490.9	0.00475	336.690	27436.0	4.438	0.2642	-0.5781	9.6297

FI(0)=3046500.2488 [1/s]

FI(-1)=1431.241620 [1/s]

m = 3.328088

K = 0.013127954 [MPa]

n = 0.298612762

Material: NOVOLEN 2300 Serie: 4 Teplota: 240[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00007	4.945	403.0	2.605	0.0705	-1.1521	174.8327
2996.3	0.00018	12.404	1010.8	3.005	0.1057	-0.9760	104.5511
3995.1	0.00024	17.242	1405.0	3.148	0.1409	-0.8511	100.2916
4993.9	0.00100	70.882	5776.0	3.762	0.1761	-0.7542	30.4941
5992.7	0.00193	136.514	11124.1	4.046	0.2114	-0.6750	19.0002
7490.9	0.00500	354.411	28880.0	4.461	0.2642	-0.5781	9.1482

FI(0)=2592188.2060 [1/s]

FI(-1)=1404.471985 [1/s]

m = 3.266153

K = 0.014155191 [MPa]

n = 0.290502501

Material: NOVOLEN 2300 Serie: 5 Teplota: 240[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00006	4.050	330.1	2.519	0.0705	-1.1521	213.4586
2996.3	0.00018	12.658	1031.4	3.013	0.1057	-0.9760	102.4601
3995.1	0.00044	31.188	2541.4	3.405	0.1409	-0.8511	55.4438
4993.9	0.00100	70.882	5776.0	3.762	0.1761	-0.7542	30.4941
5992.7	0.00110	77.970	6353.6	3.803	0.2114	-0.6750	33.2663
7490.9	0.00431	305.339	24881.2	4.396	0.2642	-0.5781	10.6185

FI(0)=1805420.9639 [1/s]

FI(-1)=1383.476728 [1/s]

m = 3.115607

K = 0.011885599 [MPa]

n = 0.314078904

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[l/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00027	18.805	191.6	2.282	0.0881	-1.0552	459.7569
1997.6	0.00100	70.882	722.0	2.859	0.1761	-0.7542	243.9527
2996.3	0.00303	215.091	2190.9	3.341	0.2642	-0.5781	120.5902
3995.1	0.00675	478.455	4873.5	3.688	0.3523	-0.4531	72.2823
4993.9	0.01280	907.292	9241.6	3.966	0.4403	-0.3562	47.6470
5992.7	0.01450	1027.792	10469.0	4.020	0.5284	-0.2770	50.4730

FI(0)=71022.8917 [1/s]

FI(-1)=311.348922 [1/s]

m = 2.358151

K = 0.010211692 [MPa]

n = 0.420324947

Material: TERLURAN Serie: 2 Teplota: 240[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[l/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00026	18.153	184.9	2.267	0.0881	-1.0552	476.2885
1997.6	0.00097	68.734	700.1	2.845	0.1761	-0.7542	251.5762
2996.3	0.00271	191.799	1953.6	3.291	0.2642	-0.5781	135.2346
3995.1	0.00600	425.293	4332.0	3.637	0.3523	-0.4531	81.3176
4993.9	0.01475	1045.512	10649.5	4.027	0.4403	-0.3562	41.3479
5992.7	0.01575	1116.394	11371.5	4.056	0.5284	-0.2770	46.4672

FI(0)=77660.5157 [1/s]

FI(-1)=291.805428 [1/s]

m = 2.425107

K = 0.011421451 [MPa]

n = 0.406498220

Material: TERLURAN Serie: 3 Teplota: 240[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[l/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00032	22.384	228.0	2.358	0.0881	-1.0552	386.2584
1997.6	0.00089	75.006	641.8	2.807	0.1761	-0.7542	274.4467
2996.3	0.00269	190.496	1940.4	3.288	0.2642	-0.5781	136.1596
3995.1	0.00625	443.014	4512.5	3.654	0.3523	-0.4531	78.0649
4993.9	0.01460	1034.880	10541.2	4.023	0.4403	-0.3562	41.7727
5992.7	0.01575	1116.394	11371.5	4.056	0.5284	-0.2770	46.4672

FI(0)=69868.3488 [1/s]

FI(-1)=319.769637 [1/s]

m = 2.339443

K = 0.010450339 [MPa]

n = 0.416689250

Material: TERLURAN Serie: 4 Teplota: 240[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[l/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00024	17.327	176.5	2.247	0.0881	-1.0552	498.9941
1997.6	0.00107	75.945	773.6	2.889	0.1761	-0.7542	227.6892
2996.3	0.00350	248.088	2527.0	3.403	0.2642	-0.5781	104.5511
3995.1	0.00743	526.553	5363.4	3.729	0.3523	-0.4531	65.6796
4993.9	0.01280	907.292	9241.6	3.966	0.4403	-0.3562	47.6470
5992.7	0.01450	1027.792	10469.0	4.020	0.5284	-0.2770	50.4730

FI(0)=78483.6065 [1/s]

FI(-1)=313.057728 [1/s]

m = 2.399155

K = 0.010576197 [MPa]

n = 0.413778992

Material: TERLURAN Serie: 5 Teplota: 240[C]

F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[l/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00024	17.288	176.1	2.246	0.0881	-1.0552	500.1030
1997.6	0.00097	68.734	700.1	2.845	0.1761	-0.7542	251.5762
2996.3	0.00267	189.019	1925.3	3.285	0.2642	-0.5781	137.2234
3995.1	0.00647	458.649	4671.8	3.669	0.3523	-0.4531	75.4035
4993.9	0.01450	1027.792	10469.0	4.020	0.4403	-0.3562	42.0608
5992.7	0.01625	1151.835	11732.5	4.069	0.5284	-0.2770	45.0374

FI(0)=82908.2775 [1/s]

FI(-1)=289.967220 [1/s]

m = 2.465330

K = 0.011908106 [MPa]

n = 0.400867644

Material: LUSTRAN			Serie: 1		Teplota: 240[C]		
F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00023	16.202	165.0	2.218	0.0881	-1.0552	533.6464
1997.6	0.00162	114.502	1166.3	3.067	0.1761	-0.7542	151.0183
2996.3	0.00867	614.312	6257.3	3.796	0.2642	-0.5781	42.2226
3995.1	0.01000	708.822	7220.0	3.859	0.3523	-0.4531	48.7905
4993.9	0.01750	1240.438	12635.0	4.102	0.4403	-0.3562	34.8504
5992.7	0.01775	1258.159	12815.5	4.108	0.5284	-0.2770	41.2314

FI(0)=135872.9004 [1/s]

FI(-1)=396.912896 [1/s]

m = 2.534438

K = 0.012262635 [MPa]

n = 0.378025148

Material: LUSTRAN			Serie: 2		Teplota: 240[C]		
F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00023	16.202	165.0	2.218	0.0881	-1.0552	533.6464
1997.6	0.00171	121.512	1237.7	3.093	0.1761	-0.7542	142.3057
2996.3	0.00575	407.573	4151.5	3.618	0.2642	-0.5781	63.6398
3995.1	0.01000	708.822	7220.0	3.859	0.3523	-0.4531	48.7905
4993.9	0.01794	1271.710	12953.5	4.112	0.4403	-0.3562	33.9934
5992.7	0.01729	1225.671	12484.6	4.096	0.5284	-0.2770	42.3243

FI(0)=125484.2117 [1/s]

FI(-1)=378.376674 [1/s]

m = 2.520665

K = 0.011483939 [MPa]

n = 0.388921071

Material: LUSTRAN			Serie: 3		Teplota: 240[C]		
F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00026	18.292	186.3	2.270	0.0881	-1.0552	472.6583
1997.6	0.00183	129.951	1323.7	3.122	0.1761	-0.7542	133.0651
2996.3	0.00569	403.483	4109.8	3.614	0.2642	-0.5781	64.2848
3995.1	0.00981	695.191	7081.2	3.850	0.3523	-0.4531	49.7472
4993.9	0.01765	1250.862	12741.2	4.105	0.4403	-0.3562	34.5600
5992.7	0.01739	1232.734	12556.5	4.099	0.5284	-0.2770	42.0818

FI(0)=114357.5868 [1/s]

FI(-1)=412.253920 [1/s]

m = 2.443100

K = 0.010214076 [MPa]

n = 0.402231408

Material: LUSTRAN			Serie: 4		Teplota: 240[C]		
F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00025	17.721	180.5	2.256	0.0881	-1.0552	487.9053
1997.6	0.00163	115.512	1176.6	3.071	0.1761	-0.7542	149.6982
2996.3	0.00857	607.562	6188.6	3.792	0.2642	-0.5781	42.6917
3995.1	0.01000	708.822	7220.0	3.859	0.3523	-0.4531	48.7905
4993.9	0.01833	1299.507	13236.7	4.122	0.4403	-0.3562	33.2663
5992.7	0.01750	1240.438	12635.0	4.102	0.5284	-0.2770	41.8205

FI(0)=130461.8283 [1/s]

FI(-1)=417.878943 [1/s]

m = 2.494433

K = 0.011541406 [MPa]

n = 0.384548674

Material: LUSTRAN			Serie: 5		Teplota: 240[C]		
F[N]	v[m/s]	Q[mm ³ /s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
998.8	0.00025	17.721	180.5	2.256	0.0881	-1.0552	487.9053
1997.6	0.00182	128.877	1312.7	3.118	0.1761	-0.7542	134.1740
2996.3	0.00583	413.479	4211.7	3.624	0.2642	-0.5781	62.7307
3995.1	0.01000	708.822	7220.0	3.859	0.3523	-0.4531	48.7905
4993.9	0.02000	1417.644	14440.0	4.160	0.4403	-0.3562	30.4941
5992.7	0.02024	1434.520	14611.9	4.165	0.5284	-0.2770	36.1624

FI(0)=138849.9852 [1/s]

FI(-1)=400.160167 [1/s]

m = 2.540312

K = 0.011205634 [MPa]

n = 0.388519623

Material: NOVOLEN 1181			Serie: 1		Teplota: 240[C]		
F[N]	v[m/s]	Q[mm^3/s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00025	17.907	1459.2	3.184	0.0705	-1.1521	48.2823
2996.3	0.00074	52.655	4290.7	3.633	0.1057	-0.9760	24.6298
3995.1	0.00182	128.877	10501.8	4.021	0.1409	-0.8511	13.4174
4993.9	0.00414	293.655	23929.1	4.379	0.1761	-0.7542	7.3606
5992.7	0.00750	531.616	43320.0	4.637	0.2114	-0.6750	4.8791
7490.9	0.01222	866.338	70595.6	4.849	0.2642	-0.5781	3.7425

FI(0)=6557421.0000 [1/s]
m = 3.037355
K = 0.006603897 [MPa]
n = 0.327960808

FI(-1)=6016.977342 [1/s]

Material: NOVOLEN 1181			Series: 2	Teplota: 240[C]			
F[N]	v[m/s]	Q[mm^3/s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00027	19.017	1549.7	3.190	0.0705	-1.1521	45.4639
2996.3	0.00080	56.706	4620.8	3.665	0.1057	-0.9760	22.8706
3995.1	0.00215	152.669	12440.6	4.095	0.1409	-0.8511	11.3264
4993.9	0.00477	338.053	27547.1	4.440	0.1761	-0.7542	6.3939
5992.7	0.00733	519.803	42357.3	4.627	0.2114	-0.6750	4.9899
7490.9	0.01600	1134.115	92416.0	4.966	0.2642	-0.5781	2.8588

FI(0)=8751099.1792 [1/s]
m = 3.120777
K = 0.006884986 [MPa]
n = 0.319671650

FI(-1)=6626.515863 [1/s]

Material: NOVOLEN 1181			Serie: 3		Teplota: 240[C]		
F[N]	v[m/s]	Q[mm^3/s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00028	19.689	1604.4	3.205	0.0705	-1.1521	43.9115
2996.3	0.00075	53.162	4332.0	3.637	0.1057	-0.9760	24.3953
3995.1	0.00194	137.334	11191.0	4.049	0.1409	-0.8511	12.5911
4993.9	0.00414	293.655	23929.1	4.379	0.1761	-0.7542	7.3606
5992.7	0.00733	519.803	42357.3	4.627	0.2114	-0.6750	4.9899
7490.9	0.01433	1015.978	82789.3	4.918	0.2642	-0.5781	3.1912

FI(0)=7004867.2869 [1/s]
m = 3.044663
K = 0.006531893 [MPa]
n = 0.327362090

FI(-1)=6320.290474 [1/s]

Material: NOVOLEN 1181			Serie: 4		Teplota: 240[C]		
F[N]	v[m/s]	Q[mm^3/s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00027	18.902	1540.3	3.188	0.0705	-1.1521	45.7411
2996.3	0.00076	54.204	4416.9	3.645	0.1057	-0.9760	23.9261
3995.1	0.00200	141.764	11552.0	4.063	0.1409	-0.8511	12.1976
4993.9	0.00620	439.470	35811.2	4.554	0.1761	-0.7542	4.9184
5992.7	0.00800	567.057	46208.0	4.665	0.2114	-0.6750	4.5741
7490.9	0.01250	886.027	72200.0	4.859	0.2642	-0.5781	3.6593

FI(0)=8070080.6033 [1/s]
m = 3.083608
K = 0.006972542 [MPa]
n = 0.318479783

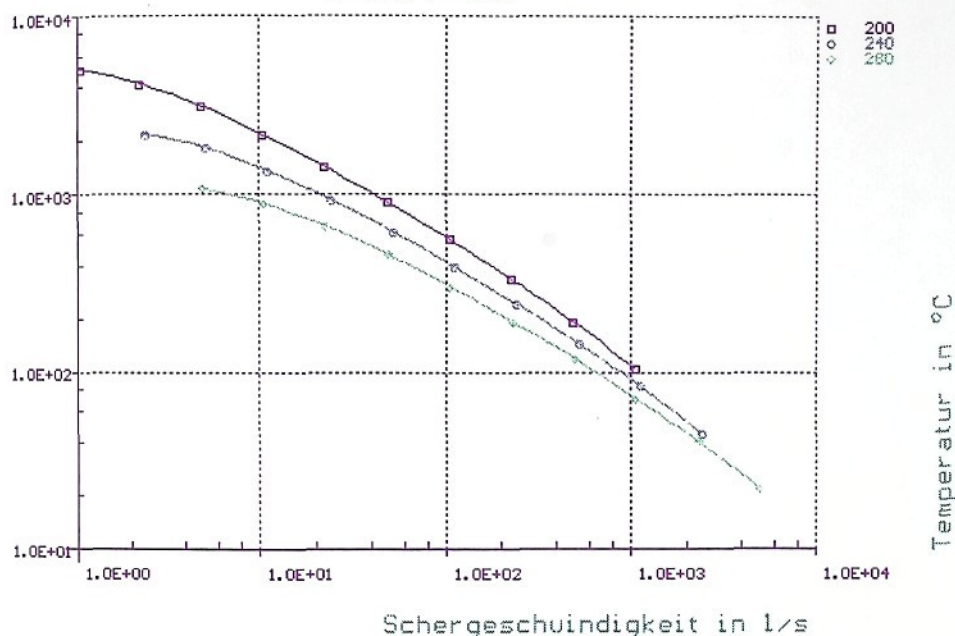
FI(-1)=6656.860244 [1/s]

Material: NOVOLEN 1181			Series: 5		Teplota: 240[C]		
F[N]	v[m/s]	Q[mm^3/s]	D[1/s]	log(D)	tau[MPa]	log(tau)	zv[Pa/s]
1997.6	0.00029	20.252	1650.3	3.218	0.0705	-1.1521	42.6917
2996.3	0.00075	53.162	4332.0	3.637	0.1057	-0.9760	24.3953
3995.1	0.00200	141.764	11552.0	4.063	0.1409	-0.8511	12.1976
4993.9	0.00414	293.655	23929.1	4.379	0.1761	-0.7542	7.3606
5992.7	0.00733	519.803	42357.3	4.627	0.2114	-0.6750	4.9899
7490.9	0.01600	1134.115	92416.0	4.966	0.2642	-0.5781	2.8588

FI(0)=7766534.1545 [1/s]
m = 3.080697
K = 0.006740992 [MPa]
n = 0.323092394

FI(-1)=6449.558690 [1/s]

X = 1.00, Y = 10.00

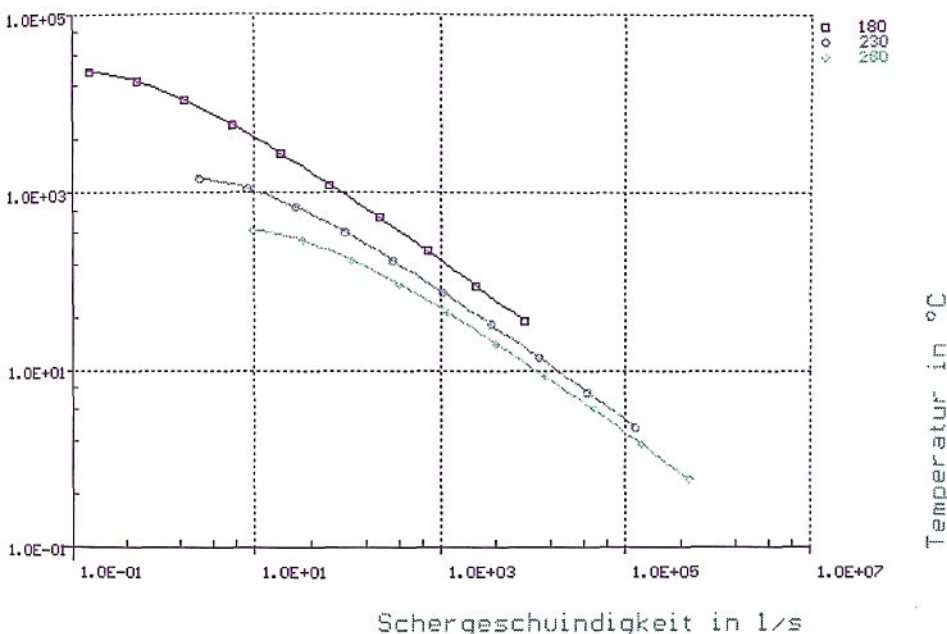


Obr. č. 5 : Tokové křivky pro Novolen 2300
/ databáze Campus /

Popis obrázku

Viskosität in Pa szděnlivá viskozita / Pa/s /
Schergeschwindigkeit in 1/s....smyková rychlost / 1/s /
Temperatur in °Cteplota měření / °C /

$X = 0.10, Y = 0.10$

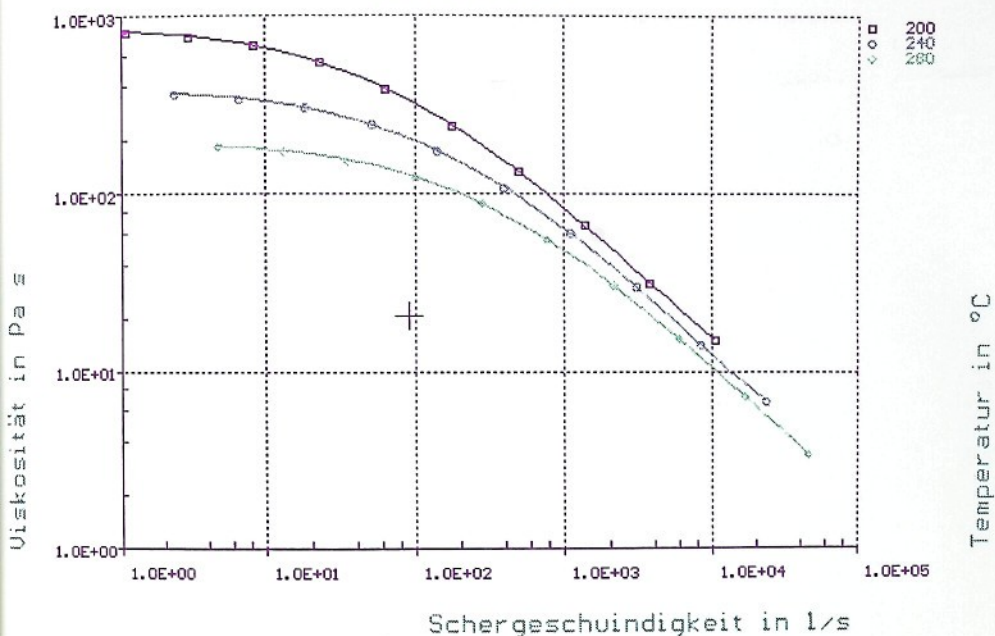


Obr. č. 6 : Tokové křivky pro Polystyrol 2711
/ databáze Campus /

Popis obrázku

Viskozita in Pa szdánlivá viskozita / Pa/s /
Schergeschwindigkeit in 1/s....smyková rychlost / 1/s /
Temperatur in °Cteplota měření / °C /

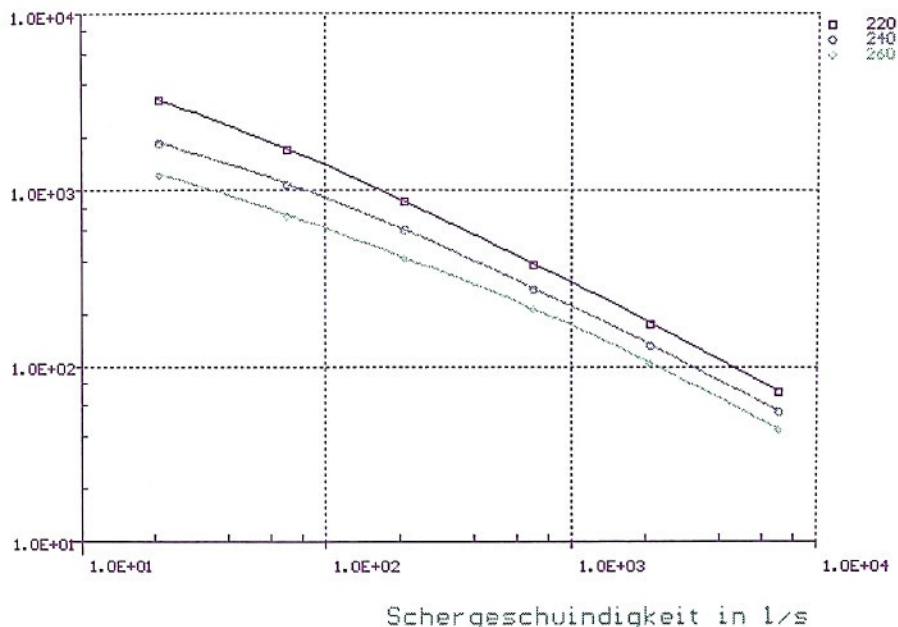
X = 91.20, Y = 20.80



Obr. č. 7 : Tokové křivky pro Novolen 1181
/databáze Campus/

Popis obrázku

Viskosität in Pa szděnlivá viskozita /Pa/s/
Schergeschwindigkeit in 1/s...smyková rychlost / 1/s /
Temperatur in °Cteplota měření / °C /

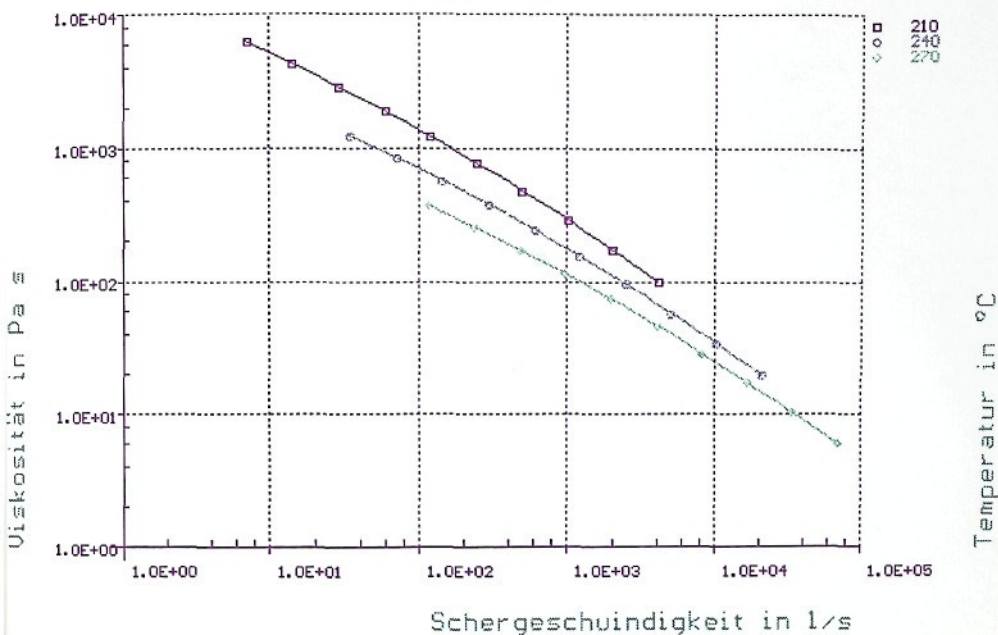
$X = 10.00, Y = 10.00$ 

Obr. č. 8a : Tokové křivky pro Lustran 440
/ databáze Campus /

Popis obrázku

Viskosität in Pa szdánlivá viskozita / Pa/s /
 Schergeschwindigkeit in 1/s.....smyková rychlost / 1/s /
 Temperatur in °Cteplota měření /°C/

X = 1.00, Y = 1.00



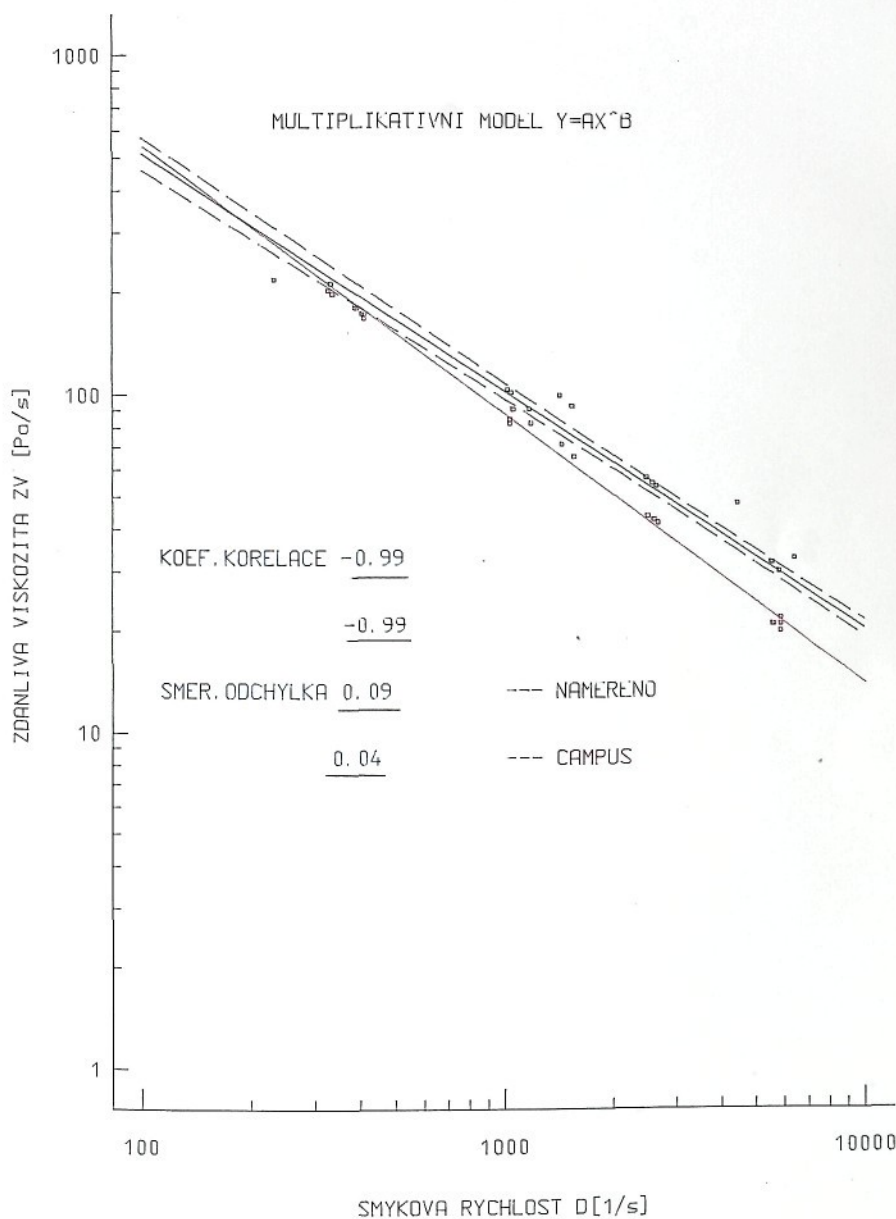
Obr. č. 8b: Tokové křivky pro Terluran 967 K
/ databáze Campus /

Popis obrázku

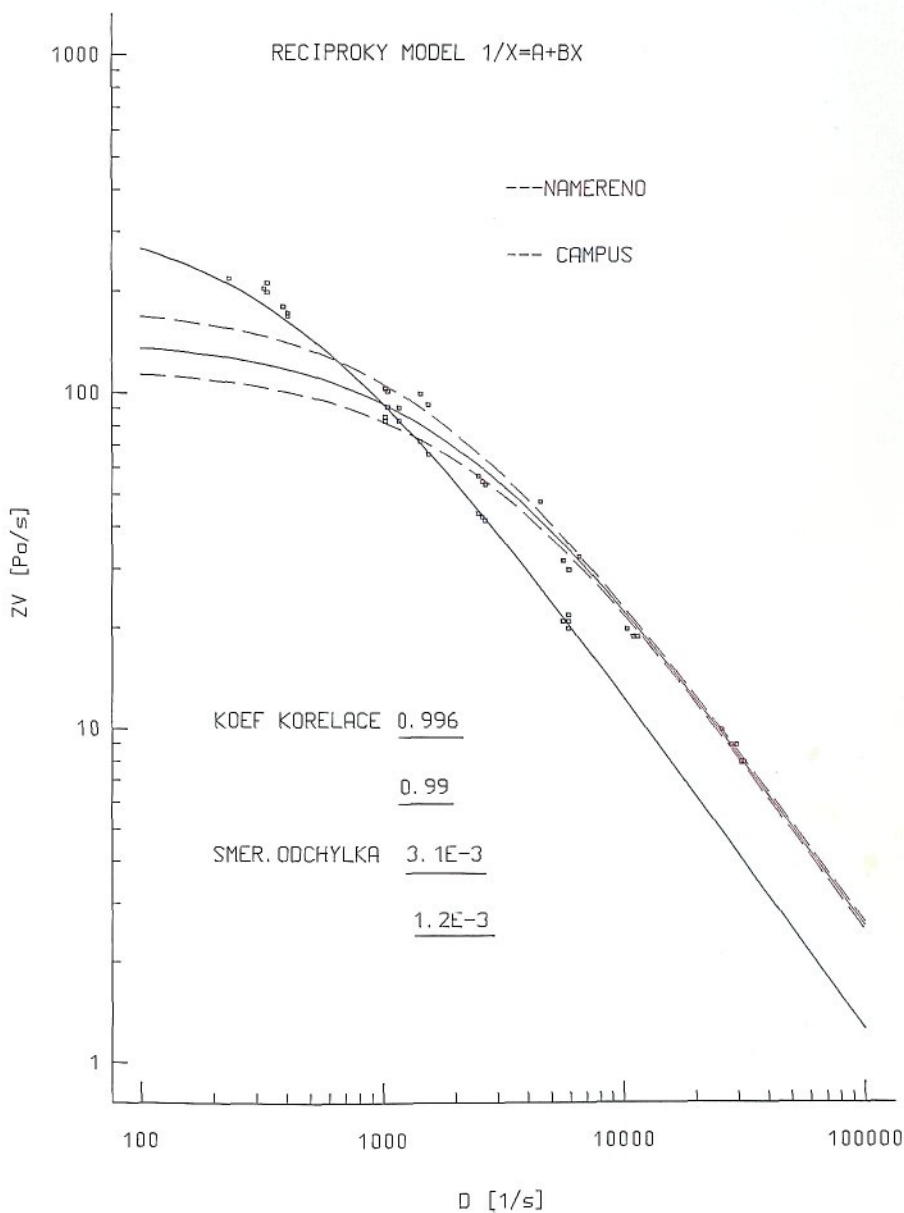
Viskosität in Pa s zdánlivá viskozita / Pa / s /
Schergeschwindigkeit in 1/s smyková rychlost / 1/s /
Temperatur in °C teplota měření / °C /

POROVNANI HODNOT REGRESNI ANALYZOU

NOVOLEN 2300

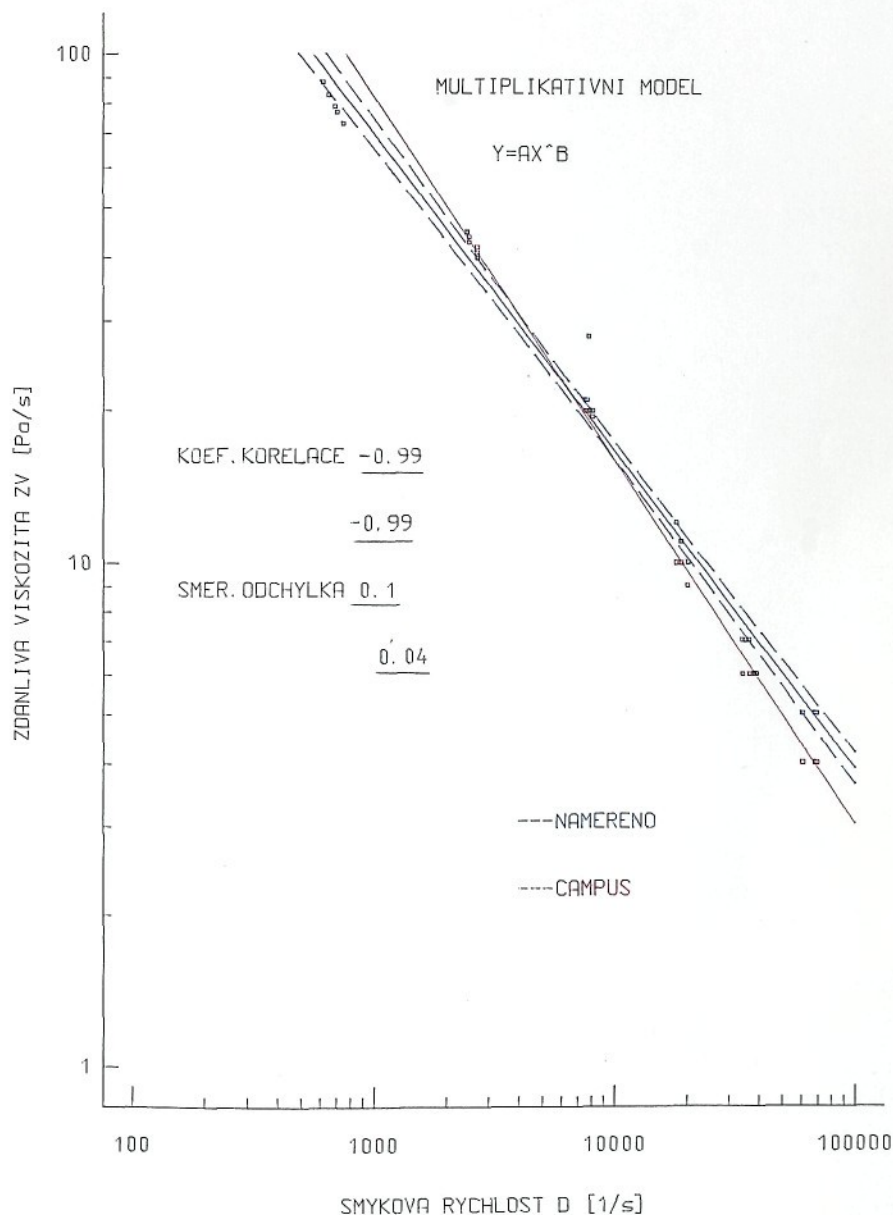


POROVNANI HODNOT REGRESI-NOVOLEN 2300

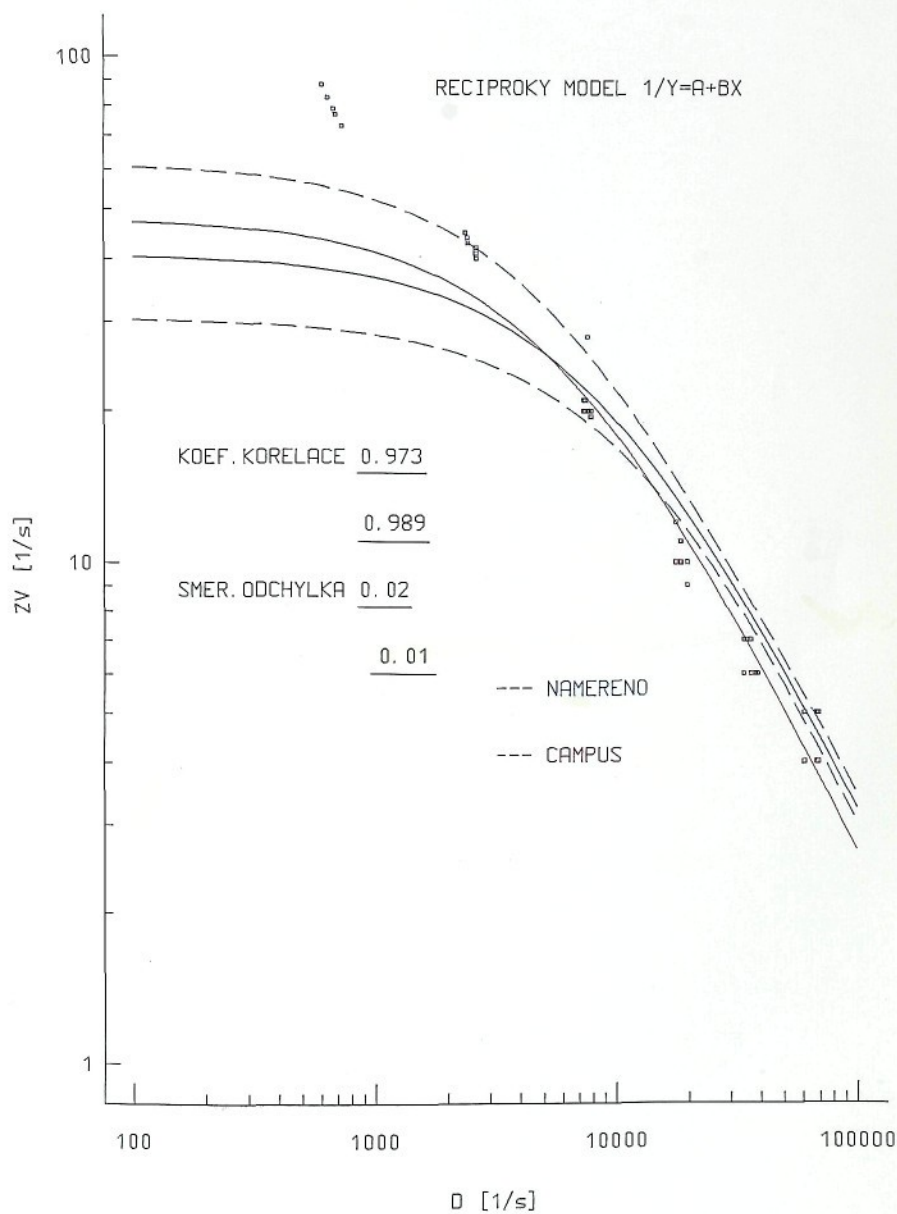


POROVNANI HODNOT REGRESNI ANALYZOU

POLYSTYROL 2711

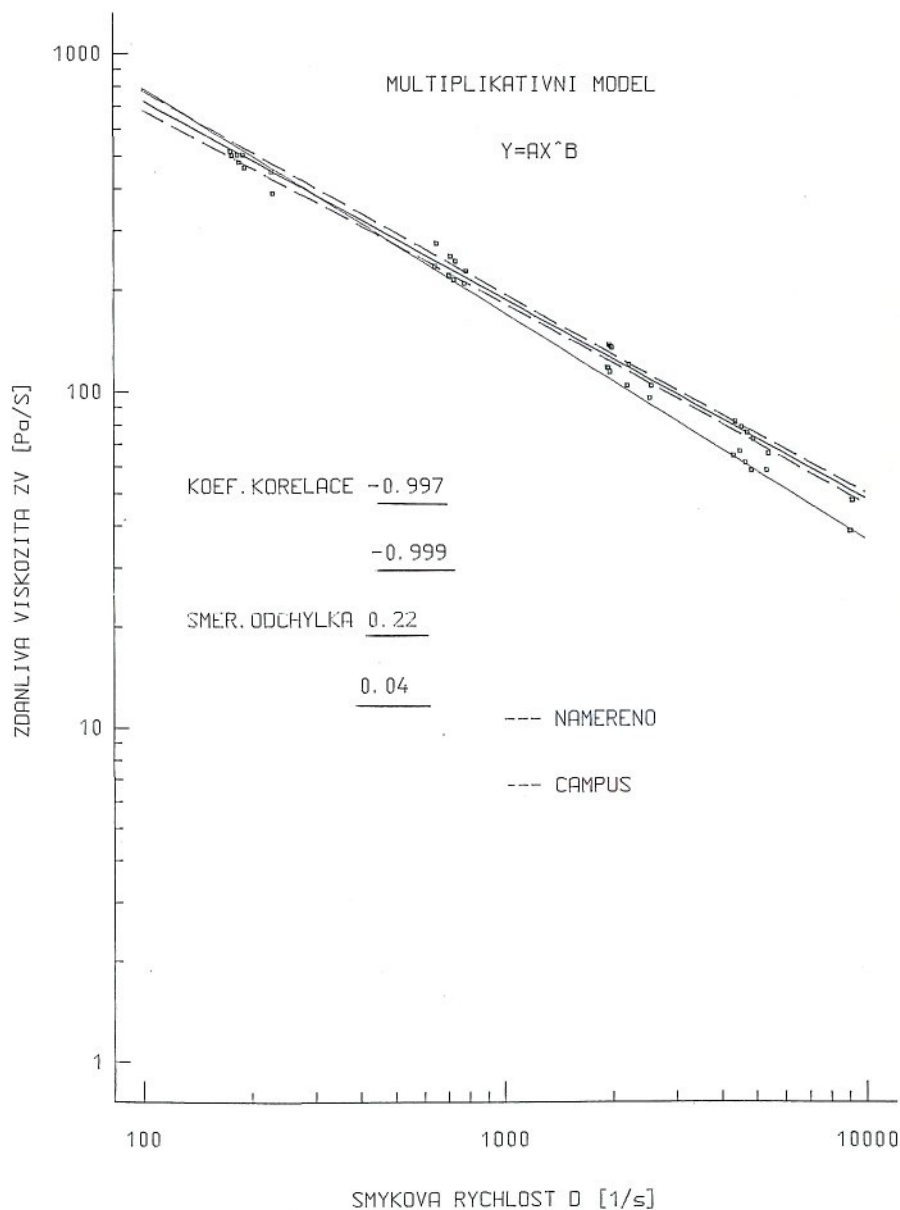


POROVNANI HODNOT REGRESI POLYSTYROL 2711

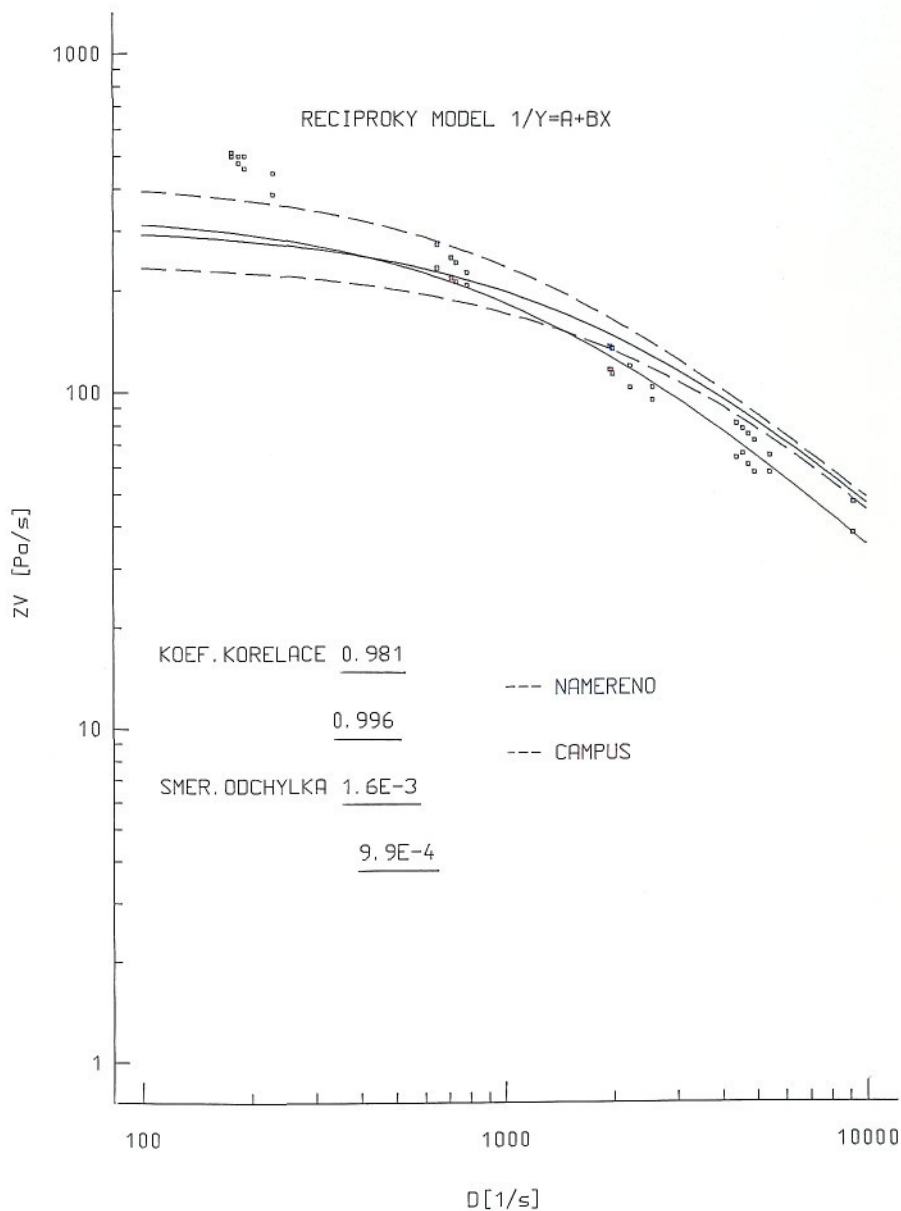


POROVNANI HODNOT REGRESNI ANALYZOU

TERLURAN 967 K

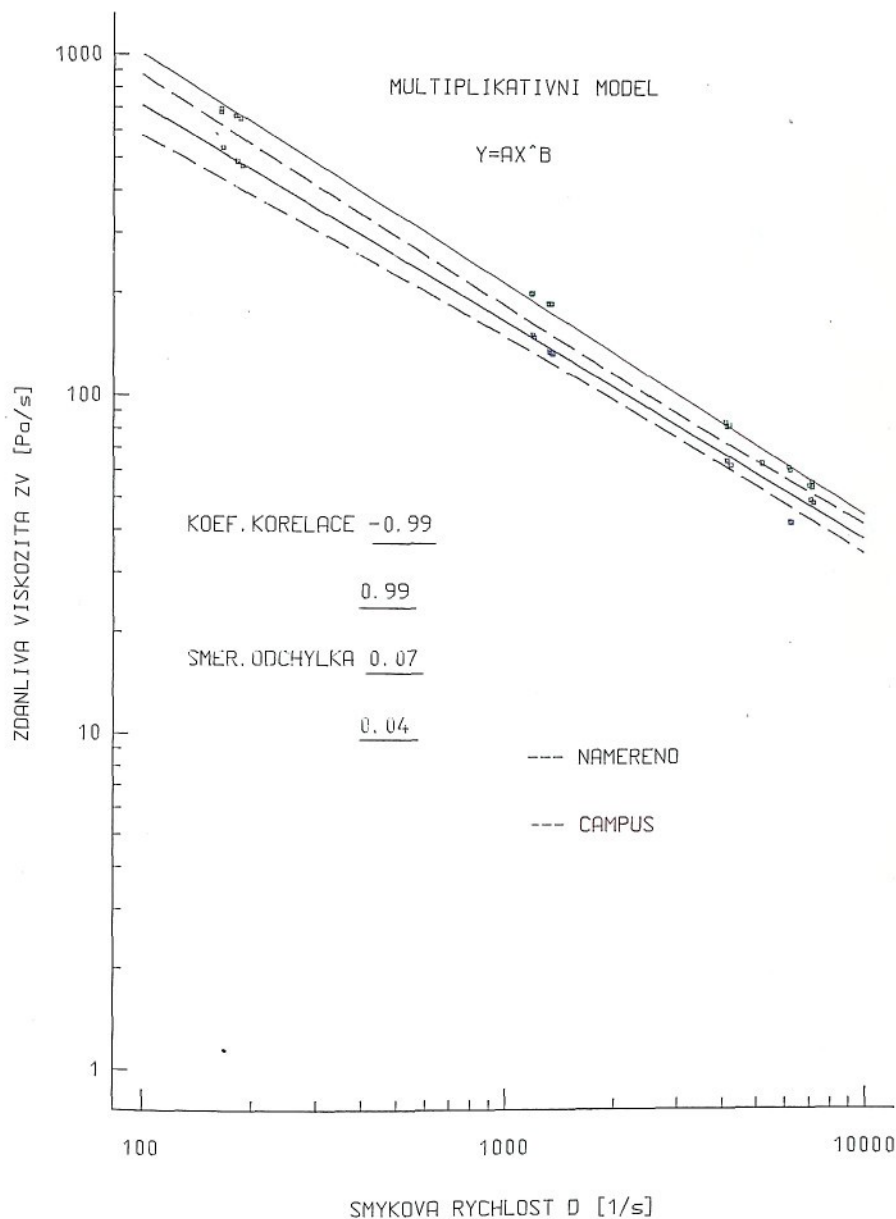


POROVNANI HODNOT REGRESI -TERLURAN 967K

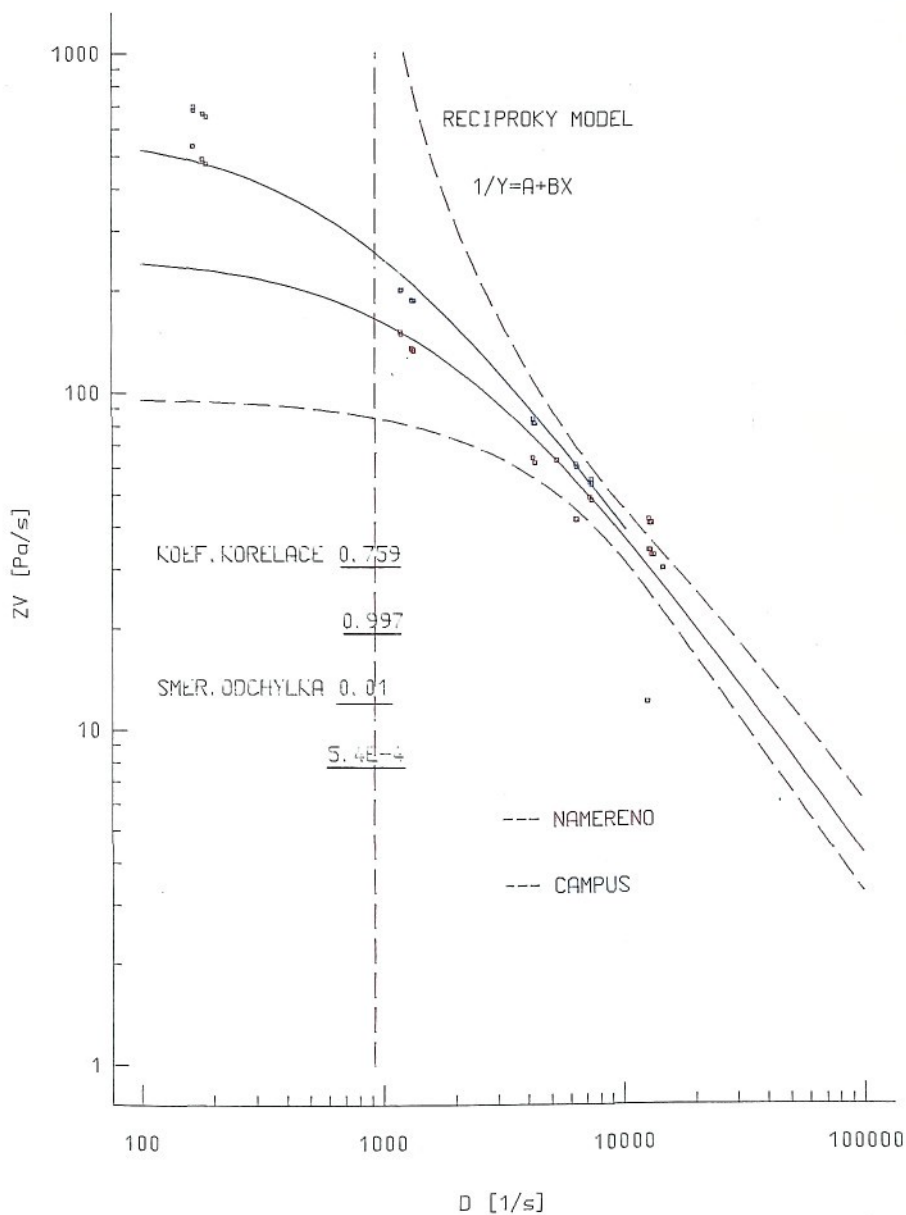


POROVNANI HODNOT REGRESNI ANALYZOU

LUSTRAN 440 AS



POROVNANI HODNOT REGRESI -LUSTRAN 440AS



LUSTRAN-ABS-240 °C				NOVOLEN 2300-PP-240 °C			
p[MPa]	D[1/s]	ZV[Pa/s]	ZVC[Pa/s]	p[MPa]	D[1/s]	ZV[Pa/s]	ZVC[Pa/s]
14	185	533	690	28.2	403	174	173
	186	472	645		385	182	181
	180	487	660		320	219	204
	165	533	676		403	174	169
	180	487	660		330	213	199
28.2	1299	135	186	42.3	1155	91	83
	1323	133	186		1010	104	83
	1312	134	188		1031	102	91
	1166	151	199		1010	104	85
	1176	149	200		1031	102	91
42.3	4151	63	81	56.4	1520	92	66
	4109	64	83		2608	54	42
	4211	62	81		2443	57	44
	6257	42	60		1405	100	72
	6188	42	61		2541	55	43
56.4	7220	48	54	70.5	5501	32	21
	7081	49	54		5472	32	21
	7220	48	55		5778	30	21
	7220	48	53		5776	30	20
	7220	48	53		5776	30	22
70.5	12953	33	—	84.5	10663	19	—
	12741	34	—		4389	48	—
	14440	30	—		10108	20	—
	12635	34	—		11124	19	—
	13238	33	—		6353	33	—
84.5	12484	42	—	105.7	30324	8	—
	12556	42	—		31046	8	—
	12635	41	—		27436	9	—
	12815	41	—		28880	9	—
	12635	41	—		24881	10	—

TERLURAN-ABS-240 °C				POLYSTYROL-hPS-230 °C			
p[MPa]	D[1/s]	ZV[Pa/s]	ZVC[Pa/s]	p[MPa]	D[1/s]	ZV[Pa/s]	ZVC[Pa/s]
14	181	459	500	21.4	597	88	117
	184	476	501		674	77	107
	228	385	446		667	79	102
	176	498	512		722	73	102
	176	500	512		630	83	107
28.2	722	243	213	42.3	2580	40	40
	700	251	218		2332	45	45
	841	274	234		2500	40	40
	773	227	208		2567	41	42
	700	251	220		2378	44	43
42.3	2190	120	104	53.4	7746	20	19
	1953	135	114		7235	21	20
	1940	136	117		7561	20	20
	2527	104	95		7351	21	20
	1925	137	114		7316	21	20
58.4	4873	72	58	84.5	18483	11	10
	4332	81	64		18511	11	10
	4512	78	65		19706	10	9
	5383	65	58		17579	12	10
	4671	75	61		7487	28	20
70.5	9241	47	38	105.7	37884	6	6
	10849	41	34		34656	7	7
	10541	41	35		36100	7	6
	9241	47	38		38506	6	6
	10469	42	35		33893	7	6
84.5	10489	50	34	141	68261	5	4
	11371	48	32		69312	5	4
	11371	46	31		69312	5	4
	10489	50	34		60848	5	4
	11732	45	31		69312	5	4