

Vysoká škola: **strojná a textilní**

Fakulta: **strojná**

Katedra: **tváření a plasty**

Školní rok: **1986/87**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Františka Oběhlého**

obor **strojírenská technologie**

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

Název tématu: **Vliv podmínek vstříkávání na vlastnosti
výstřiků z vyztužených termoplastů**

Zásady pro vypracování:

1. Popište proces vstříkávání termoplastů a vymezte hlavní faktory ovlivňující vlastnosti výstřiků.
2. Charakterizujte hlavní druhy plněných termoplastů obsahujících zejména vláknitá plniva.
3. Popište reologické poměry toku taveniny plastu **BS200** v dutině formy a odvoďte jejich vliv na rozložení vlastností ve výstřiku.
4. Navrhněte metodiku zkoušení vlastností u modelových těles z vyztuženého termoplastu a ověřte tyto metody.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte závěry pro praxi.

V 203 / 87 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÁ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy:

40-50 stran vč. grafů a tabulek

Seznam odborné literatury:

1. BAREŠ, Z. A. : Plasty a kaučuk, 22, 1985, s. 97, s. 289
2. OBANČÁLEK, L. Plasty a kaučuk, 22, 1985, s. 228 - 231
3. KALOUSKOVÁ, B. : Studium vlastností termoplastů vyztužených skleněnými vlákny. DP, VŠST, Liberec, 1986

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Josef Kreba, CSc.

Datum zadání diplomové práce:

25. 9. 1986

Termín odevzdání diplomové práce:

11. 5. 1987



Doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Vedoucí katedry

Doc. Ing. Ján Alexin, CSc.

Děkan

V Liberci dne 6. 10. 1986

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

Strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastických hmot

katedra tváření a plastů

Vliv podmínek vstřikování na vlastnosti

výstřiků z vyztužených termoplastů

František Obešlo

269

Vedoucí práce: Ing. Josef Krebs, CSc.

Rozsah práce a příloh

Počet stran	65
Počet příloh a tabulek	22
Počet obrázků	8
Počet výkresů	0
Počet modelů nebo jiných příloh	0

11. 5. 1987

OBSAH:

	str.
1. Úvod	10
2. Teoretická část	11
2.1. Vstřikování termoplastů	11
2.1.1. Princip vstřikování	11
2.1.2. Vliv zpracovávaného plastu na vlastnosti výstřiku	11
2.1.3. Vliv technologických podmínek na vlastnosti výstřiku	12
2.2. Složení plastů	16
2.2.1. Nevztlučující plniva	17
2.2.2. Vztlučující plniva	17
2.3. Složené materiály /kompozity/	20
2.4. Polyamidy a jejich vlastnosti	23
2.4.1. Polyamid - PA 6	23
2.4.2. Vlastnosti neplněného PA 6	23
2.4.3. Vlastnosti plněného PA 6	26
2.5. Makrostruktura a vlastnosti tyčí vyráběných vstřikováním termoplastů obsahujících krátká skleněná vlákna	27
2.6. Průběh plnění dutiny	28
3. Experimentální část	32
3.1. Výběr a příprava zkoušek	32
3.2. Zkouška tahem	34
3.3. Zkouška ohybem na přístroji Dynstat	41
3.4. Zkouška vrubové houževnatosti	47
3.5. Hodnocení výsledků	51

	str.
3.5.1. Testy extrémních odchylek	52
3.5.2. Faktorové pokusy 2^3	53
4. Závěr	61

Místopřísežné prohlášení :

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

V Liberci, dne 11.5.1987

František Obešlo

Obešlo

Děkuji s. ing. Josefu Krebsovi CSc. za vytvoření velmi dobrých podmínek k práci a cenné rady, odborné vedení a konzultace řešené problematiky.

Dále také děkuji všem pracovníkům KTP a dalších kateder, kteří mi pomohli při řešení daného úkolu.

Seznam použitých zkratek a symbolů:

PA ...	polyamid
PP ...	polypropylen
PC ...	polykarbonáty
č.m....	číslo měření
č.v....	číslo vzorku
SV ...	skelná vlákna
$\bar{x}$...	průměrná hodnota měření
S ...	směrodatná odchylka
x_i ...	hodnota i-tého měření
x'_n ...	maximální hodnota v souboru měřených hodnot
x'_1 ...	minimální hodnota v souboru měřených hodnot
n ...	počet měření
r ...	počet faktorů
d ...	počet kombinací
I. ...	testovací kritérium pro maximální hodnotu
II....	testovací kritérium pro minimální hodnotu
K_n ...	hodnota používaná k porovnání s testovacími kritérii
V	variační koeficient %/
ν ...	počet stupňů volnosti
α ...	hladina významnosti
T_{vs} ...	teplota vstřikování /°C/
T_f ...	teplota formy /°C/
p_v ...	vstřikovací tlak /MPa/
v ...	zatěžovací rychlost /mm.min. ⁻¹ /
F_z ...	zatěžovací síla /N/

$F_{\max}$... maximální zatěžovací síla /N/
 ΔL ... změna délky, prodloužení /mm/
 A_0 ... původní průřez /mm²/
 b ... šířka zkušebního tělesa /mm/
 h ... tloušťka zkušebního tělesa /mm/
 ε poměrné prodloužení /%/
 A ... tažnost /%/
 E ... modul pružnosti /MPa/
 σ_z ... mez pevnosti v tahu /MPa/
 σ_0 ... napětí v ohybu/MPa/
 σ_{070} ... smluvní napětí v ohybu odpovídající průhybu
 7° /MPa/
 σ_{013} ... smluvní napětí v ohybu odpovídající průhybu
 13° /MPa/
 M_0 ... ohybový moment /N.m/
 A_k ... energie potřebná k přeražení zkušebního tělesa
s vrubem /N.m/
 Q_k ... hodnota vrubové houževnatosti /kJ.m⁻²/
 Q_{kCh} ... hodnota vrubové houževnatosti získaná metodou
Charpy /kJ.m⁻²/
 Q_{kD} ... hodnota vrubové houževnatosti získaná metodou
Dynstat /kJ.m⁻²/
 h_k ... tloušťka zkušebního tělesa v místě vrubu /mm/
Obr.... obrázek
tab.... tabulka

Seznam příloh:

- I. Výpis programu, IQ 151
- II. Výpis programu, EC 1033
- III. Tahové diagramy PA 6.11.03 s různým obsahem SV
- IV. Tahový diagram PA 6.11.03
- V. Tahový diagram PA 6.11.03, zkušební těleso
s rovnovážným obsahem vlhkosti

1. ÚVOD

Rozvoj národního hospodářství úzce souvisí s jeho materiální základnou. Stoupající průmyslová výroba klade stále vyšší nároky na spotřebu surovin, což vede k intenzivnímu průzkumu jejich přírodních zdrojů i k hledání nových cest přípravy nových vhodných materiálů. K takové skupině materiálů patří i organické polymery, používané v praxi hlavně jako plasty a kaučuky.

Historie plastů ve srovnání s jinými materiály, které člověk na různých stupních vývoje používal, jako je kámen, dřevo, barevné kovy a konečně černé kovy, je krátká. První syntetický polymer byl připraven až v roce 1907 holandským chemikem Baekelandem. Ve dvacátých letech byly objeveny některé plasty vznikající polymerací.

K rychlému rozvoji výroby plastů však dochází hlavně po 2. světové válce. Rozvoj byl podstatně urychlen rozsáhlým výzkumem jak jejich přípravy, tak i struktury i intenzivním studiem jejich užitkových vlastností.

Výzkumu plastů se věnuje v současné době mnoho úsilí. Jednou z oblastí, které se věnuje velká pozornost, je i výzkum a vývoj vyztužených plastů tzv. kompozitů. Ve své práci se právě problematikou vyztužených plastů budu zabývat. Konkrétně se budu zabývat vlivem technologických podmínek vstřikování na vlastnosti výstřiků.

Tato práce je částí státního úkolu, který byl KPT uložen. Doufám, že její závěry pomohou alespoň částečně vyřešit zadané problémy.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Vstřikování termoplastů /1/

2.1.1. Princip vstřikování

Vstřikováním se rozumí takový způsob tváření polymerů, při němž je dávka zplastikovaného materiálu z tlakové komory vstřikována vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba zpracovávaného materiálu se v ní stále doplňuje. Vstřikování je jednou z nejdůležitějších technologií zpracování termoplastů. Slouží ke zhotovování konečných výrobků často velmi členitých tvarů a poměrně s přesnými rozměry. Hodí se pro velkosériovou a hromadnou výrobu.

Princip vstřikování termoplastů je následující. Plast ve tvaru granulí se nasype do zásobníků vstřikovacího stroje. Odtud přichází do tavicí komory, vyhřívané odporovými pásy, kde působením tepla taje a v roztaveném stavu je vstřikován pohybem šneku nebo pístu do dutiny vstřikovací formy. Forma je kovová a bývá chlazená vodou. Hmota zcela zaplní dutinu formy, čímž zaujme její tvar a ochlazením přijde do tuhého stavu. Potom se forma v dělicí rovině otevře a výrobek je z formy vyhozen vyhazovacím systémem. Nato se forma opět zavře a celý cyklus se opakuje.

2.1.2. Vliv zpracovávaného plastu na vlastnosti výstřiku

Z technologického hlediska má mít zpracovávaná hmota následující vlastnosti:

- a/ Dobré tokové vlastnosti, které rozhodují o tom, zda navržený tvar výstřiku bude vůbec možno vyrobit. Zabíhavost či tekutost roztaveného plastu závisí na molekulové hmotnosti polymeru, ale ta zase ovlivňuje mechanické vlastnosti. Tekutost se zvyšuje se snižující molekulovou hmotností, avšak mechanické vlastnosti se zhoršují. Proto je nutno volit určitý kompromis. Pro ovládní zpracovatelského procesu je také důležitá rychlost změny viskozity s teplotou. Pro zpracování není výhodné, když se tekutost mění s teplotou příliš rychle, protože se zvyšují nároky na přesnost regulace teploty.
- b/ Plast má mít dostatečnou tepelnou stabilitu v celém rozsahu zpracovatelských teplot. Polymery jako organické sloučeniny se při určité teplotě, která závisí na druhu plastu, začínají rozkládat.
- c/ Další požadavky: Hmota nesmí při zpracování uvolňovat těkavé látky, protože se tím zhoršují vlastnosti výrobku. Hmota má při smršťování vykazovat kontrolovatelnou míru smrštění, což souvisí s dosažitelnou rozměrovou přesností výstřiků a po ztuhnutí má vykazovat minimální vnitřní pnutí.

2.1.3. Vliv technologických podmínek

Při vstřikování termoplastů se uplatňuje celá řada technologických parametrů, z nichž každý se určitým způsobem podílí na vlastnostech finálního výrobku. Vliv jednotlivých faktorů však nelze brát izolovaně, protože spolu navzájem souvisí a ve svých účincích se buď doplňují ne-

bo si naopak odporují.

a/ Vstřikovací tlak

Při zvyšování vstřikovacího tlaku narůstá obvykle rychlost tečení taveniny do formy /není-li posuv pístu nebo šneku regulován/, což vyvolá zpočátku /do určité rychlosti/ zvýšenou orientaci makromolekul a tím zvýšení mechanické pevnosti ve směru orientace. Při velkých smykových rychlostech dochází vlivem vývinu tepla ke snížení viskozity. Experimentálně bylo zjištěno, že velikost tlaku ve formě klesá se vzdáleností od vtoku. Podobně se mění i ostatní uvedené faktory. Tlak ovlivňuje poměry v dutině formy během vstřikovacího cyklu až do doby zamrznutí vtoku, tj. během plnění a dotlaku. Z hlediska dodržení tvaru je třeba, aby doba doplňování byla co nejdelší a probíhala za vysokých tlaků; z hlediska izotropie mechanických vlastností je však požadavek obrácený.

b/ Teplota taveniny

Teplota zpracování hmoty výrazně ovlivňuje její viskozitu. S ohledem na požadavek optimální zabíhavosti se tedy jeví výhodné používat při vstřikování teploty co nejvyšší, ovšem s vyloučením degradace plastu. Se zvyšující se teplotou se zhoršují podmínky pro orientaci makromolekul. Nižší stupeň orientace způsobuje pak pokles mechanických vlastností ve směru orientace a snížení složky vnitřního pnutí z orientace. Toto vše platí pro konstantní rychlost plnění dutiny, což v praxi nelze obvykle dodržet. Snížená viskozita vyvolává i snížení odporu toku, takže tavenina teče rychleji. Tento jev působí naopak kladně na růst orientace.

c/ Teplota formy

Při určování teploty formy je nutno si uvědomit následující souvislosti: Čím vyšší je teplota formy, tím je větší zabíhavost hmoty a tím nižší může být vstřikovací tlak nebo delší dráha tečení. Současně se však prodlužuje vstřikovací cyklus vlivem pomalejšího ochlazování hmoty. Vyšší teplota formy příznivě ovlivňuje rychlost plnění dutiny formy, protože hmota si během toku udržuje vysokou tekutost. Výstřik chladne rovnoměrněji, takže se snižuje vnitřní pnutí a zlepšují se mechanické vlastnosti, u krystalických polymerů stoupá obsah krystalické fáze a tím i tuhost výstřiku, modul pružnosti, mez pevnosti, hustota a další. Vyšší teplota formy má za následek větší smrštění výstřiku během výroby, avšak rozměrová stabilita se zvýší.

d/ Doba dotlaku

Zkrácení doby dotlaku vede k rychlejšímu poklesu tlaku v dutině formy, což znamená zmenšení tlaku v okamžiku zatuhnutí vtoku i zmenšení zbytkového tlaku. Je-li zbytkový tlak příliš vysoký, výstřik pevně drží v dutině formy a při jeho vyhazování mechanickým způsobem snadno dojde k jeho deformaci nebo poškození. Výrobky obsahují vysoké vnitřní pnutí. Při velmi krátkém dotlaku a nedostatečném zbytkovém tlaku vznikají naopak na výrobcích propadlá místa /vtaženiny/ a jiné deformace.

Poznámka: Na vlastnosti výstřiků má vliv mnoho dalších parametrů, jako je vlastní konstrukce vstřikovací formy /hlavně vtokový systém/, vstřikovací stroj a další. Tato problematika je velice složitá, proto jsem se soustředil v popisu vlivu jednotlivých parametrů na vlastnosti výstřiku hlavně na parametry technologické.

2.2. Složení plastů /2/

Každý technicky používaný plast představuje směs několika látek. Nejdůležitější součástí je vlastní makromolekulární látka, která je nositelkou základních fyzikálně-mechanických vlastností. Označuje se jako pojivo. Pojivem je tedy například: polyamid, polyetylén, fenolformaldehydová pryskyřice atd. Vedle pojiva hmota obsahuje ještě přísady, které ovlivňují technologické a fyzikální vlastnosti hmoty.

Hlavní druhy přísad:

a/ Plniva

Přidávají se buď s cílem ovlivnit některé vlastnosti hmoty v příznivém směru např. za účelem zvýšení mechanických vlastností, chemické odolnosti apod., nebo proto, aby se snížila cena hmoty. Některá plniva nacházejí použití u mnoha druhů plastů, jiná se uplatňují jen u určité skupiny plastů. S ohledem na vztah mezi účinkem plniva a mechanickými vlastnostmi plastů se plniva rozdělují na vyztužující a nevyztužující.

b/ Stabilizátory

Jejich úkolem je zlepšit odolnost plastů při zpracování a prodloužit životnost výrobků při jejich používání.

c/ Maziva

Usnadňují zpracování plastů. Zlepšují tokové vlastnosti roztavené hmoty nebo zabraňují lepení výrobků na formu při zpracování.

d/ Barviva

Dodávají plastům požadované zabarvení. Používají se buď pigmenty tj. barevné prášky v případě požadavku neprůhlednosti plastů. V případě použití organického barviva se dociluje průhlednost.

e/ Změkčovačla

Zlepšují ohebnost a houževnatost hmoty. Používají se netěkavé organické kapaliny s vysokým bodem varu.

f/ Další přísady

Mohou sem patřit: iniciátory polyreakcí, tvrdidla apod.

2.2.1. Nevztlučující plniva

Obvykle se do hmoty přidávají ve formě prášku za účelem snížení ceny. Jsou to převážně anorganické moučky, jako rozemletý křemen, břidlice, křída, kaolin aj. Plnivy se zvláštními účinky je možno příznivě ovlivňovat i některé speciální vlastnosti hmoty. Například grafit a zirkon molybdeničitý zlepšují kluzné vlastnosti, práškové kovy zlepšují tepelnou vodivost, slída zlepšuje elektrické vlastnosti a tepelnou odolnost, plniva na bázi olova pohlcují rentgenovo záření. Obsah těchto plniv kolísá od několika procent do 70 - 80 %.

2.2.2. Vztlučující plniva

Jsou obvykle vláknitého typu a příznivě ovlivňují hlavně houževnatost a zpevňují i pevnost v tahu při současném zvýšení modulu pružnosti. Patří k nim i syntetická vlákna, vlákna skleněná či azbestová, u reaktoplastů pa-

pír a textil ve formě ústřížků nebo souvislých pásů. V poslední době se začínají pro speciální aplikace používat i vlákna uhlíková a kovová např. hliníková a bórová.

Skleněná vlákna jako plnivo a jejich vliv na vlastnosti plastů

V minulosti se tohoto plniva používalo ke zpevňování pryskyřic, převážně termoreaktivních, jako jsou polyestérová, fenolformaldehydová a močovinoformaldehydové pryskyřice. Získávaly se z těchto materiálů metodou lisování takzvané vrstvené materiály neboli lamináty, které měly vynikající vlastnosti.

S postupem času se však stále více používá skleněných vláken jako vyztužujícího plniva, u výrobků z termoplastů zhotovených technologií vstřikování. Vlastnosti některých nevyztužených a vyztužených druhů plastů uvádí tabulka č.1.

Jak je z tabulky zřejmé, vyznačují se vyztužené plasty vyššími hodnotami pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, modulu pružnosti a tepelné vodivosti. Naproti tomu se ale zmenšuje tažnost a tedy i houževnatost. Zmenšuje se koeficient teplotní roztažnosti a také kríp. Chemická odolnost polymeru se v podstatě nemění.

Tabulka č. 1 Vlastnosti některých nevyztužených plastů
a plastů vyztužených 30 % skleněných vlá-
ken

Vlastnost hmoty	D R U H P L A S T U					
	PA 6.6		PP		PC	
	A	B	A	B	A	B
měrná hmotnost /kg.m ⁻³ /	1140	1520	910	1240	1200	1520
pevnost v tahu /MPa/	84	217	40	56	66	150
pevnost v tlaku /MPa/	91	168	49	70	77	133
modul pružnosti /MPa/	2800	12600	1400	3700	2250	13000
tažnost / % /	200	2,5	700	2,5	100	1,5
dlouhodobá tep. odolnost /°C/	150	205	160	-	120	150
koef.tep.roztaž. /K ⁻¹ /.10 ⁻⁵	15	3,2	8,5	2	7	3,8

A - nevyztužený plast

B - vyztužený plast

2.3. Složené materiály /kompozity/ /3/

Makromolekulární látky /polymery/ se používají v technické praxi jako homogenní, izotropní materiály stále v omezenější míře. Důvodem je, jak už bylo ukázáno, že použitím plniv lze vhodně upravovat jejich vlastnosti.

Materiály, které vzniknou kombinací polymerů s jinými materiály, se nazývají materiály složené neboli kompozity.

Základní členění podle L.H.Sherlinga /tabulka č. 2/ uvádí tři skupiny :

- a/ Porézní materiály různého chemického složení, plněné polymery, které nevytvářejí spojitou bázi.
- b/ Vyztužené polymery, ve kterých polymerní složka vytváří základní spojitou matici.
- c/ Makroskopické kompozity, ve kterých polymerní a nepolymerní složky jsou zřetelně rozlišitelné pouhým okem.

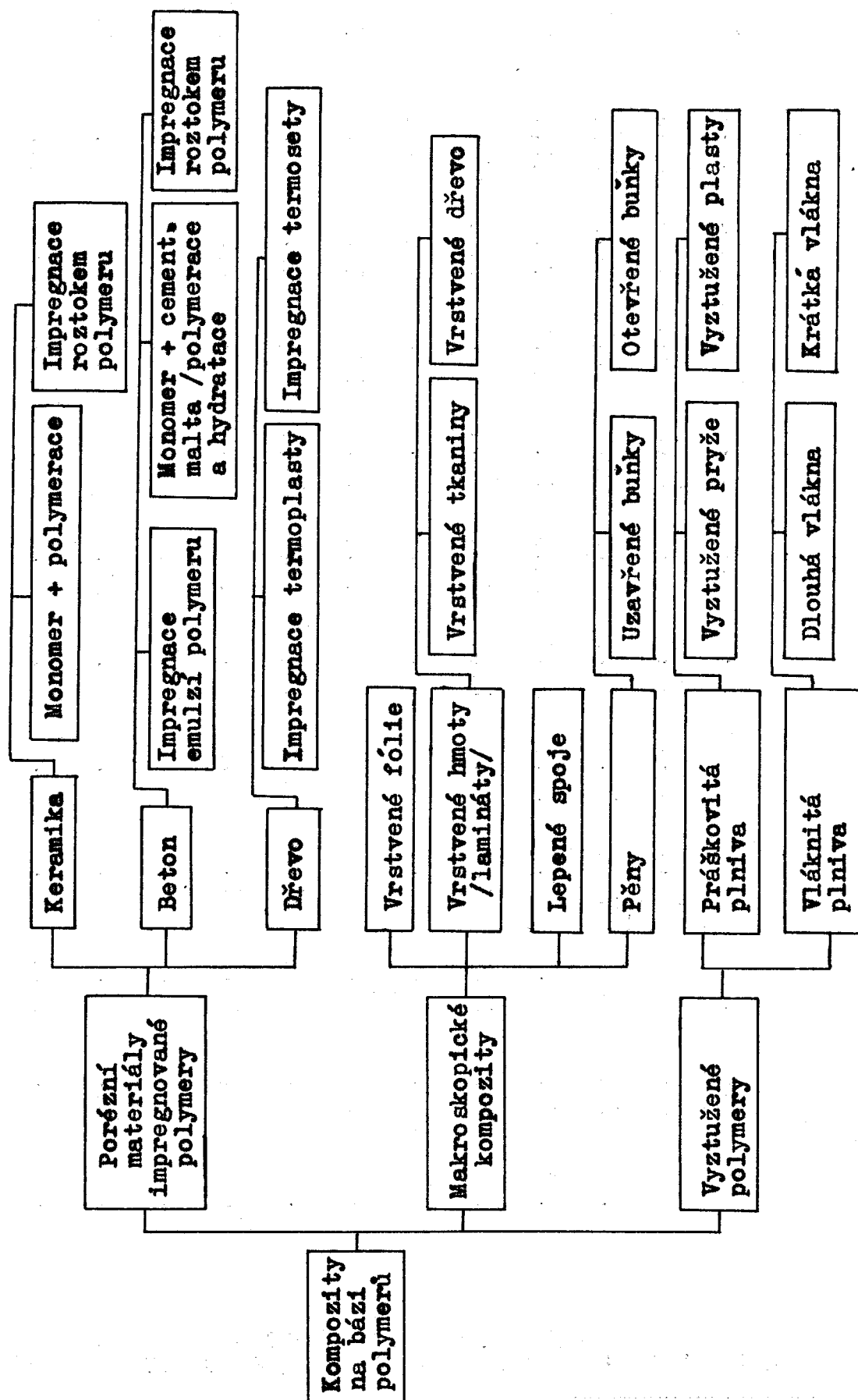
Ve skupině a/ mohou být porézní materiály keramika, beton a dřevo. Kompozit může být vyroben odlišným technologickým způsobem, jak je uvedeno v uvedených základních alternativách v tab. č. 2. Jde v podstatě o vyplnění dutin porézního materiálu reakce schopným monomermem, nebo impregnací polymerem ve formě roztoku či emulze. U kompozitů tohoto typu jsou částice polymeru zřetelně odděleny rozhraním, které tvoří základní, porézní materiál.

Vyztužené polymery, tvořící hlavní skupinu b/, se dělí na kompozity s práškovitým a s vláknitým plnivem.

Podle rozdílu ve vlastnostech v jednotlivých směrech namáhání lze dělit kompozity na homogenně a heterogenně ortotropní, homogenně a heterogenně anizotropní a kvazi-izotropní. Z hlediska mechanického namáhání mají vyztužující

vlákna za úkol přenášet napětí, polymerní matrice ochraňovat povrch vláken a přenášet napětí působící na vlákna do okolí. Kombinaci vyztužujícího vláknitého plniva a polymerní matrice nelze volit zcela libovolně. Pro získání optimálních vlastností musí mít matrice tažnost vždy o něco vyšší než vyztužující vláknité plnivo, které má mít vysokou pevnost a modul pružnosti. Důležitou roli má též soudržnost mezi matricí a vlákny. Při mechanickém namáhání je právě rozhraní zdrojem nejprve mikroskopických, později makroskopických trhlin.

Tabulka č. 2 : Rozdělení a charakteristika kompozitů, vyztužených plastů

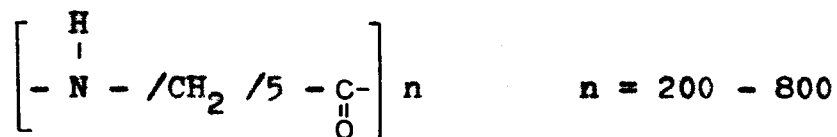


2.4. Polyamidy a jejich vlastnosti /2/

K polyamidům patří polymery, které obsahují v řetězci amidovou skupinu -NH-CO- . Ta je silně polární a podmiňuje tvorbu vodíkových můstků mezi atomy kyslíku, vodíku a dusíku v sousedních řetězcích. Vodíkový můstek způsobuje vysokou kohezi molekul a je příčinou některých vyjimečných vlastností polyamidu, např. jejich vysoké pevnosti. Polyamidy jsou vláknotvorné polymery s krystalickou strukturou. Polární skupina je také příčinou jejich hygroskopičnosti.

2.4.1. Polyamid - PA 6

PA 6 je polyamid na bázi - kaprolaktanu. Je tvořen lineárními molekulami umožňující krystalizaci



Obsah krystalické fáze však není vysoký /asi 25 - 45%/.

Krystalická fáze je tvořena speciálními kulovitými útvary, sférolity, které se v polarizovaném světle jeví jako maltézský kříž a dosahují velikosti asi 500 .

PA 6 je jedním z konstrukčních plastů s výhodnými mechanickými vlastnostmi, které se však mohou měnit v širokých mezích, protože závisí nejen na vlastnostech makromolekul, ale i na obsahu monomeru a vody.

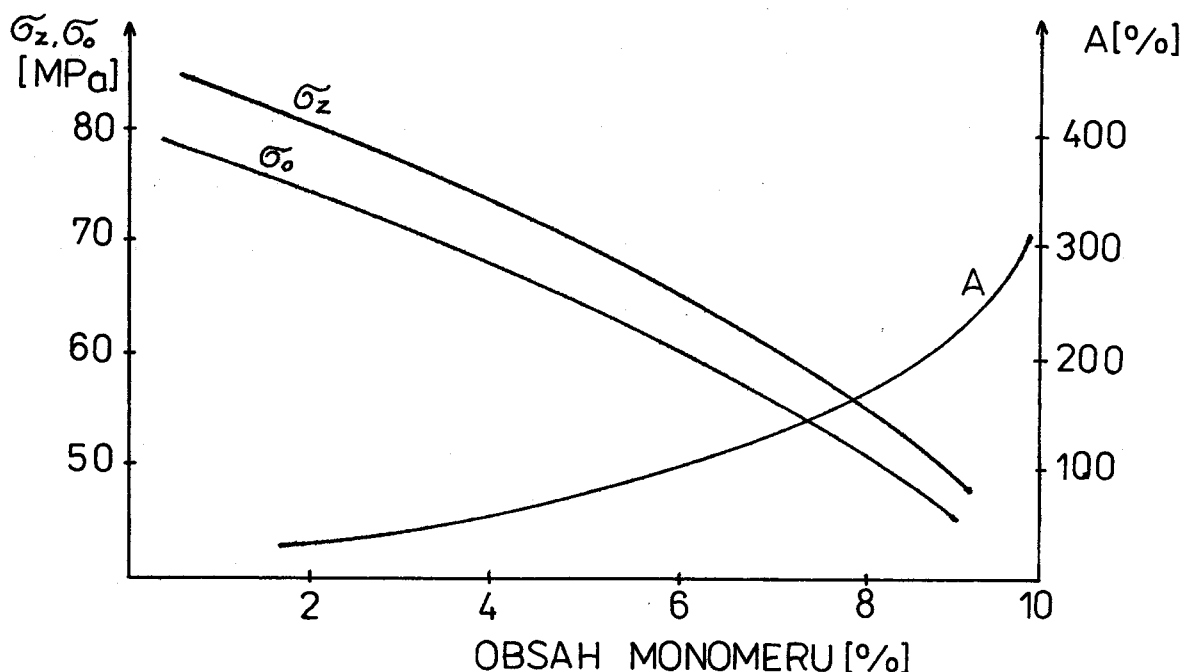
2.4.2. Vlastnosti neplněného PA 6

PA 6 je tvořen lineárními řetězci, molekulová hmotnost bývá 11 000 až 17 000, což odpovídá polymeračnímu stupni 100 až 160. Je to krystalický polymer. Obsah krystalické fáze závisí na podmínkách chlazení a pohybuje se od

25 do 45 %. Měrná hmotnost PA 6 je rovna 1120 až 1150 kg/m³.

PA 6 vykazuje velmi výhodné vlastnosti, které jej předurčují pro konstrukční aplikace. Při takové zkoušce vykazuje PA 6 diagram typický pro krystalický polymer. Vyznačuje se charakteristickou mezí kluzu, za níž dochází k velkému protažení. Monomer přítomný v PA působí jako změkčovaadlo, zvyšuje houževnatost, ale snižuje mez kluzu. Monomer ovlivňuje i jiné vlastnosti. Je-li obsah monomeru vyšší než 3 % postupně z výrobků vykvétá, což se projevuje jako šedý poprask na povrchu za současné ztráty lesku. Vliv obsahu monomeru na mechanické vlastnosti je na obr. č. 1.

Obr. č. 1. Vliv obsahu monomeru na vlastnosti PA 6



PA 6 patří k silně navlhavým materiálům. Jestliže je zcela prost vody, je velmi křehký. Z ovzduší postupně přejímá vlhkost a její rovnovážný obsah se při teplotě 20 °C a při 60 % relativní vlhkosti ustálí na 3,5 %. Při ponoře-

ní do vody však přijme až 10,6 % vody. Voda, podobně jako monomer, plní funkci změkčovadla.

Vlastnosti za normálních podmínek vykazuje neplněný PA 6 následující: mez pevnosti v tahu 40 až 60 MPa, modul pružnosti 600 až 1400 MPa, při rázové zkoušce tělesa nepraskají. PA 6 vyniká odolností proti opotřebení a nízkým koeficientem tření, asi 0,1. Je vhodným materiálem pro kluzná ložiska. K nevýhodným vlastnostem patří kríp, který se zvětšuje se zvyšujícím se obsahem vody a obsahem polymeru. Dále se kríp zvyšuje se stoupající teplotou a se stoupajícím zatížením.

Orientací krystalitů nastává zpevnění plastu. Jednoosé orientace se využívá u vláken, dvouosé u fólií. Zpevněný materiál vykazuje pevnost až 300 MPa. Tažnost je však malá a prakticky jen odpovídá dokonale pružné deformaci. Teplota tání PA 6 závisí na polymeračním stupni a obsahu monomeru. Nízkomolekulární PA s polymeračním stupněm 150 taje při 215 až 220 °C, vysokomolekulární typ s polymeračním stupněm 500 až 600 taje při teplotě 250 °C.

Výrobky z PA 6 jsou běžně použitelné při teplotě 120 °C, vyjímečně až 180 °C. Chceme-li však používat výrobky při teplotě nad 100 °C, musíme je předem temperovat.

Teplota zesklenní PA se udává +40 °C, absorbovaná voda ji však podstatně snižuje a výrobky ani při - 25 °C nejeví známky křehkosti. Měrné teplo PA 6 v tuhém stavu je 2,1 kJ/kg.K a v oblasti teploty tání vykazuje maximum. Stejně jako jiné plasty má i PA 6 velkou teplotní roztažnost, asi $15 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

PA 6 dobře odolává většině organických rozpouštědel, jako jsou chlorované uhlovodíky, estery, ketony /aceton/, aromatické uhlovodíky a alkoholy s výjimkou metylalkoholu, který ho porušuje. Odolává také tukům a olejům. Omezeně odolává zředěným kyselinám, koncentrovaným však nikoliv. Koncentrovaných kyselin, např. mravenčí, octové, solné, sírové, lze použít k rozpouštění i k lepení PA 6. Podobně se rozpouští ve fenolech a chlorovaných fenolech. Alkálie působí na PA pomaleji než kyseliny.

2.4.3. Vlastnosti plněného PA 6

Změnu vlastností PA lze dosáhnout použitím vhodných plniv. V poslední době se rozšiřuje používání PA plněného skleněnými vlákny o délce asi 0,5 mm. Delší vlákna je možno také použít, ale zhoršují zpracovatelské vlastnosti. Obsah skla se pohybuje kolem 30 %. Plněním se zvyšuje pevnost v tahu až na 210 MPa, pevnost v ohybu bývá až dvojnásobná, modul pružnosti až 7500 MPa. Zlepšuje se i tvarová stálost při vyšších teplotách a výrobky jsou trvale použitelné až do 200 °C. Tažnost PA 6 však klesá na 3 až 5 %, tepelná roztažnost se snižuje na 1/5 původní hodnoty, klesá také navlhavost a smrštění hmoty. Měrná hmotnost se zvyšuje asi na 1500 kg/m³. Cena hmoty je asi o 50 % vyšší než u neplněného PA 6, součásti však mohou být konstruovány s tenčími stěnami a jsou tedy úspornější.

Zlepšení kluzných vlastností se dosahuje přidavkem 5 až 20 % grafitu nebo 2,5 zirkonu molybdeničitého. Spékáním práškového PA obsahujícího až 90 % brusných nebo leštících plniv se vyrábějí brusné kotouče a pásy. Vyrábějí se

i speciální orientovaná vlákna, která obsahují brusivo. Jeho obsah v tomto případě bývá jen kolem 40 %. Zlepšení tepelných vlastností se dosáhne přidavkem kovových prášků. Při použití práškových plniv se musí počítat se zhoršením mechanických vlastností, zejména houževnatosti. Vyjímkou je hliníkový prach, který rázovou houževnatost naopak zvyšuje.

2.5. Makrostruktura a vlastnosti tyčí vyráběných vstřikováním termoplastů obsahujících krátká skleněná vlákna /4/

Dílce vyráběné vstřikováním semikrystalických termoplastů obsahujících jako plnivo skleněná vlákna krátkého typu vykazují kromě orientace molekul a krystalitů /mikrostruktura/ také charakteristickou orientaci vyztužujících materiálů /makrostruktura/.

Příčiny vzniku makrostruktury tvářeného plastu při plnění dutiny formy záleží jednak ve smykových napětích provázejících tok roztaveného plastu, jednak v nelineárním poklesu tlaku ve směru dráhy toku. Přitom procesy vedoucí k vytváření makrostruktury jsou velmi komplikovaným způsobem ovlivňovány tvarem a řešením vtokových kanálů, vlastností hmoty a reologickými a termodynamickými podmínkami vstřikování.

Největší vliv na tvorbu uspořádání struktury skleněných vláken termoplastu vyztuženého sklem má geometrie vstřikovaného dílce. Při jeho daném tvaru určují makrostrukturu hlavně tloušťka stěny a druh a umístění vtoků. Změna technologických parametrů při vstřikování pak vyvolává jen větší či menší rozdíly ve struktuře.

Orientovaný stav výztuže v tvářeném dílci způsobuje význačnou anizotropii mechanických vlastností i rozměrové změny výrobku jak při vlastní výrobě, tak i při aplikaci.

2.6. Průběh plnění dutiny formy /1/

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

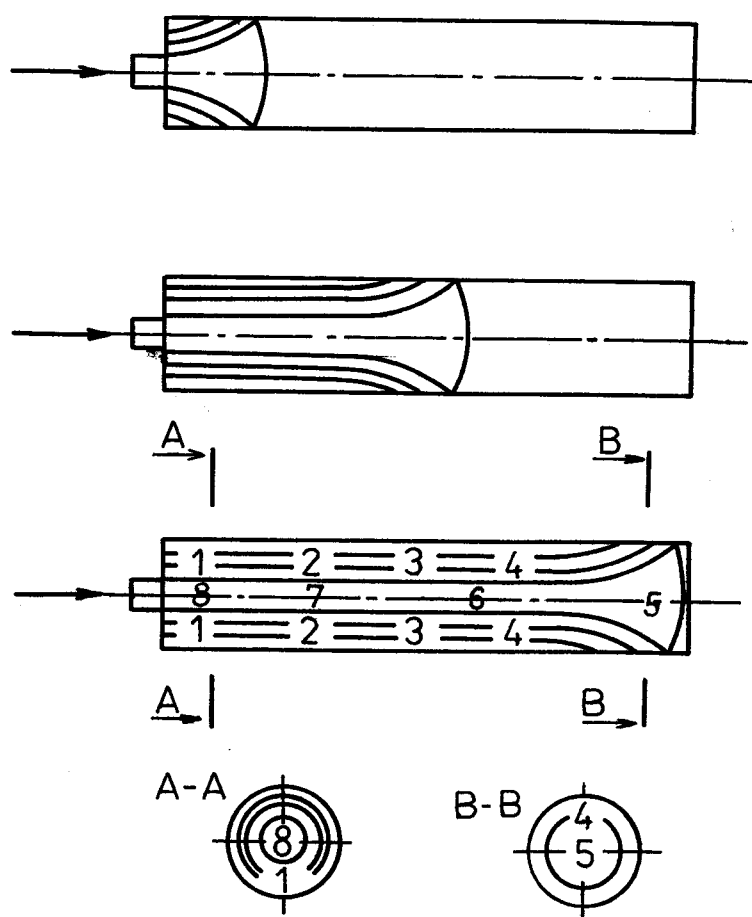
Při popisu průběhu zaplňování dutiny formy roztavenou hmotou je nutno vzít v úvahu, že teplota formy je vždy podstatně nižší než je teplota tuhnutí příslušného plastu. Je tedy možno dobře předpokládat, že jakmile tavenina přijde do styku s povrchem dutiny formy, okamžitě ztuhne a na stěně vytvoří vrstvu nepohyblivé hmoty. Směrem k ose dutiny se však teplota hmoty zvyšuje, protože povrchové vrstvy působí jako tepelný izolátor.

Současně se stoupající teplotou hmoty klesá její viskozita, takže uvnitř dutiny se vytváří zóna hmoty s nízkou viskozitou umožňující průtok další taveniny. Tato nízkoviskozní zóna se nazývá "plastické jádro". Hmota, která se nachází v plastickém jádru, je další dávkou hmoty vtlačována do dutiny formy a na čele postupujícího proudu se roztéká směrem ke stěnám. Tímto mechanismem probíhá proces až do komplexního zaplnění dutiny formy.

Jestliže bychom celou dávku hmoty potřebnou k vyplnění celé dutiny rozdělili na 8 dílů a očíslovali místa, kde

se jednotlivé díly nacházejí ve výrobku /viz. obr. č. 2/ vidíme, že na stěnách dutiny se v okolí vtoku nachází hmota, která do dutiny vstoupila jako první, dále na stěně dávka číslo 2,3 atd., zatímco dávky vtlačené jako poslední se nacházejí ve středu dutiny. V okolí vtoku zůstane ve styku hmota, která přišla do dutiny první a dále poslední tzn. díl hmoty, který se již nejvíc ochladil /díln. č. 1/ a díl hmoty s nejvyšší teplotou /díln. č. 8/. To vede ke vzniku velkých vnitřních pnutí v okolí vtoku a toto místo je náchylné k prasknutí.

Obr. č. 2. Průběh plnění dutiny



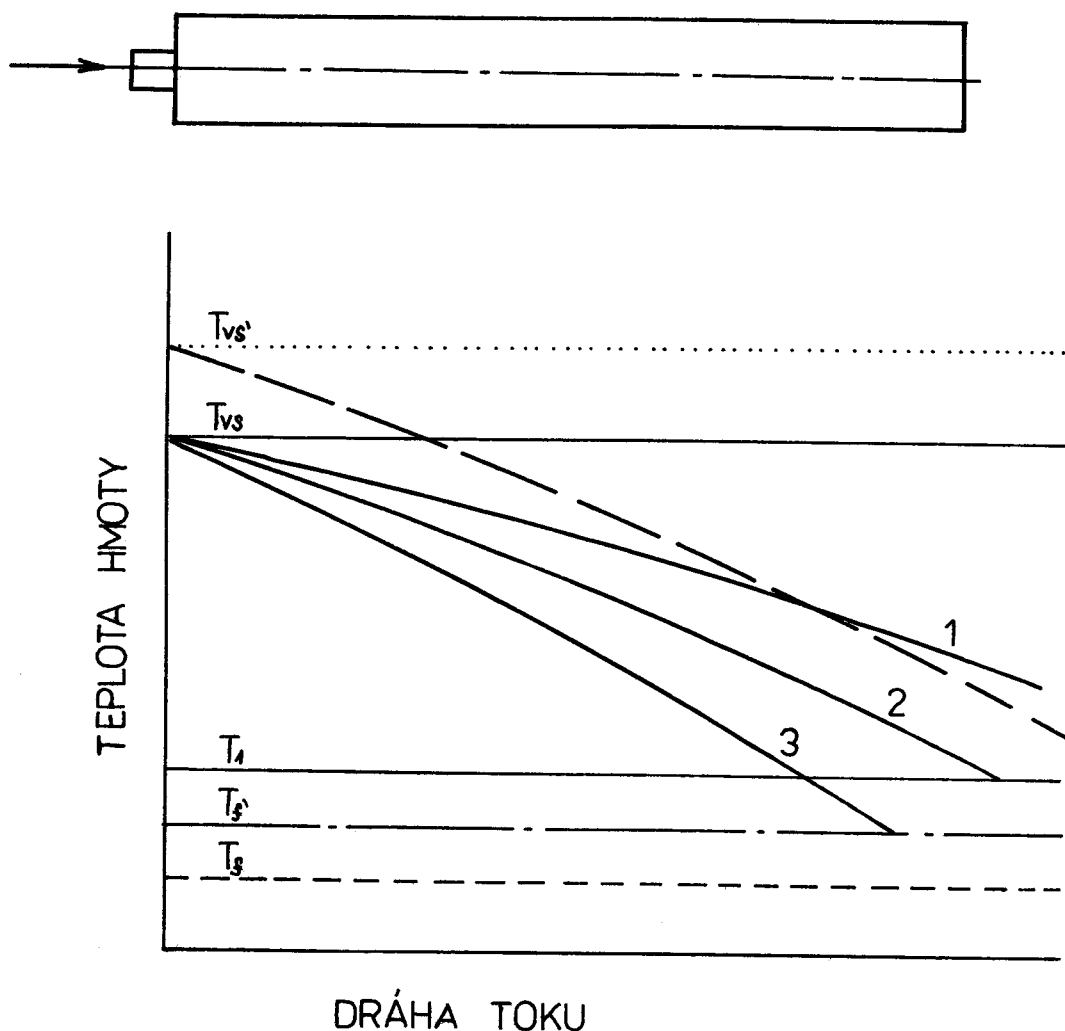
Popsané schéma plnění je poněkud zjednodušeno, protože ve skutečnosti v řezu B - B' není průřez tvořen jen podílem č. 1 a 8, ale i mezivrstvami všech dalších podílů, avšak rozhodující průřez představují opravdu podíly č. 1 a 8.

Plnění dutiny formy probíhá při neizotermických podmínkách, kdy hmota je formou ochlazována. Brzdící účinek stěn se projevuje nejen na profilu tekoucí hmoty napříč dutinou, ale stejně tak v ploše dutiny. Jak již bylo uvedeno, nízká teplota taveniny v blízkosti stěn je provázena zvýšením viskozity a výsledkem je rychlejší tok taveniny v oblasti plastického jádra. Tím dochází k zakřivení čela pohybující se taveniny, kdy střední část odpovídá vrcholu paraboly.

Vztah mezi rychlostí ochlazování hmoty a rychlostí plnění dutiny formy do značné míry rozhoduje o tom, zda bude vůbec možno požadovaný tvar výrobku zhotovit. Kromě teplotních parametrů má velký význam poměr ochlazovaného objemu k ochlazovacímu povrchu. Ten je nejpříznivější u kruhového průřezu. Čím je tento poměr méně příznivý, tzn. čím je ochlazující povrch větší, tím rychleji hmota chladne. Schematicky jsou tyto poměry znázorněny na obr. č. 3. Dlouhý výrobek je vstřikován bočním vtokem. Hmota vstupuje do dutiny o teplotě T_{vs} a během průtoku se její teplota snižuje. Využitelnou tekutost si zachovává až do teploty T_1 , která představuje spodní teplotu zpracování. Má-li dojít k dokonalému zaplnění celé dutiny formy, musí být teplota hmoty i na konci dráhy stále ještě vyšší než T_1 . Jestliže však během toku klesne teplota pod tuto mez, čelo postupující taveniny zatuhne a dutina zůstane nevyplněná. Vzniká tak nedostříknutý zmetek. Nastane-li takový případ

je možno provést několik opatření. Zvýšením vstřikovací teploty T_{vs} se jednak zvýší rychlost plnění dutiny a tedy zkrátí doba, během níž je hmota ochlazována, jednak se prodlouží doba chladnutí a tím se zvětší interval do dosažení T_1 . Rychlost ochlazení lze také zmenšit zvýšením teploty formy. Zvýšením vstřikovacího tlaku se rovněž zkrátí doba plnění. V případě, že by žádné z těchto opatření nepřineslo žádoucí účinek, je nutno zvolit tekutější typ plastu nebo případně provést úpravu vtokového systému.

Obr. č. 3. Závislost délky dráhy toku na teplotě taveniny



3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

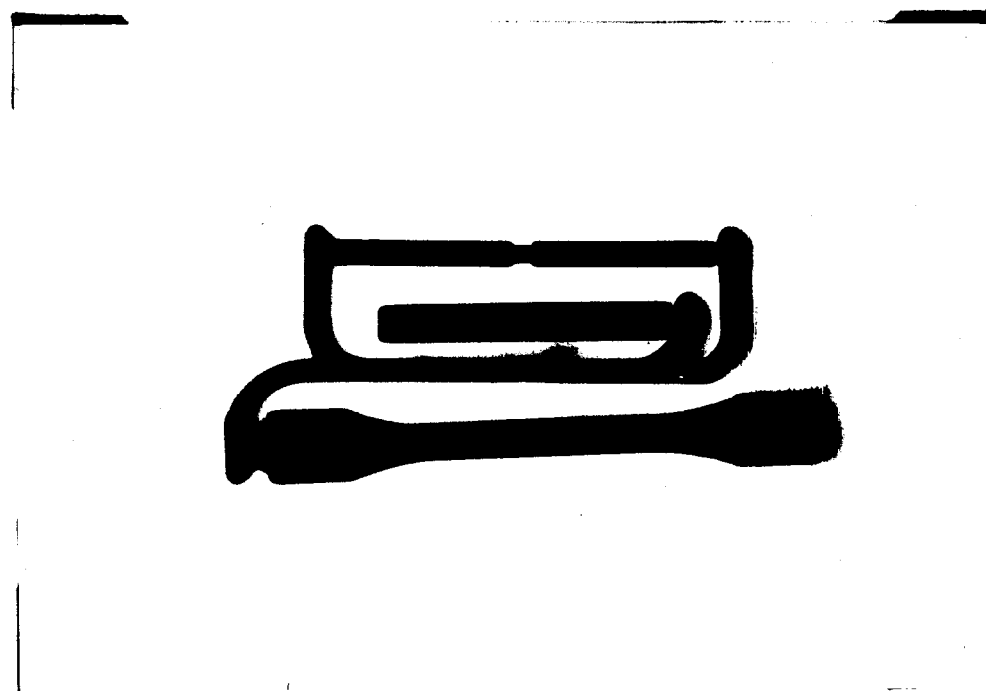
Úkolem experimentální části mé diplomové práce bylo popsat vliv technologických podmínek vstřikování /teploty formy a vstřikovacího tlaku/ na mechanické vlastnosti plněného a neplněného PA 6 a navrhnout metodiku jeho zkoumání.

3.1. Výběr a příprava zkoušek

Jako zkušební materiál jsem obdržel neplněný PA 6 - PA 6.11.03 a plněný PA 6 - PA 6.11.03-SV 30, vyráběný pod obchodním názvem Silamid /výrobce Povážské chemické závody n.p. Žilina/. S přihlédnutím k důležitosti jednotlivých vlastností, možnostech katedry a vybavení laboratoře jsem se rozhodl provést tyto zkoušky: zkoušku tahem, zkoušku ohybem na přístroji Dynstat, zkoušku vrubové houževnatosti na přístroji Dynstat a na přístroji Charpy.

Zkušební tělesa byla vstřikována na stroji CS 98/63 ve formě kombinovaného výstřiku /viz. obr. 4/. Odstraněním vtokového systému jsem dostal zkušební tělesa pro zkoušku tahem /největší těleso/. Středně velké těleso jsem použil pro výrobu ostatních zkušebních těles pro další zkoušky.

Zkušební tělesa byla vstřikována za konstantní teploty vstřikování, ale při různé teplotě formy a při rozdílném vstřikovacím tlaku. Změna vstřikovacího tlaku byla docílena změnou tlaku v hydraulickém systému ovládání šneku.



Pro lepší orientaci jsem provedl očíslování vzorků arabskými číslicemi od 1 do 12 podle rozdílných podmínek vstřikování a různého složení, jak ukazuje tabulka č. 3.

Tabulka č. 3 Označení vzorků

Číslo vzorku	% SV	T_f / °C /	p_v /MPa/
1	0	40	75,62
2	0	40	151,24
3	0	80	75,62
4	0	80	151,24
5	15	40	75,62
6	15	40	151,24
7	15	80	75,62
8	15	80	151,24
9	30	40	75,62
10	30	40	151,24
11	30	80	75,62
12	30	80	151,24

Všechny zkoušky jsem prováděl na suchých zkušebních těleších /vlhkost je menší než 0,2 %/. Zkušební tělesa jsem sušil 4 hodiny při 110 °C.

U všech zkoušek byl soubor hodnot testován testem extrémních hodnot /viz. kap. 3.6.1./. Ze souboru hodnot byl vypočítán střední aritmetický průměr $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

směrodatná odchylka

$$s = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

a variační koeficient

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%]$$

3.2. Zkouška tahem

Cíl zkoušky

1. Určit mez pevnosti v tahu
2. Z tahového diagramu určit další vlastnosti - modul pružnosti v tahu E, tažnost A, měrnou deformační práci.
3. Porovnat vlastnosti v závislosti na rozdílném obsahu SV a rozdílných podmínkách vstřikování.

Realizace zkoušky

Zkoušku jsem prováděl podle ČSN 640605. Použil jsem typ zkušebního tělesa č. 2. Zatěžovací rychlost jsem dle normy zvolil $v = 50 \text{ mm/min}$. Zkouška byla provedena na měřícím zařízení Instron. Během zkoušky se teplota pohybovala v rozmezí $20 - 21^\circ\text{C}$, relativní vlhkost byla 60 %.

Z každé zkoušky jsem získal zápis tahového diagramu /závislost $F_z - L$ /. Mez úměrnosti ani mez kluzu nebyly

na diagramu patrné, proto jsem je také neurčil.
Mez pevnosti byla vypočítána ze vztahu

$$\sigma_z = \frac{F_{\max}}{A_0}$$

kde σ_z je mez pevnosti v tahu /MPa/

$F_{\max}$ je maximální zatěžovací síla /N/

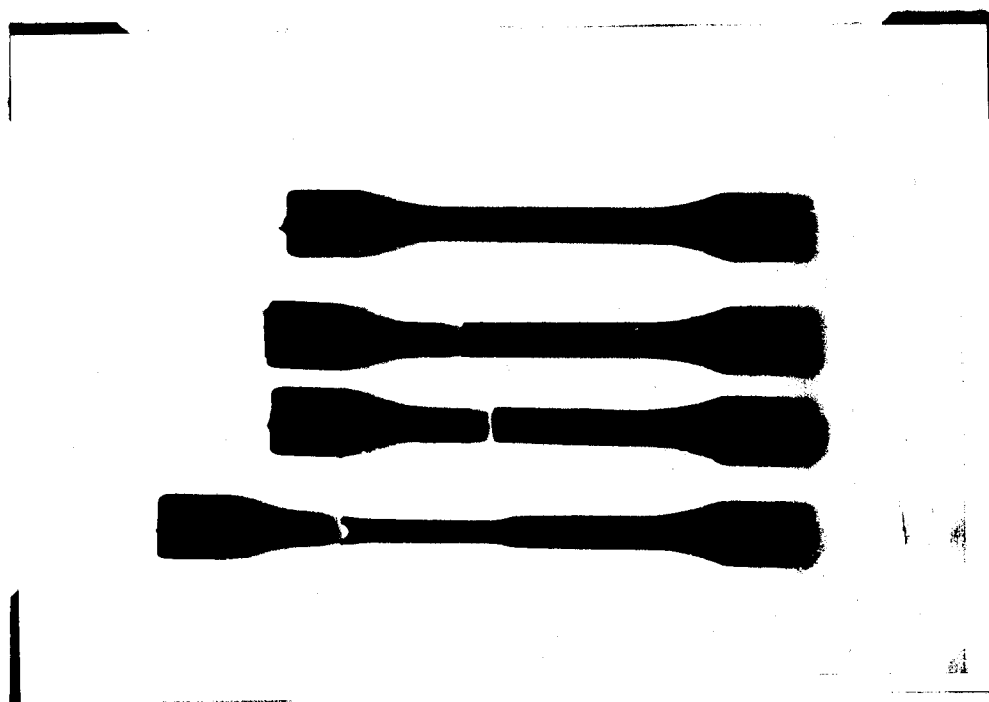
A_0 je původní průřez zkušebního tělesa v pracovní části /mm²/

Modul pružnosti v tahu jsem určil z tahového diagramu z hodnot odpovídajících poměrnému prodloužení $\varepsilon = 1\%$ a

$\varepsilon = 2\%$. Měrnou deformační práci L , což je práce spotřebovaná na přetržení zkušebního tělesa, jsem vypočítal z obsahu plochy pod tahovou křivkou. K určení plochy jsem použil planimetrii.

Příklad tahového diagramu je v příloze.

Obr. č.5



Naměřené a vypočtené hodnoty:

Tabulka č. 4 : Hodnoty meze pevnosti v tahu σ_z v MPa

Č.m. Č.v.	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	s	v
1	71,10	70,36	73,12	67,93	71,20	70,74	1,88	2,6
2	72,78	75,37	75,11	73,42	71,91	73,72	1,49	2,02
3	72,72	70,39	69,87	72,25	72,54	71,55	1,32	1,8
4	72,86	70,39	72,37	71,93	72,71	72,05	0,99	1,3
5	71,84	70,41	77,20	78,06	73,51	74,21	3,33	4,4
6	84,31	81,93	79,53	73,32	81,56	80,13	4,17	5,2
7	83,66	86,44	83,33	82,08	83,14	83,73	1,63	1,9
8	84,04	81,20	83,96	83,44	85,26	83,58	1,49	1,7
9	129,58	126,64	127,30	126,50	131,04	128,210	2,01	1,5
10	110,61	121,64	118,95	123,64	122,77	119,52	5,29	4,4
11	124,60	123,82	124,43	122,51	117,44	122,56	2,98	2,4
12	146,54	122,98	124,18	123,65	140,42	131,55	11,11	8,4

Tabulka č. 5 : Hodnoty tažnosti A v %

Č.m. Č.v.	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	s	v
1	2,74	3,44	3,42	2,66	3,57	3,17	0,43	13,6
2	2,79	3,50	3,19	3,45	3,70	3,33	0,35	10,5
3	3,54	3,50	2,99	3,38	3,37	3,36	0,22	6,5
4	2,60	3,03	2,89	3,18	3,30	3,00	0,28	9,1
5	2,30	2,17	2,55	2,58	2,34	2,38	0,17	7,3
6	3,13	2,93	2,68	2,23	2,77	2,75	0,33	12,1
7	3,01	3,06	3,24	2,87	3,00	3,04	0,13	4,2
8	2,92	2,88	2,89	2,87	2,94	2,90	0,03	1,0
9	3,28	3,36	3,37	3,40	3,44	3,37	0,06	1,7
10	3,06	3,46	3,44	3,43	3,38	3,35	0,17	5,1
11	3,49	3,36	3,39	3,57	3,22	3,41	0,14	3,9
12	3,97	3,43	3,29	3,46	3,73	3,57	0,27	7,6

Tabulka č. 6 : Hodnoty modulu pružnosti v tahu E v MPa
získaného z hodnot odečtených při $\varepsilon = 1\%$

Č.m. Č.v.	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	S	V
1		1126,96	1106,09	1140,87	1140,87	1128,70	16,43	1,4
2		1168,69	1474,78	1175,65	1161,74	1245,22	153,15	12,3
3			1210,43	1133,91	1370,43	1238,26	120,69	8,8
4		1182,61	1349,57	1683,48	1280,00	1373,91	217,44	15,8
5	1391,30	1408,69	1426,09	1373,91	1391,30	1398,24	19,79	1,4
6	1321,73	1356,52	1373,91	1408,70	1426,08	1377,39	41,5	3,0
7	1443,48	1373,91	1304,35	1339,13	1321,73	1356,52	54,99	4,0
8	1391,30	1408,69	1391,30	1426,09	1426,09	1408,69	17,39	1,2
9	2017,39	1982,61	1813,47	2052,17		1966,41	105,84	5,4
10	2000,00	1947,82	1913,04	1982,61	1791,30	1926,95	82,86	4,3
11	1843,48	1913,04	1791,30	1826,09	1860,87	1846,95	45,02	2,4
12	1982,61	1808,70	2017,39	1947,83	2052,17	1961,74	93,97	4,8

Tabulka č. 7 : Hodnoty modulu pružnosti v tahu E v MPa
získaného z hodnot odečtených při $\xi = 2\%$

Č.m. Č.v.	1	2	3	4	5	$\bar{E}$	S	V
1		932,17	987,83	1081,74	980,87	995,65	62,51	6,2
2		1050,43	1182,60	1001,74	1120,00	1088,69	79,21	7,3
3			1015,65	982,63	1085,22	1027,90	52,28	5,1
4		980,87	1182,61	1057,39	1078,26	1074,78	83,19	7,7
5	1147,83	1173,91	1165,22	1156,52	1173,91	1163,48	11,34	0,9
6	1095,65	1130,43	1165,22	1217,39	1200,00	1161,74	49,48	4,2
7	1104,35	1139,13	1060,87	1130,44	1113,04	1109,57	30,49	2,7
8	1173,91	1156,52	1182,61	1191,30	1182,61	1177,39	13,19	1,1
9	1634,98	1617,39	1530,43	1634,78		1604,35	49,95	3,1
10	1582,61	1565,22	1513,04	1565,21	1478,26	1540,87	43,65	2,8
11	1495,65	1547,83	1495,65	1460,87	1513,04	1502,61	31,57	2,1
12	1634,78	1547,83	1652,17	1582,61	1652,17	1613,91	46,66	2,9

Tabulka č. 8 : Hodnoty deformační práce L v kJ/m^2

Č.v. Č.m.	1	2	3	4	5	Σ	s	V
1	76,88	76,53	66,28	55,34	95,99	74,20	15,05	20,2
2	79,56	88,65	95,52			87,91	8,00	9,1
3	90,21	88,13	114,39	92,26	90,28	95,05	10,90	11,5
4	63,02		63,72	81,52	78,05	71,57	9,58	13,4
5	113,09	106,59	137,53	142,85	119,40	123,89	15,66	12,6
6	187,38	170,43	150,34	116,25	169,06	158,69	27,10	17,1
7	173,39	206,88	195,45	162,55	175,36	182,73	17,98	9,8
8	178,32	171,42	169,45	168,86	176,15	178,84	4,19	2,3
9	307,57	311,31	305,60	325,50		312,49	8,99	2,8
10		266,98	299,09	313,09	300,08	294,81	19,62	6,6
11	312,10	288,66	294,37	385,20	318,61	319,79	38,58	12,0
12	412,98	301,86	301,26	314,27	373,97	340,87	50,2	14,7

Zhodnocení výsledků

Pomocí této zkoušky bylo zjištěno množství hodnot, to umožňuje dobře popsat chování materiálu. Z tab. č. 4 je zřejmé, že s rostoucím obsahem SV roste i mez pevnosti v tahu. Dále vidíme, že u PA 6.11.03 s 15-ti procentním obsahem SV vzroste pevnost přibližně pouze o 14 %. Ale při dvojnásobném obsahu SV /30 % SV/ vzroste pevnost až o 80 %. To ukazuje na to, že používat PA 6.11.03 s 15-ti procentním obsahem SV je nevhodné.

S rostoucím obsahem SV roste i modul pružnosti v tahu a měrná deformační práce, ale také tažnost. Vysvětlení proč roste i tažnost, hledejme v tom, že zkoušíme suchá tělesa.

S vyšší teplotou formy je vyšší i mez pevnosti v tahu a měrná deformační práce. Vliv teploty formy na tažnost a modul pružnosti není jednoznačný.

Vliv vstřikovacího tlaku není jednoznačný.

Na obr. č. 5 je zobrazeno nepřetržené zkušební těleso /horní/, další dvě jsou zkušební tělesa s 30-ti procentním obsahem SV a bez SV. Pro zajímavost jsem uvedl i zkušební těleso s rovnovážným obsahem vlhkosti. Všechna suchá zkušební tělesa vykazovala po přetržení křehký lom, jejich morfologie je však rozdílná.

3.3. Zkouška ohybem na přístroji Dynstat

Cíl zkoušky

1. Určit mez v pevnosti popřípadě smluvní mez v ohybu při průhybu 7 °

2. Popsat chování materiálu při namáhání ohybem v závislosti na rozdílném obsahu SV a rozdílné teploty formy a vstřikovacím tlaku.

Realizace zkoušky:

Zkoušku jsem prováděl dle ČSN 640608. Zkušební těleso měla velikost 10x15x4 mm. Vyráběl jsem je ze středně velkých těles rozřezáním na horizontální frézce.

Při vlastní realizaci zkoušky jsem se snažil dodržet konstantní rychlost zatěžování. Abych získal co největší poznatky o chování materiálů, určoval jsem zatížení M_0 nejenom při průhybu 7° , jak předepisuje norma, ale pokračoval jsem v zatěžování dále až do přelomení zkušebního tělesa nebo do docílení maximálního průhybu $/62^\circ/$ či maximálního zatížení $/4 \text{ N}\cdot\text{m}/$.

Vyhodnocení zkoušky:

Napětí pro různé průhyby jsem vypočítal podle vzorce

$$\sigma_0 = \frac{6 \cdot M_0}{b \cdot h^2}$$

kde σ_0 je napětí v ohybu v MPa

M_0 je ohybový moment v N.mm

b je šířka zkušebního tělesa v mm

h je výška zkušebního tělesa v mm

Během zkoušky byla teplota v laboratoři 23°C , relativní vlhkost 58 %.

Vyhodnocení výsledků:

Z tabulek je patrné, že smluvní napětí v ohybu při

průhybu 13° roste se zvětšujícím se obsahem SV a s rostoucí teplotou formy. U_{Q_1} je pouze jednoznačná závislost na SV.

Vliv vstřikovacího tlaku není opět jednoznačný. Zkušební tělesa se při zatěžování chovaly různě, a to hlavně v závislosti na obsahu SV.

a/ Zkušební tělesa s 0 % SV

Tato zkušební tělesa při zatěžování vykazovala velký průhyb. Takřka u všech bylo dosaženo maximálního dosažitelného průhybu na přístroji Dynstat a to 62° , aniž by se těleso porušilo. Nebylo však docíleno maximálního zatížení.

b/ Zkušební tělesa s 15 % SV

Tato tělesa se jako jediná při zatěžování přelomila. V průměru docílovala mez pevnosti v ohybu 125 MPa a v průhybu 16° . Protože z meze pevnosti v ohybu nešlo vyčíst žádné závislosti, neuvádím jeho hodnoty.

c/ Zkušební tělesa s 30 % SV

Tato tělesa se opět neporušila. Bylo u nich však docíleno dříve maximální zatížení /4 N.m/ maximálního průhybu

Naměřené a vypočtené hodnoty :

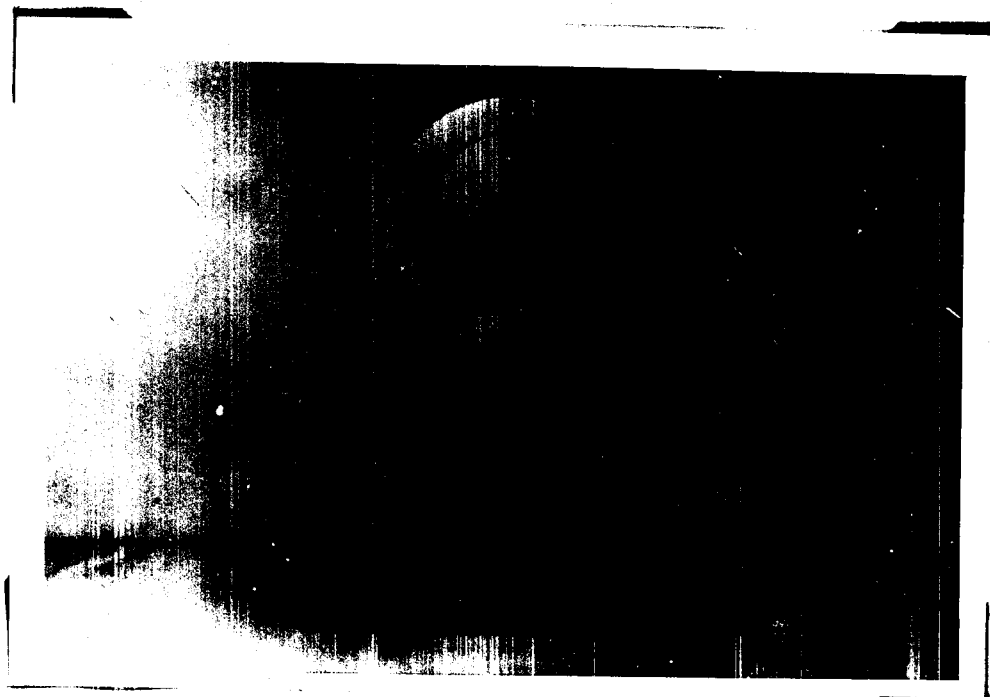
Tabulka č. 9 : Hodnoty smluvního napětí σ ohybu při průhybu daném úhlem 7° v MPa

Č.v. Č.m.	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	8	σ
1	42,43	42,47	36,90	34,12	42,05	39,59	3,86	9,7
2	33,37	29,90	34,97	42,70	40,20	36,22	5,18	14,3
3	45,03	51,21	49,99	46,46	46,46	47,83	2,63	5,5
4	40,38	40,02	45,68	47,27	49,9	44,65	4,33	9,7
5	46,372	48,01	50,24	50,49	46,05	48,23	2,08	4,3
6	45,69	44,11	46,76	46,74	43,77	45,42	1,41	3,1
7	44,15	50,64	43,02	45,30	44,15	45,45	3,01	6,6
8	41,81	39,49	43,64	43,09	38,63	41,33	2,20	5,3
9	55,40	60,34	60,28	56,90	59,56	58,50	2,23	3,8
10	65,29	62,42	65,48	64,39	66,06	64,73	1,43	2,2
11	61,06	65,49	62,61	60,82	65,95	63,18	2,42	3,8
12	56,85	59,26	59,75	63,49	60,28	59,93	2,38	4,0

Tabulka č. 10 : Hodnoty smluvního napětí v ohybu při průhybu daném úhlem 13° v MPa

č.v. / č.m.	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	s	v
1	84,85	84,96	74,15	70,29	87,61	80,37	7,65	9,5
2	79,68	69,44	71,53	85,4	77,19	76,65	6,41	8,4
3	84,16	95,36	95,56	85,78	89,36	90,04	5,29	5,9
4	80,77	78,37	87,98	84,41	89,54	84,21	4,71	5,6
5	102,50	104,31	101,51	105,39	104,32	103,61	1,57	1,5
6	103,68	102,33	103,91	107,87	101,01	103,76	2,57	2,5
7	106,68	108,51	103,96	106,91	106,68	106,54	1,64	1,5
8	107,53	106,53	104,44	103,01	108,12	105,93	2,14	2,0
9	134,03	136,66	132,97	131,59	135,37	134,12	1,98	1,5
10	135,75	132,17	134,41	132,26	136,29	134,18	1,91	1,4
11	136,49	141,90	139,53	138,84	143,63	140,08	2,77	2,0
12	135,74	140,08	137,07	142,21	138,29	138,68	2,54	2,8

Obr. č. 6 : Přístroj Dynstat, zkouška ohybem



3.4. Zkouška vrubové houževnatosti

Cíl zkoušky:

1. Určit hodnotu vrubové houževnatosti A_k
2. Porovnat hodnoty vrubové houževnatosti v závislosti na rozdílném obsahu SV, na rozdílné teplotě formy a rozdílném vstřikovacím tlaku.

Realizace zkoušky:

1. Zkouška na přístroji Dynstat

Zkoušku jsem prováděl podle ČSN 64 06 11. Zkušební tělesa jsem vyráběl ze středně velkých těles rozřezáním a pozdějším vyfrézováním vrubu na horizontální frézce. Teplota v laboratoři byla během zkoušky 23° a relativní vlhkost 60 %.

2. Zkouška na přístroji Charpy

Zkoušku jsem prováděl dle ČSN 64 06 12. Ke zkoušce jsem obdržel tělesa o rozměrech 80 x 10 x 4 mm, do nichž jsem na horizontální frézce vyfrézoval vrub. Teplota v laboratoři byla během zkoušky 23° a relativní vlhkost 59 %.

Vyhodnocení zkoušky

U každého tělesa jsem naměřil hodnotu rázové energie A_k . Hodnotu vrubové houževnatosti jsem vypočítal ze vzorce

$$\alpha_k = \frac{A_k}{b \cdot h_k}$$

Vypočtené hodnoty:

Tabulka č. 11 : Hodnoty vrubové houževnatosti a_k v kJ/m^2 získané metodou Dynstat

Č.m. Č.v.	1	2	3	4	5	6	7	8	$\bar{x}$	s	v
1	3,07	3,54	3,56	3,69	2,91	3,39	2,72	3,43	3,29	0,35	10,5
2	4,06	3,03	3,60	4,26	4,00	3,60	3,53	3,81	3,74	0,38	10,3
3	3,96	4,17	4,10	4,48	4,45	3,55	4,91	3,57	4,15	0,47	11,2
4	4,19	4,47	3,35	4,01	4,32	3,62	3,81	3,78	3,90	0,57	13,1
5	3,57	3,39	3,06	3,25	3,23	3,71	2,85	3,45	3,31	0,28	8,3
6	3,10	3,57	2,89	3,50	3,09	3,49	3,53	3,48	3,33	0,26	7,8
7	2,83	2,83	2,74	2,86	3,07	2,44	2,52	3,08	2,80	0,23	8,2
8	3,38	3,43	2,86	3,16	2,83	2,97	2,98	3,18	3,10	0,23	7,2
9	5,61	5,91	5,06	6,08	6,29	6,33	4,95	6,15	5,80	0,53	9,3
10	6,10	5,83	5,43	5,45	5,8	6,06	5,9	5,69	5,78	0,25	4,3
11	6,06	6,00	5,15	5,28	5,12	5,37	5,42	5,38	5,47	0,36	6,6
12	6,79	7,04	6,44	6,74	6,11	6,22	6,32	6,26	6,49	0,33	5,1

Vypočtené hodnoty :

Tabulka č. 12 : Hodnoty vrubové houževnatosti a_K v kJ/m² získané metodou Charpy

Č.m. Č.V.	1	2	3	4	5	6	7	8	$\bar{x}$	S	V
1	5,48	5,26	7,00	4,44	7,08	5,06	4,46	4,78	5,45	1,05	19,2
2	6,50	6,43	5,26	5,48	2,87	5,52	5,55	6,04	5,45	1,14	20,9
3	6,23	5,89	6,55	6,47	4,81	5,43	6,60	5,31	5,91	0,66	11,3
4	4,69	4,87	6,52	6,17	5,02	6,39	5,92	6,63	5,76	0,78	13,6
5	4,22	3,97	3,38	3,24	4,10	4,08	4,39	4,18	3,95	0,41	10,4
6	4,20	4,37	3,70	3,58	3,80	3,81	4,13	3,97	3,94	0,27	6,5
7	2,75	3,83	3,39	3,77	4,18	3,87	3,71	3,43	3,62	0,43	11,9
8	3,87	3,57	3,87	3,95	3,74	3,97	3,93	3,64	3,82	0,15	3,9
9	5,57	5,73	5,79	5,34	5,83	5,41	5,62	5,54	5,60	0,18	3,1
10	5,69	5,07	4,88	4,81	5,28	5,27	5,43	5,36	5,22	0,29	5,6
11	4,71	5,24	4,86	5,04	4,68	4,88	5,22	5,28	4,99	0,24	4,8
12	5,45	5,12	5,29	6,54	6,92	5,85	6,46	6,79	6,05	0,71	11,8

kde A_k je energie potřebná k přeražení zkušebního tělesa
s vrubem /Nm/

b je šířka zkušebního tělesa v místě vrubu /mm/

h_k je tloušťka zkušebního tělesa v místě vrubu /mm/

Vyhodnocení výsledků

Porovnáním vrubové houževnatosti /získané jak metodou Dynstat tak metodou Charpy/ zkušebních těles s obsahem 0 % SV a 30 % SV vyplývá, že zkušební tělesa s 30 % SV vykazují vyšší hodnoty. Zkušební tělesa s 15 % SV vykazují nejnižší hodnoty.

Vliv technologických podmínek není jednoznačný. Nejvyšší hodnoty vrubové houževnatosti bylo naměřeno u vzorku č. 12 /30 % SV, $T_f = 80^\circ$, $p_v = 151,24 \text{ MPa}$ /

3.5. Hodnocení výsledků

Měřením bylo získáno množství hodnot a protože subjektivní vyhodnocení nemusí být vždy přesné, použil jsem v této práci statistické hodnocení.

Měření bylo jistě zatíženo chybou, a to jak náhodnou tak i systematickou. Alespoň pro částečnou eliminaci chyb jsem použil dvě statistické metody a to :

testy extrémních odchylek

faktorový pokus 2^3

3.5.1. Testy extrémních odchylek

Test extrémních odchylek slouží k odstranění extrémních hodnot získaných při měření.

Definice testu extrémních odchylek:

nechť $x_1, x_2, \dots, x_n$ jsou nezávislá pozorování jedné náhodné veličiny. Vytvořme novou posloupnost, označme ji $x'_1, x'_2, \dots, x'_n$, takovou, že platí $x'_1 < x'_2 < x'_3 < \dots < x'_n$, pak platí

$$I = \frac{x'_n - \bar{x}}{S}$$

$$II = \frac{\bar{x} - x'_1}{S}$$

kde I - testovací kritérium pro maximální hodnotu

II - testovací kritérium pro minimální hodnotu

x'_n - maximální hodnota v souboru naměřených hodnot

x'_1 - minimální hodnota v souboru naměřených hodnot

$\bar{x}$ - aritmetický průměr

S - směrodatná odchylka

Aritmetický průměr jsem vypočetl dle vztahu

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Směrodatná odchylka byla vypočtena ze vztahu

$$S = \left(\frac{\sum x_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Testovací kritéria byla porovnávána s hodnotou K_n

Tabulka č. 13 : Hodnoty K_n pro různý počet měření na hladině významnosti $\alpha = 0,05$

n	K_n
4	1,689
5	1,869
6	2,072
8	2,172
9	2,237
10	2,294

Je-li I/II K_n , pak je hodnota ze souboru vyřazena. Tímto způsobem byly prověřeny všechny soubory hodnot a vyřazeny nežádoucí hodnoty.

U zkoušek vrubové houževnatosti jsem u všech souborů měření vyřadil minima a maxima. Důvodem k tomuto rozhodnutí byl vysoký variační koeficient. I když jsem se tímto rozhodnutím zbavil dvou hodnot, myslím si, že konečná přesnost vyhodnocení výsledků bude větší.

3.5.2. Faktorové pokusy 2^3

Základem nejzávažnějších informací o technologickém postupu jsou experimentální zkoušky, výsledky měření. Průběh zkoušek orientujeme podle sledovaných cílů a se zřetel na požadované informace. Jeden z podrobně rozpracovaných schematických plánů zkoušek pro ohodnocení vlivu technologických faktorů na parametry výrobků se na-

zývá faktorové pokusy. Každý faktor zkoumáme na několika úrovních. Jsou to zvolené hodnoty technologických parametrů. Nejčastěji se využívá plánu faktorových pokusů se dvěma úrovněmi faktorů. Tohoto plánu jsem použil i já.

Nebudu se zde zabývat velkým teoretickým rozbořem této metody, protože jsem ji řešil na počítači. Poukáži jen na nejdůležitější fakta.

Výsledkem faktorového pokusu je vypočítání hodnot F , které přísluší jednotlivým faktorům a jejich interakcím. Tyto hodnoty porovnáváme s hodnotami F rozložené při úrovni významnosti α . Jestliže $F_{\alpha} / 1, \nu / < F_A \dots, F_{AB} \dots, F_{ABC}$, zamítáme hypotézu o nulovém vlivu faktoru, respektive interakce. $F_{\alpha} / 1, \nu /$ jsem odečetl ze statistických tabulek [8]

$$\alpha = 0,05$$

$$\nu = d / n - 1 /$$

kde d - počet kombinací

$$d = 2^r$$

r - počet faktorů

n - počet měření

Čím je větší hodnota $F_A \dots, F_{AB} \dots, F_{ABC}$, tím je také vliv faktoru, případně interakce faktorů větší.

Jak již bylo uvedeno, zpracoval jsem tuto metodu na počítači a to :

1. na počítači EC v jazyku Fortran

2. na osobním počítači IQ 151 v jazyku Basic

Výpisy z obou typů programů jsou uvedeny v příloze.

Vyhodnocení faktorového pokusu:

V následujících tabulkách uvedu hodnoty F pro různé vlastnosti

FA	- odpovídá vstřikovacímu tlaku
FB	- odpovídá teplotě formy
FC	- odpovídá obsahu SV
FAB	- odpovídá interakci vstřikovacího tlaku a teplotě formy
FAC	- odpovídá interakci vstřikovacího tlaku a obsahu SV
FBC	- odpovídá interakci teploty formy a obsahu SV
FABC	- odpovídá interakci všech tří faktorů
$F_{0,05/1,\nu}$	- kritická hodnota F

Tabulka č. 14 : Hodnoty F pro zkušební tělesa s obsahem SV 0 a 30 %

$\frac{F}{\text{vlast.}}$	FA	PB	PC	FAB	FAC	FBC	FABO	$F_{90\%}/1, V/$
Gz	0,41	0,88	1323,28	6,69	0,29	1,51	11,77	4,15
A	0,02	0,13	6,67	0,99	1,11	1,41	4,63	4,15
$E_E=1\%$	1,85	0,69	476,72	0,20	0,04	5,97	0,39	4,49
$E_E=2\%$	2,73	$1,1 \cdot 10^{-5}$	364,34	0,96	0,36	0,17	2,44	4,49
L	0,007	0,99	470,83	0,09	0,85	0,51	5,49	4,49
σ_{70}	0,74	15,91	354,07	5,04	5,26	16,353	5,44	4,15
σ_{130}	3,47	22,38	1358,43	0,37	1,96	1,34	1,25	4,15
α_{kch}	0,60	1,92	0,99	3,23	1,25	0,63	4,86	4,01
α_{kd}	10,19	13,82	466,68	0,95	3,79	3,08	18,61	4,01

Tabulka č. 15 : Hodnoty F pro zkušební tělesa s obsahem SV 0 a 15 %

$\frac{F}{v_{\text{last.}}}$	FA	FB	FC	FAB	FAC	FBC	FABC	$F_{0,05/1,V/}$
σ_z	10,24	17,58	134,94	8,75	0,63	22,89	1,55	4,15
A	0,066	3,72	26,67	8,66	1,49	7,41	0,003	4,15
$E_{\varepsilon=1\%}$	1,55	4,09	68,48	0,82	0,21	7,85	1,36	4,49
$E_{\varepsilon=2\%}$	2,53	$5,6 \cdot 10^{-4}$	14,48	0,47	0,71	0,18	1,74	4,49
L	0,72	15,14	236,08	27,97	4,50	11,13	1,54	4,49
σ_{70}	10,36	5,47	8,38	0,07	0,008	31,53	0,13	4,15
σ_{130}	3,22	14,81	235,80	0,19	2,28	4,50	0,08	4,15
α_{kch}	0,01	0,22	107,55	0,006	0,22	3,14	0,25	4,01
α_{kD}	2,89	0,92	60,82	1,23	0,05	30,24	8,04	4,01

Tabulka č. 16 : Hodnoty F pro zkušební tělesa s obsahem SV 15 a 30 %

F vlst.	FA	FB	FO	FAB	FAC	FBC	FABC	F _{0,05} / t, v /
Gz	0,94	9,48	822,08	3,41	0,76	1,10	14,29	4,15
A	2,50	19,63	121,69	1,68	0,08	5,15	8,15	4,15
F _E =1%	1,22	2,68	645,97	4,18	1,00	3,03	0,10	4,26
F _E =2%	4,71	2,55	987,69	18,52	0,001	0,28	2,05	4,26
L	1,66	6,55	177,65	0,09	0,02	0,85	8,06	4,49
σ ₇₀	2,03	6,27	559,98	15,02	12,66	5,87	8,64	4,15
σ ₁₃₀	0,45	31,61	2124,15	0,65	0,919	3,81	0,06	4,12
q _{KCh}	5,53	0,42	302,61	19,11	1,64	3,17	10,906	4,01
q _{KD}	16,63	1,28	1151,26	16,51	4,43	12,19	5,31	4,01

Rozbor interakcí

V následujícím provedu rozbor pouze jedné z interakcí. Důvodem je to, že velký vliv na významnost interakcí má obsah SV. /Podrobněji bude o tomto problému pojednáno v kap. 4./ Tuto domněnku dokazuje následující příklad:

Rozbor interakce mezi obsahem SV a vstřikovacím tlakem při smluvním napětí v ohybu při průhybu 7^0 :

Tabulka č.17

	C_1	C_2	$/C_1 - C_2/$
A_1	43,71	60,84	17,63
A_2	40,44	62,32	21,88
$/A_1 - A_2/$	3,27	- 1,48	

C_1 představuje úroveň obsahu SV 0 %

C_2 představuje úroveň obsahu SV 30 %

A_1 představuje úroveň velikosti vstřikovacího tlaku 75,62 MPa

A_2 představuje úroveň velikosti vstřikovacího tlaku 151,24 MPa

Hodnota 43,71 představuje průměrnou hodnotu smluvního napětí změřeného při úrovni $A_1 C_1$. Pro další případy je to analogické.

Z tab. č.17 je patrné, že:

- při přechodu z úrovně A_1 na úroveň A_2 jak při úrovni C_1 i C_2 nedojde k velké změně smluvního napětí. Dokonce vliv vstřikovacího tlaku není jednoznačný.

- při přechodu z úrovně C_1 na úroveň C_2 jak při úrovni A_1 a A_2 došlo k velkému vzrůstu smluvního napětí /přibližně o 50 %/.

Je patrné, že veliký vliv obsahu SV sehrává roli i ve významnosti některých interakcí.

Závěry jsou učiněny v kap. 4.

4. ZÁVĚR

I. Hlavním cílem mé diplomové práce bylo navrhnout metodu zkoušení vlastností u modelových těles z vyztuženého termoplastu a ověřit tuto metodu. S ohledem na důležitost vlastností jsem zvolil zkoušku tahem, ohybem a zkoušku vrubové houževnatosti metodou Dynstat a Charpy.

Zhodnocení významu jednotlivých zkoušek

1. Zkouška tahem. Zkouška splnila nejlépe svůj úkol.

Její přesnost ovlivnilo i to, že byla prováděna na přístroji Instron v kombinaci s počítačem. Pomocí této zkoušky se dá také zjistit množství hodnot. Proto tuto zkoušku doporučuji používat.

2. Zkouška ohybem. Zkoušku jsem prováděl na přístroji Dynstat. Tato zkouška byla proti zkoušce tahem zatížena podstatně větší chybou. Chyba vyplývá už z vlastního principu zkoušky, čím je v podstatě ruční vyvozování ohybového momentu. I když jsem se snažil zatěžovat stejnou rychlostí, jistě se mi to ve všech případech nepovedlo. Další problém vyplývá z toho, že maximální ohybový moment je omezen hranicí 4 N.m. Z tohoto důvodu nebylo možno určit hodnotu meze pevnosti v ohybu u zkušebních těles s 30 % SV. /Tělesa nepraskla./

Z výše uvedených důvodů bych doporučoval provádět zkoušku ohybem na univerzálním přístroji pro zkoušku tahem a ohybem, se strojním zatěžováním.

3. Zkouška vrubové houževnatosti. Oba typy zkoušení vrubové houževnatosti vykazují u některých typů vzorku

velký rozptyl. Variační koeficient se pohybuje kolem 20 %. Proto bych doporučil, aby se pro tuto zkoušku používalo minimálně 20 zkušebních těles.

II. Ve své práci jsem vedle subjektivního vyhodnocování výsledků použil i hodnocení statistické.

Ze statistického hodnocení viz. tab. 14,15,16 vyplývá, že :

1. Největší vliv na vlastnosti má obsah SV
2. Teplota formy má větší vliv na vlastnosti než vstřikovací tlak. Vstřikovací tlak se projevil jako významný pouze u vrubové houževnatosti a v jednom případě u R_m a $\sigma_{0.2}$. Tento vliv však není jednoznačný.
3. V některých případech se jeví významné interakce mezi faktory. Je to způsobeno několikanásobně větším vlivem obsahu SV. Tato domněnka je potvrzena v kapitole 3.6.2. rozбором jedné z interakcí. Z tohoto důvodu také neprovádím rozbor všech interakcí. Několikanásobně větší vliv SV zkresluje vliv ostatních faktorů.

III. Z výše uvedených důvodů bych navrhnul pro další zkoumání vstřikování kompozitů tyto závěry :

1. Zkoušky provádět na zkušebních tělesech s konstantním obsahem SV a to 30-ti procentním.
2. Zkušební tělesa vstřikovat za konstantního vstřikovacího tlaku a měnit další technologické podmínky, jako je např. vstřikovací teplota. Tedy zkoumat vliv dalších technologických podmínek.

3. Vliv teploty formy se projevil jako významný.
 4. Používat statistické vyhodnocování s použitím některého z osobních mikropočítačů. Tento způsob se projevil jako velice rychlý a pružný.
 5. Nepoužívat PA 6 plněný pouze 15-ti % SV.
 6. K získání lepšího přehledu o chování materiálu, doporučuji se dále zabývat vyhodnocováním např. lomových ploch, rozložení vláken apod.
- IV. Nejlepších vlastností bylo dosaženo u vzorků č. 11 /30 % SV, $T_f = 80^{\circ}\text{C}$, $p_v = 75,62/$ a u vzorku č. 12 /30 % SV, $T_f = 80^{\circ}\text{C}$, $p_v = 151,24/$

Použitá literatura:

1. KREBS, J.: Teorie technologie zpracování plastů. VŠST Liberec, 1981
2. KREBS, J.: Organické polymery. VŠST Liberec, 1978
3. PLUHAŘ, J.-KORITTA, J.: Strojírenské materiály. SNTL Praha, 1982
4. KALISCHE, G.: Makrostruktura a vlastnosti desek, dutých válců a tyčí vyráběných vstřikováním termoplastů obsahujících krátká skleněná vlákna. Plasty a kaučuk, 20, 1983, S.101-103
5. BAREŠ, R.A.: Obecná teorie kompozitních materiálů. Plasty a kaučuk, 22, 1985, s. 97, s. 289
6. OBDRŽÁLEK, L.: Kompozitní materiály s výztuží na bázi uhlíkových vláken. Plasty a kaučuk, 22, 1985, s. 228 - 231
7. FELIX, M.: Matematicko-statistické metody v chemickém průmyslu. SNTL Praha, 1982
8. JANKO, J.: Matematicko-statistické tabulky. SNTL Praha, 1958
9. ŠTĚPEK, J.: Zpracování plastických hmot. SNTL Praha a SVTL Bratislava, 1966
10. KALOUSKOVÁ, B.: Studium vlastností termoplastů vyztužených skleněnými vlákny. DP, VŠST Liberec, 1986
11. PIŠTĚK, L.: Hodnocení vnitřního stavu výstřiků z amorf-
ních plastů pomocí koroze za napětí, DP, VŠST Liberec, 1985
12. KOŤÁTKO, J.: Studium vlastností výstřiků z plněných a
neplněných termoplastů. DP, VŠST Liberec, 1983

13. NORMA ČSN 64 06 05: Zkouška tahem plastických hmot.
ÚNM, Praha 1969
14. NORMA ČSN 64 06 08: Ohybová zkouška tuhých plastických hmot na přístroji Dynstat. ÚNM, Praha 1971
15. NORMA ČSN 64 06 11: Stanovení rázové a vrubové houževnatosti plastických hmot metodou Dynstat. ÚNM, Praha 1968
16. NORMA ČSN 64 06 12: Stanovení rázové a vrubové houževnatosti plastů metodou Charpy. ÚNM, Praha 1981

PŘÍLOHA I

VÝPIS PROGRAMU, IQ 151

```

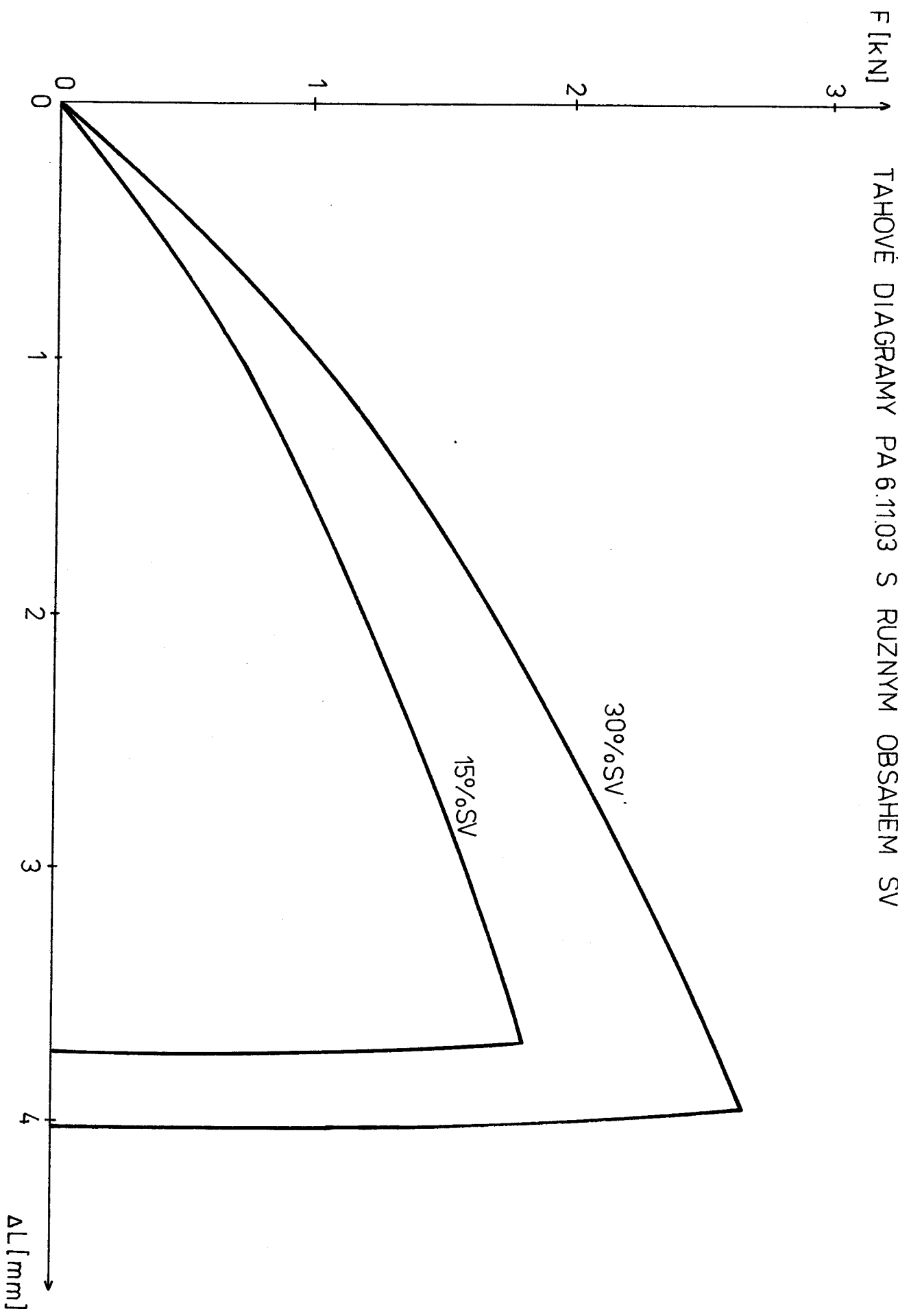
1 PRINT"URCENI VYZNAMNYCH FAKTORU A INTERAKCI PRI VSTRIKOVANI"
2 WAIT(50):CLS
3 PRINT"FAKTOROVY POKUS,HLADINA VYZNAMNOSTI=0.05":WAIT(50)
4 CLS:INPUT "ZADEJ SOUBOR ";EE$
5 DIMY(20,20),F(100),R(20)
7 LPRINT"SOUBOR ";EE$
10 CLS
20 PRINT"ZADEJ POCET KOMBINACI D=?": INPUT D:CLS
30 PRINT"ZADEJ POCET MERENI MR=?": INPUT MR: CLS
40 FOR I=1 TO D:FOR J=1 TO MR
45 PRINT"ZADEJ Y(I,J)";INPUT Y:Y(I,J)=Y:NEXT J
47 NEXT I
48 CLS:PRINT"POCITAM"
50 GOTO 60
51 READY(1,1),Y(1,2),Y(1,3),Y(1,4),Y(1,5)
52 READY(2,1),Y(2,2),Y(2,3),Y(2,4),Y(2,5)
53 READY(3,1),Y(3,2),Y(3,3),Y(3,4),Y(3,5)
54 READY(4,1),Y(4,2),Y(4,3),Y(4,4),Y(4,5)
55 READY(5,1),Y(5,2),Y(5,3),Y(5,4),Y(5,5)
56 READY(6,1),Y(6,2),Y(6,3),Y(6,4),Y(6,5)
57 READY(7,1),Y(7,2),Y(7,3),Y(7,4),Y(7,5)
58 READY(8,1),Y(8,2),Y(8,3),Y(8,4),Y(8,5)
60 FOR I=1 TO D
61 FOR J=1 TO MR
63 R(I)=R(I)+Y(I,J)
65 NEXT J:NEXT I
70 ZA=-R(1)+R(2)-R(3)+R(4)-R(5)+R(6)-R(7)+R(8)
80 ZB=-R(1)-R(2)+R(3)+R(4)-R(5)-R(6)+R(7)+R(8)
90 ZC=-R(1)-R(2)-R(3)-R(4)+R(5)+R(6)+R(7)+R(8)
100 ZD =R(1)-R(2)-R(3)+R(4)+R(5)-R(6)-R(7)+R(8)
103 ZE=R(1)-R(2)+R(3)-R(4)-R(5)+R(6)-R(7)+R(8)
120 ZF=R(1)+R(2)-R(3)-R(4)-R(5)-R(6)+R(7)+R(8)
130 ZG=-R(1)+R(2)+R(3)-R(4)+R(5)-R(6)-R(7)+R(8)
135 Q=D*MR
140 SA=(ZA*ZA)/Q:SB=ZB*ZB/Q
143 SC=ZC*ZC/Q:SD=ZD*ZD/Q
145 SE=ZE*ZE/Q
146 SF=ZF*ZF/Q:SG=ZG*ZG/Q
160 NY=D*(MR-1)
170 S1=0
180 FOR I=1 TO D
190 FOR J=1 TO MR
200 S1=S1+(Y(I,J))*(Y(I,J))
210 NEXT J:NEXT I:S2=0:FOR I=1 TO D:S2=S2+R(I)*R(I):NEXT I
220 SR=S1-S2/MR:P=SR/NY
230 FA=SA/P:FB=SB/P:FC=SC/P:FD=SD/P
235 FE=SE/P:FF=SF/P:FG=SG/P
240 F(16)=4.49:F(24)=4.26:F(32)=4.15
245 F(40)=4.08:F(48)=4.04
250 F(56)=4.01:F(64)=3.99:F(72)=3.98
260 CLS:PRINT"HODNOTY F"
265 PRINT"*****"
270 PRINT"FA=";FA
280 PRINT"FB=";FB
290 PRINT"FC=";FC
300 PRINT"FD=";FD

```

```
310 PRINT'FE=';FE
320 PRINT'FF=';FF
330 PRINT'FG=';FG
340 PRINT'F(NY)=';F(NY)
370 PRINT 'VYZNAMNE FAKTORY A INTERAKCE'
375 PRINT'*****'
380 IF FA>F(NY) THEN PRINT'PV'
390 IF FB>F(NY) THEN PRINT'TF'
400 IF FC>F(NY) THEN PRINT'%SV'
410 IF FD>F(NY) THEN PRINT'PV A TF'
420 IF FE>F(NY) THEN PRINT'PV A %SV'
430 IF FF>F(NY) THEN PRINT'TF A %SV'
440 IF FG>F(NY) THEN PRINT'TF,%SV A PV'
450 LPRINT'FA=';FA
460 LPRINT'FB=';FB
470 LPRINT'FC=';FC
480 LPRINT'FD=';FD
490 LPRINT'FE=';FE
500 LPRINT'FF=';FF
510 LPRINT'FG=';FG
520 LPRINT'F(NY)=';F(NY)
530 END
```

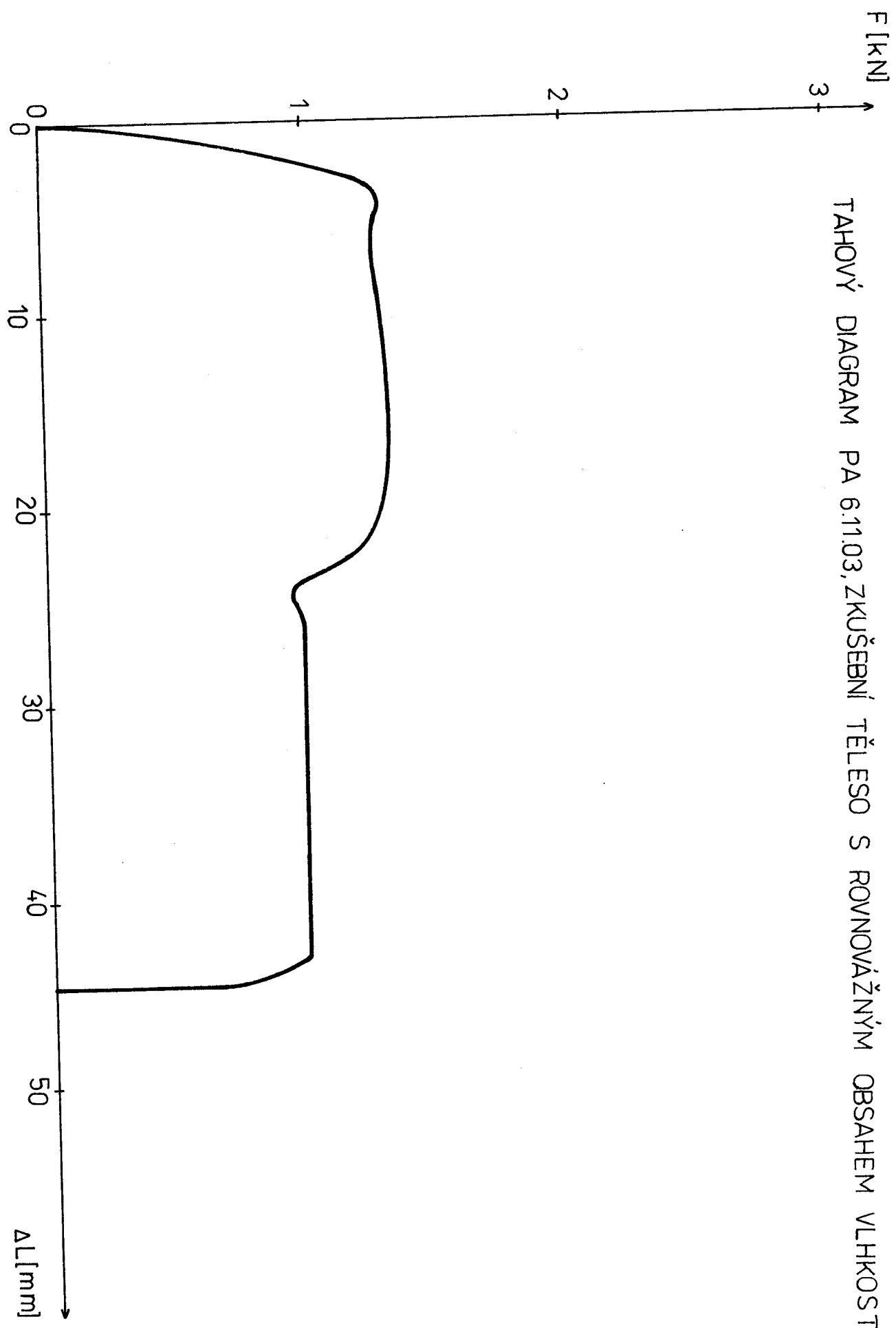
PŘÍLOHA III

TAHOVÉ DIAGRAMY PA 6.11.03 S RŮZNÝM OBSAHEM SV



PŘÍLOHA V

TAHOVÝ DIAGRAM PA 6.11.03, ZKUŠEBNÍ TĚLESO S ROVNOVÁŽNÝM OBSAHEM VLHKOSTI



PŘÍLOHA - IV

TAHOVÝ DIAGRAM PA 6.11.03

