

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Alenu Okrouhlovu**

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: **Studium vlastností výstřiků z termoplastického kompozitu**

Zásady pro vypracování:

1. Charakterizujte kompozity s termoplastickou matricí zvláště tuzemského původu.
2. Analyzujte vliv vláknité výztuže na vlastnosti součástí vyrobených vstříkovaním kompozitu.
3. Navrhněte zkušební metody, ať již destruktivní nebo nedestruktivní povahy, umožňující zjistit vliv technologických podmínek na vlastnosti výstřiků.
4. Ověřte navržené zkušební postupy na modelových tělesech.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte jejich využití v praxi.

V 204 / 87 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

KPT/TP

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy:

40 - 50 stran vč. tabulek a obrázků

Seznam odborné literatury:

1. KALISKE, G. : Plasty a kaučuk, 18, 1982, č. 4, s. 101 - 104
2. BAREŠ, R.A. : Plasty a kaučuk, 22, 1985, č. 10, s. 289 - 293
22 a č. 11, s. 323 - 327
3. KALOUSKOVÁ, B. : Studium vlastností termoplastů vyztužených skleněnými vlákny. DP, VŠT, Liberec, 1986
4. RYBNÍK, F. a j. : Analýza a zkoušení plastických hmot. SNTL, Praha, 1965

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Josef Krebs, CSc.

Datum zadání diplomové práce:

25. 9. 1986

Termín odevzdání diplomové práce:

11. 5. 1987



Jaroslav Tměj
Doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Vedoucí katedry

Ján Alaxin
Doc. Ing. Ján Alaxin, 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

STUDIUM VLASTNOSTÍ VÝSTŘIKU Z TERMOPLASTICKÉHO

KOMPOZITU

Alena Okrouhlá

270

Vedoucí práce: Ing. Josef Krebs, CSc

/ VŠST Liberec /

Rozsah práce a příloh

Počet stran	59
Počet tabulek	13
Počet obrázků	7
Počet modelů, výkresů a příloh	0

11.5.1987

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

V Liberci, dne 11.5.1987

Chrouhla

Obsah

1. Seznam použitých zkratk a symbolů	5
2. Úvod	7
3. Charakteristika kompozitů s termoplastickou matricí tuzemské výroby	9
3.1 Stav výroby a zpracování polymerů v ČSSR	9
3.2 Sortiment kompozitních plastů s termoplastickou matricí vyráběných v ČSSR	14
4. Plniva a jejich vliv na vlastnosti kompozitních materiálů	19
4.1 Klasifikace plniv a jejich vliv na vlastnosti kompozitů	19
4.2 Použití plniv ve vybraných termoplastech	21
4.3 Vliv vláknité výztuže na vlastnosti součástí vyrobených vstřikováním kompozitu	24
4.4 Kompozity na bázi skleněných vláken	28
5. Zkušební metody pro zjišťování vlivu technolo- gických podmínek na vlastnosti výstřiků a jejich ověření na modelových tělesech	32
5.1 Technologické podmínky vstřikování zkušebních těles	33
5.2 Zkouška tahem	34
5.3 Zkouška ohybem	40
5.4 Zkouška vrubové houževnatosti	45
5.5 Zkouška pro stanovení modulu pružnosti v ohybu	47
5.6 Zkouška pro stanovení reologických vlastností	51
5.7 Zkouška pro stanovení obsahu vlhkosti v granulátu	55
6. Závěr	57
Seznam použité literatury	59

1. Seznam použitých zkratk a symbolů

PA	- polyamid
POM	- polyfolmaldehyd
mPPO	- modifikovaný polyfenylénoxid
UP	- polyester nenasycený
PC	- polykarbonát
PMMA	- polymethylmetakrylát
ABS	- akrylonitril - butadien - styren
PVC	- polyvinylchlorid
PS	- polystyren
lPE	- lineární polyetylen
rPE	- rozvětvený polyetylen
$\bar{x}$	- průměrná hodnota měření
s	- směrodatná odchylka
n	- počet měření
v_f	- objemový zlomek výztuže
v_m	- objemový zlomek pojiva
σ_{bf}	- pevnost v tahu vlákna
σ_m	- napětí v pojivu při přetržení vláken
σ_{bc}	- pevnost v tahu kompozitu
G_c	- lomová energie
SV	- skleněná vlákna
E	- modul pružnosti
σ_z	- mez pevnosti v tahu
F_{max}	- maximální zatěžovací síla
A_o	- průřez zkušebního tělesa v pracovní části
ϵ	- poměrné prodloužení
σ	- tažnost
σ_{po}	- mez pevnosti v ohybu
M	- ohybový moment

W - moment odporu v ohybu
 F - zatěžovací síla
 I - moment setrvačnosti průřezu zkušebního tělesa
 y - průhyb ve středu měřené délky
 A_k - rázová energie
 a_k - vrubová houževnatost
 h_k - tloušťka zk. tělesa v místě vrubu
 σ_{xo} - smluvní napětí v ohybu
 τ - smykové napětí
 K - reologická konstanta
 $\dot{\gamma}$ - zdánlivá smyková rychlost
 n - reologický index toku
 τ_w - smykové napětí u stěny kapiláry
 d_c - průměr kapiláry
 d_p - průměr pístu
 $\dot{\gamma}_w$ - korigovaná smyková rychlost
 v - variační koeficient
 IT - index toku

2. ÚVOD

Rozvoj výroby a zpracování polymerů v posledních dvou desetiletích předstihuje rozvoj většiny jiných oborů. Je to dáno velmi širokou použitelností plastů a pryže pro nejrůznější technické i netechnické účely, snadnou zpracovatelností, výhodnými specifickými vlastnostmi některých polymerů a poměrně dostupnými cenami.

Výrobky z plastů a pryže se stále více uplatňují ve všech odvětvích spotřebního průmyslu, kde nahrazují klasické materiály /kovy, vlnu, kůži, sklo aj./ a mnohdy také zlepšují estetický vzhled a užité vlastnosti výrobků. Rovněž mimořádný význam mají plasty ve strojírenství, neboť nahrazují kovy a speciální slitiny, které jsou velmi drahé. Využívá se zde jejich odolnosti proti korozi a chemikáliím, výborných kluzných vlastností a malé hustoty. Při zpracování plastů se v porovnání s kovy snižuje pracnost třikrát až desetkrát a spotřeba elektrické energie o 3 až 4 MWh na jednu tunu materiálu. Využití materiálu je u plastů 90 až 95%, u kovů jen 50 až 60%. Neméně efektivní je využívání plastů a pryže v kabelářském a elektrotechnickém průmyslu, kde se využívá jejich dobrých elektroizolačních vlastností, v automobilovém a obuvnickém průmyslu, zdravotnictví, chemickém průmyslu, obalové technice, zemědělství a dalších oborech.

Československá socialistická republika se svou produkcí 1 milion tun plastů /v roce 1985/ řadí mezi přední státy světa. Rozvoj plastikářského průmyslu se opírá o vlastní moderní petrochemii a v nemalé míře též o spolupráci členských zemí RVHP.

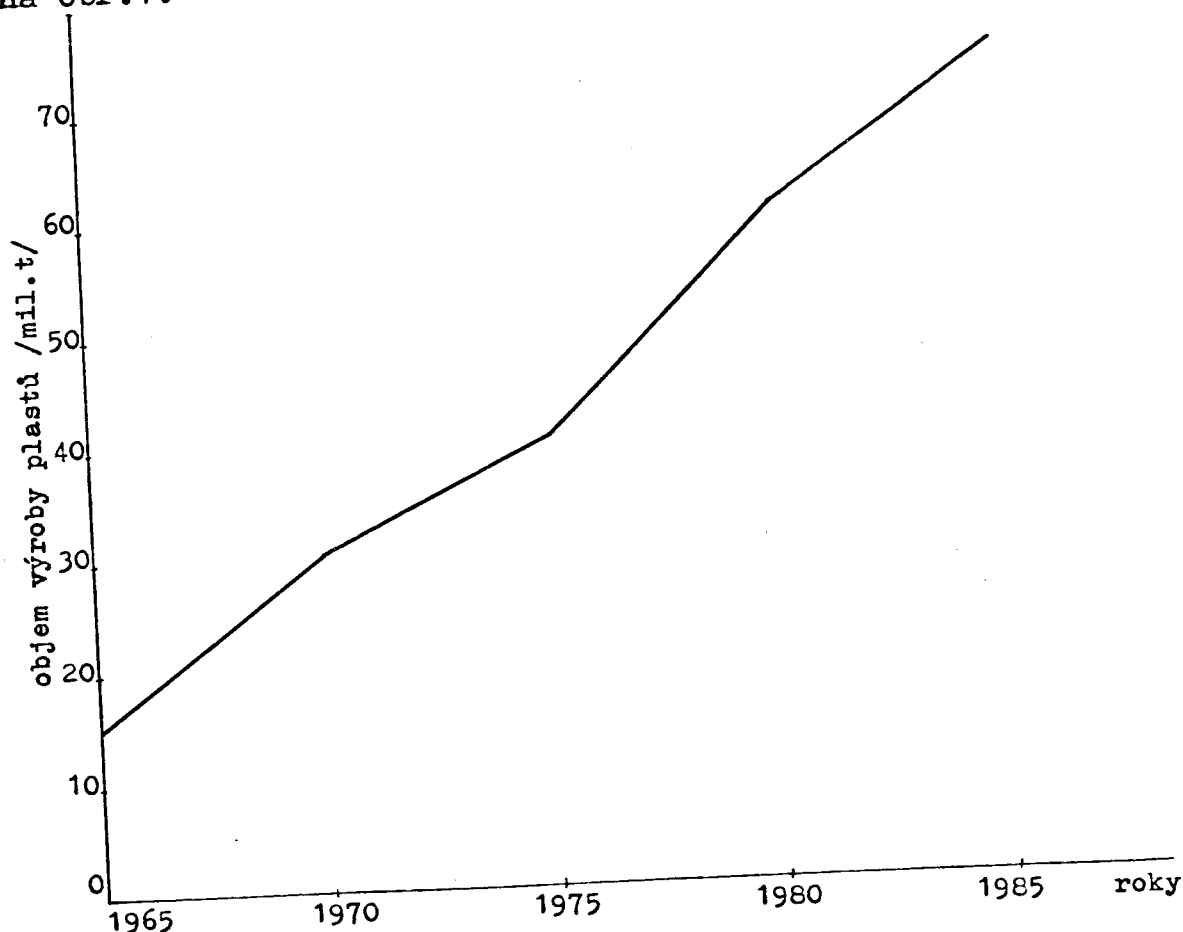
Dnes se v důsledku vědeckotechnické revoluce neustále zrychluje vědeckotechnický rozvoj, roste kvalita a kvantita

vědeckotechnických informací, zkracuje se doba od vzniku nových myšlenek po průmyslové aplikace, rychle se mění materiálové vybavení průmyslové výroby. Z těchto důvodů jedním z hlavních úkolů 8. pětiletky bude nadále nejen rozšiřovat výrobu plastů, ale hlavně jejich efektivní využívání zejména ve strojírenství, které je jedním z nosných oborů národního hospodářství. Pro konstruktéry a technology tak vznikají nové, složitější úkoly, spočívající nejen v dalším uplatnění plastů jako náhrady za deficitní kovy, ale též v hledání možností omezení dovozu plastů z kapitalistických zemí.

3. CHARAKTERISTIKA KOMPOZITŮ S TERMOPLASTICKOU MATRICÍ TUZEMSKÉ VÝROBY

3.1 Stav výroby a zpracování polymerů v ČSSR

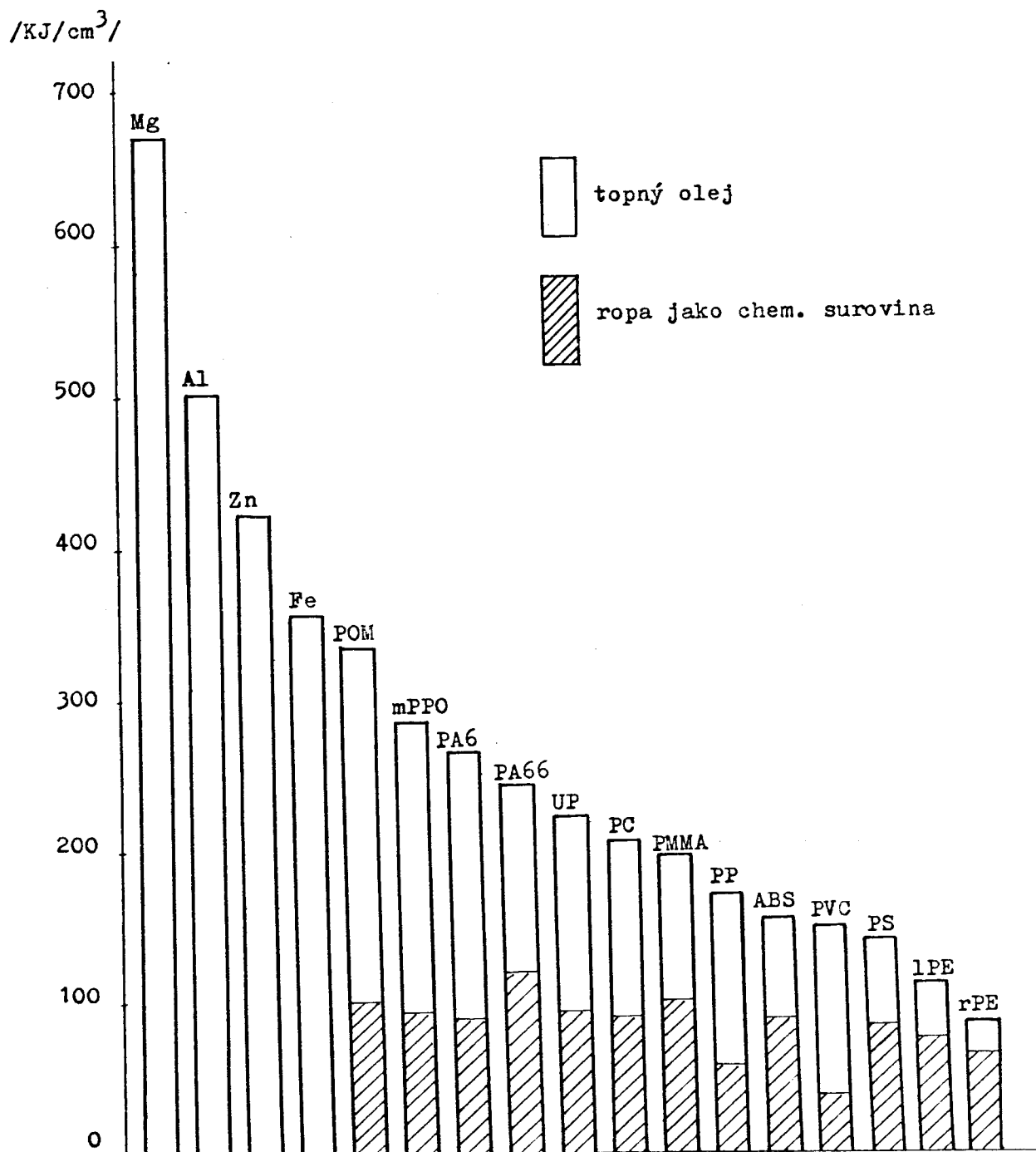
Rozvoj výroby plastů ve světě zaznamenal za posledních 20 let tak značný růst, že nemá obdoby v žádném oboru. Analogicky se světovým vývojem probíhal i rozvoj výroby a uplatnění plastů v ČSSR. Tento rozvoj výroby je zachycen na obr.1.



Obr.1 Růst výroby plastů v ČSSR v letech 1965 - 85

Z obr.1 je patrné, že největší růst výroby byl zaznamenán v 70. letech. V současné době se Československo objemem výroby plastů a syntetických pryskyřic řadí na přední místo nejen mezi státy RVHP, ale i ve světě. Z původní "náhražky" klasických materiálů se plasty stávají důležitými konstrukčními materiály. Prakticky žádný průmyslový obor se bez nich již

neobejde. Velkou předností plastů je nízká energetická náročnost výroby ve srovnání s kovovými materiály /obr.2/. Z těchto důvodů se nastoupený trend výroby plastů nezmění ani v budoucnosti.



Obr.2 Spotřeba energie na výrobu 1 cm³ uvedených materiálů /u plastů též spotřeba ropy/

Obavy z poklesu výroby plastů s ohledem na vyčerpání zásob ropy, která je dosud hlavní surovinou při výrobě plastů, jsou zbytečné, neboť pro výrobu plastů se dnes využívá jen asi 3% světové těžby ropy; navíc nejsou plasty na ropě jednoznačně surovinově závislé. Jsou známe výroby např. ze zemního plynu, uhlí, rostlinných surovin, atd., které však dosud nejsou tak propracovány, aby byly ekonomicky výhodnější.

Československo je ve výrobě plastů závislé na dovozu ropy. Z tohoto důvodu je zde větším problémem značná pohyblivost ceny ropy na světovém trhu, neboť při jejím prudkém zvýšení dochází k omezení dovozu ropy. Tato situace nutí výrobce i zpracovatele plastů přehodnocovat opodstatněnost použití polymerních materiálů na konkrétní výrobky, dosahovat úspory ve spotřebě aplikováním plněných a vyztužených polymerů, modifikovat polymery pro zlepšení užitných vlastností a hledat nové způsoby výroby plastů. V oblasti přípravy polymerů a jejího vývoje se zaměřovat na zlepšování vlastností dosavadních typů kaučuků a plastů, na jejich kombinaci s přírodními materiály a na rozšíření počtu typů od jednoho druhu polymeru, které se budou lišit nejen svými zpracovatelskými vlastnostmi, ale do jisté míry i vlastnostmi fyzikálními. Nové výrobky navrhovat s ohledem na omezení nebo náhradu dovážených surovin, energie, lidské práce a zlepšení životního prostředí. Toto zaměření rozvoje je nezbytně nutné a je v souladu s vývojovými tendencemi ve světě.

Tradice našeho plastikářského průmyslu sahá do dvacátých let, kdy byla zahájena v dnešním n.p. Kablo Bratislava první výroba fenoplastů. Intenzivnější rozvoj výroby a zpracování plastů v ČSSR však nastal až po 2. světové válce.

V období po roce 1970 nastal kvantitativní zvrat ve výrobě. V nově vybudovaných provozech GŘ Chemopetrol naběhla výroba základního sortimentu čs. plastů a stávající výroby koncernu Slovchemia, Unichem a Spolku pro chemickou a hutní výrobu byly modernizovány a intenzifikovány. Touto rozsáhlou akcí se objem výroby plastů v ČSSR téměř zdvojnásobil a v přepočtu na 1 obyvatele dosáhl v roce 1980 téměř 60 kg. Tento trend je příznačný i pro dnešní dobu a v roce 1990 má dosáhnout objem výroby na 1 obyvatele 74 kg.

V oblasti spotřeby plastů a jejich efektivního využívání jako nových konstrukčních materiálů zaujímá ve světě přední místo strojírenství. Je všeobecně známo, že moderní plasty splňují ve strojírenství kritéria konstrukčních materiálů a současně vytvářejí podmínky pro růst efektivnosti ve vlastním výrobním procesu.

V ČSSR z celkového objemu spotřeby základních plastů a polotovarů, které má národní hospodářství k dispozici, činí spotřeba strojírenských odvětví necelých 20%. Toto zjištění je v příkrém nesouladu s vývojem v průmyslově vyspělých zemích, kde podíl spotřeby plastů dosahuje cca 35%, zvláště uvážíme-li, že od roku 1980 i při zvyšující se produkci tuzemských plastů má podíl jejich využití v našem strojírenství klesající tendenci. Je proto žádoucí, v souvislosti s náročnými úkoly našeho strojírenství v 8. pětiletce, analyzovat příčiny tohoto stavu a cílevědomě se snažit je odstraňovat jak v rámci strojírenských rezortů, tak i mimo ně. V důsledku nízkého využívání plastů dochází k značným národohospodářským ztrátám, zvláště uvážíme-li, že v průměru 1 tuna tvářených výrobků z plastů přináší úsporu vlastních nákladů ve výši 50 tis. Kčs, pracnosti 1000 Nh a energie

10,8 GJ /3 MWh/. Nedoceněním technicko-ekonomických výhod využití plastů se stáváme na jedné straně svědky nežádoucího růstu spotřeby kovových materiálů /zejména neželezných kovů/ ve strojírenství a současně často neekonomického vývozu plastů nebo jejich komponent ve výchozí formě ke zpracování na straně druhé.

Příčiny stávající situace je nutno spatřovat především v materiálovém sortimentu, úrovni zpracovatelských strojů, rozsahu zpracovatelských kapacit, možnostech racionální výroby forem, schopnosti využití moderních vědeckých poznatků v aplikační sféře a v úrovni technických kádrů.

Pokud jde o sortiment vhodných plastů pro potřeby národního hospodářství, je možno konstatovat, že čs. chemický průmysl sice zajišťuje základní druhy masově vyráběných plastů z polyolefínů, polyvinylchloridů, styrenových polymerů, polyamidu, akrylátů, epoxidových polyesterových a fenolických pryskyřic a lisovacích hmot na jejich bázi, avšak u těchto druhů zdaleka nenabízí takový sortiment, který by svými vlastnostmi odpovídal požadavkům a který běžně existuje u zahraničních výrobců. Navíc citelně chybí celá řada plastů známých dnes pod pojmem "inženýrské", bez kterých jsou dnes aplikace v mnoha oborech nemyslitelné. Jde zejména o polycarbonáty, lineární polyestery, polyuretany, fluorové polymery, polyacetal, polysulfony, polyfenylenoxidy, polyfenylénsulfidy, některé druhy polyamidů aj. Samozřejmě že i u těchto druhů existuje v zahraničí široký sortiment modifikovaných typů, který použití plastů otevírá nové možnosti v řadě dalších oblastí. Tento stav je příčinou, že řadu aplikací nelze z materiálových důvodů realizovat, nebo pouze za předpokladu dovozu plastů z kapitalistických států. Zbytečné

nároky na dovoz plastů vznikají rovněž i vlivem nízké nebo kolísající kvality tuzemských materiálů. Je samozřejmé, že speciální druhy polymerů, např. s vysokou chemickou a tepelnou odolností, bude nutno i nadále dovážet, avšak náš průmysl má předpoklady k uplatnění tuzemských modifikovaných materiálů, výrobně realizovatelných v nově budovaných kapacitách našeho chemického průmyslu. V této souvislosti nutno apelovat na náš chemický průmysl, který by rychlejší realizací výrobních záměrů, často finančně i málo náročných /např. plnění a modifikace základních plastů/, mohl značnou měrou přispět k řešení nepříznivé sortimentní situace československých plastů.

3.2 Sortiment kompozitních plastů s termoplastickou maticí vyráběných v ČSSR

Plasty nabyly v posledních desetiletích velkého významu a dnes patří k nejdůležitějším materiálům, které umožňují modernizovat všechna odvětví národního hospodářství, přičemž hlavní pozornost je u nás i ve světě zaměřena na využívání plastů ve strojírenství.

Nejdůležitější skupinou materiálů pro účely strojírenské výroby jsou termoplasty, poněvadž umožňují velmi produktivní a levné zpracování. Jejich sortiment sahá od levných plastů širokého použití až k drahým, tzv. konstrukčním plastům, charakterizovaným větší pevností za zvýšených teplot a chemickou odolností. Sortiment termoplastů se neustále zvětšuje, a to v podstatě dvěma směry:

- syntézami nových polymerů;
- modifikacemi dosavadních polymerů.

Možnosti syntéz nových polymerů se pozvolna vyčerpávají,

zejména těch, které by byly ekonomicky přijatelné, a proto roste tendence vyrábět různé modifikace, kopolymery, polymerové směsi, plněné polymery atp. na bázi dosavadních, především levných, tzv. základních plastů.

Tímto druhým způsobem lze přizpůsobit vlastnosti materiálu téměř "na míru" pro určitý druh výrobku, aniž by se jeho cena podstatně měnila. Můžeme zvýšit houževnatost za mrazu, zlepšit odolnost proti stárnutí vlivem povětrnosti, odolnost proti korozi za napětí, zvýšit tvarovou stálost za tepla, měnit modul pružnosti aj.

V ČSSR se v současné době vyrábí dvě základní skupiny plněných termoplastů - polyolefiny a polyamidy.

1/ Polyolefiny

Polyolefiny jsou semikrystalické termoplasty s nižší pevností a tuhostí a velkou houževnatostí. Mají velký kríp. Elektroizolační a dielektrické vlastnosti jsou velmi dobré. Odolnost proti korozi za napětí je menší u polyetylenu a vysoká u polypropylenu. Nenavlhají a mají velmi dobrou chemickou odolnost proti kyselinám, zásadám, solným roztokům, alkoholům a rozpouštědlům. Z polyolefinů se u nás vyrábí některé druhy rozvětveného polyetylenu, lineárního polyetylenu a polypropylenu.

a/ Rozvětvený polyetylen /rPE/

- rPE plněný 25% mikromleté břidlice. Je tmavé barvy. Má střední tekutost /IT - 2 až 8 g za 10 min./, zvýšenou tuhost, tvrdost a tvarovou stálost za tepla. Tažnost je jen 70%. Charakteristická je vyšší chemická odolnost. Používá se pro výrobky vystavené chemicky agresivnímu prostředí a vyšším teplotám. Vyrábí se pod názvem Bralen PB 10 /Slovnaft/.

- rPE plněný 15% mikromletého vápence. Má světlejší barvu. Tažnost je 120%. Má střední tekutost /IT - 2 až 8g za 10 min./. Vyznačuje se zvýšenou tuhostí, tvrdostí, tvarovou stálostí za tepla a chemickou odolností. Vyrábí se pod názvem Bralen PB 18 /Slovnaft/.

b/ Lineární polyetylen /lPE/

- lPE plněný 50% mikromletého vápence. Jeho tekutost je velmi nízká /IT - 0,4g za 10 min./. Má však vysokou tuhost, vyšší tvrdost a rázovou houževnatost za mrazu. Tažnost je 450%. Používá se pro velmi tuhé výrobky namáhané za nízkých teplot. Vyrábí se pod názvem Liten PEC 05 H 50 /Litvínov/.

c/ Polypropylen /PP/

- PP plněný 40% povrchově upraveného mikromletého uhlíčitanu vápenatého. Je určen pro výrobu vstřikovaných předmětů, u nichž se požaduje zvýšená tuhost, tepelná odolnost a tvarová stálost. Má ve srovnání s neplněným PP menší smrštění. Vyrábí se pod názvem Taboren PH 41 C 40 /Planá nad Lužnicí/.
- PP plněný 70% povrchově upraveného mikromletého uhlíčitanu vápenatého. Vyznačuje se vysokým ohybovým modulem, tepelnou odolností a tvarovou stálostí. Velkou výhodou je zvýšená požární bezpečnost a tepelná vodivost. Vysoké plnění zabezpečuje malé smrštění a velmi nízkou anizotropii smrštění. Vyrábí se pod názvem Taboren PH 31 C 70 /Planá nad Lužnicí/.
- PP plněný 20% sekaných skleněných vláken. Je určen na výrobky, u nichž se požaduje vysoká tuhost, tepelná odolnost a tvarová stálost. Má mnohem nižší smrštění proti čistému PP, ale vyšší anizotropii smrštění. Vyzna-

čuje se dobrými elektroizolačními a dielektrickými vlastnostmi. Vyrábí se pod názvem Taboren PH 31 G 20 /Planá nad Lužnicí/.

- PP plněný 30% sekaných skleněných vláken. Vyznačuje se vyšší tuhostí, tepelnou odolností a nižším smrštěním. Má rovněž výborné elektroizolační a dielektrické vlastnosti. Vyrábí se pod názvem Taboren PH 31 G 30 /Planá nad Lužnicí/.

2/ Polyamidy

Polyamidy /PA/ jsou semikrystalické termoplasty s krystalickým podílem 20-40%. Jsou tuhé, pevné, tažné a mají velký sklon ke krípu a relaxaci napětí. Elektroizolační vlastnosti jsou dobré, ale navlhnutím se snižují. Navlhavost je u různých druhů PA různá. Neodolávají kyselinám, silným zásadám a glykolům. Jednotlivé druhy PA se od sebe liší způsobem výroby a některými mechanickými vlastnostmi a navlhavostí. Označují se číslicemi, které udávají počet uhlíkových atomů ve výchozích monomerech. S rostoucí molekulovou hmotností se u každého druhu PA mírně zvyšuje rázová houževnatost a zhoršuje se tekutost taveniny. Z PA se u nás vyrábí pouze některé druhy polyamidu na bázi ϵ - kaprolaktanu /PA 6/.

- a/ PA 6 plněný 10% grafitu. Grafit příznivě působí na kluzné vlastnosti, zvyšuje stabilitu PA 6 a tlumí shromažďování elektrostatického náboje na povrchu výstřiků, což kromě bezpečnostních aspektů zmenšuje i usazování prachu a nečistot na povrchu polyamidových výrobků. Vyrábí se pod názvem Silamid 13.03 G 10 /Žilina/.
- b/ PA 6 plněný 30-35% skleněných vláken. Skleněná vlákna příznivě ovlivňují konstrukční vlastnosti PA 6. Zvyšují hlavně pevnost v tahu, tuhost a stálost rozměrů výstřiků

a umožňují jejich trvalou aplikaci při zvýšených teplotách /do 100°C/. Je vhodný na výrobu výstřiků, na které se kladou zvýšené mechanické požadavky. Vyrábí se pod názvem Silamid 13.03 SV 30 /Žilina/.

Z uvedeného přehledu u nás vyráběných plněných termoplastů vyplývá, že přes velkou pozornost, která je této problematice v Československu věnována, je sortiment v tuzemsku vyráběných plněných termoplastů stále velmi malý.

4. PLNIVA A JEJICH VLIV NA VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

4.1 Klasifikace plniv a jejich vliv na vlastnosti kompozitů

V současné době je jedním z nejprogresivnějších směrů v rozšiřování sortimentu základních druhů polymerů a úpravě jejich vlastností příprava a zpracování polymerů plněných anorganickými a organickými plnivy.

Plniva tvoří skupinu přísad do polymerů, která se svou strukturou, složením, chemickým charakterem a fyzikálními vlastnostmi podstatně liší od vlastností polymerní matrice. Podle základního členění se plniva dělí na organická a anorganická, podle výskytu na přírodní a syntetická. Podle tvaru částic na vláknitá a nevláknitá. Z hlediska vzájemného působení na rozhraní polymer - plnivo se mohou plniva rozdělit na vyztužující a nevyztužující nebo také aktivní a neaktivní. Z pohledu současných názorů má však rozdělení plniv na aktivní a neaktivní jen relativní význam, protože aktivita plniva se mění se změnou charakteru použití polymerní matrice. Kromě toho ve zvoleném systému je možné plnivo aktivovat vhodným způsobem jeho přípravy, případně chemickou úpravou jeho povrchu.

Nevyztužující plniva nebo-li neaktivní jsou v podstatě příměsi - nadstavovadla. Částice plniva iniciují lom materiálu a snižují celkovou energii potřebnou k destrukci polymerní matrice. Nevyztužující plniva zvyšují hustotu, modul pružnosti, kvalitu povrchu, zlepšují tvarovou stabilitu za tepla. Mechanické vlastnosti plněných polymerů nevyztužujícími plnivy nejsou většinou lepší než vlastnosti původního polymeru. Aplikací těchto plniv se však ovlivňuje ekonomická sféra výroby - snižuje se cena výrobku. Mezi tyto plniva patří například moučka získaná rozemletím břidlice, kaolí-

nu, křídý a saze.

Účinek vyztužujících plniv nebo-li aktivních se nejčastěji vysvětluje jako důsledek van der Walsových sil, chemisorpčních sil, respektive vzniklých kovalentních vazeb, působících na rozhraní mezi částicemi plniva a segmenty makromolekulového řetězce. Vhodnou volbou vyztužujících plniv je možné záměrně upravovat a regulovat zvolené vlastnosti původního polymeru. Především je to zvýšení hodnoty pevnosti v tahu, tlaku a smyku, hodnoty meze pevnosti v tahu při přetržení, modulu pružnosti, houževnatosti a tepelné stability. Jako vyztužující plniva se používají skleněná vlákna, vlákna uhlíková, kovová, azbestová, vlákna z bóru a vlákna z oceli. Základní mechanické vlastnosti těchto vláken jsou uvedené v tabulce I.

Tab. I: Zákl. mechanické vlastnosti některých vláken

Typ vláken	Maximální pevnost v tahu /MPa/	Modul pružnosti /MPa/
skleněná vlákna A	2 500	70 000
skleněná vlákna E	3 500	73 000
skleněná vlákna S	4 900	87 000
skleněná vlákna Z	1 650	70 000
nerezavějící ocel	2 800	203 000
azbestová vlákna	2 100 - 3 500	170 000
vlákna z bóru	2 100	420 000
uhlíková vlákna	2 800	350 000

4.2 Použití plniv ve vybraných termoplastech

1/ Plniva používaná u rPE

Rozvětvený polyetylen se zpracovává především v případech, v kterých se vyžaduje lepší tvarovatelnost tohoto polymeru i při nižších teplotách. Jako plniva se používají uhlíčitan vápenatý, skleněná vlákna a azbest.

a/ Uhlíčitan vápenatý. Přídavkem křídý do rPE se získávají materiály s vyšší hustotou, tvrdostí, tuhostí, tvarovou stabilitou, s vyššími hodnotami modulu pružnosti, s lepšími zpracovatelskými vlastnostmi, kvalitou povrchu. Snižuje se však tažnost a index toku taveniny.

b/ Mastek. Přídavkem mastku /do 30 hmot.%/ většina mechanických vlastností si zachovává původní hodnoty v rozsáhlém teplotním intervalu. rPE s přídavkem mastku má vyhovující elektrické vlastnosti.

c/ Skleněná vlákna. Kombinací rPE se skleněnými vlákny v množství do 20 hmot.% se získávají tuhší materiály a snižuje se stupeň smršťování.

d/ Azbest. Azbest se přidává v množství 20 až 40 hmot.%. Tím se získávají materiály s vyšší pevností v ohybu, tvarovou stabilitou za tepla a vyšší hodnotou modulu pružnosti.

2/ Plniva používaná u lPE

V důsledku vyššího stupně krystalinity lPE se přídavkem plniv výrazněji ovlivní pevnost materiálu při nízkých teplotách. Jako plniva se používají uhlíčitan vápenatý, mastek, kaolín a skleněná vlákna.

a/ Uhlíčitan vápenatý. Minerální plniva v kombinaci s lPE se zatím používají jen na výrobu fólií s vlastnostmi papíru.

Kromě snížení ceny materiálu se přídavkem křídý dosáhne zvýšení tvrdosti a tvarové stálosti za tepla. Projeví se méně

výrazným studeným tokem a sníženou hodnotou indexu toku taveniny a tažností plněného lPE.

b/ Mastek a kaolín. Silikátovými plnivy možno dosáhnout výrazného zvýšení pevnosti v tahu a tuhosti v porovnání s neplněným polymerem.

c/ Skleněná vlákna. Skleněné vlákno se všeobecně považuje za plnivo se ztužujícím nebo vyztužujícím účinkem. Skleněnými vlákny s povrchovou úpravou možno pozitivně ovlivnit modul pružnosti a tvarovou stabilitu za tepla. Tvarová stabilita neplněného polymeru s přídatkem 30% skleněného vlákna se zvýší z 50°C na 108°C.

3/ Plniva používaná u PP

Podobně jako v případě PE i při přípravě směsi na podkladě PP je hlavním problémem nízká adheze mezi povrchem částic a polymerní matricí. Důležitým faktorem z hlediska tepelné a termooxidační stability plněných typů PP je chemická čistota plniva. Jako plniva se používají uhličitan vápenatý, mastek, azbest a skleněná vlákna.

a/ Uhličitan vápenatý. Je jedním z často používaných plniv a ztužovadel PP, kterým je možno zvýšit modul pružnosti, hustotu, rozměrovou stabilitu a snížit tepelnou roztažnost. Kvalitní druhy uhličitanu vápenatého dobře v polymerech dispergují.

b/ Mastek. Ovlivňuje vlastnosti PP podobně jako uhličitan vápenatý. PP plněný mastkem získává vynikající dielektrické vlastnosti.

c/ Azbest. Jako plnivo se začal používat v kombinaci s PP až v posledních letech. Přídatkem azbestu se zvýší termostabilita, tvrdost, pevnost v tahu a tlaku, rozměrová stabilita výrobků, sníží se tažnost a vrubová houževnatost.

d/ Skleněná vlákna. Použitím skleněných vláken do PP se dosáhne zvýšení tuhosti, pevnosti v tahu v poměrně širokém intervalu teplot. Naproti tomu se pozoruje pokles tažnosti, odolnosti proti úderu, odolnosti proti otěru a tepelné roztažnosti. Použitím krátkých vláken možno zvýšit houževnatost, přidavkem dlouhých vláken pevnost v tahu při vyšších teplotách a pevnost v ohybu.

4/ Plniva používaná u PA

Zvýšenou schopnost PA absorbovat vlhkost není možné přidavkem plniv podstatně ovlivnit. Přídavkem plniv, např. skleněných vláken, lze podstatně upravit modul pružnosti a pevnost v tahu. Jako plniva se používají uhličitan vápenatý, mikrosférická skleněná plniva a skleněná vlákna.

a/ Uhličitan vápenatý. Křídou plněné PA mají nižší cenu a zpracovávají se na výrobky, od kterých se vyžaduje rozměrová stabilita, zvýšená tvarová stabilita za tepla, houževnatost, odolnost v prostředí rozpouštědel.

b/ Mikrosférická skleněná plniva. Skleněné kuličky se přidávají do PA typu 66 a 12 v množství do 50 hmot.%. Dosáhne se zvýšení pevnosti v tahu a ohybu, odolnosti proti úderu, tepelné stability.

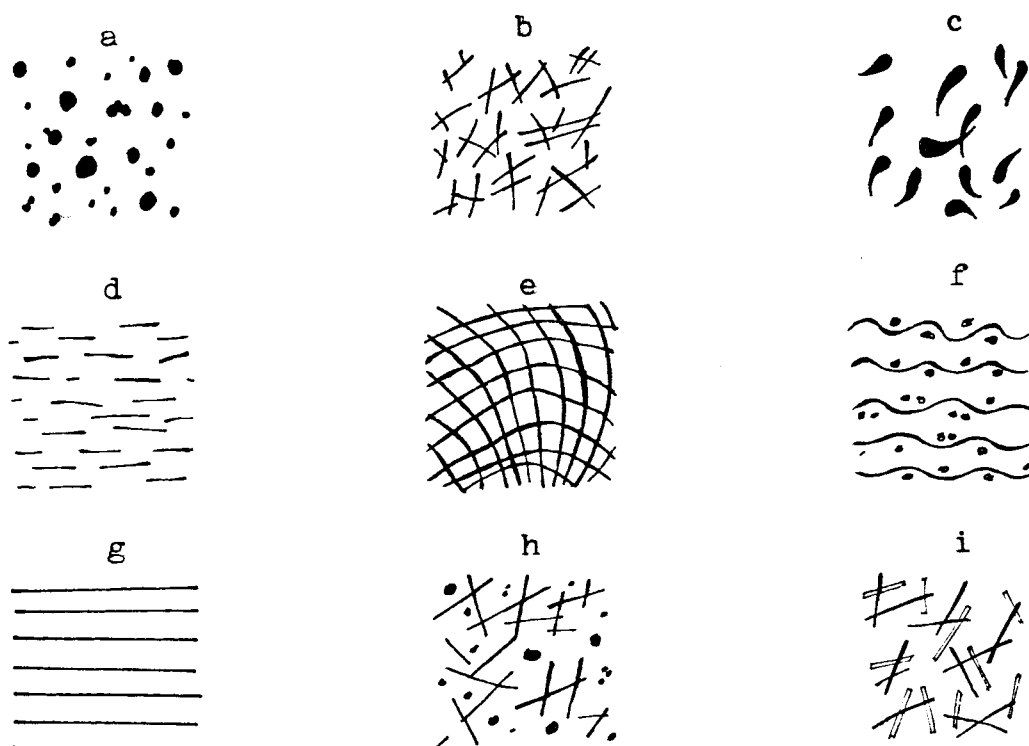
c/ Skleněná vlákna. Z plněných typů PA se nejčastěji používají ve světě směsi s obsahem skleněných vláken až do 50% hmotnosti v PA 6 a v PA 66 a směsi s obsahem vláken až do 30% hmotnosti v PA 11 a v PA 12. Všeobecně přidavkem skleněných vláken možno zvýšit několikrát hodnoty modulu pružnosti, pevnosti v tahu, pevnosti v ohybu, tvrdosti, zlepšit tepelné vlastnosti. Určitým nedostatkem materiálů na podkladě PA, plněných skleněnými vlákny je anizotropie fyzikálně-chemických vlastností vyplývající z orientace vláken v tok. poli.

4.3 Vliv vláknité výztuže na vlastnosti součástí vyrobených vstřikováním kompozitu

Výrobky vyráběné vstřikováním mají nejrůznější tvary, od jednoduchých až k velmi složitým a členitým a z funkčního hlediska jsou podrobeny různým nárokům. Nejčastěji to bývá požadavek určité pevnosti při statickém i dynamickém namáhání, požadavek tuhosti, pružnosti, dodržení určitých rozměrových tolerancí, odolnosti proti zvýšeným teplotám, mrazu a povětrnosti. Jednou ze skupin materiálů, které vyhovují zvyšujícím se nárokům na vlastnosti vstřikovaných výrobků, jsou kompozitní materiály vyztužené vláknitou výztuží. Obecně je známo, že vlivem vláknité výztuže se zvyšují mechanické a tepelné vlastnosti, mírně se snižuje hořlavost a sorpce vody a snižuje se i teplotní roztažnost součástí vyrobených vstřikováním kompozitu. V praxi jsou však skutečné vlastnosti ovlivněny tvarem výrobku, stavem materiálu po zpracování /orientací, vnitřním pnutím, krystalizací/ a konkrétními technologickými podmínkami vstřikovacího procesu. Z toho důvodu budeme dále sledovat vliv vláknité výztuže na vlastnosti kompozitů - smrštění, modul pružnosti, tažnost, pevnost a houževnatost.

Vlastnosti kompozitu jsou určeny nejenom vlastnostmi jednotlivých složek, ale také stavbou a uspořádáním celého kompozitního systému. Základní možnosti makrostruktury kompozitu ukazuje obr. 3. Velký význam mají zejména: poměrný obsah složek, rozptýlení částic plniva v polymerním pojivu, tvar a velikost částic plniva a orientace vláknitého plniva.

Vláknité plnivo se při vstřikování orientuje, srovnává se ve směru toku vlivem působení smykového napětí. Orientace vláken vytváří značnou anizotropii vlastností a smrštění.



a - částicové plnivo; b - náhodně rozmístěná krátká vlákna; c - vločky nebo destičky; d - orientovaná krátká vlákna; e - křížící se vrstvy dlouhých vláken; f - tkaniny; g - jednosměrně orientovaná dlouhá vlákna; h - hybridní vyztužení částicemi i krátkými vlákny; i - hybridní kompozit s krátkými vlákny dvou typů

Obr.3 Schématické znázornění různých možností makrostruktury kompozitů

Smrštění ve směru orientace vláken, tj. ve směru toku, je menší než smrštění kolmo ke směru toku. Je to způsobeno tím, že možnost smršťování ve směru orientace vláken je silně potlačena, zatímco ve směru kolmém nikoliv. Ve směru orientace vláken také roste modul pružnosti a klesá tažnost. S rostoucím obsahem plniva se smrštění zmenšuje.

Pevná vláknitá výztuž je také hlavním zdrojem pevnosti kompozitů. Z toho vyplývá i zásadní anizotropie pevnosti

v tahu u všech vláknových kompozitů. Pevnost je vždy nejvyšší podél vlákna, zatímco kolmo k němu klesá na úroveň pevnosti čistého pojiva. Dokonce i v případě, kdy jsou krátká vyztužující vlákna v pojivu rozmístěna zcela náhodně a materiál je makroskopicky izotropní, lze zjistit lokální anizotropii v bezprostředním okolí vyztužujících vláken.

Pevnost v tahu σ_{bc} kompozitu s kontinuálními vlákny měřená podél osy vláken je dána jednoduchým směšovacím pravidlem, protože vnější napětí se přenáší přímo jak na vlákna, tak na okolní pojivo:

$$\sigma_{bc} = \sigma_{bf} \cdot v_f + \sigma_m \cdot v_m \quad /1/$$

Zde v_f , v_m jsou objemové zlomky vláken a pojiva, σ_{bf} pevnost v tahu vlákna a σ_m napětí v pojivu při přetržení vláken. Analogický vztah platí pro tuhost, případně modul pružnosti kompozitu.

Také u kompozitů s krátkými vlákny nese vláknitá výztuž rozhodující část zatížení, tentokrát se však síla nepřenáší na vlákno přímo, ale prostřednictvím smykových napětí v pojivu. Konce vláken pak působí jako koncentrátoři napětí, a proto pevnost takového kompozitu nemůže nikdy dosáhnout mezní hodnoty dané rovnicí /1/. Aby plnivo nepůsobilo jako koncentrátor napětí, musí být vlákna dostatečně krátká. Jsou-li však vlákna příliš krátká /např. pod 0,1 mm/, opět se uplatňují jako iniciátory lomového procesu.

Houževnatost je vlastností materiálů, která je důležitá pro jejich chování v provozních podmínkách. Ukazuje se, že při jednotlivých aplikacích jsou požadavky na houževnatost velmi rozdílné, a že prvním úkolem je posouzení, jakým druhem mechanického namáhání je daný výrobek vystaven.

Pro výrobky, které nejsou vystaveny dlouhodobému napětí a které musí odolávat občasným nárazům, je patrně rozhodujícím kritériem proces vzniku trhlin, což souvisí s iniciací lomového procesu trháním spojovacích makromolekul mezi krystaly polymerního pojiva, případně na rozhraní polymer - plnivo. Aby vyztužující vlákna nepůsobila jako tzv. koncentrátor napětí, musí se pohybovat délka vlákna v rozmezí 0,3-0,8 mm. Vlákna kratší délky než 0,1 mm houževnatost nezvyšují.

Pro výrobky vystavené dlouhodobému napětí je naopak rozhodujícím kritériem růst přítomných trhlin, což je problematika, kterou se běžně charakterizuje tzv. lomová houževnatost kovových materiálů. Při dlouhodobém účinku napětí totiž nastávají změny nadmolekulární struktury, které se po určité době projeví katastrofickým lomem. Proto je nutné pro zvýšení houževnatosti vyztužených plastů zabudovat do jejich struktury mechanismus, který by rozptyloval mechanickou energii do velkého objemu. K tomu vedou v podstatě tři cesty:

- 1/ použít vláknité výztuže s vysokou vlastní houževnatostí a dobrou smykovou pevností,

- 2/ mírné snížení adheze mezi pojivem a výztuží,
- 3/ použití výztužných vláken se zvýšenou tuhostí.

Všechny tři naznačené postupy však mají svá omezení.

Pokud se týká prvního postupu je známo, že v některých případech výztužná vlákna nedovolí patřičné rozvinutí mechanismu rozptylu a tlumení energie kolem elastomerních domén. Východiskem je soustředit elastomerní vrstvu přímo na povrch vlákna. Ani druhé pravidlo neplatí úplně. Běžně se uvádí, že houževnatost lze zvýšit vždy jen na úkor pevnosti, třeba tak, že se vláknům dovolí poněkud se vytahovat z pojiva.

To však neplatí u kompozitů s krátkými vlákny uloženými v tažném pojivu. Třetí cesta k zvýšení tuhosti vyžaduje, aby vlákna měla vysokou počáteční tuhost, značně překonávala pojivo úrovní meze kluzu a napětí při přetržení, ale při tom byla poddajná až do vyšších deformací.

Lze konstatovat, že problém vlivu vláknité výztuže na mechanické vlastnosti vyztužených polymerů je dosti složitý, a proto jeho výzkum ještě není zcela ukončen.

4.4 Kompozity na bázi skleněných vláken

Skleněná vlákna se nejčastěji připravují tažením neko-
nečného vlákna průměru 5-15 μm z roztavené skloviny různého složení, kde vedle nejčastěji používaných typů skla E a A pro přípravu polymerních kompozitů jsou připravována i skla speciálního složení.

Při volbě skleněných vláken je tedy důležitý typ skla se svými určitými vlastnostmi, pevností, geometrickými rozměry skleněných vláken a jejich orientací v kompozitu a dále pak chemická úprava /apretace/ povrchu skleněných vláken.

Délka skleněných vláken

Velikost částic jakéhokoli plniva a zvláště pak plniva anizotropních rozměrů /skleněná vlákna/ je velmi důležitou charakteristikou rozhodující o výsledných vlastnostech kompozitu.

Protože průměr skleněných vláken je zpravidla konstantní, je chování kompozitu určeno do značné míry délkou vláken a jejich orientací. Existuje kritická hodnota poměru délky ku průměru vlákna pro minimální vyztužení, z které je možno odvodit kritickou délku vlákna. Tato kritická délka vlákna se pohybuje okolo 0,3 až 0,8 mm. Literatura uvádí, že kratší délka vlákna než 0,1 mm nepřináší ztužující účinek. Obvykle

se vyrábějí vlákna délky 4 až 6 mm, které se během zpracování přelámou na délku pod 1 mm. Vliv délky skleněných vláken na vlastnosti kompozitu je uveden v tabulce II.

Tab.II: PP/SV /70/30 % hm/ HOSTALEN s různě dlouhým SV

Vlastnost	Jednotka	SV /0,2-0,3mm/	SV /do 5 mm/
pevnost v tahu	MPa	28	40 - 45
tažnost	%	10	5
vrubová houževnatost	kJ/m^2	4	6
rázová houževnatost	kJ/m^2	21	15
torzní tuhost	MPa	57	65
modul pružnosti v ohybu	MPa	4 600	6 900

Z tabulky je patrné, že s delším skleněným vláknem je vyšší pevnost, vrubová houževnatost, ohybový modul a torzní tuhost. Tedy v podstatě všechny významné fyzikálně-mechanické vlastnosti se zlepšují.

Obsah skleněných vláken

Je známo, že zvyšujícím se plněním se zlepšují výsledné vlastnosti kompozitu, když ovšem použijeme správně zvolené skleněné vlákno /se správnou apretací k dané polymerní matici/. Obsah skleněných vláken je obvykle okolo 30% hmotnosti. Některé polymery /např. PA, termosety/ snesou i vyšší plnění. U polyolefinů se více než 30% hmotnosti skleněných vláken neužívá z důvodu obtížného zpracování a také proto, že se

dále vlastnosti nemění.

Se vzrůstajícím obsahem skleněných vláken a s jejich délkou roste anizotropie. Anizotropie závisí dále ještě na technologických podmínkách zpracování. Nevhodná velikost, délka a obsah skleněných vláken má většinou za následek špatnou dispergaci systému - dojde k vytvoření nehomogenní struktury a přesycení systému vnitřním pnutím. Skleněné vlákno pak působí jako koncentrátor napětí /snižuje deformační energii v případě mechanického namáhání/. Správná velikost, délka, obsah a také správná apretace vedou vždy ke zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností.

Apretace skleněných vláken a reaktivita na mezifázovém rozhraní

Skleněná vlákna se apretují v další fázi výroby, kdy nekonečná vlákna sdružená v tzv. roviny po průchodu vhodnou apretační lázní získávají požadovanou úpravu. Dále se ještě opatřují filmotvornou složkou, která slouží pro ještě dokonalejší spojení skleněných vláken s polymerní matricí resp. mají zlepšit adhezi na mezifázovém rozhraní, když ovšem rozhodující význam pro výsledek adheze má apretační činidlo. Jako apretační činidla se výhradně používají silany. Skleněné vlákno se v případě vhodné apretace chemicky zakotví v kompozitu a působí pak jako tzv. výztuž, což se projeví na fyzikálně-mechanických vlastnostech tím, že se tyto radikálně zlepší.

Na mezifázovém rozhraní se střetává působení a změny jak ze strany povrchu plniva /výztuže/ k polymeru, tak změny povrchu plniva způsobené polymerem. Tloušťka mezifázové vrstvy se pohybuje mezi 3 až 30 nm. U kompozitu s aktivní výztuží je výsledkem vzájemné interakce podstatné omezení pohybu

strukturních segmentů, což způsobuje zvýšení modulu pružnosti, pevnosti a růst T_g . Neaktivní výztuž naopak pohyblivost strukturních segmentů neovlivňuje a nenastává žádné a nebo nastává jen nepatrné zvýšení modulu pružnosti. Vlastnosti kompozitů jsou tedy dány především vlastnostmi jednotlivých složek a charakterem mezifázového rozhraní.

5. ZKUŠEBNÍ METODY PRO ZJIŠŤOVÁNÍ Vlivu TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK NA VLASTNOSTI VÝSTŘIKŮ A JEJICH OVĚŘENÍ NA MODELOVÝCH TĚLESECH

K nejdůležitějším vlastnostem plastů, které jsou posuzovány z hlediska jejich použití, jsou mechanické vlastnosti. Proto je užitečné znát tyto vlastnosti u jednotlivých druhů materiálů, ale také zjistit, jak je možné tyto vlastnosti ovlivnit.

Úkolem této části je navrhnout experimentální metodiku hodnocení mechanických vlastností plněných polyamidů tuzemské výroby a porovnat tyto vlastnosti v závislosti na obsahu skleněných vláken, na teplotě formy a tlaku při vstřikování. Pro praktické ověření navržené experimentální metodiky bude použito zkušebních těles z PA 6 plněného skleněnými vlákny a se zlepšenou zpracovatelností. Konkrétně to budou:

- Silamid 13.01 - E - SV 30 plněný 30% skleněných vláken,
- Silamid 13.01 - E - SV 15 plněný 15% skleněných vláken,
- Silamid neplněný.

Pro vlastní řešení tohoto úkolu navrhuji následující:

- vyrobit zkušební tělesa dle příslušných norem a za daných technologických podmínek,
- u zkušebních těles provést zkoušku tahem, ohybem a vrubové houževnatosti a dále provést zkoušky pro stanovení modulu pružnosti v ohybu, reologických vlastností a obsahu vlhkosti v granulátu,
- všechna měření provádět podle příslušných norem, které také stanovují metodiku zpracování výsledků; každé měření provádět nejméně u pěti zkušebních těles a z naměřených hodnot vypočítat průměrnou hodnotu měření $\bar{x}$, směrodatnou odchylku s a variační koeficient v ,

- rozbořem výsledků těchto zkoušek porovnat mechanické vlastnosti jednotlivých typů PA 6 a zjistit vliv technologických podmínek /vstřikovacího tlaku, teploty formy a obsahu skleněných vláken/ na vlastnosti výstřiků.

5.1 Technologické podmínky vstřikování zkušebních těles

Zkušební tělesa byla vstřikována na vstřikovacím stroji CS 88/63 /výrobce TOS Rakovník/ v kombinované formě při následujících technologických podmínkách:

- vstřikovací teplota $T = 260^{\circ} \text{C}$
- doba trvání cyklu $t_c = 25 \text{ s}$
- doba pod tlakem $t_p = 10 \text{ s}$
- doba chlazení $t_{ch} = 20 \text{ s}$
- doba manipulace $t_m = 5 \text{ s}$

Jednotlivá zkušební tělesa používaná ve zkouškách byla vstřikována při stejných základních technologických podmínkách, které jsou uvedeny výše, a při dvou různých teplotách formy T_f , při dvou různých vstřikovacích tlacích p_{vs} a s různým procentem skleněných vláken sv%. Tyto tři posledně jmenované hodnoty pro každé konkrétní zkušební těleso udává tabulka III_{a,b,c}.

Tab.III: Technologické podmínky vstřikování zkušebních těles

a/

číslo zkušeb. tělesa	5	6	7	8
SV %	15	15	15	15
$T_f /^{\circ}\text{C}/$	40	40	80	80
$p_{vs} / \text{MPa}/$	5	10	10	5

Tab. III: Technologické podmínky vstřikování zkušebních těles - pokrač.

b/

číslo zkušeb. tělesa	1	2	3	4
SV %	30	30	30	30
T_f /°C/	40	40	80	80
p_{vs} /MPa/	5	10	10	5

c/

číslo zkušeb. tělesa	9	10
SV %	mat	mat
T_f /°C/	80	80
p_{vs} /MPa/	5	10

Zkušební tělesa č. 9, 10 neobsahují žádné procento skleněných vláken.

5.2 Zkouška tahem

Cíl zkoušky

- 1/ Určit pevnost v tahu zkušebních těles v závislosti na procentu skleněných vláken, vstřikovacím tlaku a teplotě formy.
- 2/ Z tahového diagramu určit tažnost δ a modul pružnosti v tahu.
- 3/ Porovnat pevnostní vlastnosti zkušebních těles v závislosti na technologických podmínkách.

Realizace zkoušky

Pro zkoušku tahem jsem měla připraveny zkušební tělesa dle ČSN 64 0605 typ 2. Rozměry zkušebních těles dle ČSN jsou:

- šířka pracovní části je $10 \pm 0,5$ mm,
- tloušťka je $4 \pm 0,2$ mm.

Zkušební tělesa byla vstřikována při různých tlacích a teplotách formy z materiálu:

- Silamid 13.01 - E - SV 30 při tlacích $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$,
 $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a teplotách formy $T_f = 80^\circ\text{C}$ a $T_f = 40^\circ\text{C}$,
- Silamid 13.01 - E - SV 15 při tlacích $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$,
 $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a teplotách formy $T_f = 80^\circ\text{C}$, $T_f = 40^\circ\text{C}$
- Silamid neplněný při tlacích $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$, $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$
a teplotě formy $T_f = 80^\circ\text{C}$.

Zkoušku tahem jsem prováděla na univerzálním přístroji Instron, model 1121 s přídatným vysokotlakým kapilárním reometrem 3240. Protože je u měřeného materiálu tažnost nižší než 10%, prováděla se měření za použití extenzometru. V případě použití extenzometru je zaznamenáno na zapisovači přímo protažení zkušebního tělesa v pracovní části extenzometru. Dle ČSN 64 0605 jsem zvolila zatěžovací rychlost $v = 50 \text{ mm/min}$. Během zkoušek se teplota v laboratoři pohybovala v rozmezí $22 - 23^\circ\text{C}$ a vlhkost od $50 - 52\%$. U všech zkušebních těles byla zkouška prováděna v jeden den a za stejných podmínek.

Z každé zkoušky jsem získala grafický zápis tahového diagramu, z něhož jsem mohla zjistit potřebné hodnoty. Mez kluzu ani mez úměrnosti nebyly na diagramu patrné, proto jsem tyto hodnoty nemohla určit. Mez pevnosti jsem počítala dle vztahu

$$\sigma_z = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad /2/$$

kde σ_z je mez pevnosti v tahu /MPa/

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

A_0 je průřez zkušebního tělesa v pracovní části /mm²/

Dále jsem z tahového diagramu určila tažnost δ , což je poměrná změna délky při zkoušce tahem v okamžiku při přetr-

žení. Modul pružnosti v tahu jsem z tahových křivek nemohla určit, neboť vzhledem k nízké tažnosti sledovaných materiálů jsou tahové křivky velmi strmé a lze tudíž obtížně určit hodnoty, nutné pro výpočet modulu pružnosti v tahu. Pro všechna měření uvádím průměrnou hodnotu $\bar{x}$, směrodatnou odchylku s a variační koeficient v .

Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce IV a V. Příklady tahových diagramů pro Silamid 13.01 - E - SV 30, Silamid 13.01 - E - SV 15 a Silamid neplněný při vstřikovacím tlaku $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$ a teplotě formy $T_f = 80^\circ\text{C}$ jsou uvedeny na obr. 4.

Vyhodnocení zkoušky

Z naměřených výsledků zkoušky tahem můžeme porovnat pevnostní vlastnosti jednotlivých typů Silamidu. Porovnáváním pevnosti v tahu a tažnosti je zřejmé, že s rostoucím obsahem skleněných vláken pevnost v tahu ve všech případech stoupla a tažnost nepatrně poklesla.

Účelem zkoušky také bylo zjistit vliv vstřikovacího tlaku a teploty formy na pevnostní vlastnosti. U všech typů materiálů jsou hodnoty meze pevnosti při teplotě formy $T = 80^\circ\text{C}$ vyšší. U materiálu do obsahu 15% SV a bez vláken se vstřikovací tlak neprojevil, u 30% SV bylo dosaženo vyšší hodnoty meze pevnosti při použití vyššího tlaku a současně i vyšší teploty formy. Tažnost s rostoucím obsahem skleněných vláken nepatrně klesá. Při porovnání jednotlivých typů materiálu v závislosti na tlaku je patrné, že tažnost se zvyšujícím se tlakem nepatrně roste.

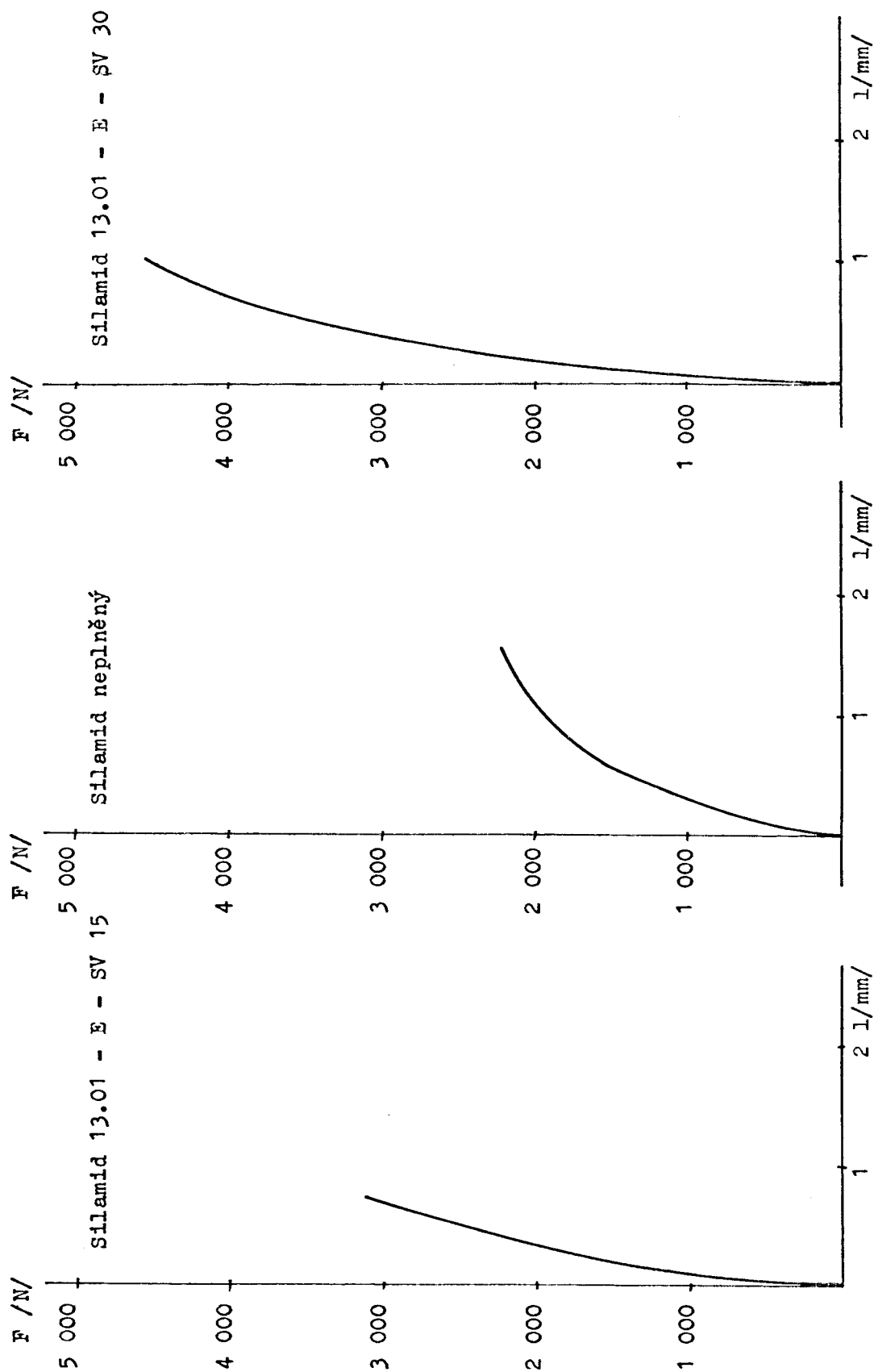
Zkouška tahem přinesla údaje o pevnostních vlastnostech materiálů Silamid 13.01 - E - SV 30, Silamid 13.01 -

Tabulka IV: Hodnoty meze pevnosti v MPa pro SILAMID v závislosti na % skleněných vláken, vstříkovacím tlaku a teplotě formy

č. zkuš. tělesa měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	108,52	101,95	124,41	105,24	61,89	69,35	74,61	71,81	48,78	49,02
2.	110,96	100,30	124,42	105,71	61,89	67,96	71,73	74,75	53,94	49,02
3.	108,52	106,63	124,41	97,05	66,31	65,19	71,71	68,62	52,77	47,85
4.	103,64	91,40	106,83	101,73	65,08	60,10	70,52	69,11	52,29	50,19
5.	108,52	105,42	109,21	90,04	62,62	60,10	70,55	71,81	52,29	48,09
$\bar{x}$	108,03	101,14	117,85	99,95	63,55	64,54	71,82	71,22	52,01	48,83
s	3,14	6,54	7,56	6,73	1,90	3,97	1,75	2,63	2,21	1,00
v	2,90	6,46	6,41	6,73	2,98	6,15	2,43	3,69	4,24	2,04

Tab. V: Hodnoty tažnosti v % pro SILAMID v závislosti na % skleněných vláken, vstříkovacím tlaku a teplotě formy

č. zkuš. tělesa číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	1,40	0,80	2,10	1,20	1,10	1,60	2,00	1,80	2,50	2,00
2.	1,70	1,30	2,20	1,70	1,05	1,60	1,40	1,90	2,50	2,80
3.	1,50	1,70	1,70	1,60	1,30	1,70	0,70	1,50	3,00	2,50
4.	1,30	1,80	1,90	1,10	1,61	1,50	1,40	0,80	2,90	2,80
5.	1,00	2,00	2,00	1,20	0,40	1,50	1,80	1,70	2,90	2,20
$\bar{x}$	1,38	1,52	1,98	1,35	1,10	1,58	1,46	1,54	2,76	2,46
s	0,30	0,51	0,21	0,25	0,51	0,08	0,55	0,47	0,21	0,34
v	21,73	33,55	10,60	18,51	36,36	5,06	37,67	30,51	7,60	13,82



Obr. 4 Příklady tahových diagramů pro Silamid

- E - SV 15 a Silamid neplněný. Typy 15 a 30 však platí pouze pro uvedené podmínky.

5.3 Zkouška ohybem

Cíl zkoušky

- 1/ Určit mez pevnosti v ohybu σ_{po} u všech typů materiálu Silamid.
- 2/ Určit hodnoty smluvního napětí v ohybu σ_{xo} .
- 3/ Porovnat pevnostní vlastnosti v ohybu u všech typů materiálu Silamid.

Realizace zkoušky

Zkoušku ohybem jsem prováděla na univerzálním přístroji Instron, model 1121 s přídatným vysokotlakým kapilárním reometrem 3240. Pro tuto zkoušku jsem používala zkušební tělesa dle ČSN 64 0608, která měla průřez $10,0 \times 4,0 \text{ mm}^2$ a délku $l = 80 \text{ mm}$. Zkušební tělesa byla vstřikována při různých tlacích a teplotách formy z materiálu:

Silamid 13.01 - E - SV 30 při tlacích $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$, $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a teplotách formy $T_f = 80^\circ\text{C}$, $T_f = 40^\circ\text{C}$,

Silamid 13.01 - E - SV 15 při tlacích $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$, $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a teplotách formy $T_f = 80^\circ\text{C}$ a $T_f = 40^\circ\text{C}$,

Silamid neplněný při tlacích $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$, $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a teplota formy $T_f = 80^\circ\text{C}$.

Z grafického zápisu jsem zjistila ohybový moment M . Mez pevnosti v ohybu se pak vypočte dle vztahu

$$\sigma_{po} = \frac{M}{W} \quad /3/$$

kde M je ohybový moment $[\text{N} \cdot \text{cm}]$,

W je moment odporu v ohybu $[\text{cm}^3]$ a vypočte se ze vztahu

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad /4/$$

kde b je šířka zkušební tělesa $[\text{cm}]$,

h je tloušťka zkušební tělesa $[\text{cm}]$.

Obdobně jsem stanovila smluvní napětí v ohybu /při předepsaném průhybu/ $\bar{\sigma}_{x0}$. V našem případě se jednalo o napětí při průhybu zkušebního tělesa rovnajícím se 1,5 násobku výšky zkušebního tělesa.

Každé měření jsem provedla pro 5 zkušebních těles. Pro všechna měření uvádím průměrnou hodnotu $\bar{x}$, směrodatnou odchylku s a variační koeficient v . Všechny hodnoty byly měřeny za stejných podmínek. Teplota v laboratoři byla 23°C a vlhkost 50%.

Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce VI a VII. Příklady ohybových diagramů pro Silamid 13.01 - E - SV 30, Silamid 13.01 - E - SV 15 a Silamid neplněný při vstřikovacím tlaku $p_{vs} = 10$ MPa a teplotě formy $T_f = 80^\circ\text{C}$ jsou uvedeny na obr. 5.

Vyhodnocení zkoušky

Z výsledků měření je patrné, že se vzrůstajícím obsahem skleněných vláken roste mez pevnosti v ohybu a smluvní napětí v ohybu. U materiálu Silamid bez skleněných vláken nedošlo u žádného zkušebního tělesa k porušení.

Zhodnotíme-li vliv teploty formy a vstřikovacího tlaku na pevnostní vlastnosti v ohybu u jednotlivých typů Silamidu, zjistíme, že nejvyšší hodnoty byly naměřeny vždy pro zkušební tělesa vstřikovaná při teplotě formy $T_f = 80^\circ\text{C}$ a vstřikovacím tlaku $p_{vs} = 10$ MPa. Z toho je patrné, že pevnostní vlastnosti se s rostoucí teplotou formy a s rostoucí hodnotou vstřikovacího tlaku zlepšují, přičemž rozhodující podíl má teplota formy.

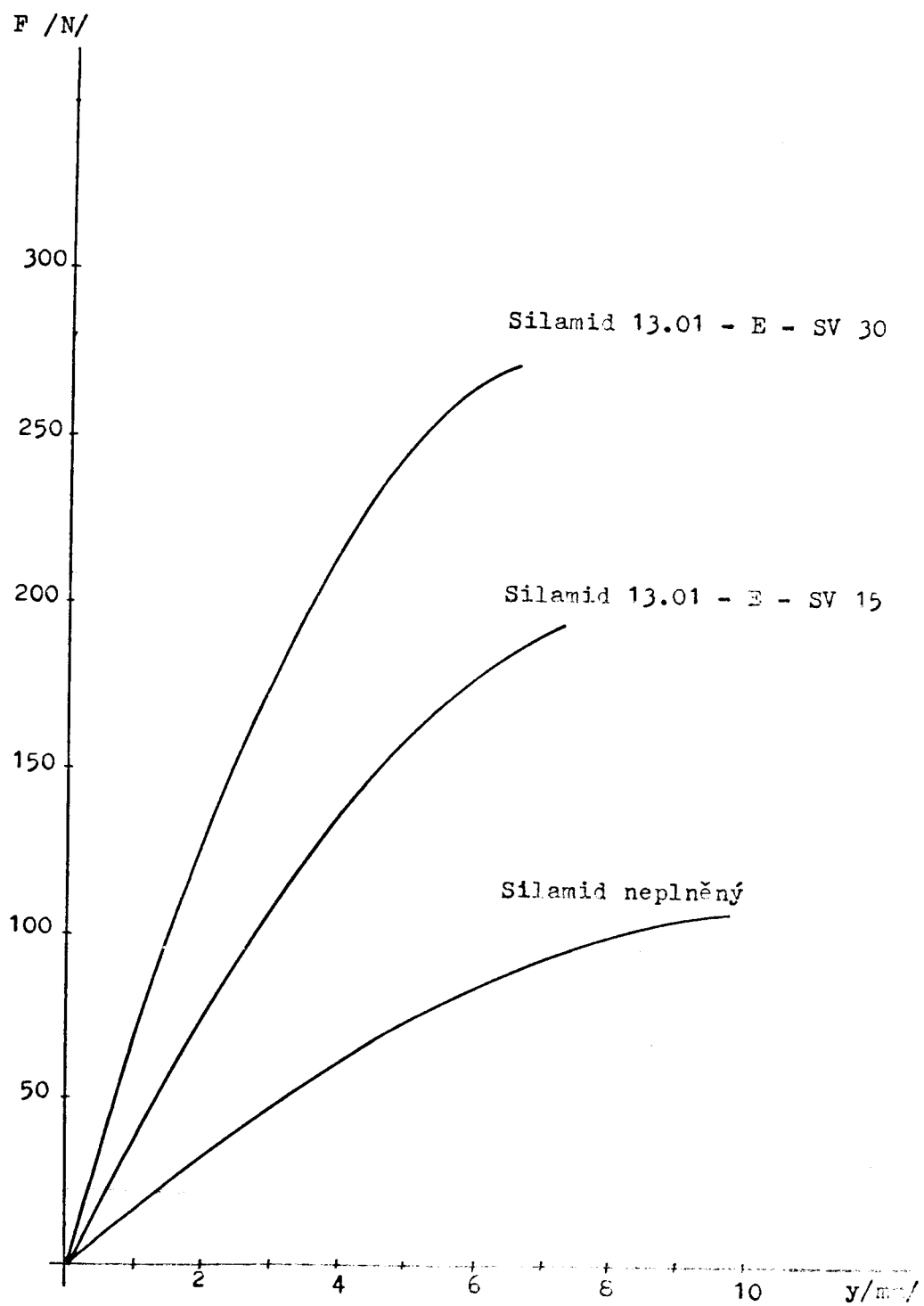
Zkouškou ohybem jsem zjistila hodnoty meze pevnosti v ohybu a hodnoty smluvního napětí v ohybu u jednotlivých

Tab. VI: Hodnoty smluvního napětí v ohybu v MPa pro SILAMID v závislosti na % skleněných vláken, vstříkovaním tlaku a teplotě formy

č. zkuš. tělesa číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	154,88	150,78	151,64	154,48	100,09	97,34	101,28	102,16	49,54	54,72
2.	153,77	147,52	150,51	153,92	97,86	93,55	101,84	98,62	47,81	53,57
3.	153,21	149,15	167,03	153,36	97,31	94,63	101,28	98,03	51,84	55,30
4.	153,21	127,45	157,25	148,90	95,08	94,63	98,46	98,03	55,30	47,23
5.	154,88	148,06	161,40	146,67	97,31	93,55	102,40	98,62	54,14	47,81
$\bar{x}$	153,99	144,59	157,56	151,46	97,53	94,74	101,05	99,09	51,72	51,72
s	0,71	10,03	7,26	3,35	2,15	1,62	1,69	1,77	3,22	3,47
v	0,46	6,93	4,60	2,21	2,20	1,70	1,67	1,78	6,20	6,70

Tab. VII: Hodnoty meze pevnosti v ohybu v MPa pro SILAMID v závislosti na % skleněných vláken, vstříkovaním tlaku a teplotě formy

č. zkuš. tělesa číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	157,11	153,49	154,44	154,48	106,20	108,15	112,53	113,38	60,64	69,12
2.	154,88	150,78	155,00	153,92	102,87	104,37	115,34	112,20	58,98	67,39
3.	154,33	151,86	178,03	153,92	108,43	104,37	111,97	112,79	63,39	69,70
4.	153,21	134,50	157,25	151,69	102,43	105,45	108,03	112,20	68,91	67,39
5.	156,00	150,92	181,40	150,57	105,65	106,53	114,78	109,25	66,15	67,39
$\bar{x}$	155,10	148,71	165,22	152,91	105,11	105,77	112,53	111,96	63,62	68,19
s	1,67	8,16	11,59	1,68	2,58	1,62	3,14	1,77	4,26	1,01
v	1,07	5,48	7,01	1,09	2,45	1,53	2,79	1,58	6,60	1,61



Obr.5 Příkladý ohybový diagram pro
Silamid

typů Silamidu, které platí jen pro uvedené podmínky.

5.4 Zkouška vrubové houževnatosti

Cíl zkoušky

- 1/ Určit hodnotu vrubové houževnatosti všech typů materiálu Silamid metodou Charpy.
- 2/ Porovnat hodnoty vrubové houževnatosti jednotlivých typů materiálu Silamid, zjistit vliv procenta skleněných vláken, vliv vstřikovacího tlaku a teploty formy na vlastnosti materiálu.

Realizace zkoušky

Pro zkoušku vrubové houževnatosti jsem používala zkušební tělesa o průřezu 6,0 x 4,0 mm a délce $l = 50$ mm, které jsou pro zkoušku metodou Charpy uvedena v ČSN 64 0612. Na každém zkušebním tělese jsem vyfrézovala vrub o šířce 0,8 mm a hloubce $1,3 \pm 0,1$ mm. Takto jsem získala zkušební tělesa odpovídající normě. Zkušební tělesa byla vstřikována při různých tlacích a teplotách formy z materiálu:

Silamid 13.01 - E - SV 30 vstřikovaný při vstřikovacím tlaku $p_{vs} = 10$ MPa, $p_{vs} = 5$ MPa a teplotě formy $T_f = 80^\circ\text{C}$, $T_f = 40^\circ\text{C}$,
Silamid 13.01 - E - SV 15 při tlacích $p_{vs} = 10$ MPa, $p_{vs} = 5$ MPa a teplotách formy $T_f = 80^\circ\text{C}$, $T_f = 40^\circ\text{C}$,
Silamid neplněný při tlacích $p_{vs} = 10$ MPa, $p_{vs} = 5$ MPa a teplotě $T_f = 80^\circ\text{C}$.

Pro každý typ materiálu jsem zkoušku prováděla u 10 zkušebních těles. Všechny zkoušky jsem provedla za stejných podmínek a v jeden den. Teplota v laboratoři byla 23°C a vlhkost 50%.

U každého zkušebního tělesa jsem naměřila hodnotu rázové energie A_k . Hodnota vrubové houževnatosti a_k se vypočte ze vztahu:

Tab. VIII: Hodnoty vrubové houževnatosti v kJ/m^2 pro SILAMID v závislosti na % skleněných vláken, vstřikovací tlaku a teplotě formy

č. zkušeb. tělesa číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	5,58	5,59	7,39	5,11	2,69	3,28	2,91	4,06	2,38	2,97
2.	5,90	5,85	6,19	5,44	3,23	2,92	2,66	3,85	3,21	3,50
3.	5,68	5,62	6,73	5,92	3,35	3,44	2,67	3,83	2,38	4,57
4.	5,47	5,59	5,89	5,14	2,97	3,21	2,97	3,79	3,21	3,51
5.	6,30	5,56	7,00	5,20	3,34	2,94	2,91	3,28	3,32	4,06
6.	6,56	5,40	5,85	4,87	2,42	3,17	3,53	3,30	2,64	4,06
7.	5,49	5,59	5,85	4,86	2,99	3,97	3,50	3,26	2,99	2,97
8.	6,22	6,09	7,53	5,44	4,06	3,48	2,67	3,24	2,47	3,81
9.	6,19	6,62	7,53	5,98	3,79	3,28	3,46	3,37	2,94	4,60
10.	6,19	5,08	7,30	5,52	3,50	2,94	2,94	3,41	2,92	3,51
$\bar{x}$	5,95	5,09	6,72	5,34	3,23	3,26	3,38	3,53	2,84	3,75
s	0,46	0,29	0,72	0,48	0,71	0,24	0,83	0,82	0,94	1,60
v	7,70	5,82	10,75	9,01	21,67	7,31	24,50	23,22	33,09	43,46

$$a_k = \frac{A_k}{b \cdot h_k} \quad /5/$$

kde A_k je energie potřebná k přeražení zkušební tělesa
s vrubem /N . cm/

b je šířka zkušební tělesa /mm/

h_k je tloušťka zkušební tělesa v místě vrubu /mm/.

Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti v kJ/m^2 získané metodou Charpy u jednotlivých typů materiálu Silamid při různých vstřikovacích tlacích a teplotách formy jsou uvedeny v tabulce VIII.

Vyhodnocení zkoušky

U těchto měření je patrný vliv velikosti procentuálního zastoupení skleněných vláken. Se vzrůstajícím procentem skleněných vláken se vrubová houževnatost zvyšuje. Vliv vstřikovacího tlaku a teploty formy se výrazně neprojevil. Z naměřených hodnot opět vyplývá, že vrubová houževnatost je nejvyšší u materiálu Silamid 13.01 - E - SV 30 při vstřikovacím tlaku $p_{vs} = \text{MPa}$ a teplotě formy $T_f = 80^\circ\text{C}$.

Zkouškou vrubové houževnatosti metodou Charpy byly zjištěny hodnoty vrubové houževnatosti u jednotlivých typů materiálu Silamid. Tyto hodnoty platí jen pro uvedené konkrétní podmínky.

5.5 Zkouška pro stanovení modulu pružnosti v ohybu

Cíl zkoušky:

- 1/ Určit modul pružnosti v ohybu E u jednotlivých typů materiálu Silamid.
- 2/ Porovnat hodnoty modulu pružnosti v ohybu u jednotlivých typů materiálu Silamid v závislosti na procentu SV, vstřikovacím tlaku a teplotě formy.

Realizace zkoušky:

Stanovení modulu pružnosti v ohybu jsem prováděla na univerzálním přístroji Instron, model 1121 s přidavným vysokotlakým kapilárním reometrem 3240. Rychlost pohybu příchů k rychlosti papíru byla 5:1000 mm/min. Zkušební tělesa byla připravena dle ČSN 64 0614. Pro každý materiál jsem zkoušku prováděla u 10 zkušebních tělesech o průřezu 10,0 x 4,0 mm dle ČSN. Zkušební tělesa byla vstřikována při různých tlacích a teplotách formy z materiálu:

- Silamid 13.01 - E - SV 30 při tlacích $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$,
 $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a teplotách formy $T_f = 80^\circ\text{C}$, $T_f = 40^\circ\text{C}$,
- Silamid 13.01 - E - SV 15 při tlacích $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$,
 $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a teplotách formy $T_f = 80^\circ\text{C}$, $T_f = 40^\circ\text{C}$,
- Silamid neplněný při tlacích $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$, $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$
a teplotě formy $T_f = 80^\circ\text{C}$.

Z každého měření jsem získala grafický zápis. Měření bylo prováděno cyklicky a proto pro vyhodnocení zatěžovací síly jsem použila střední hodnoty. Modul pružnosti v ohybu jsem vypočítala ze vztahu

$$E = \frac{F \cdot l^3}{48 I \cdot y} \quad /6/$$

kde F je zatěžovací síla /N/,

l je vzdálenost mezi podporami /cm/,

y je průhyb ve středu měřené délky /cm/,

I je moment setrvačnosti průřezu zkušební tělesa /cm⁴/.

Moment setrvačnosti I je dán vztahem:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad /7/$$

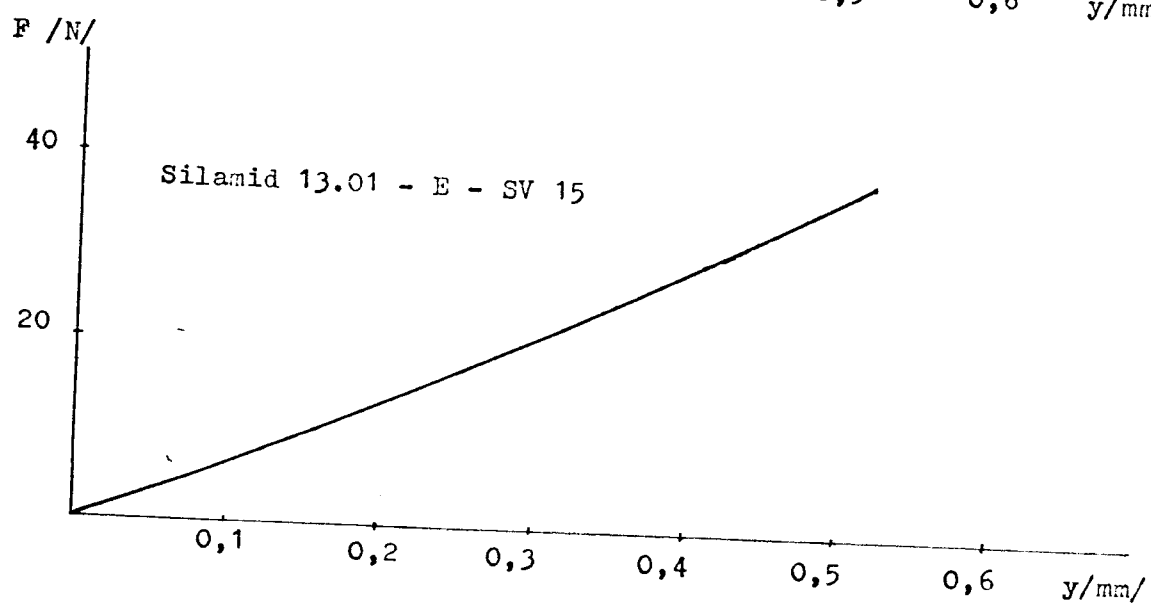
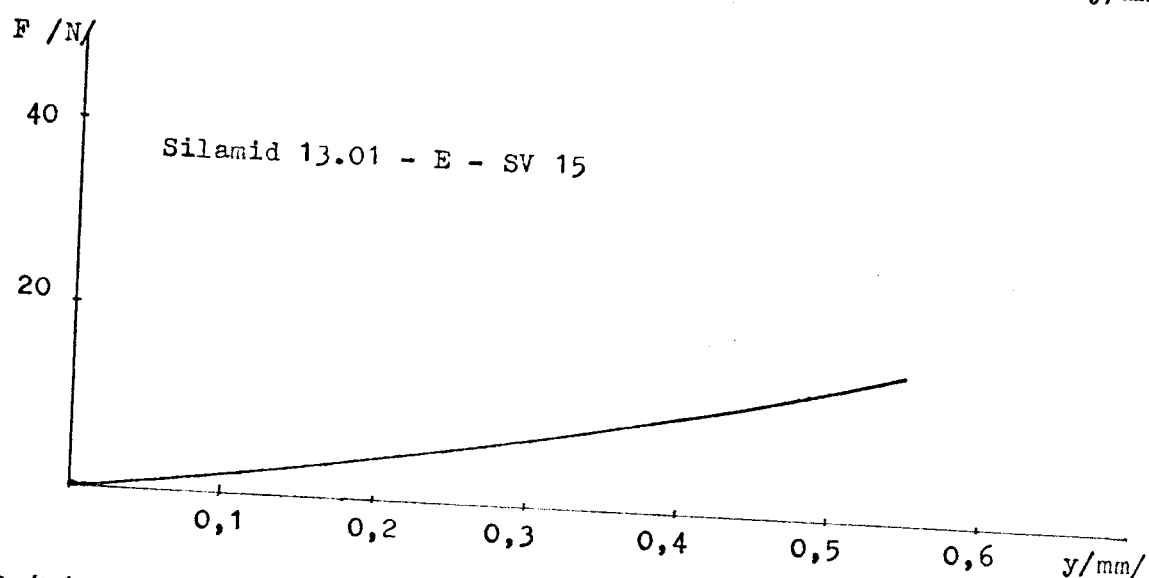
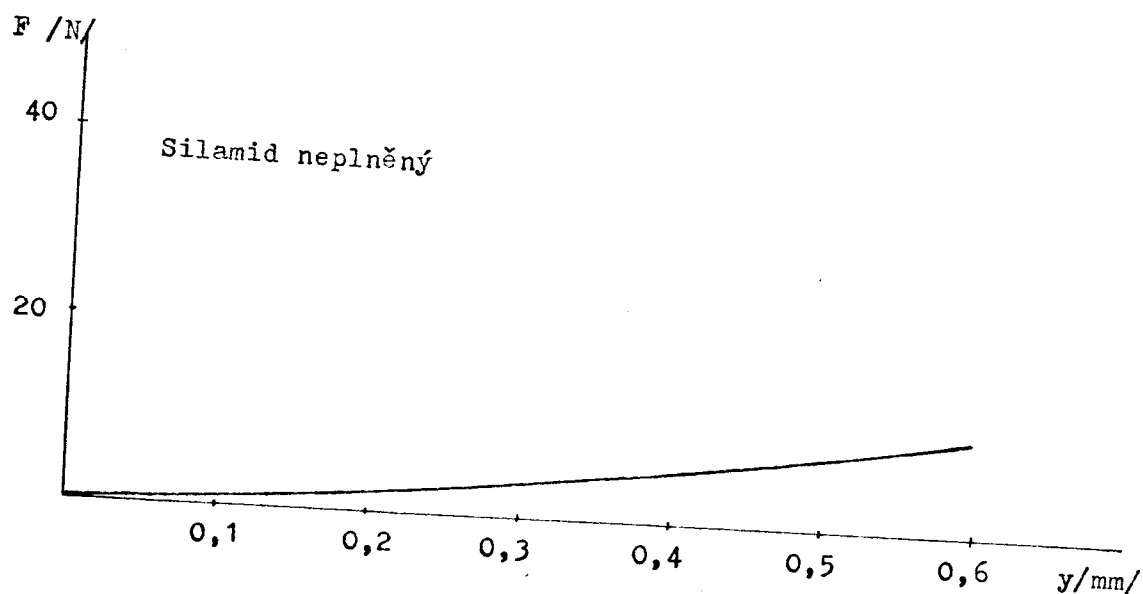
kde b je šířka zkušební tělesa /cm/

h je tloušťka zkušební tělesa /cm/.

Všechny zkoušky jsem provedla za stejných podmínek a

Tab. IX: Hodnoty modulu pružnosti v ohybu E v GPa u Silamidu v závislosti na $\% \text{SV}$, p_{vs} a T_f

číslo měření \ č.zkuš. tělesa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	2,34	1,96	2,15	2,26	1,41	0,74	1,14	1,46	0,56	0,52
2.	2,34	2,03	2,37	2,34	1,34	1,01	0,93	1,26	0,42	0,52
3.	2,34	2,03	2,15	2,34	1,27	0,88	1,07	1,31	0,35	0,44
4.	2,34	1,89	2,78	2,12	1,34	1,01	1,28	1,46	0,32	0,44
5.	2,34	1,96	1,65	2,16	1,41	0,94	1,00	1,00	0,42	0,44
6.	2,19	2,09	1,44	2,19	1,48	1,15	0,78	1,31	0,38	0,48
7.	2,26	1,82	1,59	2,34	1,31	1,01	0,78	1,07	0,42	0,52
8.	2,36	2,16	1,38	2,05	1,34	1,15	0,78	1,31	0,42	0,44
9.	2,05	2,03	1,69	2,34	1,34	1,08	0,78	1,15	0,49	0,48
10.	2,12	1,79	1,79	2,19	1,20	1,08	0,86	1,31	0,42	0,52
$\bar{x}$	2,26	1,97	1,79	2,23	1,34	1,00	0,94	1,26	0,42	0,48
s	0,13	0,09	0,42	0,12	0,12	0,17	0,15	0,19	0,10	0,03
v	5,75	4,56	23,46	5,38	8,95	17,00	15,90	15,07	23,80	6,25



Obr. 6 Příklady ohybových diagramů pro stanovení modulu pružnosti v ohybu pro Silamid

v jeden den. Teplota v laboratoři byla 23°C a vlhkost 51%.

Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce IX. Příklady diagramů pro stanovení modulu pružnosti v ohybu pro Silamid 13.01 - E - SV 30, Silamid 13.01 - E - SV 15 a Silamid neplněný při vstřikovacím tlaku $p_{vs} = 10 \text{ MPa}$ a teplotě formy $T_f = 80^{\circ}\text{C}$ jsou uvedeny na obr. 6.

Vyhodnocení zkoušky

Cílem zkoušky bylo porovnat hodnoty modulu pružnosti v ohybu u jednotlivých typů materiálu Silamid v závislosti na procentu SV, vstřikovacím tlaku a teplotě formy. Z porovnání výsledků zkoušky je zřejmé, že největší modul pružnosti v ohybu vykazuje materiál Silamid 13.01 - E - SV 30 při vstřikovacím tlaku $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a teplotě formy $T_f = 40^{\circ}\text{C}$ a tentýž materiál při vstřikovacím tlaku $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a teplotě formy $T_f = 80^{\circ}\text{C}$. Modul pružnosti v ohybu roste se zvyšujícím se obsahem SV. Jestliže sledujeme vliv vstřikovacího tlaku a vliv teploty formy na velikost modulu pružnosti v ohybu, je patrné, že největší hodnoty byly naměřeny u $p_{vs} = 5 \text{ MPa}$ a $T_f = 40^{\circ}\text{C}$. Je však nutno podotknout, že mezi jednotlivými hodnotami jsou jen nepatrné rozdíly.

V této zkoušce jsem zjistila hodnoty modulu pružnosti v ohybu pro jednotlivé typy Silamidu, které platí jen pro uvedené podmínky.

5.6 Zkouška pro stanovení reologických vlastností

Cíl zkoušky:

- 1/ Určit reologické vlastnosti u jednotlivých typů materiálu Silamid.
- 2/ Zhodnotit naměřené hodnoty.

Realizace zkoušky

Reologické vlastnosti byly měřeny na univerzálním přístroji Instron, model 1121 s přídatným kapilárním reometrem 3240 za následujících podmínek:

- teplota měření 230°C
- délka kapiláry $L = 50,1916 \text{ mm}$
- průměr kapiláry $d_c = 1,2700 \text{ mm}$
- průměr pístu $d_p = 9,5250 \text{ mm}$.

Kapilára byla zhotovena z karbidu wolframu. Byly měřeny vzorky:

- Silamid 1301 - E - SV 30
- Silamid 1301 - E - SV 15
- Silamid neplněný.

Naměřené a vypočtené hodnoty závislosti $\log \tau = f / \log \dot{\gamma}$ jsou sestaveny v tabulkách X, XI, XII. Grafická závislost hodnot představovala přímky a proto byl pro hodnocení použit Oswald - de Vaeleův mocninový zákon ve tvaru

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}_z^n \quad /8/$$

kde τ je smykové napětí /Pa/,

K je reologická konstanta /Pa.s/,

$\dot{\gamma}_z$ je zdánlivá smyková rychlost /s⁻¹/,

n je reologický index toku.

Pro výpočet byly použity následující matematické vztahy:

$$\tau_w = /G/ = \frac{d_c}{r \cdot d_p^2 \cdot L} \cdot F \quad /9/$$

kde τ_w je smykové napětí u stěny kapiláry /Pa/,

d_c je průměr kapiláry /m/,

d_p je průměr pístu /m/,

L je délka kapiláry /m/,

F je síla /N/

Tab.X: Hodnoty pro stanovení reologických vlastností
u Silamidu neplněného

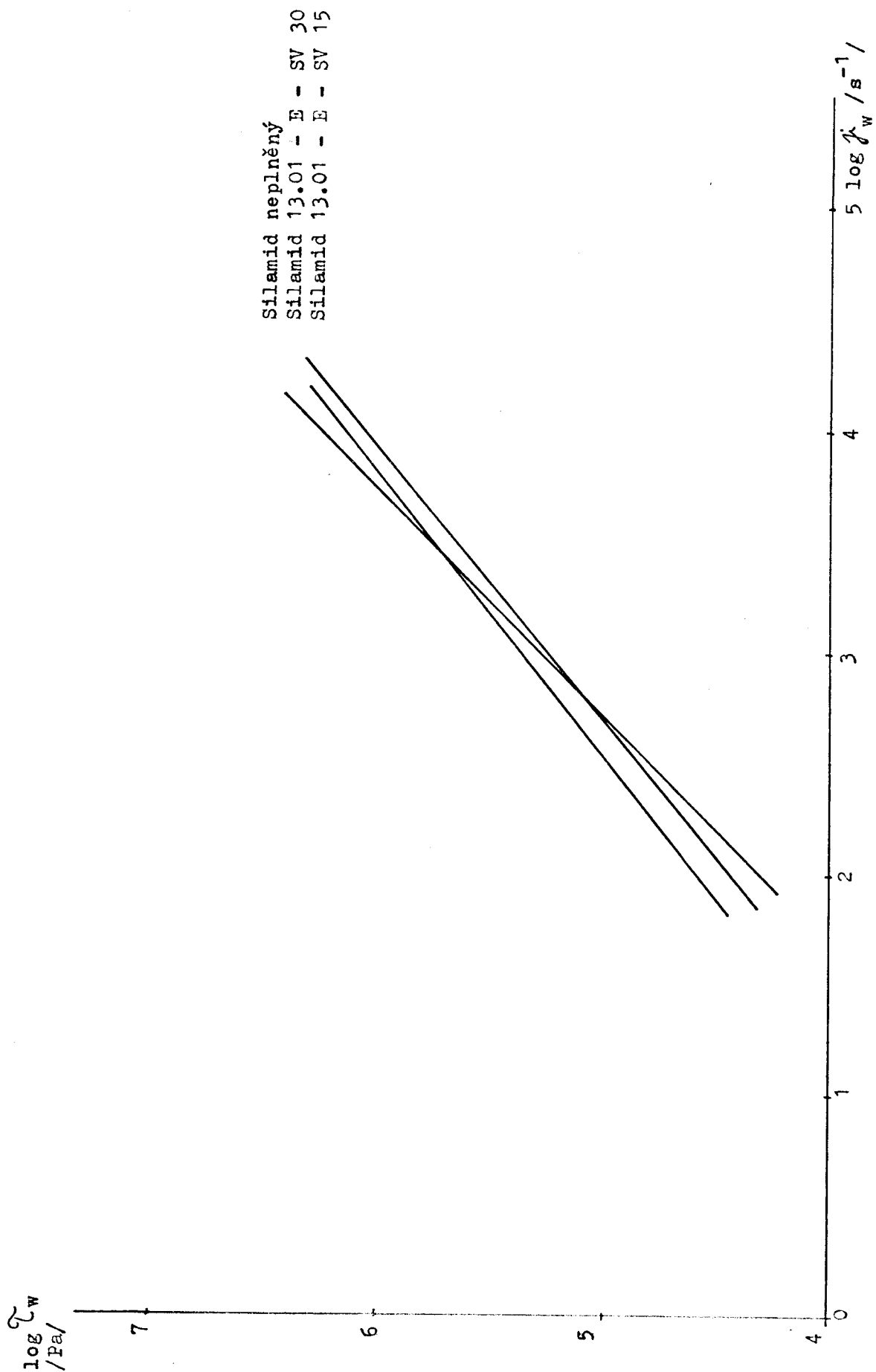
Silamid neplněný	v_{xn} - rychlost pístu /mm.min ⁻¹ /					
	2	5	10	20	50	100
F /N/	37	90	170	310	710	1250
$\log \tau_w$ /Pa/	3,5165	3,9025	4,1787	4,4397	4,7996	5,0452
$n = 0,8988$						
$r = 0,9990$						
$\log K = 2,5612$						

Tab.XI: Hodnoty pro stanovení reologických vlastností
u Silamidu 13.01 - E - SV 30

Silamid 13.01 - E - SV 30	v_{xn} - rychlost pístu /mm.min ⁻¹ /					
	2	5	10	20	50	100
F /N/	170	288	460	770	1580	2350
$\log \tau_w$ /Pa/	4,1787	4,4077	4,6111	4,8348	5,1469	5,3151
$n = 0,6203$						
$r = 0,9970$						
$\log K = 3,3801$						

Tab.XII: Hodnoty pro stanovení reologických vlastností
u Silamidu 13.01 - E - SV 15

Silamid 13.01 - E - SV 15	v_{xn} - rychlost pístu /mm.min ⁻¹ /					
	2	5	10	20	50	130
F /N/	60	127	200	360	825	1340
$\log \tau_w$ /Pa/	3,7264	4,0521	4,2493	4,5046	4,8647	5,0754
$n = 0,8009$						
$r = 0,9980$						
$\log K = 2,8390$						



Obr. 7 Tokové křivky

$$\text{a vztah } \dot{\gamma}_w = \frac{3n+1}{4n} \cdot \frac{d_p^2}{d_c^3} \cdot V_{xh} \quad /10/$$

kde $\dot{\gamma}_w$ je korigovaná smyková rychlost u stěny kapiláry $/s^{-1}/$,

V_{xh} je rychlost pohybu pístu $/m.s^{-1}/$.

Pro stanovení korigované smykové rychlosti bylo použito vztahu s korekcí dle Rabinowitcha.

Vyhodnocení zkoušky

Předpoklad použití mocninového vztahu byl oprávněn, protože regresní koeficient $/r/$ je ve všech případech větší než 0,99.

Extrulát Silamidu bez skleněných vláken byl hladký a lesklý. Extruláty s vlákny byly drsné, což je způsobeno právě přítomností skleněných vláken. Drsnost extrulátu je v souladu s obecně známými poznatky, že skleněná vlákna se orientují přibližně pod úhlem 30° na tok taveniny, přičemž tento úhel nezávisí na smykové rychlosti.

Chování polyamidu obsahujícího skleněná vlákna se stává v důsledku přítomnosti plniva více nenewtonské, což je patrné z reologického indexu toku n , který se snižuje. S rostoucím obsahem skleněných vláken se snižuje tekutost taveniny. Koeficient K s obsahem plniva stoupá.

Po stanovení hodnot konstant mocninového zákona byly také stanoveny tokové křivky sledovaných materiálů, které jsou zakresleny na obr. 7.

Zkouška přinesla údaje o reologických vlastnostech jednotlivých typů materiálu Silamid, které platí jen v uvedených konkrétních podmínkách.

5.7 Zkouška pro stanovení obsahu vlhkosti v granulátu

Cíl zkoušky

1. Určit vlhkost v granulátu jednotlivých typů materiálu

Silamid.

2. Porovnat naměřené hodnoty.

Realizace zkoušky

K měření vlhkosti bylo použito vzorků granulátů jednotlivých typů materiálu Silamid 13.01 - E - SV 30, Silamid 13.01 - E - SV 15 a Silamid neplněný. Vlhkost se stanovovala dle ČSN 65 0330 Fischerovou metodou. Princip stanovování vlhkosti spočívá v extrakci vody z polymeru bezvodým metylalkoholem, který se potom titruje Fischerovým činidlem až do objevení se přebytku volného jódu.

Do titrační baňky bylo naváženo 10 g granulátu a byl přidán odvodněný metanol. Extrakce probíhala při teplotě $T = 150^{\circ}\text{C}$. Pak se titrovalo Fischerovým činidlem. Titrace se ukončila, jakmile se objevil přebytek volného jódu. Procento vody pak bylo vypočítáno ze vztahu

$$\% \text{ vody} = \frac{100}{n} \frac{a-b}{\quad} \quad /11/$$

kde n je navážka granulátu /mg/,

a je spotřeba Fischerova činidla do doby, kdy se objeví přebytek volného jódu /ml/

b je spotřeba Fischerova činidla na 50 ml metanolu /ml/.

Během měření byla v laboratoři teplota 23°C a vlhkost 50%. Výsledky měření jsou shrnuty v tabulce XIII, z které je patrné, že nejvíce absorbuje vlhkost Silamid neplněný.

Tab. XIII: Hodnoty % vody v granulích SILAMIDU v závislosti na obsahu skleněných vláken

vzorek	% vlhkosti
SILAMID 1301 - E - SV	1,890
SILAMID 1301 - E - SV 15	0,350
SILAMID 1301 - E - SV 30	0,775

6. ZÁVĚR

Ve své diplomové práci jsem se zabývala termoplasty vyztuženými skleněnými vlákny. U těchto zvláštních materiálů dochází k výraznému zlepšení užitečných vlastností plastů a k možnému rozšíření jejich aplikačních možností. V současné době se kompozity stávají významným konstrukčním materiálem.

Úkolem mé diplomové práce bylo navrhnout zkušební metody umožňující zjistit vliv technologických podmínek na vlastnosti výstřiků. Vzhledem k možnostem a podmínkám jsem zvolila zjištění nejdůležitějších mechanických vlastností, především pevnosti v tahu, tažnosti, modulu pružnosti v ohybu, pevnosti v ohybu a vlnivé houževnatosti. Dále jsem zjišťovala reologické vlastnosti a obsah vlhkosti v granulátu. Pro všechny zkoušky jsem používala zkušební tělesa z materiálu PA 6 s 30 % skleněných vláken, s 15 % skleněných vláken a bez vláken, který se u nás vyrábí pod obchodním názvem Silamid.

Vliv technologických podmínek - obsah skleněných vláken, vstřikovacího tlaku a teploty formy - jsem sledovala u všech třech typů materiálu Silamid, které byly vstřikovány při dvou různých tlacích a dvou různých teplotách formy. Z naměřených hodnot vyplývá, že vliv vstřikovacího tlaku je na všechny sledované vlastnosti menší než vliv teploty formy a obsahu skleněných vláken.

Při porovnání jednotlivých typů materiálu Silamid v závislosti na obsahu skleněných vláken je patrné, že se kromě tažnosti všechny měřené vlastnosti s rostoucím obsahem skleněných vláken zlepšují.

Při porovnání jednotlivých typů materiálu Silamid v závislosti na teplotě formy je patrné, že kromě modulu

pružnosti v ohybu byly největší hodnoty naměřeny při vyšších teplotách formy $/T_f = 80^\circ\text{C}/$.

Při porovnání jednotlivých typů materiálu Silamid v závislosti na vstřikovacím tlaku je patrné, že vliv vstřikovacího tlaku na vlastnosti výstřiků je jen nepatrný.

Závěrem je možno říci, že nejlepší mechanické vlastnosti byly měřením zjištěny u materiálu Silamid 13.01 - E - SV 30 při vyšší teplotě formy $/T_f = 80^\circ\text{C}/$ a vyšším vstřikovacím tlaku $/p_{vs} = 10 \text{ MPa}/$. Pro získání ucelenějšího obrazu o daných typech materiálu Silamid by se však musel posoudit - kromě charakteru mechanických vlastností - též charakter tepelných, elektrických a chemických vlastností v závislosti na obsahu skleněných vláken, teplotě formy a vstřikovacím tlaku. Rovněž bych chtěla upozornit, že naměřené hodnoty platí jen pro uvedené konkrétní podmínky a že je nutné brát též v úvahu, že v praxi jsou skutečné vlastnosti výrobků ovlivněny nejen konkrétními technologickými podmínkami, ale také tvarem výrobku a druhem namáhání při používání výrobku.

Seznam použité literatury

1. Kaliske, G. : Plasty a kaučuk, 18, 1982, č. 4,
s. 101-104
2. Bareš, R.A. : Plasty a kaučuk, 22, 1985, č. 10,
s. 289-293 a č. 11, s. 323-327
3. Kalousková, B. : Studium vlastností termoplastů vyztu-
žených skleněnými vlákny, DP, VŠST
Liberec, 1986
4. Rybníkář, F. aj.: Analýza a zkoušení plastických hmot,
SNTL, Praha, 1965
5. Kalouch, J. : Strojírenské výrobky z plastů vyráběné
vstřikováním, SNTL, Praha, 1985
6. Čaučík, P. aj. : Příklady do plastov, ALFA, Bratislava,
1985
7. Tábořský, L. : Konstrukční materiály spevněné vlákna-
mi, ALFA, Bratislava, 1982
8. Neuhäusl, E. : Možnosti využití termoplastů čs. výroby
pro záměnu importovaných materiálů z
kap. států, výzk. zpráva SVÚM Praha,
č. Z-80-4509
9. Sborník přednášek o uplatnění plastů čs. výroby ve stro-
jírenství, Dům techniky ČSVTS, České Budějovice
10. ČSN 64 0605 Zkouška tahem plastů
11. ČSN 64 0612 Stanovení rázové a vrubové houževnatosti plas-
tických hmot metodou Charpy
12. ČSN 64 0614 Stanovení modulu pružnosti v ohybu plastic-
kých hmot
13. ČSN 64 0607 Zkouška ohybem plastů
14. ČSN 65 0330 Stanovení obsahu vody podle Karla Fischera