

Vliv koncentrace plniv na mechanické vlastnosti kompozitů

Jakub Venera

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jakub VENERA

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Vliv koncentrace plniv na mechanické vlastnosti kompozitu

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování rešerše dané problematiky**
- 2. Vlastní experiment; výroba výstřiků, provedení mechanických zkoušek**
- 3. Vyhodnocení naměřených výsledků, provedení závislostí u naměřených hodnot**
- 4. Závěr**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Bareš, R.A.: Kompozitní materiály, SNTL Praha, 1988

2. Šuba, O.: Mechanické chování těles, UTB Zlín, 2002

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Dana Shejbalová

Ústav výrobního inženýrství

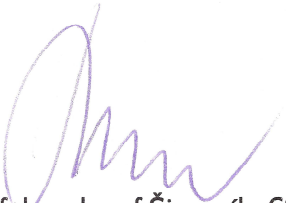
Datum zadání bakalářské práce:

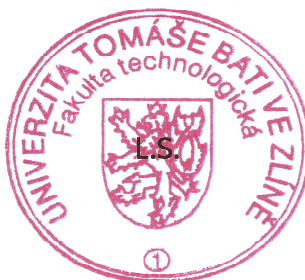
14. února 2006

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. června 2006

Ve Zlíně dne 12. ledna 2006


prof. Ing. Josef Šimoník, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá ověřením množstevního vlivu plniv v kompozitech na mechanické vlastnosti. Práce obsahuje úvod do problematiky kompozitních materiálů, popis mechanických vlastností polymerů a jejich rozdělení a popis vstřikovacího procesu. Praktická část je zaměřena hlavně na mechanické zkoušky - tahové a ohybové zkoušky a na zkoušky tvrdosti. Zkoušenými materiály jsou čistý polypropylen, polypropylen plněný 10%, 20% skelných vláken a polypropylen plněný 10% a 20% mastku.

Klíčová slova: Kompozitní materiál, vlákno, matrice, vstřikování, zkouška

ABSTRACT

This bachelor project deals with checking of the quantity influence of fillers in composites on mechanical characteristics. The project consist introduction into the problem of composite materials, description of mechanical characteristics of polymers and their splitting and description of injection process. Practical part is focused mainly on mechanical tests – tensile test, transverse test, and on the hardness test. Testing materials are clear polypropylene, polypropylene filled in by 10%, 20% of fibreglasses and filled in by 10%, 20% of talcum.

Keywords: Composites material, fibre, swage, injection, test.

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří přispěli k dokončení mé bakalářské práce. Především děkuji své vedoucí Ing. Daně Shejbalové, Ph.D. za její odborné vedení a pomoc při vypracování této práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 05. 06. 2006

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	10
1.1 DEFINICE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	10
1.2 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	11
1.2.1 Částicové (partikulové) kompozity	11
1.2.2 Vláknové kompozity	13
2 MATRICE.....	16
2.1 ZPEVNŮJÍCÍ FÁZE	17
2.2 ROZHRAŇÍ MEZI MATRICÍ A ZPEVNŮJÍCÍ FÁZÍ	18
3 MECHANIKA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ.....	19
3.1 FYZIKÁLNÍ POPIS STRUKTURY	20
3.2 ROZHODUJÍCÍ FYZIKÁLNÍ FAKTORY	20
3.3 VOLBA SLOŽEK.....	20
3.4 VÝKLAD KOMPOZITNÍHO PŮSOBNÍ	21
4 MĚŘENÍ TVRDOSTI POLYMERŮ	23
4.1 MĚŘENÍ TVRDOSTI KULIČKOU PODLE BRINELLA	23
4.2 MĚŘENÍ TVRDOSTI PODLE VICKERSE	24
4.3 MĚŘENÍ TVRDOSTI PODLE ROCKWELLA	25
4.4 MĚŘENÍ TVRDOSTI METODOU SHORE	25
5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	28
6 VSTŘIKOVÁNÍ	29
6.1 ZÁKLADNÍ POJMY VSTŘIKOVÁNÍ.....	29
6.1.1 Vstřikovací cyklus.....	29
6.1.2 Smrštění.....	29
6.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	30
6.3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	32
7 POUŽITÉ MATERIÁLY	33
7.1 POLYPROPYLEN.....	33
7.2 MASTEK	35
7.2.1 Taboren.....	35
7.2.2 Skelná vlákna	36

8	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	37
8.1	ZKUŠEBNÍ TĚLESA Z POLYPROPYLENU VYZTUŽENÉHO SKELNÝM VLÁKNEM	37
8.2	ZKUŠEBNÍ TĚLESA Z POLYPROPYLENU PLNĚNÉHO MASTKEM	38
9	MECHANICKÉ ZKOUŠKY.....	39
9.1	STATICKE ZKOUŠKY.....	39
9.1.1	Tahová zkouška.....	39
9.1.2	Ohybová zkouška	47
9.2	DYNAMICKÉ ZKOUŠKY	54
10	ZKOUŠKY TVRDOSTI	55
10.1	MĚŘENÍ TVRDOSTI METODOU SHORE.....	55
	ZÁVĚR	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62

ÚVOD

Civilizace prošla několika obdobími, z nichž každé je pojmenováno podle materiálu, který převládal a určoval úroveň výrobní technologie té doby. Jde o dobu kamennou, bronzovou a železnou. Dnes žijeme v mnohomateriálovém věku a směřujeme do věku kompozitního.

Růst spotřeby tradičních materiálů ve všech odvětvích lidské činnosti probíhal v posledním století a zejména po druhé světové válce s exponenciálním zrychlením.

Surovinových zdrojů je zatím na Zemi dostatek, ale do budoucna nemohou být spotřebovávány takovým tempem jako dosud. Spotřeba tradičního materiálu a surovin se musí v celosvětovém měřítku snižovat uplatňováním recyklace stávajících materiálů a hlavně pak rozšířením výrobků z kompozitních materiálů.

Spotřeba kompozitu každoročně narůstá, což svědčí o stále větším zájmu odběratelů, kteří využívají jejich výborných užitných vlastností. Jejich výhodou je, že vhodným uspořádáním a množstvím plniv lze upravit vlastnosti každého kompozitu podle požadavků zákazníka. Díky svým mechanickým a chemickým vlastnostem mohou být kompozity používány například pro výrobu nosníků ve stavebnictví a tím nahrazovat i osvědčené materiály, jako je třeba ocel.

Součásti vyrobené z kompozitních materiálů se používají téměř ve všech průmyslových oborech. Pro svoji nízkou hmotnost se s výhodou uplatňují v automobilovém a leteckém průmyslu, při výrobě elektroniky a také sanitární techniky.

Také ve sportu mají kompozitní materiály výrazné zastoupení při výrobě lyží, tenisových raket, golfových a hokejových holí, rybářských prutů, sportovních luků a mnoho dalších sportovních náradí včetně ochranných pomůcek.

Kompozitní materiály se pro uvedené výrobky používají hlavně proto, že mohou splnit požadované mechanické, fyzikální a hmotnostní vlastnosti a také bezpečnostní požadavky pro každý výrobek. Proto další vývoj v oblasti kompozitních materiálů by měl zajišťovat ještě větší možnosti jejich využitelnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

1.1 Definice kompozitních materiálů

Kompozit je každý materiálový systém, který je složen z více (nejméně dvou) fází, z nichž alespoň jedna je pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, a který dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoli složkou (fází) samostatně ani prostou sumací [2]. Jednu složku takovýchto kompozitních materiálů tvoří matrice (pojivo), druhou různým prostorovým způsobem uspořádaná vyztužující vlákna:

- **matrice:**

pryskyřice, polymery (reaktoplasty - PET, EP; termoplasty - PP, PA, PC, PEEK),

silikáty (sklo, cement, keramika),

kovy (zejména hliník a jeho slitiny

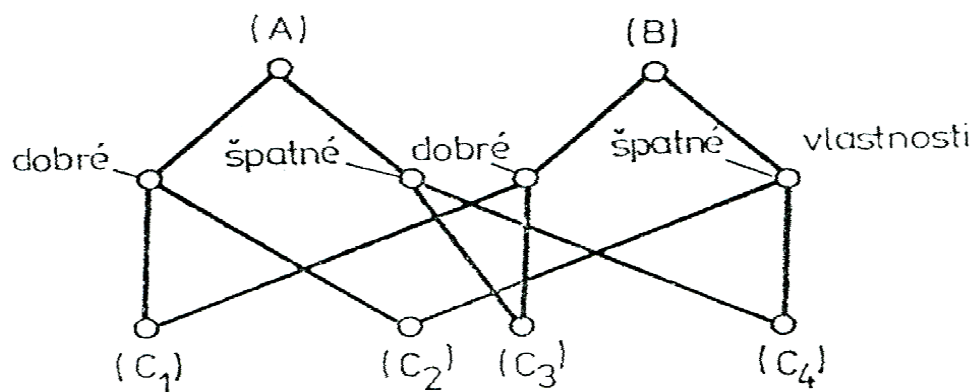
- **vyztužující vlákna** (jejich objem může v některých případech dosáhnout podílu až 80%):

přírodní (bavlna, sisal, juta, celulóza),

anorganická (skelná, uhlíková, kovová, bórová, SiC),

organická (aramidy - Kevlar, polyimidy, UHMWPE - polyetylén s ultravysokou molekulovou hmotností).

Snahou je dostat součtem (smíšením) dvou různých materiálů (A) a (B) nový materiál (C) s lepšími vlastnostmi, než mají původní složky. Byl to starý sen metalurgů, kteří doufali, že se jim podaří v jediném materiálu kombinovat nejlepší vlastnosti vybraných složek, aniž převezmou jejich nedostatky. Dlouhou dobu nebyl tento sen realizován, až se objevila naděje ve formě „cermetů“. Předpokládalo se, že smíšením keramických prášků s určitými kovovými prášky by bylo možno obdržet nový materiál s vysokou tuhostí a odolností proti oxidaci jako keramika, který zůstane alespoň částečně tažný jako kovy. Víme ovšem, že většina cermetů, které byly připraveny, měla značné nedostatky. To není udivující, neboť jsou-li smíšeny dva materiály, je nutno očekávat, že každý může přinést špatné i dobré vlastnosti, zřídka pouze dobré vlastnosti nebo jen nedostatky. (Obr.1)



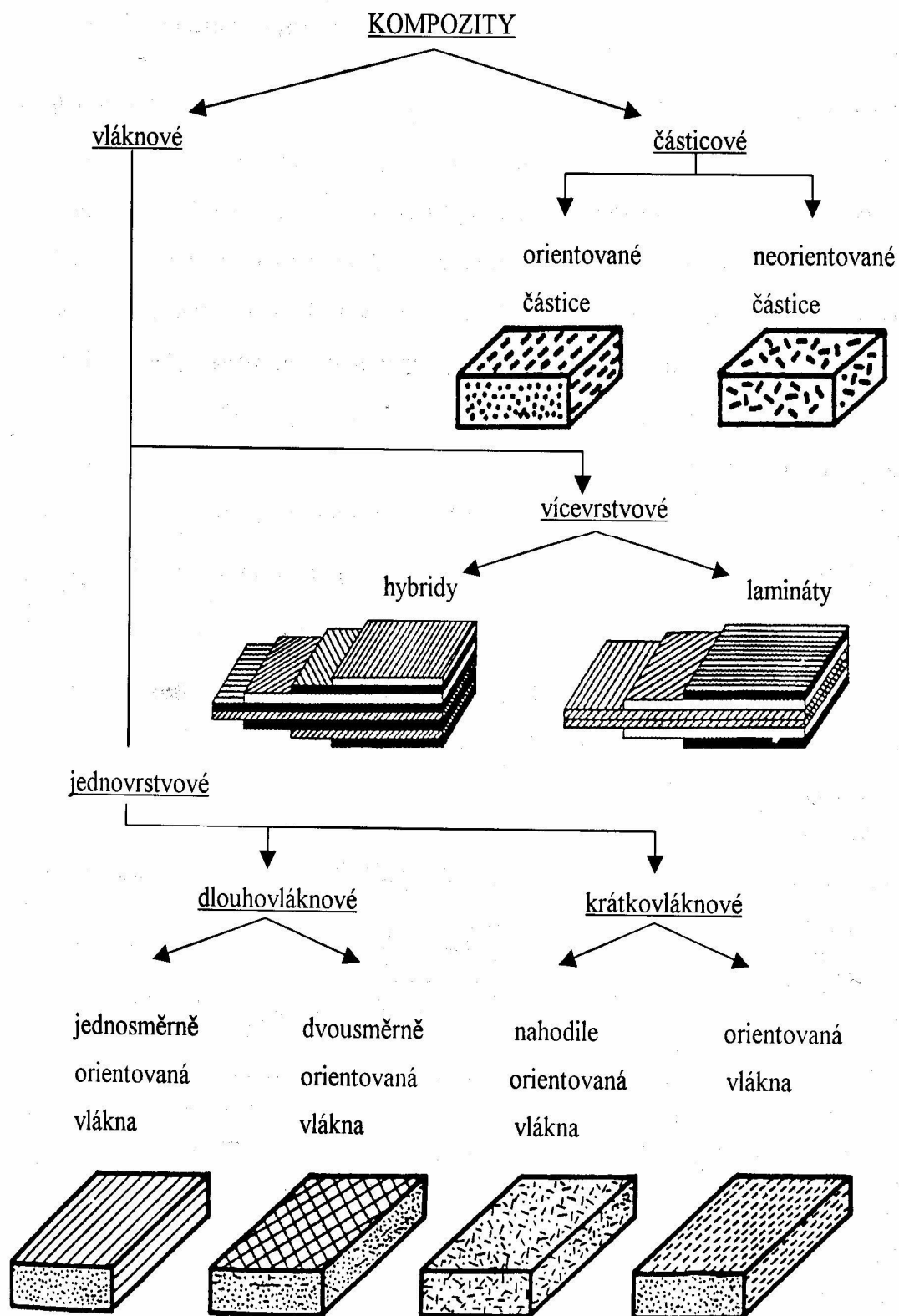
Obr. 1 Přenos vlastností složek do vlastností kompozitu

1.2 Rozdělení kompozitních materiálů

Většina dosud vyvinutých kompozitních materiálů je vyráběna pro zlepšení mechanických vlastností, jako je pevnost, tuhost, tažnost a vysokoteplotní odolnost. Kompozity vyztužené částicemi jsou někdy označovány jako partikulové (částicové) kompozity. Kompozity vyztužené vlákny se pak pochopitelně nazývají vláknové kompozity. (Obr.2)

1.2.1 Částicové (partikulové) kompozity

Částice nejsou při zlepšování lomové odolnosti kompozitu příliš účinné, avšak částice kaučukovité povahy zlepšují v křehkých polymerních matricích odolnost lomu. Částice v partikulovém kompozitu omezují rozvoj plastických deformací v materiálu matrice. Částice se rovněž podílejí na přenosu namáhání, ale v mnohem menším rozsahu než vlákna ve vláknových kompozitech, ležící ve směru zatížení. Částice jsou tedy účinné při zlepšování tuhosti kompozitu, ale nenabízejí možnost podstatného zvýšení tahové pevnosti. Např. tvrdé částice, umístěné v křehkých matricích, redukují pevnost v důsledku koncentrací napětí v přilehlém matricovém materiálu. Částicová plniva jsou však široce využívána k zlepšení vlastností matricových materiálů, např. pro úpravu tepelné a elektrické vodivosti, zlepšení chování při zvýšených teplotách, k redukci tření, zvýšení odolnosti vůči opotřebení a otěru, pro zlepšení obrobiteľnosti, zvýšení povrchové tvrdosti a k redukci smrštění.



Obr. 2 Obecné schéma pro rozdělení kompozitních materiálů

V mnoha případech jsou používány pouze ke snížení nákladů. Mnoho komerčně důležitých elastomerů je plněno černými sazemi nebo křemennou moučkou pro zlepšení jejich pevnosti a snížení obrusu, přičemž si podržují potřebnou roztažnost.

1.2.2 Vláknové kompozity

Vláknové kompozity rozdělujeme podle způsobu uložení vláken na materiály s uspořádaným systémem výztuže kontinuálních vláken (dlouhá vlákna) a s náhodně uloženými diskontinuálními vlákny (krátká vlákna). Kompozit s uspořádaným systémem výztuže má anizotropní vlastnosti, které jsou dané způsobem uložení vláken. Při nahodilém uložení vláken, kdy se předpokládá, že je počet vláken ve všech směrech přibližně stejný, se považuje takový materiál za izotropní nebo za pseudoizotropní. Vlákná rozdělujeme podle charakteru na kovová, skleněná, uhlíková, polymerní a whiskery [1].

Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna jsou používána v konstrukčních kompozitech pro letecký průmysl a sport. Jsou charakteristické vysokou tuhostí a nízkou hustotou. Některá uhlíková vlákna mají tuhost desetkrát větší a hustotu poloviční než skelná vlákna. Ačkoli mnoho uhlíkových vláken má vysokou pevnost, většinou nejsou tak silná jako skelná nebo aramidová vlákna. Teplotní vlastnosti uhlíkových vláken jsou vynikající. Jestliže jsou chráněny před oxidací, jsou stálé od 1000°C do 2000°C. Nad touto teplotou mohou být teplotně rozloženy. Uhlíková vlákna vykazují velmi nízkou hodnotu koeficientu teplotní roztažnosti, v některých případech dokonce zápornou hodnotu koeficientu teplotní roztažnosti. Tato charakteristika dovoluje konstruktérovi kompozitu dosáhnout rozpínavost blízko nule za teplot vyšších jak 300°C. Uhlíková vlákna jsou chemicky inertní a nejsou přístupné ke korozi a oxidaci při teplotách pod 1000°C. Na rozdíl od skelných vláken mají uhlíková vlákna velmi vysokou únavovou pevnost.

Hlavní nevýhodou uhlíkových vláken obzvlášť v porovnání se skelnými vlákny je jejich cena. Nejnižší cena uhlíkových vláken je dvakrát větší než S-skla, některé druhy mohou být i stokrát dražší než E-sklo [1].

Kovová vlákna

Kovová vlákna se nejčastěji používají jako zpevňující materiál složených materiálů s ohledem na jejich poměrně nízké výrobní náklady, avšak z hlediska měrné hmotnosti jsou méně výhodná. Při zpevňování kovových matic o poměrně nízkém bodu tavení (lehké slitiny) se nejčastěji používají ocelová vlákna z uhlíkové oceli. Jejich použití je však omezeno do teploty 300°C. Pro zpevňování matic ze žárovevných slitin se používá vláken ze žárovevných kovů. Např. pro zpevňování matrice na bázi niklu se používá vláken wolframových nebo molybdenových.

Skelná vlákna

Skelná vlákna se v převážné míře používají na zpevňování polymerních matic. Mají poměrně vysokou pevnost, ale relativně nízký modul pružnosti v tahu. Používají se většinou v podobě různých tkanin [5]. Nejběžnější skelná vlákna, označovaná jako sklo E, se ve světě vyrábějí především z bezalkalické skloviny (do 1% alkálií). Průměr vlákna je nejčastěji od 3,5 do 20 µm. Dalším typem skelného vlákna je typ S, využívaný zejména pro vojenské účely. Toto skelné vlákno má o 33 % vyšší pevnost v tahu a o 12 % vyšší modul pružnosti ve srovnání s typem E. Sklo typu D má mechanické vlastnosti horší než sklo typu E, avšak hlavně se používá pro svoji nízkou dielektrickou konstantu. Využití je tedy hlavně v elektrotechnice. Sklo typu C je chemicky odolné sklo, vykazující vysokou odolnost proti kyselinám. Sklo typu L je speciální sklo s vysokým obsahem olova. Toto skelné vlákno nepropouští rentgenové záření a jeho aplikace je především v lékařství a vědě. Vybrané vlastnosti těchto druhů skelných vláken popisuje tabulka I.

Polymerní vlákna

Z polymerních vláken (kromě silonu, nylonu, terylenu aj.) jsou významná vlákna z vysoce orientovaného aromatického polyamidu (aramidu), nazývaná Kevlar, která dosahují modulu pružnosti až 130 GPa a pevnosti až 3 GPa. Nevýhodou všech polymerních vláken je citlivost k vyšším teplotám. Nylon, silon ztrácí většinou pevnost již pod 100°C; aramid je zcela stabilní do 150°C, při vyšších teplotách postupně ztrácí pevnost a až při 425°C se rozkládá. Odolnější vůči teplotám než Kevlar (aramid) jsou vlákna arimid, polyoxazid, Kermel, odolávající krátkodobě až 1000°C a Kaisol až 2500°C [5].

Tabulka I. Vlastnosti jednotlivých druhů skelných vláken

Skelné vlákno	E	S	D	C	L
Hustota (kg.m^{-3})	2540	2490	2160	2490	4300
Pevnost v tahu (GPa)	3,5	4,65	2,45	2,8	1,68
Modul pružnosti v tahu (GPa)	73,5	86,8	52,5	70,0	51,1
Poměrné prodloužení do meze pevnosti (%)	4,8	5,4	4,7		
Dielektrická konstanta při 20°C a 10^6 Hz	5,8	4,53	3,56	6,24	9,49

Whiskery

Whiskery jsou vláknité krystaly, s průměrem kolem 1 μm a délkou 3 až 4 mm. Whiskery se mohou vyrábět z řady materiálů, jejich vlastnosti závisí především na podmínkách růstu, dokonalosti povrchu a na průměru [5]. Mají hexagonální, čtvercový nebo rovnoběžníkový průřez, povrch je bez trhlinek a rovněž ve vnitřní struktuře nejsou inkluze, trhliny nebo jiné chyby. Tlusté whiskery mají již řadu dislokací a jsou poměrně nepevné; tenké whiskery (do 1 μm) mohou obsahovat jen jednu šroubovitou dislokaci podél osy whiskeru, která se však nemůže pohybovat při osovém tahovém namáhání [2].

Pro kompozitní materiál je volena taková matrice a zejména taková vyztužující vlákna, aby tento složený materiál byl schopný plnit svou funkci při daných podmínkách.

2 MATRICE

Základní funkcí matrice je přenos vnějšího zatížení na zpevňující fázi.

V porovnání se zpevňující fází má nižší pevnostní vlastnosti a větší plasticitu. Je požadována dobrá soudržnost matrice s materiálem zpevňující fáze (bez chemické reakce mezi matricí a zpevňující fází) a často také nízká hmotnost materiálu matrice. Matrice odděluje jednotlivé částice zpevňující fáze a brání rozvoji křehkého porušení složeného materiálu. Jako matrice mohou sloužit materiály kovové, polymerní nebo keramické.

Kovové matrice splňují podmínky dobré elektrické vodivosti, tepelné vodivosti, smykovou pevnost a tvárnost (zpomalující mechanismus rozvoje trhlin), odolnost proti opotřebení, vyšší tepelnou odolnost, možnost povlakování a spojování. Nejrozšířenější z kovových matric je hliník a jeho slitiny, titan a jeho slitiny a některé slitiny na bázi niklu.

Polymerní matrice můžeme rozdělit na termoplasty a reaktoplasty (termosety). Z termoplastu jsou jako matrice nejčastější polyamidy (nylon), polyethylen, polypropylen, polykarbonát, styren-akrylonitril acetáty, polybutylentereftalát, polyvinylidenfluorid a tavitelné kopolymery tetrafluoretylenu. Nejrozšířenější z polymerních matric jsou reaktoplasty. Nejčastější matrice z reaktoplastů jsou polyesterové, epoxidové, fenolické, melaminové a siloxylové pryskyřice. Nověji se započaly pro speciální účely používat polybenzimidazoly, polyimidy, polybenzothiazoly a jiné s teplotní stabilitou až do 500°C. Vlastnosti vybraných polymerních matric znázorňuje tabulka II.

Keramické matrice jsou významné pro použití při vysokých teplotách pro vynikající pevnost, odolnost vůči oxidaci. Většinou se pro matrice používají oxidy, nitridy nebo karbidy různých prvků, např. mullit, Al_2O_3 , ZrO_2 , Si_3N_4 , SiC a jiné [4].

Tabulka II. Vlastnosti polymerních matic

Matrice	Hustota (g.cm ⁻³)	Modul pružnosti v tahu (GPa)	Pevnost v tahu (MPa)	Deformace do lomu (%)
Termosety	1,10-1,67	1,3-6,0	20-180	1-30
Epoxy	1,1-1,4	2,1-6,0	35-90	1-10
Polyestery	1,1-1,5	1,3-4,5	45-85	1-5
Fenolické pryskyřice	1,3	4,4	50-60	1-3
Polyimidy	1,2-1,9	3,0-3,1	80-190	2-40
Termoplasty	0,90-1,45	1,0-4,0	20-250	5-150
PP	0,90	1,1-1,5	28-41	10-700
PA	1,42	2,8-3,4	76-83	60-300
PC	1,21	2,1-2,8	62-76	110-130
PEEK	1,31	3,8	70	50-150

2.1 Zpevňující fáze

Od zpevňujících fází se vyžaduje vysoká pevnost a modul pružnosti (asi o řád vyšší, než modul matrice) a malá deformace do lomu (1 až 2 %) při vysokém podílu pružné deformace. Zpevňující fáze přenáší převážnou část vnějšího zatížení. Při popisu kompozitu jako materiálového systému je třeba vedle specifikace jednotlivých materiálových složek a jejich vlastností specifikovat také geometrii vyztužení. Geometrie vyztužujících fází může být popsána tvarem, koncentrací a orientací. Tvar jednotlivých částic nespojitě fáze lze často přibližně uvažovat jako kouli (částice) nebo válec (vlákno). Jejich velikost a distribuce řídí texturu materiálu a spolu s objemovým podílem určují také mezifázový povrch, který má důležitou úlohu při určování rozsahu vzájemného působení mezi vyztužením a maticí.

Koncentrace se obvykle udává v objemovém nebo hmotnostním podílu. Je obecně považována za jediný nejdůležitější parametr ovlivňující vlastnosti kompozitu.

Orientace vyztužujících fází ovlivňuje izotropii systému. Mají-li vyztužující částice tvar a rozměry ve všech směrech přibližně stejné (jsou rovnoosé), chová se kompozit v podstatě jako izotropní materiál, jehož vlastnosti jsou nezávislé na směru. Jsou-li rozměry

vyztužujících částic nestejně, může se kompozit chovat jako izotropní materiál za předpokladu, že částice jsou náhodně uspořádány jako např. v náhodně orientovaném kompozitu vyztuženém krátkými vlákny. Systémy vyztužované spojitými vlákny vykazují anizotropii vlastností [5].

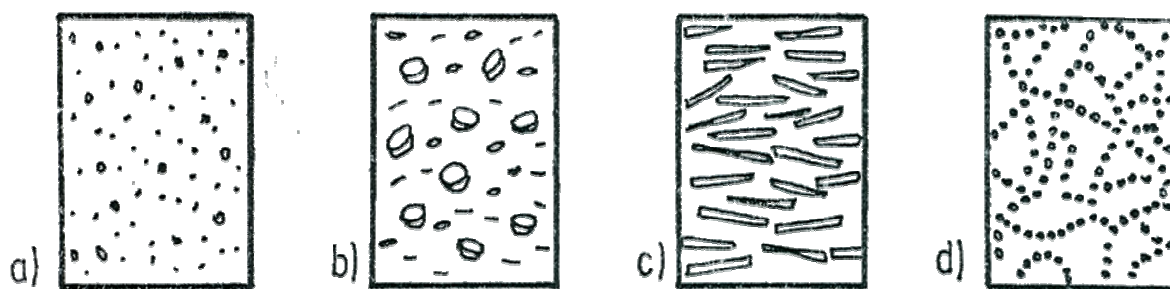
2.2 Rozhraní mezi matricí a zpevňující fází

Mezi matricí a zpevňující fází má ve složených materiálech významnou úlohu rozhraní. Za součást rozhraní se považuje vrstva těsně sousedící se stykovou plochou, která bývá místně deformovaná z důvodu rozdílných součinitelů teplotní roztažnosti a modulů pružnosti jednotlivých fází. Proto vlastnosti složených materiálů jsou podmíněny dobrou soudržností zpevňujících fází s materiálem matrice a potlačením chemických reakcí na fázovém rozhraní částice-matrice, které by mohly vést ke vzniku intermetalických fází (křehká mezivrstva s možností výskytu defektů). Pro určitý typ zpevňující fáze je proto nutné použít jen určité druhy matrice, popř. vytvořit vhodnou ochrannou vrstvu na povrchu zpevňující fáze [5].

3 MECHANIKA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Mechanika materiálů jako věda pojednávající o dějích ve struktuře a o jejich odrazu na vnější projevy materiálových systémů zahrnuje studium strukturálních charakteristik na mnoha úrovních - od vazebných sil ke geometrickému uspořádání částic v kompozitu (Obr.3). Strukturální charakteristiky mohou mít proto molekulární nebo makroskopické měřítko v závislosti na vyšetřované fyzikální vlastnosti. I jednoduchý materiál vytvořený z jednoho druhu atomu nebo molekuly může existovat ve tvaru, který je z makroskopického hlediska geometricky složitý a relativně neuspořádaný. Materiál není proto možno popsat jednotkovou buňkou, jak to dělají např. krystalografové. Musíme uvažovat jednotku mnohem větších rozměrů (řádově 106krát až 109krát), aby byly zahrnuty i méně uspořádané oblasti materiálu. L. Holliday nazval tuto jednotku reprezentativní buňka nebo reprezentativní objem. Je to nejmenší objem systému, který má průměrné vlastnosti celku, tzn. který reprezentuje (do definované a libovolné pravděpodobnosti) heterogenitu skutečného materiálu.

Hustotou kompozitních materiálů (strukturního systému) se rozumí měrná (specifická) hmotnost odvozená z hmotnosti reprezentativní buňky; jde vlastně o objemovou hmotnost. Hustotou rozložení fáze se rozumí objem částic dispergované fáze připadající na jednotku reprezentativního objemu strukturního systému [2].



Obr. 3. Některá možná uspořádání částic

- a) náhodně uspořádané koule
- b) orientované destičky
- c) orientovaná diskontinuální vlákna
- d) řetězcově agregované koule

3.1 Fyzikální popis struktury

K úplnému popisu každé struktury materiálu je třeba kromě geometrických proměnných uvažovat také fyzikální charakteristiky složek, zejména

- fyzikální stav dispergované fáze (plynná, kapalná, tuhá fáze),
- složení (tedy fyzikální vlastnosti) matrice, i fyzikální charakteristiky systému
- fyzikální (popř. i chemická) interakce fází ve struktuře,
- mezifázové rozhraní.

Charakteristiky systému zahrnují v sobě i charakteristiky složek.

Fyzikální popis struktury je nesrovnatelně obtížnější než geometrický popis a zdá se, že dosud neexistuje objektivní jednotná teorie, která by zahrnovala všechna rozdílná hlediska, parametry a interakce. Vzhledem k velké rozmanitosti materiálů nebude patrně možno takovou teorii plně vybudovat. Každá studie materiálu vyžaduje nejdříve definici (fyzikální i geometrickou) analytického modelu, který adekvátně (podle přijatých kritérií) reprezentuje skutečné materiálové chování [2].

3.2 Rozhodující fyzikální faktory

Ve všech úvahách o chování kompozitních materiálů se neobejdeme bez popisu stupně kontaktu a kohezních či adhezních sil na stykové ploše fází. Dva geometricky i fyzikálně jinak stejné modely budou mít diametrálně odlišné vlastnosti při změně účinnosti mezipovrchových vazeb.

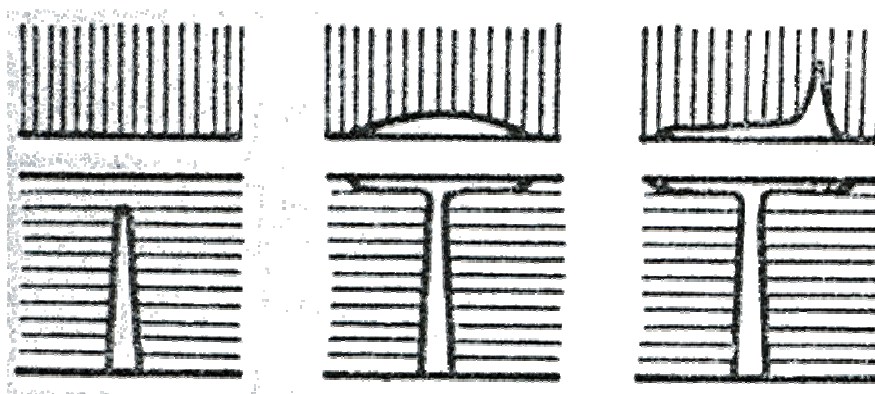
Významný rozdíl fyzikálního popisu je evidentní pro kompozity s polykrystalickou (např. kovovou) a amorfni (např. plastovou) matricí.

3.3 Volba složek

Jednotlivé složky musí být vybrány z hlediska žádaných mechanických, fyzikálních a chemických vlastností, s ohledem na okolní podmínky (prostředí) při využívání (např. pro kompozit pracující za vysokých teplot je třeba volit vlákna, která si udrží vysoké

pevnosti i při vysokých teplotách, a matrice s výbornou oxidační odolností). Navíc je však nezbytné, aby došlo k dokonalému kontaktu obou složek, a tak matrice musí mít kromě ostatních žádaných vlastností ještě další vlastnost - tzv. smáčecí schopnost.

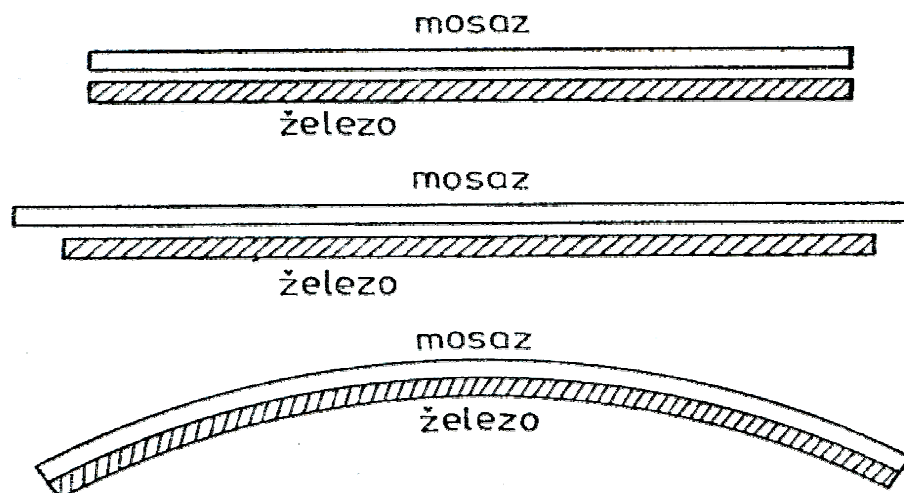
Matrice, která je v přímém kontaktu s okolním, často s velmi agresivním prostředím, musí tomuto prostředí odolávat. V tomto ohledu není možno přistoupit k žádnému kompromisu. Matrice musí také mít schopnost se snadno deformovat pod působícím zatížením, spojovat, ale také oddělovat (distribuuovat) jednotlivé částice plniva, popř. redistribuovat koncentrace napětí, a především musí působit k omezení rozvoje trhlin (Obr. 4). Kontrola rozvoje trhlin může být považována za jeden z hlavních požadavků rozhodujících o použitelnosti kompozitů (zvýšení lomové houževnatosti jinak křehkých materiálů) [2].



Obr. 4. Model rozvoje trhliny u vlákna

3.4 Výklad kompozitního působení

Základním téměř klasickým příkladem kompozitního působení je známý bimetalický článek (Obr. 5), který se uplatňuje při termostatické kontrole (termostat). Článek je vyroben ze dvou pásků rozdílných kovů, např. mosazi a železa, spojených pevně k sobě. Při změně teploty mosazná část s větším součinitelem teplotní roztažnosti, jako důsledek zachování stejného přetvoření obou částí, namáhá železnou část na styku tahem a sama je namáhána tlakem. Článek se ohýbá společně, přičemž v důsledku různých modulů pružnosti určujících tuhost vznikají v obou částech další namáhání. Kompozitním (synergickým) účinkem získává systém zcela nové vlastnosti při teplotních změnách i při ohybovém namáhání. Ohyb celého prvku je pak využit pro kontrolu teploty spojením s vhodným snímačem.



Obr. 5. Princip kompozitu demonstrováný bimetalickým článkem
používaným v termostatech

Pro dosažení vysoké pevnosti se žádá vysoká soudržnost fází, pro dosažení vysoké houževnatosti stačí i slabá soudržnost, umožňující disipaci energie a tlumení na mezifázových diskontinuitách. Velmi pevná a vysokomodulová vlákna přináší kompozitu pevnost a tuhost, jsou-li v dostatečně tvárné matrici, nízkomodulová vlákna s vysokým protažením přinášejí vysokou absorpci energie a rázovou pevnost. Existence mezivrstvy mezi fázemi je někdy prospěšná, jindy je škodlivá [2].

4 MĚŘENÍ TVRDOSTI POLYMERŮ

Pojmem tvrdost materiálu se všeobecně rozumí vzdorování materiálu vůči vnikání jiného, tvrdšího materiálu. Principem měření tvrdosti je vtlačení zkušebního tělíska s hrotem různého tvaru definovanou silou do zkoušeného materiálu. Měří se hloubka vniknutí tělíska do materiálu nebo plocha vtisku.

U kovů může být měřen důsledek vniknutí až po ukončení zatížení, protože podíl elastické deformace zde nehraje roli. U elastomerů musí být naopak celkové vniknutí zkušebního tělíska měřeno po definované době a při zatížení, protože v materiálu při odlehčení nelze deformaci změřit. Pro termoplasty a termosety, u kterých musí být uvažován jak podíl trvalé, tak elastické deformace, byly vyvinuty metody, při kterých se vniknutí měří především při zátěži.

Používanými normovanými metodami pro plasty jsou měření tvrdosti podle Brinella, Vickerse, Rockwela, Shore, atd. Každá z těchto metod se dále dělí v závislosti na použitém tlaku a tvaru zkušebního tělíska i na rozměrech zkoušeného vzorku. Účel a použití jednotlivých měřících metod je obsažen v jednotlivých předpisech norem.

4.1 Měření tvrdosti kuličkou podle Brinella

Zkoušení tvrdosti kuličkou je u plastických hmot nejrozšířenější. Je založeno na vtlačování ocelové kuličky o průměru D do zkoušeného materiálu silou F (Obr. 6). Po odlehčení měříme průměr vtisku d ve dvou za sebe kolmých rovinách a vypočítáme průměrnou hodnotu:

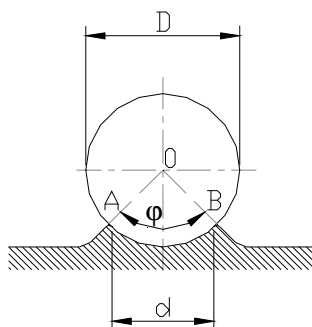
$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad [\text{mm}]$$

Tvrдост je dána poměrem zatížení k ploše:

$$HB = \frac{F}{S} \quad [\text{MPa}]$$

U plastů se tvrdost počítá z hloubky důlku, která se měří při zatížení. Počítá se tedy do celkové hloubky i pružná deformace zkušebního tělesa, která je závislá na druhu plastu,

vlhkosti, teplotě apod. Absolutní hodnota pružné deformace se zvětšuje s tloušťkou zkušebního tělesa



*Obr. 6. Měření tvrdosti kuličkou
podle Brinella*

Podmínky měření tvrdosti plastů podle Brinella jsou dány normou EN ISO 2039-1.

Kulička má průměr 3, 5, 10 mm. Kuličky průměru 3 mm se používá pro vrstvené hmoty polyesterového i fenolformaldehydového typu (tvrzený papír, tvrzená tkanina, lamináty), průměru 10 mm např. pro měkčené PVC a průměru 5 mm pro většinu ostatních plastických hmot.

Hloubka důlku h se má pohybovat v rozmezí od $0,02D$ do $0,2D$. Při menší hloubce než $0,02D$ je nutno použít většího zatížení a naopak. Přesnost měření závisí na přesnosti určení hloubky důlku. Čím menší je hloubka důlku, tím větší je chyba měření.

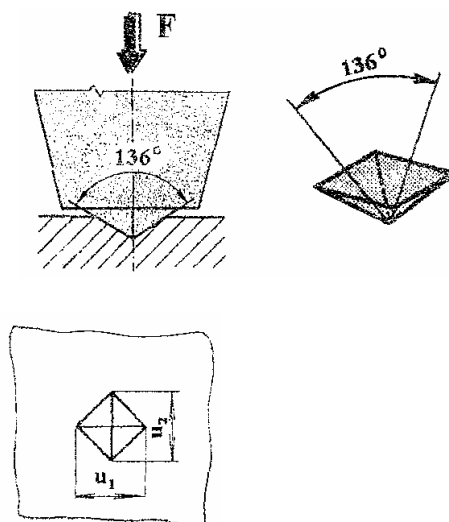
4.2 Měření tvrdosti podle Vickerse

Při této zkoušce zatlačujeme diamantový jehlan se čtvercovou podstavou do plochy zkušební vzorku (Obr. 7). Jehlan má vrcholový úhel 136° . Po odlehčení se měří délka obou úhlopříček a vypočítáme průměrnou hodnotu u .

$$u = \frac{u_1 + u_2}{2} \quad [\text{mm}]$$

Tvrдость definujeme poměrem zátěžné síly k ploše vtisku:

$$HV = \frac{F}{S} \quad [\text{MPa}]$$



Obr. 7. Jehlan se čtvercovou podstavou

4.3 Měření tvrdosti podle Rockwella

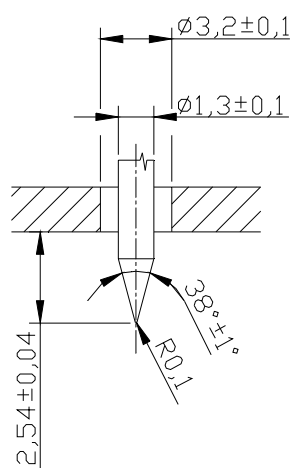
Měřítkem pro posouzení tvrdosti není u této metody plocha vtisku, ale jeho hloubka.

Pro tvrdé materiály se používá diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° a pro měkké materiály ocelové kuličky o průměru 1,59 mm. Pro plastické hmoty se tato metoda používá hlavně v USA, v ČR se uplatňuje jen pro kovy.

4.4 Měření tvrdosti metodou shore

Existuje celá řada přístrojů tohoto typu lišících se rozsahy. V ČR se nejvíce používá přístroje typu Shore A a D (Obr. 8).

Tvrдость je nepřímo úměrná vniku ocelového hrotu do zkoušeného materiálu a vyjadřuje se v jednotkách Shore A nebo Shore D.



Obr. 8. Tvar čidla tvrdoměru

Shore D

Měření tvrdosti Shore D se používá v případech, kdy tvrdost daného materiálu překračuje 85 jednotek stupnice Shore A.

Podstatou zkoušky Shore je měření odporu proti vlačování hrotu předepsaného tvaru do zkoušeného materiálu.

Charakteristickou vlastností této metody je jednoduchá obsluha přístroje, přímé zobrazení tvrdosti a možnost provádět měření na výrobcích mimo laboratoř tak, že se přístroj jednoduše přiloží k měřenému výrobku.

Podmínky měření tvrdosti plastických hmot metodou Shore popisuje norma ČSN EN ISO 868.

Zkušební těleso musí být hladké, rovné a bez viditelných defektů. Velikost se musí volit tak, aby jednotlivá měření byla v místech vzdálených nejméně 12 mm od okraje a od sebe vzdálených nejméně 5 mm. Tloušťka musí být nejméně 6 mm, při tvrdosti nad 50 jednotek Shore D může být 3 mm. Zkušební těleso je možné složit z několika tenčích vrstev, aby se požadované tloušťky dosáhlo.

Při měření se postupuje tím způsobem, že se tvrdoměr přiloží na zkušební těleso tak, aby patka pevně přisedla po celé ploše. Zkušební těleso se položí na opěrnou podložku, přitlačí na měřicí hlavu a po stanoveném času působení přitlačné síly se odečte údaj o tvrdosti. Tvrdost se odečítá na stupnici tvrdoměru za 15 ± 1 vteřina, ale u některých přístrojů jsou zamontovány vibrátory, které během tří vteřin urychlují dosažení rovnovážné hodnoty.

5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je ověření množstevního vlivu plniv v kompozitech na mechanické vlastnosti, konkrétně na tah a ohyb a dále zjistit závislost mezi tahovými a ohybovými vlastnostmi a tvrdostí zkoušených materiálů.

V první fázi experimentální části bude provedeno vstřikování zkušebních tělísek z následujících materiálů: čistý polypropylen (PP), polypropylen plněný 20% skelných vláken (PP + 20 % GF), polypropylen plněný 10 % skelných vláken (PP + 10 % GF), polypropylen plněný 20 % mastku (PP + 20 % M), polypropylen plněný 10 % mastku (PP + 10 % M).

Po vystříknutí zkušebních tělísek bude následovat měření tvrdosti těchto tělísek a provedení mechanických zkoušek – tahové a ohybové zkoušky.

V závěru budou vyhodnoceny naměřené výsledky a porovnány s výsledky v použitých teoretických zdrojích.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 VSTŘIKOVÁNÍ

6.1 Základní pojmy vstřikování

Vstřikování je diskontinuální technologie, kterou lze vyrábět výrobky velmi složitých tvarů v úzkých výrobních tolerancích a v obrovských sériích. Vstřikováním lze zpracovávat termoplasty včetně vyztužených různými plnivy, termosety, ale i kaučukové směsí.

6.1.1 Vstřikovací cyklus

Nejdříve dojde k uzavření vstřikovací formy, vstřikovací jednotka je ve výchozí poloze. Vstřikovací jednotka s předplastikovanou a homogenizovanou taveninou se poté přisune a dosedne na uzavřenou formu. Po dosednutí nastává vstřikování taveniny do dutiny formy [3]. Současně s naplněním formy vyvodí vstřikovací jednotka příslušný dotlak taveniny po dobu než dojde k zatuhnutí taveniny ve vtokové vložce. Dotlak je nezbytný pro snížení smrštění výstřiku v důsledku chladnutí taveniny ve formě. Po zatuhnutí taveniny ve vtokové vložce formy se vstřikovací jednotka odsune do výchozí polohy, probíhá příprava taveniny pro další vstřikování. Mezitím probíhá tuhnutí a chlazení výstřiku ve formě. Po ochlazení výstřiku na určitou teplotu dojde k otevření formy a vyhození výstřiku. Vstřikovací jednotka i forma jsou ve výchozí poloze a celý cyklus se může opakovat.

6.1.2 Smrštění

Smrštěním rozumíme zmenšování rozměrů výstřiku při ochlazování. Rozeznáváme smrštění ve formě a dodatečné smrštění. Smrštění ve formě je způsobeno ochlazováním výstřiku ve formě, probíhá v krátkém časovém intervalu. Podstatný vliv na toto smrštění má přechod taveniny polymeru na jinou ustálenou strukturu během tuhnutí taveniny (krystalizace). Dodatečné smrštění probíhá pozvolna a dlouhodobě v důsledku relaxace vnitřního pnutí ve výstřiku. Dodatečné smrštění má výrazně nižší hodnotu než smrštění ve formě. Smrštění má zásadní význam pro výsledné dimenze zejména u přesných výstřiků. Aby byl získán výstřik požadovaných rozměrů, lze podle předpokládaného smrštění materiálu upravit dutinu formy.

6.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj tvoří dvě části, jednotka vstřikovací a uzavírací.

Úkolem vstřikovací jednotky je zajistit dokonalou plastikaci a homogenizaci taveniny a dostatečně vysoký vstřikovací tlak. Vstřikovací jednotky jsou pístové nebo šnekové a s předplastikací nebo bez předplastikace. U pístové vstřikovací jednotky se plastikuje zpracováváný materiál (granulát) v tavící komoře a po natavení se vstřikuje pomocí pístu do dutiny formy. Výhodou této vstřikovací jednotky je jednoduchá konstrukce a snadné docílení vysokých vstřikovacích tlaků. Nevýhodou je však horší homogenizace taveniny. Nejpoužívanější vstřikovací jednotkou je šneková. Na rozdíl od pístové vstřikovací jednotky má lepší plastikaci a homogenizaci taveniny a vyšší výkon. U šnekové plastikace vstupuje zpracováváný materiál z násypky do pracovního válce, kde se šnekem plastikuje, homogenizuje a dopravuje před špici šneku. Šnek se otáčí regulovatelnými otáčkami a posouvá směrem dozadu, čímž vytváří prostor pro taveninu. Po zplastikování potřebného množství taveniny se axiálním pohybem šneku vstříkne přes vstřikovací trysku do dutiny formy. Vstřikovací jednotka je rozdělena do čtyř temperačních pásem, vstupní, přechodová, výstupní zóna a zóna vstřikovací trysky. Temperance těchto pásem se provádí pomocí topných pásů. Teplota každé zóny je snímána pomocí termočlánku zabudovaného ve stěně pracovního válce. Natavovaný materiál přijímá, jak teplo přiváděné z topných pásů, tak i teplo vzniklé třením mezi natavovaným materiálem a šnekem. Teplo vzniklé třením lze regulovat otáčkami šneku. Vstřikovací tryska zajišťuje dočasné spojení vstřikovací jednotky s formou. Toto spojení musí být dokonale těsné, proto kulové zakončení trysky zajišťuje její přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy.

Úkolem uzavírací jednotky je otevření a bezpečné uzavření formy. Aby uzavírací jednotka plnila správnou funkci vstřikovacího stroje, musí při uzavírání formy působit na desky formy takovou uzavírací silou, aby při vstřikování taveniny do dutiny formy byla forma v dělicí rovině výstřiku dokonale těsná. Z toho důvodu musí být uzavírací síla větší než síla vzniklá působením vstřikovacího tlaku na kolmý průmět plochy dutiny v dělicí rovině formy. Uzavírací jednotky mohou být hydraulické, hydraulickomechanické nebo elektromechanické. Otevření a uzavření formy pomocí hydraulické uzavírací jednotky je dosaženo pohybem hydraulického válce. Tato uzavírací jednotka není výhodná, protože pro dosažení větších uzavíracích sil je zapotřebí velkých hydraulických válců a pro

zajištění dostatečně vysokých uzavíracích rychlostí velké množství hydraulické kapaliny. Problémy jsou i s utěsněním pístů velkých průměrů. Hydraulickomechanická uzavírací jednotka vyvozuje uzavírací sílu pomocí malého hydraulického válce přes vhodný systém pákových převodů. Kinematickým uspořádáním mechanismu se docílí velmi příznivých, jak silových, tak i rychlostních poměrů. Elektromechanická uzavírací jednotka využívá elektromotoru s klikovým mechanismem. Její výhoda spočívá ve vysokých uzavíracích rychlostech a nízké energetické náročnosti.

K výrobě zkušebních těles byl použit vstřikovací stroj DEMAG ERGOtech 50-200. Se vstřikovacím strojem lze pracovat v režimu ručním (pomocí tlačítek), poloautomatickém (po ukončení jednoho vstřikovacího cyklu se vstřikovací stroj zastaví) a automatickém. Šnek vstřikovací jednotky je poháněn elektromotorem přes převodovou skříň s měnitelnými stupni otáček. Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje je hydraulickomechanická, čtyřsloupové konstrukce. Uzavírací síla je vyvozena pomocí kloubového mechanismu ovládaného hydraulickým válcem. Rozvod tlakové energie v hydraulickém obvodu je řízen elektromagneticky ovládanými šoupátkovými rozvaděči. Hydraulický obvod je chlazen čerpadlem rozváděnou vodou.

Vstřikovací stroj je vybaven pevnými a pohyblivými zábranami, bránícími obsluze v přístupu do nebezpečného prostoru při funkci stroje.

Na vstřikovacím stroji může pracovat jen osoba starší osmnácti let, která je pro příslušný druh práce zacvičena a dostatečně poučena. Pro bezpečnost práce platí v plném rozsahu norma Bezpečnostní předpisy pro hydraulické lisy ČSN 210701.

Technická data vstřikovacího stroje DEMAG Argotech 50-200

Tabulka III. Technická data

Uzavírací síla	[kN]	500
Průměr šneku D	[mm]	30
Poměr L/D	-	20
Otáčky šneku	[min ⁻¹]	150
Vstřikovací tlak	[MPa]	150
Zdvihový objem	[cm ³]	106
Počet temperačních zón	-	4

Poměr L/D je charakteristika šneku, je to poměr délky a průměru šneku.

6.3 Vstřikovací forma

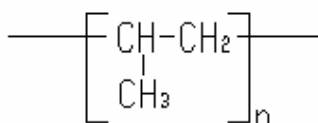
Ke vstřikování zkušebních těles byla použita jednonásobná vstřikovací forma. Vstřikovací forma byla chlazená a případně současně temperována olejem. Vyhození výstřiku z formy po ochlazení bylo provedeno pomocí válcových vyhazovačů ukotvených v kotevní desce formy. Jeden výstřik byl tvořen zkušebním tělesem o tloušťce 4 mm [P I].

7 POUŽITÉ MATERIÁLY

7.1 Polypropylen

Polypropylen je krystalický polymer o stupni krystalinity 60 až 75 %. Má nízkou hustotu (0,90 až 0,92 g.cm³). Vzhledem ke své krystalinitě je neprůhledný [4], mléčně zakalený.

Struktura polypropylenového řetězce je:



PP má převážně izotaktickou strukturu, to je takovou, že má všechny methyl skupiny na stejné straně roviny. Syndiotaktický PP má methyl skupiny střídavě nad rovinou a pod ní. Ataktický PP má statistickou distribuci konfigurací methyl skupin [4]. PP obsahuje ve své struktuře všechny tyto typy řetězců, ale každý v jiném hmotnostně procentuelním obsahu. Izotaktická forma je značně krystalická, má bod tání 176 °C, je za studena prakticky nerozpustná, zatímco ataktický PP je amorfni kaučukovitá hmota rozpustná dobře v celé řadě rozpouštědel, např. v heptanu. Vzhledem k tomu, že ataktické podíly jsou měkké, parafínového až blátivého charakteru, spíše zhoršující mechanické vlastnosti, je žádoucí co nejvíce snížit množství ataktického podílu [4]. Řetězce PP všech struktur jsou prakticky lineární bez větvení.

PP má nepolární strukturu, takže vykazuje výborné elektroizolační vlastnosti. PP bobtná v ketonech, uhlovodících a esterech. Při teplotě 90 °C se rozpouští v chlorovaných a aromatických uhlovodících. Dobře odolává vroucí vodě a sterilizaci vodní párou. Jeho teplotní použitelnost je krátkodobě do 135 °C a dlouhodobě do 100 °C [4].

Teplota křehnutí souvisí s obsahem krystalického podílu. Při větším obsahu amorfni podílů je poněkud nižší (amorfni podíly působí jako změkčovadlo), ovšem za cenu zhoršení žádaných mechanických vlastností. PP křehne při teplotách pod 0 °C, je proto vhodný pro aplikace za teplot nad 10 °C, modifikované typy (PP s přídavkem změkčovadla) nad -7 °C [4].

PP má poměrně dobrou odolnost proti opotřebení. Tvrdost PP je asi 72 - 76 jednotek Shore D a závisí na krystalinitě. Má nižší odolnost na povětrnosti. Nejlepší ochranou proti atmosférickému stárnutí je přidavek sazí.

Krystalická struktura PP se dá významně ovlivnit podmínkami při zpracování. Velmi rychlým ochlazením taveniny lze získat vysoce transparentní výrobky. Rychlým ochlazením vznikají sférolity o velmi malých průměrech. S přibývajícím průměrem sférolitů klesá rázová houževnatost a stoupá tuhost. Zvýšení houževnatosti, transparence a pružnosti lze tedy dosáhnout snížením stupně krystalinity.

PP je citlivý na termooxidační degradaci při zpracování. Zpracovává se vstřikováním při teplotě 205 až 280 °C a vytlačováním na výrobu trubek, desek, fólií a profilů při teplotě 200 až 270 °C. Hmotnostní index toku taveniny se podle typu pohybuje mezi 0,4 až 13 g za 10 min. Desky a bloky lze také lisovat z granulí při teplotě 180 až 250 °C.

PP lze použít na různé výrobky, u nichž jsou žádány tuhost, mechanická pevnost a dobré elektroizolační vlastnosti. V automobilovém průmyslu se uplatňují zejména vstřikované dílce na přístrojové desky, ventilátory, ve spotřebním průmyslu je uplatnění PP na součásti vysavačů, ventilátorů, sušičů na vlasy, mixérů, hraček, kufrů aj. [4]. PP je zdravotně nezávadnou látkou, proto je umožněno jeho použití na dílce injekčních stříkaček. Trubky z PP mají dobrou chemickou odolnost a jsou vhodné zejména na kanalizační odpady v chemickém průmyslu. Fólie, zejména dvousměrně orientované, mohou v obalové technice konkurovat celofánu. Používají se pro balení potravin a pro výrobu varných sáčků. Široká je aplikace PP při výrobě textilních vláken. Vlákná z PP mají mechanickou pevnost srovnatelnou s vlákny polyamidovými, jsou elastická a schopna absorbovat deformační energii. Odolávají kyselinám i zásadám. Polypropylenová stříž se používá do potahových látek, koberců, všívaných a vpichovaných podlahovin, dekoračních látek a technických tkanin. Polypropylenové hedvábí slouží pro výrobu pletenin pro spodní i vrchní ošacení, ponožek a punčoch [4].

Pro technické účely má mimořádný význam PP vyztužený skelnými vlákny. Hlavními znaky jsou zvýšená tuhost, tvrdost, houževnatost, větší modul pružnosti, vyšší tvarová stálost a tepelná odolnost i menší smrštění ve srovnání se standardním PP.

7.2 Mastek

Mastek je křemičitan hořčíku s obsahem vody, je to nejměkčí minerál, jehož tvrdost v Mohsově stupnici je 1. Pro srovnání tvrdosti nerostů sestavil Friedrich Mohs desetičlennou tzv. Mohsovu stupnici tvrdosti, seřazenou tak, že každý tvrdší nerost vytvoří jeden vryp do předcházejícího měkčího.

Mastek jako plnivo plastů se zejména používá v PP, PE, PVC, ABS. Mezi přednosti mastku patří jeho dobrá mísitelnost s pryskyřičnými materiály, odolnost vůči teplotám, vrchní izolační schopnost, chemická netečnost, hladkost. Mastek zlepšuje mechanické vlastnosti, chemickou a tepelnou odolnost plastů. Použití mastku jako plniva zmíněných plastů je např. v automobilovém průmyslu na výrobu palubních desek, nárazníků, ve spotřebním průmyslu na těla počítačů, zahradní nábytek.

7.2.1 Taboren

Taboren je obchodní název pro polypropylen plněný 20% mastku. Obsahuje účinnou stabilizaci, která zaručuje dlouhodobou stálost za zvýšených teplot.

Taboren byl použit jako průměrový materiál pro namíchání požadovaného procentuálního množství mastku v PP. Tímto principem byl vytvořen kompozitní materiál druhého typu, PP s mastkem. Přičemž byly vystříknuty dva druhy tohoto typu kompozitního materiálu, a to PP s 10 % a 20 % mastku.

Hmotnostní index toku taveniny (MFR) Taborenu stanovený podle normy ISO 1133 při teplotě 230 °C a při použitém zatížení 2,16 kg je 15 g za 10 min. Hustota Taborenu stanovená podle normy ISO 1183 při 23 °C je 1040 kg.m⁻³. Modul pružnosti stanovený podle normy ISO 178 při teplotě 23 °C je 3500 MPa a pevnost v tahu při stejné teplotě 33 MPa.

Vhodnou oblastí použití Taborenu jsou tenkostěnné technické díly, které jsou v dlouhodobém kontaktu s horkým vzduchem (např. díly topení automobilů).

7.2.2 Skelná vlákna

Jednotlivá skelná vlákna byla popsána v kapitole 1.2.2

Polypropylen vyztužený 30% skelných vláken

Polypropylen vyztužený 30 % skelných vláken byl použit jako příměsový materiál pro namíchání požadovaného procentuálního množství skelných vláken v PP. Tímto způsobem byl vytvořen kompozitní materiál prvního typu, PP se skelným vláknem. Opět byly vystříknuty dva druhy tohoto typu kompozitního materiálu, PP s 10 % a 20 % skelných vláken. Kromě těchto dvou druhů kompozitního materiálu byl také vystříknut pouze čistý PP, tedy PP nevyztužený skelnými vlákny.

Obchodní název použitého, jak čistého PP, tak i PP vyztuženého 30 % skelných vláken je Mosten.

PP vyztužený skelnými vlákny má mimořádný význam zejména pro technické účely. Hlavními znaky proti standardnímu čistému PP jsou zvýšená tuhost, tvrdost, houževnatost, větší modul pružnosti a mez pevnosti, vyšší tvarová stálost a tepelná odolnost i menší smrštění.

8 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

8.1 Zkušební tělesa z polypropylenu vyztuženého skelným vláknem

U granulátu ze standardního polypropylenu i polypropylenu vyztuženého 30 % skelných vláken není nutná předběžná úprava granulátu před jeho zpracováním.

Před zpracováním byly naváženy množství standardního PP a zvlášť množství PP vyztuženého 30 % skelných vláken tak, aby smícháním naváženého granulátu standardního i vyztuženého PP bylo možné vytvořit kompozit prvního typu, tedy PP s 10 % a 20 % skelných vláken včetně standardního čistého PP. Po smíchání a důkladném promíchání příslušných navážených množství standardního i vyztuženého PP byla směs granulátu přesypána do násypky vstřikovacího stroje a následně postupně zplastikována. Tímto způsobem tedy byly vystříknuty zkušební tělesa z PP s 10 % a 20 % skelných vláken včetně standardního čistého PP. Od každého druhu tohoto typu kompozitního materiálu bylo vystříknuto 10 zkušebních těles.

Tabulka IV. Nastavené parametry na vstřikovacím stroji

pro PP s 10 % a 20 % GF

Materiál		PP s 10 %, 20 % GF
Čas cyklu	[s]	90,8
Otáčky šneku	[min ⁻¹]	150
Vstřikovací tlak	[MPa]	94
Vstřikovací rychlost	[mm.s ⁻¹]	30
Dotlak	[MPa]	93
Čas působení dotlaku	[s]	70
Temperace formy	[°C]	Netemperovaná forma
Teplota v zóně plnění	[°C]	80
Teplota ve vstupní zóně MH1	[°C]	190
Teplota v přechodové zóně MH2	[°C]	220
Teplota ve výstupní zóně MH3	[°C]	230
Teplota v zóně vstřikovací trysky	[°C]	240

8.2 Zkušební tělesa z polypropylenu plněného mastkem

U granulátu ze standardního polypropylenu i polypropylenu plněného 20 % mastku není nutná předběžná úprava granulátu před jeho zpracováním.

Před zpracováním byly opět naváženy množství standardního PP a zvlášť množství PP plněného 20 % mastku, tak aby smícháním naváženého granulátu standardního i plněného PP bylo možné vytvořit kompozit druhého typu, tedy PP s 10 % a 20 % mastku. Po smíchání a důkladném promíchání příslušných navážených množství standardního i plněného PP byla směs granulátu přesypána do násypky vstřikovacího stroje a následně postupně zplastikována. Tímto způsobem tedy byly vystříknuty zkušební tělesa z PP s 10 % a 20 % mastku. Od každého druhu tohoto typu kompozitního materiálu bylo vystříknuto 10 zkušebních těles.

Tabulka V. Nastavené parametry na vstřikovacím stroji

pro PP s 10 % a 20 % mastku

Materiál	-	PP s 10 %, 20 % M
Čas cyklu	[s]	90,8
Otáčky šneku	[min ⁻¹]	150
Vstřikovací tlak	[MPa]	94
Vstřikovací rychlost	[mm.s ⁻¹]	30
Dotlak	[MPa]	93
Čas působení dotlaku	[s]	70
Temperace formy	[°C]	Netemperovaná forma
Teplota v zóně plnění	[°C]	80
Teplota ve vstupní zóně MH1	[°C]	190
Teplota v přechodové zóně MH2	[°C]	220
Teplota ve výstupní zóně MH3	[°C]	230
Teplota v zóně vstřikovací trysky	[°C]	240

9 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

9.1 Statické zkoušky

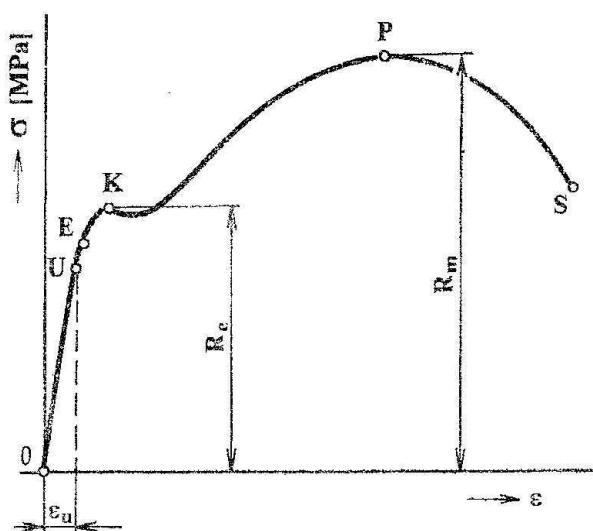
Patří mezi nejpoužívanější zkoušky a jsou základem pro stanovení pevnostních hodnot materiálu. Materiál zatěžujeme pozvolna bez rázu.

U statických zkoušek se provádí zkoušky např.: tahem, tlakem, ohybem, krutem. Zkoušky se provádí na zkušebních strojích (tzv. trhačí stroje), které mohou být jednoúčelové (pro jeden druh zkoušky) nebo univerzální (pro různé druhy zkoušek).

9.1.1 Tahová zkouška

Je to nejrozšířenější statická zkouška, provádí se téměř u všech technických materiálů. Získáváme základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodných materiálů. Zkoušky tahem se nedělají na vyrobené součásti, ale na zkušebních tělesech, jejichž rozměry jsou normalizovány.

Na zkušební těleso působí stále se zvětšující síla, až dojde po určité deformaci k přetržení destrukci materiálu. Zavedením dokonalých systémů snímání napětí a deformace a jejich grafickým záznamem jsou získávány pracovní diagramy, kde celá tahová křivka poskytuje širší a přesnější informaci o deformačním chování materiálu za různých podmínek zkoušení. (Obr. 9).



Obr. 9. Obecná tahová křivka polymeru

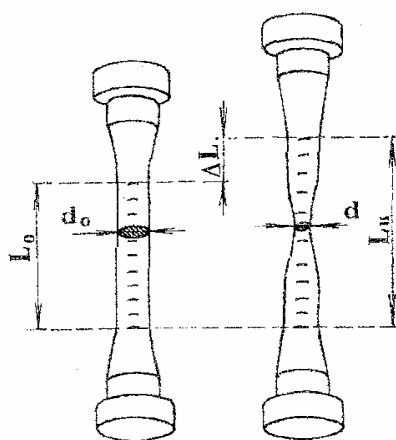
U - mez úměrnosti - napětí je přímo úměrné deformaci. Do meze úměrnosti platí Hookův zákon $\sigma = E \cdot \varepsilon$. V diagramu je oblast mezi body O – U tvořena přímkou.

E - mez pružnosti - smluvní hodnota napětí vyvolávající trvalou deformaci určité velikosti. Zjišťování této meze je obtížné a zdoluhavé.

K - mez kluzu - napětí při němž se zkušební vzorek začne výrazně prodlužovat aniž by stoupala zatěžující síla.

P - mez pevnosti - největší napětí které snesl zkušební vzorek.

S - bod, kdy dojde k přetržení zkušebního vzorku.



Obr. 10. Obecný příklad prodloužení
materiálu

Zkouškou zjišťujeme tyto hodnoty: **Pevnost v tahu** (mez pevnosti v tahu) R_m je největší napětí které snesl zkušební vzorek.

$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad [\text{Mpa}]$$

Pevnost v kluzu R_e je napětí, při němž se zkušební vzorek začne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly.

$$R_e = \frac{F_k}{S_0} \quad [\text{Mpa}]$$

Poměrné prodloužení ε je dáno poměrem změny délky $\Delta L = L_u - L_o$ k původní délce zkušebního vzorku L_o (Obr. 10)

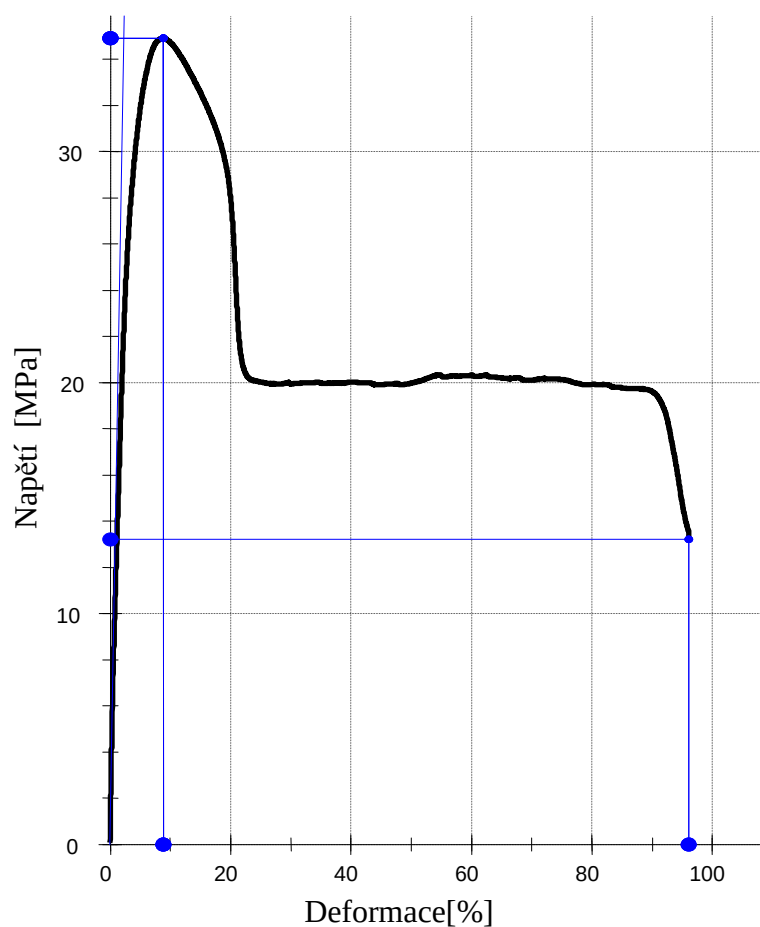
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L_u - L_o}{L_o} \quad \left[\frac{mm}{mm} = 1 \right]$$

Tažnost A je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech

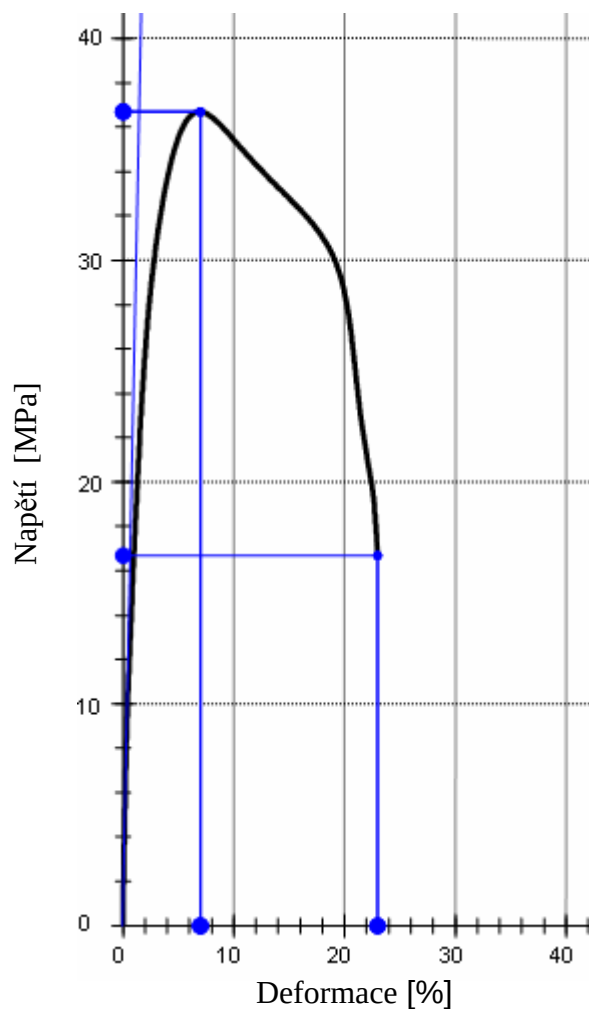
$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100 \quad [\%]$$

Zúžení Z je dáno poměrem změny průřezu zkušebního vzorku po přetržení $\Delta S = (S_o - S_u)$ a původního průřezu zkušebního vzorku S_o . Zúžení vyjadřujeme v procentech.

$$Z = \frac{\Delta S}{S_o} = \frac{S_o - S_u}{S_o} \cdot 100 \quad [\%]$$

Stanovení tahových vlastností vzorku PP při rychlosti zkoušky 50 mm/min*Obr. 11. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP**Tabulka VI. Výsledky tahové zkoušky PP*

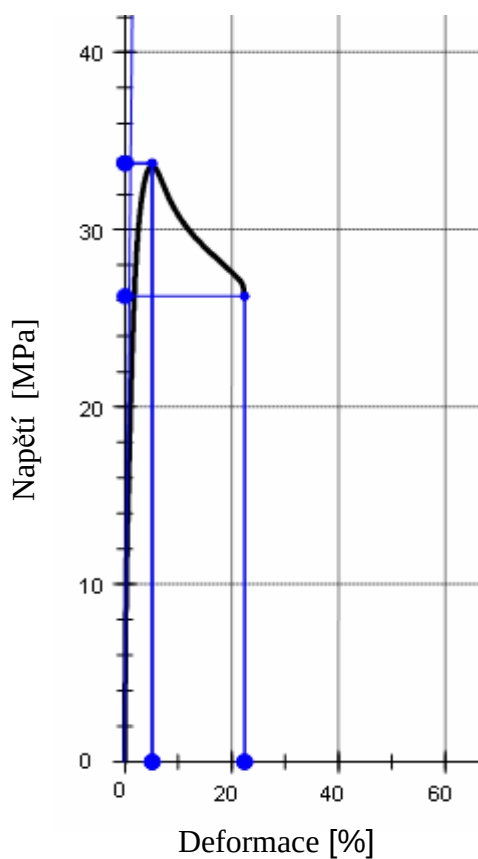
č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	R _B [MPa]	E [MPa]	ε _{Rm} [%]	ε [%]	R _m [N]
1	3,8	9,95	32,77	-	1621,65	9,66	-	1238,99
2	3,8	9,95	34,92	13,2	1570,24	8,81	96,05	1320,14
3	3,8	9,95	36,67	7,48	1663,05	9,38	18,64	1386,42
4	3,8	9,95	36,19	12,01	1719,02	9,82	69,3	1368,37
5	3,8	9,95	36,05	15,85	1553,54	9,39	72,04	1363,05
6	3,8	9,95	36,87	21,17	1762,69	9,47	113,38	1394,04
7	3,8	9,95	36	11,51	1635,4	9,75	50,37	1361,02
8	3,8	9,95	35,96	18,57	1618,82	9,53	63,98	1359,48
9	3,8	9,95	36,59	20,44	1603,94	9,29	105,19	1383,51
10	3,8	9,95	36,75	21,31	1644,11	9,57	92,55	1389,55
$\bar{X}$	3,8	9,95	35,88	15,73	1639,25	9,47	75,72	1356,46
s	0	0	1,23	4,96	63,5	0,28	29,74	46,51
v	0	0	3,43	31,55	3,87	3	39,28	3,43

Stanovení tahových vlastností vzorku PP + 10 % M při rychlosti zkoušky 50 mm/min

Obr. 12. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP + 10 % M

Tabulka VII. Výsledky tahové zkoušky PP + 10 % M

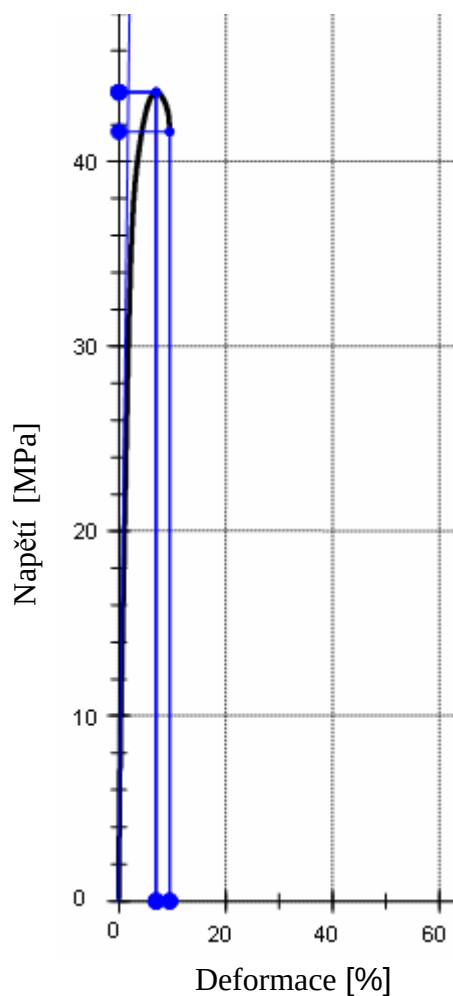
č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	R _B [MPa]	E [MPa]	ε _{Rm} [%]	ε [%]	R _m [N]
1	3,9	10	37,38	7,46	2320,09	6,99	49,29	1457,65
2	3,9	10	36,7	16,69	2452,4	7	22,97	1431,39
3	3,9	10	37,56	8,4	2180,65	7,51	43,74	1464,89
4	3,9	10	36,63	21,96	2288,52	6,78	20,25	1428,61
5	3,9	10	37,08	21,46	2564,64	6,92	16,18	1445,98
6	3,9	10	36,9	8,45	2260,66	7,03	42,53	1438,91
7	3,9	10	37	16,06	2361,8	6,91	21,55	1443,13
8	3,9	10	36,59	24,87	2364,73	6,86	18,77	1427,13
9	3,9	10	37,02	7,24	2272,14	7,09	36,91	1443,95
10	3,9	10	37,38	21,94	2254,44	7,29	17,18	1457,82
$\bar{X}$	3,9	10	37,02	15,45	2332,01	7,04	28,94	1443,95
s	0	0	0,33	7	110,66	0,22	12,7	13,02
v	0	0	0,9	45,32	4,75	3,08	43,89	0,9

Stanovení tahových vlastností vzorku PP + 20 % M při rychlosti zkoušky 50 mm/min

Obr. 13. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP + 20 % M

Tabulka VIII. Výsledky tahové zkoušky PP + 20 % M

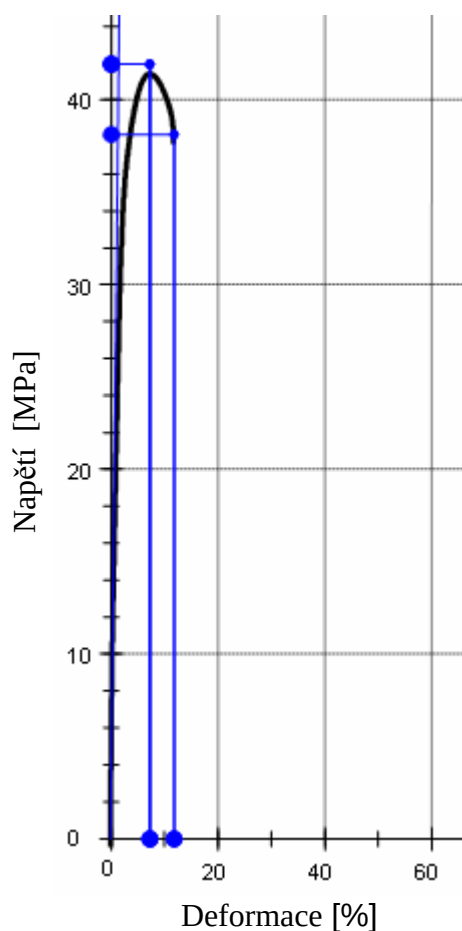
č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	R _B [MPa]	E [MPa]	ε _{Rm} [%]	ε [%]	R _m [N]
1	3,9	10	34,48	24,11	3131,53	5,28	20,73	1344,85
2	3,9	10	34,3	24,74	2744,75	5,45	20,37	1337,51
3	3,9	10	34,34	26,52	2857,56	5,39	16	1339,09
4	3,9	10	34,28	23,36	2812,26	5,43	21,1	1336,96
5	3,9	10	34,33	25,75	2567,6	5,55	17,4	1339,02
6	3,9	10	33,89	29,64	2772,79	5,32	10,35	1321,62
7	3,9	10	34,2	23,93	2730,1	5,53	19,83	1333,7
8	3,9	10	34,33	26,7	2602,83	5,47	18,18	1338,81
9	3,9	10	34,29	27	2612,79	5,59	19,54	1337,13
10	3,9	10	33,73	26,24	2935,66	5,16	22,43	1315,37
$\bar{X}$	3,9	10	34,22	25,8	2776,79	5,42	18,59	1334,41
s	0	0	0,23	1,86	170,95	0,13	3,45	8,96
v	0	0	0,67	7,21	6,16	2,46	18,57	0,67

Stanovení tahových vlastností vzorku PP + 10 % GF při rychlosti zkoušky 50 mm/min

Obr. 14. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP + 10 % GF

Tabulka IX. Výsledky tahové zkoušky PP + 10 % GF

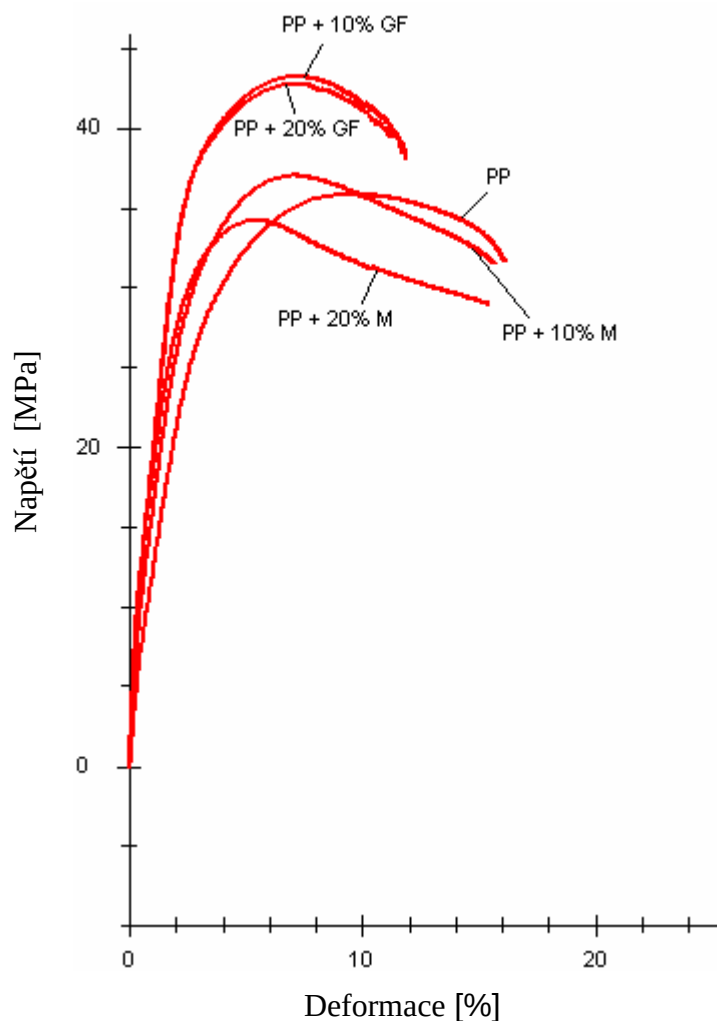
č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	R _B [MPa]	E [MPa]	ε _{Rm} [%]	ε [%]	R _m [N]
1	3,9	10	43,22	39,81	2920,33	7,02	10,35	1685,43
2	3,9	10	43,52	41,63	3455,65	6,71	9,21	1697,17
3	3,9	10	43,73	41,26	3187,08	6,72	9,37	1705,34
4	3,9	10	42,19	37,91	2785,5	7,27	11,77	1645,34
5	3,9	10	43,34	38,61	2865,92	7,05	9,96	1690,14
6	3,9	10	43,32	40,03	2892,34	7,07	10,95	1689,42
7	3,9	10	43,04	39,68	2926,9	7,21	10,79	1678,53
8	3,9	10	43,25	38,11	2719,99	7,29	11,7	1686,7
9	3,9	10	43,09	38,71	2677,8	7,24	11,4	1680,56
10	3,9	10	43,75	41,6	2433,12	6,96	9,54	1706,13
$\bar{X}$	3,9	10	43,24	39,74	2886,46	7,05	10,51	1686,48
s	0	0	0,44	1,4	279,79	0,21	0,96	17,22
v	0	0	1,02	3,54	9,69	2,99	9,16	1,02

Stanovení tahových vlastností vzorku PP + 20 % GF při rychlosti zkoušky 50 mm/min

Obr. 15. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP + 20 % GF

Tabulka X. Výsledky tahové zkoušky PP + 20 % GF

č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	R _B [MPa]	E [MPa]	ε _{Rm} [%]	ε [%]	R _m [N]
1	3,9	10	43,98	41,14	3360,09	6,26	8,06	1715,13
2	3,9	10	43,09	39,24	2851,3	6,98	10,55	1680,39
3	3,9	10	43,6	41,55	2918,66	6,72	9,21	1700,5
4	3,9	10	43,23	39,28	2991,6	6,79	10,4	1686,09
5	3,9	10	43,28	38,52	2991,67	6,97	11,17	1687,94
6	3,9	10	42,87	39,69	3097,1	7,03	10,6	1671,94
7	3,9	10	42,12	39,36	2936,57	7,3	10,87	1642,87
8	3,9	10	42,1	39,26	2935,8	7,27	11,02	1642,01
9	3,9	10	41,71	38,44	2666,68	7,56	11,67	1626,67
10	3,9	10	41,93	38,14	2809,02	7,24	11,89	1635,15
$\bar{X}$	3,9	10	42,79	39,46	2955,85	7,01	10,55	1668,87
s	0	0	0,78	1,11	183,84	0,37	1,15	30,29
v	0	0	1,82	2,81	6,22	5,22	10,87	1,82



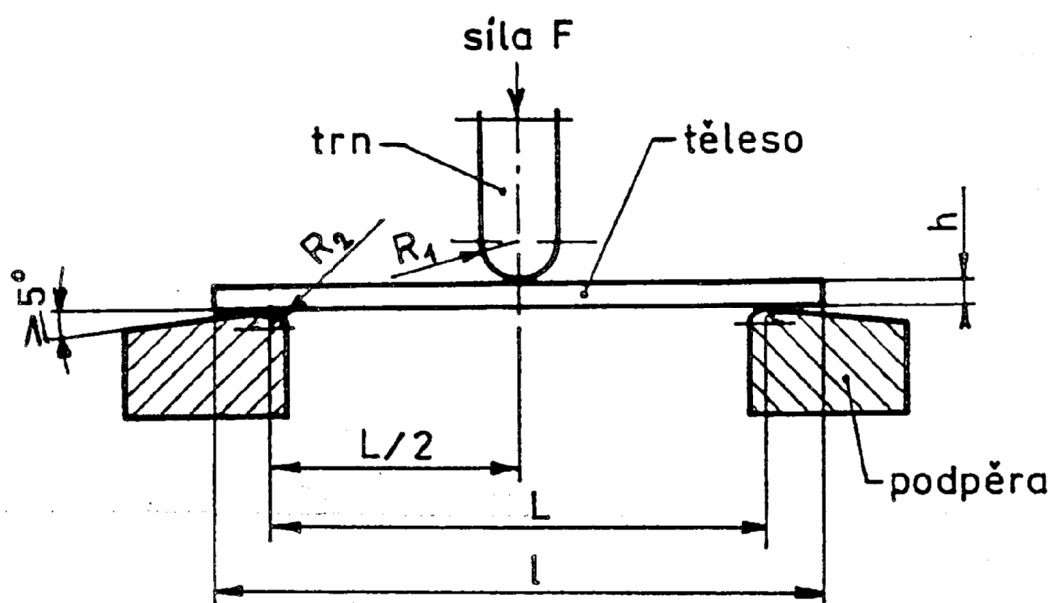
Obr. 16. Porovnání všech vybraných vzorků při zkoušce tahem

9.1.2 Ohybová zkouška

Zkouška ohybem dává důležité konstrukční podklady pro ty polymerní materiály, které jsou při aplikaci namáhány na ohyb, což je velmi častý případ. Jsou to nejen nosníky, ale např. samonosné střešní konstrukce z laminátů, obkladový materiál ve stavebnictví, který se prohýbá svou vlastní vahou, střešní krytiny apod.

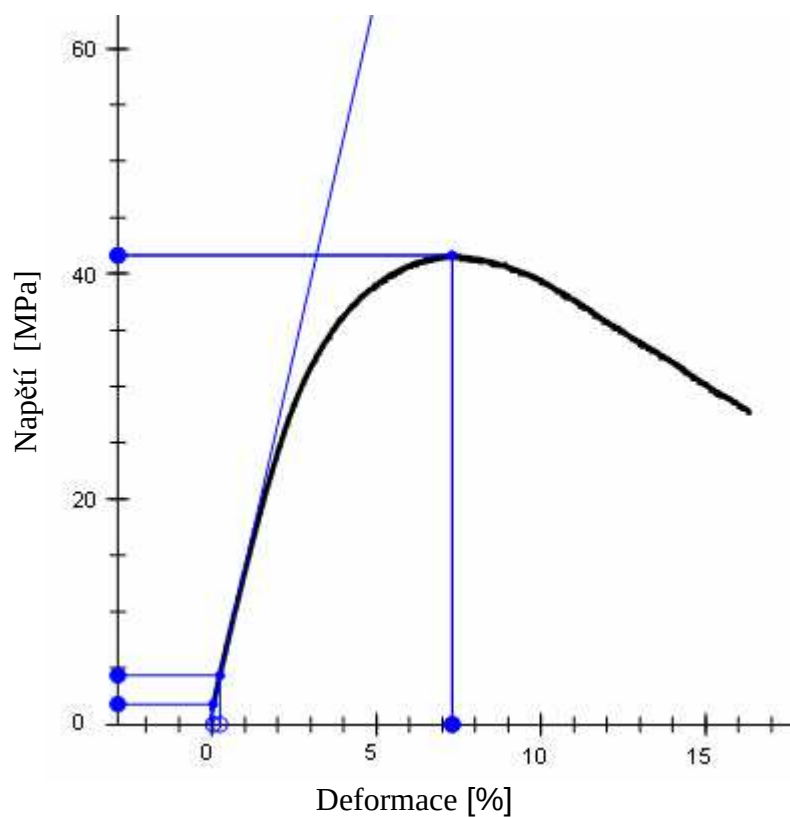
Ohybová zkouška také umožňuje stanovit modul pružnosti E u materiálů, u kterých to nelze dostatečně přesně určit z tahových nebo tlakových zkoušek. Podstata zkoušky spočívá v zatěžování tělesa volně podepřeného dvěma podpěrami přitlačným trnem uprostřed jejich rozpětí (tříbodový ohyb) [10]. Zkušební vzorek, podepřený jako nosník dvěma podpěrami, je konstantní rychlostí prohýbán trnem působícím uprostřed rozpětí

podpěr tak dlouho, dokud se vzorek nezlomí nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty. V průběhu procesu je měřena síla působící na zkušební vzorek.



Obr. 17. Tříbodový systém

Stanovení ohybových vlastností vzorku PP při rychlosti zkoušky 10 mm/min

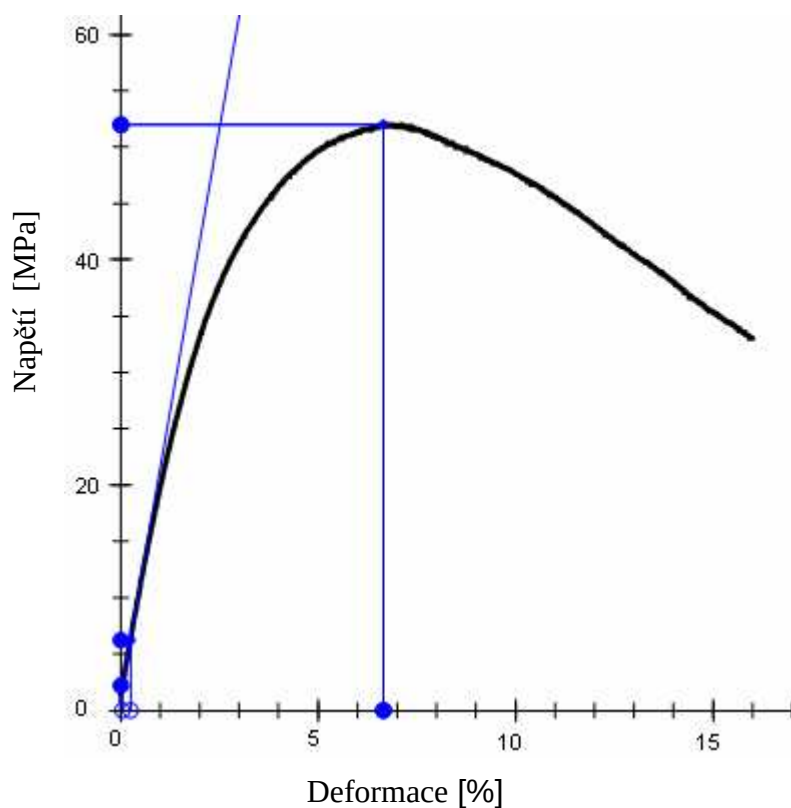


Obr. 18. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP

Tabulka XI. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP

č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	ε _{FMax} [%]	RB [MPa]	ε [%]	E [MPa]
1	3,98	10,05	44,17	7,24	-	-	1442,13
2	3,98	10,05	41,94	6,9	-	-	1309,19
3	4,05	10,05	43,78	7,08	-	-	1309,23
4	4,05	10,05	43,62	7,46	-	-	1360,58
5	3,98	10,05	41,9	7	-	-	1301,85
6	3,98	10,05	43,18	7,01	-	-	1303,72
7	3,98	10,05	42,81	7,2	-	-	1381,94
8	3,98	10,05	46,12	7,23	-	-	1456,34
9	3,98	10,05	46,12	7,28	-	-	1493,82
10	3,98	10,05	41,61	7,3	-	-	1269,87
$\bar{X}$	3,994	10,05	43,52	7,17	-	-	1362,87
s	0,02951	0	1,61	0,17	-	-	77,58
v	0,74	0	3,7	2,36	-	-	5,69

Stanovení ohybových vlastností vzorku PP + 10 % M při rychlosti zkoušky 10 mm/min

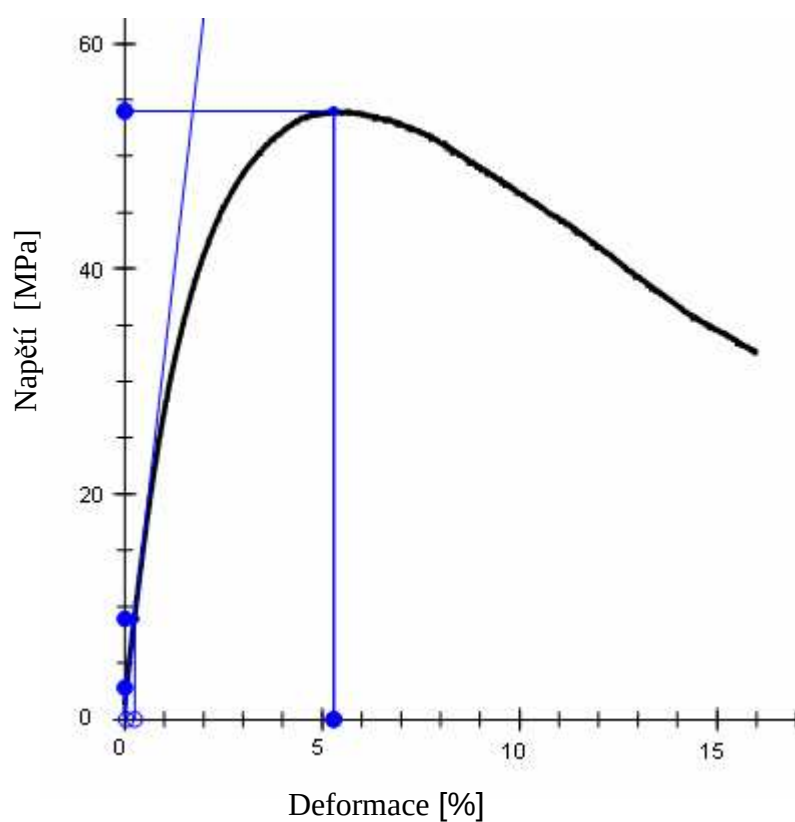


Obr. 19. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP + 10 % M

Tabulka XII. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP + 10% M

č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	ε _{FMax} [%]	RB [MPa]	ε [%]	E [MPa]
1	3,98	10,05	50,89	6,87	-	-	1927,25
2	4,04	10,05	54	6,76	-	-	2209,47
3	4,04	10,05	54,75	7,06	-	-	2141,04
4	4,04	10,05	53,68	6,76	-	-	1944,38
5	3,9	10,05	54,42	6,99	-	-	2164,72
6	3,98	10,05	56,18	7,04	-	-	2393
7	3,98	10,05	55,91	6,84	-	-	2320,27
8	3,98	10,05	55,98	6,61	-	-	2352,23
9	3,98	10,05	55,05	7	-	-	2190,99
10	3,9	10,05	51,97	6,65	-	-	2013,94
$\bar{X}$	3,982	10,05	54,28	6,86	-	-	2165,73
s	0,05116	0	1,74	0,16	-	-	164,11
v	1,28	0	3,21	2,37	-	-	7,58

Stanovení ohybových vlastností vzorku PP + 20 % M při rychlosti zkoušky 10 mm/min

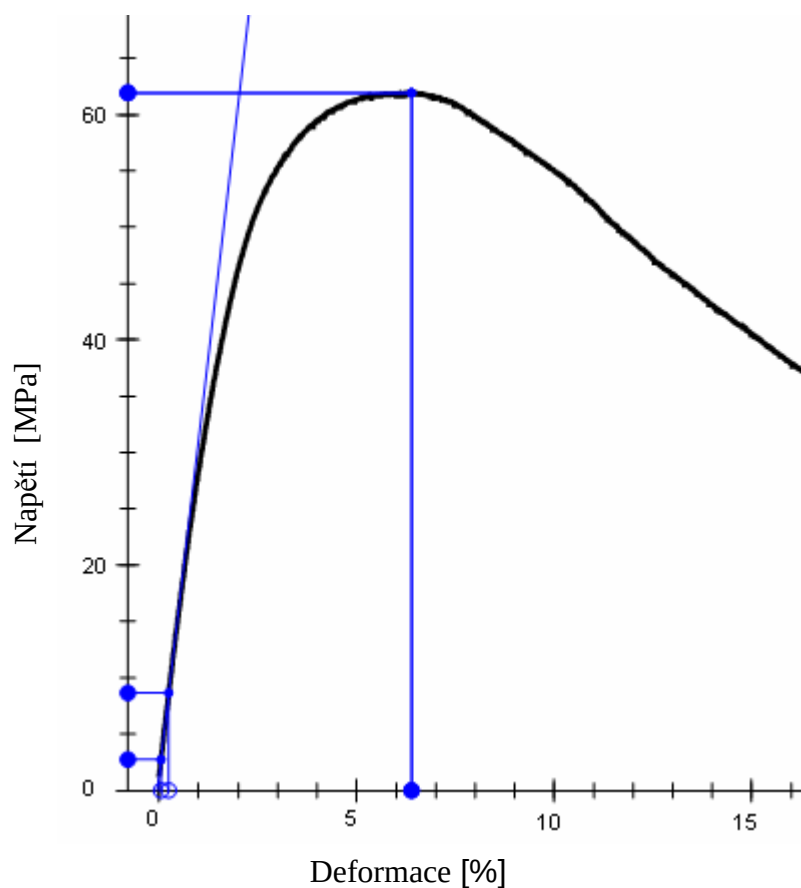


Obr. 20. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP + 20 % M

Tabulka XIII. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP + 20% M

č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	ε _{FMax} [%]	RB [MPa]	ε [%]	E [MPa]
1	3,98	10,05	55,48	5,18	-	-	3139,23
2	3,98	10,05	53,39	5,43	-	-	3251,88
3	3,98	10,05	55,95	5,27	-	-	3245,58
4	3,98	10,05	51,59	5,25	-	-	3161,09
5	3,98	10,05	51,99	5,27	-	-	3242,63
6	3,98	10,05	53,06	5,24	-	-	3276,47
7	3,9	10,05	55,73	5,26	-	-	3500,18
8	3,9	10,05	53,65	5,32	-	-	2989,66
9	3,9	10,05	58,23	5,36	-	-	3372,79
10	3,9	10,05	53,97	5,29	-	-	3046,24
$\bar{X}$	3,948	10,05	54,3	5,28	-	-	3222,57
s	0,04131	0	2,03	0,07	-	-	149,22
v	1,05	0	3,74	1,31	-	-	4,63

Stanovení ohybových vlastností vzorku PP + 10 % GF při rychlosti zkoušky 10 mm/min

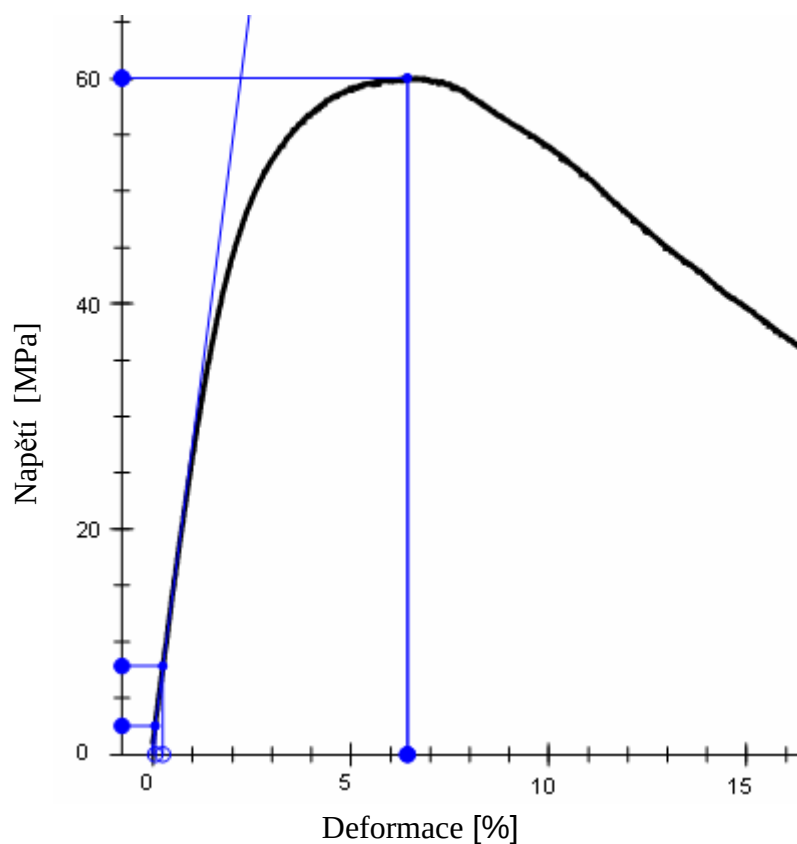


Obr. 21. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP + 10 % GF

Tabulka XIV. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP + 10% GF

č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	ε _{FMax} [%]	RB [MPa]	ε [%]	E [MPa]
1	3,98	10,05	60,71	6,22	-	-	2785,82
2	3,98	10,05	61,91	5,91	-	-	2766,01
3	3,98	10,05	56,57	6,37	-	-	2898,52
4	3,98	10,05	64,53	6,23	-	-	3061,74
5	3,98	10,05	61,76	6,28	-	-	2817,02
6	3,98	10,05	55,56	6,52	-	-	2464,09
7	3,98	10,05	62,59	5,75	-	-	2790,23
8	3,98	10,05	60,81	5,97	-	-	2855,32
9	3,98	10,05	61,02	6,25	-	-	2736,1
10	3,98	10,05	61,95	6,39	-	-	2984,57
$\bar{X}$	3,98	10,05	60,74	6,19	-	-	2815,94
s	0	0	2,71	0,24	-	-	160,37
v	0	0	4,46	3,88	-	-	5,69

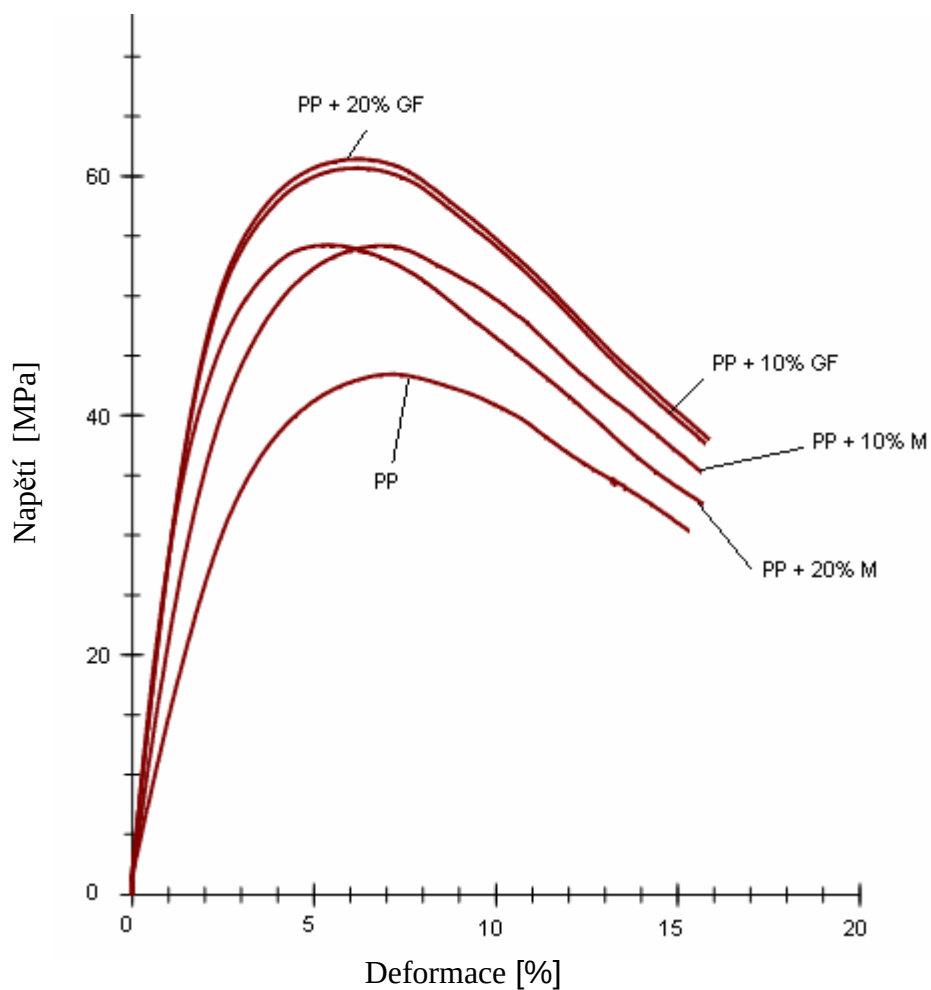
Stanovení ohybových vlastností vzorku PP + 20 % GF při rychlosti zkoušky 10 mm/min



Obr. 22. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP + 20 % GF

Tabulka XV. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP + 20% GF

č.v.	a [mm]	b [mm]	R _m [MPa]	ε _{FMax} [%]	RB [MPa]	ε [%]	E [MPa]
1	3,98	10,05	67,86	5,7	-	-	3117,84
2	3,98	10,05	59,26	6,23	-	-	2576,03
3	3,98	10,05	65,15	5,8	-	-	2981,41
4	3,98	10,05	59,39	6,23	-	-	2492,9
5	3,98	10,05	59,28	6,3	-	-	2650,32
6	3,98	10,05	62,03	6,12	-	-	2795,84
7	3,98	10,05	59,74	6,34	-	-	2671,85
8	3,98	10,05	62,28	6,1	-	-	2869,82
9	3,98	10,05	60,11	6,2	-	-	2677,31
10	3,98	10,05	60,03	6,42	-	-	2653,34
$\bar{X}$	3,98	10,05	61,51	6,14	-	-	2748,67
s	0	0	2,91	0,23	-	-	192,16
v	0	0	4,73	3,72	-	-	6,99



Obr. 23. Porovnání všech vybraných vzorků při tříbodové ohybové zkoušce

9.2 Dynamické zkoušky

Při dynamickém namáhání dochází často k porušení materiálu, i když síly zdaleka nedosahují mezí statické pevnosti materiálu. Úkolem těchto zkoušek je zjištění chování materiálu za působení dynamického namáhání. Mezi dynamické zkoušky patří např.: rázová zkouška nebo zkouška opotřebení. Tyto zkoušky nebyly předmětem bakalářské práce.

10 ZKOUŠKY TVRDOSTI

Zkoušky tvrdosti vzorků byly z technických důvodů provedeny pouze metodou Shore.

10.1 Měření tvrdosti metodou Shore

Pro měření tvrdosti byl použit ruční digitální tvrdoměr Shore typu HPE od firmy Bareiss. Tento tvrdoměr splňuje podmínky měření tvrdosti podle normy ČSN EN ISO 868. Pro měření tvrdosti vystříknutých zkušebních těles byla použita měřicí hlava Shore D (Obr. 24).



*Obr. 24. Tvrdoměr Shore typu HPE
s měřicí hlavou Shore D*

Měření spočívalo v přiložení měřicí hlavy na plochu zkušebního tělesa, položeného na stole a vtlačení ocelového hrotu tvrdoměru do zkušebního tělesa po dobu patnácti vteřin. Po uplynutí této doby vtlačování signalizoval zvukový signál tvrdoměru ukončení vtlačování ocelového hrotu do zkušebního tělesa a na displeji tvrdoměru se zobrazila naměřená tvrdost.

Naměřené hodnoty tvrdosti PP, PP + 10% M, PP + 20% M, PP + 10% GF, PP + 20% GF

Tabulka XVI. PP+10%M

Číslo vzorku	Naměřené hodnoty
1	70,9
2	68,2
3	69,7
4	69,4
5	70,9
6	70,9
7	67,3
8	66,6
9	70,8
10	68,2
$\bar{X}$	69,29

Tabulka XVII. PP+20%M

Číslo vzorku	Naměřené hodnoty
1	70,2
2	69,7
3	70,1
4	70,2
5	68,2
6	70,4
7	68,4
8	69,8
9	69,2
10	68,1
$\bar{X}$	69,43

Tabulka XVIII. PP

Číslo vzorku	Naměřené hodnoty
1	67,2
2	67,5
3	68
4	66,2
5	68,3
6	65,7
7	66,3
8	65,6
9	68,8
10	67,2
$\bar{X}$	67,08

Tabulka XIX. PP+10%GF

Číslo vzorku	Naměřené hodnoty
1	70,1
2	69,7
3	69,1
4	69,8
5	69,4
6	70,1
7	69,9
8	69,7
9	69,9
10	70,2
$\bar{X}$	69,79

Tabulka XX. PP+20%GF

Číslo vzorku	Naměřené hodnoty
1	70,8
2	70,6
3	69,7
4	70,6
5	70,1
6	69,9
7	69,7
8	69,5
9	69,4
10	70,1
$\bar{X}$	70,04

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit vliv koncentrace plniv na mechanické vlastnosti kompozitů.

V první fázi experimentální části bylo provedeno vstřikování zkušebních tělísek z následujících materiálů: čistý polypropylen (PP), polypropylen plněný 20% skelných vláken (PP+20%GF), polypropylen plněný 10% skelných vláken (PP+10%GF), polypropylen plněný 20% mastku (PP+20%M), polypropylen plněný 10% mastku (PP+10%M).

Po vystříknutí zkušebních tělísek byla změřena jejich tvrdost a provedeny mechanické zkoušky – tahové a ohybové zkoušky.

Měřením tvrdosti na těchto zkušebních tělesech z čistého PP, PP+20%GF, PP+10%GF, PP+20%M, PP+10%M bylo zjištěno, že největší tvrdost prokazuje PP plněný 20% skelných vláken a nejmenší tvrdost má naopak čistý PP. V porovnání mezi PP plněným skelným vláknem a mastkem se dá říct že rozdíly jsou minimální.

Tahové zkoušky ukázaly, že největší pevnost v tahu má PP plněný 10% skelných vláken a PP plněný 20% skelných vláken. Zajímavé bylo, že čistý PP má dle naměřených výsledků větší pevnost v tahu než PP plněný 20% mastku, ale menší pevnost v tahu než PP plněný 10% mastku. Rozdíly byly však minimální.

Z ohybové zkoušky bylo zjištěno, že největší ohybové namáhání snese PP plněný 20% skelných vláken a PP plněný 10% skelných vláken, menší pak PP plněný 20% mastku a PP plněný 10% mastku a nejmenší ohybové namáhání čistý PP.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Agarwal, B. D., Broutman, L. J. *Vláknové kompozity*. Praha: SNTL, 1987.
- [2] Bareš, R. A., *Kompozitní materiály*. Praha: SNTL, 1988.
- [3] Králová, A., Klokánek, L. *Zpracování polymerů*. Praha: SNTL, 1986.
- [4] Mleziva, J. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha, 1993.
ISBN 80-901570-4-1.
- [5] Míšek, B. *Polymery, keramika, kompozity*. Brno: 1993. ISBN 80-214-0521-X.
- [6] Němec, J. *Kompozitní materiály*. Praha: Československá společnost pro mechaniku při ČSAV, 1981.
- [7] Pluhař, J. a kol. *Nauka o materiálech*. Praha: SNTL, 1989.
- [8] Ptáček, L. a kol. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [9] Šuba, O. *Mechanické chování těles*. Zlín: 2002. ISBN 80-7318-101-0.
- [10] ČSN EN ISO 178:1993, *Plasty – Stanovení ohybových vlastností*.
- [11] ČSN EN ISO 527-1:1996, *Plasty – Stanovení tahových vlastností – část 1: Základní principy*.
- [12] ČSN EN ISO 527-2:1996, *Plasty – Stanovení tahových vlastností – část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty*.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Význam
A	[%]	Tažnost
E	[MPa]	Modul pružnosti
F	[N]	Síla
HB	[MPa]	Tvrdost podle Brinella
HV	[MPa]	Tvrdost podle Vickerse
RB	[MPa]	Mez při přetržení
Re	[MPa]	Pevnost v kluzu
Rm	[MPa]	Mez pevnosti
S	[mm ²]	Plocha
Z	[%]	Zúžení
a	[mm]	Tloušťka zkušebního tělíka
b	[mm]	Šířka zkušebního tělíka
d	[mm]	Průměr
s		Směrodatná odchylka
u	[mm]	Uhlopříčka vtisku
ε	[%]	Poměrná deformace
ε_{Rm}	[%]	Poměrná deformace při mezi pevnosti
σ	[MPa]	Napětí
ν		Poissonova konstanta
ΔL	[mm]	Změna délky
ΔS	[mm ²]	Změna průřezu
$\bar{X}$		Aritmetický průměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Přenos vlastností složek do vlastností kompozitu	11
Obr. 2 Obecné schéma pro rozdělení kompozitních materiálů	12
Obr. 3. Některá možná uspořádání částic	19
Obr. 4. Model rozvoje trhliny u vlákna.....	21
Obr. 5. Princip kompozitu demonstrováný bimetalickým článkem používaným v termostatech	22
Obr. 6. Měření tvrdosti kuličkou podle Brinella.....	24
Obr. 7. Jehlan se čtvercovou podstavou.....	25
Obr. 8. Tvar čidla tvrdoměru Shore D	26
Obr. 9. Obecná tahová křivka polymeru	39
Obr. 10. Obecný příklad prodloužení materiálu	40
Obr. 11. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP	42
Obr. 12. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP + 10 % M	43
Obr. 13. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP + 20 % M	44
Obr. 14. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP + 10 % GF.....	45
Obr. 15. Grafický záznam průměrných hodnot tahové zkoušky PP + 20 % GF.....	46
Obr. 16. Porovnání všech vybraných vzorků při zkoušce tahem.....	47
Obr. 17. Tříbodový systém	48
Obr. 18. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP	49
Obr. 19. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP+10%M.....	50
Obr. 20. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP + 20% M.....	51
Obr. 21. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP + 10% GF	52
Obr. 22. Grafický záznam průměrných hodnot tříbodové ohybové zkoušky PP + 20% GF	53
Obr. 23. Porovnání všech vybraných vzorků při tříbodové ohybové zkoušce.....	54
Obr. 24. Tvrdoměr Shore typu HPE s měřicí hlavou Shore D.....	55

SEZNAM TABULEK

Tabulka I. Vlastnosti jednotlivých druhů skelných vláken	15
Tabulka II. Vlastnosti polymerních matric	17
Tabulka III. Technická data	31
Tabulka IV. Nastavené parametry na vstřikovacím stroji pro PP s 10% a 20% GF	37
Tabulka V. Nastavené parametry na vstřikovacím stroji pro PP s 10% a 20% M.....	38
Tabulka VI. Výsledky tahové zkoušky PP	42
Tabulka VII. Výsledky tahové zkoušky PP + 10% M	43
Tabulka VIII. Výsledky tahové zkoušky PP + 20% M	44
Tabulka IX. Výsledky tahové zkoušky PP + 10% GF	45
Tabulka X. Výsledky tahové zkoušky PP + 20% GF	46
Tabulka XI. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP	49
Tabulka XII. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP + 10% M	50
Tabulka XIII. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP + 20% M.....	51
Tabulka XIV. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP + 10% GF	52
Tabulka XV. Výsledky tříbodové ohybové zkoušky PP + 20% GF	53
Tabulka XVI. PP + 10% M.....	56
Tabulka XVII. PP + 20% M	56
Tabulka XVIII. PP	56
Tabulka XIX. PP + 10% GF	56
Tabulka XX. PP + 20% GF.....	56

SEZNAM PŘÍLOH

P I: Výkres zkušebního tělesa

PŘÍLOHA P I: VÝKRES ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

