

Návrh materiálu pro GPS systém

Václav Smetánka

Bakalářská práce
2015/2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav Smetánka**
Osobní číslo: **T13828**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh materiálu pro GPS systém**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma.**
- 2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část.**
- 3. Provedení experimentu.**
- 4. Vyhodnocení naměřených výsledků.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. ledna 2016

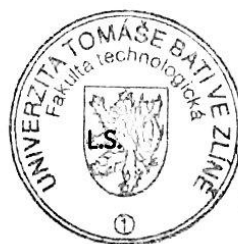
Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 4. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: SMĚTÁNKA VÁCLAV.....

Obor: TZ.....

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 20.4.2016.....


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem materiálu pro GPS lokátor do závodního automobilu a jejím výběrem. Teoretická část v první třetině popisuje požadavky na interní zabezpečení závodního automobilu, následně základní typy polymerů a dále seznamuje se zkouškami prováděnými na materiálu. V praktické části je vysvětlena postupná příprava vzorků pro zkoušky, při kterých byly vzorky testovány. Výsledkem je následné vyhodnocení naměřených údajů a zvolení vhodného materiálu.

Klíčová slova: materiál, GPS lokátor, zkoušky, polymer

ABSTRACT

This thesis deals with design and choice of materials for GPS locator used in rally motor-sport vehicle. Theoretical part describes internal safety requirements of a motorsport vehicle, basic types of polymers and also introduces typical methods of material testing. In a practical part it explains the systematic preparation of test samples. As a result it provides an evaluation of obtained data from measuring and final choice of suitable material.

Keywords: material, GPS locator, tests, polymer

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. za ochotu, čas, rady, cenné připomínky a konzultace, které mi věnoval při vypracování této práce. Dále bych také rád poděkoval firmě Rallye Zlín a Autoklubu ČR při konzultacích problematiky rally.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 MONITOROVACÍ SYSTÉM ONI – GPS LOKÁTOR	12
1.1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ	12
1.2 DISTRIBUCE GPS LOKÁTORU	12
1.2.1 Instalace kompletního držáku do vozidla.....	13
1.2.2 Obsluha jednotky při rally	13
1.2.2.1 Postup v průběhu rally	13
1.2.2.2 Postup při jednotlivých událostech na rychlostní zkoušce	14
1.3 BEZPEČNOSTNÍ KONSTRUKCE.....	14
1.3.1 Základní pojmy bezpečnostního rámu	15
1.3.1.1 Ochranná konstrukce	15
1.3.1.2 Oblouk	15
1.3.1.3 Vzpěry a výztuhy	16
2 POLYMERY	18
2.1 HISTORIE POLYMERŮ.....	18
2.2 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	20
2.2.1 Termoplasty.....	21
2.2.1.1 Polyethylen PE.....	21
2.2.1.2 Polypropylen PP	22
2.2.1.3 Polyvinylchlorid PVC.....	23
2.2.1.4 Polyamid PA	23
2.2.1.5 Polyethylentereftalát PET	24
2.2.2 Reaktoplasty	25
2.2.2.1 Termoplastické elastomery	26
2.2.2.2 Kaučuky	26
3 IONIZAČNÍ ZÁŘENÍ	27
3.1 ZÁŘENÍ ALFA.....	27
3.2 ZÁŘENÍ BETA.....	27
3.3 ZÁŘENÍ GAMA	27
3.4 ZMĚNA VLASTNOSTÍ PO OZÁŘENÍ	28
3.4.1 Mechanické vlastnosti u termoplastů	28
3.4.2 Tepelné vlastnosti.....	28
3.4.3 Chemické vlastnosti	28
4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI	29
4.1 ZKOUŠKY V TAHU	29
4.2 ZKOUŠKY V TLAKU	31
4.3 ZKOUŠKY V OHYBU	32
4.4 ZKOUŠKY TVRDOSTI.....	33
4.4.1 Tvrdost podle Brinella.....	33
4.4.2 Tvrdost podle Vickerse	34
4.4.3 Tvrdost podle Rockwella	35
4.4.4 Tvrdost podle Shore	36

4.4.5	Rázová houževnatost metodou Charpy	36
4.4.6	Mikrotvrdost.....	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
5	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	38
6	VÝROBA A PŘÍPRAVA VZORKŮ	39
6.1	VÝROBA VZORKŮ VSTŘIKOVÁNÍM.....	39
6.2	OZÁŘENÍ	40
6.3	PROVEDENÍ VRUBŮ.....	41
6.4	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	41
7	ZKOUŠKY	43
7.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	43
7.1.1	Pracovní postup – tahová zkouška	43
7.1.2	Tabulky	44
7.2	RÁZOVÁ ZKOUŠKA	47
7.2.1	Pracovní postup	47
7.2.2	Tabulky	47
7.3	MĚŘENÍ MIKROTVRDOTI	50
7.3.1	Pracovní postup - mikrotvrdosti.....	51
7.3.2	Měření mikrotvrdosti	51
7.4	SHOREHO ZKOUŠKA.....	54
7.4.1	Pracovní postup – Shore D.....	55
7.4.2	Měření Shore D.....	55
8	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	57
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	70

ÚVOD

Člověk je tvor vynalézavý a má tendenci se učit novým věcem. Rozvoj plastů předstihuje rozvoj klasických materiálů. To vše nasvědčuje tomu, že postupem času jsou nahrazovány jednotlivé materiály za různé alternativy, které mají lepší aspekty. V budoucnu mají být náhražky ve stále větším měřítku, ať už se jedná o automobily, lékařství, stavebnictví, strojírenství, obalovou techniku. V konkurenci s klasickými materiály, zejména kovy, se polymery prosadily především svoji snadnou zpracovatelností, nízkou hustotou a obecně vhodným poměrem mezi užitnými vlastnostmi a cenou. Na vlastní výrobu plastů i zpracování je vynaloženo mnohem méně energie i práce než u kovů. Mnohé plasty předčí kovy svou odolností vůči chemikáliím. Všeobecně mají velmi dobré elektroizolační vlastnosti, vyznačují se schopností tlumit rázy a vibrace. U některých polymerů je také výhodou jejich průhlednost. Některé faktory polymery ale limitují jako například: nízká teplotní odolnost, změna mechanických vlastností s teplotou, větší teplotní roztažnost, nebo vytváření elektrostatického náboje.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MONITOROVACÍ SYSTÉM ONI – GPS LOKÁTOR

Z důvodu větší ochrany se začalo používat v roce 2008, GPS systému do závodních vozidel. GPS systém byl vyroben ve firmě NAM systém, a.s. Celokovový plechový obal se připevňuje na bezpečnostní rám. Díky, nebo právě kvůli kovové konstrukci se jedná o těžkou jednotku. Při nárazech působí na tělesa značná kinetická energie a to mělo za následek deformaci jednotky, znemožnění ohlásit problém, nebo v nejhorším případě utržení z rámu což mohlo vážně ohrozit posádku v automobilu. Z toho důvodu bylo vyhodnoceno, aby se GPS systém navrhl z materiálu, jenž bude lehčí, pružnější a bezpečnější.

1.1 Všeobecná ustanovení

Aby mohli organizátoři závody pořádat, musí splnit řadu podmínek, které zajistí bezpečnost obyvatel a závodníků. Jezdci často projíždí městy a obcemi, rychlostní zkoušky se jezdí v terénu. K většímu bezpečí všech slouží Systém Oni – GPS lokátor, který je pevně umístěn v závodním automobilu po dobu závodu. Na lokátor jsou veliké nároky, proto musí být dobře zkonstruován, umístěn na rámu závodního automobilu a v neposlední řadě být z kvalitního, lehkého materiálu za přijatelnou cenu. [4]

Proto musí všechna soutěžní vozidla být povinně vybavena bezpečnostním sledovacím systémem ONI, neboli GPS lokátorem. Žádné vozidlo bez tohoto systému nesmí být připuštěno na start podniku. [1]

Monitorovací zařízení je majetkem Autoklubu ČR a soutěžícím je zapůjčeno. Garancí vrácení je licence jezdce, kterou při předávání sledovací jednotky převezme správce zařízení a po odevzdání jednotky ji vrátí. Případné nevrácení, poškození nebo zničení musí soutěžící uhradit správci dle schváleného ceníku. [2]

1.2 Distribuce GPS lokátoru

GPS lokátor vyžaduje, aby do každého soutěžního vozidla byl před soutěží pevně namontován kompletní držák sledovací jednotky, který se skládá z těchto částí:

- Držák sledovací jednotky, s nímž je GPS lokátor pevně spojen
- Dvě antény (střešní a vnitřní)
- Ovládací prvky: tlačítko odvolání poplachu / přivolání pomoci, indikační LED dioda žluté barvy
- kabely a montážním příslušenstvím

Všem trvalým účastníkům rally v ČR dodává správce zařízení uvedené součásti k trvalému instalování do vozidel. Zahraničním posádkám je předán těsně před rally po absolvování prezentace. Při příjezdu do prostoru před technickou přejímkou správce zkontroluje montáž držáku a otestuje. Na konci soutěže, nebo po odstoupení musí být celá jednotka vrácena. Odebírání celku probíhá obvykle v servisním parkovišti před cílem rally, nebo v poslední časové kontrole. [2]

1.2.1 Instalace kompletního držáku do vozidla

Soutěžící musí při montování GPS lokátoru a příslušenství postupovat dle návodu daného pořadatelem a chránit ho před poškozením a znečištěním. GPS lokátor se upevňuje na bezpečnostní konstrukci, odkud je rozvedena kabeláž na vnitřní a vnější anténu, které jsou na karoserii. Ovladač se umísťuje do místa dobře dostupného posádce, kvůli manipulaci a viditelnosti diody na něm. [2]



Obr. 1. Montáž GPS jednotky s držákem

1.2.2 Obsluha jednotky při rally

Při obsluze celé jednotky v závodu jsou soutěžící povinni dodržovat pokyny z proškolení.

1.2.2.1 Postup v průběhu rally

- Při odstartování soutěže je GPS lokátor automaticky v režimu – přejezd
- Po odstartování rychlostní zkoušky, kdy závodní speciál dosáhne rychlosti větší jak 40km/h je v režimu závodním – RZ

- Po dojetí do cíle rychlostní zkoušky se GPS lokátor přepne opět do přejezdového režimu – přejezd

K rozpoznání polohy startu a cíle dopomáhají předem nastavené GPS souřadnice, ke kterým je prisuzován tzv. poloměr startu, poloměr cíle.

1.2.2.2 Postup při jednotlivých událostech na rychlostní zkoušce

- Nehoda (detekce nárazu) v rychlostní zkoušce, kdy okamžitě vzniká poplach a v autě houká siréna. Není-li nutná pomoc a vyvěšení žluté vlajky, poplach a houkání se zruší krátkým stiskem tlačítka po dobu jedné sekundy.
- V důsledku samostatného přepínání GPS lokátoru v prostorech startu a cíle do režimu závodního, nebo přejezdového, není třeba stisknout tlačítko při zastavení.
- Přivolání pomoci nastane, když je nutné ošetření, pomoci lékařů, nebo závodní speciál blokuje trať na rychlostní zkoušce. Žádost o pomoc je provedena stiskem tlačítka po dobu 3 sekund. Následně se rozsvítí žlutá LED dioda, označující žlutou vlajku. [2]

1.3 Bezpečnostní konstrukce

Je povinnou součástí závodního speciálu, na níž je upevněn GPS lokátor. Je homologován, nebo certifikován ASN v souladu s homologačními předpisy pro bezpečnostní konstrukci. Ověřená kopie homologačního dokumentu nebo certifikátu, schváleného ASN a podepsaného kvalifikovanými techniky zastupujícími výrobce, musí být předložena technickým komisařům soutěže.

Jakákoli nová klec homologovaná nebo certifikovaná ASN a prodávaná od 1. 1. 2003, musí být individuálně identifikovatelná identifikačním štítkem výrobce, který nesmí být ani kopírovatelný ani posouvatelný (příklad: zapuštění, rytí). Identifikační štítek musí být opatřen jménem výrobce, homologačním číslem. Certifikační číslo homologačního listu, nebo certifikátu ASN a jedinečné sériové číslo od výrobce. Potvrzení nesoucí stejná čísla musí být ve voze a předloženo technickým komisařům soutěže. Jakákoli změna homologované, nebo certifikované bezpečnostní konstrukce je zakázána.

Za změnu se pokládá jakákoli operace provedená na konstrukci obráběním, svařováním, která znamená trvalou změnu materiálu, nebo struktury konstrukce. Dále opravu této konstrukce, poškozené v důsledku nehody, musí provést její výrobce, nebo pod jeho svolením.

Výslovně se zakazuje chromování, vedení kapalin v trubkách a navrtávání trubek. Nemůže docházet k tomu, aby rám znemožnil jezdcí a spolujezdcí nasedání a vasedání do respektive do automobilu. Vzpěry mohou zasahovat do prostoru vyhrazeného pro posádku a procházet při tom přístrojovou deskou, obložením a zadními sedadly. [3]

1.3.1 Základní pojmy bezpečnostního rámu

Bezpečnostní rám je složen z několika částí, které jsou popsány dále.

1.3.1.1 Ochranná konstrukce

Více trubková struktura instalovaná v prostoru pro posádku co možná nejbliže ke skeletu, jejíž funkcí je omezit deformaci skeletu v případě dopravní nehody. [3]

1.3.1.2 Oblouk

Trubková konstrukce tvořící oblouk se dvěma upevňovacími deskami.

- Hlavní oblouk – Trubkový jednodílný příčný oblouk, maximální sklon +/- 10° vzhledem k vertikále, umístěný napříč vozem bezprostředně za předními sedadly. Osa trubky musí v celé délce být v jedné ose.
- Přední oblouk – Identický s hlavním obloukem, ale jeho tvar kopíruje sloupky čelního skla a horní okraj čelního skla. [3]



Obr. 2. Hlavní a přední oblouk [3]

- Boční oblouk – Jednodílný trubkový oblouk, téměř podélný a svislý, umístěný z pravé a levé strany vozidla, jehož přední sloupek kopíruje sloupek čelního skla a zadní sloupek je téměř svislý a umístěný bezprostředně za předními sedadly. Zadní sloupek bočního oblouku musí být při pohledu z boku přímý. [3]



Obr. 3. Boční oblouk [3]

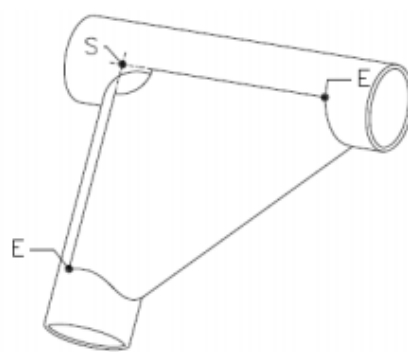
- Boční půloblouk – Identický s bočním obloukem, ale bez zadního sloupku [3]



Obr. 4. Boční půloblouk [3]

1.3.1.3 Vzpěry a výztuhy

- Podélná vzpěra – Téměř podélná jednodílná trubka spojující horní části předního a hlavního oblouku.
- Příčná vzpěra – Téměř příčná jednodílná trubka spojující horní části bočních půloblouků, nebo bočních oblouků.
- Diagonální vzpěra – Spojující jeden z horních rohů hlavního oblouku, nebo příčnou vzpěru bočního oblouku, s dolní upevňovací deskou druhé zadní vzpěry.
- Rohová výztuha – Výztuha ohybu, nebo spoje z plechů ohnutých do tvaru U, jejichž tloušťka musí být minimálně 1,0 mm. Okraje rohové výztuhy (bod E) musí být umístěny ve vzdálenosti 2 až 4 násobku největšího vnějšího průměru spojovaných trubek vzhledem k vrcholu úhlu (bod S). Na vrcholu úhlu povolen výřez. Jeho poloměr R nesmí být větší než 1,5 násobek největšího vnějšího průměru spojovaných trubek. [3]



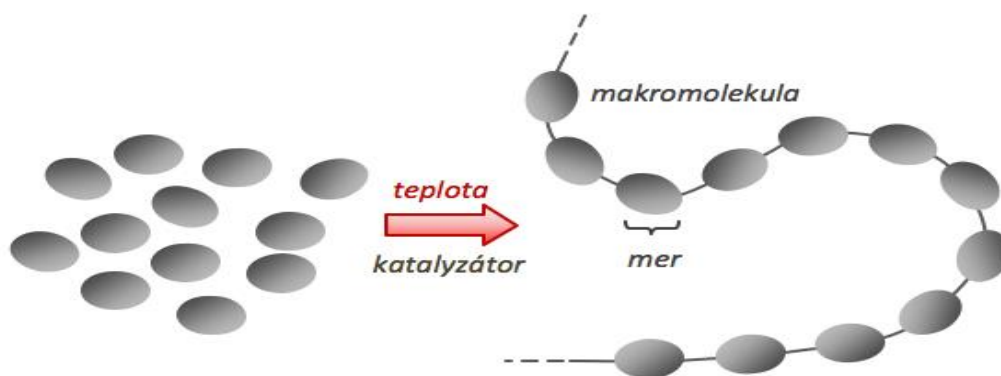
Obr. 5. Rohová výztuha rámu [3]

2 POLYMERY

Chemickým složením se jedná zejména o organické látky, nejčastěji přírodního kaučuk, nebo syntetického původu, také anorganického charakteru což jsou například silikony. Mezi typické organické látky se řadí dřevo, rostliny, ropa, zemní plyn a další. To, co však odlišuje polymery, je to, že mají takzvaně makromolekuly. V nichž se jako stavební článek v řetězu mnohokrát opakuje základní stavební jednotka, kterou je mer, který je vyobrazen níže. Mer jinými slovy díl. Často se k němu přiřazuje řecká předpona poly- znamenající mnoho, nebo více (látka složená z několika merů). Délku makromolekul můžeme vyjádřit molární hmotností.

Molární hmotnost:
$$M_m = \frac{m}{n} \quad (1)$$

- Makromolekulární látka se považuje jako sloučenina s molární hmotností více než 10^3 g/mol
- V případě polymerů hmotnost převyšuje hodnotu 10^4 g/mol
- Nízkomolekulární látka může mít méně než 100 g/mol, jako je například voda, která má molární hmotnost 18 g/mol [6]



Obr. 6. Schéma makromolekuly [6]

2.1 Historie polymerů

Rozvoj polymerů v moderním světě nastal sice až ve dvacátém století, avšak polymery přírodního charakteru byly známy a využívány o poznání dříve. Příkladem je kaučuk, v Evropě znám již od roku 1496 díky Kryštofu Kolumbovi. Po dobu tří sta let se hledalo jeho uplatnění. Poté se začaly kaučukové kostičky používat na gumování, k impregnaci bavlněné tkaniny pro výrobu nepromokavých pláštěů, pro výrobu lepidla, nebo pryže (nesprávně guma). Roku 1880 byla vynálezcem z Velké Británie Johnem Boydem Dunlopem

patentována první pneumatiky, které byly pouze na cyklistická kola, ale roku 1906 byla vyrobena pneumatika i na osobní automobil.



Obr. 7. Přírodní kaučuk [6]

První přírodním polymerem pro obchodní užití, byla gutaperča roku 1843 v té době používána domorodci na rukojetě nožů. Michael Faraday přišel na to, že gutaperča je výborným izolantem elektrického proudu v prostředí vody. Následně došlo k propojení Evropy a Ameriky kabelem. O rok později Ernest Werner Siemens, aplikoval k izolaci podmořských telegrafických kabelů.

John Wesley Hyatt s bratrem začal experimentovat a zanedlouho byl připraven materiál celulooid (první syntetický polymer), jež se dále používá na kulečnické koule a ve filmovém průmyslu. Druhý čistě syntetický materiál připravil v roce 1907 americký chemik Leo Baekeland (Bakelit), který našel široké uplatnění v elektrotechnice. Vzájemný vztah mezi vývojem polymerů a elektrotechnikou v podstatě pokračuje do současnosti. Objevují se první poznatky o přípravě syntetických kaučuků, které se používaly později například pro skříně akumulátorů, nebo jako náhrada přírodního kaučuku v pneumatikách (počátky gumárenské technologie v ČR – firma Baťa ve Zlíně), kdy byly první pláště pro jízdní kola připraveny v roce 1931.

Na konci dvacátých let minulého století bylo umožněno přípravy polyvinylchloridu (PVC), ve třicátých letech pak byly postupně připraveny materiály jako: polystyren (PS), polyamidy PA-66, PA-6 (v ČR vyráběný pod názvem Silon) a také rozvětvený nízkohustotní polyethylen (PE-LD).



Obr. 8. Silonové tyče – PA6 [13]

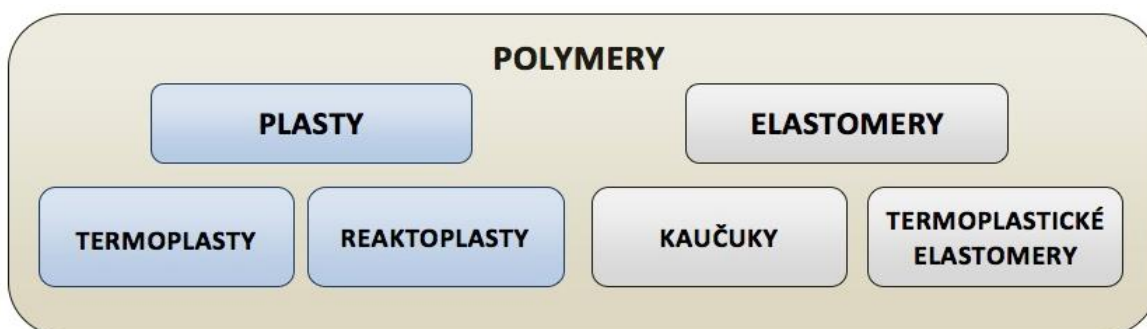
Polyamidová vlákna byla použita k výrobě padáků za druhé světové války, polyethylen na izolaci ve vysokofrekvenčních koaxiálních kabelech. První nylonová vlákna se používala na štětiny kartáčů a podobné předměty, ale také pro výrobu nylonových punčoch.

Od konce čtyřicátých let byly uvedeny epoxidové pryskyřice, v padesátých letech se objevil vysokohustotní polyethylen (PE-HD), polypropylen (PP), polykarbonát (PC).

Na počátku osmdesátých let, byla do provozu uvedena vlákna z kevlaru. V současnosti se vývoj i nadále soustředí na přípravu polymerních kompozitů, ale také tzv. inteligentních polymerů (materiálů, které mění své vlastnosti na základě vnějšího stimulu) a biopolymerů (polymerů přírodního původu).[6]

2.2 Rozdělení polymerů

Polymery jsou chemické látky, které vykazují díky svým obrovským molekulám neobvykle širokou škálu vlastností. Základním dělením polymerů je na plasty a elastomery.



Obr. 9. Rozdělení polymerů [6]

Plasty

Jsou polymery za běžných podmínek obvykle v tvrdé, často i křehké podobě. Při vyšších teplotách jsou plastickými, jinými slovy tvarovatelnými. Pakliže je změna z plastického

stavu do stavu tuhého vratná (může se opakovat), nesou jméno termoplasty. Pokud je tato změna nevratná (nelze opakovat), jelikož koncovým výsledkem je chemická reakce (často probíhající za zvýšené teploty), mluvíme o reaktoplastech. [10]

2.2.1 Termoplasty

Je možné je za tepla tvarovat. Působením tepla měknou a chemicky se nemění. Přejíždí z plastického stavu do stavu vysoce viskózních neneutronovských kapalin, kde je lze snadno zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu se transformují ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. Teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Tepelné úpravy, jako je zahřívání a chlazení je možno opakovat, aniž by to ovlivňovalo základní vlastnosti materiálů. Jedná se pouze o fyzikální proces. Mezi typické termoplasty patří například: polyethylen (PE), polyvinylchlorid (PVC), polypropylen (PP), polyamid (PA) a další. [8], [9]

2.2.1.1 Polyethylen PE

Rozlišujeme lineární a rozvětvený typ polyethylenu. Lineár je dnes označován jako typ o vysoké hustotě – vysokohustotní polyethylen (PE-HD, z angl. High Density – vysoká hustota), rozvětvený naopak jako typ o nízké hustotě – nízkohustotní polyethylen (PE-LD, z angl. Low Density – nízká hustota).

Při normální teplotě odolává polyethylen vodě, neoxidujícím s kyselinami a chemikáliemi, zásady, solí, dále s jejich roztoky a polárními rozpouštědly. Rozpouští se např. ve vroucím tetrachlormethanu, benzenu, toluenu.

Polyethylen výborně odolává nízkým teplotám, křehne asi při -120°C . Za zvýšených teplot jsou předměty z nízkohustotního polyethylenu tvarově stálé asi do 90°C , předměty z vysokohustotního polyethylenu lze sterilizovat vroucí vodou. [10].

Tab. 1. Vlastnosti polyethylenu (PE) [6]

Polyethylen	Zkratka	Stupeň krystalinity [%]	Hustota [g/cm^3]	Teplota tání [$^\circ\text{C}$]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
Vysokohustotní polyethylen	PE-HD	65 + 90	0,940+0,960	130+135	700+1400	18 + 35
Nízkohustotní polyethylen	PE-LD	50 + 70	0,914+0,928	105+115	200+500	8 + 23

Všechny typy polyethylenu jsou značně citlivé na UV záření a pro venkovní aplikace se musí stabilizovat. Jako nejúčinnější se jeví přídavek (2 až 3)% sazí. Jsou vysoce hořlavé, avšak při hoření nevznikají škodlivé látky. [6]

Polyethylen je vzhledově za normálních podmínek bílý a v tenčí vrstvě průhledný. Je nejrozšířenějším obalovým materiálem, používá se jak pro technické výrobky (Fólie, tašky, pytle, trubky, pláště kabelů, kanystry), tak pro spotřební zboží (výrobky pro domácnost, hračky). [10]

2.2.1.2 Polypropylen PP

Důsledkem poměrně vysokého stupně krystalinity dosahujícímu 60 až 70% je PP neprůhledný. Teplota tání čistého izotaktického polypropylenu je 176°C, u obchodních produktů je teplota tání v rozmezí od 160°C do 170°C. Kromě vyšší teploty měknutí a tím i větší škály použitelnosti při vyšších teplotách se polypropylen liší od vysokohustotního polyethylenu nižší hustotou, menší odolností vůči mrazu, oxidaci a povětrností, ale na druhé straně dosahuje lepších vlastností v podobě větší pevnosti, tvrdosti a odolnosti vůči oděru. Je také méně propustný pro plyny a páry což je podstatný ukazatel například v potravinářském průmyslu. Odolnost polypropylenu vůči chemikáliím je ve srovnání s polyethylenem rovněž větší, zvláště při zvýšených teplotách. Podobně se však rozpouští při teplotách nad 80°C. Minerální a rostlinné oleje absorbuje polypropylen jen nepatrně beze změny mechanických vlastností.

Tab. 2. Vlastnosti polypropylenu (PP) [6]

Polypropylen	Hustota [g/cm ³]	Teplota tání [°C]	Mez pevnosti [MPa]	Rozpustnost v uhlovodících při 23 °C
Izotaktický (čistý)	0,905 + 0,920	176	vysoká	nerozpustný
Syndiotaktický	0,890 + 0,910	135	střední	středně rozpustný
Ataktický (kašovitý stav)	0,850 + 0,900	nemá	velmi nízká	snadno rozpustný

Polypropylen se zpracovává obdobnou technologií, jako polyethylen, tj. vstřikováním a vyfukováním na menší a duté předměty, vytlačováním na trubky, desky, profily, výtlačným vyfukováním na fólie prováděné na vytlačovacích linkách. Desky a bloky lze také lisovat z granulí. Použití polypropylenu je v mnoha směrech podobné, vzhledem k jeho lepším mechanickým vlastnostem se více využívá na součásti strojů a přístrojů, jako například v automobilovém a spotřebním průmyslu. Mezi ty nejčastěji užívané patří vstřikované dílce přístrojových desek, ventilátorů, nárazníky, bezpečnostní prostředky, součásti vysavačů, kuchyňských přístrojů. Dále ve zdravotnictví díky odolnosti vůči sterilizačním teplotám umožňuje jeho použití na dílce injekčních stříkaček, hadičky, obaly. Na rozdíl od polyethylenu se polypropylen často aplikuje k výrobě mechanicky i chemicky odolných vláken. [10]

2.2.1.3 Polyvinylchlorid PVC

Je nejvýznamnějším představitelem skupiny polymerů a společně s polyethylenem (PE) a polypropylenem (PP) nejmasověji vyráběným syntetickým plastem s ohledem na vzrůstající možnosti použití. K základním vlastnostem patří například jeho snadná zpracovatelnost prakticky všemi základními postupy, což je např. (válcování, vytlačování, vstřikování, vyfukování), nebo schopnost želatinace s různými změkčovadly, či značná chemická odolnost ať už je to vůči kapalinám či plynům.

Zpracovává se buď bez změkčovadel, pouze se stabilizátory, mazivy a modifikátory na tvrdé výrobky (trubky, profily, desky apod.), nebo se změkčovadly na výrobky polotuhé až elastické jako jsou (fólie, nádoby, hračky, ochranné rukavice atd.). Neměkčený, tvrdý, málo plastický polyvinylchlorid je znám pod užíváním obchodního označením novodur; naopak měkčený, měkký, ohybný polyvinylchlorid pod názvem novoplast.

Jeho chemická odolnost je značně ovlivněna a pochopitelně klesá se vzrůstajícím stupněm změkčení polymeru a zvyšující se teplotou. Za běžné teploty pohltí neměkčený polyvinylchlorid asi 1% vlhkosti. Absorpce vody, vzrůstající s obsahem změkčovadla, což se projevuje mléčným zakalením výrobků.

Tab. 3. Vlastnosti polyvinylchloridu (PVC) [6]

Polyvinylchlorid	Zkratka	Hustota [g/cm ³]	Teplota zesklenní [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Navlhavost [%]
Neměkčený polyvinylchlorid	PVC-U	1,38 + 1,55	85	1000+1350	50 + 75	0,04 + 0,40
Měkčený polyvinylchlorid	PVC-P	1,16 + 1,35	50 + 65	-	10 + 25	0,15 + 0,75

Výrazným problémem pro PVC je tepelná a světelná stabilizace polyvinylchloridu. Tepelná proto, že jej musíme zpracovávat při teplotách (kolem 180°C) blízkých se teplotě rozkladu a světelná především proto, že polyvinylchloridové výrobky jsou vystavovány účinku ultrafialového záření. Podle způsobu výroby a zpracování má do značné míry různé fyzikální a chemické vlastnosti. Z jeho mechanických vlastností vyniká zejména jeho značná pevnost v tahu, nebo také houževnatost. Důležitý bezpečnostní požadavek je odolnost polymerů vůči ohni a ten polyvinylchlorid špatnou hořlavostí dobře splňuje. [10], [8]

2.2.1.4 Polyamid PA

Charakteristickými vlastnostmi alkalického polyamidu jsou vysoká hodnota polymeračního stupně tj. (udává kolik stavebních jednotek, jinými slovy merů je v makromolekule).

Tato hodnota je 300 až 500, stupeň krystalinity kolem 45%, obsah nízkomolekulárních látek extrahovatelných vodou pod 5%. Dále mají malou hořlavost což je velmi zohledňovaný parametr, také vysoká odolnost vůči oděru a značná houževnatost. Lze je ještě modifikovat např. pomocí skleněných vláken (v koncentraci 6 – 60%), kdy dochází dále k ozařování. Z polyamidu se vyrábějí ve značné míře především součásti strojů, přístrojů a zařízení, např. pouzdra kluzných ložisek, ozubená kola, řemenice.

Hydrolytický polyamid 6 má nižší stupeň polymerace než alkalický (kolem 150) a také podstatně větší navlhavost. Jeho dobré mechanické vlastnosti dovolují široké použití jako u alkalického polyamidu. Hlavně se však používá na textilní vlákna.

Tab. 4. Vlastnosti polyamidu (PA-6) [6]

Polyamid	Hustota [g/cm ³]	Modul pružnosti [MPa]		Teplota tání [°C]	Navlhavost [%]
		Suchý stav	Navlhý stav		
PA-6	1,10+1,14	1100+3500	1000+2500	215+225	2,5+3,0

Zvláknování polyamidu se provádí protlačováním jeho taveniny tryskami. Vzniklé vlákno se potom dluží a praním zbavuje monomeru. Z polyamidu 6 se vyrábějí různé druhy vláken. Mezi jednu skupinu z nich patří technická (kordy do koster pneumatik a dopravních pásů, štětiny, žíně, vlasce, vlákna na síta apod.), dále vlákna textilní (hedvábná, kobercová). Jejich obarvováním nevznikají žádné problémy. Textilie z nich připravené se sice rychle špiní, protože se snadno nabíjejí statickou elektřinou a přitahují prach, ale na druhé straně neméně snadno perou ve vlažné vodě. Málo se mačkají a krčí. Vlákna mají značnou pevnost a mnohem větší oděruvzdornost než všechna ostatní (přírodní i syntetická). Málo však odolávají zvýšeným teplotám (žehlení, kdy se můžou přichytit) a účinkům povětrnosti (slunečnímu světlu, kdy může dojít k blednutí). [10], [6]

2.2.1.5 Polyethyltereftalát PET

Využívá se zejména pro výrobu vláken a v menším rozsahu pro výrobu fólií. K využití vláken dochází u spotřebních textilií, technické tkaniny a lana. Používají se i k oplétání vodičů elektrického proudu a dříve k záznamovým prostředkům, dnes již méně používaných, jako podložky pro výrobu magnetofonových a videorekordérových pásků a filmů. Ve formě láhví se s polyethyltereftalátem setkáváme při balení kapalného zboží, především nápojů do tzv. PET láhve. Polyethyltereftalátové vlákno, vyráběné z taveniny, je méně mačkové jako vlna, méně navlhá a rychleji schne než vlákno polyamidové. Má lepší

stálost na světle v porovnání s polyamidem (PA). Velmi dobře odolává dlouhodobému záření, i na vzduchu. Obtížně se však vybarvuje, protože neobtná ve vodě.

Tab. 5. Vlastnosti polyethyltereftalátu (PET) [6]

Polyester	Zkratka	Hustota [g/cm ³]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Navlhavost [%]
Polyethyltereftalát	PET	1,27 + 1,37	250 + 260	2000 + 3100	47	0,1

Polyethyltereftalátové fólie vyráběné vytlačováním na vytlačovacích linkách, převyšují mechanickou pevností fólie ze všech ostatních termoplastů. Zachovávají si pružnost do velmi nízkých teplot (až -70°C) a do jisté míry odolávají i vyšším teplotám (až 130°C) v neposlední řadě také olejům. Jsou opticky čiré, mají vynikající elektroizolační vlastnosti. Velmi zřídka propouštějí vlhkost a plyny, jsou výborně zpracovatelné. Nevýhodou je jejich poměrně vysoká cena. [10]

2.2.2 Reaktoplasty

Je to hustě zesíťovaný polymer. Možno je vytvrzovat obvykle teplem, někdy i za normální teploty. Působením tepla nejprve měknou, v této fázi je možné je zpracovávat a tvářet, avšak jen omezenou dobu. V průběhu dalšího zahřívání dochází k prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Ochlazováním reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť rychlé zahřátí a následné ochlazení formy by bylo velmi náročné a ekonomicky nepříliš vhodné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty se stávají netavitelnými a nerozpustnými. Dalším ohřevem poté dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod. [8], [9]

Elastomery

Jsou, jak název napovídá, vysoce elastické polymery, které můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat elastomerový výrobek bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná. Nedochozí tedy ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj. Elastomery dělíme do dvou podmnožin, kterými jsou:

- Termoplastické elastomery
- Kaučuky ...[10], [9]

2.2.2.1 *Termoplastické elastomery*

Jsou vlastnostmi velmi obdobné jako pryže. Podoba jejich struktury je tvořena tvrdými a měkkými segmenty. Měkké segmenty jsou tvořeny elastomery, tvrdé segmenty termoplasty, které vytváří uzly sítě. Termoplastické elastomery mají zasíťovanou strukturu. Což znamená, že zvyšováním teploty přechází na rozdíl od pryží do tekutého stavu a mohou se zpracovávat obdobně jako termoplasty. Hlavní rozdíl termoplastických elastomerů a pryží je dán rozdílem ve vlastnostech uzlů sítě, které jsou u pryží (po vulkanizaci kaučuku) chemické povahy, zatímco u termoplastických elastomerů jsou povahy fyzikální. Termoplastické elastomery oproti pryžím sice nedosahují takových elastických vlastností, ale jejich výhodou je, možnost vstřikování na běžných strojích určených pro termoplasty a také možnost jejich opětovného zpracování, jinými slovy recyklace. [8]

2.2.2.2 *Kaučuky*

Různé druhy průmyslově vyráběných kaučuků získaly svou klasifikaci. Dlouhé názvy vedly k zavádění zkratk. Mezinárodní zkratky se dělí do osmi základních skupin dle chemické struktury. Tato klasifikace však nemá souvislost s hlavním použitím kaučuků. Kaučuky tedy rozdělujeme:

- Kaučuky na všeobecné použití
- Kaučuky speciální

Kaučuky speciální se dělí dále do dvou podskupin a to:

- Kaučuky olejovzdorné
- Kaučuky teplovzdorné [10]

3 IONIZAČNÍ ZÁŘENÍ

Záření znamená šíření energie prostorem v podobě korpuskulárního a elektromagnetického záření. Korpuskulární záření je typem částicového záření, které znázorňuje proud částic s nenulovou hmotností. Elektromagnetické záření proudí jako příčná vlna, charakterizována dvěma na sebe kolmými vektory, kterými jsou intenzita elektrického pole a magnetická indukce. [15], [16]

Tab. 6. Vlnová délka a frekvence elektromagnetického záření

Záření	Vlnová délka [μm]	Frekvence [Hz]
Viditelné	10^{-1}	10^{14}
Ultrafialové	$10^{-2} - 1$	$10^{15} - 10^{17}$
Mikrovlnné	$10^3 - 10^5$	$10^{10} - 10^{12}$
Elektronové	$10^{-7} - 10^{-4}$	$10^{18} - 10^{21}$
Gama	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{21} - 10^{23}$

3.1 Záření alfa

Záření α je tvořeno letícími částicemi hélia, které mají klidovou hmotnost $m_\alpha = 6,656 \cdot 10^{-27}$ kg a k sobě nesou dva elementární náboje. Rychlost je přibližně se blížíci 2% světelné. Jádra mají v sobě 210, nebo více nukleonů a jsou tak velká, že krátkodosahující jaderné vazebné síly sotva stačí vyrovnat odpuzování jejich protonů. Toto záření vydává většina přirozených radioaktivních prvků. [15]

3.2 Záření beta

Záření beta je složeno ze záporných prvků tedy elektronů a z toho důvodu jej přesněji označujeme jako β^- . Záření obsahuje dva elektrony, které obsahují určité množství energie. V jádru vzniká primární záření, které na rozdíl od sekundárního vzniká jako druhotný jev podmíněný zářením gama. Průchodem prostředím se energie částic beta zmenšuje interakcemi s atomy v okolí, z nichž nejúčinnější je ionizace - vznik brzdného záření a rozptyl. Když se přiblíží záporný elektron k el. obalu nějakého atomu, je přibrzděný. [15], [16]

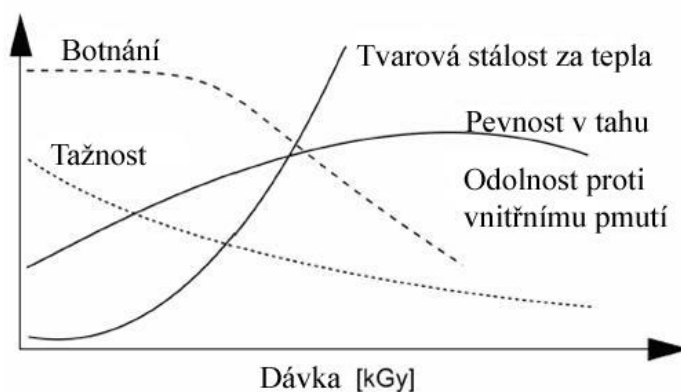
3.3 Záření gama

Řadí se mezi záření o krátké vlnové délce, jež vzniká v jádrech některých radioaktivních prvků, jako jsou: iridium, kobalt, cesium. Záření γ má nespojitě čárové spektrum, kdy přeskupením nukleonů uvolňuje v jádře energii, v podobě jednoho fotonu. Ty mají značnou

energii a při průchodu elektronovým obalem můžou odtrhnout elektron a udělit mu rychlost s kinetickou energií. Záření působí na materiál v hodinách, na rozdíl od elektronového, které je v minutách. [15]

3.4 Změna vlastností po ozáření

Při tomto procesu se můžou změnit vlastnosti mechanické, chemické a tepelné. Na obrázku jsou znázorněny změny některých z nich, jako: Tažnost, pevnost v tahu, tvárnost za tepla.



Obr. 10. Změna vlastností v závislosti na ozáření [17]

3.4.1 Mechanické vlastnosti u termoplastů

- Nárůst tvrdosti u metody Shore
- Zlepšení pevnosti v tahu
- Zlepšení odolnosti vůči oděru
- Pokles tažnosti, (poměrného prodloužení při přetržení)
- Navýšení pevnosti, s ohledem na delší časový úsek
- Zlepšení povrchové pevnosti proti otiskům

3.4.2 Tepelné vlastnosti

- Zlepšení odolnosti proti hoření a vznícení
- Nárůst tvarové stálosti za vyšších teplot

3.4.3 Chemické vlastnosti

- Zlepšení odolnosti proti bobtnání
- Zlepšení odolávání proti chemikáliím a povětrnostním vlivům
- Redukce rozpustnosti [16]

4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Při využívání plastů nás zajímají jejich vlastnosti. Nejčastěji mechanická pevnost, proti které působí různé síly. Používané metody, kdy zkoušíme materiál, můžeme rozdělit do třech skupin.

- **Statické zkoušky** – Síla, kterou se zatíží těleso se pomalu zvětšuje, až dojde k zničení zkoušeného vzorku.
- **Dynamické zkoušky** – Síla, která se působí na zkoušený vzorek se periodicky mění, nebo proběhne za velmi krátký časový úsek.
- **Únavové zkoušky** – Jak již název napovídá, jedná se o zkoušky, které trvají až do porušení materiálu.

4.1 Zkoušky v tahu

Je to jedna z nejvíce používaných a nejdůležitějších zkoušek, která hodnotí pevnost daného materiálu. U této zkoušky se materiál zatěžuje do té doby, až dojde u něj k trvalému porušení, nebo přetržení.

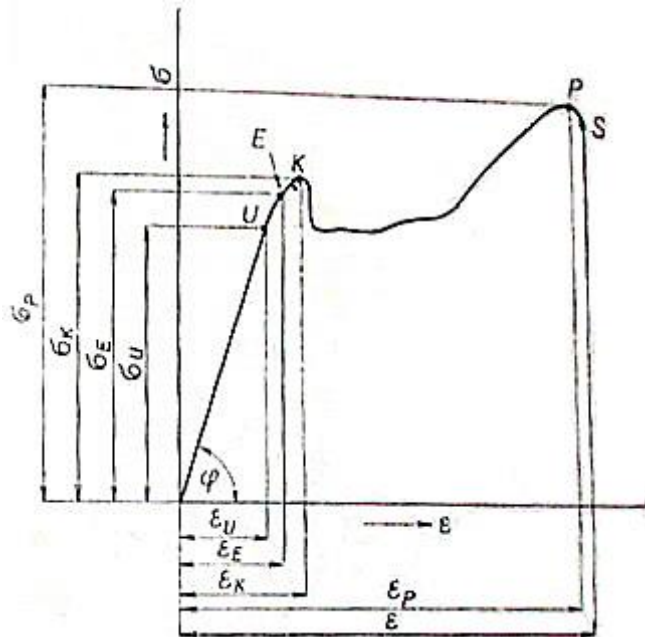


Obr. 11. Tělisko po tahové zkoušce

Tvary a rozměry zkušebních tělísek jsou určeny normou, ale většinou má zkušební tělísko tvar tzv. lopatek na obou koncích, které umožňují pevné uchycení v čelistech zkušebního trhacího stroje. V případě tloušťky tělíska 1 – 2 mm se připravují vzorky vysekáváním pomocí nože, dále když se vzorek připravuje vstřikováním je tloušťka $4 \pm 0,4$ mm a je – li deska tlustší jak 2 mm, příprava probíhá pomocí obrábění, avšak tloušťka by neměla přesáhnout 10mm. Uprostřed je tělísko zúžené, takže se veškeré napětí soustředí do tohoto místa. Při zkouškách např. fólií se jako tělísko používá pásek. [8]

Na grafu tahového diagramu (Obr. 12) je několik základních bodů, které jsou označeny písmeny:

U - mez úměrnosti, E - mez pružnosti, K - mez průtažnosti, P – mez pevnosti, S – napětí, kdy dojde k přetržení zkušebního tělíska



Obr. 12. Pracovní diagram tahové křivky [22]

Vlivem zatížení se mění délka zkušebního tělíska z l_0 na délku l . Tuto skutečnost nám vyjadřuje:

Poměrné prodloužení
$$\varepsilon_1 = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2)$$

Protažení nám popisuje změnu délky zkušebního tělesa při namáhání:

Protažení
$$\varepsilon_p = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \quad (3)$$

Protažení při přetržení je definováno jako tažnost. Je to podstatná hodnota s ohledem na konstrukční vlastnosti polymerů:

Tažnost
$$\varepsilon_t = \frac{l_t - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (4)$$

Hookeův zákon je přímo úměrný modulu pružnosti E , nebo taky nazýván jako Youngův modul a prodloužení ε .

Hookeův zákon
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (5)$$

Modul pružnosti se v přímkovém stavu určí, jako směrnice přímky

$$\text{Modul pružnosti} \quad E = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (6)$$

Mez úměrnosti - Je to bod, do kterého je deformace úměrná napětí. Až do meze úměrnosti je průběh tahové křivky prakticky lineární. V této oblasti platí Hookeův zákon.

$$\sigma_{\dot{U}} = \frac{F_U}{S_0} \quad (7)$$

Mez pružnosti – V tomto bodě ještě není deformace stálá, čili je vratná.

$$\sigma_E = \frac{F_E}{S_0} \quad (8)$$

Mez kluzu – S rostoucím napětím velmi rychle dojde k překročení (esovitěho tvaru) v diagramu což vede k trvalému porušení materiálu.

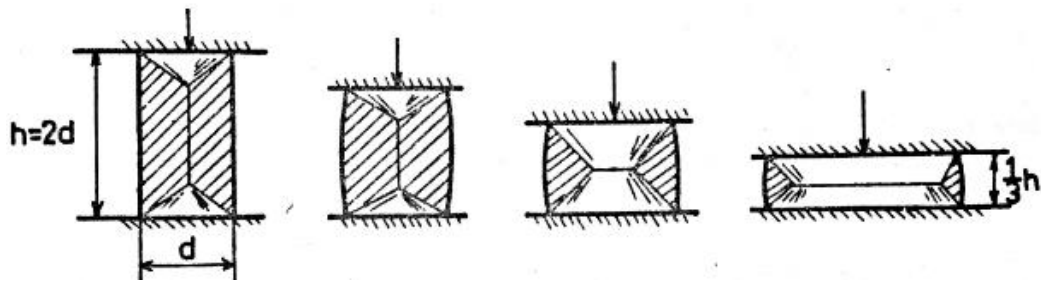
$$\sigma_K = \frac{F_K}{S_0} \quad (9)$$

Mez pevnosti v tahu – Je napětí, které je potřebné k přetržení zkušebního tělesa o původním průřezu. [22]

$$\sigma_P = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad (10)$$

4.2 Zkoušky v tlaku

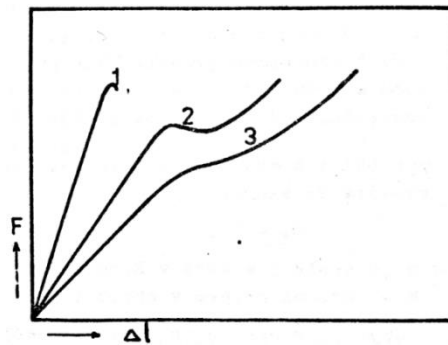
Obdobné, jako zkoušky v tahu. Tlakové zkoušky probíhají na trhacím stroji, který je vybaven mechanismem s třmeny. Díky tomuto mechanismu je tahová síla převedena na tlakovou. Při zkoušce se ve vzorku vytváří pyramidy se sklonem k bočním stěnám 45°. Materiál se vytlačí a vzniká tak soudkovitý tvar zkušebního vzorku. Aby se neovlivnila zkouška třecími silami, jsou plochy, které dosedají do vzorku pochromovány a namazány tukem, aby klouzaly. Pokud se provádí zkouška na malém tělese, používá se přípravek, aby nedošlo k vybočení zkušebního tělesa.



Obr. 13. Rozložení tlaku v průběhu zkoušky [8]

Průběh zkoušky můžeme vyobrazit třemi křivkami:

- První popisuje stlačení tvrdého, křehkého materiálu. Napětí vzrůstá až do meze pevnosti, poté dojde k rozdrčení vzorku.
- Druhá je vztažená k houževnatějším materiálům. Zkušební tělíska mívají trhlinky, avšak nejsou rozdrčené jako u první křivky.
- Třetí je obdobná jako druhá, ale týká se ještě houževnatějších materiálů. [8]



Obr. 14. Průběh zkoušky v tlaku [8]

4.3 Zkoušky v ohybu

Při této zkoušce se rozdělí polymery na křehké a houževnaté. Neboť křehké materiály u této zkoušky prasknou a houževnaté se pouze prohýbají do té doby, až vyklouznou ze zkoušecího přístroje.

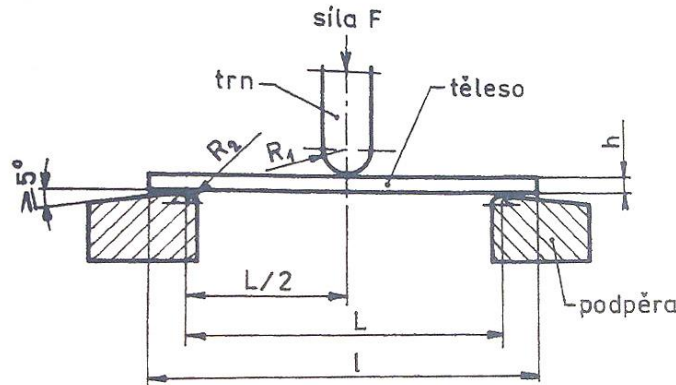
Zkušební vzorek je tvaru trámku je na dvou podpěrách a uprostřed je zatěžován trnem, který postupně zvyšující se silou tlačí na vzorek a ten se prohýbá až může dojít k zmíněnému vyklouznutí. Testovací tělesa mají obvykle tyto rozměry:

Výška: $h = 4 \pm 0,2 \text{ mm}$

Šířka: $b = 10 \pm 0,2 \text{ mm}$

Délka: $l = 80 \pm 2$ mm nebo více

Při zkoušce se vnitřní strana zkracuje a tím na ní vznikají tlakové síly a vnější strana prodlužuje, takže vznikají síly tahové. Zkušební tělesa mívají tvar hranolu. [8] str. 39-40



Obr. 15. Ohybová zkouška [11]

4.4 Zkoušky tvrdosti

Je to jedna z charakteristických veličin u polymerů. Tvrdost jde částečně posoudit také podle pevnosti v tahu. Zkoušky u polymerních materiálů se oproti zkouškám u kovů liší, jelikož polymery jsou houževnaté a pružné v porovnání s kovy. Nejčastěji se tvrdosti měří na základě vtisku kuličky. [8]

4.4.1 Tvrdost podle Brinella

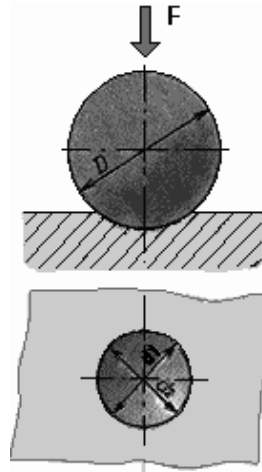
U této zkoušky je zkušební tělísko z kalené ocele vtlačeno postupně vzrůstající silou. Kulička má různé průměry a vtlačení trvá různou dobu:

Doba zatížení:

- 10 - 15s. u slitin železa
- 10 – 80s. u neželezných slitin

Vlivem deformace se plast částečně nahromadí kolem kuličky, ale při měření se zanedbává. Minimální tloušťka vzorku musí být 10x větší než hloubka vtisku.

Tvrdost se měří na Brinellově tvrdoměru s indikátorem na základě hloubky důlku a jeho průměru. Hloubka se může měřit také mikroskopem, zde můžou ale nastat problémy při měření. Musí být dobře rozpoznat materiál (být reflexně rozpoznatelný). Jelikož jsou plasty často průsvitné, matné, může se mezi tělísko a vzorek vložit papír, který udělá v důlku obtisk.



Obr. 16. Průběh zkoušky dle Brinella [12]

Pro měření se používají různé průměry kuliček:

- 1 a 2,5mm – pro bakelity, tvrzený papír, tkaninu
- 5mm – většina plastů
- 10mm – měkčený PVC apod.

Tvrдость dle Brinella

$$HB = (0,102 \cdot F) / A$$

(11)

4.4.2 Tvrдость podle Vickerse

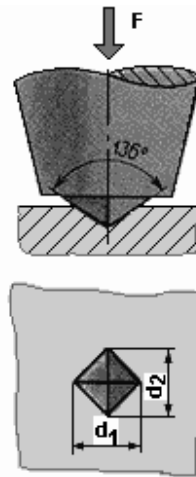
Zkušební těleso je zde čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu 136° z diamantu. Princip měření je zde však téměř stejný. V momentu, kdy se vysune jehlan, změří se úhlopříčka vtisku. Tato metoda je u měření tvrdosti nejpřesnější.

Vickersova metoda má oproti Brinellově výhodu, že hodnoty tvrdosti se nemění při použití různých zatížení. K rozdílu může dojít pouze u malých zatížení, kdy je zjištěná tvrdost větších hodnot.

Doba zatížení: 10 – 180s.

Zatěžující síla: 10 – 1000N

Nejčastěji se používá zatížení o velikosti 300N po dobu 10 až 15s.



Obr. 17. Zkouška tvrdosti podle Vickerse [12]

- Výpočet je poměrem síly a úhlopříčky vtisku

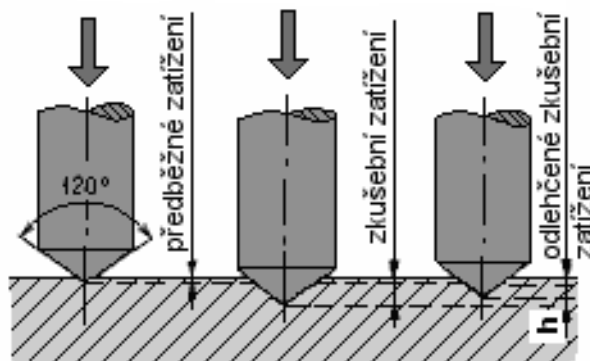
Tvrdość dle Vickerse
$$HV = 0,189(F/d_1 \cdot d_2)$$
 (12)

4.4.3 Tvrdość podle Rockwella

Tvrdość se zde neurčí podle plochy vtisku, ale podle hloubky vtisku. Zkušební těleso se základním zatížením vtlačí do vzorku, pak se nastaví stupnice hlobkoměru do počáteční polohy. Zatížení se následně zvyšuje na hodnotu předepsané normou a po odlehčení na původní zatížení se odečte na stupnici hlobka vtisku.

Zkušební tělesem je:

- diamantový kužel o vrcholovém úhlu 120° metoda (HRA, HRC)
- ocelová kalená kulička o průměru $d = 1,59\text{mm}$ (HRB)



Obr. 18. Zkouška podle Rockwella [12]

4.4.4 Tvrdost podle Shore

Využití především pro stanovení tvrdosti u pryží, kdy hrot předepsaných rozměrů se snaží vniknout do zkušební pryže, která působí vlastní silou proti vniku. Provádí se na tvrdoměrech, kde dojde k zatížení přes pružiny, které se musí cejchovat.

Zkušební těleso musí být hladké a zarovnané. Jeho velikost se zvolí tak, aby měření byla vzdálena od kraje minimálně 12mm a od sebe minimálně 5mm. Tloušťka musí být minimálně 6mm, při tvrdosti nad 50 Shore D stačí 3mm. [8]

4.4.5 Rázová houževnatost metodou Charpy

Slouží pro zjištění kolik práce, nebo energie je potřeba k porušení zkušební tyče. Zkušební tyč je ve tvaru hranolu a je opřena o dvě podpěry. Do zkušební tyče je udělaný vrub 2-3mm ve tvaru V, do kterého následně ze zadní strany udeří kladivo. Na přístroji je stupnice, ze které se určí velikost energie při úderu. Rychlost pohybu kladiva je od 1 do 10m/s, záleží na velikosti kladiva. [8]

4.4.6 Mikrotvrdost

Měření mikrotvrdosti patří k nejjednodušším metodám určování tvrdosti. Tělísko, které jde do styku s měřeným materiálem je diamantové (indentor) tvaru pyramidy a je vtlačováno do tělesa nadefinovanou silou s postupným přísuvem. Plocha otisku indentoru se změří pomocí mikroskopu. Mikrotvrdost se často používá k měření povrchových vrstev. Menší vpich, při nadefinované síle znamená větší tvrdost.



Obr. 19. Zkouška mikrotvrdosti

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zásady pro vypracování bakalářské práce byly následující:

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

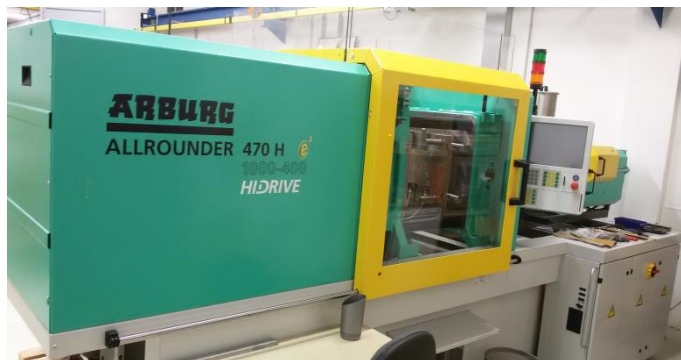
6 VÝROBA A PŘÍPRAVA VZORKŮ

Praktická část bakalářské práce se zabývá návrhem materiálu pro GPS systém. GPS systém byl v minulosti sestaven z ocelového pouzdra, kde pouzdro bylo vyrobeno z materiálu ocel 11 373 (ČSN 411373). Byly vybrány polymerní materiálu k posouzení jejich vhodnosti pro výrobu GPS systému. Vybrány byly PA 6 60%GF, PA 66 30%GF, který byl modifikován beta zářením v dávkách 66,99,132,165,198 kGy. U materiálů byly provedeny testy mechanických vlastností zkouška tahem, rázová zkouška v ohybu, zkoušky tvrdosti a mikro-tvrdosti. Naměřené výsledky byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

6.1 Výroba vzorků vstřikováním

Materiál v granulovém tvaru byl vložen do násypky vstřikovacího stroje k přípravě zkušebních těles. Byl použit vstřikovací přístroj (Obr. 20), který se nachází v dílnách UTB na budově U5. Tvar a rozměry zkušebních těles zajišťovala předpřipravená forma, jejíž výrobky souhlasí s rozměry normy. Bylo vystříknuto cca. 100 výrobků, které byly po vychladnutí zbaveny vtokových kanálek pomocí ulomení. Následně byly vzorky zabaleny a odeslány k ozáření do Německa. Pro vstřikování vzorků byl použit stroj Arburg 470H Allrounder s těmito parametry:

- Uzavírací síla: max. 1000 kN
- Otevření: max. 350 mm
- Výška formy: min. 250 - max. 500mm
- Světlost mezi upínacími deskami: max. 600-850 mm
- Vzdálenost mezi vodícími sloupy: 470 x 470 mm
- Velikost upínací desky (hor. / vert.): 637 x 637 mm
- Vyhazovací síla: max. 40 kN
- Zdvih vyhazovače: max. 175 mm [24]



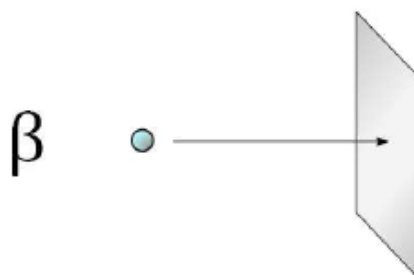
Obr. 20. Vstřikovací stroj Arburg 470H ALLROUNDER

6.2 Ozáření

Po vstřikování byly vzorky zabaleny a odeslány do firmy BGS Beta – Gama – Service GmbH & Co. KG., která má sídlo v Německu k ozáření typem beta o požadovaných hodnotách 66, 99, 132, 165, 198 kGy.

Beta částice mají stejnou hmotnost jako elektrony, avšak mohou být i kladně i záporně nabité. Mají velmi malé rozměry, rychlost blízká rychlosti světla, pronikají materiálem s nízkou hustotou a tloušťkou. Zastaví je metrová clona vzduchu, nebo plíšek tlustý jeden mm. Zářením beta bylo zlepšeno:

- Zlepšení mechanických vlastností (Youngův modul, zvýšení pevnosti, zlepšení meze únavy, snížení poměrného prodloužení při přetržení, nárůst tvrdosti)
- Zlepšení tepelných vlastností (Tvarová stálost za tepla, zlepšení proti stárnutí a vyšším teplotám)
- Zlepšení chemických vlastností (Lepší odolnost proti bobtnání, olejovzdornosti, zvýšení odolnosti proti trhlinám způsobeným pnutím)



Obr. 21. Prosta při β záření [23]

6.3 Provedení vrubů

Po ozáření byly vzorky připravovány na rázovou zkoušku, která se následně prováděla pomocí Charpyho kladiva (Obr. 30). Vzorky byly po třech vloženy do čelistí vrubovacího ústrojí (Obr. 22) a zasunuty na doraz. Následně šroubem upevněny a pomocí ručního posuvu s nožem se provedl do vzorků vrub ve tvaru písmene V o velikosti 2mm (Obr. 23). Vrub se vyřezával pomocí mechanického vrubovacího přístroje CEAST, který je vybaven digitálním mikrometrem s přesností 0,001mm.



Obr. 22. Vrubovací přístroj CEAST

Po uvolnění byly vzorky zbaveny otřepů z vyřezávání vrubů.



Obr. 23. Vrub 2mm ve zkušebním vzorku

6.4 Měření a vyhodnocení výsledků

Po naměření hodnot u jednotlivých zkoušek, byly přeneseny do tabulek a následně vyhodnoceny. K vyhodnocení bylo použito aritmetického průměru (Rov. 13) a střední kvadratické chyby (Rov. 14). V návaznosti na tento úkon se sestavily z daných hodnot grafy.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (13)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (14)$$

7 ZKOUŠKY

7.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška probíhala v laboratořích UVI za konstantní teploty 23°C. Dle normy ČSN EN ISO 527 – 1. Bylo použito trhacího přístroje Zwick 1456 (Obr. 24), jehož součástí je vyhodnocovací program TestExpert.

Trhací přístroj Zwick 1456 má následující parametry:

- Maximální posuv příčnicku: 800 mm/min
- Snímače síly: 2,5 a 20 kN
- Teplotní komora: -80/+250 °C
- TestExpert software Tah/Ohyb/Tlak



Obr. 24. Trhací přístroj Zwick 1456

7.1.1 Pracovní postup – tahová zkouška

- V programu bylo nastaveno najetí čelistí do referenční polohy
- Vzorek byl upnut do čelistí trhacího stroje pomocí pedálového ovládání (Obr. 25)
- Ve vyhodnocovacím programu se spustilo zatížení
- Po dosažení meze pevnosti σ_P došlo k přetržení vzorku
- Z čelistí byl uvolněn přetržený vzorek



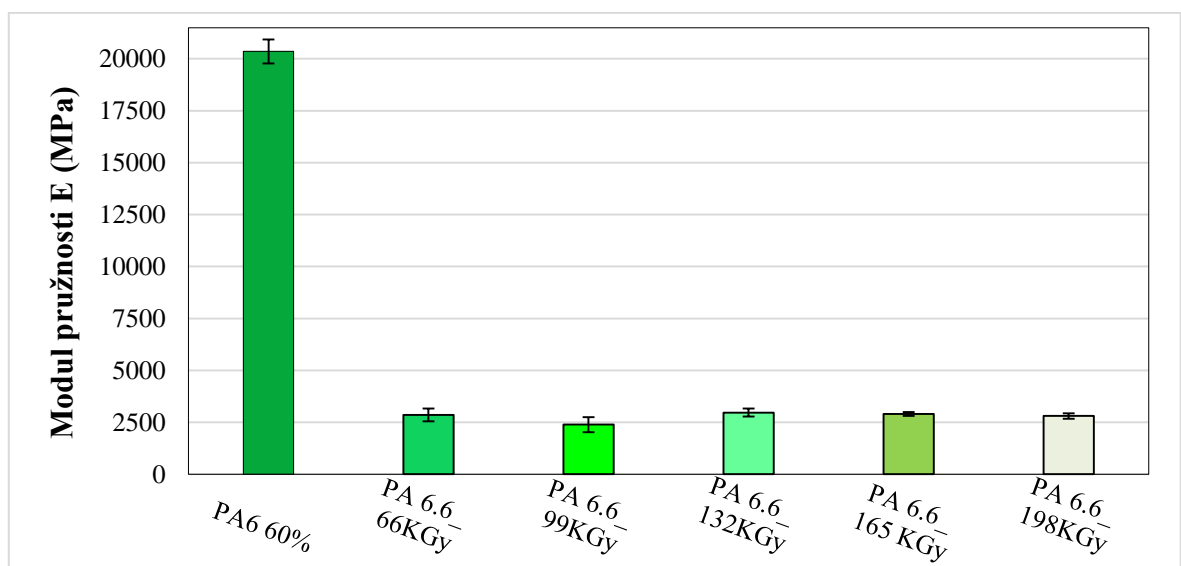
Obr. 25. Pedálové ovládání čelistí trhacího stroje

7.1.2 Tabulky

Tab. 7. Hodnoty pro modul pružnosti E

Modul pružnosti - E (Mpa)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	20360	2858	2386	2970	2906	2802
σ	577	305	357	193	93	127

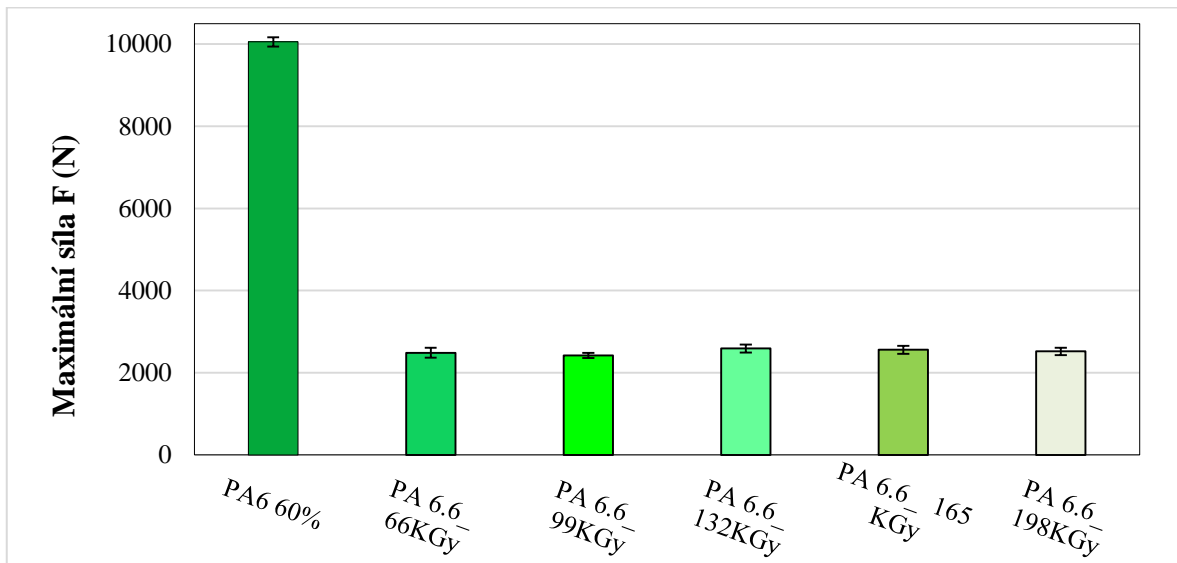
Nejvyšší hodnota modulu pružnosti v tahu, která reprezentuje tuhost testovaného zkušebního tělesa byla dosažena u materiálu PA6 60% - (20360 ± 577) MPa a naopak nejnižší hodnota tuhosti byla naměřena u materiálu s ozářením PA 6.6 99kGy – (2386 ± 357) MPa. (Tab. 7, Obr. 26).

Obr. 26. Vyhodnocené hodnoty pro modul pružnosti E

Tab. 8. Hodnoty pro maximální sílu F

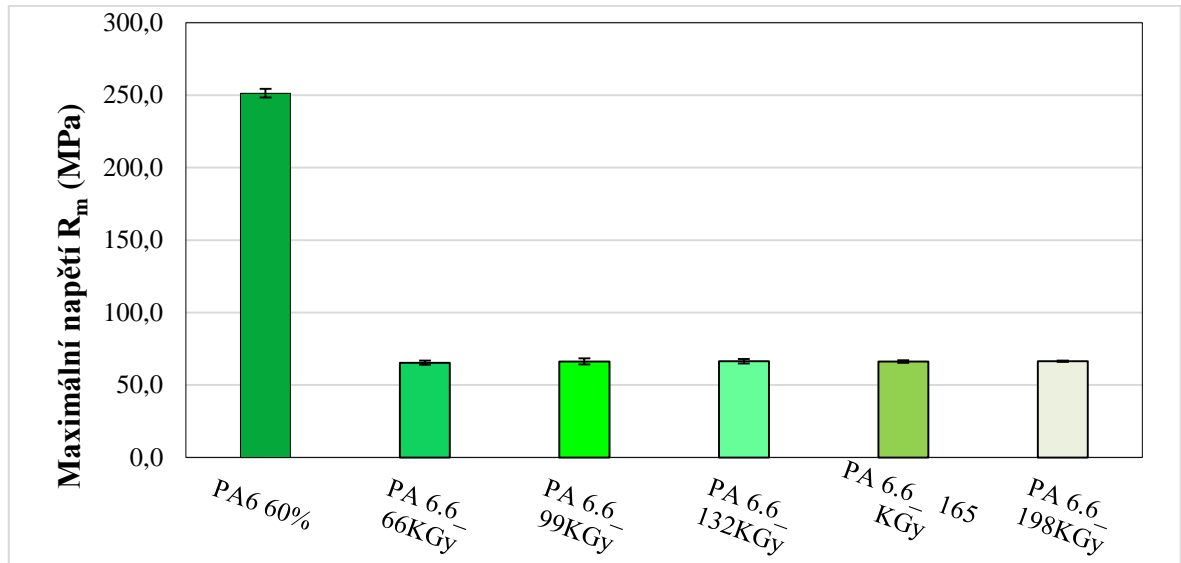
Maximální síla - F (N)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	10054	2486	2424	2590	2560	2522
σ	116	120	63	100	97	89

Dle (Obr. 27) je k vidění, že maximální sílu u zkoušky v tahu má neozářené těleso PA6 60% s hodnotou (10054 ± 116) N a naopak nejmenší u PA 6.6 99kGy (2424 ± 63) N. (Tab. 8).

Obr. 27. Vyhodnocené hodnoty pro maximální sílu F Tab. 9. Hodnoty pro maximální napětí R_m

Maximální napětí - R_m (Mpa)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	251,4	65,4	66,3	66,5	66,1	66,4
σ	2,9	1,4	2,1	1,5	0,9	0,5

Nejvyšších hodnot maximálního napětí v tahové zkoušce bylo dosaženo u PA6 60% - $(251,4 \pm 2,9)$ MPa (Obr. 28) a naopak nejnižších hodnot bylo naměřeno u materiálu PA6.6 66kGy - $(65,4 \pm 1,4)$ MPa. (Tab. 9).

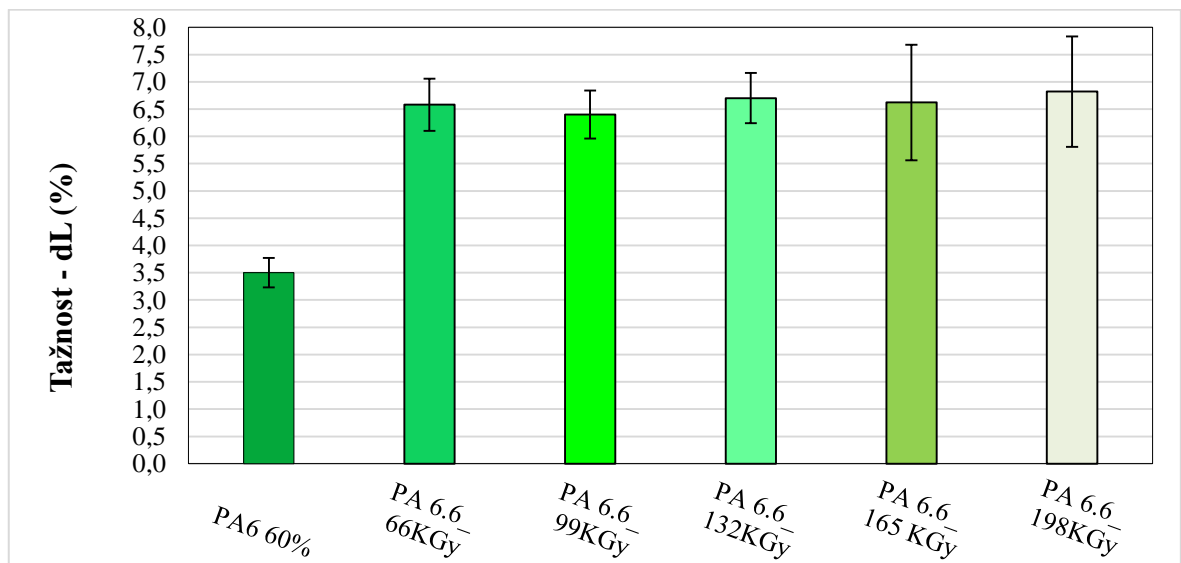


Obr. 28. Vyhodnocené hodnoty pro maximální napětí R_m

Tab. 10. Hodnoty tažnosti dL

Tažnost - dL (%)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	3,50	6,58	6,40	6,70	6,62	6,82
σ	0,27	0,48	0,44	0,46	1,06	1,01

Z naměřených hodnot je patrné, že tažnost u tahové zkoušky je nejvyšší v případě PA 198kGy - $(6,82 \pm 1,01)\%$ a naopak nejnižší hodnoty bylo dosaženo u materiálu PA6 60% - $(3,50 \pm 0,27)\%$. (Tab. 10, Obr. 29).



Obr. 29. Vyhodnocené hodnoty pro tažnost dL

7.2 Rázová zkouška

V laboratoři U5 byla prováděna zkouška rázové houževnatosti, kde se nachází Charpyho kladivo HIT50P (Obr. 30). Zkouška byla aplikována za teploty 23°C, dle normy ČSN EN ISO 179 – 1. Kladivo má následující parametry:

- Maximální nárazová energie: 50 J
- Rozměry: 1180 x 1170 x 500 mm
- Hmotnost: 475 kg
- Napájení: 100 – 240V, 50 – 60 Hz, 70 W
- Testované veličiny: Dopadová energie (%),(J), Odolnost proti rázu (kJ/m²)



Obr. 30. Charpyho kladivo 50J

7.2.1 Pracovní postup

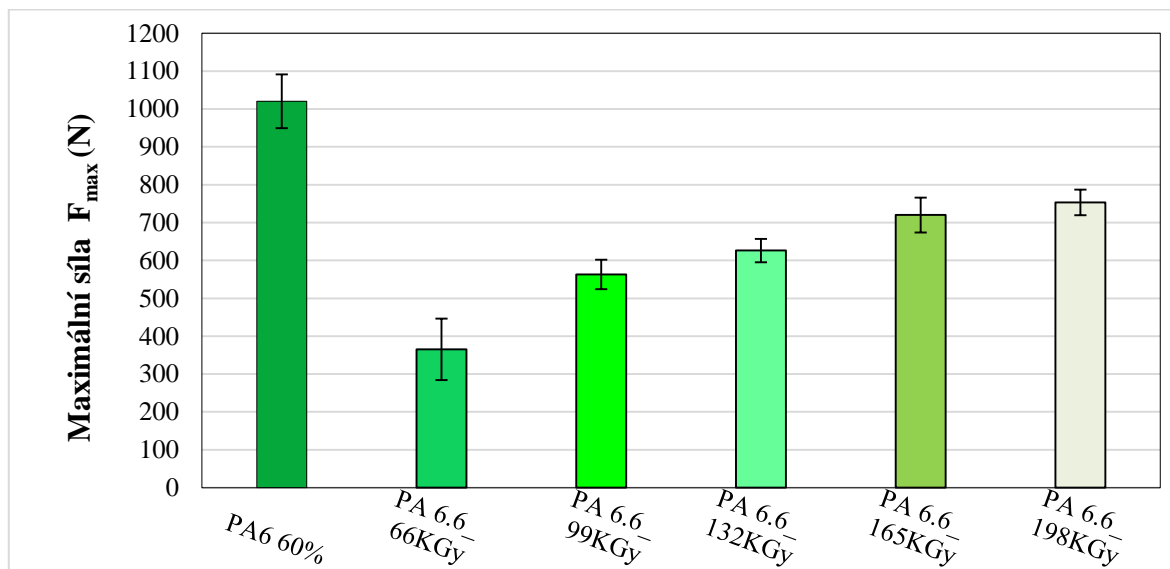
- Na podpěry je položen vzorek s vrubem ve směru pohybu kladiva
- Pomocí středové ručičky došlo k vycentrování, aby byl vrub přesně na středu
- Bezpečnostní kryt byl uzavřen, aby nedošlo ke zranění odskočením vzorku
- Pomocí dvou aktivačních tlačítek bylo kladivo spuštěno
- Po přeražení vzorku bylo kladivo zastaveno pomocí ruční brzdy

7.2.2 Tabulky

Tab. 11. Hodnoty maximální síly pro Charpyho zkoušku

Maximální síla F_{\max} (N)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	1020	365	563	626	720	753
σ	71	81	39	31	46	34

Z naměřených hodnot (Tab. 11) je patrné, že největší hodnoty síly při rázové zkoušce v ohybu bylo dosaženo u PA6 60% - $(1020 \pm 71)N$ (Obr. 31) a naopak nejnižších hodnot u materiálu PA 66kGy - $(365 \pm 81)MPa$.

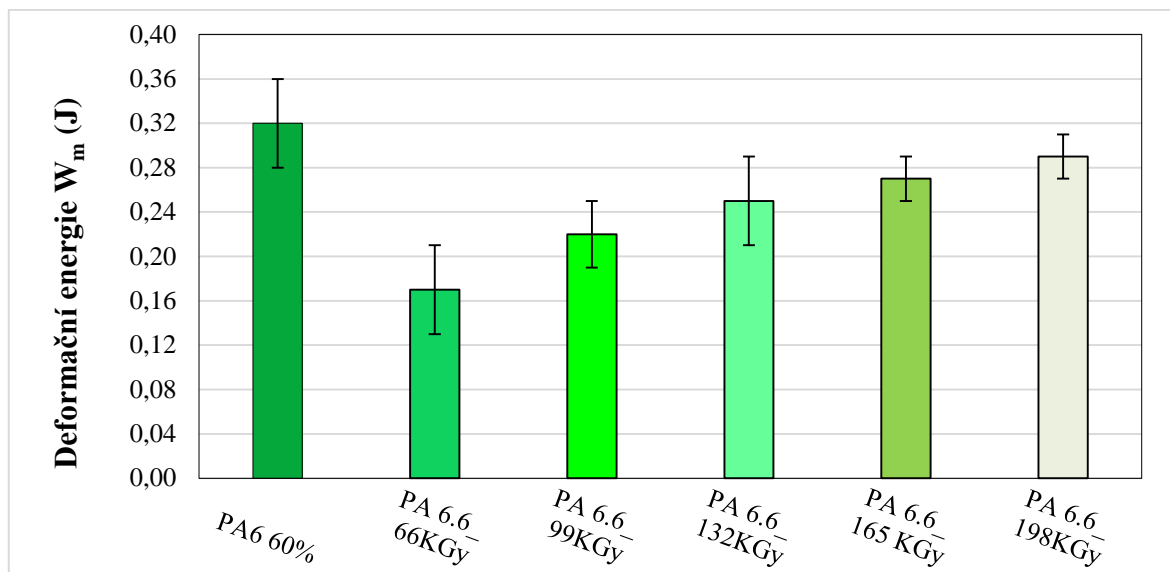


Obr. 31. Vyhodnocené hodnoty pro sílu Charpyho zkoušky

Tab. 12. Hodnoty deformační energie pro Charpyho zkoušku

Deformační energie W_m (J)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	0,32	0,17	0,22	0,25	0,27	0,29
σ	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02

Při rázové zkoušce v ohybu byla naměřena nejvyšší hodnota vrubové houževnatosti u materiálu PA6 60% - $(0,32 \pm 0,04)J$ (Obr. 32), zatímco nejmenší hodnota byla zjištěna u PA 66kGy $(0,17 \pm 0,04)J$. (Tab. 12)

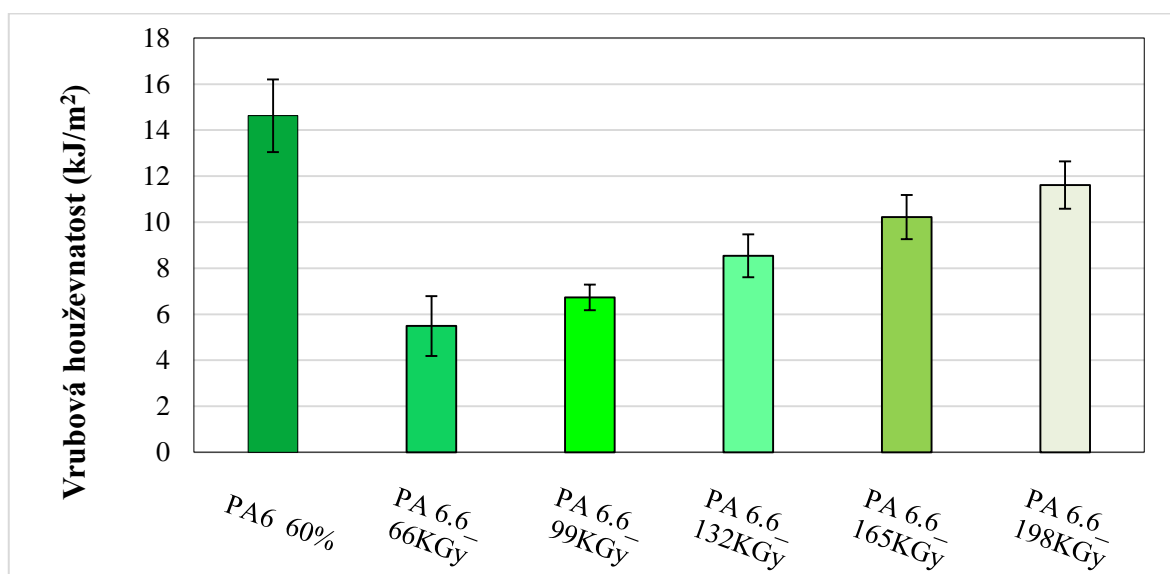


Obr. 32. Vyhodnocené hodnoty pro deformační energii Charpyho zkoušky

Tab. 13. Hodnoty vrubové houževnatosti pro Charpyho zkoušku

Vrubová houževnatost a_k (kJ/m ²)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	14,63	5,49	6,73	8,54	10,22	11,62
σ	1,58	1,30	0,56	0,93	0,96	1,03

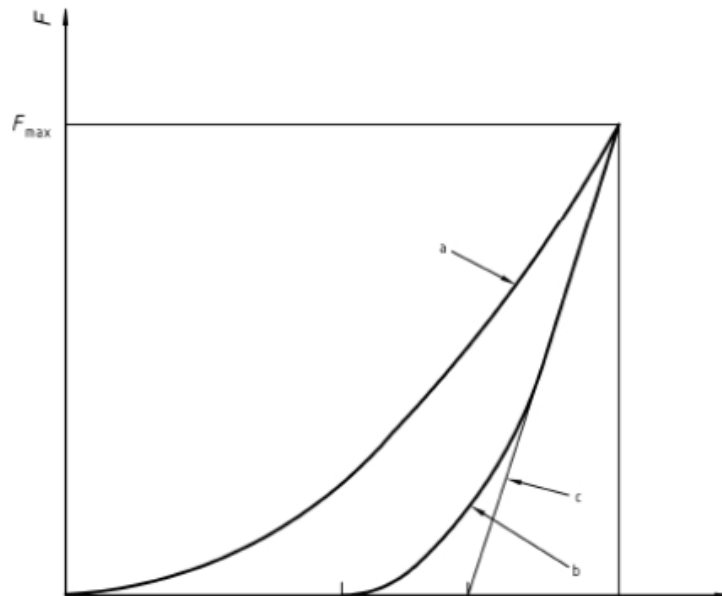
Z rázové zkoušky v ohybu vyplynulo, že vrubová houževnatost dosáhla nejvyšší hodnoty u materiálu PA6 60% - $(14,63 \pm 1,58) \text{ kJ/m}^2$ (Tab. 13). Naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu PA 66kGy – $(5,49 \pm 1,30) \text{ kJ/m}^2$. (Obr. 33).



Obr. 33. Vyhodnocení pro vrubovou houževnatost

7.3 Měření mikrotvrdomosti

Stanovení mikrotvrdomosti je umožněno neustálým monitorováním zatížení a hloubky vtisku. Vychází se z normy ČSN EN ISO 14577 – 1, která specifikuje rozsah zkoušky stanovení tvrdosti a dalších parametrů.



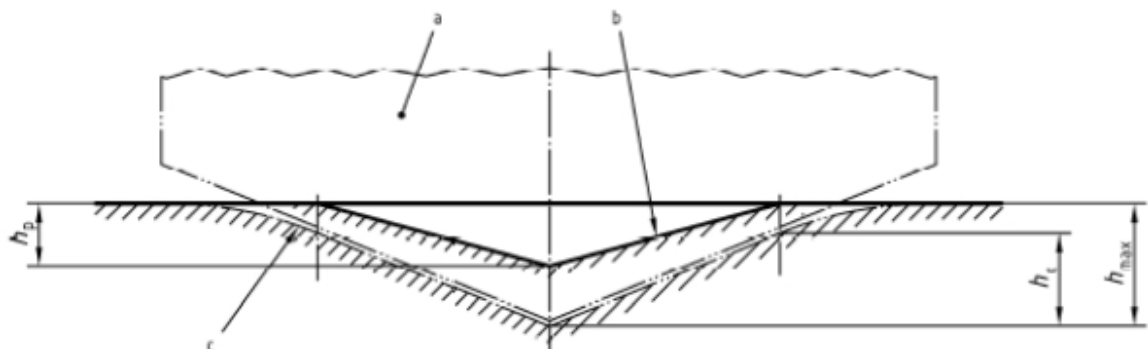
Obr. 34. Znárodnění zkušebního procesu [19]

Popis: a – Aplikuje se zkušební zatížení na těleso

b – Odlehčení

c – Tečna ke křivce odlehčení v F_{\max}

Zkušební stroj splňoval rozsah měření a vynaložení sil ke zkoušce dle normy ČSN EN ISO 14577 – 2. Na stroji pro měření mikrotvrdomosti bylo používáno dotyku ve tvaru čtyřbokého jehlanu z diamantu a vrcholovým úhlem 136° . Stroj byl ovládán automaticky přes PC.



Obr. 35. Řez vtisku dotyku [19]

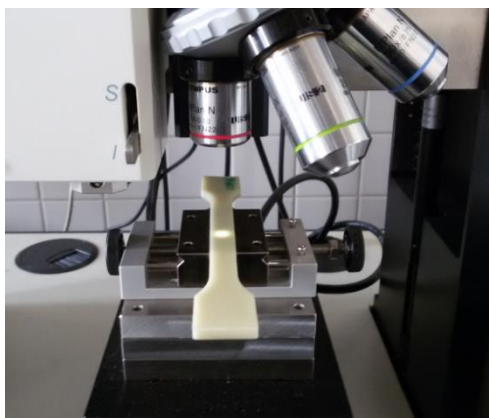
Popis: a – indentor

b – povrch zbytkového plastického vtisku ve zkušebním tělese

c – povrch testovaného tělesa při maximálním zatížení a hloubce vtisku

7.3.1 Pracovní postup - mikrotvrdosti

- Zkušební vzorek byl upnut v čelistech a zkontrolováno, že se vzorku nic nedotýká (zkreslení výsledků)
- Následně došlo ke kalibraci krajních poloh, pro zjištění rozsahu měření a najetí do referenční polohy
- Postupným přísuvem bylo najeto ke zkušebnímu vzorku, kde došlo k dotknutí s indentorem silou 0,025N, čímž se zvolil nulový bod
- Následně byl indentor posunut v libovolné ose o 100 μ m, aby nebylo provedeno měření ve stejném místě
- Bylo zvoleno zatížení 90s. pro polymer se současným vykreslením grafu



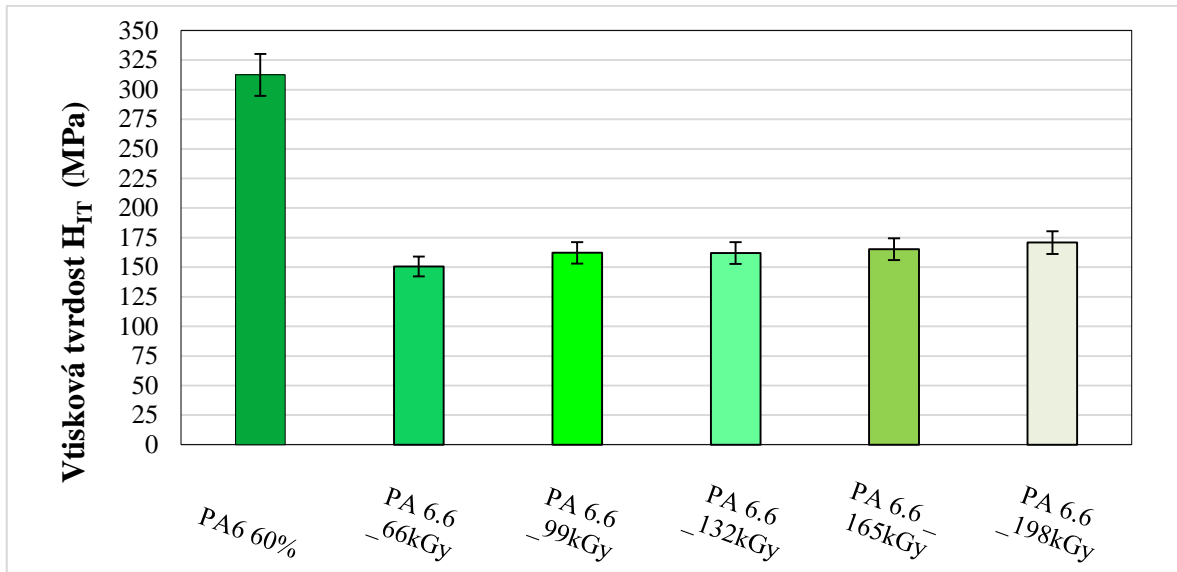
Obr. 36. Najíždění do referenční polohy

7.3.2 Měření mikrotvrdosti

Tab. 14. Hodnoty pro vtiskovou tvrdost H_{IT}

Vtisková tvrdost H_{IT} (MPa)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	313	151	162	162	165	171
σ	18	8	9	9	9	10

Pomocí zkoušky mikrotvrdosti bylo zjištěno nejvyšší hodnoty u PA6 60% - (313 \pm 18)MPa (Obr. 37). U ostatních materiálu bylo naměřeno téměř stejných hodnot. Nejnižších parametrů bylo naměřeno u PA 6.6 66kGy – (151 \pm 8)MPa. (Tab. 14)

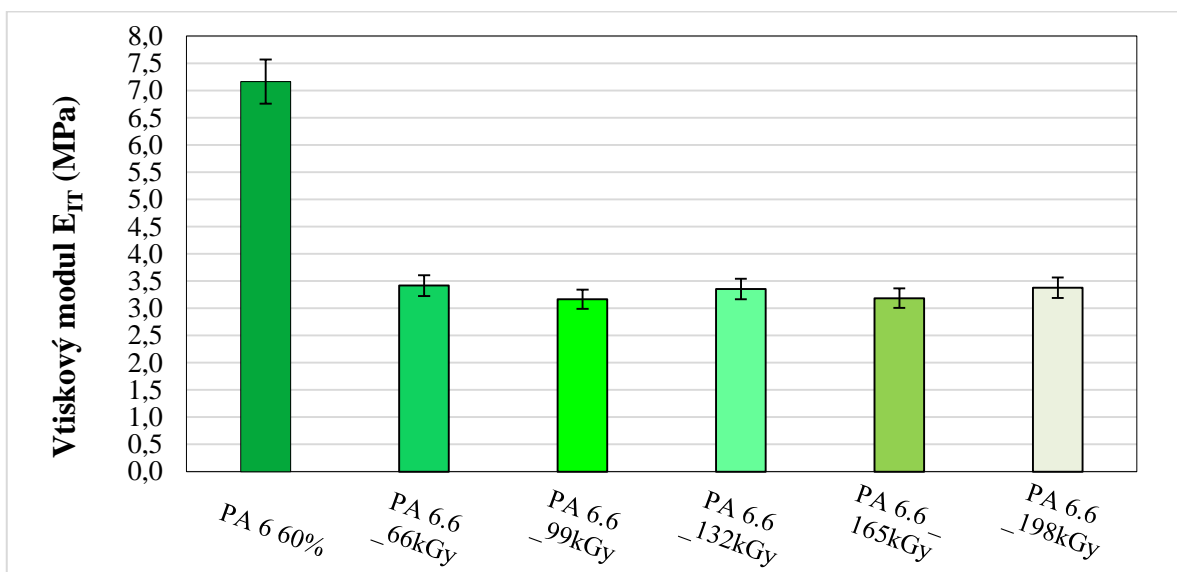


Obr. 37. Vyhodnocení vtiskové tvrdosti H_{IT}

Tab. 15. Hodnoty pro vtiskový modul E_{IT}

Vtiskový modul E_{IT} (Mpa)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	7,16	3,42	3,17	3,35	3,19	3,38
σ	0,41	0,19	0,18	0,19	0,18	0,19

Při zkoušce mikrotvrdomosti bylo dosaženo největšího vtiskového modulu E_{IT} u PA6 60% - (7,16±0,41)MPa (Obr. 38) a naopak nejnižší hodnoty u materiálu s ozářením PA 6.6 99kGy – (3,17±0,0,18)MPa. (Tab. 15)

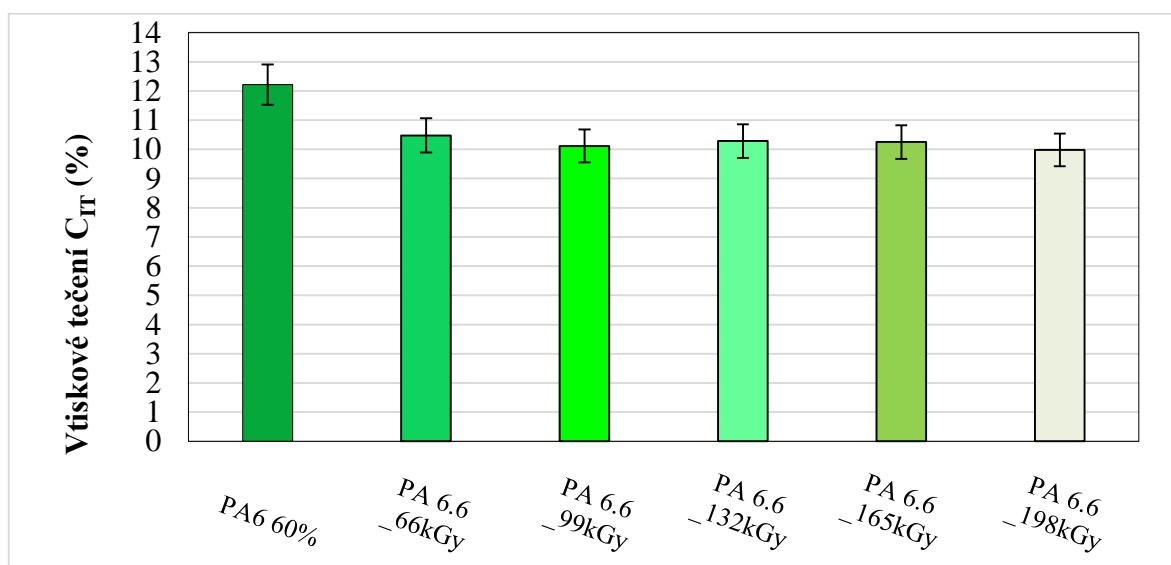


Obr. 38. Vyhodnocené hodnoty pro vtiskový modul E_{IT}

Tab. 16. Hodnoty pro vtiskové tečení C_{IT}

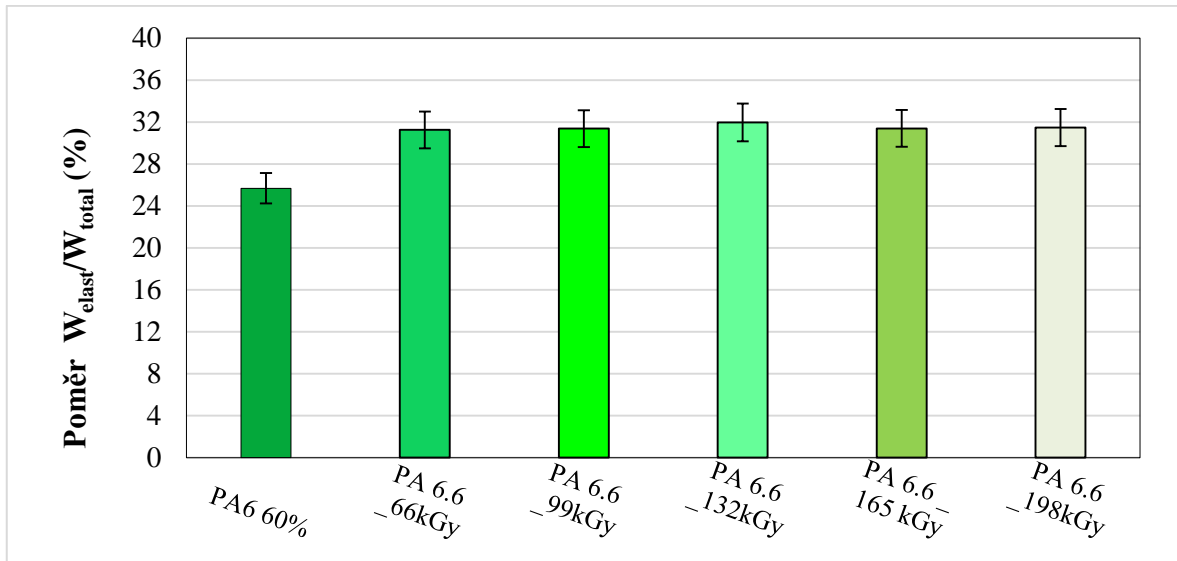
Vtiskové tečení C_{IT} (%)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	12,2	10,5	10,1	10,3	10,3	10,0
σ	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Hodnoty vtiskového tečení C_{IT} , které byly zjištěny zkouškou Mikrotvrdomosti dosáhly nejvíce v případě PA6 60% ($12,2 \pm 0,7$)% (Tab. 16) a naopak nejméně u PA 6.6 198kGy ($10,0 \pm 0,6$)%. (Obr. 39)

Obr. 39. Vyhodnocené hodnoty pro vtiskové tečení C_{IT} Tab. 17. Hodnoty pro vztah W_{elast}/W_{total}

Vztah W_{elast}/W_{total} (%)						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	25,7	31,3	31,4	32,0	31,4	31,5
σ	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8

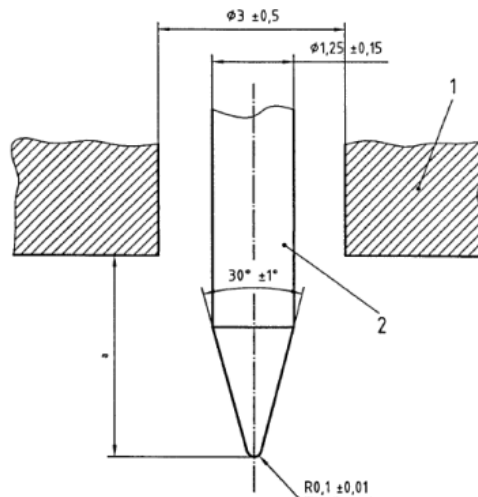
Z naměřených hodnot zkouškou mikrotvrdomosti je patrné, že největšího poměru W_{elast}/W_{total} , nebo-li η koeficientu zpětné deformace dosáhl PA 132kGy - ($32,0 \pm 1,8$)% (Obr. 40) a naopak nejmenšího u materiálu s ozářením PA 60% - ($25,7 \pm 1,5$). (Tab. 17).



Obr. 40. Vyhodnocené hodnoty pro vztah W_{elast}/W_{total}

7.4 Shoreho zkouška

Shore D byla vykonána na tvrdoměru OMAG Affri ART 13, který byl propojen s digitálním vyhodnocovacím zařízením Systém Affri hardness tester. Zkouška byla prováděna v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství.



Obr. 41. Zkušební hrot Shore D[20]

Popis: a – opěrná patka

b – zkušební hrot

^a - maximální vysunutí zkušební hrotu, které je $2,5 \pm 0,04$ mm

Průběh zkoušky nebyl plně automatický, jako u mikrotvrdomosti. Přísuv byl ovládán ručně, pomocí mechanické páky. Při měření bylo dbáno, aby v krajní poloze nedošlo k velkému rázu na doraz pohybu, což by mohlo narušit měření.



Obr. 42. Stroj na měření Shore D

7.4.1 Pracovní postup – Shore D

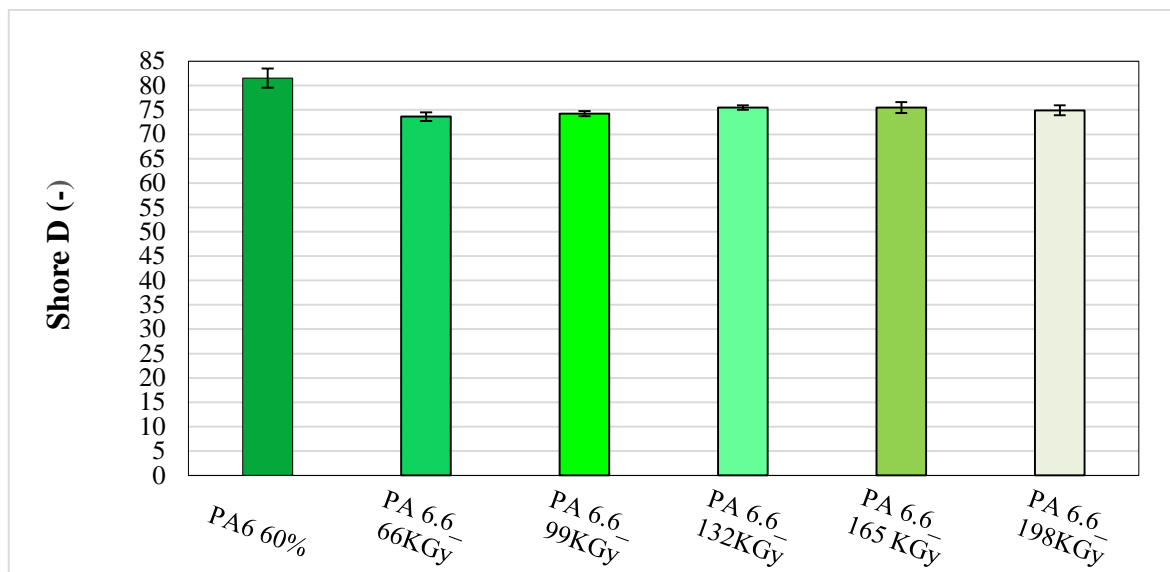
- Zkušební těleso bylo položeno na podložku, tak aby doléhalo po celé ploše
- Pomocí ruční páky došlo k dotyku hrotu a zkušebního tělesa
- Po zaznění zvukového signálu byla vyobrazena hodnota Shore D na záznamovém ústrojí
- Došlo k uvolnění páky a tím odjezdu dotyku

7.4.2 Měření Shore D

Tab. 18. Hodnoty pro Shore D

Shore D						
	PA6 60%	PA 66kGy	PA 99kGy	PA 132kGy	PA 165kGy	PA 198kGy
\bar{x}	81,5	73,6	74,2	75,5	75,5	74,9
σ	2,0	0,9	0,5	0,5	1,1	1,0

Při Shoreho zkoušce se zjistilo, že nejvyšší tvrdosti (Tab. 18) bylo dosaženo u neozářeného vzorku PA6 60% - $(81,5 \pm 2,0)$ a naopak nejnižší bylo naměřeno u materiálu s ozářením 66kGy – $(74 \pm 0,86)$. (Obr. 43)

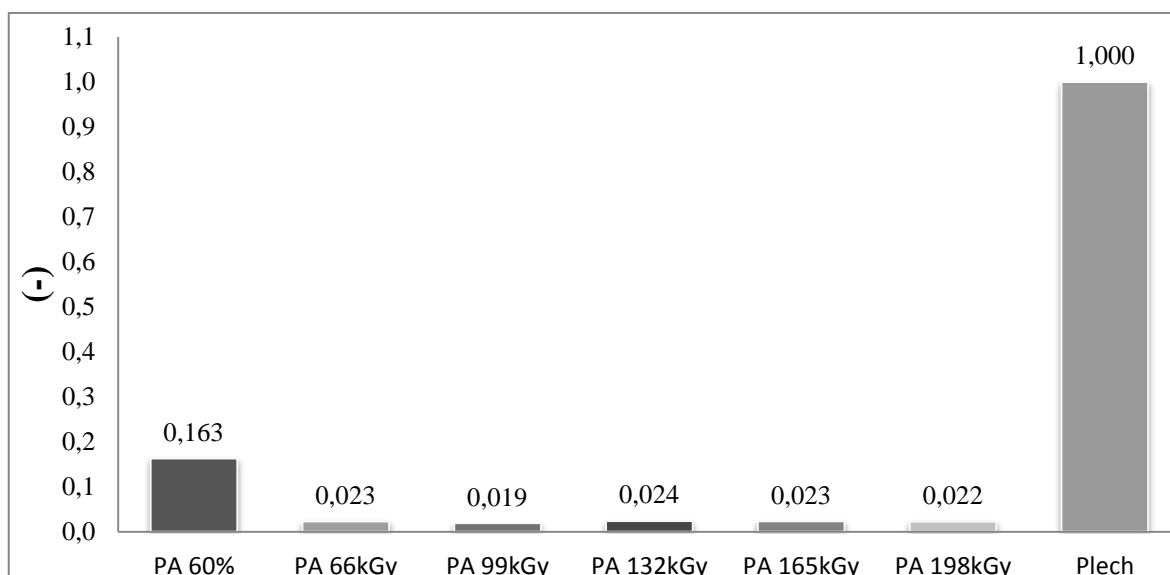


Obr. 43. Vyhodnocení pro Shore D

8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Praktická část bakalářské práce řeší problém testování mechanických vlastností vybraných typů polymerních materiálů pro GPS systém. Vybrané typy polymerních materiálů (PA6 60% a ozářený PA6.6 dávkami – 66,99,132,165,198kGy) byly porovnány s ocelí 11373, která byla v původním materiálovém řešení GPS lokátoru. Vybrané polymery byly testovány na Mikrotvrdost, tahovou zkoušku, shore D a rázovou zkoušku v ohybu.

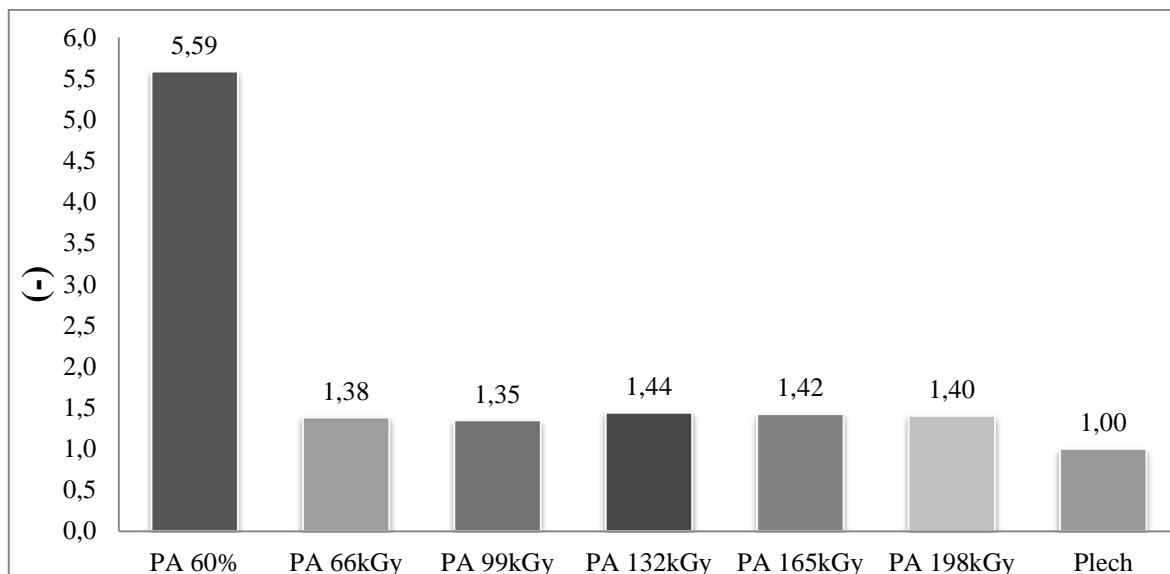
Pro snadnější orientaci a rychlé porovnání naměřených hodnot byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty vyjádřené jako poměr jednotlivých měření k hodnotám dosažených u původního materiálu (plech z oceli 11373).



Obr. 44. Porovnání hodnot modulu pružnosti E

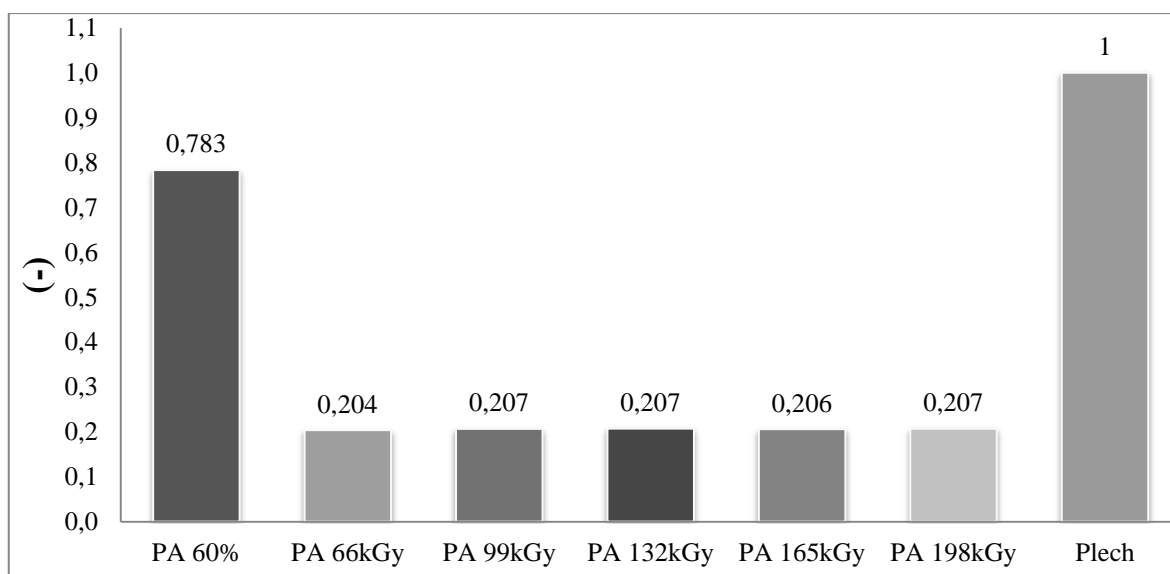
Porovnání tuhosti jednotlivých testovaných materiálů ukázala, že nejvyšší hodnoty tuhosti (modulu pružnosti v tahu E) byly zjištěny u ocelového plechu 11373. Alternativní typy polymerů vykazovaly v porovnání s ocelovým plechem velmi nízké hodnoty tuhosti.

Hodnoty tuhosti zjištěné u vybraných polymerních materiálů jsou dostatečné pro použití při materiálovém návrhu GPS lokátoru. Hodnoty tuhosti testovaných polymerních materiálů vykazovaly tuhost 2% tuhosti sledovaného ocelového plechu. Pouze PA6 60% vykazoval 16% tuhosti v porovnání s plechem. (Obr. 44)



Obr. 45. Porovnání hodnot maximální síly F_{max}

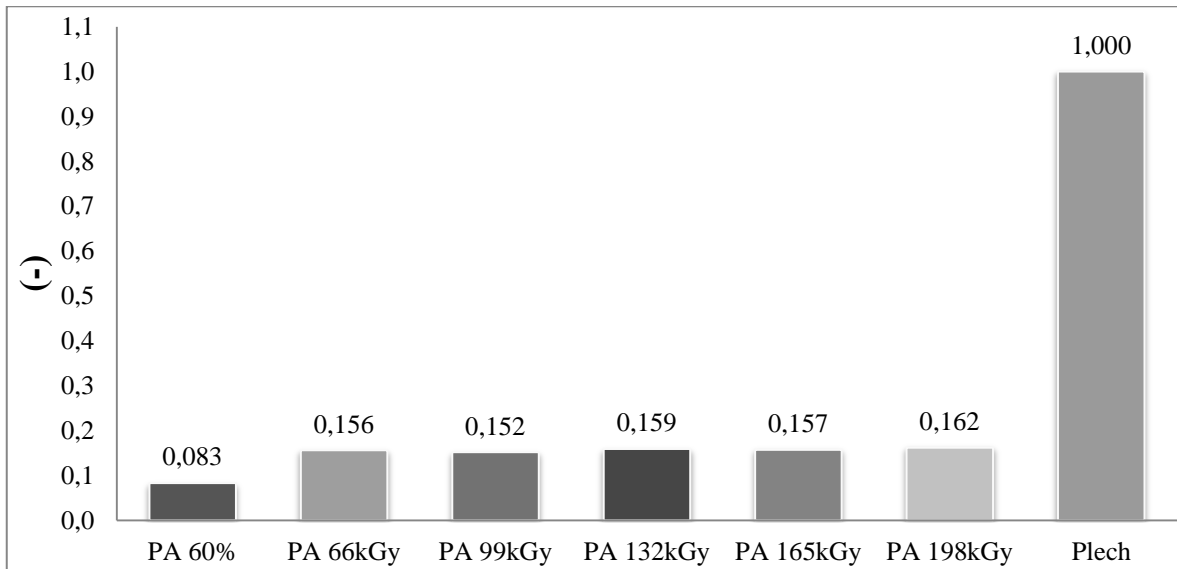
Při pohledu na výsledky maximální síly naměřené při zkoušce tahem vyplývá, že nejvyšší hodnoty maximální síly dosáhl PA6 plněný 60% skelných vláken, u všech vybraných typů polymerních materiálů bylo dosaženo mnohem větších hodnot max. síly než u plechu z oceli 11373. Většina testovaných polymerních materiálů dosáhla v průměru o 40% větších hodnot maximální síly, než dosáhl ocelový plech. U materiálu PA6 60%GF byla dokonce dosažena 5x větší maximální síla než u ocelového plechu. Jak je patrné z (Obr. 45)



Obr. 46. Porovnání hodnot maximálního napětí R_m

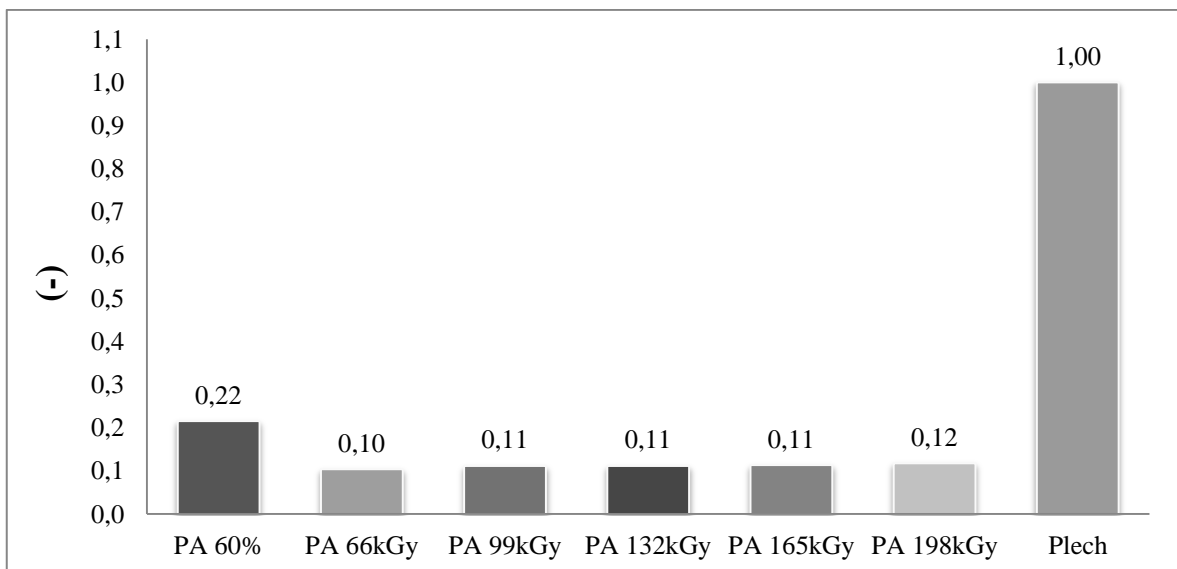
Z výsledků hodnot tahové zkoušky je patrné, že hodnoty maximálního napětí byly naměřeny nejvyšší u ocelového plechu (11373), polymerní materiál PA6 60% dosáhl 78% pevnos-

ti ocelového plechu. Ostatní testované materiály okolo 20% pevnosti testovaného ocelového plechu. (Obr. 46)



Obr. 47. Porovnání hodnot tažnosti dL

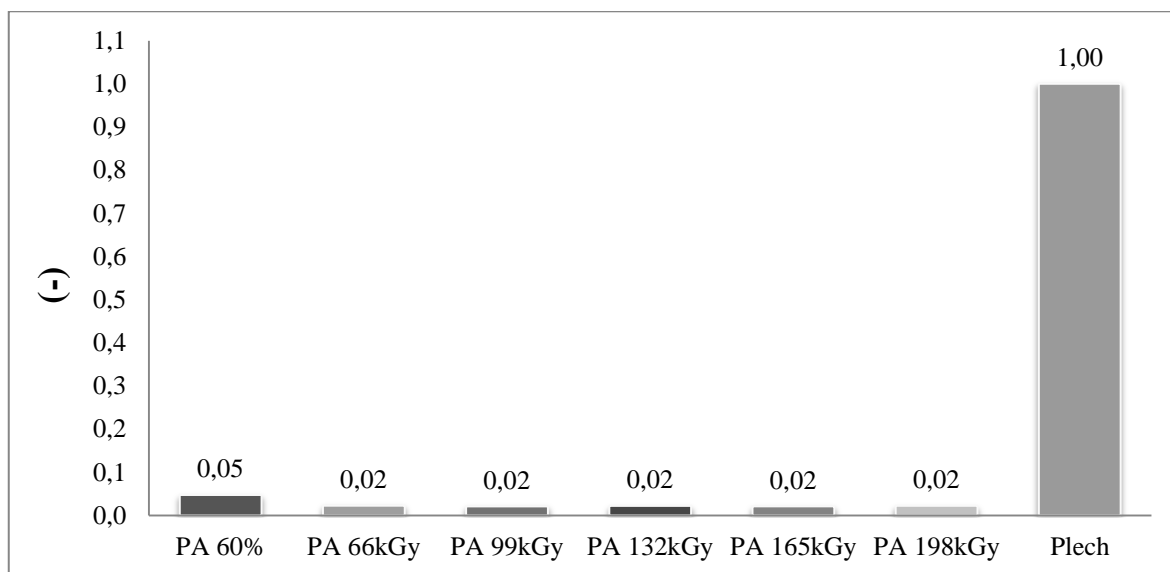
Výsledky tažnosti ukázaly, že maximální hodnoty tažnosti dosáhl ocelový plech 11373. Testované polymerní materiály dosahovaly v průměru 15% tažnosti ocelového plechu. U PA6 60% GF byla dosažena tažnost 8% v porovnání s plechem oceli 11373. Pokles tažnosti byl způsoben plněním polymerních materiálů skelnými vlákny. (Obr. 47)



Obr. 48. Porovnání hodnot vtiskové tvrdosti H_{IT}

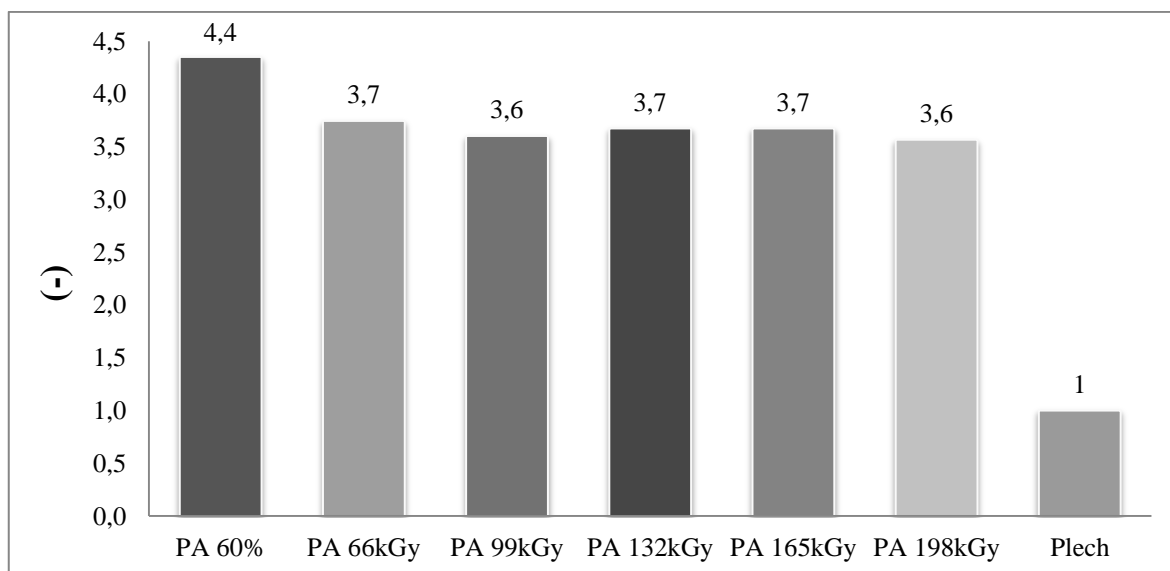
Z měření mikrotvrdomosti vyplynulo, že všechny vybrané testované polymerní materiály dosáhly nižších hodnot vtiskové tvrdosti H_{IT} než základní materiál z oceli třídy 11373. Nej-

menší pokles vtiskové tvrdosti H_{IT} byl zaznamenán u PA6 60% a to v průměru o 78% méně, naopak největší pokles zaznamenal PA 66kGy o 90% jak je patrné z (Obr. 48).



Obr. 49. Porovnání hodnot vtiskového modulu E_{IT}

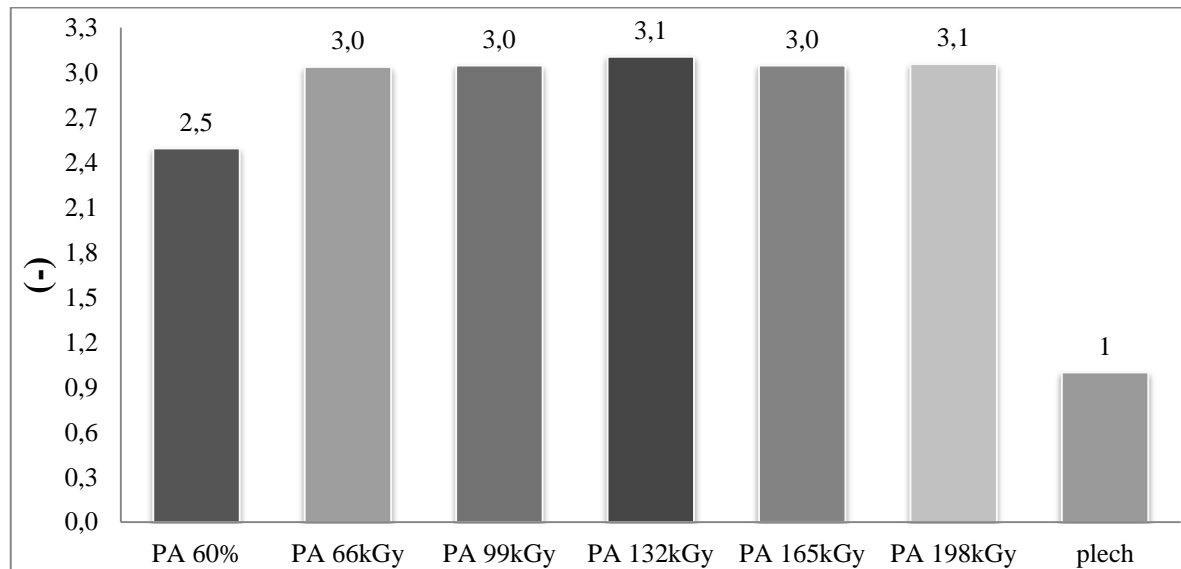
Z výsledků hodnot mikrotvrdosti je zřetelné, že nejkvalitnějších hodnot vtiskového modulu E_{IT} dosáhl plech z oceli 11373. Alternativní typy polymerů vykazovaly v porovnání s ocelovým plechem velmi nízké hodnoty. Ze zkoušených polymerních vzorků dosahoval pouze PA6 60%, 5% vtiskového modulu u ostatních materiálů pouze 2% (Obr. 49).



Obr. 50. Porovnání hodnot vtiskového tečení C_{IT}

Při pohledu na výsledky vtiskového tečení C_{IT} naměřené při zkoušce mikrotvrdosti vyplývá, že nejvyšší hodnoty dosáhl PA6 plněný 60% skelných vláken, u všech vybraných typů polymerních materiálů bylo dosaženo větších hodnot než u plechu z oceli 11373. Většina

testovaných polymerních materiálů dosáhla 4x větších hodnot než dosáhl ocelový plech. Jak je patrné z (Obr. 50)



Obr. 51. Porovnání hodnot η koeficientu zpětné deformace

Výsledky koeficientu zpětné deformace ukázaly, že testované polymerní materiály dosáhly kvalitnějších hodnot jak plech z oceli 11373 v průměru 3x více. U PA6 60% GF byly hodnoty v porovnání s plechem oceli 11373 cca. 2,5x větší. (Obr. 51)

ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší problém materiálového návrhu funkční části GPS systému pro závodní automobily v rally. Jako základní materiál byl používán ocel 11 373, ze které je původní GPS systém. Byly vybrány alternativní typy polymerních materiálů PA6 60%, PA6.6 66kGy, PA6.6 99kGy, PA6.6 132kGy, PA6.6 165kGy, PA6.6 198kGy které byly následně srovnávány z hlediska mechanických vlastností se základním materiálem. Byl proveden souhrn testů popis mechanického chování, jako tahová zkouška, rázová zkouška v ohybu, Shore D a zkouška mikrotvrdomosti. Výsledky měření byly následně graficky zpracovány a vyhodnoceny.

Z výsledků měření vyplynulo, že u tahové zkoušky vykázal nejlepší vlastnosti PA6 60% plněný skelným vláknem. PA 6 60% GF dosáhl nejvyšších hodnot tuhosti, pevnosti v tahu, maximální síly. Naopak vlivem vysokého plnění skelnými vlákny došlo k poklesu tažnosti.

U zkoušky rázem v ohybu dosáhl opětovně nejlepších výsledků PA6 60% GF. Zmíněný polymerní materiál dosáhl nejvyšších hodnot u vrubové houževnatosti, práce spotřebované na přeražení zkušebního tělesa a u maximální síly.

Při zkoušce mikrotvrdomosti bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot dosáhl materiál PA6 60%GF u vtiskové tvrdosti, mikrotvrdomosti reprezentované vtiskovým modulem pružnosti a vtiskového tečení (krip).

Při vyhodnocení tvrdosti Shore D dosáhl nejlepších výsledků a tím nejvyšších hodnot tvrdosti materiál PA6 60% GF.

Tento materiál byl vybrán jako alternativní pro výrobu GPS systému.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ročenka 2015: *Federace automobilového sportu AČR*. Praha, 2015.
- [2] Standardní propozice *Rally 2015*, *Federace automobilového sportu AČR*. Praha, 2015.
- [3] BEZPEČNOSTNÍ VÝBAVA (SKUPINA N, A, R-GT). *Autoklub.cz* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://autoklub.cz/dokument/9668-cl-253-bezpecnostni-vybava-skupina-n-a-.html>
- [4] Monitorování závodů rally. *Nam.cz* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.nam.cz/category/zakaznici/zavody-rally/>
- [5] *Historie plastů* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://lisovna-plastu.blogspot.cz/2011/01/historie-plastu.html>
- [6] *Polymery* [online]. Liberec, 30.9.2014, 2014 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/01.html>
- [7] ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. SNTL. Spálená 51, 113 02 Praha 1: Nakladatelství technické literatury, 1989.
- [8] JARUŠEK, Jaroslav. *Metody zkoumání polymerů*. Vysoká škola chemicko-technologická v Pardubicích. Pardubice, 1984. ISBN 80-85113-01-5.
- [9] *Plasty a jejich spracovatelské vlastnosti* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [10] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: Výroba, Vlastnosti, Zpracování, Použití*. Vydavatelství VŠCHT Praha. Technická 5, 166 28 Praha 6, 2005. ISBN 80-7080-241-3.
- [11] F. Rybníkář a kolektiv. *Analýza a zkoušení plastických hmot*. SNTL Praha 1989
- [12] *ConVERTER* [online]. In: BUREŠ, Jiří. [cit. 2016-05-16]. ISSN ISSN 1214-7591. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/tvrdost.htm>
- [13] *Katalog produktů: Polyamidy* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: [http://www.hansanet.cz/oddeleni/20/Polyamidy-\(PA6-Alkamid\)---silony-tyce.aspx](http://www.hansanet.cz/oddeleni/20/Polyamidy-(PA6-Alkamid)---silony-tyce.aspx)
- [14] *Mikrotvrdost* [online]. 2009 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <https://material.karlov.mff.cuni.cz/cs/pristroje/mikrotvrdost>
- [15] BEISER, A.: *Úvod do moderní fyziky*, Praha: Academia, 1975
- [16] MAYER-KUCKUK, T.: *Fyzika atomového jádra*, Praha: STNL, 1979

- [17] BGS [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://en.bgs.eu/how-it-works/gamma-beta-ray/>
- [18] *Učíme v prostoru* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=43
- [19] *Měření tvrdosti* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1569>
- [20] ČSN EN ISO 868 Plasty a ebonit – Stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore) Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [21] ŠVEC, Jiří. *Radioaktivita a ionizující záření* [online]. 1. Vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2005 [cit. 2011-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://fbi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fbi/050/cs/sys/resource/PDF/studijni-materialy/zareni.pdf>> ISBN 80-86634-62-0.
- [22] SCHMATZ, M. – Vondráček, P.: *Zkoušení polymerů*, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1979, skripta
- [23] Beta particle. In *Wikipedia : thr free encyclopedia [online]*. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 3 August [cit. 2016-05-05]. Dostupné z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Beta_particle.
- [24] ARBURG [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_470C_GOLDEN_EDITION_TD_523679_en_GB.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ε_1	Poměrné prodloužení
ε_p	Protažení (%)
ε_t	Tažnost (%)
$\bar{\sigma}$	Střední kvadratická chyba aritmetického průměru
σ	Napětí v tahu (MPa)
σ_E	Mez pružnosti (MPa)
σ_K	Mez kluzu (MPa)
σ_P	Mez pevnosti (MPa)
σ_U	Mez úměrnosti (MPa)
A	Povrch vtisku vytlačeného vrchlíku (mm ²)
ASN	Národní sportovní autorita
b	Šířka vzorku (mm)
d ₁ , d ₂	Úhlopříčky vtisku (mm)
E	Modul pružnosti v tahu (MPa)
F _{max}	Maximální zatěžující síla (N)
F _E	Síla na mezi pružnosti (N)
F _K	Síla na mezi kluzu (N)
F _U	Síla na mezi úměrnosti (N)
h	Výška vzorku (mm)
HB	Tvrдость podle Brinella
HD	Vysoko hustotní
HV	Tvrдость podle Vickerse
l ₀	Délka tělesa (mm)

l	Délka tělesa po protažení (mm)
LD	Nízko hustotní
M_m	Molární hmotnost (g/mol)
m	Hmotnost látky (g)
n	Látkové množství (mol)
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
RZ	Rychlostní zkouška
S_0	Původní plocha (mm ²)
T_f	Teplota viskózního toku (°C)
T_m	Teplota tání (°C)
x_i	Hodnota měření
\bar{x}	Aritmetický průměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Montáž GPS jednotky s držákem</i>	13
<i>Obr. 2. Hlavní a přední oblouk [3]</i>	15
<i>Obr. 3. Boční oblouk [3]</i>	16
<i>Obr. 4. Boční půloblouk [3]</i>	16
<i>Obr. 5. Rohová výztuha rámu [3]</i>	17
<i>Obr. 6. Schéma makromolekuly [6]</i>	18
<i>Obr. 7. Přírodní kaučuk [6]</i>	19
<i>Obr. 8. Silonové tyče – PA6 [13]</i>	20
<i>Obr. 9. Rozdělení polymerů [6]</i>	20
<i>Obr. 10. Změna vlastností v závislosti na ozáření [17]</i>	28
<i>Obr. 11. Tělísko po tahové zkoušce</i>	29
<i>Obr. 12. Pracovní diagram tahové křivky [22]</i>	30
<i>Obr. 13. Rozložení tlaku v průběhu zkoušky [8]</i>	32
<i>Obr. 14. Průběh zkoušky v tlaku [8]</i>	32
<i>Obr. 15. Ohybová zkouška [11]</i>	33
<i>Obr. 16. Průběh zkoušky dle Brinella [12]</i>	34
<i>Obr. 17. Zkouška tvrdosti podle Vickerse [12]</i>	35
<i>Obr. 18. Zkouška podle Rockwella [12]</i>	35
<i>Obr. 19. Zkouška mikrotvrdosti</i>	36
<i>Obr. 20. Vstříkovací stroj Arburg 470H ALLROUNDER</i>	40
<i>Obr. 21. Prostřívání při β záření [23]</i>	40
<i>Obr. 22. Vrubovací přístroj CEAST</i>	41
<i>Obr. 23. Vrub 2mm ve zkušebním vzorku</i>	41
<i>Obr. 24. Trhací přístroj Zwick 1456</i>	43
<i>Obr. 25. Pedálové ovládání čelistí trhacího stroje</i>	44
<i>Obr. 26. Vyhodnocené hodnoty pro modul pružnosti E</i>	44
<i>Obr. 27. Vyhodnocené hodnoty pro maximální sílu F</i>	45
<i>Obr. 28. Vyhodnocené hodnoty pro maximální napětí R_m</i>	46
<i>Obr. 29. Vyhodnocené hodnoty pro tažnost dL</i>	46
<i>Obr. 30. Charpyho kladivo 50J</i>	47
<i>Obr. 31. Vyhodnocené hodnoty pro sílu Charpyho zkoušky</i>	48
<i>Obr. 32. Vyhodnocené hodnoty pro deformační energii Charpyho zkoušky</i>	49

<i>Obr. 33. Vyhodnocení pro vrubovou houževnatost</i>	49
<i>Obr. 34. Znáznornění zkušebního procesu [19]</i>	50
<i>Obr. 35. Řez vtisku dotyku [19]</i>	50
<i>Obr. 36. Najíždění do referenční polohy</i>	51
<i>Obr. 37. Vyhodnocení vtiskové tvrdosti H_{IT}</i>	52
<i>Obr. 38. Vyhodnocené hodnoty pro vtiskový modul E_{IT}</i>	52
<i>Obr. 39. Vyhodnocené hodnoty pro vtiskové tečení C_{IT}</i>	53
<i>Obr. 40. Vyhodnocené hodnoty pro vztah W_{elast} / W_{total}</i>	54
<i>Obr. 41. Zkušební hrot Shore D[20]</i>	54
<i>Obr. 42. Stroj na měření Shore D</i>	55
<i>Obr. 43. Vyhodnocení pro Shore D</i>	56
<i>Obr. 44. Porovnání hodnot modulu pružnosti E</i>	57
<i>Obr. 45. Porovnání hodnot maximální síly F_{max}</i>	58
<i>Obr. 46. Porovnání hodnot maximálního napětí R_m</i>	58
<i>Obr. 47. Porovnání hodnot tažnosti dL</i>	59
<i>Obr. 48. Porovnání hodnot vtiskové tvrdosti H_{IT}</i>	59
<i>Obr. 49. Porovnání hodnot vtiskového modulu E_{IT}</i>	60
<i>Obr. 50. Porovnání hodnot vtiskového tečení C_{IT}</i>	60
<i>Obr. 51. Porovnání hodnot η koeficientu zpětné deformace</i>	61

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Vlastnosti polyethylenu (PE) [6]</i>	21
<i>Tab. 2. Vlastnosti polypropylenu (PP) [6]</i>	22
<i>Tab. 3. Vlastnosti polyvinylchloridu (PVC) [6]</i>	23
<i>Tab. 4. Vlastnosti polyamidu (PA-6) [6]</i>	24
<i>Tab. 5. Vlastnosti polyethylentereftalátu (PET) [6]</i>	25
<i>Tab. 6. Vlnová délka a frekvence elektromagnetického záření</i>	27
<i>Tab. 7. Hodnoty pro modul pružnosti E</i>	44
<i>Tab. 8. Hodnoty pro maximální sílu F</i>	45
<i>Tab. 9. Hodnoty pro maximální napětí R_m</i>	45
<i>Tab. 10. Hodnoty tažnosti dL</i>	46
<i>Tab. 11. Hodnoty maximální síly pro Charpyho zkoušku</i>	47
<i>Tab. 12. Hodnoty deformační energie pro Charpyho zkoušku</i>	48
<i>Tab. 13. Hodnoty vrubové houževnatosti pro Charpyho zkoušku</i>	49
<i>Tab. 14. Hodnoty pro vtiskovou tvrdost H_{IT}</i>	51
<i>Tab. 15. Hodnoty pro vtiskový modul E_{IT}</i>	52
<i>Tab. 16. Hodnoty pro vtiskové tečení C_{IT}</i>	53
<i>Tab. 17. Hodnoty pro vztah W_{elast}/W_{total}</i>	53
<i>Tab. 18. Hodnoty pro Shore D</i>	55

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD ROM