

Odolnost kompozitů proti průstřelu

Bc. Jiří Němeček

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří NĚMEČEK**
Osobní číslo: **T13379**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Inženýrství polymerů**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Odolnost kompozitů proti průstřelu**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární rešerši týkající se uvedeného tématu
- 2) Na základě literární rešerše navrhnete vhodnou skladbu výztuže
- 3) Připravte zkušební vzorky laminátů, které budou podrobeny balistické zkoušce
- 4) Vyhodnoťte a diskutujte dosažené výsledky

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1) Jančář, J.: Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. VUT Brno, 2003, ISBN 80-214-2443-5.

2) Ehrenstein, G. W., Polymerní kompozitní materiály. Scientia 2009, ISBN 978-80-86960-29-6.

3) Odborné články a publikace dostupné v databázích knihovny UTB

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Simona Mrkvičková, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce:

16. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2015

Ve Zlíně dne 2. března 2015

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: NĚMEČEK Jiří

Obor: INŽENÝRSTVÍ POLYMERŮ

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 M.Č. 2015

.....
Němeček Jiří

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 nahlázení 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 výtisky, 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, užíje-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 díla:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá rešerší polymerních kompozitů, balistiky, základního rozdělení střeliva a norem, které se zabývají odolností proti průstřelu. Další částí této práce příprava vzorků z dané rešerše, vyhodnocení prostřelených desek, použitých ráží a výsledky dalších měřících metod, kterými jsme zjišťovaly další vlastnosti připravených vzorků. Jak již víme, kompozit je materiál, jehož vlastnosti jsou podstatně lepší než samotná matrice či výztuž. Díky těmto vylepšeným vlastnostem mají kompozity širokou škálu uplatnění. Ovšem nejrozšířenější aplikací kompozitů je v leteckém průmyslu, kosmonautice a ve vojenském. V menším procentu se používají na výrobu protipovodňových hrází, jako výztuž do fasád budov, oken a dveří. Proto, aby mohl být tento materiál použit na tyto účely, je zapotřebí jejich odolnost proti průstřelu běžných krátkých palných zbraní.

Klíčová slova: kompozity, balistika, střelivo, ráže, normy, měřící metody

ABSTRACT

This Master thesis deals with summary polymer composites, ballistics, ammunition and distribution of basic standards, which describe and fall into several categories resistance to penetration. Another part of this work is the preparation of samples from the research, evaluation of composite boards, used caliber and the results of other measuring methods, which we further investigated the properties of the prepared samples. As we already know, composite is a material whose properties are substantially better than the matrix itself or reinforcement. With these improved properties are composites wide range of applications. However, the most common applications of composites in the aircraft industry, aerospace and military. In a smaller percentage used in the manufacture of dikes, as reinforcement in building facades, windows and doors. Therefore, it can be the material used for these purposes, it is necessary their resistance to penetration conventional handguns.

Keywords: composites, ballistics, ammunition, calibers, norms, measurement methods

Tímto bych chtěl velmi poděkovat paní doktorce Simoně Mrkvičkové za cenné rady, nápady a zkušenosti při tvorbě této diplomové práce. Nesmím opomenout i mou rodinu a přítelkyni, kterým vděčím za trpělivost a ochotu.

"Odborníka pokaždé dopálí, když laika napadne něco, co by odborníka jaktěživ nenapadlo."

John Ernst Steinbeck

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem citoval(a). V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden(a) jako spoluautor(ka).

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	12
1.1 MATRICE	12
1.2 VÝZTUŽ.....	14
1.3 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	15
1.4 VÝROBA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	18
2 BALISTIKA	20
2.1 HISTORIE BALISTIKY	20
2.2 ROZDĚLENÍ BALISTIKY	21
2.2.1 Vnitřní balistika.....	21
2.2.2 Přechodová balistika	21
2.2.3 Vnější balistika.....	22
2.2.3.1 Balistika teoretická.....	23
2.2.3.2 Experimentální balistika	23
2.2.4 Terminální (koncová) balistika	23
2.2.4.1 Základní pojmy koncové balistiky	23
3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ZBRANÍ A STŘELIVA	26
3.1 OBECNÉ ROZDĚLENÍ	26
3.2 PALNÉ ZBRANĚ A JEJICH ROZDĚLENÍ PODLE DRUHU A POUŽITÍ.....	27
3.2.1 Revolvery a pistole.....	28
3.2.2 Samopaly	29
3.2.3 Pušky	29
3.2.4 Kulometry.....	29
3.2.5 Brokovnice	29
3.3 STŘELIVO	30
3.3.1 Tvar a konstrukce střel	32
4 NORMY	35
5 VLÁKNA ODOLNÉ PROTI PRŮSTŘELU	38
5.1 SKELNÁ VLÁKNA	38
5.2 ARAMIDOVÁ VLÁKNA.....	38
5.3 UHLÍKOVÁ VLÁKNA.....	38
5.4 POLYETHYLENOVÁ VLÁKNA	39
5.5 POLYPROPYLENOVÁ VLÁKNA	39
5.6 CELULÓZOVÁ VLÁKNA	39
6 CÍLE PRÁCE	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41

7	PŘÍPRAVA VZORKŮ	42
7.1	MATRICE.....	42
7.2	VÝZTUŽ.....	42
7.3	ZPŮSOB PŘÍPRAVY VZORKŮ.....	44
7.3.1	Vzorek 1.....	45
7.3.2	Vzorek 2.....	46
7.3.3	Vzorek 3.....	46
7.3.4	Vzorek 4.....	47
7.3.5	Vzorek 5.....	48
7.3.6	Vzorek 6.....	49
7.3.7	Vzorek 7.....	50
7.3.8	Vzorek 8.....	51
7.3.9	Vzorek 9.....	52
7.3.10	Vzorek 10.....	52
8	POUŽITÉ RÁŽE	54
9	VYHODNOCENÍ ODOLNOSTI PŘIPRAVENÝCH VZORKŮ PROTI PRŮSTŘELU	61
10	VÝSLEDKY	64
10.1	DSC.....	64
10.2	DMA.....	65
10.3	OPTICKÝ MIKROSKOP.....	66
10.4	RENTGENOVÝ PŘÍSTROJ.....	67
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK	82
	SEZNAM GRAFŮ	83

ÚVOD

V dnešní době se výroba a spotřeba polymerních materiálů neustále zvyšuje, ať už se jedná o polymery termoplastické, reaktoplastické nebo elastomerní. Nejčastější použití termoplastických polymerů se nachází v oblasti výroby různých profilů, trubek, desek, hadic, atd. Co se týče elastomerů, tak zde je nejčastější využití v gumárenském průmyslu na výrobu pneumatik a dále také na výrobu vysokotlakých hadic a lisovacích membrán. Reaktoplastické polymerní materiály nachází největší uplatnění jako kompozity v leteckém průmyslu na výrobu křidel a dalších částí letadel či vrtulníků.

Jako kompozitní materiál označujeme materiál, který je složen ze dvou nebo více složek, jejichž vlastnosti se podstatně liší. Tyto materiály se skládají z výztuže a matrice. Výztuž tvoří diskontinuální složku materiálu, kdežto matrice má funkci spojovací. Jakmile dojde ke spojení těchto dvou odlišných složek, vznikne zcela nový a unikátní výrobek s výrazně lepšími vlastnostmi než má samotná matrice či výztuž.

Jednou z důležitých aplikací polymerních kompozitních materiálů může být i ve vojenském průmyslu. Z těchto materiálů se vyrábí neprůstřelné vesty, přilby a různé neprůstřelné oblečení pro vojáky. Pro tyto aplikace se používají vysoce odolné tkaniny jakožto výztuž, například z kevlaru či jiných vysocepevnostních vláken. Dalším využitím je na výrobu neprůstřelných polymerních kompozitových pancířů, které se aplikují na tanky a jiná bojová zařízení.

Možností, jak použít kompozity, je i na výrobu protipovodňových hrází nebo jako součást fasád, oken a dveří. Pro tyto aplikace se nejvíce používá polyesterová pryskyřice se skelnými vlákny. Je to z důvodu nalezení kompromisu mezi cenou a mechanickými vlastnostmi výztuže. Skelná vlákna mají velmi dobré mechanické vlastnosti a velmi přijatelnou cenu. Proto se s výhodou používají pro tento typ aplikace.

Pokud bychom srovnali vlastnosti skelných vláken a vysocepevnostních, tak můžeme s jistotou říci, že vysocepevnostní vlákna mají o několik řádů vyšší mechanické vlastnosti než skelná, ovšem cena se také pohybuje o několik řádů výš. Pro naše účely ovšem stačí skelná vlákna v různých formách s dobrými mechanickými vlastnostmi a dobrou cenou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Pod pojmem kompozitní materiály si lze představit materiály, jejichž složení sestává z dvou nebo více složek, které se od sebe výrazným způsobem liší svými fyzikálně-chemickými vlastnosti. Skládají se tzv. nosné části (výztuže) a matrice. Matrice tvoří vnější část tělesa a její funkce je spojovací a kontinuální. Naopak výztuž tvoří diskontinuální složku kompozitu. Jejich spojením vznikne zcela nový materiál, jehož vlastnosti jsou unikátní. Nejstarším kompozitem, který se používal už v době kamenné, je sláma zapracovaná do hlíny. Používala se ve stavebnictví. [1,2]

1.1 Matrice

Hlavním a také nejdůležitějším úkolem matrice je zajištění dokonalého spojení nosné části a vzniku vnějšího tvaru, jehož úlohou je zajištění řádné funkce tělesa. Aby bylo dosaženo optimálních vlastností výsledného kompozitu, musí být v souladu materiálové vlastnosti matrice a výztuže. Mezi specifické funkce matrice patří:

- tvorba vnějších funkčních povrchů tělesa a také estetický vzhled
- spojování vláken (nebo částic v částicových kompozitech) ve spojitý celek
- zprostředkovává zatížení vláken v místech, kde dochází ke vnějšímu zatížení, v místech přerušení vláken, přemostňuje trhliny ve vláknech atd.

Důležitým faktorem výrazně ovlivňující mechanické vlastnosti a chování kompozitů je adheze matrice k výztuži.

Polymerní matrice můžeme rozdělit do dvou základních skupin:

- reaktoplastické – též nazývané jako termosety
- termoplastické

Základním faktorem u termosetů je skutečnost, že po zahřátí zůstávají v pevné fázi, což má za následek vysokou odolnost proti křípu a vysokým teplotám. Při jejich vytváření dochází ke vzniku tuhé 3D polymerní sítě. Mezi nejpoužívanější termosety patří epoxidové a fenolické pryskyřice, polyestery a polyimidy.

Po ztuhnutí jsou termoplasty také tuhé látky, ale s tím rozdílem, že po zahřátí měknou a tečou při zvýšení teploty nad teplotu kritickou. Po opětovném chlazení tuhnou. Vel-

kou nevýhodou těchto matric je vysoká viskozita při zpracování, je o 2 – 4 řády větší než u termosetů, která má za následek vznik defektů jako jsou bubliny nebo nesmočené prameny vláken. Tyto defekty se dají ovšem vyřešit předimpregnováním vlákna, bohužel se zvýší cena. Výhodou je ale jeho vysoká tažnost. Termoplastické matrice vyskytují především u plněných plastů a částicových kompozitů. Srovnání mechanických vlastností vybraných termoplastů oproti mechanickým vlastnostem vybraných termosetů je uvedeno v tabulce číslo 2. [2]

Tabulka 1 - Mechanické vlastnosti vybraných termosetů a termoplastů [2]

Matrice	ρ (10^3 kg.m^{-3})	E_t (GPa)	σ_{Pt} (MPa)	$\epsilon_{m,krit}$ (%)
Reaktoplastická				
Epoxidová pryskyřice	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
Termoplastická				
Polypropylen	0,9	1,1 – 1,5	28 – 41	10 – 700
Polyamid	1,42	1,8 – 2,4	76 – 83	60 – 300
Polykarbonát	1,21	2,1 – 2,8	62 – 76	110 – 130
Polyether	1,31	3,8	70	50 – 130

Kde: ρ – hustota (10^3 kg.m^{-3})

E_t – modul pružnosti v tahu (GPa)

σ_{Pt} – mez pevnosti v tahu (MPa)

$\epsilon_{m,krit}$ – mezní tažnost (%)

1.2 Výztuž

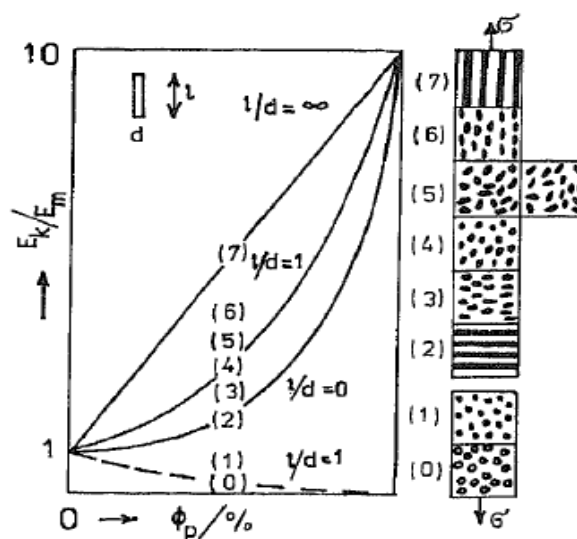
U polymerních kompozitů se vyskytují dva možné způsoby vyztužení. Jedná se vláknové a částicové vyztužení.

Základní charakteristikou vláknového vyztužení je, že jeden rozměr výztuže je výrazně větší než zbývající dva. Můžeme je dělit na kompozity s krátkými vlákny nebo na kompozity s dlouhými vlákny. Co se týče jejich uspořádání, mohou být uspořádaná nebo nahodilá. Ve srovnání s daným výrobkem jsou krátká vlákna výrazně menší, kdežto dlouhá vlákna jsou svou velikostí srovnatelná. [5]



Obrázek 1 - Dělení vláknové výztuže [6]

Polymerní kompozity se využívají zejména tam, kde je potřebná zvýšená tvrdost, odolnost při zvýšených teplotách a ořezuvzdornost. Dosahují menšího polymeračního smrštění, tvarové stálosti při zvýšených teplotách a také dosahují většího modulu pružnosti v tahu. [7]



Obrázek 2 - Vliv částicových a vláknitých plniv na relativní změnu modulu pružnosti E polymerní matrice [8]

Na obrázku číslo 2 můžeme vidět vliv částicových a vláknitých plniv na relativní změnu modulu pružnosti E polymerní matrice. E_k je modul pružnosti kompozitu, E_m – modul pružnosti matrice, E_p – modul pružnosti plniva a E_d je modul pružnosti dutin ($E_d = 0$), l, d – podélný a příčný rozměr vláken (částic). 0 symbolizuje matrici s dutinami (tuhá pěna), 1 – matrice s částicemi elastomeru, kde je modul pružnosti matrice větší než modul plniva, 2,7 – to jsou matrice s dlouhými vlákny, kde je modul pružnosti matrice menší než modul plniva, 3,6 – matrice s usměrněnými krátkými vlákny (modul matrice je menší než modul plniva), 4 – matrice se sférickými částicemi (zde je opět modul matrice menší než modul plniva) a 5 jsou matrice s nahodilými vlákny ($E_m < E_p$). [8]

1.3 Rozdělení kompozitních materiálů

Kompozitní materiály je možné rozdělit podle několika hledisek:

a) dle materiálu výztuže:

- kovové (W, Fe, Cr, Mo, Ni, Ti a jejich slitiny)
- nekovové – anorganické – keramické materiály (např. Al_2O_3 , TiB_2 , ZrO_2 ,...)
 - skla (E, S)
 - C, B
 - čedič
- organické materiály – polymery (aramidová vlákna – Kevlar, atd...)

b) dle materiálu matrice:

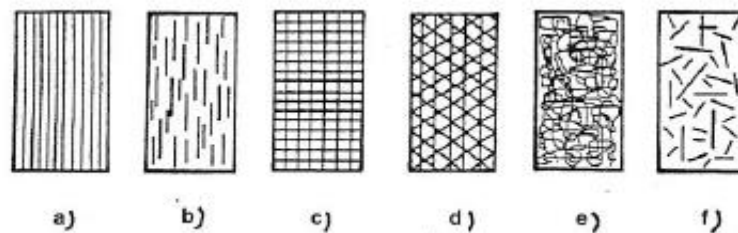
- kovové
- nekovové – anorganické materiály – keramické, skla, uhlík
 - organické materiály – polymery (epoxidy, polyamidy, polyestery,...)

Způsob kombinace materiálu vlákna a matrice je velice různý. Kompozity se mohou vyrábět v kombinace kov – kov, polymer – polymer, keramika – keramika, keramika – kov, keramika – polymer. Vše samozřejmě záleží na dobré mezifázové adhezi a také na deformačně-napěťových vlastnostech daných materiálů. [2]

c) dle geometrického tvaru výztuže:

- částicové
- vláknové
- skeletové

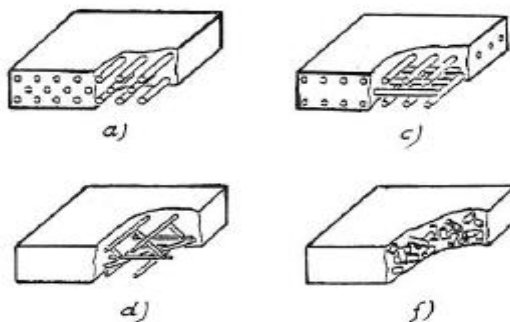
Na obrázku č. 1 můžeme sledovat charakteristické typy vláknových kompozitů.



Obrázek 3 - Typy uložení vláken ve vláknových kompozitech [2]

- kde:
- a) jednosměrná dlouhá vlákna
 - b) jednosměrná krátká vlákna
 - c) dvousměrné vyztužení
 - d) vícesměrné vyztužení
 - e) náhodná orientace dlouhých vláken
 - f) náhodná orientace krátkých vláken

Abychom si mohli lépe představit prostorové uspořádání vybraných případů, tak k tomu slouží obrázek číslo 2. [2]



Obrázek 4 - Vybrané vláknové kompozity a jejich prostorové uspořádání [2]

Základním principem vláknového vyztužení je fakt, že vlákna, které tvoří vyztužující komponentu, mají většinou o jeden až dva řády vyšší tuhost a pevnost oproti matrici (pojivová komponenta). Proto se vlákna při vnějším namáhání deformují méně než polymer. Vznikají zde smykové síly na rozhraní vlákno/polymer, které v přítomnosti adheze mezi oběma komponentami způsobují přenos veškerého napětí z nepevné matrice do vláken. Tyto vlákna jsou pak schopna nést veškeré vytvořené napětí působící na kompozitní díl, tudíž na nepevnou, ale deformovatelnou matrici nepůsobí téměř žádné napětí. [1]

Použitím kompozitních materiálů oproti tradičním materiálům, např. oceli, dosáhneme zejména snížení hmotnosti výrobků, při zachování stejných parametrů. Další velkou výhodou je možnost výroby kompozitního materiálu přímo na míru pro daný účel vhodnou skladbou matrice a výztuže. V porovnání s kovy vykazují kompozity výbornou odolnost proti korozi, tepelně izolační i elektroizolační vlastnosti, a odolnost vůči chemikáliím. Srovnání některých důležitých vlastností kompozitu a kovů ukazuje tabulka 2. [1]

Tabulka 2 - Porovnání některých vlastností kompozitu [4]

Vybrané vlastnosti	Kompozity	Ocel	Hliník
Pevnost v tahu	250 – 900	480 – 600	290
Modul pružnosti	17 – 45	206	69 – 75
Tepelná vodivost	0,0 – 0,7	52 – 63	84 – 170
Hustota	1,6 – 2,0	7,85	2,7
Prodloužení při lomu	~ 2	-	-
Pevnost v ohybu	~ 750	-	-
Pevnost v tlaku	~ 400	-	-
Specifický odpor	10^{12}	-	-
Barcolova tvrdost	40 – 55	-	-

1.4 Výroba kompozitních materiálů

Na materiálu matrice do velké míry závisí vlastní technologie výroby tj. spojení nosné části (vláken, částic) a pojiva (matrice). U kompozitů s polymerní matricí se využívá technologie laminování, tlakového vytlačování (extrusion) a tažení (pultrusion), u kovových matric se taktéž používá laminování, dále válcování nebo vytlačování. V tabulce číslo 3, můžeme vidět technologické výrobní postupy, které se využívají při výrobě dlouhvláknových a krátkovláknových kompozitních materiálů. [9]

Tabulka 3 - Výrobní technologické postupy kompozitních materiálů [9]

Výrobní technologie	Dlouhé vlákno, organická matrice	Dlouhé vlákno, kovová matrice	Krátké vlákno
Ruční ukládání	x		x
Vakuové zpracování v autoklávu	x		x
Lisování v přípravku	x	x	x
Navíjení	x	x	
Válcování tlakem		x	
Nastříkávání			x
Vytlačování		x	x
Tváření tahem	x	x	
Vstřikování			x
Prášková metalurgie			x

Jeden z nejjednodušších výrobních postupů je technologie ručního kladení, která je výlučně vyhrazena pouze na kompozity s polymerní matricí. Může se přitom využívat dvou technik: metoda mokrého ukládání (tzv. wet lay-up) a metoda předimpregnace (tzv. prepreg). V případě metody mokrého ukládání se jedná o impregnaci vláken matricí válečkem nebo štětcem. Tvrdidlo s pryskyřicí je pak smícháno až těsně před vlastní aplikací. Co se týče této metody, tak její nevýhodou je velká nehomogenost struktury, nízká reprodukovatelnost.

telnost. V případě metody pre-pregu dochází k impregnaci vlákna tekutou matricí s tvrdidlem již u dodavatele, kde může dojít částečně k polymerizaci. U finálního výrobce pak dochází ke kompletaci jednotlivých vrstev na formě a k úplnému vytvrzení kompozitu nejčastěji v autoklávu při zvýšené teplotě.

U výrobní techniky wet lay-up se používají různé výztuže, například ve formě krátkovlákných náhodně orientovaných rohoží s různou gramáží či tkaných rohoží s přesně definovanou strukturou. U techniky pre-preg je výztuž buď ve tvaru dlouhých vláken, krátkých náhodně uspořádaných vláken nebo ve formě tkaných rohoží. [9, 10, 11]

2 BALISTIKA

Je to aplikovaná věda, která se zabývá jak teoretickým, tak i experimentálním studiem pohybu střel, které jsou vystřelovány z hlavních zbraní a raket od začátku jejich pohybu (v hlavní nebo raketnici) až do zasažení a zničení cíle. Největší uplatnění má především ve vojenství, sportu, lovectví, kosmonautice a kriminalistice. Název je odvozen od řeckého slova *vallein*, což znamená házet, vrhat. Patří mezi jedny z nejzákladnějších vědních disciplín, jež provázejí střelné zbraně téměř od jejich vzniku. [12, 13]

2.1 Historie balistiky

Dá se říci, že věda nebyla snad ještě nikdy tak spjata s válčením jako v případě balistiky, výjimkou může být jaderná technologie. Zapojení vědců do této problematiky započalo již v antice a pokračovalo až po 19. století. Nejprve se vědci snažili zlepšit dostřel a přesnost praku a dalších katapultovacích zařízení. Nejslavnější éra balistiky začíná s výzkumem prvních děl, kdy se tehdejší dělostřelci snažili vypočítat dostřel tzv. *bombard* (jedná se o druh středověkého děla) za pomoci empirických rovnic. Nicméně aristotelská věda zkreslovala jejich znalosti a poznatky. Aristoteles považoval za rozdílné let vystřelených těles a jejich pád. Až profesor Buridan ze Sorbonny objevil vzájemné souvislosti mezi problematikou padajícího tělesa a tělesa letícího působením jiné síly než zemské přitažlivosti. [12]

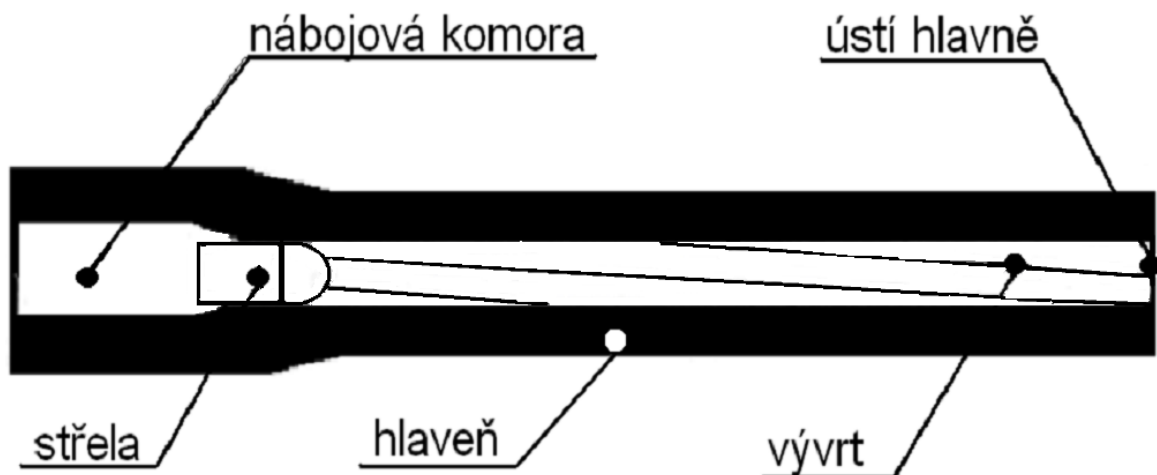
Kolem roku 1537 bylo v Benátkách vydáno dílo „Nová věda“ profesorem matematiky Niccoly Fontana, ve kterém definoval vztah mezi doletem a záměrným úhlem. V tomto díle bylo poprvé matematicky vyjádřeno zamíření střelné zbraně a téměř 1000 let po Archimedovi zopakována myšlenka, kde největší dostřel má dělo, jehož hlaveň svírá s vodorovnou plochou úhel 45° . Po sto letech, v roce 1638, Galileo Galilei objasnil, že se vystřelená tělesa pohybují po parabolické křivce. Díky tomuto objasnění se nechal v roce 1644 Evangelista Torricelli inspirovat a vydal první úplnou studii o parabolických drahách letu. V téže roce vědec Marsen nazval tento obor jako *ballistica*. [12, 13]

2.2 Rozdělení balistiky

Balistika je velice komplexní vědecká disciplína a její rozdělení podle zaměření je určeno podle toho v jakém prostředí a za jakých podmínek se střela pohybuje na vnitřní, přechodovou, vnější a koncovou (tzv. terminální) balistiku. [12, 13, 14]

2.2.1 Vnitřní balistika

Tato část vědy zabývající se pohybem střel se věnuje jevům, které vznikají a které se odehrávají uvnitř palné zbraně až do opuštění střely hlavě. Taktéž se zabývá zpětným rázem, charakteristikou hlavně, ústovou rychlostí střeliva a složením náboje. Jedná se o jeden z nejextrémnějších dějů klasické fyziky, protože jde o velmi krátký děj, kde působí velké síly, vysoké teploty a zrychlení. [16, 17]



Obrázek 5 – Řez hlavní – odehrávají se zde všechny děje vnitřní balistiky [16]

2.2.2 Přechodová balistika

Přechod mezi vnitřní a vnější balistikou se nazývá balistika přechodová. Tato část začíná tehdy, kdy střela opouští hlaveň a končí tehdy, kdy na střelu přestanou působit plyny. Týká se to především velmi krátkého úseku v těsné blízkosti za ústím hlavně, to znamená asi 10-ti až 20-ti násobek ráže (průměr vývrtu). V této oblasti taktéž dochází k tomu, že tlak rozpínajících se plynů, klesá a zároveň se zvyšuje rychlost střely (asi 5x).[16,18]



Obrázek 6 – Střela, která opouští hlaveň zbraně [18]

Na obrázku 5 jednoznačně znázorněn okamžik výstřelu střely z bočního pohledu ústí hlavně. Dříve než kulka opustí hlaveň, vytečou z ní plyny, které vyfoukly kolem střely při jejím zařezávání do drážek vývrtnu. Na tomto obrázku je patrné, že kulka je celoplášťová, tudíž její rychlost opouštění ústí hlavně je něco kolem 630 m/sec. Mezitím za ní vytékají plyny, ještě větší rychlostí než kulka, jež působí na střelu a po krátkou dobu ji ovlivňuje. [12]

2.2.3 Vnější balistika

Vnější balistiky se věnuje stavu, kdy střela opustí hlaveň a kdy na ni už nepůsobí plyny, které vytékají z hlavně. Dále se zabývá problematikou střely nejen za podmínek ideálních, ale i za podmínek, kdy je pohyb střely ovlivňován velkou řadou rušivých vlivů. Zjednodušeně řečeno, řeší chování střely během letu atmosférou. Dále zkoumá stabilitu jejího letu, dráhu letu a s tím související přesnost střelby. Výsledkem toho je, že na střelu působí dvě základní síly:

- 1.) Gravitační síla – ta má za následek zakřivení dráhy střely
- 2.) Odpor vzduchu – důsledkem odporu vzduchu je zbrzdování střely a tím pádem i snižování její rychlosti

Proto se také vnější balistika rozděluje na teoretickou a experimentální. [12, 18]

2.2.3.1 *Balistika teoretická*

Využívají se zde výpočetní modely pro řešení specifických úloh balistiky. [19]

2.2.3.2 *Experimentální balistika*

V experimentální balistice se používají řízené pokusy a statistické měření pro ověření předpokladů s analýzou získaných výsledků. [19]

2.2.4 Terminální (koncová) balistika

Poslední část balistiky se zabývá pohybem a chováním střely v prostředí cíle v souvislosti s jejími ničivými účinky. Relativně samostatným odvětvím terminální balistiky je balistika ranivá. Hodnotí a zkoumá poranění způsobené střelami nebo střepinami. Pojmem ranivý účinek se rozumí takový účinek střely, která projde skrz oděv či balistickou ochranu. [16]

2.2.4.1 *Základní pojmy koncové balistiky*

Proto, abychom mohli hodnotit interakce projektilu s terčem, si musíme nejprve objasnit některé základní pojmy terminální balistiky. Víme, že střely dopadají na terče různými rychlostmi v . Tyto rychlosti spadají do intervalu od několika metrů za sekundu až do několika desítek kilometrů za sekundu. V tom případě rozeznáváme tyto případy dopadových rychlostí:

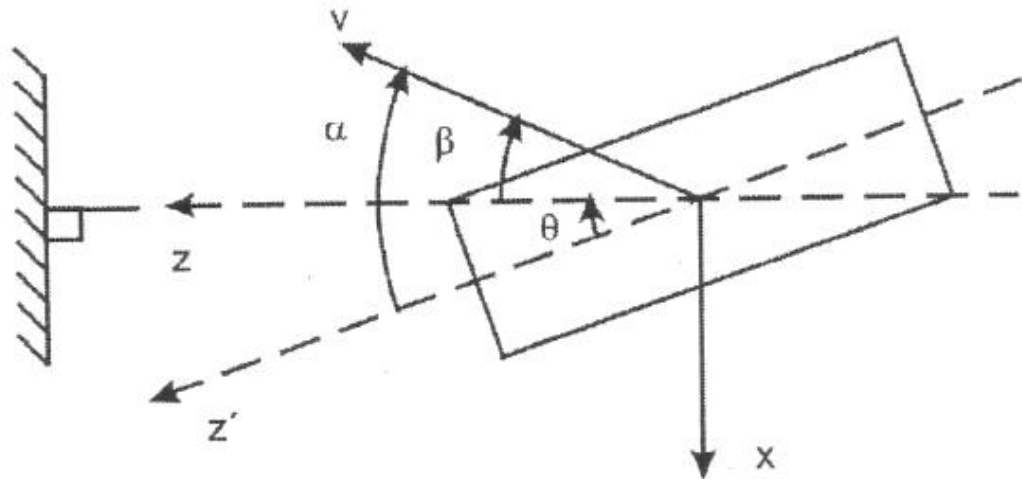
- nízké dopadové rychlosti ($v < 500$ m/s)
- běžné dopadové rychlosti ($500 < v < 1500$ m/s)
- vysoké dopadové rychlosti ($1500 < v < 3000$ m/s)
- extrémně vysoké dopadové rychlosti ($v > 3000$ m/s)

Toto rozdělení je ale přibližné, neboť tyto rychlosti dopadu střely jsou typické pro terče z oceli a ocelové projektily, nebo pro střely ze slitin wolframu respektive slitin jiných těžkých kovů (např. ochuzený uran). [21]

Co se týče dalšího rozdělení, je toto zaměřeno pouze na terče. Velká většina střel má symetrii válce, kde můžeme definovat maximální průměr projektilu D a délku L . Díky tomu můžeme pro rovinné terče o tloušťce H použít následující rozdělení:

- tenké terče ($H/D < 1$)
- středně silné terče ($1 < H/D < 10$)
- polonekonečné terče ($H/D > 10$)

Pokud sledujeme interakci projektilu s překážkou, tak zde hraje velmi důležitou roli vzájemná poloha střely a terče. Jestliže má projektil symetrii válce, pak můžeme tuto polohu ukázat způsobem, který je vidět na obrázku 7. [21, 22]



Obrázek 7 – Schéma, které znázorňuje základní úhly geometrie interakce střely s rovinným terčem [22]

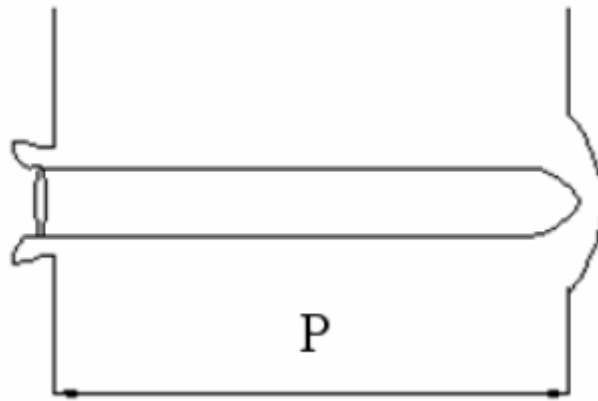
Z obrázku 7 lze určit a pojmenovat tyto pojmy:

- normální dopad projektilu
 - vektor rychlosti střely je totožný s tečnou trajektorie střely
- šikmý dopad projektilu
 - ještě se dělí na šikmý dopad bez vybočení a s vybočením
 - pro nulové vybočení dále platí $\theta = |\beta|$ [22]

Při nárazu střely do terče pak rozeznáváme 2 případy:

1.) Náboj uvnitř terče

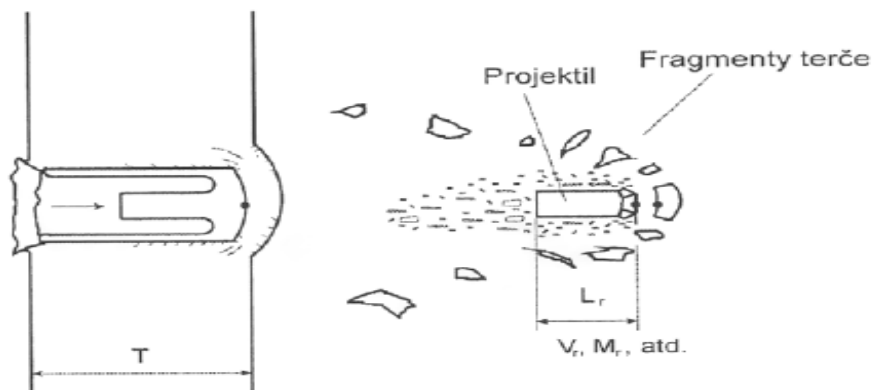
- používají se zde pojmy *penetrace* (průnik střely do terče) a *hloubka penetrace* (hloubka průniku střely do terče)



Obrázek 8 – Schéma průniku střely do terče při kolmém dopadu [22]

2.) Průchod náboje terčem

- jedná se o průraz, resp. o tzv. perforaci, tento jev můžeme vidět na obrázku 9
- osově symetrická střela, která má délku L_0 a rychlost V_0 dopadající na terč o tloušťce T_t
- při průniku střely přes terč dochází k erozi střely, jejíž erodované částice se pohybují tam i zpět a současně dochází k vyboulení vnitřní strany [21]



Obrázek 9 – Perforace rovinného terče při kolmém dopadu [22]

3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ZBRANÍ A STŘELIVA

3.1 Obecné rozdělení

Zbraně můžeme třídit do mnoha různých kategorií a podle mnoha různých kritérií, z toho důvod není možné, abych zde vypsali všechny systémy třídění. Použiji proto systém, který není úplný, ale pro seznámení s danou problematikou je naprosto adekvátní. Pokud se jedná o nejzákladnější rozdělení, tak se zbraně rozdělují podle toho, jakým způsobem dojde k předání energie cíli. Jedná se o zbraně chladné, střelné a paprskové.

Základním principem chladných zbraní je násobení účinku síly svalů a taktéž násobení celkových bojových možností člověka. K tomu, aby fungovaly, potřebují svalové síly člověka.

Pokud jde o zbraně paprskové, jejich účinek na člověka je výrazně odlišný od chladných. Využívají k tomu vlnovou délku vyzářeného záření, jako například radiové záření, neionizující záření, laserové záření apod.

Střelné zbraně, kterými se budeme v další části zabývat více, se mohou dále dělit podle toho, jakou energii používají k pohonu střely. Jsou to zbraně mechanické, elektromagnetické, plynové a palné, které se dělí ještě na hlavňové a raketové. Mezi mechanické střelné zbraně patří luky nebo kuše, které používají k pohonu střely naakumulovanou mechanickou energii z pružného prvku zbraně. Princip elektromagnetických zbraní je naakumulování elektrické energie v cívkách, které tvoří jádro střely. Plynové střely jsou založeny na principu stlačeného vzduchu nebo jiného plynného média těsně před výstřelem. U palných hlavňových zbraní je základním mechanismem pohonu střely změny chemické energie střelného prachu na pohybovou energii střely. [23]

3.2 Palné zbraně a jejich rozdělení podle druhu a použití

Tabulka 4 – Rozdělení palných zbraní [23, 24]

1.) Vojenské, policejní a civilní obranné zbraně		
Revolvery a pistole	➤ Samopaly	
	➤ Pušky	• Odstřelovací
		• Útočné
	➤ Kulometry	• Ruční
		• Lehké
		• Těžké
		• Univerzální
		• Velkorážové
	➤ Malorážové kanóny	
	➤ Vojenské a policejní granátomety	
	➤ Policejní a vojenské brokovnice	
	➤ Ruční protitankové a protiletadlové zbraně	• Zákluzové - protitankové pušky
		• Bezzákluzové
		• Raketové
• Kombinované		
2.) Lovecké zbraně		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lovecké kulové zbraně ➤ Lovecké brokové zbraně ➤ Lovecké kombinované zbraně 		

3.) Sportovní zbraně
➤ Sportovní kulové zbraně ➤ Sportovní brokové zbraně
4.) Balistické malorážové zbraně
5.) Narkotizační zbraně
6.) Poplašné, plynové obranné a signální zbraně
7.) Expanzní přístroje
8.) Plynové zbraně

V následujících několika podkapitolách se zaměřím na stručnou charakteristiku základních a také nejznámějších druhů zbraní, které přicházejí v úvahu pro testování odolnosti kompozitů proti průstřelu. [24]

3.2.1 Revolvery a pistole

Revolvery i pistole se řadí do kategorie krátkých ručních palných zbraní. Účinný do-
střel těchto zbraní je 70 metrů. Počet nábojů, které jsou umístěny v zásobníku v rukojeti, se
pohybuje v rozmezí od 6 do 20 nábojů. Mechanismus podávání náboje je založen na opa-
kovaném pohybu závěru do nábojové komory. Tyto zbraně mohou být ještě rozděleny pod-
le toho, kolik ran vystřelí, tzn. jednoranné, víceranné nebo opakovací. Nejčastějším přípa-
dem je ale to, že jsou samonabíjecí.

Jak jsem již výše zmínil, i revolvery patří do skupiny krátkých ručních palných zbraní.
Rozdíl je ovšem v tom, že revolvery jsou zbraně opakovací, to znamená, že mechanismus
nabití náboje a provedení dalšího výstřelu je zapotřebí mechanická práce vykonaná střel-
cem. U tohoto typu zbraní jsou, na rozdíl od pistolí, náboje uloženy v nábojovém válci,
který je umístěn zhruba uprostřed zbraně a který se po každé další ráně pootočí a zopakuje
osu vývrtnu dané komory s nábojem s osou hlavně. Revolvery jsou svou konstrukcí stavěny
na výkonnější náboje než pistole. [23]

3.2.2 Samopaly

Pod pojmem samopal si můžeme představit ruční palnou automatickou zbraň, která se konstruuje na pistolové náboje. Slovem automatické je myšleno to, že na jeden stisk kohoutku je tato zbraň schopna vystřelit více nábojů, ovšem v dnešní době je velká část samopalů vybavena voličem střelby, jehož úkolem je možnost volby pro střelce mezi jednotlivými ranami nebo dávkou. Oproti pistolím či revolverům pojmomu zásobníky samopalů daleko více nábojů (30 až 70). Jejich účinný dostřel dosahuje vzdálenosti až 200 metrů. Rychlost se pohybuje v rozmezí 500 až 1200 ran za minutu.

3.2.3 Pušky

Tento druh zbraní je řazen do kategorie opakovací nebo samonabíjecí. Ke svému účelu používají standardní puškové náboje. Používají se k zasahování cíle ve vzdálenosti do 800 metrů a u odstřelovacích pušek to může být ještě dále a to až do 1300 metrů. Mají buď nábojovou schránku, nebo využívají taktéž zásobníku, ovšem s podstatně menší kapacitou (3 – 6 nábojů) než pistole či samopaly. Co se týče samonabíjecích pušek, tak jejich konstrukce je stavěna na standardní puškový náboj, nebo taky na zkrácený puškový náboj. Stejně opakovací pušky, i samonabíjecí mají účinný dostřel od 400 do 800 metrů a počet nábojů, které se vejdou do zásobníku, se pohybuje mezi 8 až 30.

3.2.4 Kulomety

Tento typ zbraní se řadí mezi automatické a jsou stavěny na standardní puškový náboj. Slouží k destrukci lehce pancéřované techniky, proti pěchotě a vzdušných cílů letících do 1000 metrů. Počet nábojů v zásobníku se pohybuje od 15 do 70 nábojů. Další možností, jak lze tyto zbraně zásobovat náboji, je použitím nábojového pásu. Rychlost střelby se pohybuje okolo 400 až 1500 střel za minutu. Existují ovšem i kulomety, jejichž kadence dosahuje několika tisíc střel za minutu.

3.2.5 Brokovnice

Díky obrovské ničivé síle na blízké vzdálenosti se tento druh zbraní používá na boj zblízka nebo na protidemonstrační akce do 80 metrů. Řadí se mezi samonabíjecí nebo opakovací zbraně. Oproti výše zmíněným typům zbraní mají brokovnice hladký vývrt hlavně a

ke střelbě využívají brokový náboj s hromadnou nebo jednotnou střelou. Do jejich zásobníků, jejichž tvar je trubicový, se vejde 5 až 10 nábojů. [23, 24]

3.3 Střelivo

Základním faktem pro střelbu ze zbraně nestačí mít pouze zbraň, důležité jsou i náboje. Každá zbraň ke svému účelu využívá různé typy nábojů. Co to vlastně náboj je? Je to soustava mechanických dílů a výbušnin, které jsou důležité k provedení výstřelu z palné zbraně. Je složen z následujících částí:



Obrázek 10 – Řez nábojem [25]

Stejně jako zbraně i střelivo se řadí do velmi mnoha různých hledisek, proto jsem zvolil rozdělení, které je důležité v oblasti balistické odolnosti a účinnosti střeliva. Viz tabulka číslo 5:

Tabulka 5 – Rozdělení střeliva podle jednotlivých kritérií [24]

<u>Rozdělení střeliva podle:</u>	
1.) Druhu zbraně	• Pistolové
	• Revolverové
	• Malorážkové
	• Puškové
	• Flobertkové
2.) Druhu střely	• S jednotnou střelou (kulové náboje)
	• S hromadnou střelou (brokové náboje)

3.) Způsobu zážehu	• Se středovým zápalem
	• S okrajovým zápalem
4.) Konstrukce nábojnice	• Okrajové
	• Bezokrajové
	• S dosedacím kroužkem
	• Beznábojnicové
5.) Konstrukce střely	• Plášťové
	• Poloplášťové
	• Bezplášťové
	• Speciální (svítící,...)

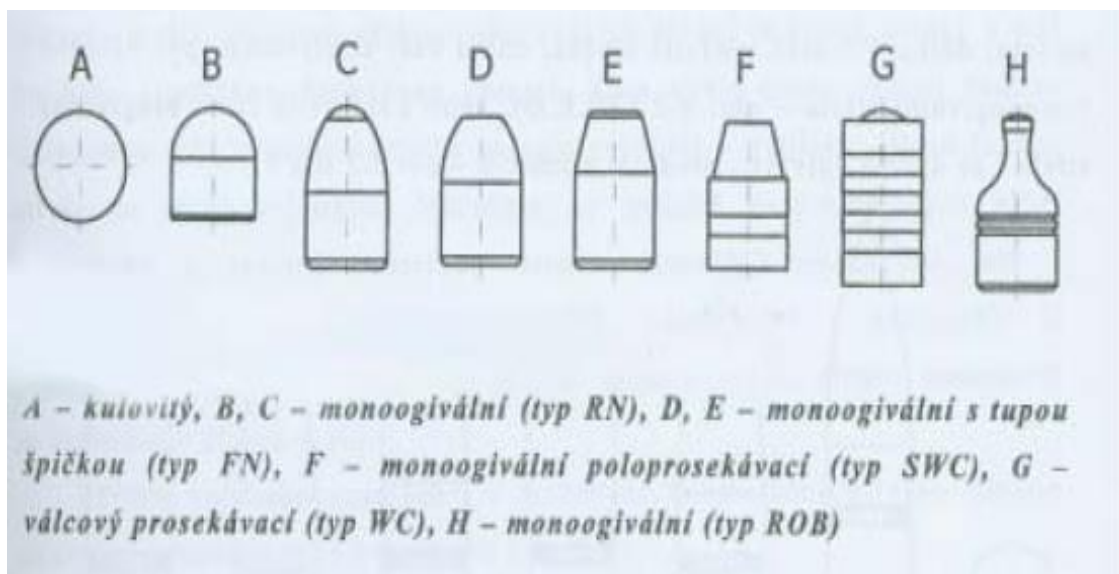
Nejdůležitějším parametrem při posuzování průniku materiálu či ranivosti na člověku je hodnota tzv. balistického výkonu. Ten je zpravidla určován pomocí počáteční energie střely. Poté se podle jeho úrovně určuje a rozhoduje, jak daleko střela doletí nebo jak moc střela působí na živou tkáň a také hodně vypovídá i o průbojnosti daného náboje. Proto se střelivo rozděluje do následujících 3 kategorií podle balistického výkonu:

- 1.) Střelivo s nízkým balistickým výkonem (do 600 J)
- 2.) Střelivo se středním balistickým výkonem (600 až 2000 J)
- 3.) Střelivo s vysokým balistickým výkonem (nad 2000 J),

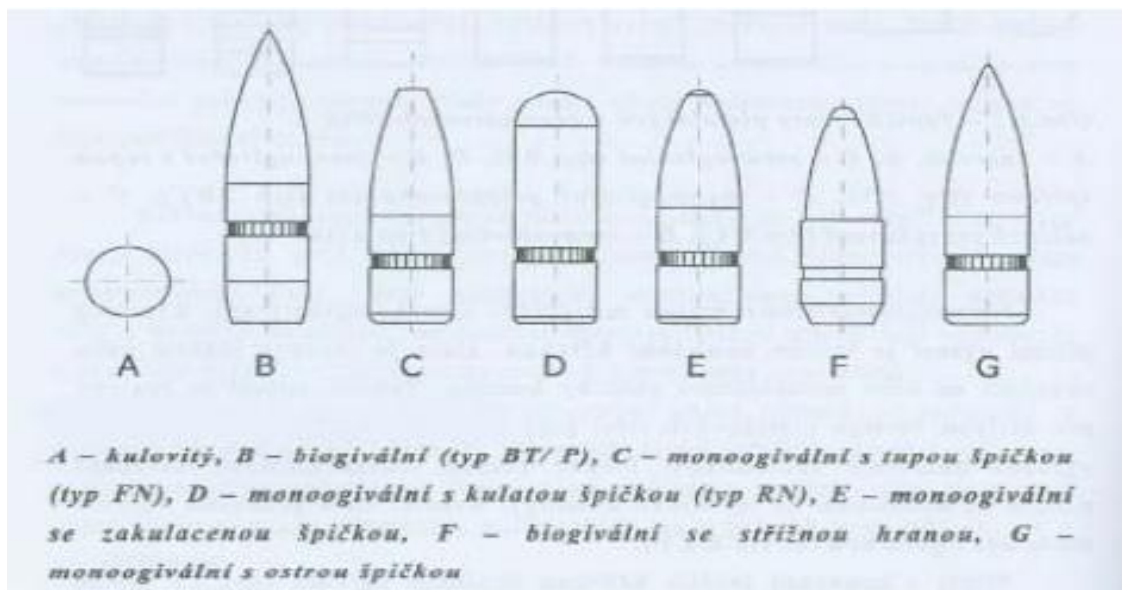
Do kategorie střeliv s nízkým balistickým výkonem řadíme pistolové a revolverové střelivo, neboť jejich hodnota úst'ové energie není větší než 600 J. Do druhé kategorie se řadí zejména zkrácené puškové náboje, které se používají u útočných pušek. Co se týče třetí kategorie, tak zde patří velká většina puškového střeliva a také střelivo pro těžké kulometry. [26]

3.3.1 Tvar a konstrukce střel

Co to vlastně střela je? Je to část náboje, jež má za úkol dosáhnout určitý účinek na požadované vzdálenosti. Aby k tomu mohlo dojít, musí být střela vystřelena požadovanou rychlostí a během letu nesmí být téměř vůbec ovlivněna atmosférou. Proto se vyžaduje, aby se tvar a konstrukce střely uzpůsobovaly všem čtyřem druhům balistiky a to: vnitřní, přechodové, vnější a terminální. Ačkoli největší vliv na požadavky na vnější tvar a konstrukci má vnější balistika. Pro inspiraci se můžeme podívat na obrázek 11 a 12, kde jsou znázorněny tvary různých pistolových a puškových střel. [26]



Obrázek 11 – Různé tvary pistolových střel [24]



Obrázek 12 – Různé tvary puškových střel [24]

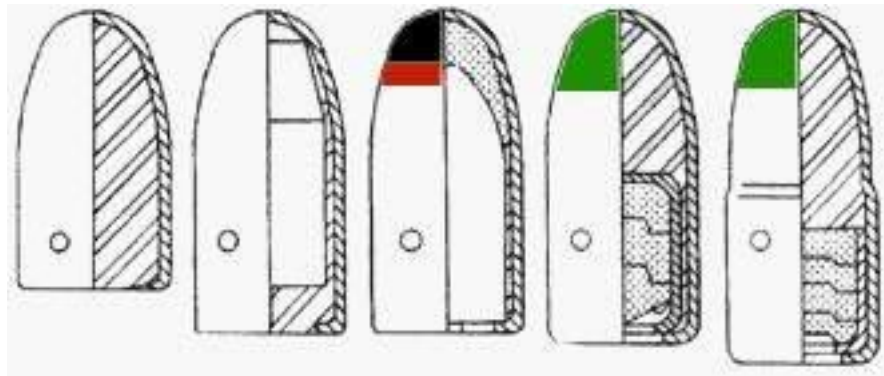
Na druhou stranu požadavky na vnitřní tvar střeliva klade koncová neboli terminální balistika, konkrétněji její část a to balistika ranivá. Materiál, z něž jsou střely vyráběny, je kov, lépe řečeno olovo nebo jiné kovy, např. ocel. Existují taktéž i takové druhy střel, většinou se jedná o vojenské typy, v jejichž vnitřku je součást zvaná *pyrotechnická slož.* Její funkcí uvnitř střely je zvýšení průbojnosti střely, zapálení cíle nebo zviditelnění dráhy letu. Takové střely jsou výbušné, zápalné, zástřelné, svítící nebo taky průbojně-zápalné. Střely můžeme podle jejich vnitřního uspořádání rozdělit na:

- a) Homogenní
- b) Nehomogenní
 - Celoplášťové
 - Poloplášťové [24, 26]



Obrázek 13 – Možnosti vnitřního uspořádání u puškových střel

- A – homogenní střela
- B – nehomogenní celoplášťová střela
- C – F – nehomogenní poloplášťové střely [24]



Obrázek 14 – Speciální druhy střel [25]

Zleva:

- Střela s olověným jádrem
- Střela s ocelovým jádrem
- Střela průbojně-zápalná (ocelové jádro)
- Střela se stopovkou (svítící)
- Střela se stopovkou (jiná konstrukce)

Pokud se podíváme na obrázek 13, konkrétněji na střelu pod označením B, je popsána jako celoplášťová střela, což znamená, že tvoří jednotný tvar, přičemž se při nárazu do překážky deformuje jen málo. Díky této vlastnosti se s oblibou používají tam, kde je potřeba výborná průbojnost, kdežto poloplášťové střely s obnaženou špičkou se velice deformují, z důvodu větší čelní plochy. Funkcí této střely není velký průboj, nýbrž velká ranivost. Tyto střely jsou zobrazeny na obrázku 13 pod označením C a D. Střely s označením E a F jsou tzv. *expanzivní střely*, které slouží ke zvýšení ranivého účinku, tak, že dutina, která je vepředu střely, způsobuje jednodušší zvětšení radiálního rozměru, přičemž dojde k tomu že, střela předá větší energii cíli. K tomu, aby se zvýšila průbojnost střely, mají střely uvnitř jádro z vysoce tvrdého a vysoce hustotního materiálu (např. ušlechtilá ocel, wolfram, atd.). Tyto střely po průchodu cílem dosahují jen velmi malé deformace. [24,26]

4 NORMY

Norem, zabývajících se odolností proti průstřelu, existuje více druhů. Počínaje od evropské normy EN 1063 (stupeň odolnosti 1 až 7), přes britské BS 5051 (, německé DIN 52290 (M1 až M5), americké N.I.J. 0108.01 (I až IV) a UL. std. 752 a konče vojenských předpisů STANAG 4569 (Annex A až D). Níže jsou uvedeny tabulky 6 a 7, kde v tabulce 6 jsou uvedeny třídy balistické odolnosti podle norem EN 1522, 1523 a 1063. V tabulce 7 jsou také uvedeny třídy balistické odolnosti ovšem podle vojenských předpisů STANAG 4569, konkrétně stupeň odolnosti Annex A. [31]

Tabulka 6 – Třídy balistické odolnosti podle norem EN 1522, 1523, 1063 [26, 31]

Stupeň odolnosti	B1 + B2 podle normy EN 1522, 1523,1063	
Zkušební vzdálenost [m]	10 ± 0,5	5 ± 0,5
Počet střel	3	3
Rozptyl střel [mm]	120	120
Typ zbraně	Puška	Pistole automatická
Ráže	22 LR	9mm Luger
Typ střely	L/RN	FJ/RN/SC
Hmotnost [g]	2,6 ± 0,1	8 ± 0,1
Rychlost [m/s]	300 ± 10	400 ± 10
Energie [J]	117	640
Stupeň odolnosti	B3 + B4 podle normy EN 1522, 1523,1063	
Zkušební vzdálenost [m]	5 ± 0,5	5 ± 0,5
Počet střel	3	3
Rozptyl střel [mm]	120	120
Typ zbraně	Revolver	Revolver
Ráže	0,357 Magnum	0,44 Magnum
Typ střely	FJ/CB/SC	FJ/FN/SC
Hmotnost [g]	10,2 ± 0,1	15,6 ± 0,1
Rychlost [m/s]	430 ± 10	420 ± 10
Energie [J]	943	1376
Stupeň odolnosti	B5 + B6 podle normy EN 1522, 1523,1063	
Zkušební vzdálenost [m]	10 ± 0,5	10 ± 0,5
Počet střel	3	3
Rozptyl střel [mm]	120	120
Typ zbraně	Puška	Puška
Ráže	5,56x45**	7,62x51
Typ střely	FJ/PB/SCP1	FJ/PB/SC
Hmotnost [g]	4,0 ± 0,1	9,5 ± 0,1
Rychlost [m/s]	950 ± 10	830 ± 10
Energie [J]	3270	1376

Stupeň odolnosti	B7 podle normy EN 1522, 1523,1063
Zkušební vzdálenost [m]	10 ± 0,5
Počet střel	3
Rozptyl střel [mm]	120
Typ zbraně	Puška
Ráže	7,62x51**
Typ střely	FJ/PB/HC1
Hmotnost [g]	9,8 ± 0,1
Rychlost [m/s]	820 ± 10
Energie [J]	3295

* délka vrtání 178 mm ± 10 mm

** délka vrtání 254 mm ± 10 mm

Kde:

L – olovo

FJ – celoplašťová střela

HC1 – tvrdé ocelové jádro

RN – ogivální tvar

SCP – měkké jádro a ocelový penetrátor

CB – kuželová střela

FN – plochá přední část

PB – špičatá střela

SC – měkké jádro (olovo)

Tabulka 7 – Třídy balistické odolnosti podle vojenských předpisů STANAG 4569 (Annex A) [26, 31]

Stupeň	Typ zbraně	Munice a podmínky	Konkrétní typ munice
I	Útočné pušky	Standardní plná munice Zkušební vzdálenost 30 m Úhel dopadu 0° až 30°	7,62mm x51 NATO ball (833 m/s) 5,56mm x45 NATO SS109 (900 m/s) 5,56mm x45 NATO M193 (937 m/s)
II	Útočné pušky	Průbojná munice s ocelovým jádrem Zkušební vzdálenost 30 m Úhel dopadu 0° až 30°	7,62mm x39 API BZ (695 m/s)
III III+	Útočná a odstřelovací puška	Průbojná munice s jádrem z karbidu wolframu Zkušební vzdálenost 30 m Úhel dopadu 0° až 30°	7,62mm x51 AP WC (930 m/s) 7,62mm x54R B32 API (854 m/s)
IV	Těžké kulometry	Průbojná munice	14,5mm x114 API/B32 (911 m/s)

		Zkušební vzdálenost 200 m Úhel dopadu 0°	m/s)
V	Automatické kanony	Munice APDS Zkušební vzdálenost 500 m Úhel dopadu 0°	25mm x137 APDS-T PMB 073 (1258 m/s)

V sloupci s názvem *Konkrétní typ munice* čísla v závorkách uvádějí hodnoty dopadové rychlosti střel s tolerancí ± 20 m/s. [31]

5 VLÁKNA ODOLNÉ PROTI PRŮSTŘELU

Mezi nejznámější a vysoce odolná vlákna patří skelná, aramidová, uhlíková a polyethylenová vlákna. Dále se jako výztuž mohou používat i polypropylenová nebo celulózová vlákna. [32]

5.1 Skelná vlákna

Průměr těchto vláken bývá v rozmezí 3,5 až 24 μm . Podle vlastností existují 3 různé druhy skelných vláken a to: E – vlákna, R – vlákna a C – vlákna. E – vlákna jsou charakteristické svou vynikající elektrickou nevodivostí a vysokou propustností pro záření. R – vlákna mají vyšší pevnost než E – vlákna díky zvýšenému obsahu oxidu křemičitého, oxidu hořečnatého a oxidu hlinitého. Co se týče C – vláken, jejich nejlepší vlastností je vysoká odolnost proti kyselinám a jiným agresivním látkám. Vyrábí se tažením z trysek. [28]

5.2 Aramidová vlákna

Nejvýraznějšími vlastnostmi, kterými aramidová vlákna disponují, patří vysoká tuhost a pevnost. Makromolekuly jsou spojeny vodíkovými můstky. Vysoká tuhost těchto vláken je zajištěna pomocí aromatických jader. Mezi nejznámější aramidová vlákna patří Kevlar a Nomex. Kevlarová vlákna jsou jedním z nejvíce široce, používaným neprůstřelným materiálem v mnoha odvětvích, nacházejících různá uplatnění. [33]

5.3 Uhlíková vlákna

Stejně jako u aramidových vláken, i uhlíková vlákna mají vysokou pevnost a tuhost a taktéž hodnotu Youngova modulu. Průměr těchto vláken se pohybuje v rozmezí 5 až 10 μm . Velkou nevýhodou uhlíkových vláken je, že mají vysokou lámavost při výrobě. Proto se musí povrchově upravit směsí na bázi epoxidové pryskyřice. Základními surovinami, ze kterých se vyrábí uhlíková vlákna, jsou celulóza, smola a PAN (polyakrylonitril). [34]

5.4 Polyethylenová vlákna

Tento druh vláken se vyrábí z ultra vysoce molekulárního polyethylenu. Nejznámější jsou Dyneema a Spectra. Mezi nejlepší vlastnosti vláken Spectra patří nízká absorpce vlhkosti a vysoká odolnost proti nárazům, díky čemuž je vhodné tyto vlákna použít v kompozitních laminátech.

Dyneema vlákna mají vysokou pevnost a modul, dále také rázovou houževnatost a nízkou hustotu. Mezi další vynikající vlastnosti patří světelná a chemická stabilita. [35, 36]

5.5 Polypropylenová vlákna

Nejznámějším PP vláknem je Innegra S. Disponuje výbornými dielektrickými vlastnostmi, nízkým creepem, vysokou biologickou a chemickou stabilitou, nízkou hustotou a je hydrofobní. [34]

5.6 Celulózová vlákna

Další možnou výztuží pro výrobu neprůstřelných materiálů jsou celulózová vlákna pod názvem Ramie. To jsou jedny z nejpevnějších přírodních celulózových vláken. [32]

6 CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo najít kompozitní materiál na bázi polyesterové pryskyřice a skelných vláken s vhodnou skladbou těchto vláken. Hlavním použitím tohoto materiálu má být v oblasti výstavby protipovodňových hrází, hlavně v místech, kde je velká pravděpodobnost výskytu povodní. Dále má tento materiál sloužit jako součást do fasády budov a jako součást oken a dveří. Je to z důvodu narůstající kriminality a s tím související nárůst přestřelek mezi ozbrojenými složkami státu a násilníky. V podstatě jde o to, aby nalezený materiál odolal průstřelu proti běžným rážím krátkých palných zbraní.

Čeho se také chtělo dosáhnout? Jedním z nejdůležitějších cílů, kterých se chtělo také dosáhnout, bylo nalezení ideální rovnováhy mezi užitnými vlastnostmi výztuže a její cenou. Z toho důvodu byla použita skelná vlákna, u nichž je vztah mezi cenou a vlastnostmi neoptimálnější. Tak například m^2 skelných vláken, ať už ve formě rovingu či flísu, stojí v rozmezí od 40 do 100 Kč v závislosti na gramáži, kdežto m^2 aramidových nebo uhlíkových vláken stojí v rozmezí několik set až 1000 Kč.

V dnešní době se stále více používá aramidových či uhlíkových vláken, přestože jsou dražší. Ovšem jejich mechanické vlastnosti jsou podstatně lepší než u levnějších skelných vláken.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 PŘÍPRAVA VZORKŮ

7.1 Matrice

Pro výrobu všech 10 vzorků byla použita jako matrice polyesterová pryskyřice. Tato pryskyřice je nejčastěji používanou matricí pro výrobu kompozitních materiálů na bázi polyester/skelné vlákno díky dobře vyváženým mechanickým, elektrickým a chemickým vlastnostem. Pomocí plniv se dají upravit na samozhášivé nebo ohnivzdorné. K vytvrzení této pryskyřice byl použit středně reaktivní roztok methylethylketon peroxidu v dimethylftalátu s názvem NORPOL PEROXIDE NO.1. Vlastnosti tohoto peroxidu jsou uvedeny v následující tabulce. [27, 30]

Tabulka 8 – Vlastnosti použitého peroxidu*

Vlastnost	Hodnota
- vzhled	Kapalina
- hustota při 23°C	1,15 – 1,17 g/cm ³
- barva	Čirá
- viskozita při 23°C	15 – 18 mPa*s
- hodnota pH	4 – 6
- rozpustnost	Nerzpustný ve vodě, částečně rozpustný v oxidačních organických rozpouštědlech
- skladovatelnost	12 měsíců

* převzato z materiálového listu

7.2 Výztuž

U všech vzorků byla, jako výztuž použita skelná vlákna typu E. Tyto vlákna mají silikátový základ a bezpochyby patří k jednomu z nejpoužívanějších výztuží v kompozitním průmyslu. Je všeobecně známo, že sklo je vysoce odolné ohni a velkému množství chemikálií. Lamináty vyztužené těmito vlákny jsou extrémně pevné a oproti kovům jsou lehčí a levnější. [28]

V použitých vzorcích byly využity následující 3 typy konstrukce skelných vláken:

- 1.) Skelná rohož – sekaná krátká vlákna náhodně orientovaná spojená termoplastickým pojivem - viz *Obrázek 15*

- plošná hmotnost se pohybuje v rozmezí 100 – 450 g/m²
- 2.) Biaxiální rovingová výztuž netkaná, ale spojená prošíváním (+/- 45°) – viz *Obrázek 16*
- výhodou použití těchto výztuží, spojených prošíváním oproti tradičním tkaným rovingům textilními vazbami, je lepší tvarovatelnost vícevrstvého polotovaru, rychlejší smáčení vláken, nepřítomnost zbytků vazebného prostředku na povrchu vláken, a nedochází k destrukci vláken v místě propletení rovingů
 - plošná hmotnost - 980 g/m²
 - plošná hmotnost – 600 g/m²
- 3.) Biaxiální rovingová výztuž netkaná, ale spojená prošíváním (0°/90°) – viz *Obrázek 17*
- plošná hmotnost - 600 g/m²



Obrázek 15 – Skelná rohož



Obrázek 16 – Biaxiálně prošívaná výztuž (pod úhlem 45°)



Obrázek 17 – Biaxiálně prošívaná výztuž (pod úhlem 90°)

7.3 Způsob přípravy vzorků

Co se způsobu přípravy vzorků týče, tak 9 vzorků bylo připraveno klasickou metodou ruční laminace na kovové formě opatřené separačním prostředkem. Jednotlivé vrstvy byly kladeny a prosycovány polyesterovou pryskyřicí za pomoci nanášecího a vytlačovacího válečku. Nanášení muselo probíhat rychle, aby nedošlo k předčasnému vytvrzení pryskyřice, čímž by se snížila soudržnost jednotlivých vrstev. Použitá pryskyřice byla předurčená s časem zpracovatelnosti 30 min. Peroxid byl dávkován v množství 1 hmotnostní % na pryskyřici. Vytvrzování probíhalo při teplotě místnosti cca. 20°C po dobu 24 hodin, poté byl vzorek odformován. Dodatečné dotvrzení vzorků nebylo provedeno. Vzorek 8 s polypropylenovou voštinou byl připraven taktéž metodou ruční laminace doplněná

zavakuováním pod pružnou fólií z důvodu zlepšení spojení povrchových vrstev se středovou voštinou. [11, 29]

7.3.1 Vzorek 1

Vzorek 1 byl složen ze 7 vrstev:

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 350 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken o plošné hmotnosti 600 g/m²
- 1x vrstva kombinace biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° a skelné rohože o plošné hmotnosti 600 a 300 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° o plošné hmotnosti 600 g/m²
- 1x vrstva kombinace biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° a skelné rohože o plošné hmotnosti 600 a 300 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²

V níže uvedené tabulce jsou zapsány rozměry délky, šířky, tloušťky vzorku 1 a následně vypočítán průměr pomocí programu MS Excel a je zde také uvedena hmotnost a plošná hmotnost podle vztahu:

$$M = \frac{m}{a * b} \quad (1)$$

$$M = \frac{m}{a * b} = \frac{518,8}{0,292 * 0,248} = \frac{518,8}{0,072416} = 7164,2 \text{ g/m}^2$$

Tabulka 9 – Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 1

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	25,0	25,0	3,626	518,8	7164,2
2	24,6	24,6	3,588		
3	24,8	24,8	3,458		

4	24,7	24,7	3,855		
5	24,7	24,7	3,987		
Průměr	29,2	24,8	3,703		

7.3.2 Vzorek 2

Tento vzorek byl složen z 6 vrstev:

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva kombinace biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° a skelné rohože o plošné hmotnosti 600 a 300 g/m²
- 1x vrstva kombinace biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° a skelné rohože o plošné hmotnosti 600 a 300 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²

Tabulka 10 – Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 2

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	34,2	31,6	2,997	563,2	5132,3
2	34,4	31,8	3,203		
3	34,3	31,9	3,307		
4	34,5	31,9	3,142		
5	34,6	32,1	3,214		
Průměr	34,4	31,9	3,173		

7.3.3 Vzorek 3

Tento vzorek byl složen ze 7 vrstev:

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 350 g/m²

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 350 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° o plošné hmotnosti 600 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° o plošné hmotnosti 600 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²

Tabulka 11 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 3

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	34,7	25,1	3,997	625,3	7109,9
2	35,2	25,4	3,885		
3	34,9	25,5	3,591		
4	34,4	25,1	3,759		
5	35,3	25,0	3,683		
Průměr	34,9	25,2	3,8		

7.3.4 Vzorek 4

Tento vzorek byl složen ze 4 vrstev:

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva kombinace biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° a skelné rohože o plošné hmotnosti 600 a 300 g/m²
- 1x vrstva kombinace biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° a skelné rohože o plošné hmotnosti 600 a 300 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²

Tabulka 12 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 4

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	35,5	31,4	2,557	483,3	4340,8
2	35,6	31,1	2,841		
3	36,0	30,9	3,007		
4	36,1	30,9	2,939		
5	35,9	31,2	2,642		
Průměr	35,8	31,1	2,797		

7.3.5 Vzorek 5

Tento vzorek byl složen z 8 vrstev:

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 350 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²

Tabulka 13 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 5

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	43,0	39,5	4,081	1291,1	7470,3
2	43,1	39,9	4,265		
3	43,2	40,5	4,416		
4	42,9	40,5	4,379		
5	43,5	40,3	4,293		
Průměr	43,1	40,1	4,287		

7.3.6 Vzorek 6

Tento vzorek byl složen z 8 vrstev:

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 350 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošivané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²

Tabulka 14 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 6

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	44,9	40,1	3,949	1340,3	7376,3
2	45,0	40,0	4,024		
3	45,1	40,2	3,616		
4	45,4	40,4	3,933		
5	45,4	40,3	3,908		
Průměr	45,2	40,2	3,886		

7.3.7 Vzorek 7

Tento vzorek byl složen z 6 vrstev:

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 350 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²

Tabulka 15 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 7

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	44,1	41,7	2,865	987,1	5370,1
2	44,5	41,5	2,897		
3	44,5	41,2	2,852		
4	44,4	41,3	3,049		
5	44,3	41,1	2,757		
Průměr	44,4	41,4	2,884		

7.3.8 Vzorek 8

Tento vzorek byl složen z 6 vrstev skelných vláken a polypropylenové voštiny:

- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° o plošné hmotnosti 600 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x polypropylenová voština
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²

Tabulka 16 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 8

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	36,4	28,1	17,578	819,1	8008,1
2	36,4	28,1	17,606		
3	36,5	28,2	17,556		
4	36,3	28,1	17,494		
5	36,2	28,2	17,465		
Průměr	36,4	28,1	17,540		

7.3.9 Vzorek 9

Tento vzorek byl složen z 5 vrstev:

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 100 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 350 g/m²
- 1x vrstva kombinace biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° a skelné rohože o plošné hmotnosti 600 a 300 g/m²
- 1x vrstva kombinace biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 90° a skelné rohože o plošné hmotnosti 600 a 300 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 350 g/m²

Tabulka 17 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 9

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	35,5	31,7	2,856	505,2	4505,1
2	35,5	31,5	2,957		
3	35,6	31,4	2,605		
4	35,7	31,4	2,571		
5	35,9	31,6	2,510		
Průměr	35,6	31,5	2,700		

7.3.10 Vzorek 10

Tento vzorek byl složen z 6 vrstev:

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 350 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva biaxiálně prošívané výztuže skelných vláken pod úhlem 45° o plošné hmotnosti 980 g/m²
- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²

- 1x vrstva skelné rohože o plošné hmotnosti 450 g/m²

Tabulka 18 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 10

Počet měření	Délka (cm)	Šířka (cm)	Tloušťka (mm)	Hmotnost (g)	Plošná hmotnost (g/m ²)
1	41,7	36,9	3,957	955,4	6177,4
2	41,6	36,8	3,679		
3	41,7	37,0	3,464		
4	41,8	37,1	3,531		
5	42,0	37,2	3,714		
Průměr	41,8	37,0	3,669		

8 POUŽITÉ RÁŽE

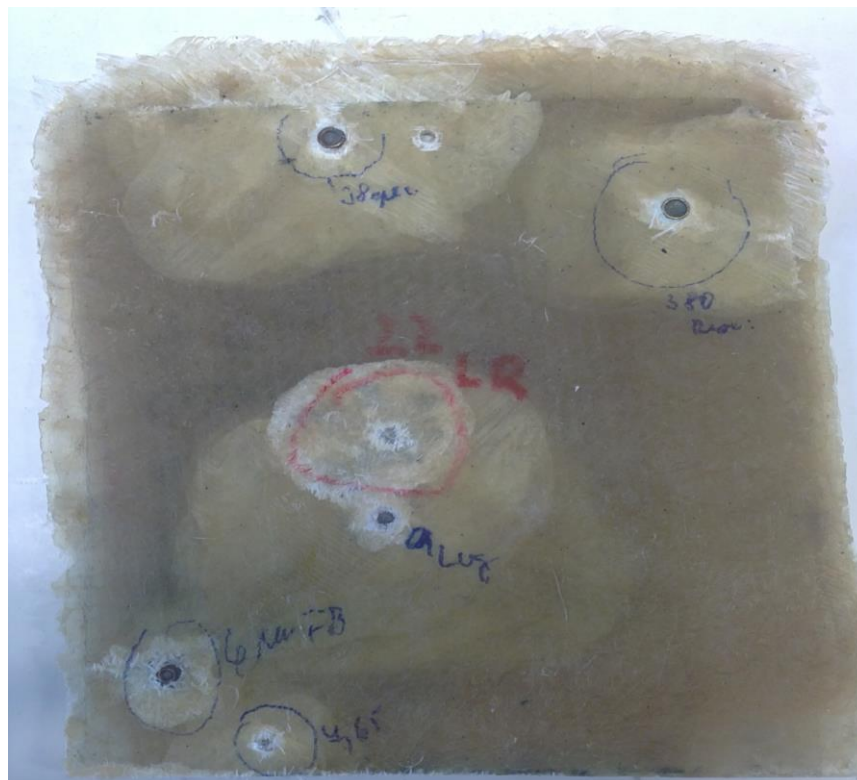
Pro průstřel všech 10 kompozitních vzorků bylo použito celkem 7 ráží, jejichž vlastnosti a rozměry jsou uvedeny v tabulkách 19 a 20.

Tabulka 19 – Vlastnosti použitého střeliva jednotlivých ráží

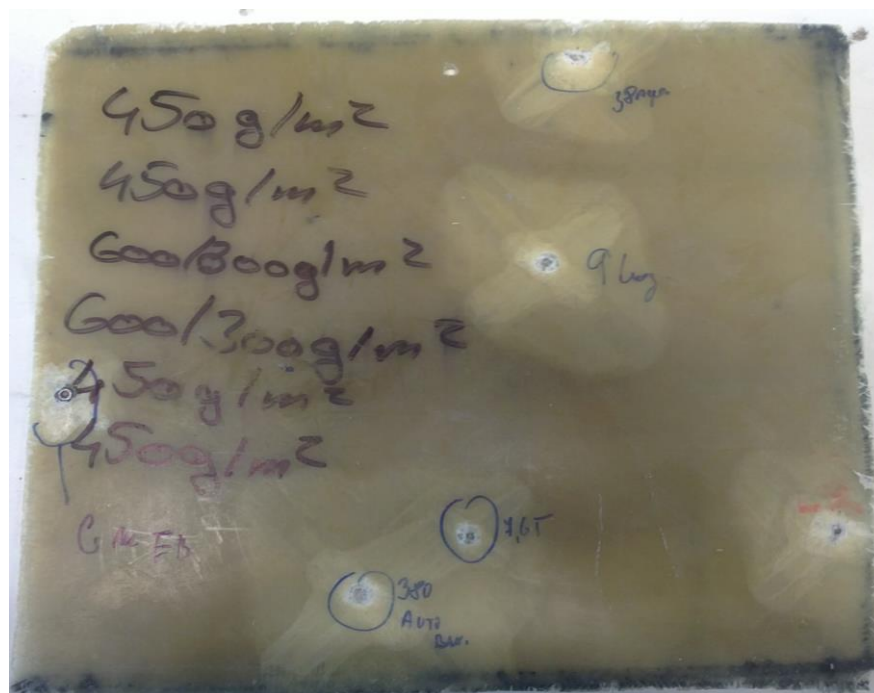
Ráže	Váha střely (g)	Rychlost (m/s)	Energie (J)
0.22 Flobert	1,2	275	43
6mm Flobert	1,0	200	20
0.22 LR	2,6	318	131
7,65 Browning	4,6	330	230
9mm Browning	6,2	300	260
0.38 Special	10,25	271	376
9mm Luger	8,0	360	518

Tabulka 20 – Rozměry použitého střeliva jednotlivých ráží

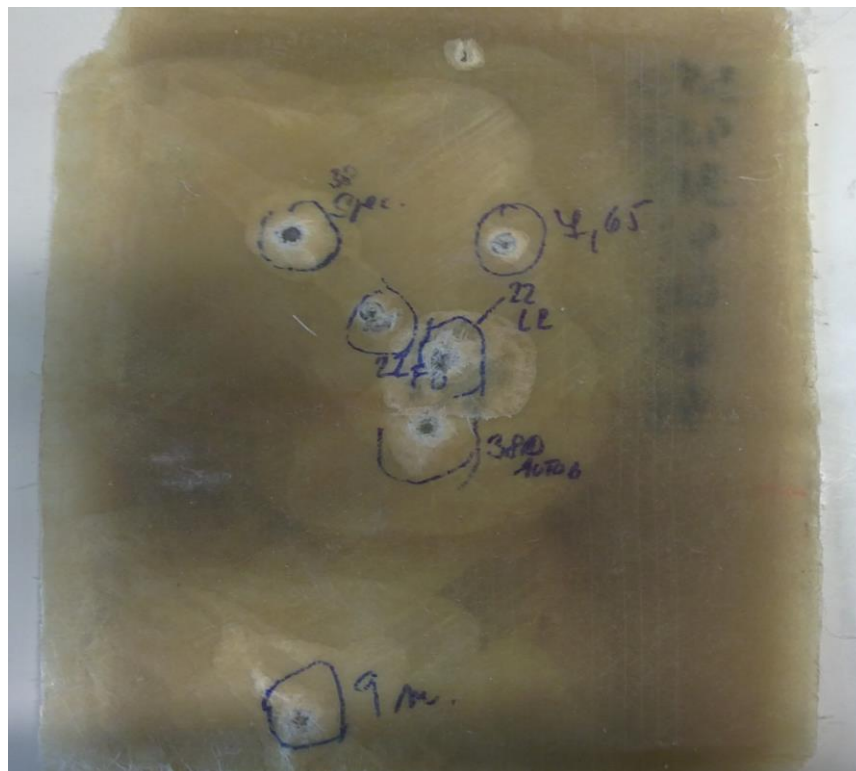
Ráže	Průměr střely (mm)	Délka náboje (mm)	Délka nábojnice (mm)	Průměr dna náboje (mm)
0.22 Flobert	5,75	12,70	6,80	7,06
6mm Flobert	5,80	5,06	2,90	6,84
0.22 LR	5,72	25,40	15,57	7,06
7,65 Browning	7,85	25,00	17,20	9,10
9mm Browning	9,04	25,00	17,20	9,10
0.38 Special	9,12	39,37	29,37	11,18
9mm Luger	9,03	26,69	19,15	9,96



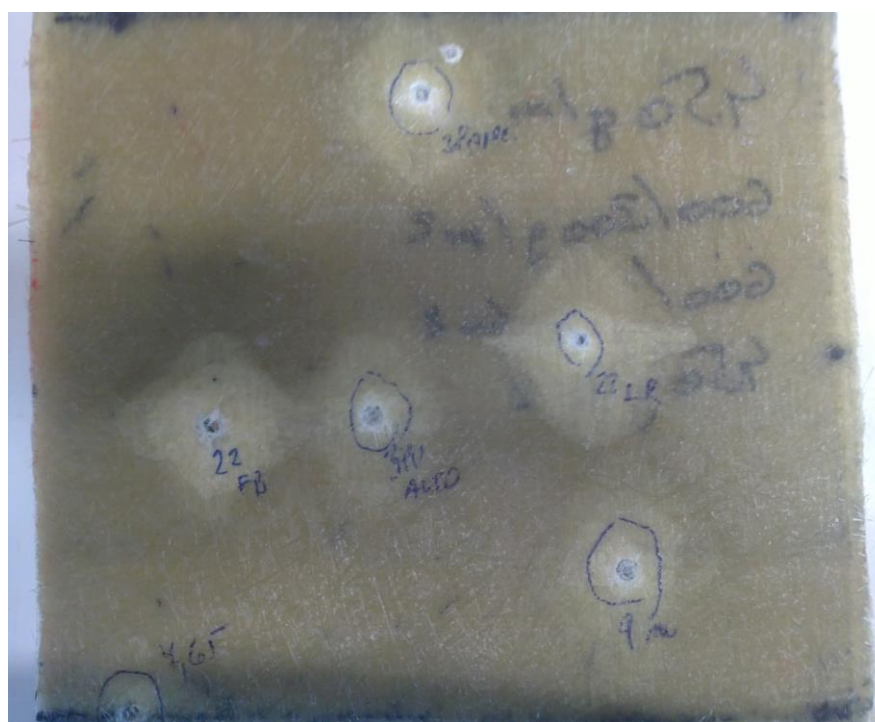
Obrázek 18 – Vzorek 1



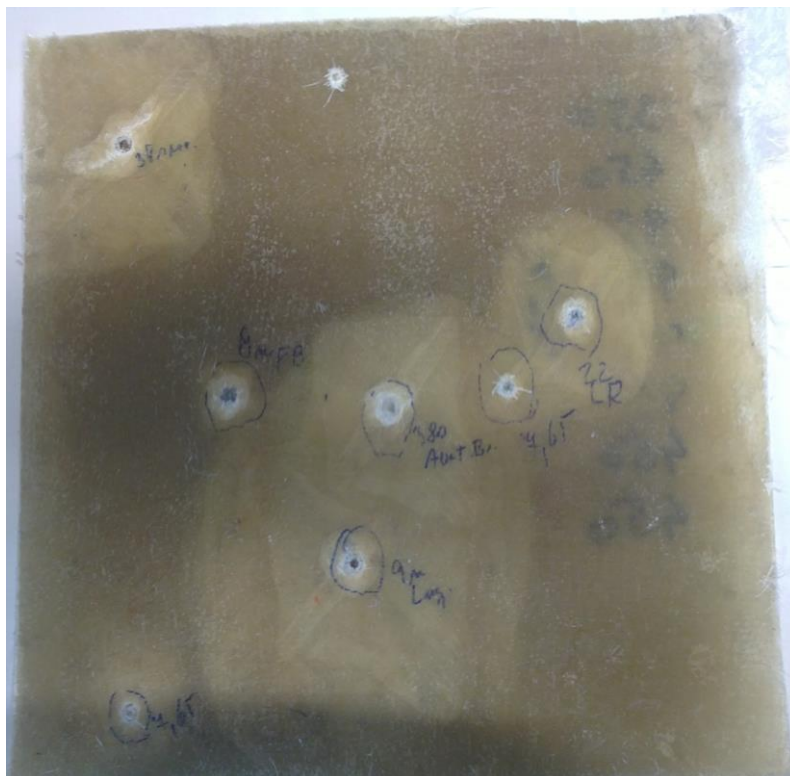
Obrázek 19 – Vzorek 2



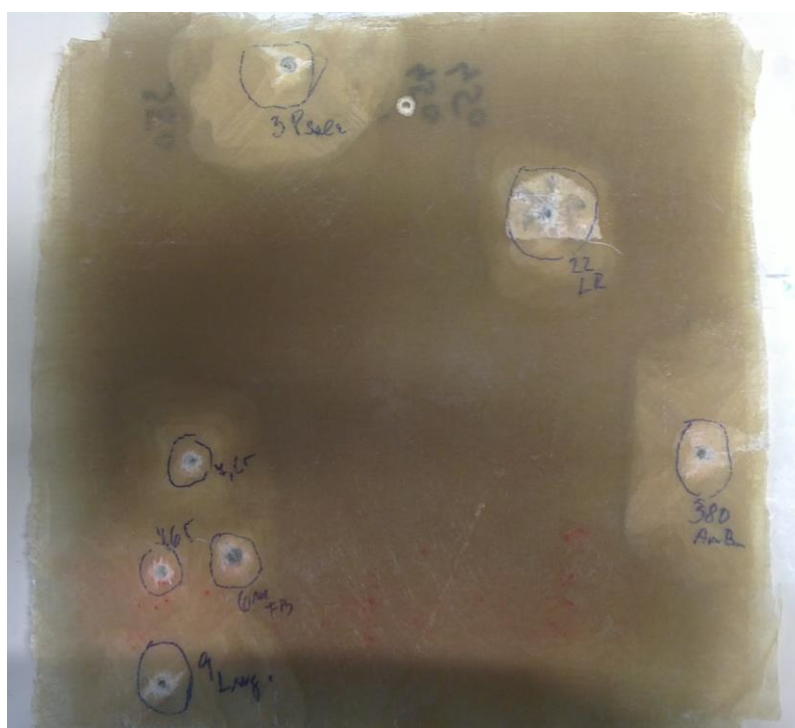
Obrázek 20 – Vzorek 3



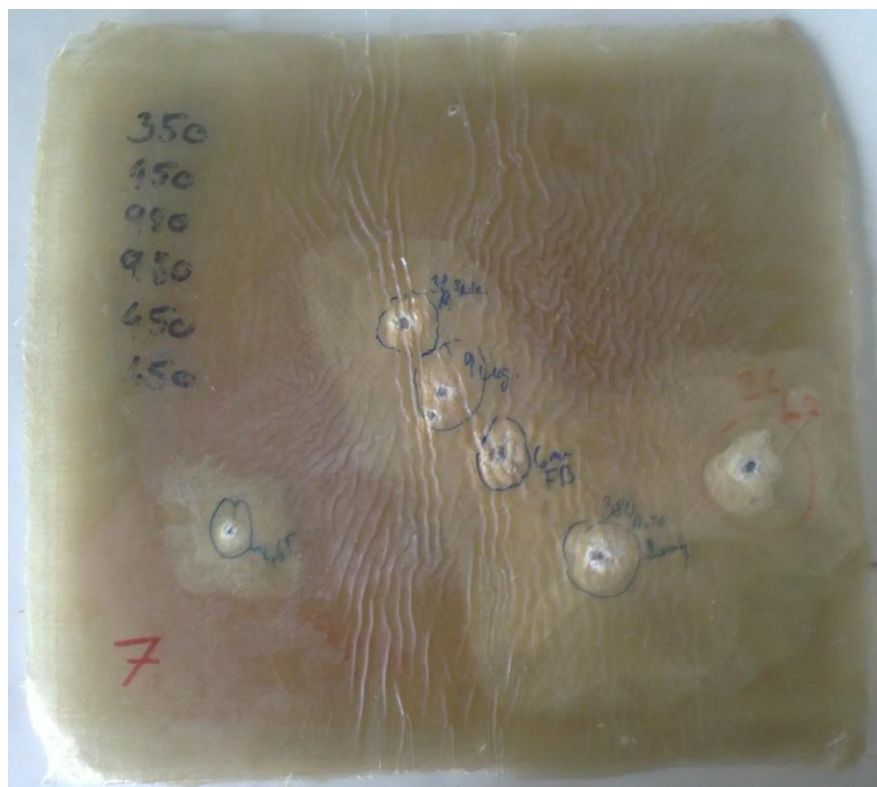
Obrázek 21 – Vzorek 4



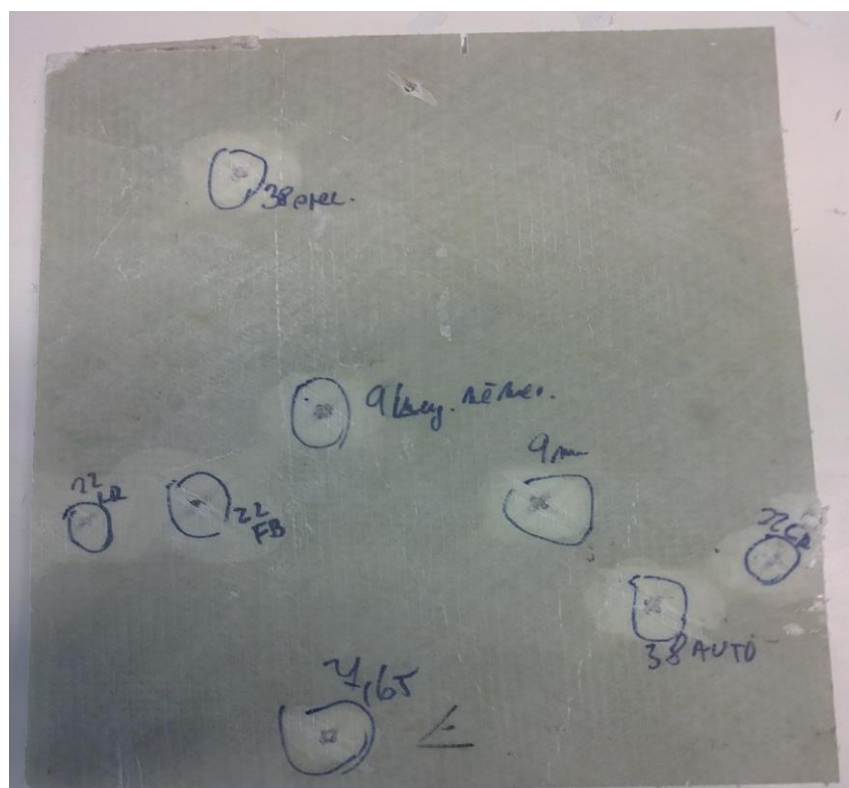
Obrázek 22 – Vzorek 5



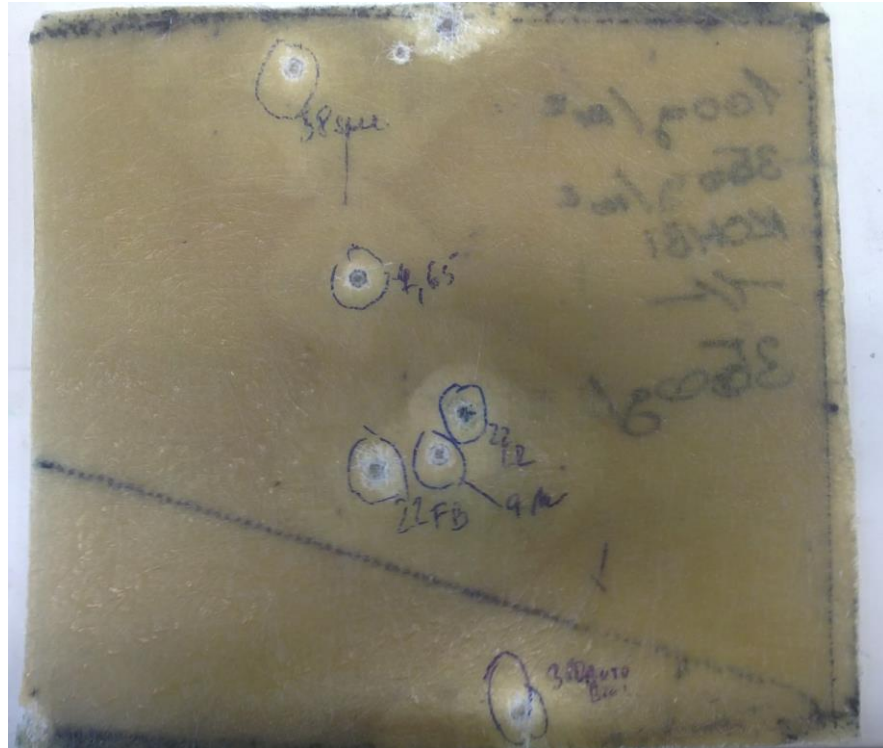
Obrázek 23 – Vzorek 6



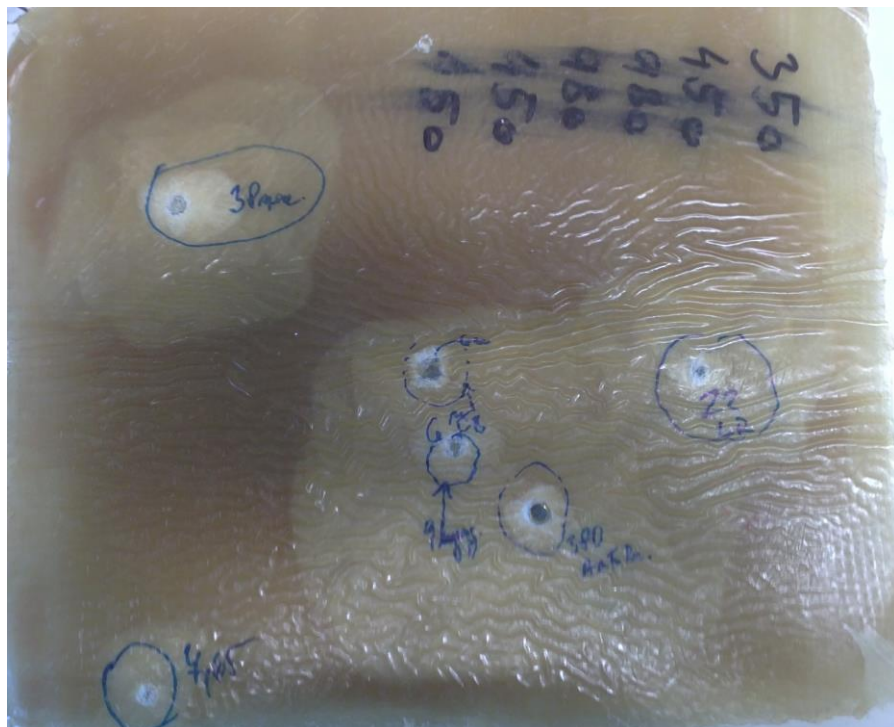
Obrázek 24 – Vzorek 7



Obrázek 25 – Vzorek 8



Obrázek 26 – Vzorek 9



Obrázek 27 – Vzorek 10

V tabulce číslo 21 uvedeny všechny ráže, které byly použity k průstřelu jednotlivých vzorků.

Tabulka 21 – Použité ráže u všech vzorků

	Použité ráže		Použité ráže		Použité ráže
Vzorek 1	0.38 Special	Vzorek 2	6mm Flobert,	Vzorek 3	9mm Luger
	9mm Browning		9mm Browning		9mm Browning
	0.22 LR		7,65 Browning		0.22 Flobert
	6mm Flobert		9mm Luger		0.22 LR
	7,65 Browning		0.38 Special		7,65 Browning
	9mm Luger		0.22 LR		0.38 Special
Vzorek 4	7,65 Browning	Vzorek 5	7,65 Browning	Vzorek 6	9mm Luger
	9mm Luger		9mm Luger		6mm Flobert
	0.22 Flobert		6mm Flobert		7,65 Browning
	9mm Browning		9mm Browning		9mm Browning
	0.22 LR		0.22 LR		0.22 LR
	0.38 Special		0.38		0.38 Special
Vzorek 7	7,65 Browning	Vzorek 8	0.38 Special	Vzorek 9	0.38 Special
	0.38 Special		9mm Luger		7,65 Browning
	9mm Luger		0.22 LR		0.22 LR
	6mm Flobert		0.22 Flobert		9mm Luger
	9mm Browning		9mm Browning		0.22 Flobert
	0.22 LR		7,65 Browning		9mm Browning
Vzorek 10	0.38 Special				
	6mm Flobert				
	9mm Luger				
	0.22 LR				
	9mm Browning				
	7,65 Browning				

9 VYHODNOCENÍ ODOLNOSTI PŘIPRAVENÝCH VZORKŮ PROTI PRŮSTŘELU

V níže uvedené tabulce číslo 22 jsou výsledky průstřelu všech vzorků. Můžeme zde vidět, které ráže pronikly vzorky a které nikoli.

Tabulka 22 – Výsledky průstřelu všech vzorků

Vzorek 1		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	nepoužito	nepoužito
6mm Flobert	-	✓
0.22 LR	-	✓
7,65 Browning	-	✓
9mm Browning	-	✓
0.38 Special	-	✓
9mm Luger	-	✓
Vzorek 2		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	nepoužito	nepoužito
6mm Flobert	-	✓
0.22 LR	✓	-
7,65 Browning	✓	-
9mm Browning	✓	-
0.38 Special	✓	-
9mm Luger	✓	-
Vzorek 3		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	✓	-
6mm Flobert	nepoužito	nepoužito
0.22 LR	-	✓
7,65 Browning	✓	-
9mm Browning	-	✓
0.38 Special	-	✓
9mm Luger	✓	-

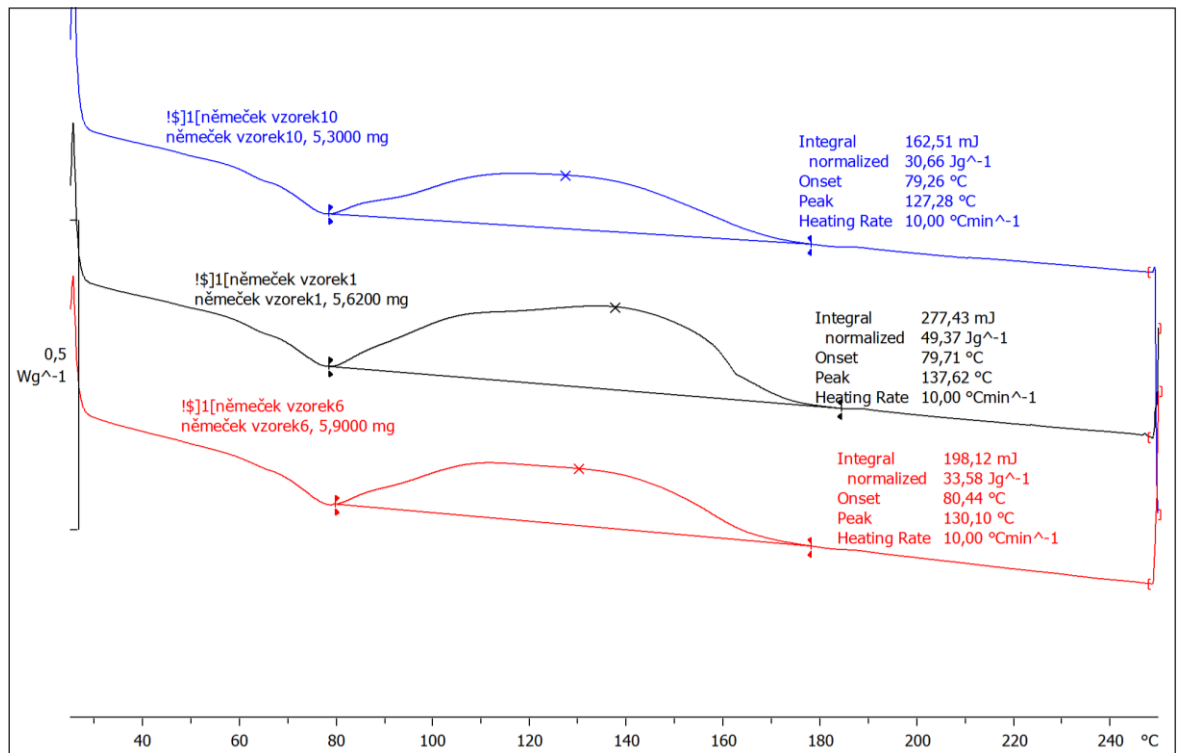
Vzorek 4		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	-	✓
6mm Flobert	nepoužito	nepoužito
0.22 LR	✓	-
7,65 Browning	✓	-
9mm Browning	✓	-
0.38 Special	✓	-
9mm Luger	✓	-
Vzorek 5		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	nepoužito	nepoužito
6mm Flobert	-	✓
0.22 LR	-	✓
7,65 Browning	✓	-
9mm Browning	-	✓
0.38 Special	-	✓
9mm Luger	-	✓
Vzorek 6		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	nepoužito	nepoužito
6mm Flobert	-	✓
0.22 LR	-	✓
7,65 Browning	✓	-
9mm Browning	-	✓
0.38 Special	-	✓
9mm Luger	✓	-
Vzorek 7		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	nepoužito	nepoužito
6mm Flobert	-	✓
0.22 LR	-	✓
7,65 Browning	✓	-

9mm Browning	-	✓
0.38 Special	✓	-
9mm Luger	✓	-
Vzorek 8		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	-	✓
6mm Flobert	nepoužito	nepoužito
0.22 LR	-	✓
7,65 Browning	✓	-
9mm Browning	✓	-
0.38 Special	✓	-
9mm Luger	✓	-
Vzorek 9		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	-	✓
6mm Flobert	nepoužito	nepoužito
0.22 LR	-	✓
7,65 Browning	✓	-
9mm Browning	✓	-
0.38 Special	✓	-
9mm Luger	✓	-
Vzorek 10		
Ráže	PRŮSTŘEL	NEPRŮSTŘEL
0.22 Flobert	nepoužito	nepoužito
6mm Flobert	-	✓
0.22 LR	-	✓
7,65 Browning	✓	-
9mm Browning	-	✓
0.38 Special	✓	-
9mm Luger	✓	-

10 VÝSLEDKY

Pro zjištění dalších vlastností kompozitního materiálu bylo použito několika měřících metod a to: DSC, DMA, optický mikroskop a rentgenový přístroj.

10.1 DSC

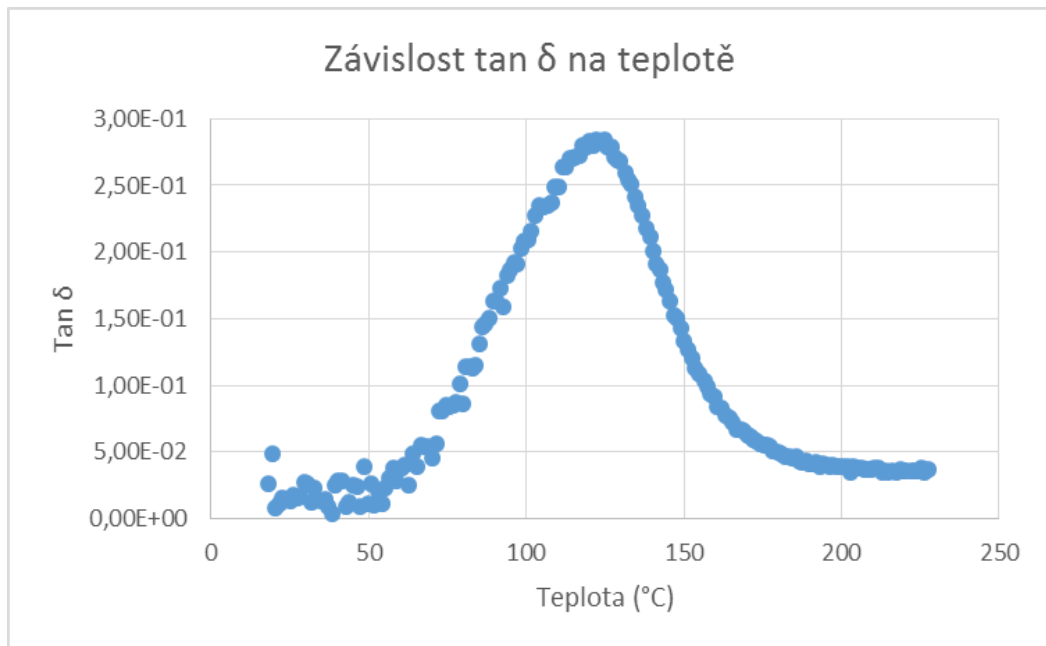


Graf 1 – Výsledky DSC pro vzorky 1, 6 a 10

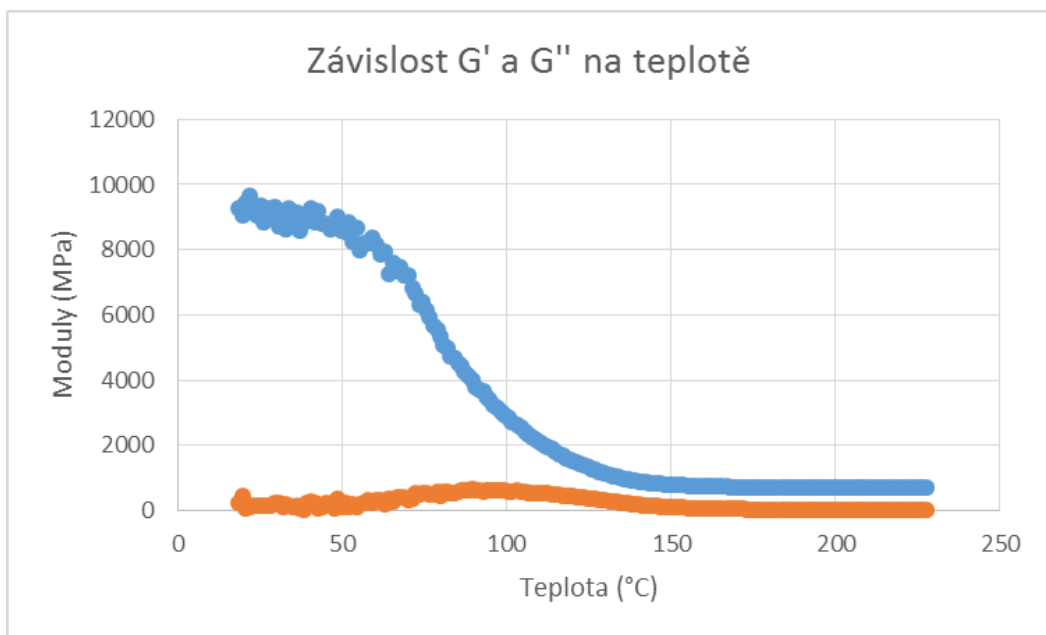
Pomocí diferenční skenovací kalorimetrie jsem se snažil zjistit, zda připravené vzorky byly zcela vytvrzeny. Pro tento účel byly vybrány vzorky 1, 6 a 10, jejichž navážky jsou následující: pro vzorek 1 činila navážka 5,62 mg, pro vzorek 6 5,9 mg a pro vzorek 10 pak 5,3 mg.

Podle výše uvedeného grafu můžeme říct, že k úplnému dotvrzení nedošlo. Tato skutečnost je nejvíce patrná v okolí teploty 80°C u všech 3 vzorků, kde je patrný pík. Jednou z možností, proč se v této oblasti objevil pík a proč nedošlo k dotvrzení je, přítomnost nezreagovaného peroxidu, jež se používá k tomu, aby pryskyřice vytvrdla.

10.2 DMA



Graf 2 – Závislost $\tan \delta$ na teplotě



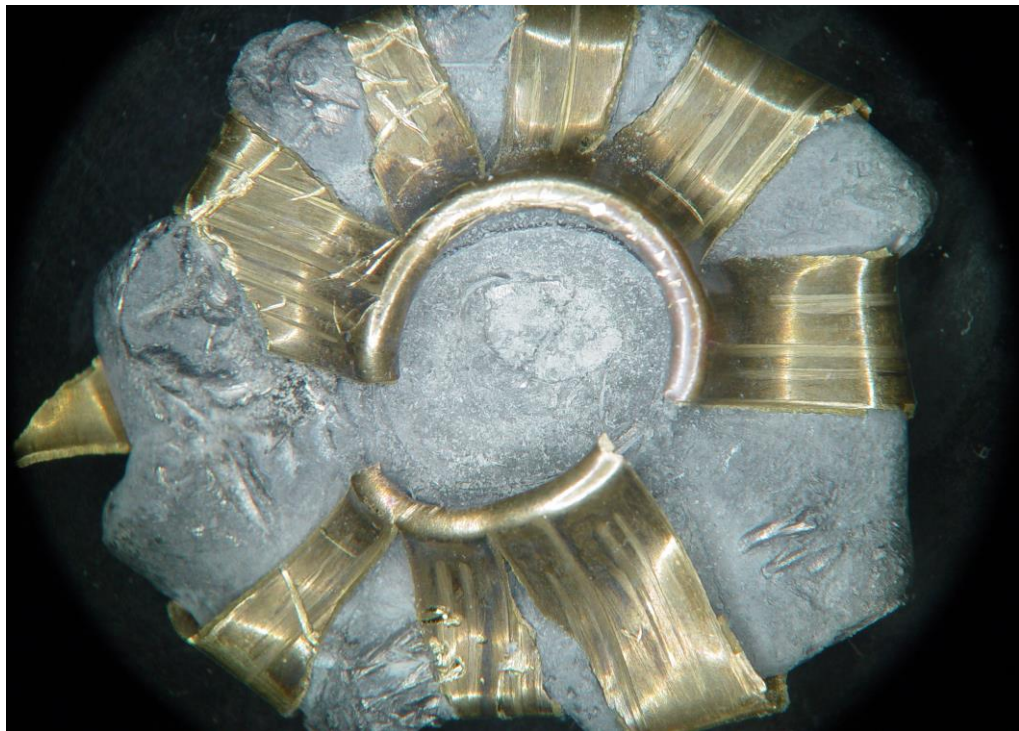
Graf 3 – Závislost G' a G'' na teplotě

Na grafech číslo 2 a 3 můžeme vidět závislost $\tan \delta$ na teplotě případně závislost G' a G'' na teplotě. Abych mohl popsat výsledky z DMA, musím nejprve vysvětlit následující veličiny: G' - soufázový dynamický modul pružnosti, G'' - ztrátový dynamický modul pružnosti, $\tan \delta$ - ztrátový činitel.

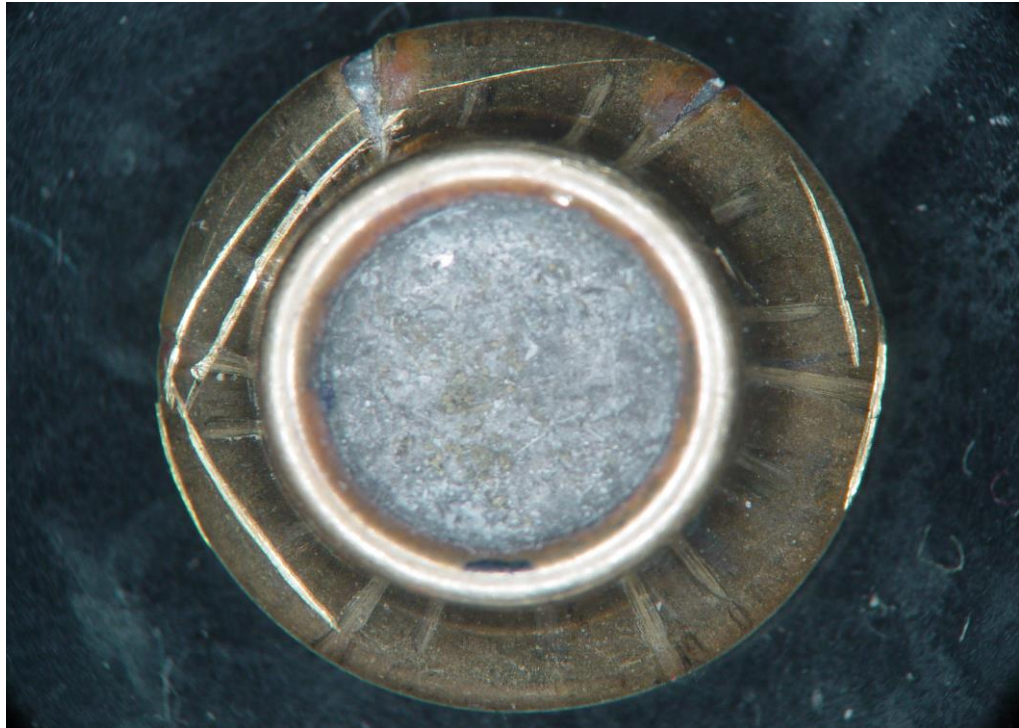
Proto, abychom mohli konkrétně popsat mechanické vlastnosti, lze využít komplexního dynamického modulu pružnosti. Jestliže se jedná o namáhání smykové, tak mluvíme o komplexním modulu pružnosti ve smyku, v jehož vztahu se vyskytuje reálná i imaginární složka (G' a G''). Reálná složka (G') představuje míru ideálně elastického odporu materiálu proti pružnému dynamickému napětí za daných frekvenčních a teplotních podmínek, kdežto imaginární složka (G'') vyjadřuje míru přenosu energie mezi molekulami. Ztrátový činitel ($\tan \delta$) slouží k tomu, aby se daly charakterizovat tlumící schopnosti tak, že se vytvoří poměr mezi energií disipované v cyklu a maximální energií akumulované v průběhu cyklu. Jednoduše řečeno, jedná se o podíl ztrátového dynamického modulu a soufázového modulu. [37]

Z grafu číslo 2 můžeme určit teplotu skelného přechodu našeho vzorku. Tato teplota se pohybuje okolo teploty 125°C.

10.3 Optický mikroskop



Obrázek 28 – Deformace střely ráže 0.22 LR



Obrázek 29 – Deformace střely ráže 0.38 Special

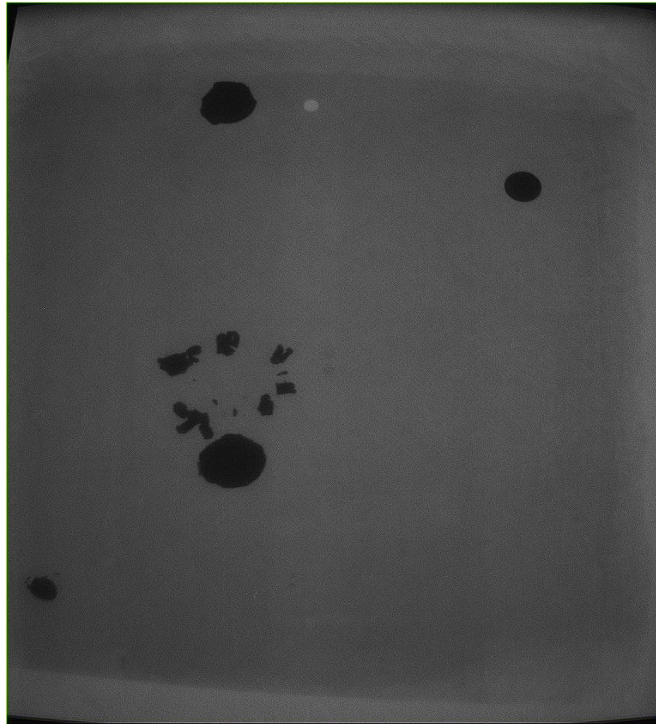
Na obrázcích 28 a 29 jsou zachyceny střely dvou ráží a to 0.22 LR a 0.38 Special. Střely byly vypreparovány ze vzorku číslo 1 jakožto vzorku, u kterého nedošlo k průstřelu z žádné použité ráže.

U střely ráže 0.22 LR došlo k podstatně větší deformaci než u střely ráže 0.38 Special. Je to způsobeno tím, že tato střela má olověné jádro s mosazným pláštěm. Oba tyto kovy jsou velmi měkké, proto došlo k tak výrazné deformaci střely.

U střely ráže 0.38 Special je zřejmá menší deformace. Je to tím, že, i když má střela olověné jádro, tak plášť je ocelový. Mechanické vlastnosti mosazi a oceli jsou velmi odlišné. Nejlepším příkladem je srovnání obrázku 28 a 29, kde je jasně vidět, jak jsou střely, jejichž plášť je vyroben každý z jiného materiálu, zdeformovány.

10.4 Rentgenový přístroj

Jedná se o přístroj, který ke svému účelu využívá rentgenového záření. Používá se pro detekci exploziv a různá pašovaná zboží v poště či jiných balících. Předmět se umístí do testovací komory a stisknutím příslušného tlačítka vznikne obrázek s vysokým rozlišením, který se poté zobrazí na monitoru pomocí příslušného programu. Snímky všech vzorků jsou uvedeny níže.



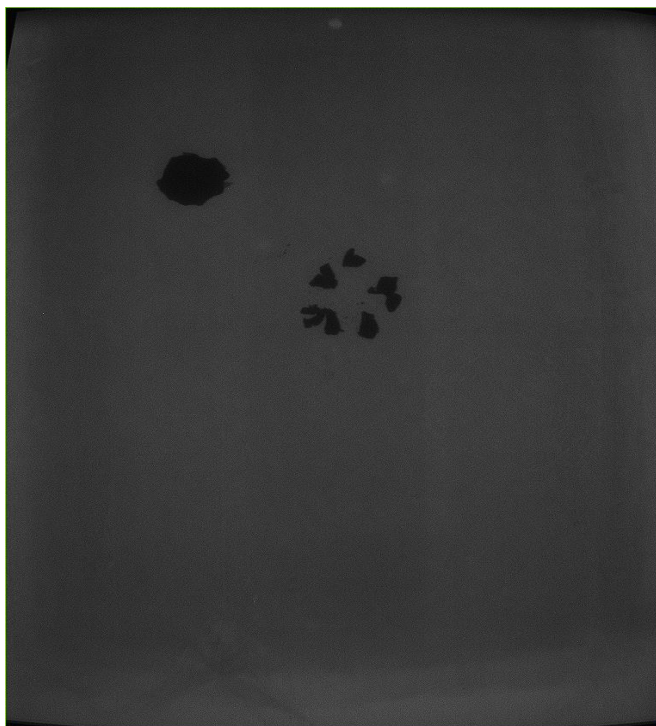
Obrázek 30 – Rentgenový snímek vzorku 1

Na obrázku 30 lze vidět rentgenový snímek vzorku 1. Je patrné, že ve vzorku zůstalo 5 zdeformovaných střel a jedna se dokonce odrazila od vzorku. Je tímto potvrzeno, že tento vzorek odolal všem rážím a je vhodný k našemu použití.



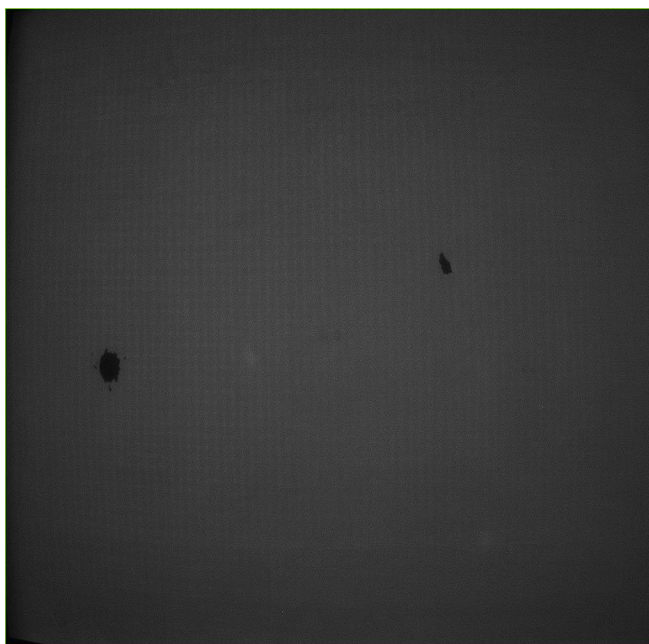
Obrázek 31 – Rentgenový snímek vzorku 2

Obrázek 31 jasně ukázal, že žádná střela v tomto vzorku nebyla zachycena. U tohoto vzorku došlo k průstřelu všech 6 střel. Na snímku jsou ale vidět dvě světlá místa, vpravo nahoře a vlevo dole, která značí průstřel dvou 9mm střel (9mm Luger vpravo nahoře a 9mm Browning vlevo dole).



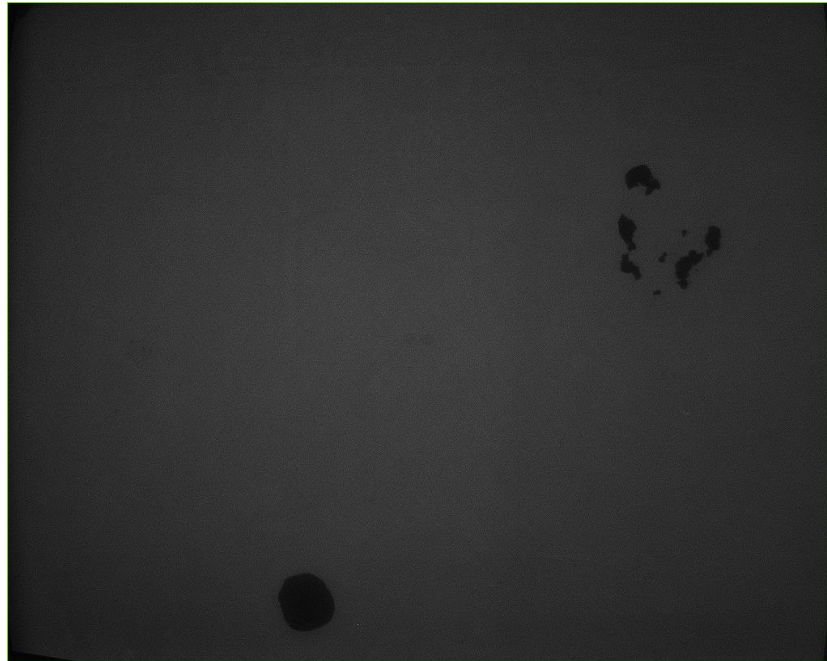
Obrázek 32 – Rentgenový snímek vzorku 3

Obrázek 32 ukazuje, že dvě střely byly zastaveny a jedna se pouze odrazila.



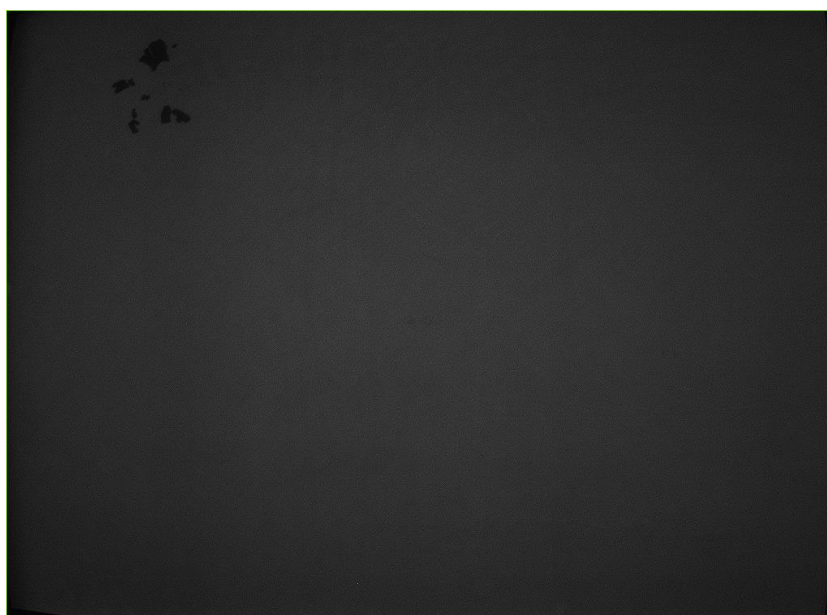
Obrázek 33 – Rentgenový snímek vzorku 4

Na obrázku 33 jde vidět pouze jedna střela, která neprošla tímto vzorkem a je situována v levé části vzorku. Jedná se o střelu ráže 0.22 FB. V prostřední části jde vidět část střely ráže 0.22 LR, která ovšem prošla vzorkem.



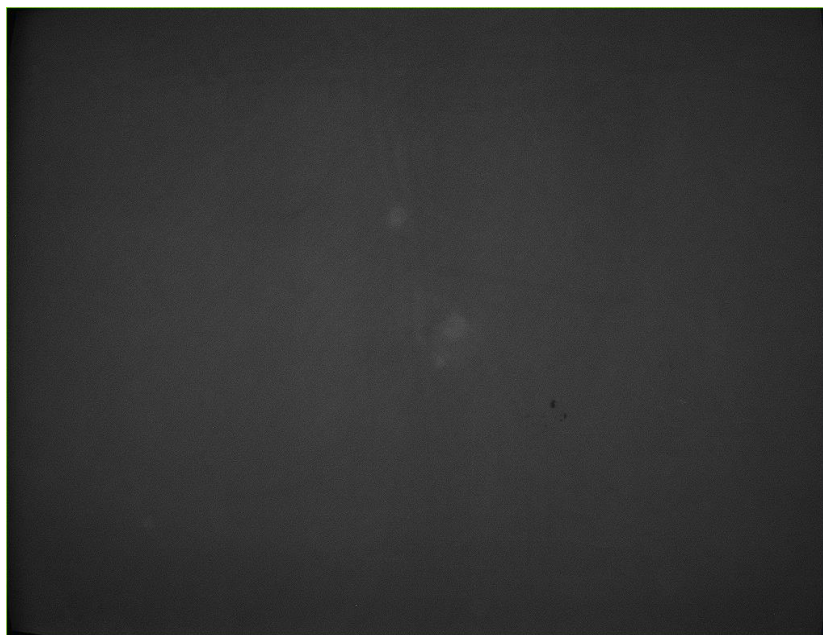
Obrázek 34 – Rentgenový snímek vzorku 5

U vzorku 5 došlo k průstřelu pouze u jedné ráže a u zbylých pěti nedošlo k průstřelu. Na snímku 34 jsou ovšem vidět pouze dvě střely, které neprošly. Zbylé tři střely, které neprošly, se nejspíš odrazily od vzorku.



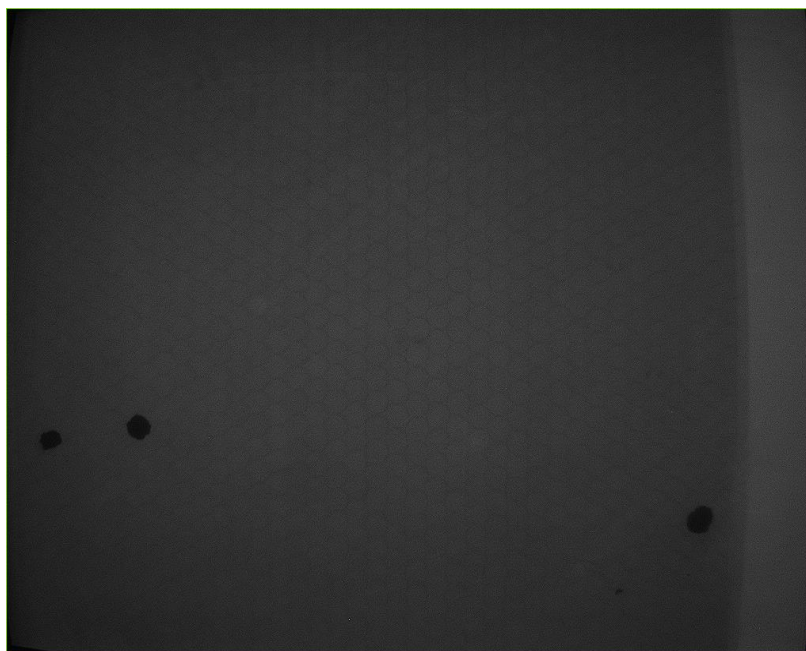
Obrázek 35 – Rentgenový snímek vzorku 6

I když je na rentgenovém snímku vzorku 6 vidět pouze jedna střela, ve skutečnosti tento vzorek zastavil 4 střely, ty se ale nejspíš musely odrazit.



Obrázek 36 – Rentgenový snímek vzorku 7

Ačkoli nejde na obrázku 36 nic vidět, tak tento vzorek ve skutečnosti zastavil 3 střely. Tři střely, které prošly vzorkem, jdou vidět jako světlé tečky uprostřed vzorku.



Obrázek 37 – Rentgenový snímek vzorku 8

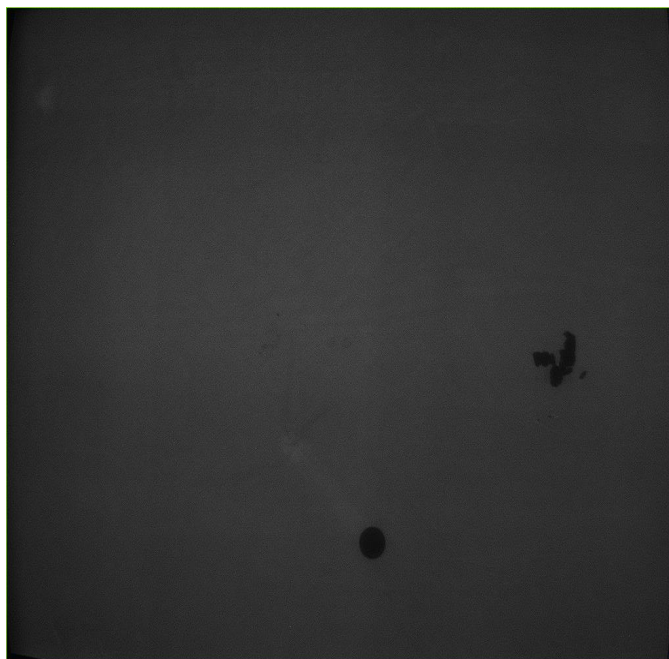
Na rozdíl od ostatních vzorků je vzorek 8 charakteristický tím, že je jeho součástí i polyolefinová voština, která jde vidět na snímku 37 jako pravidelné šestiúhelníky. Zdá se, že

by tento vzorek mohl být nejodolnější, nicméně není tomu tak, odolal pouze dvěma rážím, které jsou situovány do levé části.



Obrázek 38 – Rentgenový snímek vzorku 9

U obrázku 38 lze spatřit pouze jednu střelu, jež neprošla vzorkem a druhá střela se s největší pravděpodobností odrazila od vzorku. U střely, která zůstala ve vzorku, můžeme zpozorovat světlou tečku, která značí průstřel střelou ráže 9mm Luger.



Obrázek 39 – Rentgenový snímek vzorku 10

Na rentgenovém snímku vzorku 10 je možno spatřit dvě střely, jež neprošly vzorkem a jedna střela, která taktéž neprošla, na snímku není z důvodu odrazu této střely od vzorku.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit polymerní kompozitní materiál na bázi polyesterové pryskyřice se skelnými vlákny. Dalším cílem bylo nechat otestovat vytvořené vzorky proti průstřelu a zjistit pomocí určených měřících metod další vlastnosti vzniklého kompozitu.

Nejdůležitějším bodem bylo zjistit, zda jsou vytvořené vzorky odolné proti průstřelu běžných krátkých palných zbraní. Bylo vytvořeno celkem 10 vzorků s různou skladbou výztuže, které se poté nechaly prostřílet různými rážemi. Celkem bylo použito 7 ráží, z nichž 5 ráží bylo použito u všech vzorků a u dvou ráží došlo ke střídání tak, že ráže 0.22 Flobert byla použita u 4 vzorků a 6mm Flobert byla použita u 6 vzorků. Jako nejpevnější a nejodolnější se jeví vzorek číslo 1, u kterého nedošlo k průstřelu ani z jedné ráže.

Z tohoto vzorku bylo poté provedeno několik měření. Jedním z těchto měření je metoda DMA. Pomocí této metody byla stanovena teplota skelného přechodu, která byla přibližně 125°C.

Další metodou, jež byla použita pro další vyhodnocování, byla metoda DSC. Pro tento pokus byly vybrány namátkově vzorky 1, 6 a 10, kde se měřilo, zda došlo k vytvrzení připravených vzorků. Vytvrzování nebylo úplné pravděpodobně z důvodu nízké vytvrzovací teploty (cca 20°C). Vzorky nebyly dotvrzovány, neboť se předpokládalo dotvrzení v průběhu skladování vzorků. Časový interval mezi přípravou a testování prostřelením byl asi 3 měsíce v letním období. DSC měření byly prováděny asi 1 rok po přípravě vzorků.

Byl použit i optický mikroskop, kterým byly zachyceny snímky ukazující deformaci dvou použitých střel. Tyto střely byly vypreparovány ze vzorku číslo 1, který byl určen jako nejodolnější. Byly střely ráže 0.22 LR a 0.38 Special.

A na závěr byl použit rentgenový přístroj, kterým byly zachyceny snímky, na nichž jsou zobrazeny jednotlivé vzorky po zkoušce průstřelem. Je na nich taktéž vidět jaké střely zůstaly zaklíněny ve vzorku (tmavé body) a které prošly (světlejší body).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GDP Koral Composites. [online]. [cit. 2014-09-18]. Dostupné z: <http://www.gdpkoral.cz/UserFiles/File/PDF-design-manual/kompozity.pdf>
- [2] VRBKA, Jan. *Mechanika kompozitů* [online]. Brno, 2008 [cit. 2014-09-23]. VUT Brno.
- [3] Kompozity. [online]. [cit. 2014-09-23]. Dostupné z: <http://www.prefa-kompozity.cz/materialove-vlastnosti>
- [4] THOMAS, Robert. *Sledování vytvrzovacího procesu polymerních materiálů*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [5] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 2005, 190 s. ISBN 80-708-0568-4.
- [6] LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004, 154 s. ISBN 80-704-3273-X.
- [7] PEŠKOVÁ, Iva. *Mechanické vlastnosti kompozitních materiálů s krátkovlákněným čedičem* [online]. Liberec, 2011 [cit. 2014-10-04]. Bakalářská práce. Technická Univerzita v Liberci.
- [8] VŠCHT. *Fyzika polymerů* [online]. [cit. 2014-10-05]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/pol/Fyzika%20polymeru/15%20KAPITOLA%2013.pdf>
- [9] ČERNOŠEK, J. *Úvod do problematiky kompozitních materiálů*. Zlín, 1992. VUT v Brně, Fakulta technologická.
- [10] MÍŠEK, Bohumil. *Kompozity*. 1. vyd. Brno: Technický dozorčí spolek - Sekce materiálů a svařování, 2003, 81 s. ISBN 80-903-3860-7.
- [11] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vyd. Brno: VUT, 2003, 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [12] *Základy balistiky* [online]. 2011 [cit. 2014-11-14]. Dostupné z: <http://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/balistika>
- [13] KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: střely, přesnost střelby, účinek*. Vyd. 1. Praha: Naše vojsko, 2004, 235 s. ISBN 80-206-0749-8.

- [14] *Balistika* [online]. 2007 [cit. 2014-11-14]. Dostupné z: <http://www.balistika.cz/>
- [15] KRUPICA, Dalibor. *Studie odolnosti prostředků osobní balistické ochrany pracovníka SBS*. Zlín, 2012. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [16] *Taktická malorážka* [online]. [cit. 2014-11-14]. Dostupné z: <http://www.takticka-malorazka.cz/teorie/tm-teorie-o-zakladech-balistiky/>
- [17] *Balistika - všeobecně* [online]. [cit. 2014-11-14]. Dostupné z: <http://balistika.wu.cz/vseobecne.html>
- [18] *Odstřelovač* [online]. [cit. 2014-11-15]. Dostupné z: http://odstrelovac.wz.cz/index_soubory/Page393.htm
- [19] PLANKA, Bohumil. *Kriminalistická balistika*. Praha, 2008.
- [20] Tresorag-firesafe. [online]. [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: <http://www.tresorag.cz/cz/pruvodce-bezpecnosti/bezpecnostni-dvere-okna-propusti-a-odolnost/>
- [21] BUCHAR, Jaroslav a Josef VOLDŘICH. *Terminální balistika*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2003, 340 s. ISBN 80-200-1222-2.
- [22] NETÍK, Tomáš. *Vliv stupně balistické ochrany automobilového skla na optické vlastnosti* [online]. Pardubice, 2008 [cit. 2015-04-01]. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [23] FIŠER, M., Balla, J. *Malorážové zbraně- Konstrukce*. Brno: Univerzita obrany, 2004. U-1377
- [24] TOLAR, Jan. *Balistická odolnost automobilu* [online]. Pardubice, 2008 [cit. 2015-04-03]. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [25] Detektoring. [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://detektory.hantec.cz/clanky/naboj-7-62-x-25-tokarev-male-povidani-o-nabojich-59.html>
- [26] KOMENDA, Jan. *Střelivo loveckých, sportovních a obranných zbraní*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006, 131 s. ISBN 978-80-248-1254-0.

- [27] Koral. [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.koral.biz/materialy-a-vlastnosti.htm>
- [28] GRM Systems. [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: http://www.grm-systems.cz/skelne-vyztuze#jednosmerna_skelna_vlakna
- [29] Form s.r.o. [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.form-composite.com/rucni-laminace>
- [30] NAWAB, Yasir, Pascal CASARI, Nicolas BOYARD a Frédéric JACQUEMIN. Characterization of the cure shrinkage, reaction kinetics, bulk modulus and thermal conductivity of thermoset resin from a single experiment. *Journal of Materials Science* [online]. 2012, vol. 48, issue 6, s. 2394-2403 [cit. 2015-04-27]. DOI: 10.1007/s10853-012-7026-6.
- [31] BEN-DOR, G., A. DUBINSKY a T. ELPERIN. Optimization of two-component composite armor against ballistic impact. *Composite Structures*[online]. 2005, vol. 69, issue 1, s. 89-94 [cit. 2015-04-27]. DOI: 10.1016/j.compstruct.2004.05.014.
- [32] MARSYAHYO, E., A. DUBINSKY, T. HERU SANTOSO BUDI ROCHARDJO a SOEKRISNO. Optimization of two-component composite armor against ballistic impact. *Journal of Industrial Textiles* [online]. 2009-07-03, vol. 39, issue 1, s. 89-94 [cit. 2015-04-27]. DOI: 10.1177/1528083708098913.
- [33] SHIM, V.P.W., Y.B. GUO a X.Y. TAN. Effect of Pre-Tension on Ballistic Resistance of Woven Fabric. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 566, s. 325-331. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.566.325.
- [34] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [35] MURPHY, John. *Additives for plastics handbooks*. 2nd ed. New York, NY, USA: Elsevier Science Ltd., 2001, s. 48-49. ISBN 1856173704
- [36] EDITORS, A. *Handbook of polymer blends and composites*. 1. publ. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, [England]: Rapra Technology Lt, 2002, 351 s. ISBN 18-595-7249-9
- [37] RÓZSA, J., Dynamické vlastnosti plněného polypropylenu (diplomová práce) VUT-FT Zlín, 1990

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ρ	hustota
E_t	modul pružnosti v tahu
σ_{Pt}	mez pevnosti v tahu
$\epsilon_{m,krit}$	mezní tažnost
E_k	modul pružnosti kompozitu
E_m	modul pružnosti matrice
E_p	modul pružnosti plniva
E_d	modul pružnosti dutin
l, d	podélný a příčný rozměr vláken
Al_2O_3	oxid hlinitý
TiB_2	borid titanu
ZrO_2	oxid zirkoničitý
m/sec	metr za sekundu
v	rychlost
D	průměr projektilu
L	délka projektilu
H	tloušťka terče
L_0	délka střely
V_0	rychlost střely
J	energie střely
L	olovo
FJ	celoplášťová střela
HC1	tvrdé ocelové jádro
RN	ogivální tvar
SCP	měkké jádro a ocelový penetrátor
CB	kuželová střela
FN	plochá přední část
PB	špičatá střela
SC	měkké jádro (olovo)
g/m^2	plošná hmotnost
m	hmotnost střely
G'	soufázový dynamický modul pružnosti

G''	ztrátový dynamický modul pružnosti
$\tan \delta$	ztrátový činitel

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 - Dělení vláknové výztuže [6]</i>	14
<i>Obrázek 2 - Vliv částicových a vláknitých plniv na relativní změnu modulu pružnosti E polymerní matrice [8]</i>	14
<i>Obrázek 3 - Typy uložení vláken ve vláknových kompozitech [2]</i>	16
<i>Obrázek 4 - Vybrané vláknové kompozity a jejich prostorové uspořádání [2]</i>	16
<i>Obrázek 5 – Řez hlavní – odehrávají se zde všechny děje vnitřní balistiky [16]</i>	21
<i>Obrázek 6 – Střela, která opouští hlaveň zbraně [18]</i>	22
<i>Obrázek 7 – Schéma, které znázorňuje základní úhly geometrie interakce střely s rovinným terčem [22]</i>	24
<i>Obrázek 8 – Schéma průniku střely do terče při kolmém dopadu [22]</i>	25
<i>Obrázek 9 – Perforace rovinného terče při kolmém dopadu [22]</i>	25
<i>Obrázek 10 – Řez nábojem [25]</i>	30
<i>Obrázek 11 – Různé tvary pistolových střel [24]</i>	32
<i>Obrázek 12 – Různé tvary puškových střel [24]</i>	32
<i>Obrázek 13 – Možnosti vnitřního uspořádání u puškových střel</i>	33
<i>Obrázek 14 – Speciální druhy střel [25]</i>	34
<i>Obrázek 15 – Skelná rohož</i>	43
<i>Obrázek 16 – Biaxiálně prošivaná výztuž (pod úhlem 45°)</i>	44
<i>Obrázek 17 – Biaxiálně prošivaná výztuž (pod úhlem 90°)</i>	44
<i>Obrázek 18 – Vzorek 1</i>	55
<i>Obrázek 19 – Vzorek 2</i>	55
<i>Obrázek 20 – Vzorek 3</i>	56
<i>Obrázek 21 – Vzorek 4</i>	56
<i>Obrázek 22 – Vzorek 5</i>	57
<i>Obrázek 23 – Vzorek 6</i>	57
<i>Obrázek 24 – Vzorek 7</i>	58
<i>Obrázek 25 – Vzorek 8</i>	58
<i>Obrázek 26 – Vzorek 9</i>	59
<i>Obrázek 27 – Vzorek 10</i>	59
<i>Obrázek 28 – Deformace střely ráže 0.22 LR</i>	66
<i>Obrázek 29 – Deformace střely ráže 0.38 Special</i>	67

<i>Obrázek 30 – Rentgenový snímek vzorku 1</i>	68
<i>Obrázek 31 – Rentgenový snímek vzorku 2</i>	68
<i>Obrázek 32 – Rentgenový snímek vzorku 3</i>	69
<i>Obrázek 33 – Rentgenový snímek vzorku 4</i>	69
<i>Obrázek 34 – Rentgenový snímek vzorku 5</i>	70
<i>Obrázek 35 – Rentgenový snímek vzorku 6</i>	70
<i>Obrázek 36 – Rentgenový snímek vzorku 7</i>	71
<i>Obrázek 37 – Rentgenový snímek vzorku 8</i>	71
<i>Obrázek 38 – Rentgenový snímek vzorku 9</i>	72
<i>Obrázek 39 – Rentgenový snímek vzorku 10</i>	72

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 - Mechanické vlastnosti vybraných termosetů a termoplastů [2]</i>	13
<i>Tabulka 2 - Porovnání některých vlastností kompozitu [4]</i>	17
<i>Tabulka 3 - Výrobní technologické postupy kompozitních materiálů [9]</i>	18
<i>Tabulka 4 – Rozdělení palných zbraní [23, 24]</i>	27
<i>Tabulka 5 – Rozdělení střeliva podle jednotlivých kritérií [24]</i>	30
<i>Tabulka 6 – Třídy balistické odolnosti podle norem EN 1522, 1523, 1063 [26, 31]</i>	35
<i>Tabulka 7 – Třídy balistické odolnosti podle vojenských předpisů STANAG 4569 (Annex A) [26, 31]</i>	36
<i>Tabulka 8 – Vlastnosti použitého peroxidu*</i>	42
<i>Tabulka 9 – Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 1</i>	45
<i>Tabulka 10 – Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 2</i>	46
<i>Tabulka 11 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 3</i>	47
<i>Tabulka 12 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 4</i>	48
<i>Tabulka 13 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 5</i>	49
<i>Tabulka 14 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 6</i>	50
<i>Tabulka 15 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 7</i>	50
<i>Tabulka 16 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 8</i>	51
<i>Tabulka 17 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 9</i>	52
<i>Tabulka 18 - Rozměry, hmotnost a plošná hmotnost vzorku 10</i>	53
<i>Tabulka 19 – Vlastnosti použitého střeliva jednotlivých ráží</i>	54
<i>Tabulka 20 – Rozměry použitého střeliva jednotlivých ráží</i>	54
<i>Tabulka 21 – Použité ráže u všech vzorků</i>	60
<i>Tabulka 22 – Výsledky průstřelu všech vzorků</i>	61

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 – Výsledky DSC pro vzorky 1, 6 a 10</i>	64
<i>Graf 2 – Závislost $\tan \delta$ na teplotě.....</i>	65
<i>Graf 3 – Závislost G' a G'' na teplotě</i>	65