

Balistická odolnost kompozitních materiálů

Marian Skucius

Bakalářská práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marian Skucius**
Osobní číslo: **T16113**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Balistická odolnost kompozitních materiálů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie na dané téma**
- 2. Návrh experimentu a výroba kompozitů s elastomerovou maticí**
- 3. Testování balistické odolnosti vyrobených kompozitů**

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **AGARWAL, Bhagwan D.; BROUTMAN, Lawrence J.; CHANDRASHEKHARA, K.**
Analysis and performance of fiber composites. John Wiley & Sons, 2017.
2. **GAY, Daniel. Composite materials: design and applications. Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2015], xxiii, 611. ISBN 978-1-4665-8487-7.**
3. **DAĎOUREK, Karel. Kompozitní materiály – modely a vlastnosti. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 55 s. ISBN 80-7083-972-4.**

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 19. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

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 7.5. 2019

.....

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 nevýdělečně 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem, výrobou a zkoušením kompozitních materiálů na stanovení balistické odolnosti. K experimentu byly použity tkaniny z aramidových vláken a kaučuková směs určená pro pogumování aramidu. Na vzniklém kompozitu byla zkoumána balistická odolnost za použití střelných zbraní palných. Práce popisuje postup výroby vzorků, použité zbraně a střelivo pro testování, zjištěné výsledky a návrhy na možné zlepšení produktu.

Klíčová slova: kompozit, aramid, kaučuková směs, vlákno, střelná zbraň palná, střela, balistika, třída balistické odolnosti

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with design, production and testing of composite materials for determination of ballistic resistance. Aramid fiber fabrics and a rubber blend for aramid rubberizing were used for the experiment. On the resulting composite was investigated ballistic resistance using firearms. The work describes the process of manufacturing samples, used weapons and ammunition for testing, found results and suggestions for possible product improvement.

Keywords: Composite, Aramid, Rubber Blend, Fiber, Firearm, Bullet, Ballistics, Ballistic Resistance Class

Poděkování:

Tímto děkuji mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za jeho čas, velkou ochotu, cenné rady a především velkou pomoc, kterou mi poskytl pro správné zpracování a zdárné dokončení této práce.

Dále děkuji doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc. za pomoc při získávání potřebného materiálu a rady v oblasti technologie výroby.

Největší poděkování však patří mým rodičům, kteří mě po celou dobu mého bakalářského studia podporovali a zajišťovali mi dobré prostředí pro klidné studium.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	12
1.1 CHARAKTERISTIKY VÝZTUŽE	13
1.1.1 Skleněná vlákna	13
1.1.2 Uhlíková vlákna	14
1.1.3 Aramidová vlákna	14
1.1.4 Přehled dvouvláknových tkanin	15
1.2 CHARAKTERISTIKY MATRIC	15
1.2.1 Polymerní matrice	16
1.2.1.1 Epoxidové pryskyřice.....	17
1.2.2 Kovová matrice	17
1.2.3 Keramická matrice	17
1.2.4 Uhlíková matrice	18
2 BALISTICKÁ OCHRANA	19
2.1 TŘÍDY BALISTICKÉ OCHRANY	20
2.1.1 Česká norma ČSN 395360	20
2.1.2 Americká norma NIJ Standart-0101.06	21
2.2 TERMINÁLNÍ BALISTIKA	22
3 STŘELNÉ ZBRANĚ PALNÉ	24
3.1 NÁBOJE DO RUČNÍCH PALNÝCH ZBRANÍ	25
3.1.1 Kulové náboje	26
3.1.2 Brokové náboje	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	31
5 PŘÍPRAVA MATERIÁLU A VÝROBA VZORKŮ	32
5.1 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU KOMPOZITU PRŮMYSLOVÉ VÝROBY	32
5.2 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLŮ LABORATORNĚ PŘIPRAVENÉHO KOMPOZITU	33
5.3 VÝROBA KOMPOZITU	34
6 ZBRANĚ A STŘELIVO POUŽITÉ PRO EXPERIMENT	39
6.1 SAMONABÍJECÍ PISTOLE GLOCK 17 4. GENERACE	39
6.2 SAMONABÍJECÍ PISTOLE GLOCK 23 4. GENERACE	40
6.3 POUŽITÉ STŘELIVO A JEHO VLASTNOSTI	41
7 TESTOVÁNÍ BALISTICKÉ ODOLNOSTI	42
7.1 UCHYCENÍ VZORKU A JEHO PODKLAD	42
7.2 PRŮBĚH TESTOVÁNÍ	43
7.3 VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ.....	45
ZÁVĚR	50
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	53

SEZNAM OBRÁZKŮ	54
SEZNAM TABULEK.....	55
SEZNAM PŘÍLOH.....	56

ÚVOD

V současné době je na trhu nespočetné množství certifikovaných materiálů pro balistickou ochranu jako jsou kevlarové vesty, ocelové pláty Armox nebo speciální keramické kompozitní materiály. Na současném trhu však nenalezneme balisticky odolný kompozitní materiál vyrobený spojením aramidu a pryže. Takový charakter kompozitu se přitom již řadu let používá například u vozů Formule 1 nebo obrněných limuzín, kde slouží pro výrobu vysoce odolných palivových nádrží. Náplní této práce je tedy návrh a laboratorní výroba takového kompozitního materiálu za účelem jeho následného testování balistické odolnosti. Pro tento experiment byly použity skutečné střelné zbraně palné, které jsou legálně drženy na platný zbrojní průkaz.

První část této práce je zaměřena na seznámení čtenáře s problematikou kompozitních materiálů, jejich skladby, výhod, využití a surovin, ze kterých se vyrábí. Dále je zde popsána balistika a její jednotlivá odvětví s důrazem na ty, které s tématem této práce nejvíce souvisí. V poslední řadě je zde stručný úvod do světa zbraní a střeliva.

Druhá část této práce popisuje pracovní postup výroby kompozitního materiálu použitého pro testování a samotným experimentálním zkoušením balistické odolnosti vyrobených plátů. V této části jsou dále popsány použité zbraně a střelivo a také průběh samotného experimentu včetně jeho výsledků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Výraz „kompozitní“ vyjadřuje materiál složený ze dvou nebo více odlišných složek. Takový materiál z různých složek nebo fází můžeme nazývat kompozitem, jen pokud mají jednotlivé složky velmi rozdílné fyzikální vlastnosti, díky čemuž má výsledný produkt podstatně lepší vlastnosti než jeho jednotlivé složky. Tento jev je zásadní předností všech kompozitů. Dvěma základními složkami kompozitních materiálů jsou výztuže a plniva. Výztuž je tvrdší, tužší a pevně nespojitá složka kompozitu, naopak plnivo, často poddajnější materiál, koná funkci pojiva výztuže a nazývá se matrice. [1,4]

U kompozitních materiálů se můžeme setkat s výztužemi různých rozměrů. Mikrokompozitní materiály, kde největší příčné rozměry výztuže měří řádově 10^0 až 10^2 μm , jsou nejvíce důležité ve strojírenství. S makrokompozity se nejčastěji setkáme ve stavebnictví, například beton vyztužený ocelovými pruty. U nanokompozitů měříme částice, kdy jejich největší rozměr je řádově v nm. [4]

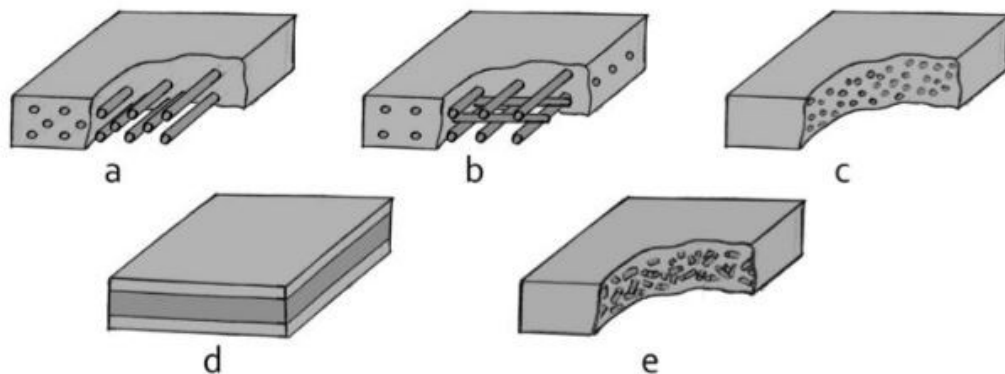
V praxi se nejčastěji setkáváme s kompozity, u kterých funkci plniva zastupují vlákna nejrůznějších organických a anorganických materiálů s promyšleným prostorovým uspořádáním těchto vláken spojených nejčastěji pryskyřičným pojivem. Úkolem této matrice je chránit plnivo před mechanickým nebo chemickým poškozením, držet vlákna v požadované orientaci a především zajišťovat přenos vnějších napětí. Vlákna použité jako výztuž obvykle mají o jeden až dva řády vyšší pevnost a tuhost v porovnání s pojivem, z čehož lze odvodit, že při namáhání mají menší deformaci než použité polymerní pojivo. Díky tomu dochází ke vzniku smykových sil mezi vláknem a pojivem, které je v případě dobré adheze mezi oběma složkami zajistí přenos působícího napětí z pojiva do vláken. V takové situaci tak vlákna na sebe přebírají veškeré vzniklé napětí v kompozitním dílu a pojivo je tak prakticky bez napětí. [2]

Pomocí objemových podílů můžeme vyjádřit vztah pro výpočet hustoty kompozitního materiálu za předpokladu, že hmotnost kompozitu bude rovnat součtu hmotností jednotlivých složek. Pro výsledný vzorec můžeme vyjádřit ρ_c jako hustotu kompozitu, ρ_f jako hustotu disperze a ρ_m jako hustotu matrice. [19]

$$\rho_c = \rho_f \times v_f + \rho_m \times v_m \quad (19)$$

1.1 Charakteristiky výztuže

Úkolem výztuže je zajistit mechanické vlastnosti jako jsou pevnost a tuhost. Vlákna jednotlivých materiálů jsou vždy pevnější než daný materiál v určitém tvaru. Se zmenšujícím se průřezem vláken jejich pevnost roste. Dále je pevnost závislá na délce vlákna, kdy části vzniklé přerušením při namáhání tahem mají pevnost větší než původní délka, protože k největšímu defektu vlákna došlo při prvním lomu. V současnosti nejvíce používaná vlákna mají průměr 5 až 20 μm , kdy se menší průměry již z technologických důvodů obvykle nepoužívají (velmi těžce se sytí pojivem). [3,4]



Obr. 1 Rozdělení kompozitů podle geometrie a orientace plniva a struktur [3]

Legenda pro obrázek 1: a) jednosměrně orientovaný dlouhvláknový kompozit, b) kompozit s dvousměrnou výztuží (tkanina), c) částicový kompozit, d) vrstvený (sendvičový) kompozit, e) krátkovláknou kompozit s náhodně orientovanými vlákny. [3]

Nejčastější vláknové výztuže můžeme rozdělit dle použitého materiálu:

1.1.1 Skleněná vlákna

Jedná se o nejrozšířenější typ výztuže v kompozitních materiálech. Dle dochované publikace knihy Antoniho Neri se s tímto plnivem pracuje již od roku 1612, kdy již bylo známo, že vlákna skla jsou pevnější v porovnání se sklem tabulovým. Jako materiál pro tato vlákna slouží sklo označované jako sklo E, to se skládá z kombinace oxidů SiO_2 . Al_2O_3 . CaO . MgO . B_2O_3 . Vlákna se vyrábějí tažením z taveniny a jejich finální průměr je nejčastěji 3,5-20 μm . Požadovaného průměru se dosáhne dlužením taženého prutu

z platinové trysky, které mají průměr 1-2 mm. Hotová vlákna se sdružují do pramence, který je kvůli své vysoké abrazivnosti a lámavosti opatřen ochranným povlakem. Hlavními přednostmi skelných vláken je jejich dostupnost a nízká cena. V porovnání s uhlíkovými vlákny mají ta skelná větší houževnatost. Hustota skelných vláken je 2490 – 2540 kg/m³. [2,3]

1.1.2 Uhlíková vlákna

Na svou nízkou hustotu materiálu (1800 - 2000kg/m³) poskytují uhlíková vlákna nejširší spektrum mechanických vlastností u kompozitních materiálů. Tyto výborné vlastnosti vyplývají z vysoce anizotropní hexagonální struktury, které jsou pro grafit charakteristické. V bazálních hexagonálních rovinách grafitu jsou atomy uhlíku vzájemně vázány silnými kovalentními vazbami, kdy mezi těmito rovinami působí slabé Van der Waalsovy síly. Tyto hexagonální roviny atomů uhlíku jsou ve směru osy vlákna v podstatě dokonale orientovány. Výsledné vlastnosti vláken jsou velmi závislé na této orientaci a uspořádání hexagonálních rovin mezi sebou. Dále vlastnosti a struktura úzce závisí na technologii výroby. [5]

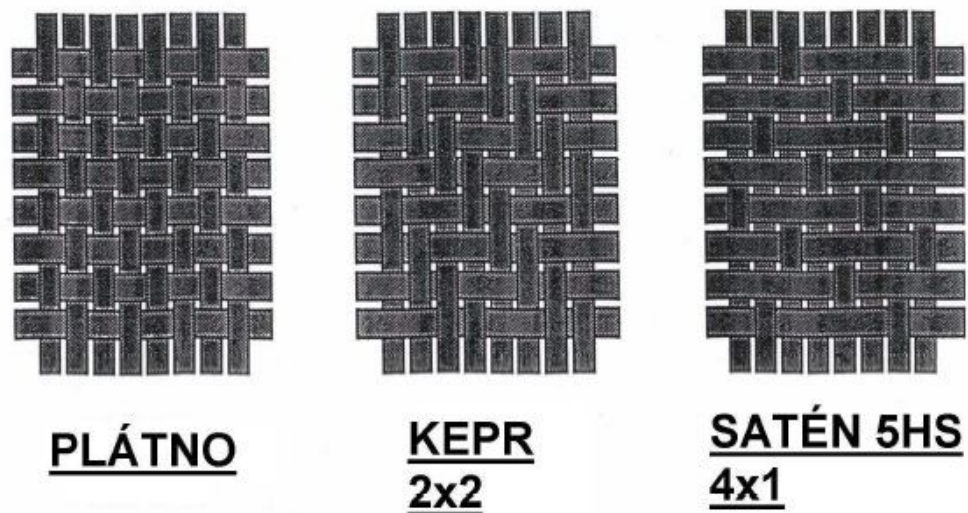
1.1.3 Aramidová vlákna

Jde se o jednu z variant polymerních vláken a po stránce chemické se jedná o aromatizované polyamidy, proto vznikl i tento zjednodušený název. Aramid je známý pod obchodním názvem Kevlar. V současné době se vyrábí mnoho variant, lišícími se chemickým složením i mechanickými vlastnostmi. Kevlar má hustotu přibližně 1440 kg/m³, což z něj dělá nejlehčí z dříve uvedených materiálů. Makromolekulární řetězce tohoto polymeru jsou orientovány ve směru vlákna, což má za následek, že mezi vlákny působí mezimolekulární síly na bázi vodíkových můstků. Díky tomu mají aramidová vlákna velmi dobré mechanické vlastnosti. Teplotní odolnost vláken je přibližně 250°C v závislosti na chemickém složení. Kevlar má výbornou chemickou odolnost proti působení například rozpouštědel, slané vody nebo kapalných paliv. Přes svou vysokou pevnost v tahu se podobně jako skleněná nebo uhlíková vlákna poškozují křehce. Nicméně při působení zátěže kolmo na vlákna se deformuje plasticky a mez kluzu v tlaku je nízká. Tento charakter jej zcela odlišuje od skleněných nebo uhlíkových vláken, protože se chová

jako zcela běžný konstrukční polymer. Aramidová vlákna jsou velmi odolná vůči abrazi a při dalším zpracování se vlákna prakticky neporušují. [5]

1.1.4 Přehled dvouvláknových tkanin

Výše zmíněné druhy vláken do kompozitních materiálů je možné sehnat v několika různých provedeních tkanin. Podobně jako u běžných textilních látek bývají často prodávány v pásech o šířce 1 metr a dále jsou děleny podle hmotnosti na 1m^2 . Podle typu tkaní může být uspořádání vláken v tkanině jednosměrné nebo více směry. Přehled o typech provedení tkanin ilustruje obrázek 2. [6]



Obr. 2 Přehled dvouvláknových tkanin [6]

1.2 Charakteristiky matric

Pojem matrice značí materiál, který prosycuje soustavu vláken, kdy po ukončení technologického procesu vznikne stálý výrobek. Hlavními úkoly této složky je spojovat výztuže dohromady, zajišťovat geometrickou polohu vláken, držet tvarovou stálost výrobku a chránit tato vlákna před mechanickým poškozením nebo chemickými vlivy. Dále je důležité, aby byl kontakt mezi matricí a plnivem co nejlepší pro dobrý přenos napětí z matrice na vlákna a převedení namáhání z vlákna na vlákno. Pro snadnou výrobu kompozitu je dobré, je-li možné připravit matrici v kapalném stavu po její aplikaci do dobře nasákavého plniva zajistit její ztuhnutí. [3,4]

1.2.1 Polymerní matrice

Největší zastoupení a uplatnění v praxi mají matrice polymerního charakteru. Můžeme je základně rozdělit na termoplasty, reaktoplasty a elastomery, kdy se v současné době nejvíce používají právě reaktoplasty. Polymerní matrice jsou relativně dost slabé materiály s vysokou elasticitou a nízkou elektrickou a tepelnou vodivostí. [3]

Výhody termoplastů v porovnání s reaktoplasty:

- nízké náklady na výrobu
- nízký obsah vlhkosti
- větší zdravotní nezávadnost
- možnost tepelného tvarování (změna tvaru pro případné opravy)
- lepení a svařitelnost [3]

Kompozitní materiály s polymerní matricí jsou mnohem jednodušší pro výrobu než kompozity s kovovou, uhlíkovou, skleněnou nebo keramickou matricí především díky nízké zpracovatelské teplotě. U reaktoplastů a elastomerů se teplota při výrobě kompozitu pohybuje do 200°C a pro termoplasty přibližně 300 až 400°C. U reaktoplastů, především epoxidových pryskyřic, dochází k vytvrzení za působení tepla a tlaku, kdy dojde k zesílení molekul polymeru. [3]

Termoplasty jsou polymerní materiály, které při každém ohřátí měknou a dostávají se do plastického stavu. Patří mezi ně především polypropylen (PP), polystyren (PS), polyetylen (PE), polyetylen tereftalát (PET) a další. [3]

Reaktoplasty jsou polymerní látky, které po jednom vytvrzení není možné už dále uvádět do tekutého stavu, což zaručuje dobrou tepelnou odolnost. K vytvrzení dochází chemickou reakcí po přidání katalyzátoru a iniciátoru a dost často za zvýšených teplot. Nemožnost materiál opětovně uvést do kapalného stavu zhoršuje recyklovatelnost, což má za následek časté nahrazování termoplasty. [3]

Elastomery jsou vysoce pružné materiály z kaučukových směsí, ze kterých po vulkanizaci vznikne pryž. Tyto materiály můžeme velmi značně deformovat bez jejich trvalého poškození. Pro svou nízkou tuhost se používají jako konstrukční díly a ohebné výrobky, kam můžeme zařadit především pneumatiky, hnací řemeny, hadice a jiné mechanicky namáhané díly. [7]

1.2.1.1 Epoxidové pryskyřice

V současnosti nejvíce používaným a nejušestrannějším reaktoplastem pro konstrukční použití jsou epoxidové pryskyřice. Vynikají velmi dobrými vlastnostmi, kterými jsou především výborná odolnost proti únavě, malé smrštění při vytvrzování a dobrou chemickou odolností. Disponují dobrou adhezí ke kovům, ale i polymerům jako polypropylen (PP) a polyetylen (PE), což umožňuje lepení polárních a nepolárních materiálů, které jsou běžně zcela nekompatibilní. Výsledné mechanické vlastnosti tuhého materiálu lze upravovat volbou samotné pryskyřice a jejího vytvrzovačla, případně dalších anorganických plniv. [5]

1.2.2 Kovová matrice

U kompozitních materiálů s kovovou maticí zajišťuje plnivo vyšší pevnost u daného kovu a také menší koeficient tepelné roztažnosti. Zvýšení tepelné vodivosti lze dosáhnout použitím uhlíkových vláken, čehož může být využito při výrobě chladičů pro elektrické obvody. Kombinace uhlíkových vláken s kovovou maticí má v porovnání se samotným kovem podstatně vyšší poměr pevnosti k hustotě (měrnou pevnost), větší odolnost proti oděru a otěru a nižší roztažnost v závislosti na teplotě. Navzdory těmto výhodám mají kompozitní materiály s kovovou maticí vyšší výrobní náklady a nutnost dobře školené obsluhy výroby, v porovnání s použitým kovem samotným. Nejčastěji se můžeme setkat s maticemi z hliníku, mědi, hořčíku, niklu nebo slitin olova. [3]

1.2.3 Keramická matrice

Možnosti použití keramiky v technickém odvětví je omezeno především její křehkostí a malou hodnotou lomové houževnatosti. Vyztužení keramiky vlákny úspěšně řeší tyto negativní vlastnosti keramických materiálů. Pro toto uplatnění jsou nejlepší uhlíková vlákna a vlákna z karbidu křemíku. Při použití uhlíkových vláken je nutné je potáhnout vrstvou karbidu křemíku, aby vydržela zpracovatelský proces výroby keramických kompozitů, který běžně probíhá za velmi vysokých teplot a byly tak chráněna před oxidací. [5]

1.2.4 Uhlíková matrice

Uhlíková matrice se kombinuje s uhlíkovými vlákny, kdy vzniká materiál o nízké hmotnosti a velmi dobré odolnosti proti vysokým teplotám. Technologie výroby a výsledná křehkost je velmi podobná jako u kompozitů s keramickou maticí. S tím je také spojena tepelná odolnost nad 500°C, kdy se nad touto hodnotou významně projevuje oxidace materiálu a uhlík se vypařuje ($2C + O_2 \rightarrow 2CO$). Pokud požadujeme tepelnou odolnost nad 500°C, je nutné aplikovat vhodnou antioxidační povrchovou úpravu, nejčastěji karbid křemíku. Po takovém ošetření je možno materiál pro svou výbornou odolnost možné uplatnit jako tepelnou izolaci vesmírných lodí nebo disky a další části brzd letadel a jiných strojů. [3,5]

Uhlíkové kompozity mají řadu výborných vlastností:

- vysoká odolnosti proti cyklickému namáhání
- nízký koeficient teplotní roztažnosti
- nízká hustota
- velká odolnost proti vysokým teplotám (při zamezení oxidace)
- dobrá odolnost proti teplotním šokům
- velmi dobrá chemická odolnost
- odolnosti proti ionizujícímu záření
- s rostoucí teplotou roste pevnost [5]

2 BALISTICKÁ OCHRANA

Balistika je vědou zabývající se zákonitostmi pohybu a účinku střel v konkrétním prostředí. Jde tedy především o zkoumání samotného výstřelu, letu střely s jejím kontaktem se vzduchem či jiným prostředím a účinku v cíli. Balistika je tak velmi komplexní vědou, do které lze zahrnout fyziku, matematiku, aerodynamiku, termomechaniku, hydromechaniku a mnoho dalších vědních disciplín. [9]

Zkoumání průběhu letu střely lze rozdělit na čtyři základní fáze:

- vnitřní balistika – jedná se o časový úsek od udeření zápalníku na zápalku náboje, zažehnutí výmetné náplně (střelného prachu) a opuštění střely hlavně
- přechodová balistika – tato fáze sleduje stav, kdy střela opustí hlaveň až po moment, kdy přestane být urychlována plyny, které vznikly při výstřelu a stále mají na střelu vliv i mimo hlaveň
- vnější balistika – jde o část, která začíná ihned po konci působení plynů z hlavně až po samotný zásah cíle
- terminální balistika (též koncová) – charakterizuje ji moment zásahu cíle a končí ve chvíli, kdy se střela nebo veškeré její úlomky přestanou pohybovat a dojde tak k celkovému předání energie střely [10]

Balistická ochrana zabezpečuje ochranu ohrožené osobě proti účinku střel z ručních palných zbraní, fragmentům střel a náloží, nebo bodným, řezným, případně sečným zbraním. Tato bezpečnostní opatření jsou v dnešní době potřebná především pro strážníky, policisty, vojáky, příslušníky útvaru rychlého nasazení, strážní vězeňské služby, členy justiční stráže, pracovníky komerční bezpečnostní agentury a mnoho dalších rizikových povolání. V tomto uplatnění se jako velký omyl může zdát název „neprůstřelná vesta“ nebo „neprůstřelný materiál“. Přestože se to na první pohled může zdát, tak materiály pro toto uplatnění nejsou neprůstřelné. Mnohem vhodnější je označení „odolné“, protože sice dokážou svého nositele ochránit před vážným zraněním nebo smrtí, ale vždy jen v přesně daném rozsahu druhů střel a jejich ústřelových energií. [8,9]

Z výše popsaných důvodů se osobní balistická ochrana rozděluje na několik tříd balistické odolnosti (dále jen TBO). Tyto TBO jsou pevně stanoveny určitou normou pro každý stát. Nebude překvapením, že často užívaná je americká norma NIJ Standart-0101.04 a NIJ Standart-0101.06, dále se můžeme setkat s německou normou DIN 52290, ruskou normou GOST R50963-96 nebo britskou BS 5051. Nesmíme vynechat ani českou normu ČSN 39 5360, která je ve světovém měřítku velmi významná. [9]

2.1 Třídy balistické ochrany

Při vyhodnocování balistické odolnosti vůči střelám se zkoumá účinek použité střely na ochranný a podkladový materiál. Rozhodujícími aspekty jsou rychlost střely, proniknutí projektilu ochranou (průstřel), neproniknutí projektilu (neprůstřel), hloubka a objem vtisku v podkladovém materiálu. V současné době se nejčastěji setkáváme s balisticky odolnou vestou jako nejrozšířenější variantou ochrany člověka proti střelným, bodným nebo sečným zraněním či zásahem střepiny z výbuchu improvizovaného výbušného zařízení (IED). Podkladový materiál používaný pro testy se volí takový, aby byl co nejvíce podobný s tuhostí lidského těla. [9]

2.1.1 Česká norma ČSN 395360

Již v 70. letech minulého století se Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva (ČÚZZS) zabýval speciálními zkouškami balistické odolnosti dle tehdejších požadavků policie. Podle zjištěných výsledků zkoušek a dalších letitých poznatků ČÚZZS vypracoval roku 1996 českou státní technickou normu, která byla po následném schválení zavedena jako ČSN 395360. Určuje požadavky na balisticky odolné materiály proti střelným a bodným zbraním a střepinám. Popisuje také průběh zkoušek balistických materiálů a jejich vyhodnocení. Naše norma TBO byla v době vzniku velmi nadčasová. Velký počet zahraničních normotvorných institucí z ní přebíralo množství pasáží. Požadavky na prostředky balistické ochrany jsou zde rozděleny na sedm tříd balistické odolnosti (tab. 1). Norma je stále aktualizována a doplňována s vývojem zbraní, střeliva i balisticky odolných materiálů. [8]

Tab. 1 Třídy balistické odolnosti dle ČSN 395360 [8]

Třída	Ráže	Střela	Hmotnost	Rychlost střely +- 10ms
1	.22 LR	Pb / O	2.6 g	300 +-10 m/s
2	9mm Luger	CP / Pbj / O	8.0 g	410 +-10 m/s
2 cz	7.62 x 25	CP / Pbj / O	5.5 g	470 +-10 m/s
3	.357 Magnum	CP / Pbj / KK	10.2 g	430 +-10 m/s
3 cz	9mm Luger	CP / Fej / O	6.45 g	440 +-10 m/s
4	.44 Magnum	CP / Pbj / KK	15.6 g	440 +-10 m/s
4 cz	7.62 x 25	CP / Fej / O	5.5 g	550 +-10 m/s
5	.223 Rem.	CP / Pbj	4 g	920 +-10 m/s
5 cz	7.62 x 39	CP / Fej	8 g	710 +-10 m/s
6	7.62 x 51	CP / Pbj	9,5 g	830 +-10 m/s
6 cz	.223 Rem.	CP / Fej	3,95 g	950 +-10 m/s
7	7.62 x 51	CP / Fej	9,8 g	820 +-10 m/s
7 cz	7.62 x 54 R	CP / Fej	9,75 g	860 +-10 m/s

CP - Celoplášť

Pbj - Olověné jádro

Fej - Ocelové jádro

O - Ogivál

Naše norma ČSN 395360 je v porovnání s americkou NIJ Standart-0101.06 více komplexní a přísnější, protože zahrnuje o mnoho více ráží a to zejména těch, které byly a jsou používány v zemích bývalého východního bloku jako například náboj 7,62x39 užívaný ve zbraních typu AK-47 nebo naši bývalé armádní útočné pušce vz. 58. Tento aspekt je velkou výhodou, protože na našem území a směrem na východ narazíme na protivníka s touto výzbrojí s větší pravděpodobností než se zbraněmi užívající střelivo amerického původu, jako třeba .223 Remington ve zbraních typu AR-15. [12]

2.1.2 Americká norma NIJ Standart-0101.06

Tato americká norma, na rozdíl od české, popisuje jen balistickou odolnost proti střelám z palných zbraní. Útoky bodnými a sečnými zbraněmi se zabývá odlišná norma. Přestože se v současnosti užívá norma NIJ Standart-0101.06, která nahradila již neplatnou na území USA NIJ Standart-0101.04, tak se mnoho světových států stále řídí podle této staré normy, protože je osvědčená a přechod na novou by byl se všemi certifikacemi pro dané společnosti velmi finančně nákladný. Současná novější aktuální norma je přísnější, protože klade požadavky na životnost materiálu pomocí testů umělého stárnutí, testy spolehlivosti ochrany po tomto kroku. V původní normě bylo testování mokřích vest postříkaných vodou, což se taktéž ukázalo jako nedostačující a nová norma klade za požadavek kompletní ponoření. S příchodem inovací v oblasti střeliva se norma dále upravila

o zachování stejného maximálního průhybu vesty při použití mnohem výkonnější střely, což vedlo ke zvýšení celkové hmotnosti vesty přidáním dalších ochranných vrstev. [9]

Tab. 2 Třídy balistické odolnosti dle NIJ Standart-0101.06 [8]

NIJ 0101.06						
TBO	Projektíl	Ráže	Hmotnost [g] [g]	Min. rychlost [m/s]	Počet střel	Počet testů
II-A	1	9 mm FMJ RN	8	373	6	4
	2	40 S&W FMJ	11,7	325	6	4
II	1	9 mm FMJ RN	8	398	6	4
	2	357 Magnum JSP	10,2	436	6	4
III-A	1	.357 SIG FMJ FN	8,1	448	6	4
	2	44 Magnum SJHP	15,6	436	6	4
III	1	7.62 mm NATO FMJ	9,6	847	6	2
IV	1	.30 Caliber M2 AP	10,8	878	1	2

FMJ - Celoplášťová střela (Full Metal Jacketed), JSP - Poloplášťová střela (Jacketed Soft Point), SJHP - Poloplášťová střela s dutou špičkou (Semi Jacketed Hollow Point)
 FMJ FN – Celoplášťová střela s plochou špičkou (Full Metal Jacketed Flat Nose), AP - Průbojná střela (Armor Piercing)

2.2 Terminální balistika

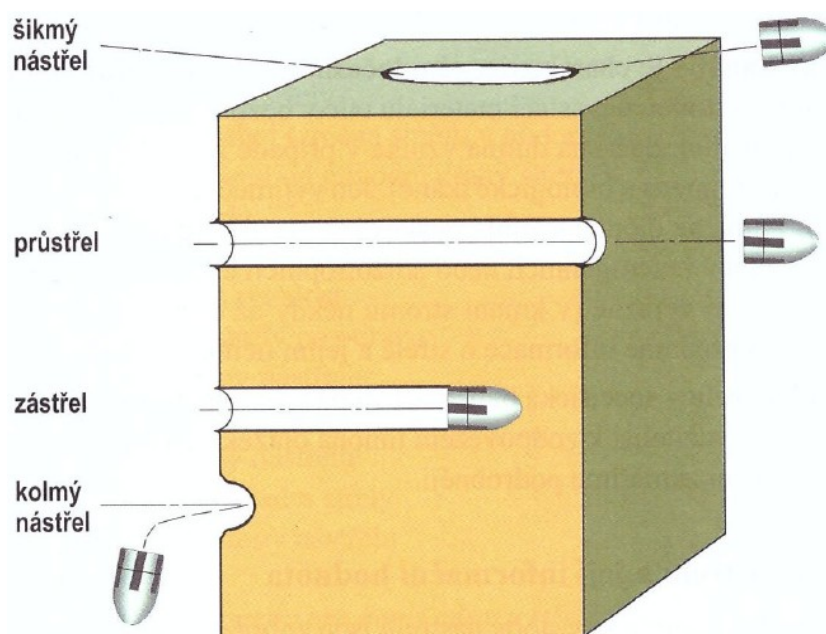
Terminální balistika studuje účinek střely při zásahu cíle v případě živého i neživého. V případě zasažení živého biologického cíle se problematikou zabývá ranivá balistika.[10]

Důsledky zásahu střely pevného cíle můžeme rozdělit na tyto základní typy:

- Průstřel – je charakteristický vstupním otvorem na vstřelové straně a výstupním otvorem na výstřelové straně cíle, kdy oba tyto otvory propojuje střelný kanál,

který prochází celou tloušťkou tohoto cíle. Střelu, dle její zbytkové energie, můžeme očekávat blízko nebo i extrémně daleko za tímto cílem.

- Zástřel – charakterizuje jej vstupní otvor na vstřelové straně cíle a střelný kanál, který se ovšem neprochází celým cílem a končí v konkrétní hloubce, kde lze s velkou pravděpodobností očekávat zastavenou střelu. Zástřel může vzniknout i při výstřelu z expanzní zbraně, pokud je ústí hlavně takové zbraně kolmo přiloženo k měkkému cíli, například na lidskou tkáň.
- Nástřel – jde jen o pouhý kontakt střely s cílem bez vážnějšího poškození. Základně jej můžeme rozdělit na kolmý a šikmý. Kolmý nástřel zanechává stopu ve formě mělké prohlubně na povrchu cíle a v případě zásahu živého cíle zanechá pouze hematoma. Střelu lze očekávat blízko před cílem na zemi. Šikmý nástřel nastává při zásahu cíle střelou pod malým úhlem, kdy se střela do tohoto cíle odrazí a po značně změněné trajektorii pokračuje dál s pouze malým úbytkem své energie. Díky tomu lze střelu očekávat daleko za cílem na velmi široké ploše vzhledem k nemožnosti s přesností určit změnu trajektorie letu.
- Postřel – jedná se o tečné zasažení živého cíle. V tomto případě způsobí střela jen mírné zranění jako krátký otevření střelný kanál, sedření kůže nebo jen oděrku. Po tomto kontaktu pokračuje dál v letu po prakticky nezměněné trajektorii. Tento termín je užíván v soudním lékařství. [10]



Obr. 3 Grafické znázornění druhů kontaktů střely s cílem [10]

3 STŘELNÉ ZBRANĚ PALNÉ

Střelnou zbraní lze charakterizovat zařízení, které předává kinetickou energii projektilu (střele) a tím jej vysílá na konkrétní cíl za účelem jeho poškození nebo zničení. Nejstarší známé střelné zbraně využívaly především nahromaděnou mechanickou energii a její okamžité uvolnění. Mezi tyto mechanické zbraně můžeme zařadit luky, kuše, katapulty a další. V současné době lze za nejvíce používané střelné zbraně považovat střelné zbraně palné, u kterých je funkce odvozena okamžitým uvolněním chemické energie. Tyto zbraně ke své funkci využívají tlaku plynů, které vzniknou při hoření výmetné náplně. Nejčastěji se jedná o výbušniny typu střelivin (střelný prach), které jsou zapáleny pomocí zážehového prostředku. Podle konstrukce náboje je vzniklá kinetická energie při výbuchu předána jednomu nebo více projektilům (tzv. jednotná nebo hromadná střela). Funkce střelné zbraně palné je srovnatelná s principem zážehového spalovacího motoru bez vratného pístu. S vývojem vědy a technologií se současně pracuje na nových možnostech uplatnění známých fyzikálních principů, jako je elektromagnetismus, plazma, laser a jiné. Tyto inovativní druhy zbraní již existují, ale prozatím nejsou masově uplatňovány. [15]

Podle možností režimu střelby rozdělujeme střelné zbraně palné na:

- Samočinné – jde o palnou zbraň, u které se opětovné nabití děje v důsledku předchozího výstřelu a současně je možné vystřelit více ran na jedno stisknutí spouště. Takové zbraně lze nazývat také jako plně automatické.
- Samonabíjecí – palná zbraň, u které se opětovné nabití děje v důsledku předchozího výstřelu, ale je možný jen jeden výstřel na jedno zmáčknutí spouště. Takové zbraně lze nazývat také jako poloautomatické.
- Opakovací – palná zbraň se zásobníkem nebo jiným podávacím ústrojím, u níž se opětovné nabití děje v důsledku ručního ovládání závěru nebo mechanického otočení revolverového válce.
- Jednoranové – palná zbraň bez zásobníku nebo jiného podávacího ústrojí, u níž se opětovné nabití děje ručním vložením náboje do nábojové komory nebo hlavně.
- Víceranové – palná zbraň bez zásobníku nebo jiného podávacího ústrojí, s 2 nebo více hlavními, u níž se opětovné nabití děje ručním vložením nábojů do nábojových komor, hlavní nebo nábojišť. [15]

Střelné zbraně palné dělíme na několik základních typů podle konstrukce a použití:

- revolver
- pistole
- samopal (SMG – Submachine gun)
- osobní ochranná zbraň (PDW - Personal Defense Weapon)
- karabina
- útočná puška (Assault rifle)
- puška
- kulomet
- granátomet
- minomet
- dělo [15]

3.1 Náboje do ručních palných zbraní

S vývojem palných zbraní se značně během několika staletí vyvíjelo i střelivo do těchto zbraní. V současné době se nejčastěji používají jednotné náboje kulového typu s kovovou nábojnicí a středovým zápalem. U menších ráží se stále užívá okrajový zápal. Brokové náboje jsou sestaveny z plastové nebo papírové nábojnice opatřené kovovým kováním, ve kterém je umístěna zápalka středového provedení. Mimo tyto běžně užívané provedení nábojů se lze vzácně setkat s experimentálním beznábojnicovým provedením, které však prozatím nenašlo uplatnění v běžném používání. [13]

U moderních nábojů je možné se setkat s dvěma způsoby iniciace. Výše zmíněný středový a okrajový zápal ze svého názvu napovídají svým zpracováním. Okrajový zápal se v současnosti používá především u malorážních nábojů .22 LR a .22 Short používaných pro lovecké a sportovní účely, u kterých je zápalková slož aplikována do obvodu okraje dna nábojnice. Oproti tomu je středový zápal používán u drtivé většiny všech ostatních nábojů pistolových, puškových, brokových, ale také třeba jen expanzních nábojek pro akustické zbraně. Středový zápal se užívá ve dvou provedeních, které se mírně konstrukčně liší. Typ Berdan ve tvaru kalíšku opatřeného zápalkovou složí, se kombinuje s nábojnicemi s kovadlinkou a dvěma menšími otvory (zátravkami), kterými pronikne zážeh dál

do nábojnice. Toto provedení není vhodné pro přebíjení již použitých nábojnic z důvodů opotřebení kovadlinky a je tak často používán u nábojnic z materiálů, které nejsou vhodné pro přebíjení, tedy pro opětovné použití nábojnice pro výrobu nového náboje. Zápalka typu Boxer má v kalíšku vlastní kovadlinku a do prostoru nábojnice vede jen jedna zátravka o větším průměru, která je ve středu nábojnice. Tuto zápalku je možné snadno vyměnit a po kalibraci a nalisování střely s výmetnou náplní tak lze opět použít nábojnici k dalšímu výstřelu. [10]



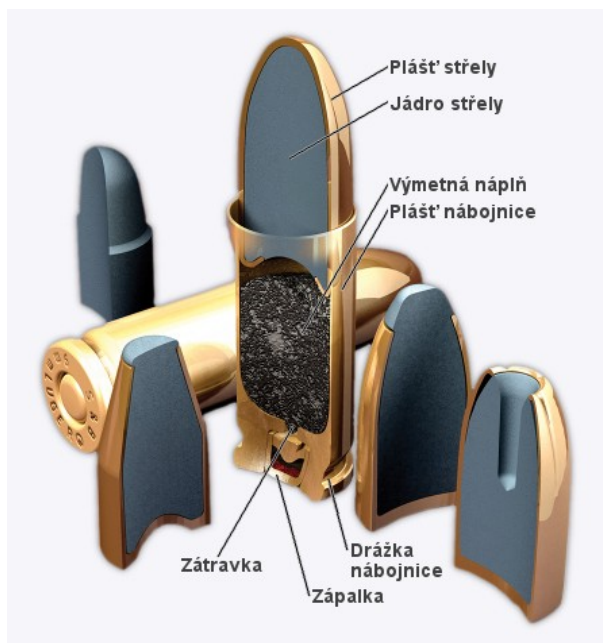
Obr. 4 Okrajový zápal, středová zápalka Berdan a Boxer [10]

3.1.1 Kulové náboje

Tento druh nábojů se skládá z kovové nábojnice, do které je ze spodní strany vložena zápalka, objem je vyplněn výmetnou náplní a do hrdla nábojnice je nalisována střela. Celek s jednotlivými komponenty je názorně vidět na následujícím obrázku 5 – řez kulovým nábojem 9 mm Luger se středovým zápalem typu Boxer. [13]

- **Střela** – v praxi se u jednoho druhu náboje můžeme setkat s několika odlišnými typy střel. Nejčastěji se skládá z olověného jádra a tenkého pláště (tombaku) z mědi nebo mosazi. Takto vyrobená střela nese označení celoplášťová nebo jen FMJ z anglického Full Metal Jacket. Zvýšení deformace střely při zásahu cíle lze docílit tak, že plášť střelu kryje jen z části a na špičce je čisté olovo. V tomto případě se jedná o střelu poloplášťovou nebo jen SP (Soft Point). Při opatření střely dutinou v její špičce se dosáhne velkého zvýšení ranivého účinku a jedná se střelu šokovou nebo také JHP (Jacket Hollow Point). V poslední řadě se můžeme setkat jen se střelou z čistého olova. Zmíněné typy střel jsou taktéž patrné na obrázku 5.

- Nábojnice – nejčastěji válcovitého, kuželového nebo lahvového tvaru. Drží celý náboj pohromadě a chrání výmetnou náplň před okolní vlhkostí. Jde současně o spalovací prostor této třaskaviny. Na vnějším obvodu spodní části (dna) nábojnice vždy najdeme okraj nebo drážku (nebo jejich kombinaci), které slouží pro snadné vytažení použité nábojnice z nábojové komory zbraně.
- Výmetná náplň – jejím účelem je vymetení střely z hlavně zbraně. U moderních nábojů se nejčastěji můžeme setkat s tzv. bezdýmným prachem, který se vyznačuje vysokým výkonem a menší kouřivostí v porovnání s černým střelným prachem.
- Zápalka – jedná se zápalkovou složkou, která se při nárazu zápalníku zbraně vznítí a následně zapálí výmetnou náplň náboje. [13]



Obr. 5 Řez kulovým nábojem 9 mm Luger se středovým zápalom typu Boxer [13]

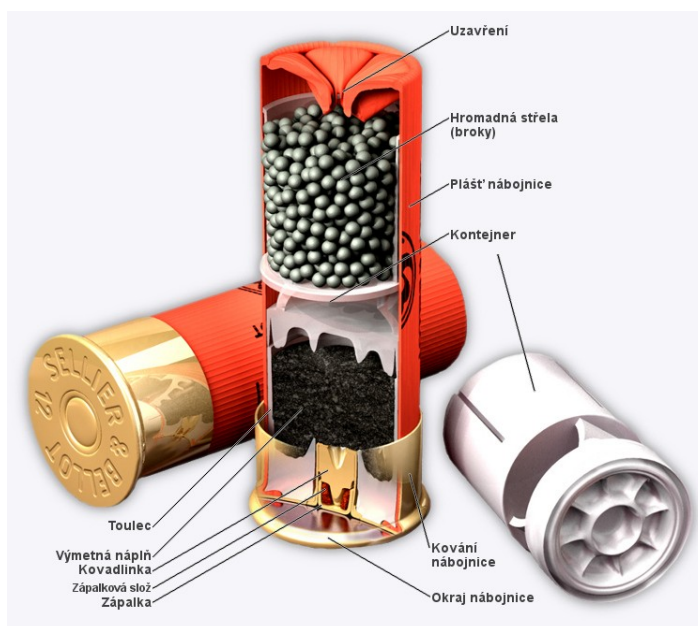


Obr. 6 Řez malorážkovým kulovým nábojem .22 LR s okrajovým zápalom [13]

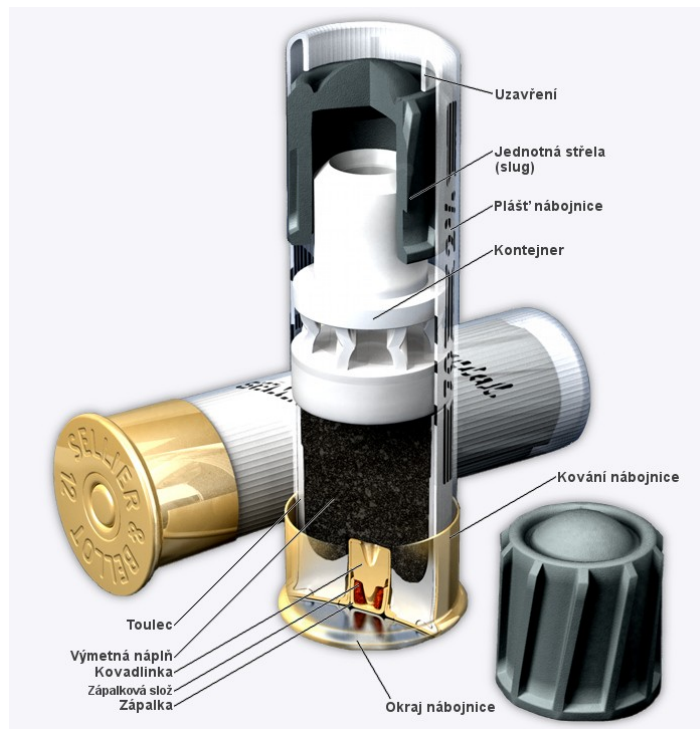
3.1.2 Brokové náboje

Brokové náboje jsou složeny z jednotné nebo hromadné střely, která je vnořena v plastové nebo papírové nábojnici spolu s výmetnou náplní, kterou od střely odděluje plastový kontejner, vodič střely nebo plstěná zátka. Dno nábojnice zakončuje kovové kování o určité výšce podle výkonu náboje, uprostřed kterého je umístěna zápalka. [13]

- Sřela – rozlišujeme ji na jednotnou nebo hromadnou. V případě hromadné se jedná o větší množství malých broků, které jsou nesený kontejnerem, který se po opuštění hlavně odděluje. Průměr broků se dle účelu použití pohybuje v rozmezí nejčastěji 2 až 9,14 mm. Jednotnou střelu pak tvoří jeden kus olova o velké hmotnosti. Tomuto typu střely se také říká SLUG.
- Kontejner – slouží k oddělení výmetné náplně a střely. Je vyráběn z plastu a stejně jako plstěná zátka utěsňuje únik spalných plynů při výstřelu v případě použití hromadné střely.
- Nábojnice – nejčastěji vyrobená z plastu nebo také papíru. Dno je z venku zakončeno kovovým kováčím a vnitřek plastovým toulcem. Horní zakroužení stěny nebo přidání plastového kolečka slouží jako vrchní uzávěr nábojnice.
- Výmetná náplň – v tomto případě jsou složení a funkce totožné s kulovými náboji.
- Zápalka – u brokových nábojů se používá zápalka, u které je funkce opět stejná jako v případě kulových nábojů. [13]



Obr. 7 Řez brokovým nábojem s hromadnou střelou [13]



Obr. 8 Řez brokovým nábojem s jednotnou střelou [13]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je zkoumání balistické odolnosti kompozitních materiálů s elastomerovou maticí a aramidovou výztuží. Podle dostupných zdrojů se tento kompozitní materiál v současnosti jako balistická ochrana nepoužívá, a proto jsem se rozhodl pro jeho výrobu a následné testování za použití střelných zbraní palných. Tento kompozit nachází uplatnění například u vozů Formule 1, kde se z něj vyrábí palivové nádrže, které jsou bez vážného poškození schopny odolat velmi těžkým nehodám, a ochránit tak pilota vozu před potenciálním požárem. Předpokládaná odolnost tohoto kompozitního materiálu je tedy poměrně dobrá, a proto se budu zabývat testováním, jehož výsledkem bude přiřazení třídy balistické odolnosti a diskuze s možnými návrhy na vylepšení, které budou z testování patrné.

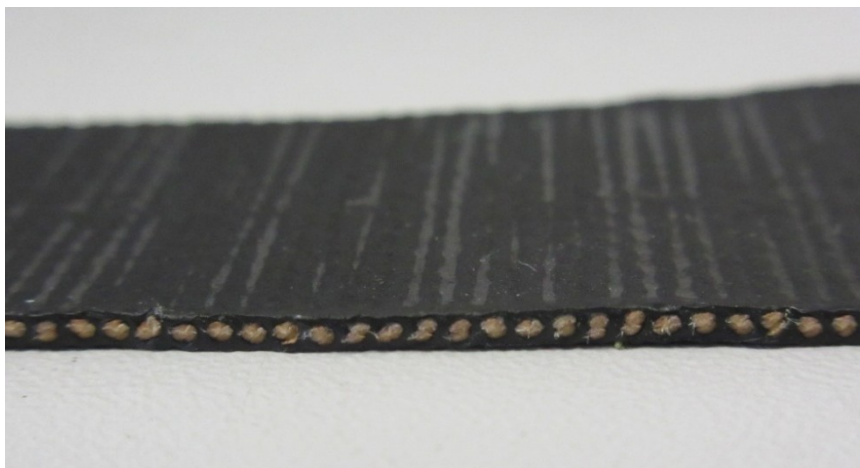
5 PŘÍPRAVA MATERIÁLU A VÝROBA VZORKŮ

Pro tento experiment bylo potřeba vyrobit několik exemplářů o různých tloušťkách a díky získanému materiálu i dvou různých provedeních. Základem výroby jsou aramidová vlákna z obou stran potažená kaučukovou směsí, které jsou dále vrstveny do požadované tloušťky a následně zvlukanizovány. Při mé výrobě díky získání různého materiálu vznikly dva, na první pohled stejné, však přesto odlišné produkty, které budou dále důkladně popsány v následujících odstavcích. První varianta výroby je komplexnější a zahrnuje všechny fáze výroby kromě přípravy vláken a kaučukové směsi. Celkově se jedná o vlastní výrobek, u kterého lze upravovat jednotlivé složky nebo kroky při pracovním postupu. Druhá varianta výroby byla poměrně snadnější, protože se podařilo získat od firmy Continental Barum s.r.o. již pogumovanou aramidovou textilií. Zásadní rozdíl je však právě v textilii.

Pro lepší přehled tak bude výroba i samotný produkt rozdělen na laboratorně připravený kompozit vlastní výroby a kompozit průmyslové výroby.

5.1 Charakteristika materiálu kompozitu průmyslové výroby

Pro druhou variantu výroby se od společnosti Continental Barum s.r.o. podařilo získat již potažený aramid kaučukovou směsí. Materiálové informace firmou nejsou sdělovány, vyjma interního označení „Pogumovaná textilie A1003“. Mimo tento údaj bylo sděleno, že materiál vláken textilie je aramid. V tomto případě se ovšem nejedná o tkaninu, ale pouze o jednosměrně orientovaná vlákna, které jsou pravděpodobně používána pro výrobu běhounu pneumatik. Pro absenci informací o tomto materiálu budou výsledky při jeho testování čistě jen pro srovnání s výrobkem vlastní produkce. Tloušťka tohoto polotovaru je 1,18 mm.

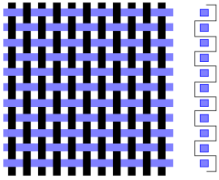


Obr. 9 Struktura polotovaru pogumovaných aramidových vláken

5.2 Charakteristika materiálů laboratorně připraveného kompozitu

Pro vlastní výrobu plátů byl vybrán aramid s obchodním označením Twaron® 1210 dtex vyráběný společností Pro Systems. Jako typ vazby tkaniny bylo zvoleno plátno o hustotě 173 g/m^3 . Ostatní parametry tkaniny jsou patrné v tabulce 3 – Vlastnosti aramidové tkaniny. Jako matrice byla v tomto případě použita kaučuková směs pro pogumování aramidu, která byla získána od společnosti Continental. V případě této kaučukové směsi bohužel společnost nesdělila její přesné složení ani podrobné údaje pro zachování výrobního tajemství. Snadno zjistitelná byla pouze hustota, kdy střední aritmetická hodnota vycházela 960 kg/m^3 . V poslední řadě bylo pro výrobu nutné použít technický benzín.

Tab. 3 Vlastnosti aramidové tkaniny [14]

Materiál vlákna	Twaron® 1210 dtex
Typ vazby	 Plátnová vazba
Množství vláken na 1 cm délky	$6,7 \pm 0,3$
Hustota tkaniny	$173 \text{ g/m}^2 \pm 4\%$
Tloušťka tkaniny	$250 \mu\text{m} \pm 15\%$
Pevnost v tahu	1140 N/cm

5.3 Výroba kompozitu

V této kapitole bude podrobně popsán kompletní pracovní postup při výrobě vlastního kompozitního materiálu. Prvním krokem byla příprava nánosového roztoku kaučukové směsi pro pogumování aramidové tkaniny vybrané pro tento experiment. Kaučukovou směs bylo potřeba nejprve rozválcovat na tenké pláty, aby bylo snadnější ji poté ručně rozstříhat na malé kousky, které byly v průměru velké 20×5×3 mm. Tento krok byl důležitý proto, aby bylo snadnější kaučukovou směs rozpustit v technickém benzínu a vyrobit tak požadovaný nánosový roztok.



Obr. 10 Nastříhaná kaučuková směs

Dalším krokem bylo přidání technického benzínu v poměru 10:14 ve prospěch benzínu. Vzhledem k tomu, že technický benzín má hustotu 700 kg/m^3 , vycházel tento poměr jako dvojnásobek mililitrů benzínu ke hmotnosti nastříhané kaučukové směsi v gramech, tedy jednoduše na 100 g nastříhané kaučukové směsi připadlo 200 ml technického benzínu. Takto zalitou směs bylo nutné nechat alespoň 12 hodin v uzavřené nádobě, aby se veškerý benzín stihl kompletně vstřebat do všech kousků nastříhané kaučukové směsi. Poté bylo už jen potřeba roztok řádně promíchat za použití vrtačky s nástavcem na míchání barev. Vzniklý produkt se nechal ještě dalších 24 hodin bez zásahu pro lepší homogenitu roztoku a před samotnou aplikací se míchání provedlo ještě jednou. V případě, že míchání trvalo příliš dlouho, tak bylo nutné přidat malé množství technického benzínu navíc kvůli jeho rychlému odpařování. Výsledný roztok měl konzistenci velmi husté nátěrové hmoty. Hotový roztok je možné spatřit na obrázku 11.



Obr. 11 Nánosový roztok po míchání

Připravený nánosový roztok kaučukové směsi a technického benzínu bylo potřeba použít do jednoho týdne od jeho přípravy z důvodů tuhnutí díky odpařování benzínu. Rostok jsem nanášel na aramidovou tkaninu nastříhanou na rozměr 450×1000 mm z obou stran. Na jeden každý takový rozměr tkaniny jsem určil nanést množství 200 g roztoku z každé strany. Samotné nanášení probíhalo ručně s použitím vhodné stěrky k dosažení rovnoměrné tloušťky vrstvy. Po aplikaci směsi na jednu stranu tkaniny bylo potřeba počkat 2-3 hodiny a poté bylo možné nanést i druhou stranu, aniž by se ta první lepila k podkladu.



Obr. 12 Aramidová tkanina potřená nánosovým roztokem

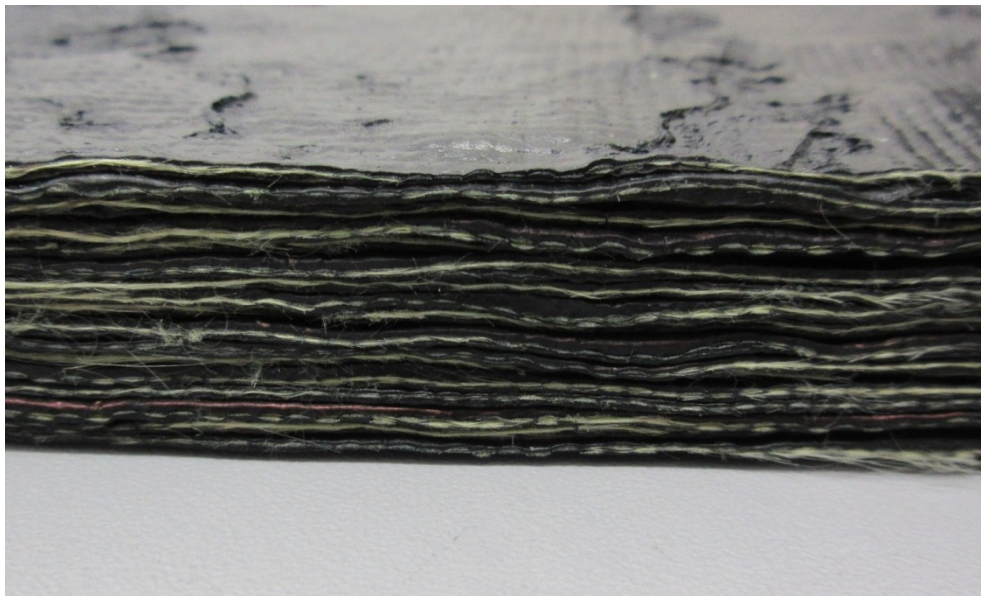
Zvolená aplikovaná navážka směsi, 200 g na každou stranu, měla za výsledek, že hotový polotovár měl průměrně tloušťku 0,8-0,9 mm v závislosti na místě měření. Po výrobě několika takových kusů už jen stačilo pogumovanou tkaninu rozstříhat na požadovanou velikost a zvulkanizovat. Rozměr testovacího vzorku jsem zvolil 200×200 mm a tloušťku 5 až 20 mm odstupňovanou po 5 mm. Pro tento účel jsem nechal na zakázku vyrobit vulkanizační lisovací formu v podobě dvou uzavíracích desek a čtyř tvarových částí o stejné velikosti, které lze skládat na sebe. Všech šest komponentů této univerzální formy bylo vyřezáno laserem z ocelového plechu o tloušťce 5 mm. Výrobní výkres tvarové a uzavírací desky je k dispozici v příloze P I a příloze P II.



Obr. 13 Vulkanizační lisovací forma s použitím čtyř tvarových částí

Finální část výroby je již totožná pro laboratorně připravený kompozit vlastní výroby a také pro polotovár průmyslové výroby společnosti Continental. Jde o nastříhání polotovarů do požadovaných rozměrů, jejich navrstvení a následná vulkanizace v temperovaném lisu. U produktu vlastní výroby byl dostatek materiálu pro získání vzorků ve všech možných vyrobitelných tloušťkách. Materiál od společnosti Continental stačil jen na výrobu vzorků o tloušťce 15 a 20 mm. Vzhledem k tomu, že polotovár od společnosti Continental má jen jednosměrně orientovaná vlákna (viz. obrázek 9), tak bylo nutné, pro zvýšení pevnosti, každou vrstvu pokládat pootočenou o 90° vůči té předchozí. U kompozitu vlastní výroby, který má jako výztuž tkaninu s plátňovou strukturou,

se orientace jednotlivých vrstev neměnila. Připravené vzorky obou produktů před vulkanizací jsou patrné na následujících obrázcích 14 a 15.



Obr. 14 Laboratorně připravený kompozit vlastní produkce před vulkanizací

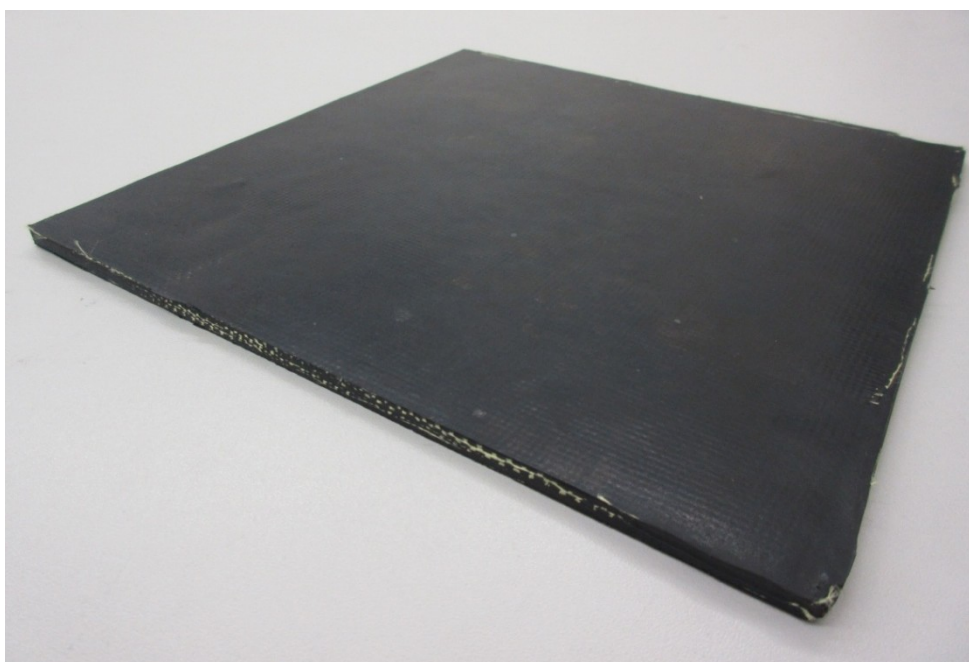


Obr. 15 Kompozit z materiálu průmyslové výroby před vulkanizací

Takto nachystané vzorky byly už jen zvlukanizovány v lisu s vyhřívanou spodní i horní lisovací deskou o pracovním prostoru 300×400 mm. Tento vulkanizační lis od společnosti IGTT a.s. Zlín dokáže vyvinout sílu 21 tun. Ve všech případech materiálu i tloušťky vzorku se lisovalo za působení teploty 160°C v vulkanizační formě, která byla již dříve popsána. Ostatní údaje jako je doba vulkanizace, počet vrstev nebo výsledná tloušťka kompozitu popisuje tabulka č. 4 – Přehled informací všech vyrobených vzorků kompozitu. Tloušťka a hmotnost výrobků byla měřena tři dny po jejich výrobě.

Tab. 4 Přehled informací všech vyrobených vzorků kompozitu

Číslo vzorku	Polotovár	Počet vrstev	Výrobní tloušťka [mm]	Tloušťka po vulkanizaci [mm]	Doba vulkanizace [min]	Hmotnost [g]
1	vlastní	6	5	4,7±0,2	8	223,4
2	vlastní	13	10	10,2±0,2	17	483,7
3	vlastní	17	15	14,1±0,2	25	655,2
4	vlastní	25	20	19,4±0,2	30	917,6
5	Continental	14	15	15,2±0,2	25	721,9
6	Continental	18	20	19,6±0,2	30	933,0



Obr. 16 Hotový kompozitní materiál vlastní výroby o tloušťce 4,7 mm (vzorek 1)

6 ZBRANĚ A STŘELIVO POUŽITÉ PRO EXPERIMENT

Pro testování balistické odolnosti vyrobených kompozitních plátů byly přednostně vybrány samonabíjecí pistole v rážích spadajících do norem uvedených v teoretické části. Konkrétně se jedná o střelivo ráží 9 mm Luger a .40 S&W, kdy první ze jmenovaných lze brát jako nejvíce používaný pistolový náboj na světě. Kromě krátkých palných zbraní byly k dispozici pro testování také velkorážní dlouhé zbraně, které nakonec nebylo nutné použít.

6.1 Samonabíjecí pistole Glock 17 4. generace

Pistole Glock 17 je nejrozšířenější a nejvíce vyráběnou pistolí na celém světě. Své uplatnění našla jako nejspolehlivější služební pistole příslušníků policie a armády několika desítek států, ale také v civilním sektoru jako zbraň pro taktickou střelbu a jiné použití. Jedná se o samonabíjecí pistolí rakouské výroby s polymerovým rámem, který pistolí zajišťuje nízkou hmotnost, což se kladně projeví při dlouhodobém nošení této zbraně. Svými rozměry spadá zbraň do kategorie standardní velikosti pistolí, často také označované anglicky FULL SIZE.



Obr. 17 Samonabíjecí pistole Glock 17 Gen4 9 mm Luger [16]

Základní parametry pistole Glock 17:

Ráže:	9 mm Luger (také jen jako 9×19)
Celková délka:	202 mm
Délka hlavně:	114 mm
Hmotnost:	705 g
Kapacita zásobníku:	17 nábojů [16]

6.2 Samonabíjecí pistole Glock 23 4. generace

Pistole Glock 23 nese všechny aspekty předchozí pistole, kromě ráže a velikosti. Jde o novější model tohoto výrobce a svou velikostí se řadí mezi pistole s označením COMPACT. Svou menší velikostí a použitým nábojem jde o ideální zbraň pro skryté nošení na nutnou obranu. Jde tedy o zbraň rozšířenou více v civilním sektoru než u příslušníků policie. Průměr ráže .40 S&W značené v palcích je v metrickém systému 10 mm.



Obr. 18 Samonabíjecí pistole Glock 23 Gen4 .40 S&W [16]

Základní parametry pistole Glock 23:

Ráže:	.40 S&W
Celková délka:	185 mm
Délka hlavně:	102 mm
Hmotnost:	675 g
Kapacita zásobníku:	13 nábojů [16]

6.3 Použité střelivo a jeho vlastnosti

Při výběru použitého střeliva jsem se řídil normami ČSN 395360 a NIJ Standart-0101.06, které tyto údaje přesně charakterizují. V případech obou zbraní s odlišnou ráží se jednalo o tovární střelivo českého výrobce Sellier&Bellot. Kromě průměru strel obou ráží je hlavním rozdílem konstrukce jejich projektilu. Střela 9 mm Luger má standardně ogivální tvar, naproti tomu střela ráže .40 S&W má tvar komolého kuželu. Veškeré parametry shrnuje tabulka číslo 5 a rozdíl v nábojích je patrný na obrázku 19.

Tab. 5 Přehled informací použitého střeliva [17]

Ráže	9 mm Luger (9×19)	.40 S&W
Typ střely	FMJ	FMJ
Hmotnost střely [g]	8	11,7
Rychlost střely [m/s]	360	295
Energie střely [J]	518	509



9mm vs .40 S&W

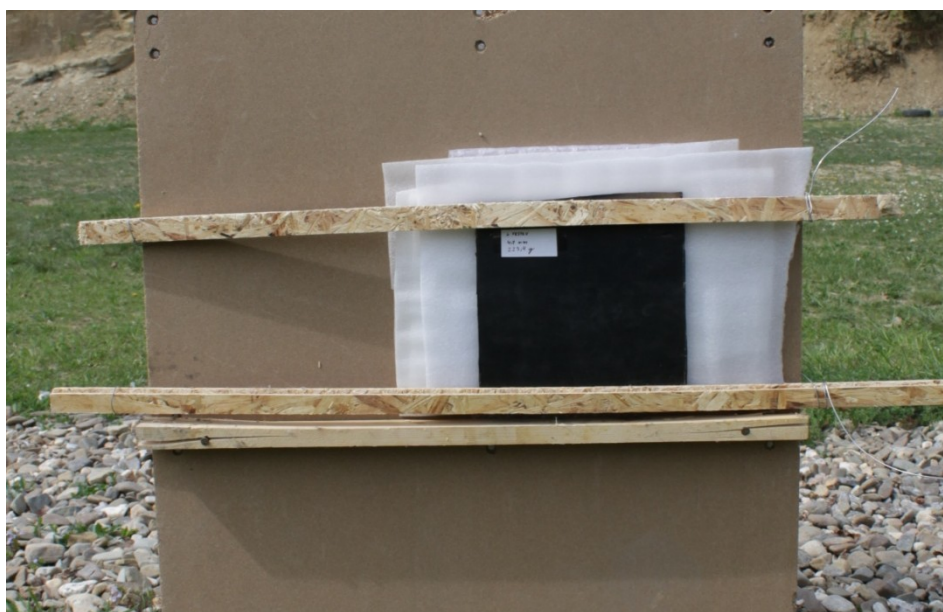
Obr. 19 Srovnání nábojů 9 mm Luger a .40 S&W [18]

7 TESTOVÁNÍ BALISTICKÉ ODOLNOSTI

Experiment byl proveden mnou s použitím legálně držených střelných zbraní palných za dodržení nezbytných bezpečnostních opatření. Testování se uskutečnilo na střelnici o celkové délce 50 metrů v obci Březolupy. Testované vzorky byly umístěny do vzdálenosti 25 metrů od střeleckého stanoviště, samotný experiment však probíhal ze vzdálenosti menší.

7.1 Uchycení vzorku a jeho podklad

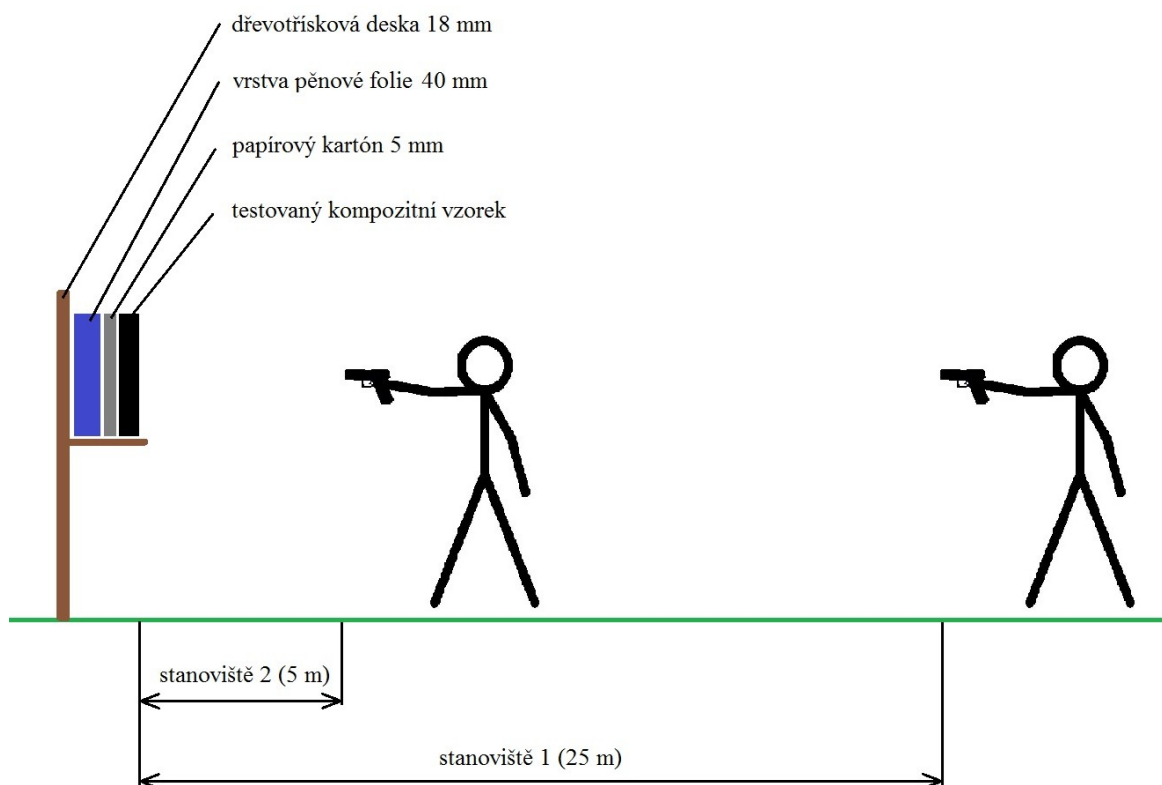
U testování balistické odolnosti bylo nutné vymyslet vhodné uchycení testovacích vzorků tak, aby byl patrný obtisk do podkladu v případě deformace testovaného plátu a také, aby tento vzorek nebyl umístěn pouze na pevné podložce. Pro tento účel jsem se rozhodl vyrobit vlastní stojan, který byl tvořen dřevotřískovou deskou, několika vrstvami pěnové a bublinkové balicí fólie o tloušťce přibližně 4 cm a jednou vrstvou kartónu. Použitá balicí fólie měla v této vrstvě přibližně stejnou tuhost jako lidská tkáň a deska pod ní simulovala kost, kdy není možné dál tuto vrstvu pružně deformovat. Právě kvůli pružné deformaci bylo potřeba pod testovaný plát umístit kousek obyčejného kartónu, který sloužil jako záznamové médium vtisku. Celý tento sendvič všech vrstev držely pohromadě dvě dřevotřískové tyče, které opět zajišťovaly potřebnou pružnost a simulovaly tak použití na živém cíli.



Obr. 20 Stojan pro testování balistické odolnosti

7.2 Průběh testování

Pro zvýšení bezpečnosti se vždy první rána na daný vzorek pálila ze vzdálenosti 25 metrů (stanoviště 1), aby byli všichni přítomní ochráněni proti možnému odrazu střely. Po této bezpečnostní zkoušce se na vzorek dál střílelo ze vzdálenosti 5 metrů (stanoviště 2). Tuto hodnotu udává také americká norma NIJ Standart-0101.06 pro testování tříd balistické odolnosti. Pozici střelce a skladbu terče je možné vyčíst z obrázku 21.



Obr. 21 Schéma průběhu testování balistické odolnosti

Při střelbě byla v jistých případech, pro dosažení větší přesnosti, použita konverze KPOS od výrobce FAB Defense. Tato konverze umožňuje použít sklopnou ramenní opěrku a libovolný zaměřovač, který se upevňuje na horní weaver lištu. V mém případě se jednalo o kolimátor značky OKO české výroby.



Obr. 22 Pistole Glock 17 vložená v konverzi KPOS

Všechny vzorky byly následně zasaženy alespoň pěti střelami ráže 9 mm Luger a vybrané v kombinaci s ráží .40 S&W. Obě ráže byly použity jen na vzorcích o tloušťce 20 mm, u kterých byla předpokládána nejvyšší odolnost. Ostatní byly testovány jen za použití náboje 9mm Luger.



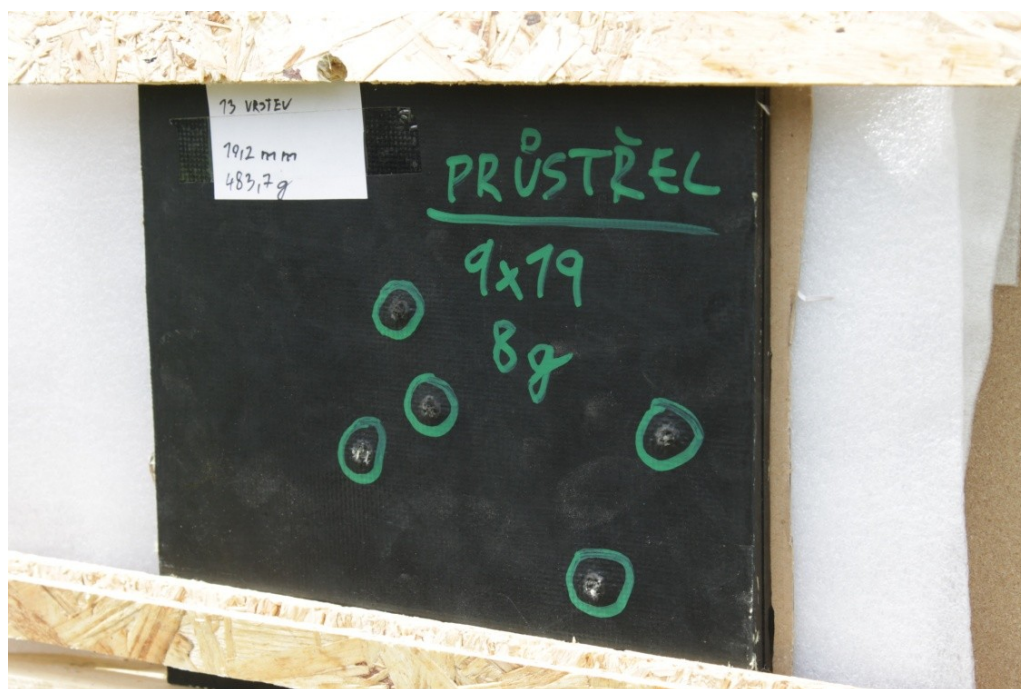
Obr. 23 Testování balistické odolnosti

7.3 Výsledky testování

Navzdory dobrým předpokladům a počtu použitých vrstev u nejtlustších vzorků se nepodařilo zastavit střelu ráže 9 mm Luger ani v jednom z případů testování. Střela pronikla vždy celým kompozitním plátem, takže způsobila průstřel. Následně pokračovala v letu skrz měkký podkladový materiál, dřevotřískovou desku a také skrz pneumatiky, o které se celý stojan opíral. Tento výsledek byl stejný pro oba typy použitého polotovaru. V takovém případě vyrobené vzorky nesplnily požadavek na třídu balistické odolnosti pro tuto ráži. Při testování se však jako dobrý nápad ukázalo použití kartónové vrstvy jako záznamového média vtisku při průhybu testovaného plátu. Vrstva kartónu držela deformovaný tvar, také z množství trhlin lze usoudit, jak moc byl průhyb velký, protože v případě průstřelu se kompozitní materiál vždy vyrovnal bez trvalých tvarových změn. Otvor po střele je prakticky totožný na vstřelové i výstřelové straně prostřeleného vzorku.



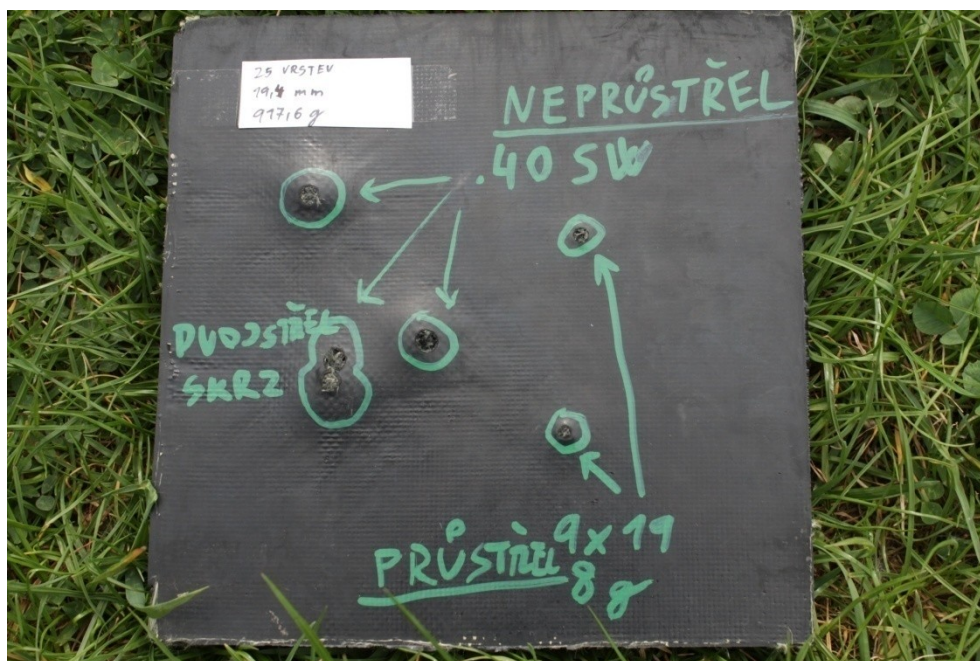
Obr. 24 Vtisk po průstřelu vzorku číslo 1 ráží 9 mm Luger



Obr. 25 Vzorek číslo 2 po zásahu pěti střel ráže 9 mm Luger

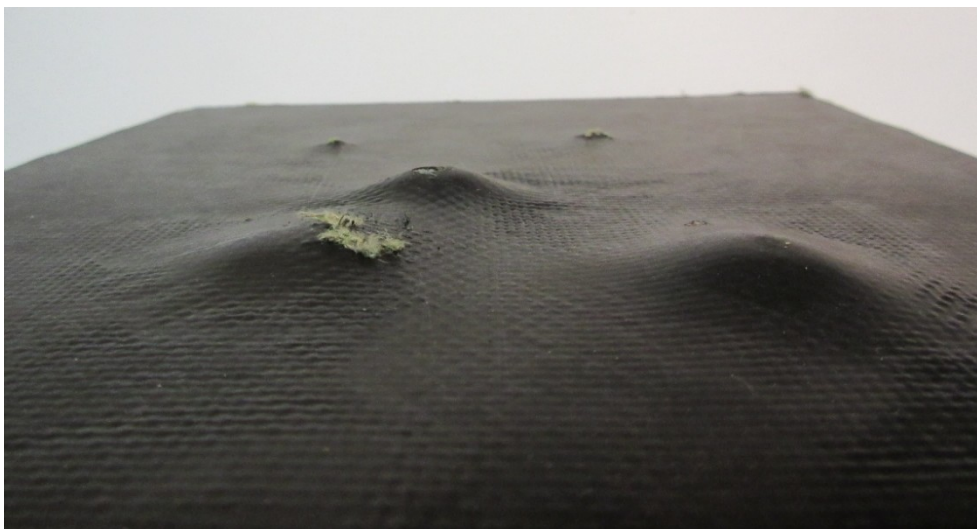
V případě použití ráže .40 S&W na vzorky tloušťky 20 mm začal být průběh testování poněkud zajímavější. Proti tomuto střelivu zdárně odolal vzorek číslo 4, tedy kompozitní plát o tloušťce 20 mm vlastní laboratorní výroby. Obdobný plát, ale vyrobený z průmyslově připraveného polotovaru (vzorek číslo 6) v této zkoušce bohužel neobstál. Tento výsledek byl očekávatelný, protože je jasné, že tkanina bude mít větší odolnost než jednosměrně orientovaná vlákna, které jsou vrstveny pootočené vždy o 90°. Přesto, že tímto materiálem střela .40 S&W pronikla, přišla od drtivou část své energie a bylo tak možné prošlé střely sbírat ze země těsně za testovacím stojanem.

Vzorek číslo 4 byl jediný, který během testování dokázal zastavit střelu z ruční palné zbraně. Vzhledem k tomu, že použití náboje, kterému plát odolal, naše česká norma ČSN 395360 neuvažuje, je nutné se při přiřazení třídy balistické odolnosti řídit americkou normou NIJ Standart-0101.06. Je nutné brát v úvahu, že střela 9 mm Luger a .40 S&W spadá v americké normě pod jednu třídu balistické odolnosti. Konkrétně se jedná o TBO II-A. Je tedy zajímavé, že v jednom z případů plát obstál a v druhém ne. Každopádně i tak lze stanovit, že vzorek číslo 4 s 25 vrstvami aramidové tkaniny splňuje třídu balistické odolnosti II-A pro druhý projektil, kterým je ráže .40 S&W.

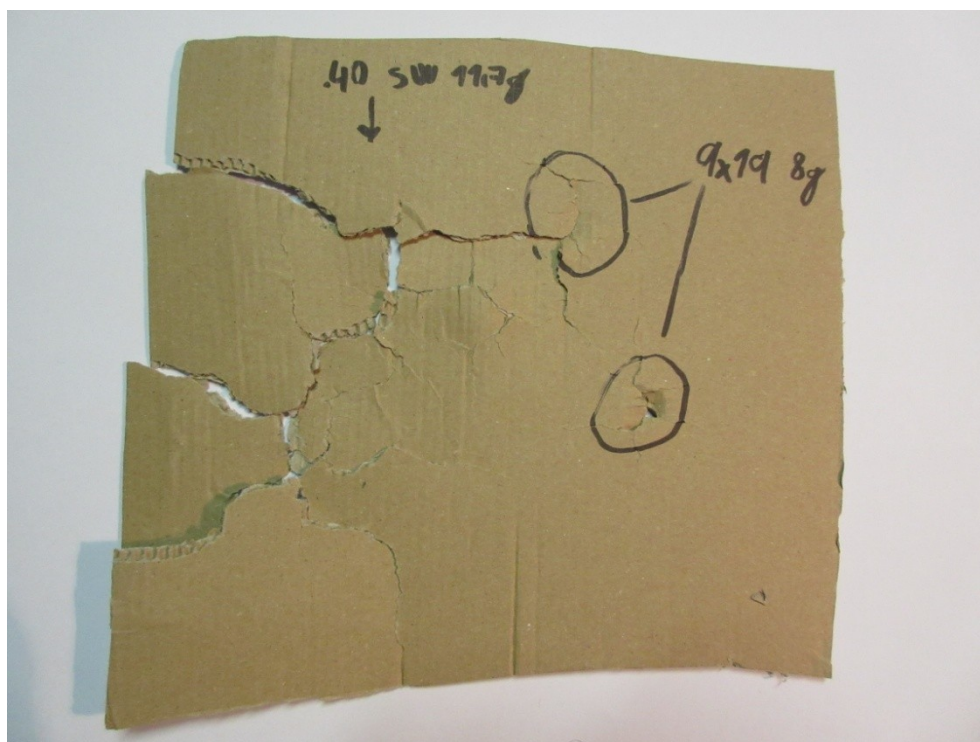


Obr. 26 Kompozitní materiál vlastní výroby, který zastavil střelu .40 S&W

Jak je obrázcích 25 a 26 patrné, tak při zadržení střely se kompozitní plát trvale deformoval v místě zásahu a blízkém okolí. V případě opakovaného zásahu (tzv. dvojstřelu) do stejného místa již tato druhá střela materiálem pronikla. Byla ovšem tak zpomalena, že ji bylo také možné nalézt kousek za prostřeleným plátem. Dle poškození kartónu, zaznamenávajícího vtisk plátu do podkladového materiálu, lze usoudit, že zasažený člověk by utrpěl zranění v rozsahu hematomů případně lehkých zlomenin.



Obr. 27 Deformace kompozitu na výstřelové straně zachycením střely ráže .40 S&W



Obr. 28 Vtisk po zachycení střely ráže .40 S&W u vzorku číslo 4

Tab. 6 Výsledky testování balistické odolnosti vzorků 1-6

Číslo vzorku	Polotovár	Počet vrstev	Výrobní tloušťka [mm]	Kontakt střely s cílem			
				25 m		5 m	
				9 mm	.40 SW	9 mm	.40 SW
1	vlastní	6	5	průstřel	X	průstřel	X
2	vlastní	13	10	průstřel	X	průstřel	X
3	vlastní	17	15	průstřel	X	průstřel	X
4	vlastní	25	20	průstřel	X	průstřel	zástřel
5	Continental	14	15	průstřel	X	průstřel	X
6	Continental	18	20	průstřel	X	průstřel	průstřel*

X ... nebylo testováno

* ... střely bylo možné sbírat těsně za terčem díky rapidnímu zpomalení po průniku

ZÁVĚR

Z provedených experimentů vyplývá, že laboratorně připravený kompozitní materiál vlastní výroby dopadl lépe, než získaný polotovár průmyslové výroby společnosti Continental. Nutno však říci, že předpoklady odolnosti tohoto materiálu byly očekávány lepší, než jak skutečně dopadly. Za tento neúspěch může s největší pravděpodobností zvolená aramidová tkanina o hustotě 173g/m^2 . Plátnová vazba je pro toto použití velmi vhodná, nicméně pro efektivní zastavení střel o malém průměru a vysoké rychlosti by bylo vhodnější použít tkaninu s menší hustotou a menším průměru vláken, ze kterých je tkanina vyrobena. Tento aspekt by byl rozhodující pro případné uplatnění tohoto kompozitního materiálu v praxi, protože během tohoto experimentu bylo patrné, že střela, která materiálem pronikla, si našla spíš cestu mezi vlákny, než aby je mechanicky poškodila. Použití jemnější aramidové tkaniny a více jejích vrstev by tento problém mohlo efektivně vyřešit. V případě masové výroby by bylo vhodné nanášet kaučukovou směs na aramid pomocí tříválce. Mokrý metoda použitá v tomto experimentu celou výrobu zbytečně prodražuje a je extrémně zdlouhavá. Výroba všech šesti vzorků pro tento experiment trvala přibližně 300 hodin.

Cílem experimentu bylo podrobit vyrobený materiál zkoušce s využitím běžných palných zbraní a především s dostupným střelivem na civilním trhu. Pokud by se podařilo výše popsané návrhy na zlepšení produktu realizovat, bylo by potřeba podrobit materiál zkouškám za použití armádního střeliva s průbojnými střelami, které jsou často užívány v ozbrojených konfliktech. Právě zde by takový kompozitní materiál našel své největší uplatnění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AGARWAL, Bhagwan D. a Lawrence J. BROUTMAN. *Vláknové kompozity: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [2] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. ISBN 80-214-2443-5.
- [3] POLÁŠEK, Zdeněk. *Polymerní kompozitní materiály v elektrotechnické praxi*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 98 s. (15 111 znaků). Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/24537>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Rusnáková, Soňa.
- [4] Kompozitní materiály [online]. 2014 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/6_kompozitni-materialy.pdf
- [5] JANOVEC, Jiří, Jiří CEJP a Josef STEIDL. *Perspektivní materiály*. Vyd. 3., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04167-3.
- [6] KOS, Petr. *Vlastnosti polymerních dlouhovláknových kompozitů s různými výztužemi* [online]. [cit. 2019-03-01]. Vedoucí práce Zdeňka, Jenikova. Dostupné z: <http://stc.fs.cvut.cz/pdf12/2540.pdf>
- [7] Vlákna pro kompozity [online]. Volny, 2019 [cit. 2019-03-14] Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20100401025714/http://www.volny.cz/zkorinek/vlakna.pdf>
- [8] PLÍHAL, Bohumil. *Balistická ochrana*. Brno: Univerzita obrany, 2012. ISBN 978-80-7231-862-9.
- [9] MALÝ, M. *Vliv parametrů uniaxiálního lisování na výsledné vlastnosti keramiky pro balistické aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 63 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Kachlík, Ph.D.
- [10] PLANKA, Bohumil. *Kriminalistická balistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2010. ISBN 978-80-7380-036-9.
- [11] PANÁČEK, Roman. *Bezpečnostní studie balistické odolnosti vybraných materiálů*. Ostrava, 2017. 68 s. Diplomová práce. VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Stanislav Lichorobiec, Ph.D.

- [12] UHER, Michal. *Balistická ochrana trupu pro vojenské účely* [online]. 2015 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/balisticka-ochrana-trupu-provojske-ucely.html>
- [13] Nauka o střelivu. *Zbraně kvalitně* [online]. 2017 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://zbrankvalitne.cz/zbrojni-prukaz/nauka-o-strelivu>
- [14] Pro-Systems spa ©, *Specification TYPE 281*. [online]. 2005 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.pro-systems.it/>
- [15] Zákon o zbraních, předpis č. 119/2002 Sb. [online]. 2002 [cit. 2019-05-01] Dostupné z: <https://zbrankvalitne.cz/legislativa/119/2002>
- [16] GLOCK Ges.m.b.H, *Glock Perfection*. [online]. 2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://eu.glock.com/en>
- [17] Sellier&Bellot a.s., *Pistolové a revolverové náboje*. [online]. 2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.sellier-bellot.cz/produkty/pistolove-a-revolverove-naboje/pistolove-a-revolverove-naboje/>
- [18] Bravo Concealment, *9MM VS .40 S&W*. [online]. 2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.bravoconcealment.com/blogs/latest-news/9mm-vs-40-s-w>
- [19] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - modely a vlastnosti*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-972-4.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PP	Polypropylen
PE	Polyetylen
PS	Polystyren
PET	Polyetylen tereftalát
TBO	Třída balistické odolnosti
IED	Improvised explosive device – improvizované výbušné zařízení
ČÚZZS	Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva
FMJ	Full Metal Jacket – celoplášťová střela
SP	Soft Point – poloplášťová střela
JHP	Jacket Hollow Point – šoková střela
S&W	Smith & Wesson

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozdělení kompozitů podle geometrie a orientace plniva a struktur [3].....	13
Obr. 2 Přehled dvouvláknových tkanin [6].....	15
Obr. 3 Grafické znázornění druhů kontaktů střely s cílem [10]	23
Obr. 4 Okrajový zápal, středová zápalka Berdan a Boxer [10]	26
Obr. 5 Řez kulovým nábojem 9 mm Luger se středovým zápalem typu Boxer [13]	27
Obr. 6 Řez malorážkovým kulovým nábojem .22 LR s okrajovým zápalem [13]	27
Obr. 7 Řez brokovým nábojem s hromadnou střelou [13]	28
Obr. 8 Řez brokovým nábojem s jednotnou střelou [13].....	29
Obr. 9 Struktura polotovaru pogumovaných aramidových vláken.....	33
Obr. 10 Nastříhaná kaučuková směs.....	34
Obr. 11 Nánosový roztok po míchání	35
Obr. 12 Aramidová tkanina potřená nánosovým roztokem.....	35
Obr. 13 Vulkanizační lisovací forma s použitím čtyř tvarových částí.....	36
Obr. 14 Laboratorně připravený kompozit vlastní produkce před vulkanizací	37
Obr. 15 Kompozit z materiálu průmyslové výroby před vulkanizací.....	37
Obr. 16 Hotový kompozitní materiál vlastní výroby o tloušťce 4,7 mm (vzorek 1)	38
Obr. 17 Samonabíjecí pistole Glock 17 Gen4 9 mm Luger [16]	39
Obr. 18 Samonabíjecí pistole Glock 23 Gen4 .40 S&W [16].....	40
Obr. 19 Srovnání nábojů 9 mm Luger a .40 S&W [18].....	41
Obr. 20 Stožan pro testování balistické odolnosti	42
Obr. 21 Schéma průběhu testování balistické odolnosti.....	43
Obr. 22 Pistole Glock 17 vložená v konverzi KPOS	44
Obr. 23 Testování balistické odolnosti	45
Obr. 24 Vtisk po průstřelu vzorku číslo 1 ráží 9 mm Luger	46
Obr. 25 Vzorek číslo 2 po zásahu pěti střel ráže 9 mm Luger.....	46
Obr. 26 Kompozitní materiál vlastní výroby, který zastavil střelu .40 S&W.....	47
Obr. 27 Deformace kompozitu na výstřelové straně zachycením střely ráže .40 S&W.....	48
Obr. 28 Vtisk po zachycení střely ráže .40 S&W u vzorku číslo 4	48

SEZNAM TABULEK

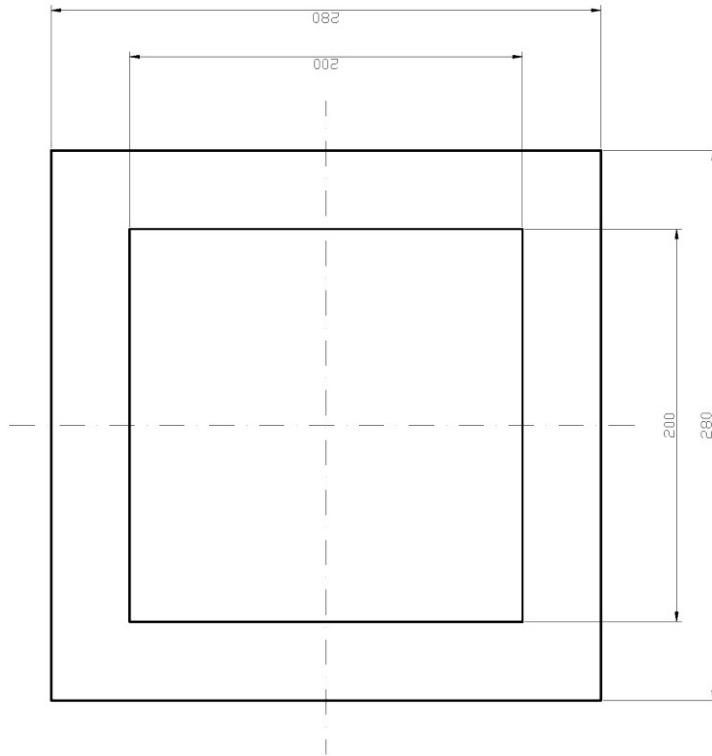
Tab. 1 Třídy balistické odolnosti dle ČSN 395360 [8].....	21
Tab. 2 Třídy balistické odolnosti dle NIJ Standart-0101.06 [8].....	22
Tab. 3 Vlastnosti aramidové tkaniny [14]	33
Tab. 4 Přehled informací všech vyrobených vzorků kompozitu	38
Tab. 5 Přehled informací použitého střeliva [17]	41
Tab. 6 Výsledky testování balistické odolnosti vzorků 1-6.....	49

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výrobní výkres tvarové desky formy

Příloha P II: Výrobní výkres uzavírací desky formy

PŘÍLOHA P I: VÝROBNÍ VÝKRES TVAROVÉ DESKY FORMY



MATERIÁL: PLECH NEREZ OCEL TLOUŠŤKY 5mm
VYROBIT 4 KS

ŘEZÁNO LASEREM

INDEX	ZNAČKA	PODPIS	UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
			Fakulta technologická
			Ústav výrobního inženýrství
ZJMAT.	T.O.	PROJEKT	MĚR. 1:2
ROZM.-POJIT.	ČSN		
POM. ZÁR.	PRŮM.		
KRESLIL SKOUDIS M.	INFORM. REF.		
PŘEZK.	SCHVÁLIL		
TECHNOL.	DATE: 21.3.19	STAVŮ V.	
NÁZEV	ČÍSLO VÝKRESU	Č. V.	
TVAROVÁ DESKA FORMY			UTB-FT-0001-BP
			Líst.

PŘÍLOHA P II: VÝROBNÍ VÝKRES UZAVÍRACÍ DESKY FORMY

