



Alternativní testování balistické odolnosti

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní technologie, materiály a nanomateriály

Autor práce:

Zdeněk Šípek

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství





Zadání bakalářské práce

Alternativní testování balistické odolnosti

Jméno a příjmení: **Zdeněk Šípek**
Osobní číslo: T19000008
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Zadávací katedra: Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na téma balistické odolnosti a jejího testování.
2. Navrhněte metodu testování balistické odolnosti nevyžadující střelnou zbraň.
3. Navrženou metodu realizujte a porovnejte s testy balistické odolnosti proti střelám.
4. Výsledky diskutujte z hlediska možného zavedení této metody na TUL.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40-60 dle potřeby
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. JUŘÍČEK Ludvík a kolektiv Ranivá balistika: Technické, soudnělékařské a kriminalistické aspekty, Nakladatelství KeyPublishing s.r.o., ISNB 978-80-7418-274-7

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

1. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

28. května 2021

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

16. května 2021

Zdeněk Šípek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, prof. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D a konzultantovi Ing. Michalu Martinkovi, za cenné rady, věcné připomínky a čas při konzultacích a za spolupráci při získávání údajů pro praktickou část práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janě Grabmüllerové za pomoc s pořízením snímků elektronovým mikroskopem. V neposlední řadě patří obrovské poděkování mé rodině za její podporu a motivaci.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá alternativním testováním balistické odolnosti. V úvodu této práce je teorie o balistice, balistická odolnost, historie balistiky, výběr materiálů, které se ke zkoušce této odolnosti používají. Na to navazuje návrh alternativního testování balistické odolnosti bez použití střelné zbraně. Pokračuje samotným testováním této metody, porovnáním těchto výsledků s testy při použití střelných zbraní a návrhem využití této alternativní metody na TUL.

Klíčová slova: balistika, balistická odolnost, aramidová vlákna, alternativní testování

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with alternative ballistic resistance testing. In the introduction this thesis deals with the theory of ballistics, ballistic resistance, history of ballistics, selection of materials that are used for testing. This is followed by a proposal of alternative ballistic resistance testing without the use of firearms. The work continues by testing this alternative method and comparing the results with test results using firearms and propose the use of this alternative method on TUL.

Keywords: ballistics, ballistic resistance, aramid fibers, alternative testing

Obsah

OBSAH.....	7
1. ÚVOD.....	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1. BALISTIKA	10
2.2. HISTORIE BALISTICKÉ OCHRANY	10
2.3. DĚLENÍ BALISTIKY	11
2.3.1. Vnitřní balistika	11
2.3.2. Přechodová balistika	12
2.3.3. Vnější balistika.....	12
2.3.4. Koncová balistika.....	12
2.4. BALISTICKÁ ODOLNOST	13
2.4.1. Balistická norma NIJ 0101.06	15
2.4.2. Balistická norma ČSN 39 5360.....	18
2.4.3. Balistická norma STANAG 2920 Ed. 3.....	22
2.5. MATERIÁLY BALISTICKÉ OCHRANY	23
2.5.1. Kevlar.....	23
2.5.2. Twaron.....	29
2.5.3. Využití para-aramidů	33
3. PRAKTICKÁ ČÁST.....	34
3.1. POUŽITÉ MATERIÁLY A POMŮCKY	34
3.2. POUŽITÉ METODY	40
3.2.1. Testování nestřelnou zbraní	40
3.2.2. Testování střelnou zbraní Voere Flobert 9 mm	43
3.2.3. Testování střelnou zbraní Walther G22	44
4. VÝSLEDKY.....	46
4.1. VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ NESTŘELNOU ZBRANÍ	46
4.2. VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ STŘELNOU ZBRANÍ VOERE FLOBERT 9 MM.....	49
4.3. VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ STŘELNOU ZBRANÍ WALTHER G22.....	51
5. VYHODNOCENÍ A DISKUSE.....	56
6. ZÁVĚR.....	57
7. ZDROJE.....	58

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Co-NH	peptidová vazba
FPS	footstep per second / stopa za sekundu
kx	1000x zvětšení
LKČ	limitní kyslíkové číslo
NMP	N-methyl-2-pyrrolidon
PPD	p-fenylendiamin
PPTA	poly-p-fenylen-tereftalamid
TDC	dichlorid kyseliny tereftalové
μm	mikrometr
CP	celoplášťová střela
Fej	kovové jádro
Pbj	olovněné jádro
O	ogivál
KK	komolý kužel
TBO	třída balistické odolnosti
TON	třída odolnosti proti bodným zbraním
V50	mez balistické odolnosti

1. Úvod

S použitím prvních zbraní vzniká poptávka také po prostředcích ochrany. Ve středověku byly hlavními materiály ochrany například drátěné košile nebo brnění. S nástupem střelných zbraní se staly tyto materiály ale nedostatečné. Došlo k testování a výrobě nových produktů, které by tuto poptávku pokryly. S rozvojem vojenské techniky je potřeba neustále zvyšovat kvality materiálů, u kterých je testována balistická ochrana. Vyrábí se množství ochranných prostředků, ať už pro vojenské účely, pro potřeby lidí, kteří mají nebezpečné povolání jako například piloti Formule 1, nebo pro jednotlivce, kteří používají ochranné prostředky pro své nebezpečné záliby. Materiály, které se v současné době používají, jsou neustále zdokonalovány, aby jejich využití bylo co nejširší, poskytovaly co nejlepší ochranu a měly co nejnižší hmotnost, aby je bylo možno využít k celodennímu nošení. Dnešní materiály jsou vysoce efektivní a výrobky z nich, jako například neprůstřelné vesty, jsou již pod oblečením sotva znatelné. Také možnost koupit si prostředek využívaný k balistické ochraně dnes není problém. Může si ji pořídit každý pro svoji osobní potřebu a ochranu.

Na začátku této bakalářské práce je popsána balistika a její části, historie a vývoj ochranných prostředků a balistické normy. Další část je věnována textilním materiálům, využívaným při výrobě ochranných prostředků v dnešní době, které splňují vlastnosti, jež jsou u těchto materiálů nejdůležitější – nízkou hmotnost, odolnost, pevnost a nehořlavost.

V praktické části práce navrhnu alternativní testování balistické odolnosti s použitím nestřelné zbraně, otestuji ji, popíšu materiály a nástroje, které jsem při tomto testování využil a veškeré testování budu dokladat fotodokumentací. Výsledky testů porovnáám s testy při použití střelných zbraní Flobert ráže 9 mm a zbraně Walther G22.

V závěru práce porovnáám použité metody a navrhnu možnosti využití alternativní metody na TUL.

2. Teoretická část

2.1. Balistika

Balistika je vědní obor, který se zabývá každou částí letu střely, počínaje výstřelem, pokračující letem, kdy zkoumá okolnosti letu a ostatní jevy, které s pohybem střely souvisí a končící dopadem do cíle a zkoumáním ničivých účinků. Tento obor má mnoho využití v dalších vědních oborech, jako je lékařství, ať už soudní, civilní nebo úrazová chirurgie. Využití tohoto vědního oboru v kriminologii, právu i dalších technických či netechnických oborech, je dnes již samozřejmostí [1].

2.2. Historie balistické ochrany

K okamžiku, kdy člověk začal lovit, používat první zbraně pro svou ochranu či k dobytí nového území, datují se i počátky balistické ochrany. Lidé se chrání před útokem zvěře, používají první zbraně, prak, oštěp, luk i první palné zbraně, což vyvolává nutnost ochrany sebe sama. Nejprve se začaly používat zvířecí kůže k výrobě ochranných oděvů a štítů, postupem doby se využívaly tvrdší materiály jako dřevo a kov. Vylepšovala se ochrana těla, začaly se nosit náprsníky a přilby. Historie přináší neustálé vylepšování jak ochranných prvků, tak jejich materiálů. Ve 14. století, které je považováno za vrchol rytířství, je již běžnou záležitostí zbroj pokrývající celé tělo. S rozvojem střelných zbraní však dochází k útlumu těchto ochranných prvků, protože se ukázaly jako neúčinné. Lidé již nebojovali tváří v tvář, střelné zbraně měly větší dosah, a tudíž nošení brnění, které bylo těžké, pozbylo účinku. Bylo nutno používat materiály, které byly lehké a bylo možno se v nich pohybovat dlouho a na větší vzdálenost [2].

Jako první začali používat středověcí Japonci brnění z hedvábí. Ve Spojených státech Amerických se začalo měkké brnění z hedvábí používat až na konci 19. století. Armáda začala zkoumat využití měkkého brnění z hedvábí na počátku 20. století. Ukázalo se však, že je odolné jen proti kulkám s malou rychlostí. Proti modernějším zbraním, které se již začaly objevovat, účinné nebylo. Další nevýhodou byla jeho vysoká cena. Během první světové války se ochrana omezovala na přilby. Ochrana těla se nevyužívala. Přílišná hmotnost a také nedostatečná ochrana byly malou přidanou hodnotou. Přesto se věřilo, že tento způsob ochrany má velký

potenciál. Studie obětí během první světové války ukázaly, že mnoho obětí by bylo možno zachránit, pokud by na sobě měly nějakou formu brnění. Až do doby začátku druhé světové války se s ochranou těla spíše experimentovalo. Jsou známy záznamy patentů, a různé demonstrace neprůstřelných vest, které se však nikdy nezačaly hromadně používat [2].

Větší využití neprůstřelných vest jako prostředků balistické ochrany začalo během druhé světové války. Do nylonové látky byly zasunuty ocelové pláty. Tuto ochranu hrudníku používaly nejvíce posádky letadel. Měly zachytit množství šrapnelů, které se vznášely v oblacích při bojových akcích. Vesta měla poutko, kterým se dala rychle odepnout, pokud by letadlo dostalo zásah a padalo k zemi. Při dopadu do vody by hrozilo utonutí, neboť i tato ochranná pomůcka byla těžká. Proto tato ochrana byla využívána především v armádě. Přestože byly tyto vesty těžkopádné, nedalo se upřít, že u střel malé rychlosti byly efektivní [2].

Výzkum a vývoj ochranných prostředků, zejména neprůstřelných vest, pokračoval i po válce. Vesty používali i vojáci během Vietnamské a Korejské války, byly ale stále nedokonalé, těžké, objemné a nepohodlné. Stále byly účinné proti šrapnelu, ale ne proti kulce s vyšší rychlostí. Byly doplněny přilbou [2].

Teprve na konci 60. let došlo k vývoji materiálů, které umožnily vyrobit neprůstřelné vesty nové generace. V 70. a 80. letech minulého století byly vyrobeny neprůstřelné vesty, které byly lehké, velmi efektivní, vyrobené z nových kevlarových a keramických materiálů. Byly definovány požadavky, které musí materiál mít, aby splňoval specifické vlastnosti pro balistickou ochranu. Nejlépe se hodil materiál vyráběný pod názvem DuPont Kevlar [2].

2.3. Dělení balistiky

2.3.1. Vnitřní balistika

Tato část se zabývá úplným počátkem výstřelu. Od zážehu až po opuštění hlavně projde střela několika jevy a procesy. Mění se chemická energie v energii tepelnou a dále na energii kinetickou. Zažehnutím výmetné prachové náplně začíná řada událostí, které mají za následek vysokou teplotu, sílu a rychlost, které iniciují opuštění střely z hlavně. Vnitřní balistika zkoumá

faktory, které mají vliv na proces výstřelu. Řeší a vyvíjí oblasti konstrukce zbraní a střeliva. Samotný proces výstřelu dělíme na 4 úseky. Jsou to pyrostatika, kdy dochází k samotnému zážehu, pyrodynamika, kdy začíná pohyb střely až do okamžiku dohoření výmetné náplně. Dále je to expanze, kdy střela po dohoření opouští hlaveň a dodatečný účinek plynů, který má za následek ještě zrychlení střely [1].

2.3.2. Přechodová balistika

Tato část zkoumá proces, kdy střela opouští hlaveň. Prachové plyny expandující po výstřelu zrychlují střelu. Dodatečné účinky prachových plynů po výstřelu mají vliv jak na hlaveň, tak i na celou zbraň. Tato část balistiky se tedy vztahuje především k palným zbraním [1].

2.3.3. Vnější balistika

Vnější balistika se zabývá procesem, kdy střela již opustí hlaveň a zároveň již na ni přestávají působit plyny. Tato část se zabývá pohybem střely za jakýchkoliv podmínek. Pokud by byly podmínky ideální, pohybovala by se střela jinak než za podmínek, které jsou ovlivněny rušivými vlivy. Bez všech vlivů a sil by se střela pohybovala stále stejnou rychlostí a po přímce. Po výstřelu ale na střelu působí hlavně síla tíhová a síla odporu vzduchu, a proto se bude střela pohybovat po křivce, kterou nemůžeme nijak matematicky vyjádřit. Říkáme jí křivka balistická. Na střelu působí i další vlivy – vítr, teplota vzduchu a další vlivy, které se neustále mění. Proto tuto křivku nemůžeme nijak popsat [3].

2.3.4. Koncová balistika

Jedním z nejdůležitějších částí balistiky je balistika koncová. Zabývá se střelou od jejího dopadu na cíl, až do okamžiku, kdy se přestane pohybovat. Cílem může být jakýkoliv materiál, člověk, zvíře, a proto se tyto poznatky získané při zkoumání koncové balistiky využívají při lovu, sportovní střelbě, nebo při práci ozbrojených složek, například ostřelovačů [3].

2.4. Balistická odolnost

Třídou balistické odolnosti rozumíme míru absorpce kinetické energie projektilu při nárazu do ochranné vrstvy. Balistickou odolnost definují národní (např. česká norma ČSN, americká NIJ) či spolkové standardy (například STANAG). Jednotlivé státy mohou či nemusí disponovat svými národními normami. Z tohoto důvodu je běžně za „světový“ etalon osobní balistické ochrany brána norma Spojených států amerických – NIJ 0101.06. Jedná se o civilní balistickou normu z roku 2008 a nahrazuje stále hojně známou a v povědomí rozšířenou normu NIJ 0101.04. Armádní normou pro země aliance NATO lze považovat normu STANAG 2920 (**Standardization Agreement**).

Principem balistické ochrany je disipace energie střely neboli snížení kinetické energie střely.

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} [\text{J}]$$

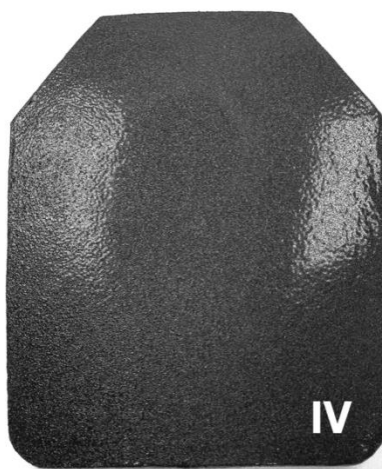
Balistickou ochranu rozdělujeme na dva typy:

- 1) tvrdá balistická ochrana
- 2) měkká balistická ochrana

Pro oba typy ochrany platí, že měkký či tvrdý balistický plát se zasouvá do kapsy nosiče plátů, lidově známého jako neprůstřelná vesta. Plátový nosič ale sám o sobě balisticky odolný není. Ten je vyroben nejčastěji z umělých pevnostních vláken typu Cordura® apod [4].

Tvrdá balistická ochrana, kam řadíme ocelové (např. švédská balistická ocel SSAB ArmoX) a keramické tvarované pláty zastaví střelu způsobem, že projektil se od plátu reflektuje či roztrhne, protože materiálová pevnost plátu je vyšší jak pevnost materiálu pláště střely. Zároveň je plát dostatečně tlustý, aby projektil plát svou hybností nepenetroval. Výhodou balistických plátů je jejich maximální možná míra ochrany a v určitém slova smyslu i „znovu-použitelnost“. Nevýhodou je hmotnost takového panelu a nepohodlí při nošení, jelikož tvarovatelnost oproti textilním materiálům pro měkkou balistiku je značně limitující. Pláty samotné váží kolem 2 až

5 kilogramů a nositel zpravidla nosí dva – prsní a zadní, pro maximální možnou ochranu pak i další dva menší pláty na bocích. Na Obrázku 1 je zobrazen kovový balistický plát. [5]



Obrázek 1: Tvrdý balistický plát [5]

Oproti tomu *měkká balistická ochrana* zastavuje projektil na principu rozprostření nárazové energie do prostoru. Je docíleno tzv. plastické deformace. Balistická tkanina rozprostírá energii při nárazu do prostoru skrze jednotlivá vlákna. Díky houževnatosti a pevnosti vláken dochází v krátkém čase k maximálnímu výkonu přenosu a rozprostření nárazové energie, deformaci špičky projektilu a vzniku tepla. Ne každá balistická tkanina dokáže zastavit každý projektil. Daná účinnost je specifikována balistickými normami. Z pohledu textilního můžeme ovšem pravit, že za účinností stojí kombinace – materiál, provázání, dostava.

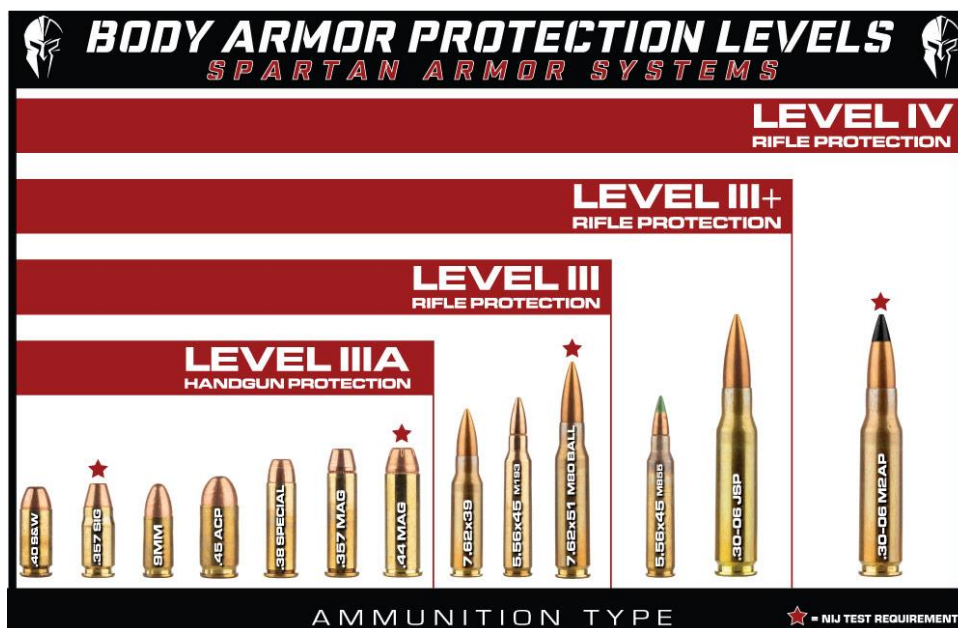
Na Obrázku 2 (první tři zleva doprava a dolů) je zobrazen nosič plátů českého výrobce FENIX PROTECTOR. Na čtvrtém obrázku je pak zobrazen tvar a rozměry měkké balistické vložky, která se zasune do kapsy nosiče. Balistický plát je kevlarová či jiná pro tento druh použití vhodná tkanina zapouzďována v odolném obalu (například v nylonu), který balistickou vložku chrání před znečištěním a změnami klimatických podmínek [4].



Obrázek 2: Balistický nosič plátů českého výrobce FENIX PROTECTOR a ukázka rozměrů měkkého balistického panelu v mm [4]

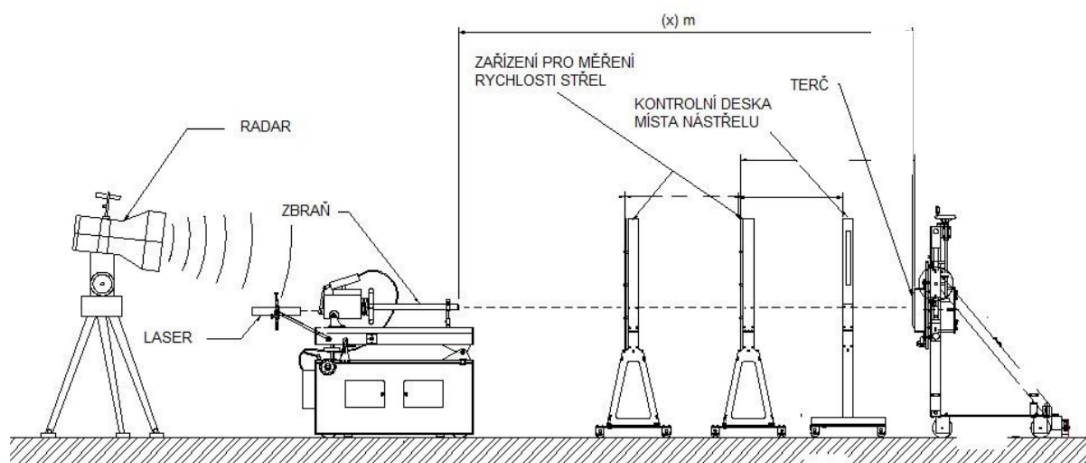
2.4.1. Balistická norma NIJ 0101.06

Norma NIJ 0101.06 je civilní balistická norma, která testuje odolnost vůči běžně dostupným pistolím a (automatickým) puškám. Norma testuje a dělí odolnost do šesti skupin – II, IIA, III, IIIA, IV a speciální skupina. Skupina IIIA je pak „všeobecně“ rozšířeným minimálním vojenským standardem. Je to právě tato skupina, ve které je testována standardizovaná ráže 7.62 NATO. Skupiny II, IIA a III jsou skupinami, kde se testuje pistolové střelivo, běžně tedy používané ráže 9 mm, 0.45 ACP, .40 S&W apod. V těchto skupinách se netestuje žádná pušková munice – ta je, jak je zmíněno výše – testována až ve skupině IIIA. Skupina IV je schopna zastavit munici ráže 0.30 cal, což je puškové střelivo probíjející ocel. Obrázek 3 ilustruje testované ráže normy NIJ 0101.06. [6].



Obrázek 3: Jednotlivé ráže a porovnání jejich velikosti vůči sobě [6]

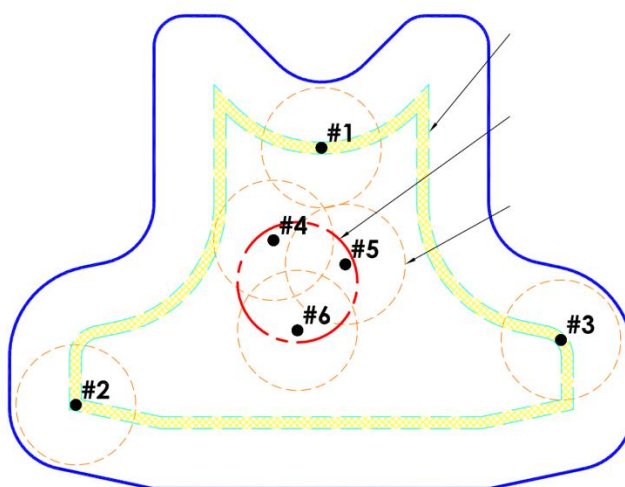
Testovací podmínky normy jsou sepsány v Tabulce 1 [7]. Oproti normě NIJ 0101.04 došlo k navýšení počtu testovacích vzorků, počtu požadovaných výstřelů, maximálnímu vtisku, došlo i na změnu testovacích podmínek, kdy 1/3 vybraných vzorků je podrobena ztíženým podmínkám – teple, chladu, vodě, cyklickému ohřívání a chladnutí do vysokých/nízkých teplot apod. Každý panel je podroben celkově 12 zásahům a každá skupina je testována na 12 samostatných vzorcích, což celkově čítá 144 testovacích výstřelů, aby mohl být panel ne/certifikován. Z velice širokého a podrobného popisu budou zmíněny jen některé. Základní podmínkou je teplota prostředí v rozmezí 21 ± 2.9 °C a vlhkost v rozmezí 50 ± 20 %. Obrázek 4 dále zobrazuje schéma testovacího stavu. Pro americkou normu NIJ 0101.06 je vzdálenost od ústí hlavně zbraně 5 metrů pro pistole a 15 metrů pro pušky. Výstřel se považuje za platný, je-li úhel dopadu do 5° od osy roviny a nejsou porušena pravidla pro sestřel, vzdálenost od kraje testovaného plátu atd. Pro všechny skupiny pak platí, že maximální velikost průměru vtisku po střele je 44 mm [7].



Obrázek 4: Schéma testovacího stavu [8]

Dodrženy musí být také limity rychlosti střely. K tomu v testovacím stavu slouží dvě nezávislá kontrolní zařízení. Výslednou rychlostí daného setu (6 nebo 12 střel) je aritmetický průměr. Rychlosti jednotlivých střel od sebe nesmí být rozdílné o více jak 3 m/s [8].

Samotné testovací vzorky jsou připraveny k testu po sérii temperovacích úkonů, jejichž příprava začíná 24 hodin před samotným střeleckým testem. Celková délka testu je 10 dní $\pm$ 1 hodina. Patrně nejdůležitějším testem je takzvaný sestřel. Jedná se o testovací sadu šesti projektilů, kdy první tři jsou vystřeleny tak, aby zasáhly okraj testovaného panelu ve vzdálenosti 50 mm od okraje, zbylé tři střely pak musí tvořit kružnici o průměru maximálně 100 mm. Ilustraci k tomuto popisu vidíme na Obrázku 5 [7].



Obrázek 5: Sestřel při testování normou NIJ 0101.06 [7]

Tabulka 1: Požadavky americké normy NIJ 0101.06 [7]

Typy projektilů						Výkonnostní požadavky				Četnost zásahů				
Typ ochrany	Fáze	Projektil	Hmotnost projektilu	Rychlost pro kondiciovaný kus pancle	Rychlost pro nový kus pancle	Zásahy do pancle při úhlu 0°	Maximální traumatický průhyb	Zásahy do pancle při úhlu 30° nebo 45°	Počet výstřelů na jeden panel	Velikost pancle	Stav pancle	Počet pancle	Počet střel	Celkový počet střel
IIA	1	9mm FMJ RN	8g (124grs)	355 m/s	373 m/s	4	44 mm	2	6	velký	nový kondiciovaný	4 2	24 12	144
										malý	nový kondiciovaný	4 2	24 12	
	2	.40 S&W FMJ	11.7g (180grs)	325 m/s	352 m/s	4	44 mm	2	6	velký	nový kondiciovaný	4 2	24 12	
										malý	nový kondiciovaný	4 2	24 12	
II	1	9mm FMJ RN	8g (124grs)	379 m/s	398 m/s	4	44 mm	2	6	velký	nový kondiciovaný	4 2	24 12	144
										malý	nový kondiciovaný	4 2	24 12	
	2	.357 MAGNUM JSP	10.2g (158grs)	408 m/s	436 m/s	4	44 mm	2	6	velký	nový kondiciovaný	4 2	24 12	
										malý	nový kondiciovaný	4 2	24 12	
IIIA	1	.357 SIG FMJ FN	8.1g (125grs)	430 m/s	448 m/s	4	44 mm	2	6	velký	nový kondiciovaný	4 2	24 12	144
										malý	nový kondiciovaný	4 2	24 12	
	2	.44 MAGNUM SJHP	15.6g (240grs)	408 m/s	436 m/s	4	44 mm	2	6	velký	nový kondiciovaný	4 2	24 12	
										malý	nový kondiciovaný	4 2	24 12	
III	1	7.62 NATO FMJ	9.6g (147grs)	847 m/s	–	6	44 mm	0	6	vše	kondiciovaný	4	24	24
IV	1	.30 Caliber M2 AP	10.8g (166grs)	878 m/s	–	1 až 6	44	9	1 až 6	vše	kondiciovaný	4 až 24	24	24
Special	Specifikace dle požadavku													

2.4.2. Balistická norma ČSN 39 5360

Česká technická norma 39 5360 (platná od 1. 1. 1996) je norma sdružující parametry balistické, protistřepinové a ochrany proti propichu. Oficiální název normy zní „*Zkoušky odolnosti ochranných prostředků – Zkoušky odolnosti proti střelám, střepinám a bodným zbraním – Technické požadavky a zkoušky*“, novelizace je platná od 1. 7. 2018 [9].

Z globálního pohledu se jedná o nejkomplexnější a nejnáročnější normu. Norma je rozčleněna do 7 skupin a dodatečně stojící skupiny SG (shot-gun, brokovnice), z nichž některé jsou prakticky shodné s normou NIJ 0101.06. Pozornost je třeba upřít na podskupiny s „cz“ v názvu. Tyto skupiny jsou zaměřeny hlavně na východní ráže, s kterými se ozbrojené složky na našem území hojně setkávají. Například skupina 4cz – ráže 7.62 x 25 TOKAREV – používaná Ruskem a Čínou. Ačkoliv se jedná o ráži oficiálně překonanou ráží 9 x 18 mm MAKAROV, v české normě se proti této střele stále testuje. Dalším příkladem může být skupina 5cz a střelivo ráže 7,62 x 39, což není nic jiného než střelivo do světově známého automatu AK-47, včetně jeho rozličných klonů. V našich podmínkách snad ještě známější je samopal vz. 58, který používá stejnou ráži. Jelikož jsou tyto zbraně a kalibry pořád velice hojně rozšířeny, a

například samopal vz. 58 českou armádou stále aktivně využíván, dává smysl, že si česká norma diktuje odolnost i proti těmto typům.

Česká norma je z pohledu kvalifikace dosti přísná. Maximální hodnota způsobeného trauma je 25 mm, a to bez ohledu, zda se jedná o skrytou nebo přiznanou balistickou ochranu. Maximální objem vzniklého vtisku nesmí překročit 8 mm [10].

- **Zkoušení podle ČSN 39 5360**

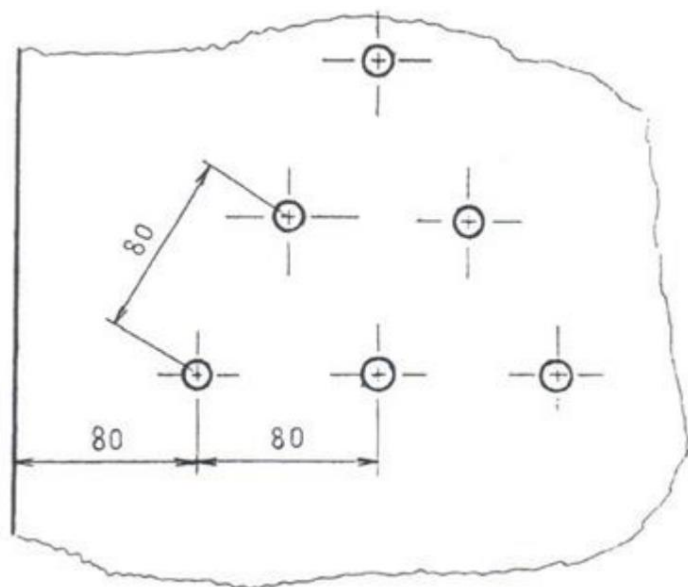
Střelecká norma, zvaná jako TBO (třída balistické odolnosti) rozlišuje 7 tříd a jejich podtříd v závislosti na kalibru, tvaru a materiálu, rychlosti a hmotnosti střely. Přehled skupin dle normy ČSN 39 5360 poskytuje Tabulka 2. Dále norma testuje balistickou odolnost proti střepinám a posledním testem je TON (třída odolnosti proti bodnutí) se třemi třídami. Podmínky testu jsou definovány následovně: testování probíhá za běžných teplotních podmínek 21 ± 3 °C s relativní vlhkostí 40 až 80 %, druhou částí testu je test za takzvaných ztížených podmínek, kdy v první fázi je testovaný vzorek ponořen na jednu hodinu do vody o teplotě 15 až 20 °C, po vytažení se nechá tři minuty okapat a následuje střelba. Doba od vytažení z vody po ukončení střelby nesmí přesáhnout patnáct minut. Při druhé fázi ztížených podmínek se testovaný vzorek temperuje na -20 ± 2 °C po dobu 12 hodin. Obdobně ve třetí fázi se vzorek temperuje na teplotu $+50 \pm 2$ °C po stejně dlouhou dobu. V případě fází dva a tři musí být zkouška hotova do 10 minut od počátku [9].

Tabulka 2: Česká norma ČSN 39 5360 [9]

Typ ochrany	Typ projektilu	Rychlost [+/-10%]	Hmotnost
1	.22 LR Pb/O	300 m/s	2.6g
2	9mm Luger CP/Pbj/O	410 m/s	8g
2cz	7,62 x 25 CP / Pbj / O	470 m/s	5.5g
3	.357 Magnum CP / Pbj / KK	430 m/s	10.2g
3cz	11 mm Luger CP / Fej / O	440 m/s	6.45g
4	.44 Magnum CP / Pbj / KK	440 m/s	15.6g
4cz	7,62 x 25 CP / Fej / O	550 m/s	5.5g
5	.223 Rem. CP / Pbj	920 m/s	4g
5cz	7,62 x 39 CP / Fej	710 m/s	8g
6	7,62 x 51 CP / Pbj	830 m/s	9.5g
6cz	.223 Rem. CP / Fej	950 m/s	3.95g
7	7,62 x 51 CP/Fej	820 m/s	9.8g
7cz	7,62 x 54 R CP/Fej	860 m/s	9.75g
SG	12/70 Brenneke	420 m/s	31g
SGcz	16/65 S-ball P1	430 m/s	24.6g

- Test TBO

V testech TBO se vyhodnocuje účinek munice na testovaný materiál i jeho podklad, který svojí hustotou simuluje tělo člověka. Vyhodnocuje se, zda projektil penetroval testovaný podklad, částečně, nebo vůbec a jaký vtisk (trauma) způsobil. Zkouška rozlišuje testování odolnosti jak pro nošení na těle (vesty), obdobně jsou definovány i zkoušky testující ochranu hlavy (helmy). Lze testovat i jiné ochranné prostředky, například balistické štíty. Testuje se na vzdálenost 5 metrů pro skupiny 2, 3, 4 a 10 metrů pro skupiny 1, 5, 6, 7, SG a jejich příslušné podskupiny. Úhel dopadu střely na testovaný podklad je zpravidla 0°. Vzorek se testuje 3 výstřely pro každou ráži a vzdálenost jednotlivých střel musí být větší jak 80 mm jak je uvedeno na Obrázku 6 [9].



Obrázek 6: Schematický náčrt zásahů dle ČSN 39 5360 [9]

TBO testuje taky na takzvaný „dotek“. Jedná se o test pro všechny třídy, kdy ústí střelné zbraně je k vzorku umístěno kolmo a má od testovaného vzorku nulovou vzdálenost. Na vzorek přesto není vyvíjen žádný bodový tlak [9].

- **Test V50**

V testu odolnosti proti střepinám se podobně jako v normě STANAG 2920 stanovuje V50 na základě referenčních zkušebních střepin. Skupina A definuje 5 střel, skupina B 2 střely. Pro měření je potřeba minimálně 10 platných výstřelů. Výsledkem testu V50 je například zkratka V50-B2= 860 m/s což znamená, že balistický plát je odolný proti střepinám typu B2 s dopadovou rychlostí 860 m/s. Rychlost střely je na hradlech snímána dedikovaným zařízením. Střely na plochu testovaného materiálu musí dopadat pod úhlem 0° [9].

- **Test TON**

Třídy TON I, II, III zajišťují minimální požadavku na ochranu proti bodnutí chladnou zbraní. Pro test jsou definovány tři typy penetračních nástrojů ve tvaru polokoule, nože (čepele)

a jehly. Testuje se na třech úderech/vpíších tak, aby dopady tvořily trojúhelníkový tvar s rameny délky zhruba 60 mm. Výsledek je neuspokojivý, je-li způsobené trauma v podkladovém materiálu větší jak 25 mm nebo je objem vtisku větší jak 8 ml, případně, je-li průnik testovaným nástrojem větší jak 10 mm [9].

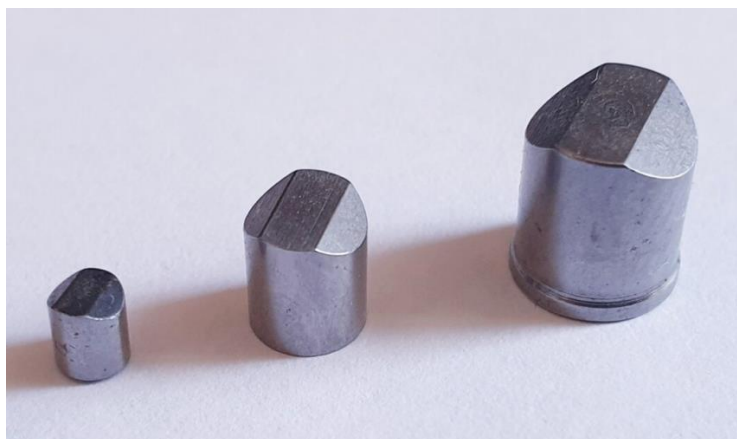
2.4.3. Balistická norma STANAG 2920 Ed. 3

STANAG 2920 Ed. 3 je armádní norma aliance NATO, která testuje na efektivnost zachycení střepin či šrapnelů. Norma klasifikuje rozdělení do šesti skupin v závislosti na rychlosti fragmentu a tom, zda je ochrana schopna šrapnel zachytit v 50 % případů (V50). Přehledně ukázáno v Tabulce 3. Úroveň ochrany je stanovena na základě minimálně šesti opakování (počet opakování nad šest musí být vždy sudý), z nichž tři musejí ochranou projít, a tři musejí být zachyceny. Aby byl výsledek uznatelný, je dále definován požadovaný sestřel série a rychlost mezi nejrychlejším a nejpomalejším výstřelem nesmí být vyšší jak 40 m/s. Zkoušený materiál musí být po dobu 24 hodin temperován na teplotu 20 ± 2 °C při relativní vlhkosti 65 ± 5 % [11].

Tabulka 3: Norma STANAG 2920 [11]

Úroveň ochrany	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Minimální rychlost střepiny V50 m/s	400	450	500	550	600	650

Norma STANAG je v rámci armádních aplikací velice cenná. Jak válečná praxe ukazuje, střelná zranění po přímém zásahu jsou méně četná, nežli primární či sekundární zásahy odražených střel či střepin a do příchodu normy 2920 neexistovala metoda, která by kvantifikovala a standardizovala požadavky na tento typ balistické ochrany. Na obrázku 7 jsou ukázány standardizované fragmenty o různých hmotnostech a kalibrech [12].



Obrázek 7: standardizované fragmenty normy STANAG 2920. Zleva doprava 4 grs (0.26 g), 17 grs (1.10 g), and 44 grs (2.85 g) [12]

Existuje jedna komplexní norma pro vše? Neexistuje. Z dokumentu s názvem „STATEMENT OF WORK FOR THE PROCUREMENT OF Bullet and StabProofVests“ definující požadavky na výběr balistických vest pro španělské vzdušné síly můžeme vyčíst, že hledaným výsledkem je kombinace parametrů, které testuje hned několika různých norem. Zde konkrétně se uplatňují požadavky standardu NIJ 0101.06, normy STANAG 2920 na ochranu proti střepinám, dále je zde uveden výčet požadavků podle britské normy HOSBD definující úroveň ochrany proti chladným zbraním a nespočet dalších norem a standardů popisující jak materiálové, tak další ochranné parametry [13].

2.5. Materiály balistické ochrany

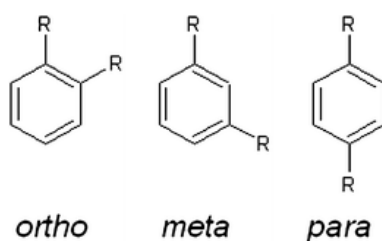
I materiály, které se používají k výrobě prostředků balistické ochrany, se mění. Jako první se používal nylon, který ale nebyl úplně ideální. S vynálezem a výrobou nových materiálů docházelo i k vylepšení vlastností potřebných pro balistickou ochranu. Využívají se především vlákna s vysokou pevností a žáruvzdorností. Jejich typickým představitelem je Kevlar® [2].

2.5.1. Kevlar

Kevlar® je vysoce orientované *para-aramidové* vlákno s vysokým podílem krystalické fáze vyvinuté chemičkou Stephanie Kwolek pod záštitou americké firmy DuPont v 60. letech 20. století. Jako mnoho dalších významných objevů byl dle samotných slov objevitelky Kevlar®

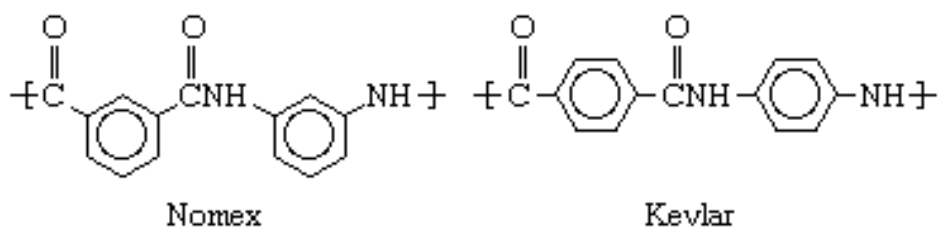
nalezen vlastně „náhodně“ při výzkumu nové generace polymerů pro použití při výrobě pneumatik [14]. Kevlar® v sobě unikátním způsobem kombinuje vysokou pevnost a modul, teplotní stabilitu, odolnost a tvrdost, jak ukazuje Tabulka 4 [15].

Aramidy jsou z chemického pohledu polyamidy (definované peptidovou vazbou CO–NH) s aromatickým jádrem v řetězci, odtud jejich název „aramidy“ (**a**romatické poly**a**midy) a zpravidla se rozlišují na para-aramidy a meta-aramidy. Para a meta, případně ještě ortho-pozice označují pozice substituentů, různých od vodíku, vůči sobě, na aromatickém jádře viz ilustrace na obrázku 8 [16].



Obrázek 8: Pozice substituentů na aromatickém jádře [16]

Rozdílné mechanické a materiálové vlastnosti mezi para a meta-aramidy vychází právě z pozice substituentů na cyklickém řetězci. Zatímco Kevlar®, para-aramid, je vysoce krystalický a vysoce orientovaný polymer, meta-aramid Nomex®, shodou okolností taktéž výrobek společnosti DuPont, neobsahuje tak vysoce orientované řetězce, ani nemá podobnou výši krystalické fáze, označuje se pouze jako semi-krystalický. Díky vysoce krystalické fázi a orientaci je Kevlar® násobně pevnější a vhodnější pro mechanicky vysoce zátěžové aplikace, zatímco Nomex®, zástupce meta-aramidů, nachází své primární uplatnění na poli ohni a žáruvzdorných materiálů [17]. Na Obrázku 9 lze v přímém porovnání vidět uspořádání substituentů v pozici meta- (Nomex®) a para- (Kevlar®) [18].



Obrázek 9: Chemická struktura Nomex[®] a Kevlar[®] [18]

Tabulka 4: Klíčové mechanické vlastnosti para-amidu Kevlar 29 [15]

Hustota [g/cm ³]	Rovnovážná vlhkost [%]	Teplota tání [°C]	Youngův modul [cN/tex]	Pevnost [cN/tex]	Prodloužení do přetrhu[%]
1.44	4.5	427–482	4900	203	2.4

Kevlar je chemicky stálý a odolný. I přes to, je-li vystaven dlouhodobému působení vodných roztoků kyselin a zásad, zejména pak za zvýšených teplot či dlouhodobého působení, může znatelně degradovat. Například HCl o koncentraci 10 % o teplotě 71 °C sníží pevnost kevlaru o více jak 81 % za dobu 10 hodin. NaOH o koncentraci 10 % dosáhne stejné míry destrukce při teplotě 99 °C za dobu 100 hodin [18].

Oba materiály, nomex i kevlar, jsou ze své podstaty nehořlavé s limitním kyslíkovým číslem LKČ > 28 %. Znamená to, že pokud se podaří jakýmkoliv způsobem vlákna/textilii vznítit, v normální zemské atmosféře se samo-zhasnou, jakmile bude odstraněn zápalný zdroj. Ačkoliv je kevlar schopen vydržet vyšší teploty než nomex, nomex poskytuje lepší ochranu proti hoření z podstaty své meta konfigurace. Při hoření se meta-pozice lépe natáčí, materiál mění svou konformaci, vlákna nabydou a takto nabytý celek zamezuje přístupu kyslíku do vnitřních vrstev a vytváří tak izolační ochranu. Při teplotě kolem 427 °C materiál karbonuje bez rozpadávání, kapání, tečení atd., stále si udržuje svou celistvost. Oproti tomu kevlar je stabilní do vyšší teploty, zhruba 600 °C, ale vzhledem k formaci polymerních řetězců nedochází k rozpínání, a proto netvoří ochrannou izolační vrstvu. Rozdělení a plnění rolí je jasně dané, Kevlar[®] slouží jako materiál pro aplikace vyžadující extrémní mechanickou odolnost v kombinaci s lehkostí materiálu, Nomex[®] je pak využíván jako bariérní ochrana proti hoření, filtrační rohože a oděvy osobní ochrany. Běžně se používá i směs nomex/kevlar v různých poměrech, kdy Kevlar[®] dodává materiálu svojí zvýšenou pevnost [19].

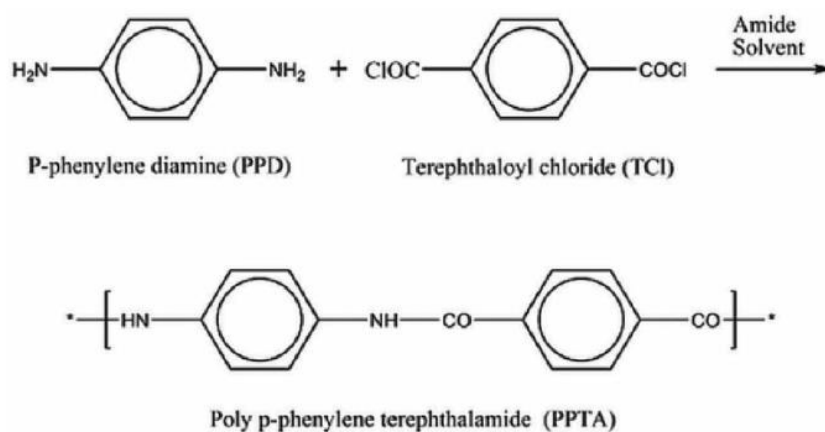
- **Druhy kevlaru**

Kevlar® je registrovaná značka společnosti DuPont a velice často je slovo kevlar obecně míněno jako materiál, který je svou podstatou para-aramid. Mimo různé druhy variant kevlaru od společnosti DuPont existuje ještě jeden výrobce produkující para-aramidová vlákna pro stejné účely jako DuPont. Tímto vláknem je Twaron®, pocházející z dílny společnosti Akzo Nobel. Oba materiály vznikly téměř totožně, na trh se ale dříve dostal kevlar, a to zhruba o 7 let, čímž se stal známějším a na trhu s para-aramidy dominantním materiálem. Oba materiály jsou opravdu tak shodné, že použití se liší pouze v závislosti na preferenci značky, případně ceny. Od roku 2011 je možné používat i kevlar v černé barvě. Toto vlákno produkuje společnost Teijin, která je pokračovatelem společnosti Akzo. Ze své chemické podstaty jsou kevlarová vlákna vždy žlutá. Těžce se barví, jelikož materiál je tak hladký a nereaktivní, že barvivo nemá možnost se na povrchu vlákna udržet. Černá vlákna mají stejné vlastnosti a vznikla úpravou výrobního procesu, kdy černá barvivo je do vláken vpravováno v průběhu zvláknovacího procesu. Následně i DuPont začal produkovat barevně alternativní vlákna [20].

Kromě původního „univerzálního“ Kevlar® 29 existuje v nabídce DuPont mnoho dalších materiálůvých variant. Tyto materiály, všechny stejné chemické struktury se liší v různých aspektech jejich vlastností tak, jak byly v průběhu času vyvinuty pro konkrétní a jedinečné aplikace. Modifikací vznikly kevlarové barevné či barvitelné, s vyšším modulem pružnosti, pevnosti, vlákna o různých, zejména vyšších jemnostech, zvýšenou odolností pro cyklické namáhání apod. Pro balistické potřeby se dle dostupných informací používají Kevlar® 29 a Kevlar® 129, dále Kevlar® KM a KM Plus [21].

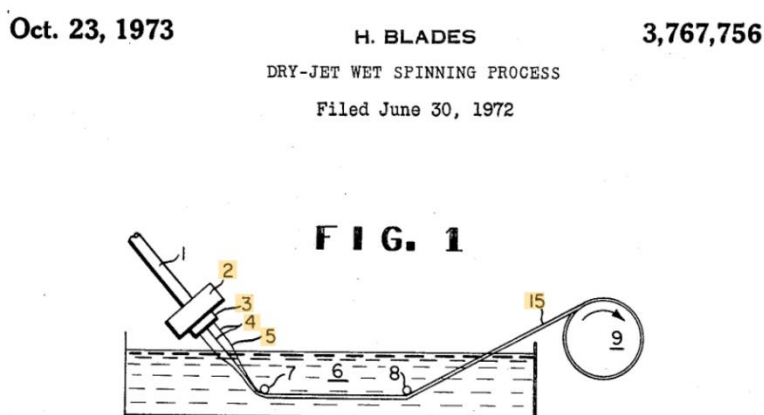
- **Výroba kevlaru**

Kevlarová vlákna se vyrábí polykondenzační reakcí z monomerů, viz Obrázek 10 [22]. Vstupními monomery jsou p-fenylendiamin a dichlorid kyseliny tereftalové za vzniku produktu poly-p-fenylene-tereftalamidu (PPTA) [23].

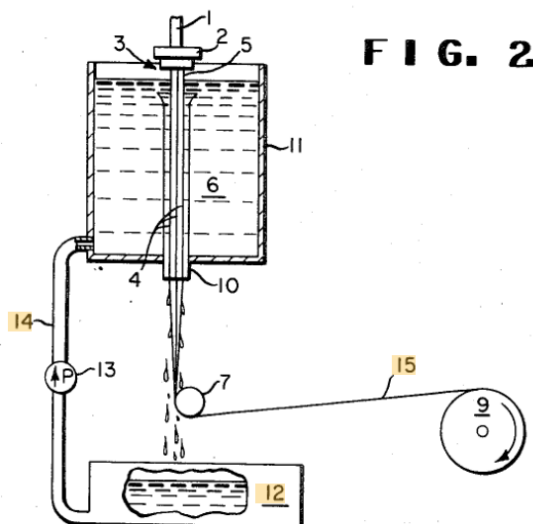


Obrázek 10: Polykondenzační reakce výroby kevlaru [22]

Kevlarová vlákna se nejčastěji vyrábí metodou dry-jet-wet spinning, kterou vynalezl Herbert Blades pro firmu DuPont, která na metodu držela celosvětový patent číslo US3767756A od roku 1972. Metoda „Blades“ vylepšuje původní zvláknovací metodu pro výrobu aramidů rozpouštěním monomerů v kyselině sírové, kde původní metoda nedokázala zajistit vláknovou stejnoměrnost. Obrázky číslo 11, 12 popisují metodu dry-jet-wet spinning tak, jak je uvedena v patentovém vzoru. Metoda na Obrázku 12 je pak navíc další variací metody z Obrázku 11 [23].



Obrázek 11: Schématický náčrt metody „Blades“ - dry-jet-wet spinning dle patentového vzoru [23]



Obrázek 12: Schématický náčrt metody “Blades” –dry-jet-wet spinning dle patentového vzoru – modifikace; 1) přívodní potrubí, 2) zvlákňovací matrice, 3) zvlákňovací trysky, 4) jednotlivá vysrážená vlákna, 5) inertní atmosféra (vzduch), 6) koagulační lázeň, 7) 8) vodítko, 9) navíjecí buben, 10) zvlákňovací šachta, 11) zásobník koagulační kapaliny, 12) záchytná lázeň, 13) čerpadlo, 14) trubice zpětného vedení koagulační kapaliny, 15) kevlarová příze [23]

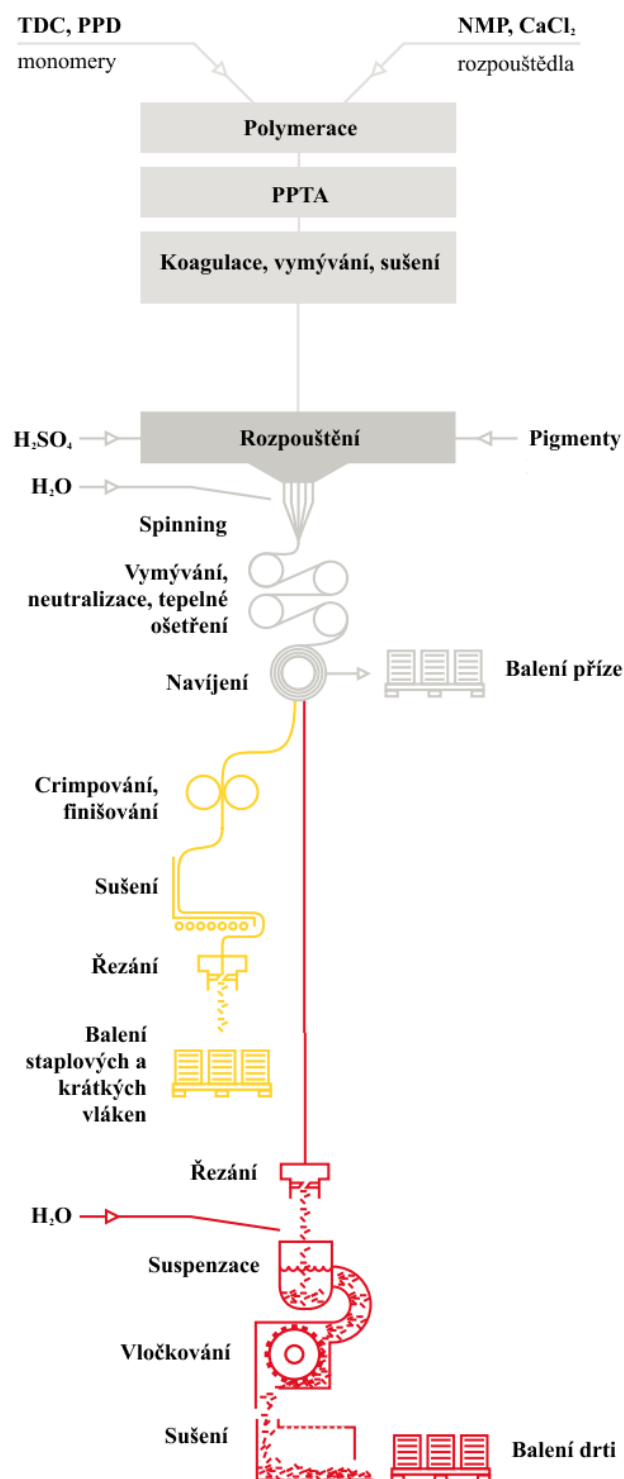
Roztok monomerů a kyseliny sírové o koncentraci 100 % je zahříván při teplotě 100 °C po dobu 3 hodin a následně přiveden přívodním potrubím ke zvlákňování. Zde je roztok protlačen skrze trysky zvlákňovací matrice. Trysky mají nejčastěji kruhový průměr o velikosti 0,025 až 0,25 mm. Zvlákňovací rychlost závisí na viskozitě roztoku a průměru trysek, rámcově se pohybuje od 5 metrů/minutu až po 350 metrů/minutu a více. Inertní atmosférou se rozumí nereagující prostředí, kterým může být vzduch, ale i inertní kapaliny, jako například toluen. Délka inertního pásu je optimálně 0,1 až 2 cm. Čím větší mezera je, tím větší šance pro vzniklá vlákna se do sebe při letu zamotat. Jako koagulační lázeň se úspěšně používají vodné i bezvodé systémy. Jako vodný systém lze používat čistou vodu či vodu s vysokou koncentrací kyseliny sírové (70 %), hydroxid amonný, nebo soli jako chlorid vápenatý, chlorid draselný apod. Bezvodé systémy jsou například metanol a metylen chlorid. Teplota koagulační lázně ovlivňuje pevnost vláken a je preferované, aby její teplota byla kolem 0 °C. Oplach vláken při odtahu z lázně je taktéž esenciální součástí procesu, jelikož zbytky kyseliny na suchých vláknech narušují jejich pevnost. Čištění se provádí sprejovým nánosem alkalického roztoku a následným mechanickým ořením houbičkou. Cílem čištění je odstranit zbytkový obsah nevymyté kyseliny na suchém vlákne na koncentraci nižší jak 0,01 % [23].

Po ukončení zvlákňovacího procesu a provedení dodatkových úprav se kevlar jako vláknový materiál dodává v podobě textilní drti a stříže – tyto slouží pro kompozitní výplně. Dále jako nekonečná nebo staplová vlákna vhodná ke tkaní a pletení. V neposlední řadě se z kevlaru vyrábí i plošné textilie, které se následně využívají samostatně, případně jako součást laminátů [24].

2.5.2. Twaron

Twaron[®] je para-amidové, vysoce výkonné vlákno se stoprocentní parakrystalickou strukturou, díky níž jsou molekulární řetězce srovnány v ose vlákna. Twaron[®], podobně jako Kevlar[®], je textilní materiál určený pro speciální aplikace ve strojírenství, armádním průmyslu, vesmírném inženýrství apod. [25]. Twaron[®] byl představen v 70. letech 20. století nizozemskou firmou AKZO pod názvem Fiber X. Vývoj vlákna probíhal od 60. let a relativně podobně jako u konkurence, firmy DuPont, ale kvůli finančním problémům firmy AKZO byl Twaron[®] uveden na trh s velkým zpožděním oproti kevlaru. Současným vlastníkem vlákna Twaron[®] je Teijin Aramid [25].

Výroba Twaronu je podobná kevlaru, výsledným produktem je polymer označován jako poly-p-fenylen-tereftalamid (PPTA). Na Obrázku 13 je schematicky znázorněn průběh výrobního procesu vláken Twaron[®] [25].



Obrázek 13: Schéma výrobního procesu vláken Twaron® [25]

Vstupními monomery jsou p-fenylendiamin a dichlorid kyseliny tereftalové, které jsou rozpouštěny v systému N-methyl-2-pyrrolidon (NMP) a chloridu vápenatém. Vzniká PPTA ve formě prášku, který již má veškeré předpokládané termické a chemické vlastnosti, mimo

mechanickou pevnost. Požadované pevnosti dosáhne materiál až ve druhé fázi procesu, kdy se prášek rozpouští v lázni kyseliny sírové a následně se zvlákňuje a dluží. Vzniklá vlákna mají stoprocentní parakrystalickou strukturu s molekulárními vazbami orientovanými podél osy vlákna. Průměr vláken je zhruba 12 μm . Jemnost vláken začíná na hodnotě 400 dtex, vyrábí se ovšem i vlákna s dvojnásobnou jemností. Kvalitativně se twaronová vlákna dělí do třech skupin, jejichž rozdíly v mechanických vlastnostech ilustruje Tabulka 5 [25]:

- 1) Vlákna se standardním modulem pevnosti
- 2) Vlákna s vysokým modulem pevnosti
- 3) Vlákna vysoce houževnatá

Tabulka 5: Mechanické vlastnosti tří skupin vláken Twaron[®] dle rozdělení Teijin Aramid [25]

Twaronová vlákna	Pevnost [mN/tex]	Modulus [GPa]	Prodloužení do přetrhu [%]
Skupina I	1,650-2,250	55-85	3-4,5
Skupina 2	2,100-2,300	100-140	2-3
Skupina 3	2,350-2,500	85-95	3-4

Tabulka 6 zobrazuje běžné, souhrnné hodnoty mechanických vlastností, a to včetně termické odolnosti a hodnoty limitního kyslíkového čísla [25].

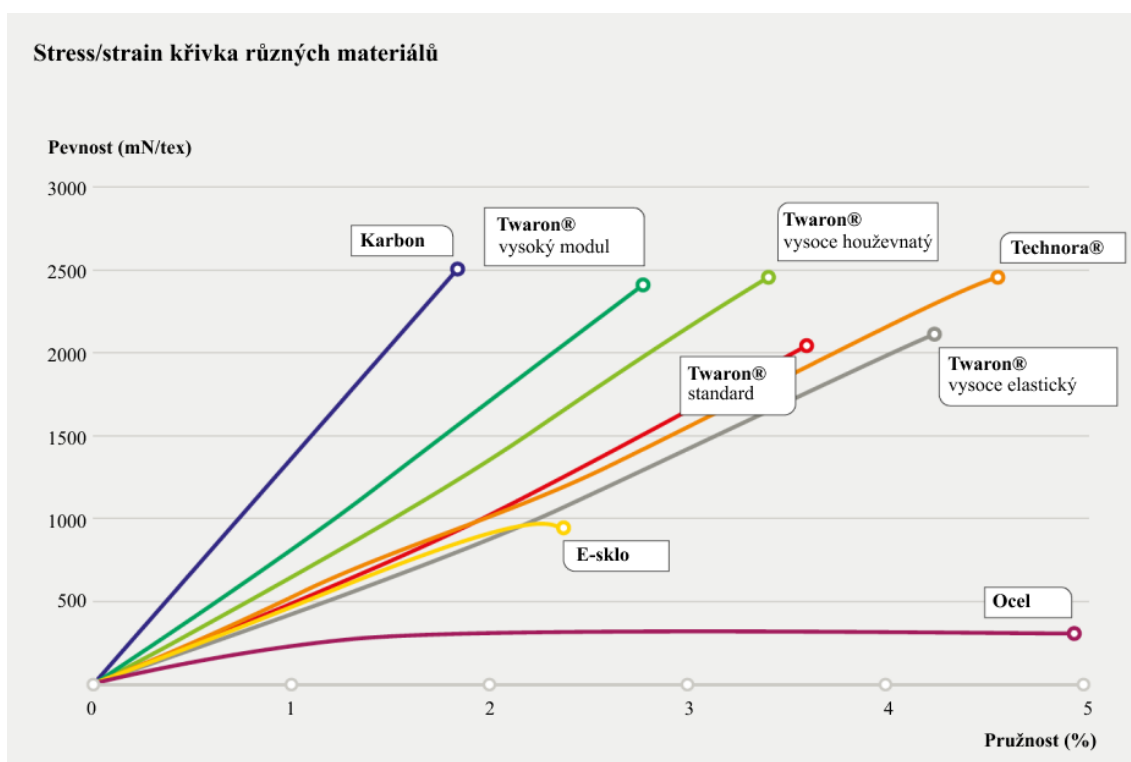
Tabulka 6: Mechanické vlastnosti vlákna Twaron[®] [25]

Hustota [g/cm ³]	Pevnost [N/tex]	Youngův modul [GPa]	Prodloužení do přetrhu [%]	Rovnovážná vlhkost [%]	Teplota rozkladu [°C]	LKČ [%]
1,44-1,45	1,9-2,5	60-145	2,3-4,2	2-7	500	29-40

Twaron[®] nemá běžnou teplotu tání. Při teplotě kolem 500 °C začne chemicky degradovat. Pro stálou aplikaci nesmí provozní teplota přesáhnout 250 °C [25].

Vlákná Twaron® mají typicky zlatavou barvu vycházející z chemické podstaty para-aramidů. Mimo to, byla to právě firma Teijin, která modifikovala proces výroby tak, aby bylo možné na trh uvést vlákna i v jiné barvě. Výrobní proces byl modifikovaný tak, že pigmenty barviva se nenanášejí na povrch vláken po ukončení spinningu, ale přidávají se již do sirné lázně před zvlákňováním. Tímto procesem byla vyrobena první barevná para-aramidová vlákna totožných vlastností. Běžně se tak nyní vyrábí černá vlákna, která jsou velice žádaná pro aplikace, kde je kladen důraz i na estetickou stránku věci – jedná se například o lodní plachty, ochranné oděvy aj. [25].

Para-aramidová vlákna, ať Twaron® či Kevlar®, jsou vysoce funkční a pevná vlákna, která v přepočtu na váhu vydrží až sedmkrát vyšší zatížení než ocel. Na Obrázku 14 je znázorněna stress/strain křivka vybraných materiálů, které jsou obecně považovány jako vysocepevnostní [25].



Obrázek 14: Stress/strain křivka vysocepevnostních vláken [25]

2.5.3. Využití para-aramidů

Para-aramidy se pro svoje unikátní vlastnosti používají všude tam, kde je potřeba lehkých, pevných, chemicky a termicky odolných vláken. Používají se buďto samostatně, nebo jako jedna ze součástí kompozitního materiálu. Vlákná jsou nevodivá jak elektricky, tak tepelně. Para-aramidová vlákna se proto používají jako filtrační materiály díky své dobré chemické a tepelné odolnosti. V elektronice potom jako izolace kabelů a drátů. V balistice se kevlarových vláken používá z důvodů jejich extrémní pevnosti a schopnosti rozprostřít energii projektilu v ploše. Používají se taktéž v gumárenském a chemickém průmyslu, v automotive, letectví, sportovním průmyslu a pro vesmírné aplikace.

3. Praktická část

Pro účely praktické části byla navržena metoda testování balistické odolnosti nevyžadující střelnou zbraň. Tato metoda spočívá ve využití sponkovačky Parkside Aku PET 25 C2 na testovací materiál Twaron CT 714. K využití sponkovačky mě inspiroval film, kde policista neměl u sebe střelnou zbraň a použil místo ní sponkovačku, aby zneškodnil útočníka. To mě vedlo k myšlence použít sponkovačku pro účely balistického testování v laboratorních podmínkách.

V druhé části praktického testování porovnám tuto metodu s metodou za použití střelných zbraní Flobert ráže 9 mm a Walter G22 na stejný materiál.

3.1. Použité materiály a pomůcky

Pro testování oběma metodami byla použita textilie Twaron CT 714, viz Obrázek 15,16.



Obrázek 15: Testovaný materiál Twaron CT 714

- Parametry zkoušeného materiálu, vzorek 10 x 10 cm

Vazba: Plátno

Střída: 2 x 2 nitě

Tloušťka: 0,283 mm

Hmotnost: 1,91 g

Plošná hmotnost: 191 g/m²

Jemnost: 10,6 dtex

Dostava osnovy: 8/10mm

Dostava útku: 8/10mm

Výpočet jemnosti:

$$T = \frac{m}{l} \text{ [tex]}$$

m = hmotnost v gramech

l = délka v kilometrech

$$T = \frac{0,0955}{0,0009}$$

$$\mathbf{T = 106,1 \text{ [tex] = 10,61 [dtex]}}$$

Výpočet plošné hmotnosti:

$$m_s = \frac{m}{s} \cdot 10^4 \text{ [g/m}^2\text{]}$$

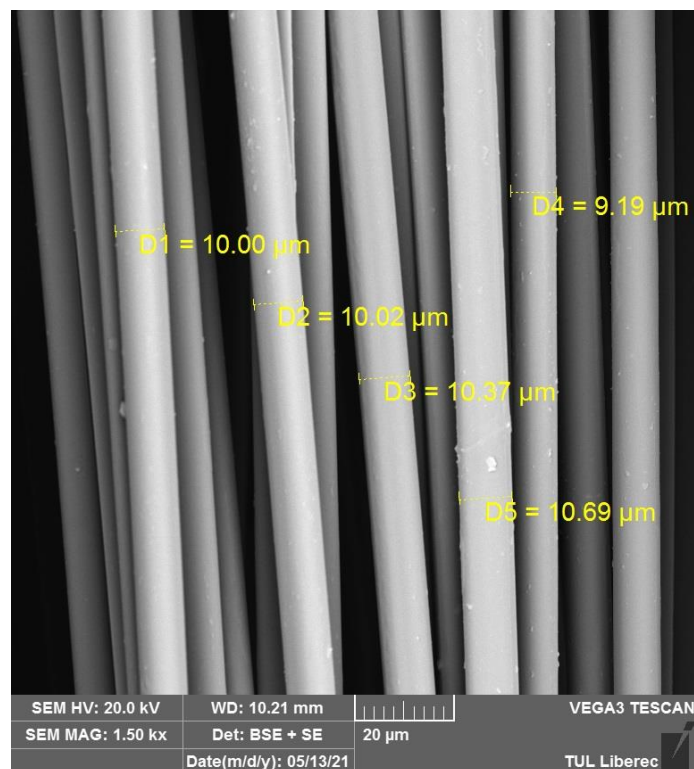
m = hmotnost v gramech

s = plocha v cm²

10⁴ = koeficient na m²

$$m_s = \frac{1,91}{100} \cdot 10^4$$

$$\mathbf{m_s = 191 \text{ [g/m}^2\text{]}}$$

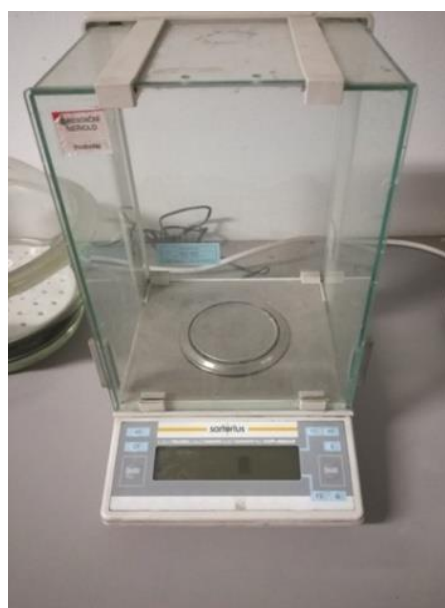


Obrázek 16: Vlákna Twaron CT 714 zachycena elektronovým mikroskopem, zvětšení 1500x, průměr vláken 10μm

Pro charakterizaci testovaného materiálu byla nejprve zjišťována jeho tloušťka pomocí tloušťkoměru na Obrázku 17 a plošná hmotnost pomocí analytických vah na Obrázku 18.



Obrázek 17: Tloušťkoměr



Obrázek 18: Analytické váhy

Byly vytvořeny testovací sady vzorků. Ty byly vytvářeny postupným vrstvením textilie v počtu 0 až 30 vrstev na dřevěné kvádry.

Nejprve byl připraven testovací materiál Twaron CT714, ze kterého byl vystřižen aramidovými nůžkami jeden čtverec o velikosti 10 x 10 cm pro vypočet plošné hmotnosti a čtverce o rozměrech 6 x 6 cm pro samotné testování (Obrázek 19). Aramidové nůžky jsou nůžky speciálně ostřené pro stříhání aramidových vláken.

Dále byly připraveny kvádry ze smrkového dřeva o délce hran 5 x 5 x 6 cm. (Obrázek 20), které byly připraveny jako podklad pro zajištění vystřeleného hřebíku a střely. Kvádry byly nařezány kotoučovou pilou Hecht ve vertikálním směru.

Nastříhané vzorky materiálu, byly přiloženy na dřevěné kvádry a přichycené plastovou elektrikařskou páskou.



Obrázek 19: Nastříhané vzorky



Obrázek 20: Podkladové kvádry

Pro testování nestřelnou zbraní byla použita sponkovačka Parkside Aku PET 25 C2, na Obrázku 21 a hřebíky o délce 32 mm a průměru 2 mm, na Obrázku 22. Hmotnost jednoho hřebíku je 0,265 g.



Obrázek 21: Sponkovačka Parkside Aku PET 25 C2



Obrázek 22: Hřebíky

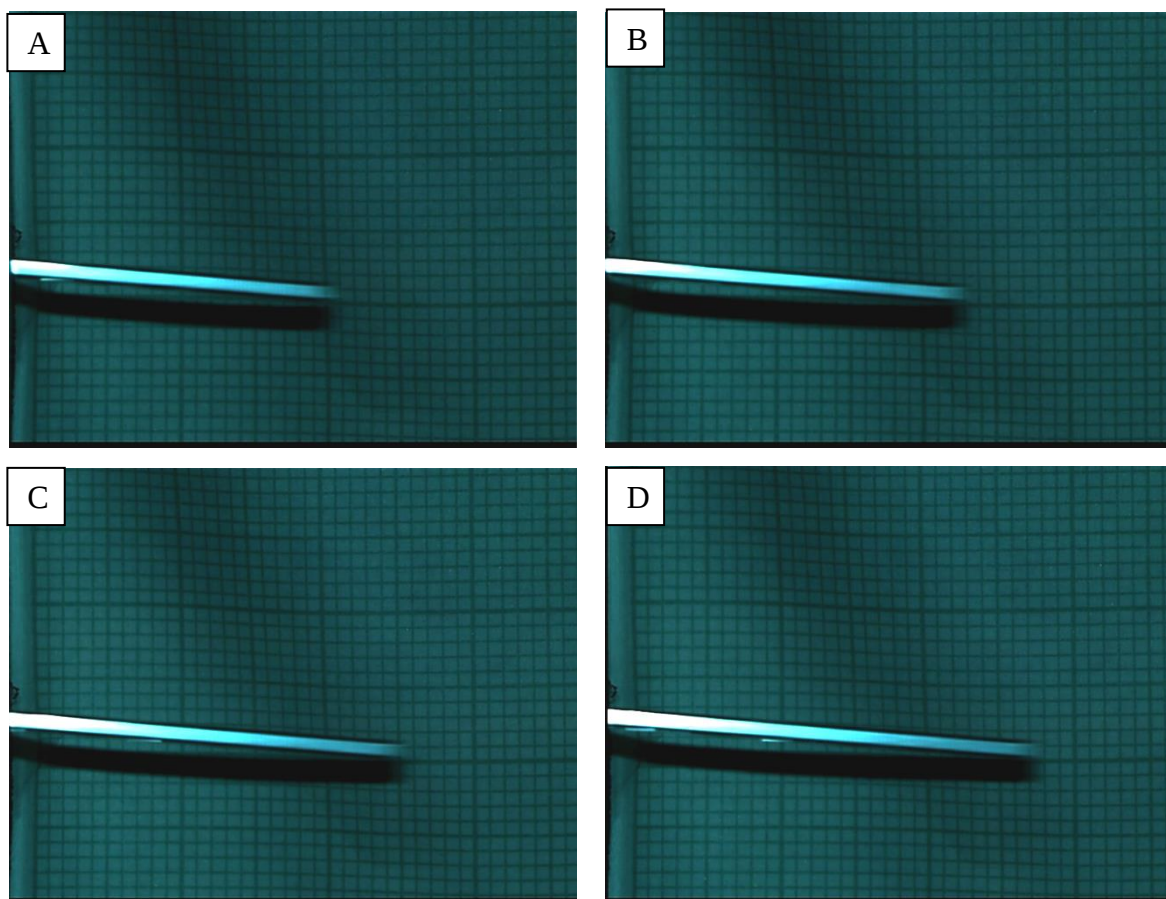
Pro změření velikosti hřebíku a hloubky průniku hřebíku a střely do dřeva bylo použito posuvné měřítko, které má přesnost měření 0,1 mm.

Rychlost hřebíku vystřeleného ze sponkovačky byla změřena rychlokamerou Olympus I-Speed 3, na Obrázku 23. Jedná se o vysokorychlostní videokameru, kterou lze využít pro záznam rychlých aktivit a jeho zpomalení tak, aby bylo možné ho vizuálně prozkoumat. Má vysoké rozlišení 1280 x 1024 pixelů a schopnost záznamu až 150 000 snímků za sekundu. Přístroj může měřit rychlost, vzdálenost, zrychlení, úhel, úhlovou rychlost a úhlové zrychlení. Pro práci se záznamem lze kameru připojit na přídatný displej nebo počítač [26].



Obrázek 23: Rychlokamera Olympus I-Speed 3 [26]

Při testování byl záznam pořízený rychlostí 5000 snímků za sekundu. Níže na Obrázku 24 jsou zachyceny čtyři po sobě jdoucí snímky ze záznamu rychlokamery, na kterých je vidět, že hřebík urazí vzdálenost 2,5 mm za snímek. Při rychlosti záznamu 5000 snímků za sekundu tedy vychází rychlost hřebíku 12,5 m/s.



Obrázek 24: Čtyři po sobě jdoucí snímky z rychlokamery, které zaznamenávají pohyb hřebíku

Pro testování střelnou zbraní byly použity zbraně Voere Flobert 9 mm a Walther G22.

Rychlost střely střelných zbraní byla změřena měřicími hradly od firmy Caldwell, viz Obrázek 25. Měřicí hradla měří rychlost střel různých typů zbraní. Rozsah měření je od 1 do 9 000 FPS. Tato hradla dosahují vyšší přesnosti měření než jiné přístroje tohoto typu díky použití vysokorychlostního 48MHz procesoru a odchylka měření tak dosahuje +/- 0.25%. Rychlost je

zobrazována na LCD displeji. Výhodou tohoto produktu jsou široké sluneční clony, které umožňují měření za slunečných dní. Napájena jsou 9 V baterií [27].



Obrázek 25: Měřicí hradla Ballistic Precision Chronograph [27]

3.2. Použité metody

3.2.1. Testování nestřelnou zbraní

Pro metodu testování nestřelnou zbraní byla použita sponkovačka Parkside Aku PET 25 C2 s hřebíky o délce 32 mm o průměru 2 mm. Popis částí sponkovačky je níže na Obrázku 26. Sponkovačka se pohodlně ovládá, má jednoruční použití s rukojetí potaženou protiskluzovou gumou. Bezpečnost práce je zajištěna bezpečnostním spínačem a úzká hlaveň zjednodušuje práci blízko okraje materiálu. Střelba byla vedena vertikálním směrem, tj. proti létům dřeva. Sponkovačka byla nastavena na maximální sílu úderu. Tu lze nastavit regulátorem úderů.

- Technické parametry sponkovačky

Pohon: elektrický, napájení 220 V

Kapacita zásobníku hřebíků: 60 ks

Hmotnost: 1,46 kg

Délka: 225 mm

Výška: 207 mm

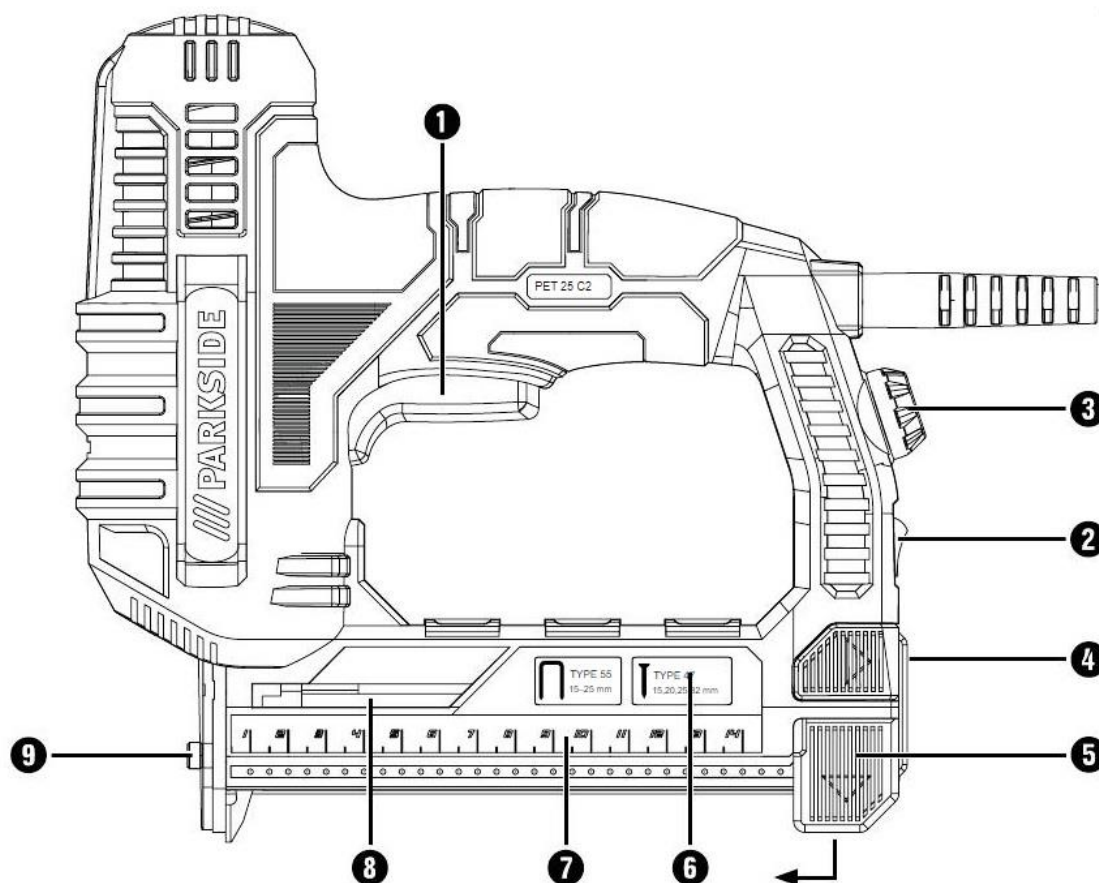
Konstrukce: kov + plast

Rychlost vystřeleného hřebíku: 12,5 m/s

Hmotnost hřebíku: 0,265 g.

Energie výstřelu: 50 J

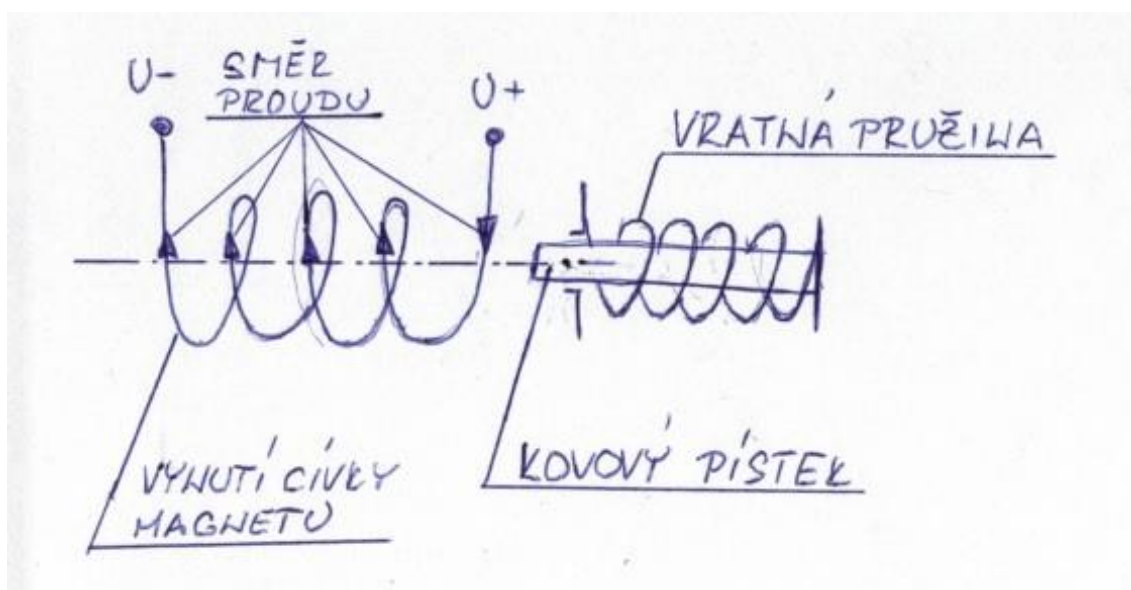
Typ střely: hřebík o délce 32 mm a průměru 2 mm



Obrázek 26: Popis sponkovačky; 1) spoušť, 2) vypínač, 3) regulace úderů, 4) výsun zásobníku, 5) vo-
dítka hrany, 6) zásobník, 7) měřítko, 8) indikátor naplnění, 9) čelní deska [28]

- **Princip funkce sponkovačky**

Když je napájení připojeno na svorky $U+$ a $U-$, začne cívkou procházet proud ve znázorněném směru. Uvnitř cívky vzniká magnetické pole, které vtáhne píst do její dutiny. Po odpojení napájení magnetické pole cívky zanikne a vratná pružina vrátí píst zpět do výchozí pozice. Síla magnetického pole uvnitř cívky závisí na počtu závitů a na velikosti protékajícího proudu (čím více závitů a čím větší proud, tím větší magnetické pole). Názorné zobrazení na Obrázku 27.



Obrázek 27: Schéma principu funkce sponkovačky

- **Průběh pokusu bez použití střelné zbraně**

Dříve, než bylo započato testování textilie, bylo zapotřebí otestovat sílu výstřelu a schopnost připravených dřevěných krychlí bezpečně zachytit hřebík. Při nastavení na maximální sílu výstřelu bylo dosaženo zapuštění hřebíku do hloubky v průměru 30 mm. Výsledek tohoto testování byl zachycen na Obrázku 28.



Obrázek 28: Testování síly výstřelu, pohled ze strany

Poté byly připraveny vzorky pro samotné testování, a to vrstvením materiálu na dřevěné kvádry v počtu od jedné do pěti a dále po desítkách, tj 10, 20, 30 vrstev, tedy celkem osm vzorků. Každý vzorek byl otestován pětkrát.

3.2.2. Testování střelnou zbraní Voere Flobert 9 mm

Střelná zbraň Flobert je jednoranná puška ráže 9 mm s dlouhou hlavní. Ilustrační Obrázek 29 níže.



Obrázek 29: Voere Flobert 9 mm [29]

- **Technické parametry zbraně**

Ráže: 9 mm

Rychlost střely: 212 m/s

Hmotnost střely: 4,01 g

Energie střely: 90 J

Typ střely: špičatý

- **Průběh pokusu**

Byl připraven standardní set vzorků, tj. dřevěných kvádrů s různým počtem vrstvení materiálu, od nuly do třiceti vrstev materiálu. Nejprve bylo provedeno měření rychlosti střely deseti výstřely. Poté byl proveden pokus jednou střelou na každý testovaný vzorek. Stříleno bylo ve stoje bez podpěry na vzdálenost 10 m. Vzorek byl volně položený na podložce.

3.2.3. Testování střelnou zbraní Walther G22

Jedná se o poloautomatickou pušku s kapacitou zásobníku 2x10 ran, s možností připevnění kompenzátoru nebo tlumiče. Úst'ová rychlost zbraně je 326 m/s–533,4 m/s v závislosti na použité munici. Stříleno bylo municí značky Schönebeck ráže .22 Long Rifle ze serie 12343 21384. Zbraň byla modifikována do odstřelovacího modu. Zbraň zachycena na Obrázku 30.



Obrázek 30: Poloautomatická puška Walther G22

- Technické parametry zbraně

Ráže: .22 Long Rifle

Rychlost střely: 1032 FPS* = 315 m/s

Hmotnost střely: 2,59g

Energie střely: 127 J

Typ střely: olověná střela s oblou špičkou

$$*1\text{ fps} = 3.048 \times 10^{-1} \text{ m/s}$$

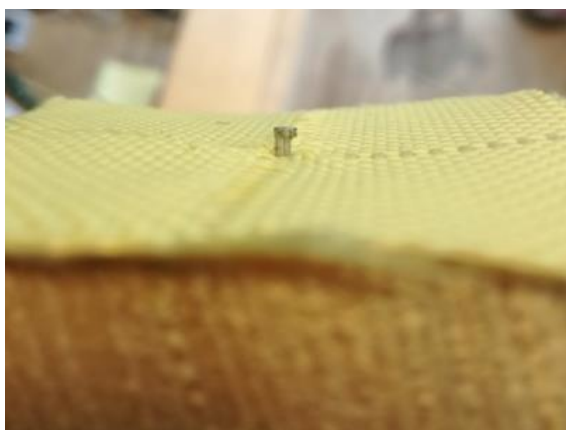
- Průběh pokusu

Pro účely porovnání jednotlivých metod byla nejprve změřena rychlost střely za použití měřících hradel. Měření rychlosti bylo provedeno pětkrát. Střelba na připravené vzorky byla testována dvakrát u vzorků s deseti až třiceti vrstvami, u vzorků s nižším počtem vrstev bylo testováno pouze jednou. Stříleno bylo vleže na vzdálenost 10 m.

4. Výsledky

4.1. Výsledky testování nestřelnou zbraní

Při použití jedné až pěti vrstev textilie (Obrázek 31), bylo zjištěno, že dojde k průstřelu hřebíku skrz všechny vrstvy a jeho průniku do dřevěného kvádrů. Hloubka průniku hřebíku byla u všech vrstev totožná.



Obrázek 31: Test s jednou vrstvou v detailu

Také při použití deseti vrstev textilie (Obrázek 32), byl výsledek stejný. Hřebík opět pronikl přes všechny vrstvy materiálu do dřevěného podkladu.



Obrázek 32: Test s deseti vrstvami textilie

Ani použití dvaceti vrstev textilie neprokázalo lepší balistické vlastnosti. Ani zde materiál nezabránil průstřelu hřebíku přes všechny vrstvy. Tento test je zachycen na Obrázku 33.



Obrázek 33: Test s dvaceti vrstvami textilie

Na Obrázku 34 je zachyceno testování za použití třiceti vrstev textilních vzorků. Až tímto testem byla potvrzena balistická odolnost. V průměru 23 vrstev testované textilie bylo proraženo hřebíkem a na 7 vrstvách byly nalezeny pouze otlaky (Obrázek 35).



Obrázek 34: Test s třiceti vrstvami textilie



Obrázek 35: Otlaky na textilii, kterou hřebík neprošel



Obrázek 36: Hřebík, který neprošel testovaným vzorkem

Na hřebíku, který neprošel třiceti vrstvami materiálu, je velmi znatelná deformace v důsledku odporu testovaného materiálu (Obrázek 36). Deformace na hřebíku vystřeleném na nižší počet vrstev nebyly znatelné.

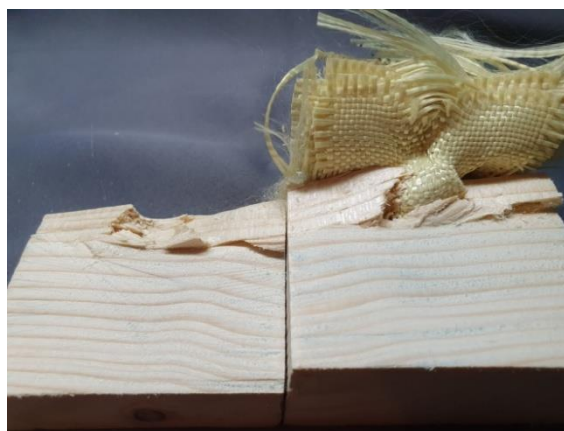
Testováním bylo dokázáno, že materiál Twaron CT 714, vrstvený až do počtu dvaceti vrstev, není při střelbě sponkovačkou odolný proti průniku hřebíku. Hřebík prostřelí všechny testované vrstvy a pronikne do dřeva, přičemž při pohledu shora vyčnívá v průměru stejně dlouhá část hřebíku. Při počtu třiceti vrstev již hřebík nepronikne všemi vrstvami materiálu a zdeformuje se. Na vrstvách, kterými hřebík nepronikl, jsou znatelné pouze otlaky a na podkladovém materiálu není poškození patrné vůbec. Přesné údaje ukazuje Tabulka 7.

Tabulka 7: Průnik hřebíku do dřeva v mm

Počet vrstev	Tloušťka vrstev v mm	Číslo pokusu				
		1	2	3	4	5
0	0	31,0	29,8	30,2	30,3	29,7
1	0,28	29,8	29,9	29,7	29,7	29,5
2	0,57	29,5	29,3	29,7	29,3	29,4
3	0,85	29,1	29,2	29,3	29,1	29,1
4	1,13	28,8	28,9	28,8	28,7	28,9
5	1,41	28,3	28,2	28,2	28,3	28,4
10	2,83	26,7	26,5	26,5	26,7	26,6
20	5,66	23,1	23,2	23,2	23,3	23,1
30	8,49	0	0	0	0	0

4.2. Výsledky testování střelnou zbraní Voere Flobert 9 mm

Testování ukázalo, že při střelbě na jednu až čtyři vrstvy materiálu střela nejen že pronikne skrz testované vrstvy, ale také rozštípne podkladový dřevěný kvádr. Pět vrstev materiálu zabrání prostřelení materiálu samotného, ale stále nezabrání poškození dřeva. Až deset vrstev materiálu zabrání zároveň rozštípnutí podkladového dřevěného kvádru. Testování s deseti vrstvami zachyceno na Obrázku 37, 38.



Obrázek 37: Testování deseti vrstev materiálu, foto shora
Obrázek 38: Průřez kvádru po pokusu s deseti vrstvami

Při testování dvaceti vrstev materiálu byl vzorek zasažen na okraji, proto je výsledek neprůkazný, jak ukazuje Obrázek 39. Prostřelení materiálu ale přesto nedošlo.



Obrázek 39: Foto zásahu do kvádru s dvaceti vrstvami

Při počtu třiceti vrstev již materiál absorboval energii střely natolik, že nedošlo k rozštípnutí dřeva, ale síla střely je stále patrná na tom, že materiál vylisoval svůj vzor vazby na povrch dřeva, jak je vidět na Obrázku 40.



Obrázek 40: Otisk vazby materiálu do dřeva

Výsledky testování jsou shrnuté v Tabulce 8.

Tabulka 8: Výsledky testování

Počet vrstev	Tloušťka vrstev v mm	Průstřel materiálu	Rozštípnutí kvádrů	Hloubka průniku střely do dřeva mm
0	0	-	ano	34,1
1	0,28	ano	ano	30,8
2	0,57	ano	ano	23,9
3	0,85	-	-	-
4	1,13	ano	ano	22,7
5	1,41	ne	ano	16,5
10	2,83	ne	ne	15,0
20	5,66	ne	ano*	10
30	8,49	ne	ne	3,4

Poznámka: -) test neproveden, *) zásah na okraj kvádrů

4.3. Výsledky testování střelnou zbraní Walther G22

Testování touto zbraní prokázalo, že při počtu vrstev menším než pět, střela pronikne jak materiálem, tak celým dřevěným kvádrem, jak je zaznamenáno na Obrázcích 41 a 42. Zároveň dojde k rozštípnutí dřeva. Je zde však vidět schopnost materiálu pohlcovat energii střely, kdy v případě dvou vrstev střela pronikla jak materiálem, tak dřevěným kvádrem zcela, kdežto v případě tří vrstev byla na konci kvádrů zachycena uvnitř.



Obrázek 41: Průstřel vzorkem se dvěma vrstvami materiálu



Obrázek 42: Ukázka zachycení střely ve dřevě po průstřelu tří vrstev materiálu

Při počtu pěti a deseti vrstev materiálu střela materiál neprostřelí, ani nedojde k průniku střely celým kvádrem, ale materiál nepohlít energii střely natolik, aby zabránil rozštípnutí dřeva, viz Obrázky 43 a 44.



Obrázek 43: Zachycení střely ve dřevě s pěti vrstvami materiálu



Obrázek 44: Deformace deseti vrstev materiálu

Při testování dvaceti vrstev materiálu jsme dosáhli dvou rozdílných výsledků destrukce dřevěného kvádrů. V případě prvního pokusu byl kvádr rozštípnut, ve druhém případě nikoliv. Destrukce materiálu byla na srovnatelné úrovni při obou pokusech. Materiál zůstal neprostřelen. Při druhém pokusu je možné vidět otisk vzoru vazby do dřeva. Viz Obrázky 45–48.



Obrázek 45: Testování dvaceti vrstev materiálu, první pokus, dřevo rozštípnuto



Obrázek 46: Dvacet vrstev, pokus druhý, dřevo nerozštípnuto



Obrázek 47: Deformace materiálu při průstřelu dvaceti vrstev, pokus první



Obrázek 48: Deformace materiálu při použití dvaceti vrstev, pokus druhý

Až při počtu třiceti vrstev materiálu je prokazatelně dosaženo ochrany dřeva při obou pokusech. Materiál zůstal neprostřelen ani nedošlo k průstřelu nebo zničení kvádrů. Ve dřevě je také vidět otisk vzoru vazby. Na Obrázcích 49 a 50 je vidět výsledek pokusu s třiceti vrstvami materiálu.



Obrázek 49: Výsledek testování třiceti vrstev, otisk vzoru vazby do dřeva



Obrázek 50: Deformace třiceti vrstev materiálu

Souhrn výsledků je uveden v Tabulce 9.

Tabulka 9: Výsledky testování

Počet vrstev	Tloušťka vrstev v mm	Pokus č. 1			Pokus č. 2		
		Průstřel materiálu	Rozštípnutí kvádrů	Hloubka průniku střely do dřeva mm	Průstřel materiálu	Rozštípnutí kvádrů	Hloubka průniku střely do dřeva mm
0	0	-	-	-	-	-	-
1	0,28	-	-	-	-	-	-
2	0,57	ano	ano	50	-	-	-
3	0,85	ano	ano	47	-	-	-
4	1,13	-	-	-	-	-	-
5	1,41	ne	ano	20,5	ne	ano	21,4
10	2,83	ne	ano	25	ne	ano	19,0
20	5,66	ne	ano	14,8	ne	ne	8,8
30	8,49	ne	ne	5,1	ne	ne	7,8

Poznámka: -) test neproveden

5. Vyhodnocení a diskuse

V této bakalářské práci byla testována odolnost materiálu Twaron CT 714 dvěma různými metodami střelby. Mnou navržená alternativní metoda nestřelnou zbraní spočívala v použití sponkovačky, klasické balistické testy byly provedené dvěma různými střelnými zbraněmi.

Testováním bylo zjištěno, že i přesto, že má sponkovačka nejmenší energii střely a její rychlost je nesrovnatelně menší než rychlost střel pušek, prostřelí testovaný materiál nejsnáze a poškodí více vrstev materiálu než střely střelných zbraní. To je zapříčiněno malým průměrem hřebíku a jeho špičkou a také vzdáleností, na kterou je do materiálu stříleno. Střele odolalo až třicet vrstev materiálu. Nedojde zde ale k rozštípnutí podkladového dřevěného kvádru.

Srovnáme-li výsledky dvou použitých střelných zbraní, pak vidíme, že výsledky odpovídají energii a rychlosti střely. Střele z méně výkonné zbraně odolává dřevěný kvádr více než střele s větší energií a již menší počet vrstev testovaného materiálu ho ochrání před rozštípnutím. Průstřel počtu vrstev materiálu a jeho destrukce byl ale u obou zbraní stejný. Střele z obou zbraní odolalo již pět vrstev materiálu a nedošlo k jeho prostřelení.

Z těchto výsledků vyplývá, že testování v současné podobě přináší nesrovnatelné výsledky, a tudíž není možné tyto metody zaměnit a považovat je za odpovídající.

Pro budoucí využití metody testování nestřelnou zbraní na Technické univerzitě v Liberci bych navrhoval učinit úpravy, například upilování hrotu hřebíku, čímž docílíme zvětšení plochy hřebíku, která narazí na materiál, nebo použití hřebíku s větším průměrem. Pro porovnání s balistickými testy se u testování střelnou zbraní ukázalo jako klíčové zvětšení velikosti vzorků pro střelbu na několikametrovou vzdálenost a upevnění vzorků tak, aby nedocházelo k jejich posunu po podložce po zasažení střelou. Další přínos pro objektivitu testování by přinesla výměna měkkého smrkového dřeva za pevnější materiál, například několik vrstev OSB desek.

V každém případě vidím v testování alternativní metodou nestřelnou zbraní přínos pro Technickou univerzitu v Liberci v tom, že je možné testovat balistickou odolnost materiálů v laboratorních podmínkách bez nutnosti střelby na velkou vzdálenost. Další výhodou je, že testování je přístupné všem pracovníkům i studentům bez vlastnictví zbrojního průkazu. V neposlední řadě je sponkovačka a hřebíky levná náhrada za střelnou zbraň a náboje.

6. Závěr

Cílem této práce bylo zpracovat téma balistiky a navrhnout alternativní způsob testování balistické odolnosti. V teoretické části jsem se zabýval balistikou jako takovou, její teorií, historií a dělením. Dále jsem se věnoval balistické odolnosti a s ní spjatým normám a také materiálům, které byly k balistické ochraně vyvinuty.

Na to jsem v praktické části navázal návrhem alternativní možnosti testování balistiky, a to využitím sponkovačky. Tuto alternativní metodu jsem otestoval a porovnal s testy provedenými klasickými střelnými zbraněmi.

Pro praktické testování byly připraveny vzorky materiálu Twaron CT 714 připevněné na dřevěné kvádry v různém vrstvení. Vzorky byly otestovány alternativně použitím sponkovačky a poté střelbou ze dvou různých pušek. Testováním byly vykázány nesrovnatelné výsledky při současně podobě testování. Sponkovačka, vzhledem k velikosti a ostrosti hřebíku a blízkosti, ze které se do materiálu střílí, prostřelí více vrstev materiálu než puška, kde přestože střela má daleko větší energii a rychlost, má také větší průměr a do vzorku střílí z větší vzdálenosti. V této podobě testování nelze tedy adekvátně tyto metody zaměnit a je třeba alternativní metodu pro budoucí využití upravit.

Z tohoto důvodu jsem navrhl změny způsobu testování tak, aby při dalším použití byly výchozí podmínky, a tudíž i výsledky srovnatelné, a metoda tak použitelná na Technické univerzitě v Liberci jako náhrada za balistické testy. Výhodou použití alternativní metody je snížení nákladů na testování, možnost testování v laboratorních podmínkách a testování bez vlastnictví zbrojního průkazu.

7. Zdroje

- 1) JUŘÍČEK Ludvík a kolektiv Ranivá balistika: Technické, soudnělékařské a kriminalistické aspekty, Nakladatelství KeyPublishing s.r.o., ISNB 978-80-7418-274-7
- 2) GlobalSecurity.org, Military. Body Armor History [online]. ©2021 cit. [12.01.2021]. Dostupné z: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/body-armor2.htm>
- 3) Fakulta sportovních studií Masarykovi univerzity. Základy balistiky [online]. MUNI: ©2011 [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/balistika>
- 4) FENIX Protector s.r.o. Nosič plátů DEMON [online]. ©2019 [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.fenix-protector.com/produkt/demon/>
- 5) Source Tactical Gear. Hard ballistic plate hbp treat lever IV [online]. [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.sourcetacticalgear.net/catalog/hard-ballistic-plate-hbp-threat-level-iv/>
- 6) Spartan armor systems. Body armor protection levels simplified [online]. ©2020 [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.spartanarmorsystems.com/blog/body-armor-protection-levels-simplified/>
- 7) NIJ Standard-0101.06. Ballistic Resistance of Body Armor. Washington, DC: U.S. Department of Justice, 2008.
- 8) ČOS 130027. Balistická odolnost osobních ochranných prostředků při ohrožení střepinami – modifikovaná metoda. 1. Vydání. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2018.
- 9) ČSN 39 5360 (395360). Zkoušky odolnosti ochranných prostředků - Zkoušky odolnosti proti střelám, střepinám a bodným zbraním - Technické požadavky a zkoušky. 2018.
- 10) NIJ STD 0101.04. Ballistic Resistance of Personal Body Armor . Wahington, DC: U.S. Department of Justice, 2001.
- 11) Intelligent Armour Limited. STANAG protection levels [online]. ©2021 [cit. 05.05.2021]. Dostupné z: <http://www.body-armour-protection.co.uk/stanag-protection-levels.html>
- 12) Armament Research Services. NATO Fragment Simulating Projectiles (FSPs) [online]. ©2020 [cit. 05.05.2021]. Dostupné z: <https://armamentresearch.com/nato-fragment-simulating-projectiles-fsps/>
- 13) Bullet and Stab Proof Vests For the Spanish Air Force. Version 1.6. NATO Support and Procurement Agency, 2019.
- 14) Paul May. Kevlar. The super-tough fibre used to make bullet-proof vests. In: Molecule of the Month November 2010 [online]. Bristol: University of Bristol, 2010. [cit. 07.05.2021]. DOI:10.6084/m9.figshare.5255191.
- 15) DuPont. Kevlar Aramid fiber, Technical guide [online]. © 2017 [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/safety/public/documents/en/Kevlar_Technical_Guide_0319.pdf
- 16) A. M. Booth, T. Bannan, M. R. McGillen, M. H. Barley, D. O. Topping, G. McFiggansa and C. J. Percival. The role of ortho, meta, para isomerism in measured solid state and derived sub-cooled liquid vapour pressures of substituted benzoic acids. *RSC Adv.* 2012. Vol. 2, no. 10, p. 4430–4443. DOI 10.1039/C2RA01004F.
- 17) ScienceDirect. Resistant fiber [online]. [cit. 08.05.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/resistant-fiber>
- 18) The Editors of Encyclopaedia. Aramid. Chemical compound. Encyclopedia Britannica [online]. 2009 [cit. 08.05.2021]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/aramid>

- 19) DuPont. Nomex fiber, Technical guide [online]. © 2019 [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: [https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/personal-protection/public/documents/en/Nomex\(R\)%20Fiber%20Technical%20Guide.pdf](https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/personal-protection/public/documents/en/Nomex(R)%20Fiber%20Technical%20Guide.pdf)
- 20) Scott Burton. First All Black Twaron Fiber Produced By Teijin. BodyArmorNews.com [online]. ©2021 [cit. 11.05.2021]. Dostupné z: <https://www.bodyarmornews.com/black-twaron/>
- 21) DuPont. Kevlar fibers [online]. © 2021 [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://www.dupont.com/products/dupont-kevlar-fiber.html>
- 22) R. Yahaya, S.Sapuan, M. Jawaid, Z. Leman, E. S. Zainudin. Mechanical Performance of Woven Kenaf-Kevlar Hybrid Composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2014. DOI: 10.1177/0731684414559864.
- 23) H. Blades. Dry jet wet spinning proces. Spojené Státy Americké. US3767756A. 23.10.1973.
- 24) J. Frajová. Oděvní konstrukce neprůstřelných oděvů pro ženy. Liberec, 2014. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- 25) Teijin. Twaron. A true all-round para-aramid performer [online]. [cit. 11.05.2021]. Dostupné z: https://www.teijinaramid.com/wp-content/uploads/2018/10/Product_brochure_Twaron.pdf
- 26) FindTheNeedle. Olympus I-Speed 3 High-Speed Video Camera [online]. © 2021 [cit. 25.05.2021]. Dostupné z: <https://www.findtheneedle.co.uk/companies/ashtead-technology-ltd/products/olympus-i-speed-3-high-speed-video-camera>
- 27) Caldwell. Ballistic precision chronograph premium kit [online]. ©2021 [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://www.caldwellshooting.com/range-gear/chronographs-and-wind-meters/ballistic-precision-chronograph-premium-kit/721122.html#q=721122&simple-search=Go&start=1>
- 28) ManualsLib. Parkside. Elektrická sešivačka PET 25 C2 [online]. ©2017 [cit. 20.04.2021]. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/1623697/Parkside-Pet-25-C2.html#manual>
- 29) Zbraně a střelivo Šturm. Flobertka Voere 9mm, v.č. 605980 [online]. [cit. 11.05.2021]. Dostupné z: <http://www.zbrane-sturm.cz/home/1168-flobertka-voere-9mm-vc-605980.html>