

Studie využití prostředků balistické ochrany v SBS

The study of use of ballistic protection in the private security services

Dalibor Krupica

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav elektrotechniky a měření
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dalibor KRUPICA**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Studie využití prostředků balistické ochrany v SBS.**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou balistické ochrany v soukromých bezpečnostních službách.
2. V teoretické části práce shrňte historii balistické ochrany.
3. Popište princip funkce a konstrukci balistických vest a druhy balistických materiálů.
4. V praktické části práce zpracujte problematiku klasifikace a metodiku testování prostředků balistické ochrany.
5. Uvedte nové trendy v uvedené problematice a další možný vývoj.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. HRAZDÍRA, Ivo, KOVÁRNÍK, Libor, NOVOTNÝ, František. Použití zbraně a zákon. 1. vyd. Praha : Eurounion, 2000. 412 s. ISBN 80-85858-83-5.
2. ZEMAN, Petr. Česká bezpečnostní terminologie. Brno : Masarykova univerzita-Vydavatelství, 2002. 186 s. ISBN 80-210-3037-2.
3. ČERNÝ, Josef. Evropský výcvikový modul pro základní ostrahu. Zlín : UTB, 2003. 152 s. ISBN 80-7318-107-X.
4. BRABEC, František, et al. Bezpečnost pro firmu, úřad, občana. Praha : Public History, 2001. 400 s. ISBN 80-86445-04-06.
5. VALENDIN, Miroslav. Mechanika I : Dynamika. 1. vyd. Zlín : UTB, 2007. 153 s. ISBN 80-7318-154-1.
6. Kevlar : aramid fiber. USA : [s.n.], [2000]. 32 s.
7. ČERNÝ, Pavel. Balistická ochrana. Střelecká revue. 26.11.2008, roč. 40, č. 12, s. 43-55.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ján Ivanka

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2009

Ve Zlíně dne 20. května 2009



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Předmětem předložené bakalářské práce je problematika balistické ochrany a její využití v soukromých bezpečnostních službách. Teoretické část je věnována historii prostředků balistické ochrany, principu jejich funkce, srovnání zvolených balistických materiálů a konstrukci balistických vest. V praktické části je práce zaměřena na problematiku klasifikace a metodiku testování prostředků balistické ochrany. V závěru práce jsou uvedeny nové trendy v problematice balistické ochrany a další možný technologický a procesní vývoj.

Klíčová slova: prostředky balistické ochrany, neprůstřelné vesty, Kevlar, Dyneema, třída balistické odolnosti

ABSTRACT

The subject of the thesis is the issue of ballistic protection and its use in private security services. Theoretical part is devoted to the history of ballistic protection equipment, the principle of their function, comparison of the selected ballistic materials and construction of ballistic vest. In the practical part is the work focused on issues of classification and methodology for ballistic testing ballistic protection equipment. At the end of the work are given new trends in the area of ballistic protection and the next possible technological and procedural development.

Keywords: ballistic protection equipment, bulletproof vests, Kevlar, Dyneema, class of ballistic resistance

Děkuji svému vedoucímu Ing. Jánu Ivankovi za odborné vedení, rady a především za čas věnovaný úpravám, návrhům a připomínkám ke zpracování bakalářské práce. Za konzultace problematiky z oblastí chemie polymerů a materiálového inženýrství patří mé díky Mgr. Michaele Bařinové a Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. Rád bych také poděkoval rodičům za podporu, kterou mi poskytovali během studia.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním 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;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji 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;
- beru na vědomí, že podle § 60 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 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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 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 bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

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

V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 HISTORIE BALISTICKÉ OCHRANY	11
1.1 POZDNÍ STŘEDOVĚK	11
1.2 CHRONOLOGIE LET 1800 AŽ 1930.....	12
1.3 DRUHÁ SVĚTOVÁ VÁLKA.....	15
1.4 CHRONOLOGIE LET 1960-1970	18
1.5 NÁSTUP KEVLARU.....	20
1.6 VÝVOJOVÉ TRENDY V OBDOBÍ LET 1990-2000	21
2 PRINCIP FUNKCE	25
3 KONSTRUKCE NEPRŮSTŘELNÉ VESTY	26
3.1 BALISTICKÝ NOSIČ.....	26
3.1.1 Vojenské nosiče.....	26
3.1.2 Nosiče pro skryté nošení	27
3.2 BALISTICKÝ MATERIÁL.....	27
3.2.1 Výroba balistické vložky.....	27
3.2.2 Zapouzdření balistického materiálu	28
3.3 ANTIŠOKOVÁ VLOŽKA	29
4 BALISTICKÉ MATERIÁLY	30
4.1 KEVLAR.....	30
4.1.1 Chemické složení kevlaru	31
4.1.2 Výroba Kevlaru	32
4.1.3 Chemické vlastnosti Kevlaru	33
4.1.4 Fyzikální vlastnosti Kevlaru.....	34
4.2 DYNEEMA.....	35
4.2.1 Chemické složení Dyneemy.....	35
4.2.2 Výroba Dyneemy.....	36
4.2.3 Chemické vlastnosti Dyneemy	37
4.2.4 Fyzikální vlastnosti Dyneemy	37
4.3 SROVNÁNÍ KEVLARU A DYNEEMY	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	42
5 KLASIFIKACE PROSTŘEDKŮ BALISTICKÉ OCHRANY	43
5.1 NIJ STANDARD–0101.04.....	44
5.1.1 NIJ Standard–0101.04 – zkušební sestava	45
5.1.2 NIJ Standard–0101.04 – rozmístění zásahů	46
5.2 NORMA ČSN 39 5360	47
5.2.1 Norma ČSN 39 5360 – rozdělení provozních podmínek	48

5.2.2	Norma ČSN 39 5360 – zkušební sestava	48
5.2.3	Norma ČSN 39 5360 – rozmístění zásahů	49
5.2.4	Norma ČSN 39 5360 – zaznamenání účinku	50
5.2.5	Norma ČSN 39 5360 – vyhodnocení	50
5.2.6	Norma ČSN 39 5360 – zkušební protokol	50
6	NOVÉ TRENDY V BALISTICKÉ OCHRANĚ	51
6.1	POKROK VE VÝVOJI VLÁKEN.....	51
6.2	VÝZKUM TKANÝCH TEXTILÍ A LAMINÁTŮ	52
6.3	ROZVOJ V KERAMICKÝCH ZBROJÍCH.....	52
6.4	VYUŽITÍ NANOMATERIÁLŮ	54
	ZÁVĚR	56
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	60
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM TABULEK.....	65

ÚVOD

Prostředky balistické ochrany chrání člověka před účinky střelných zbraní tím, že kladou projektilům pasivní odpor. V procesu systemizace v bezpečnostním průmyslu se jedná o technický prostředek osobní ochrany. Základem pro výrobu prostředků balistické ochrany, konkrétně neprůstřelných vest, jsou tkaniny nebo jiné textilie vyrobené z vysoce pevných aramidových nebo polyetylenových vláken. Pevnost těchto vláken je natolik vysoká, že dokáží zastavit projektil vystřelený z palné zbraně. Vzhledem k širokému rozšíření palných zbraní v dnešní společnosti nelze důležitost balistické ochrany podceňovat. Naopak, dá se očekávat, že v následujících letech její význam v průmyslu komerční bezpečnosti nadále poroste.

Teoretická část práce obsahuje průřez vývojem neprůstřelných vest, výrobu, chemické složení a vlastnosti balistických materiálů a konstrukci neprůstřelných vest. V praktické části práce jsou uvedeny vybrané normy pro balistickou ochranu, srovnání jimi stanovených tříd balistické odolnosti a teoretický základ pro metodiku testování neprůstřelných vest. Závěr práce je věnován novým trendům a technologiím v dané problematice.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE BALISTICKÉ OCHRANY

Pasivní ochrana je záležitost stará jako zbraně samy a její vývoj je s vývojem zbraní těsně svázán. Lidstvo se od kožených a kroužkových zbrojí postupem let a staletí propracovalo až po celokovové plátové zbroje chránící celou postavu. Všechny tyto prostředky pasivní ochrany byly postupně vytlačeny nově vyvíjenými střelnými a především palnými zbraněmi, jejichž energii střel již nebyly dále schopné čelit.

1.1 Pozdní středověk

Roku 1538 vévoda ze severoitalského Urbina Francesco Maria della Rovere pověřil Filippa Negroliho, milánského zbrojíře, k vytvoření neprůstřelné vesty. V roce 1561, jak je písemně doloženo, Maximilián II, císař Svaté říše římské, nechal vyzkoušet odolnost své zbroje proti palným zbraním. Souběžně, v roce 1590 Sir Henry Lee také očekával, že jeho greenwickská zbroj bude neprůstřelná. Skutečná účinnost těchto zbrojí byla diskutabilní. Etymologie slovního spojení „střela“ a „odolný“ v pozdním 16. století nabízí úvahu, že termín „neprůstřelný“ vznikl krátce poté, kdy byl objeven důlek v brnění dokazující, že může odolat prostřelení projektilem.

1.2 Chronologie let 1800 až 1930

První doložená „měkká“ balistická zbroj byla vynalezena v Koreji v 60. letech 19. století. Tamější vládce Heungseon Daewongun rozkázal kvůli zvyšující se hrozbě ze strany západních armád vyrobit neprůstřelnou zbroj. Pokusy bylo zjištěno, že bavlna dokáže ochránit člověka před projektily, pokud se jí položí více vrstev přes sebe. Na základě tohoto faktu byla vytvořena neprůstřelná vesta vyrobená z 30 vrstev bavlněné tkaniny. Vesty byly poprvé nasazeny v bitvě, když roku 1871 námořnictvo USA zaútočilo na korejský ostrov Ganghwa. Armáda USA ukořistila jednu z vest a odvezla ji. Vesta se dochovala a byla uložena v Smithsonianově muzeu až do roku 2007, kdy byla převezena zpět do Koreje, kde je v současné době veřejně vystavena.

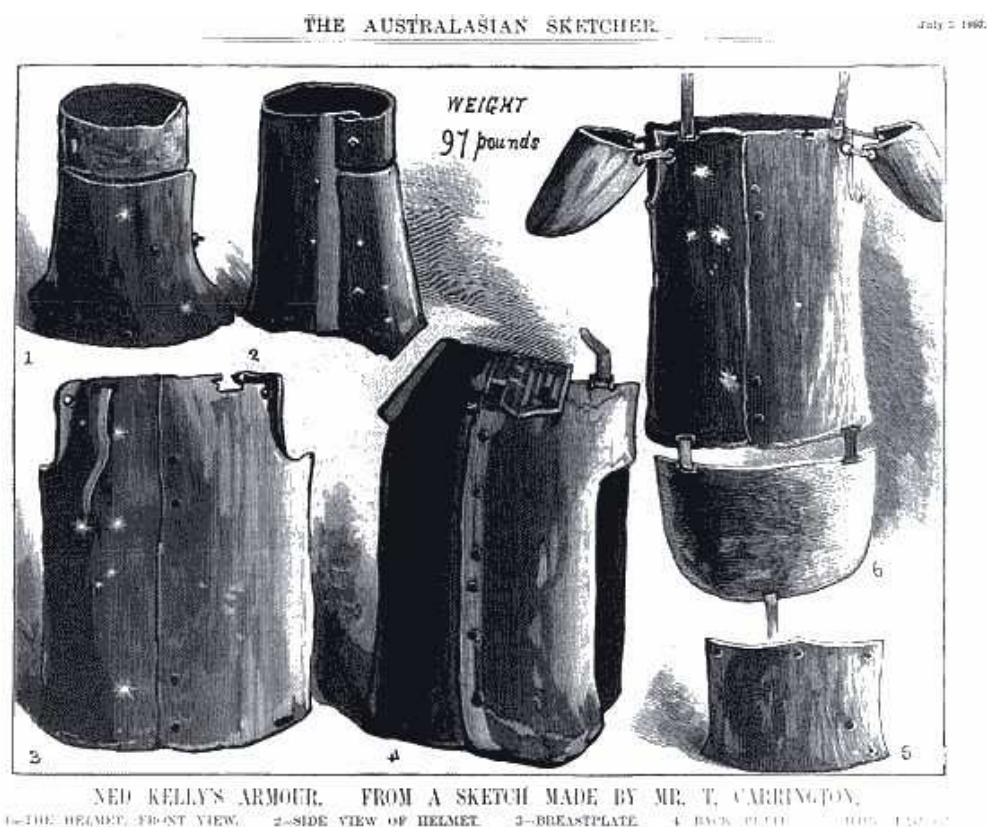


Obr. 1. Korejská bavlněná zbroj¹

¹*Weapon.tistory.com* [online]. 2007 [cit. 2008-10-28]. Text v korejštině. Dostupný z WWW:

<http://cfs4.tistory.com/upload_control/download.blog?fhandle=YmxvZzEyNTg0M0BmczQudGlzdG9yeS5jb206L2F0dGFjaC8wLzAzMDAwMDAwMDAwOS5qcGc%3D>.

Další z raných případů použití balistické zbroje byl zaznamenán v Austrálii roku 1879, když si gang Neda Kellyho vyrobil zbroje z železného šrotu, které pokrývaly jejich trupy, horní část rukou a horní část nohou. Spolu s helmou vážil tento podomácku vyrobený oblek 44 kg, což činilo Kellyho těžkopádným a nemotorným. Výše zmíněné vlastnosti se Kellymu vymstily při policejním zátahu v Glenrowanu roku 1880. Zbroj se ukázala neúčinnou v tělesných sekcích dolních končetin.



Obr. 2. Dobová kresba zbroje Neda Kellyho²

² BOWDEN, Rich. Bullet cartridges found at site of Ned Kelly's last stand. *The Tech Herald : Science* [online]. 2008 [cit. 2008-11-21]. Dostupný z WWW:

<http://www.thetechherald.com/media/images/200820/Nedkellysarmour1882_top.jpg>.

V průběhu 80. let 19. století Dr. George Emery Goodfellow z Arizony začal s výzkumem hedvábných vest podobajících se středověkým prošivaným ochranným kabátům, tzv. prošivanicím, které využívaly 18 až 30 prošitých vrstev tkaniny k ochraně nositele před šípy. Zájem Dr. Goodfellowa o hedvábné neprůstřelné vesty vznikl poté, když se dozvěděl o několika případech, kdy hedvábná tkanina, například v podobě kapesníku v náprsní kapse, zmírnila účinky projektilu na těla zasažených lidí.

Polský katolický kněz Casimir Zeglen z Chicaga v Illinois využil Goodfellowovy závěry k vývoji neprůstřelné vesty vyrobené z hedvábné tkaniny. Na konci 19. století dokázala vesta zastavit relativně pomalé střely z ručních palných zbraní na černý prach. Cena vesty byla však v roce 1914 800 USD za kus, což v roce 2008 odpovídalo sumě 16 886 USD. 28. června 1914 byl František Ferdinand, rakouský arcivévoda, dědic rakousko-uherského trůnu, napaden vrahem, který byl ozbrojen pistolí FN Model 1910 ráže .32 ACP. Ačkoliv měl v době útoku oblečenu hedvábnou neprůstřelnou vestu, neochránila jej, protože byl střelen do krku nad ní. Naopak, za úspěšné nasazení balistické ochrany se dá považovat nezdařený pumový atentát na španělského krále Alfonse XIII, Španělského, spáchaný roku 1906 anarchistou Mateu Morralem. Před účinky bomby ukryté v kytici ochránil panovníka kočár obrněný balistickým materiálem polského vynálezce Jana Szczepanika.

Během I. světové války vyvinuly USA několik typů osobních zbrojí. Patří mezi ně i tzv. „Brewster Body Shield“ z chromniklové oceli, který se skládal z hrudního plátu a přilby a dokázal zastavit střely z kulometu Lewis o rychlosti 820 m/s, avšak byl těžkopádný a vážil 18 kg. Středověkými zbrojemi byla evidentně také inspirována šupinová zbroj vytvořená z překrývajících se ocelových šupinek připevněných na kožené podšívce. Zbroj vážila 5 kg, dosedala těsně k tělu nositele a byla pohodlnější než celokovové typy.

V průběhu pozdních 20. a 30. let 20. století začaly kriminální gangy v USA používat levné vesty vyrobené z tlustých vrstev bavlněné tkaniny, které dokázaly absorbovat zásahy projektilů z krátkých palných zbraní ráží .22 Long Rifle, .25 ACP, .32 S&W Long, .32 S&W, .380 ACP a .45 ACP, letících rychlostmi nižšími než 300 m/s. Pro překonání těchto vest začali členové vládních agentur, jakou je například FBI, používat zbraně konstruované pro nové, silnější náboje .38 Super a později také .357 Magnum.

1.3 Druhá světová válka

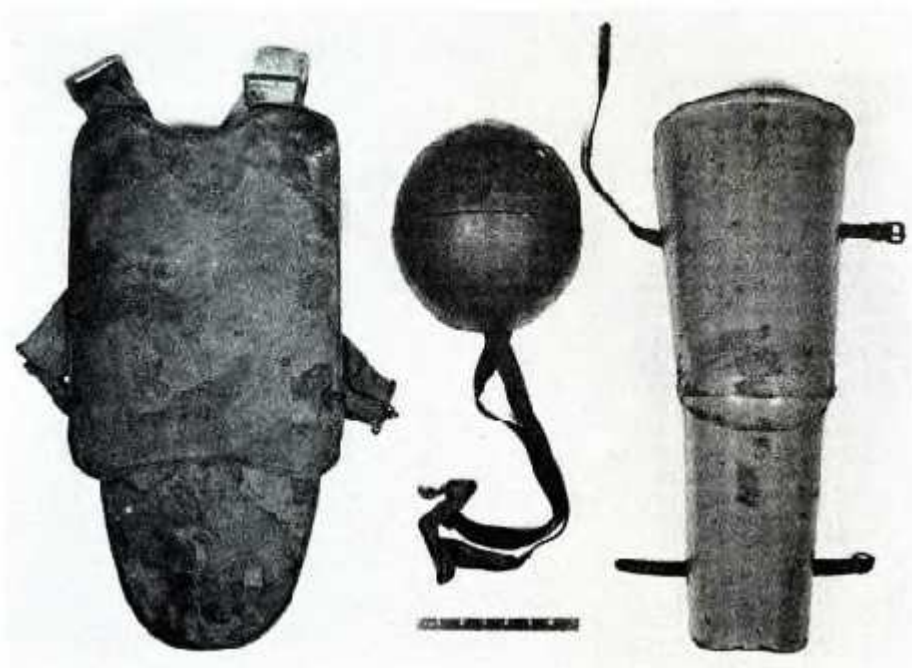
V počátečních fázích druhé světové války, bylo v USA navrženo několik zbrojí pro pěchotu, ale většina modelů byla příliš těžká a omezující v pohybu na to, než aby byly použitelné v manévrovací taktice bleskové války. Armáda tedy odklonila své výzkumné úsilí k vývoji protistřepinových vest, tzv. „flak jackets“, určených pro posádky bombardérů, které byly při hloubkových náletech na německé území ohroženy silnou protiletadlovou palbou. Protistřepinové vesty byly vyrobeny z nylonové tkaniny a dokázaly zastavit šrapnely nepřátelského flaku, nebyly ale konstruovány pro přímé zastavení projektilů.



Obr. 3. Flack jackets³

³ PRICE, Nevin. *B-26 Marauder Historical Society : WWII Air War Archive* [online]. 2002 [cit. 2009-01-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.b-26marauderarchive.org/PH/Jensen/PH13999.jpg>>.

Kanadská armáda vydávala zbroje především zdravotnickému personálu 2nd Canadian Infantry Division (2. kanadské pěší divizi). Z armád Osy experimentovala s neprůstřelnými zbrojemi například japonská armáda, která používala dokonce několik typů pěchotních zbrojí. Na bojišti ale nebyly moc k vidění. V polovině roku 1944 znovu započal vývoj pěchotní zbroje v USA, iniciovaný především obavou z vysokých ztrát při dobývání urputně bráněné japonské pevniny. Bylo vyrobeno několik vest, jako například typy T34, T39, T62E1 a M12.



Obr. 4. Japonská zbroj Typ III⁴

Rudá armáda také experimentovala s několika typy zbrojí, včetně typu SN-42. Označení je složeno ze zkratky ruského „Stalynoi Nagrudnik“, ocelový hrudní plát, a čísla označujícího rok vzniku. Byly testovány i ostatní typy, ale pouze SN-42 byl postoupen do výroby. Zbroj se sestávala ze dvou lisovaných ocelových plátů chránících trup a třísla. Pláty byly 2 mm silné a vážily 2,5kg. Zbroj SN-42 byla dodána jednotkám SHISBr (útoční inženýři)

⁴ ARNDT, Rob. *Japanese Strange Vehicles : JAPANESE MOBILE TROOP ARMOR AND BODY ARMOR (1937-1945)* [online]. 2008 [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://japan.greyfalcon.us/pictures/j7.jpg>>.

a tankodesantníkům (pěchotě přepravující se na tancích) některých tankových brigád. Zbroje SN chránily nositele před střelbou z německých samopamľů MP40 ráže 9 mm na vzdálenost 100 až 125 metrů, což je činilo užitečnými při bojích v zástavbě, jako byla například bitva o Stalingrad. Váha zbroje byla ale nepraktickou pro pěší jednotky operující v otevřených prostranstvích, protože snižovala jejich pohyblivost.



Obr. 5. Stalynoi Nagrudnik SN-42⁵

⁵ HANGMEN13. *RUSSIAN WWII BODY ARMOR : A FASCINATING FIND* [online]. 2006 [cit. 2008-10-28]. Dostupný z WWW:

<<http://i44.photobucket.com/albums/f5/HangmenHeaven/Military/Sn42frontopenB.jpg>>.

Před koncem války vyvinuly USA vestu využívající tzv. Doronových plátů, tedy laminátu na bázi sklených vláken. Vesty využívající Doron byly poprvé bojově nasazeny při bitvě o Okinawu roku 1945.

1.4 Chronologie let 1960-1970

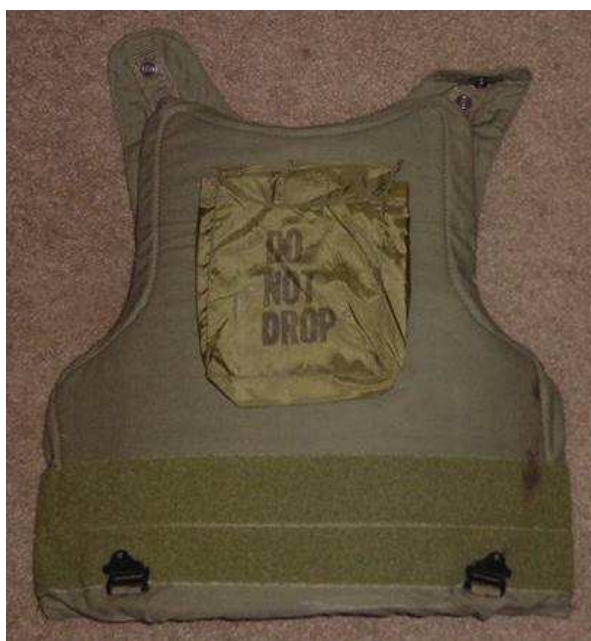
V průběhu války v Koreji bylo pro americkou armádu vyrobeno několik nových vest. Mezi nimi i typ M1951, který byl vyroben buďto ze skelných vláken nebo z hliníkových segmentů vetkaných do nylonové vesty. Využití nylonu představovalo značné snížení hmotnosti, ale zbroj nebyla příliš spolehlivá při zastavování projektilů a úlomků. Přesto bylo oficiálně udáváno, že je schopna zastavit standardní sovětský pistolový náboj 7,62x25 Tokarev přímo u ústí hlavně.

Během války ve Vietnamu byla pro americkou strategii klíčová letecká mobilita. Využití helikoptér, především pro průzkum, bylo významné již během období před incidentem v Tonkinském zálivu a oficiálním vstupem USA do války. Posádky pomalu a nízko létajících strojů jako UH-1 a UC-123 v té době disponovaly pouze druhoválečnými protistřepinovými vestami a modelem M1952A z války v Koreji. V průběhu války bylo opět experimentováno s využitím Doronových plátů, ale výsledek byl dvojnásobně těžší než zmiňovaná M1952A.

Východisko nabídla společnost Natick Laboratories v podobě lehkého keramického kompozitu. První pokusy nebyly úspěšné, protože omezovaly činnost pilotů. Problém měl vyřešit experimentální nosič plátů T65-1. Na základě praktických zkušeností z bojiště bylo roku 1965 provedeno několik změn, jejichž výsledkem byl nosič plátů T65-2. Nosič T65-2 si brzy mezi piloty získal přezdívku „chicken plate“, což doslovně přeloženo znamená pekáč na kuřata, avšak termín „chicken“ bývá používán také pro označení zbabělce.

Změn doznaly také anatomicky tvarované pláty, které byly nyní vyráběny jako monolit a ne jako spojení několika dlaždic. Nové pláty byly pro zvýšení odolnosti potaženy plastem a po obvodu olemovány gumou. Podle druhu materiálu byly rozlišovány tři třídy. Třída I byla vyrobena z oxidu hliníku (Al_2O_3), třída II z karbidu křemíku (SiC) a třída III z karbidu boru (B_4C). Druhé dva jmenované pláty byly sice lehčí, ale dvakrát až čtyřikrát dražší.

Podle serveru VietnamGear.com poskytovaly všechny tři třídy plátů ochranu proti střelám ráže 0.30 (7,62 mm) dopadajícím kolmo na vzdálenost 100 yardů (91,55 m).⁶ Přesto byly podle studií až ve 30% případech nosiče plátů používány v kombinaci s vestou M1952A. Vývoj probíhal nadále i po zbytek války a bylo představeno několik dalších vylepšení, jako například nahrazení upínacích patentek suchým zipem s větší odolností vůči bočním smykovým silám.



Obr. 6. T65-2 Chicken plate⁷

Roku 1969 byla založena firma American Body Armor a začala produkovat patentovanou kombinaci prošívaného nylonu překrytého mnoha ocelovými plátky. Shora uvedené uspořádání zbroje bylo prodáváno americkým pořádkovým silám zbrojovkou Smith & Wesson pod obchodním názvem „Barrier Vest“. Jednalo se o první vestu široce využívanou při vysoce nebezpečných policejních operacích.

⁶ VietnamGear.com [online]. 2006 [cit. 2008-11-01]. Text v angličtině. Dostupný z WWW: <<http://www.vietnamgear.com/Article.aspx?Art=91>>.

⁷ WEBB, Forrest. *The Legacy of Valor : Vietnam Helicopter Images and Artifacts* [online]. 2001 [cit. 2008-12-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.vhpmuseum.org/uniforms/gear/images/Chicken%20plate.jpg>>.

1.5 Nástup Kevlaru

V polovině 70. let, představila společnost DuPont syntetické vlákno Kevlar, které bylo utkáno do podoby odolné látky. Kevlar byl okamžitě začleněn do posuzovacího programu Úřadu pro výzkum, vývoj a vyhodnocení Ministerstva spravedlnosti Spojených států amerických („National Institute of Justice“, dále jen NIJ) pro poskytnutí lehké, utajitelné zbroje pro testovací skupinu důstojníků amerických policejních složek za účelem zjištění, zda je možné celodenní skryté nošení. Lester Shubin, programový ředitel NIJ, vedoucí tuto vládní studii se spolu s několika vybranými velkými policejními úřady rychle přesvědčil, že Kevlarová zbroj může být policisty pohodlně nošena každý den a může zachraňovat životy.

V roce 1975 Richard A. Armellino, zakladatel společnosti American Body Armor, uvedl na trh čistě Kevlarovou vestu nazývanou K-15 a složenou z 15 vrstev Kevlaru, která navíc obsahovala 5" x 8" velký balistický ocelový „Shock Plate“ umístěný vertikálně nad srdcem a patentovaný jako inovace balistické vesty. Podobně dimenzované a umístěné „trauma plates“, antišokové pláty, se dnes stále využívají na předních balistických panelech většiny vest pro skryté nošení. Redukují šok a zvyšují balistickou ochranu v oblasti mediastinu, ve středové části trupu, kde se nachází hrudní kost a srdce.

V roce 1976, Richard Davis, zakladatel společnosti Second Chance Body Armor, navrhl první Kevlarovou vestu této společnosti nazvanou Model Y. Výroba lehkých vest pro skryté nošení byla v plném proudu a nový druh každodenní ochrany pro moderní policejní důstojníky byl rychle zaveden do používání. Od poloviny do konce 80. let, nosila dle odhadů denně vesty pro skryté nošení 1/3 až 1/2 pochůzkářů. Do roku 2006 bylo zaznamenáno více než 2 000 případů, kdy vesta zachránila život, což potvrzuje úspěšnost a efektivitu lehkých vest pro skryté nošení jako standardní součásti každodenní policejní výstroje.

1.6 Vývojové trendy v období let 1990-2000

Měkké Kevlarové zbroje mají své nedostatky, protože pokud velké úlomky nebo projektily o vysoké rychlosti zasáhnou vestu, předaná energie může způsobit velmi nebezpečné traumatizující poranění v životně důležitých oblastech. „Ranger Body Armor“ (dále jen RBA) bylo vyvinuto pro americkou armádu v roce 1991. Přestože byla RBA druhou moderní americkou zbrojí schopnou zastavit munici puškové ráže a stále natolik lehkou, aby mohla být nošena vojáky v poli, měla své nedostatky. Byla těžší než konkurenční protistřepinová zbroj PASGT (Personal Armor System for Ground Troops) nošená běžnými vojáky a neposkytovala stejný stupeň balistické ochrany kolem krku a ramen. RBA, ale i jiné zbroje používané u amerických speciálních jednotek, jsou příkladem kompromisu mezi ochranou a mobilitou, který musí organizace používající moderní zbroje podstoupit.



Obr. 7. Ranger Body Armor

Mezi novější zbroje používané především armádou USA patří Interceptor Body Armor (dále jen IBA), armádní Improved Outer Tactical Vest (dále jen IOTV) a nejvíce pokročilá Modular Tactical Vest (dále jen MTV) námořní pěchoty. Všechny tyto systémy jsou navrženy jako vesty poskytující ochranu před střepinami a pistolovou municí. Tvrdé keramické pláty, jakými jsou například Small Arms Protective Insert (dále jen SAPI) využívané u IBA, jsou nošeny speciálně k ochraně životně důležitých orgánů před hrozbami vyšší úrovně. Hrozby vyšší úrovně představuje vysokorychlostní a průbojná pušková munice. Podobné druhy ochranného vybavení byly zavedeny moderními armádami po celém světě.



Obr. 8. Interceptor Body Armor⁸

⁸ KUHN, Marie. *Connecticut Public Broadcasting Network : State Congressmen Push For Better Body Armor Testing* [online]. 2008 [cit. 2008-12-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.cpb.org/files/images/Interceptor%20Body%20Armor.jpg>>.

Od 70. let, bylo kromě tkaného Kevlaru vyvinuto několik nových vláken a způsobů výroby balistických materiálů, jako například Dyneema od firmy DSM, GoldFlex a Spectra od Honeywellu, Twaron od Teijin, Dragon Skin od Pinnacle Armor a Zylon od Toyobo. Zmíněné nové materiály jsou inzerovány jako lehčí, tenčí a více odolné než Kevlar, avšak jsou samozřejmě také dražší. Poslední jmenovaný, jak nové studie ukazují, rychle degraduje a ztrácí schopnost ochránit svého nositele.

Pro potřeby armády USA byla vyvinuta speciální zbroj pro služební psy, kteří v současnosti pomáhají spojeneckým vojákům především při vedení asymetrických konfliktů na Blízkém a Středním východě. Pes je v muslimských zemích považován za nečisté zvíře a vzbuzuje v tamějších obyvatelích strach a respekt, což vojákům usnadňuje jejich činnost. Služební psi určení pro boj jsou velmi cenní nejen díky svému nákladnému a náročnému výcviku, ale také vzhledem k vlastnostem. Jak uvádí Vladimír Marek ve svém článku otištěném v časopise Naše vojsko: *„Výběr psů určených na boj proti teroristům je ještě mnohem náročnější než v případě jiných specializací. Vhodný jedinec by měl mít určitý stupeň agresivity, ale musí být také dobře ovladatelný. Při bojové akci zalehává a kryje se společně s vojáky, nesmí se nechat předčasně vyprovokovat ataky protivníka. Jinak by mohl způsobit paniku ve vlastních řadách. A právě v těchto okamžicích rozhoduje psychická odolnost zvířete. Důležité je také, aby mu nevadila intenzivní střelba.“*

Hodnotu takto vycvičených psů dobře demonstruje množství činností pro které jsou využíváni: *„Pomáhalo nám to například při doprovodech VIP. Díky respektu ze psů se kolem naší skupiny vytvářela jakási bublina, lidé udržovali patřičný odstup a právě to nám umožňovalo snadnější kontrolu, zda mezi nimi není případný terorista, který se chystá zaútočit.“*

„Velice účinné bylo rovněž nasazení psů při vnikání do objektů. Šli totiž jako první a umožňovali tak lokalizaci protivníka. Nejlepší přítel člověk se uplatňoval i při překonávání nebezpečných úseků. Právě zde totiž mohl nepřítel číhat v záloze. Pokud se ho podařilo odhalit a označit štěkotem, případně zadržet, významným způsobem to urychlovalo postup v před. Svou roli hrálo i to, že pes poskytuje střelci mnohem menší cíl než člověk. Zasáhnout ho v rychlém pohybu je velice obtížné.“

„Během přesunů při každé zastávce plnili psi strážní úkoly. Ty ostatně zajišťovali i při ochraně základny. Respekt si vynucovali rovněž při zřizování tzv. kontrolně propustných míst. Často se muselo jít do akcí bez nějakého většího průzkumu, tzv. naslepo. Právě nasazení psů v těchto případech dávalo vojákům jistotu, že prostor před nimi je čistý.“⁹

Vzhledem nebezpečnosti těchto činností je pochopitelné, že se armáda snaží své čtyřnohé vojáky chránit. Ze statistických verifikačních hodnocení ve světě lze usoudit, že nové zbroje nabízející ochranu proti střelám jsou značným zlepšením především oproti předchozím typům, které nabízely pouze ochranu proti bodnutí.



Obr. 9. Zbroj pro služební psy¹⁰

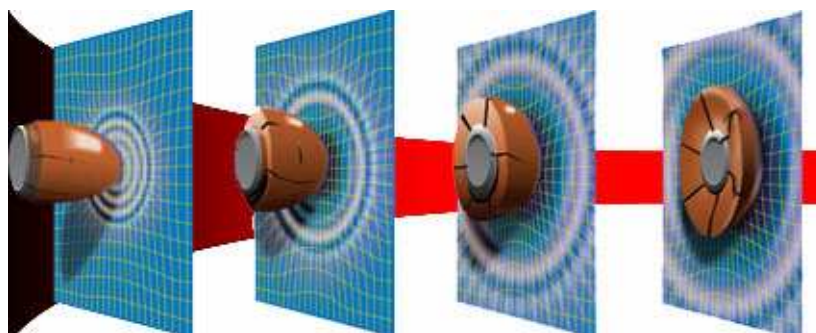
⁹ MAREK, Vladimír. Čtyřnohá elitní jednotka. *Naše vojsko*. 2008, roč. 4, č. 3, s. 7-9. ISSN 0027-8211.

¹⁰ RANSFORD, Cheryl. *Canine Units in Afghanistan Issued New Protective Vests* [online]. U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE, 2005 [cit. 2008-12-10]. Dostupný z WWW: <http://www.defenselink.mil/dodcmsshare/newsstoryPhoto/2005-02/2005022506b_hr.jpg>.

2 PRINCIP FUNKCE

Základem principu funkce neprůstřelných vest je vysoká pevnost použitých vláken v tahu a také jejich minimální průtažnost. Projektil vypálený z palné zbraně je kvůli přesnosti stabilizován rotací dle podélné osy a po nárazu na překážku se deformuje tak, že se zvětšuje jeho čelní plocha. Projektil se stále více zachytává vláken a snaží se je při postupu natáhnout, čímž se vyčerpává jeho kinetická energie, dokud není zcela zastaven. Pan Mgr. Pavel Černý ve své monografii otištěné ve *Střelecké revue* uvádí: „Výsledkem tedy je průhyb vláken, deformace projektilu a náraz absorbovaný elasticitou lidského těla (nebo antitrauma vložkou).“¹¹ S tímto tvrzením lze souhlasit až na detail, že při deformaci projektilu se samozřejmě uvolní také určité zanedbatelné množství tepelné energie.

Pro zvýšení odolnosti, zejména vůči puškové munici, se vesty doplňují přídatnými panely z tvrdých materiálů jako jsou ocel, titan či keramika. Hlavními výhodami použití plátů je rozložení kinetické energie projektilu na větší plochu, deformace projektilu a snížení jeho rychlosti ještě před vstupem do balistického materiálu.



Obr. 10. Deformace projektilu při zásahu překážky¹²

¹¹ ČERNÝ, Pavel. Balistická ochrana : pro policii. *Střelecká revue*. 2008, roč. 40, č. 12, s. 43-55. ISSN 0322-7650.

¹² CENTER MASS, INC. : *Innovative products, Education and Training Since 1996* [online]. c2007 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.centermassinc.com/image/33294610.jpg>>.

3 KONSTRUKCE NEPRŮSTŘELNÉ VESTY

Balistická vesta, tak jak ji chápeme a využíváme v průmyslu komerční bezpečnosti, je prvkem a prostředkem osobní ochrany. Při bližší zkoumání však zjistíme, že se jedná o systém s několika prvky rozličné funkce. Prvek, který můžeme bezprostředně pozorovat je balistický nosič, který, jak již název napovídá, slouží k nesení balistického materiálu a k jeho ochraně před povětrnostními vlivy. Druhým prvkem je samotný balistický materiál a třetím pak volitelná antišoková (antitrauma) vložka.

3.1 Balistický nosič

Aby mohla být balistická ochrana nositelná jsou balistické panely vložky z balistického materiálu a někdy také antitrauma vložky vsazeny do speciálního nosiče. Nosič je tedy ve výsledku jediným viditelným prvkem systému balistické vesty. Nejzákladnější nosič tvoří kapsy k nošení balistických panelů a popruhy k upevnění nosiče na uživatele. Existují dva hlavní typy nosičů, vojenské nebo taktické nosiče, které jsou nošeny přes oděv a skryté, používané především policejními složkami, které jsou nošeny po oděvem.

3.1.1 Vojenské nosiče

Vojenské typy nosičů jsou nejčastěji na vnějších stranách vybaveny speciální vazbou, háčky, smyčkami, popruhy či patentkami, které umožňují nositeli upevnit na nosič libovolně kapsy či různou výstroj. Převážná schopnost je důležitou součástí výstrojního a operačního designu nosičů pro zásahové jednotky policie a pro armádu. Kromě možnosti nošení výstroje, mohou nosiče zahrnovat i odnímatelná pouzdra pro dodatečnou ochranu krku, boční pláty či ochranu oblasti pánve. Vzhledem k tomu, že nosiče tohoto typu nedoléhají přímo na tělo, není nutná speciální konstrukce a vyrábějí se stejně jak pro muže, tak ženy.

3.1.2 Nosiče pro skryté nošení

V některých zemích policejní složky upřednostňují skryté nošení. Nosiče pro tento způsob se využívá často také při ochraně VIP a pracovníků SBS, pokud je vyžadováno utajení. Nosič drží balistické panely blízko k nositelovu tělu a přes něj je teprve oblečen svršek oděvu či uniformy. Tento typ nosiče musí být navržen tak, aby se přizpůsobil tvaru těla uživatele, protože vystupující kontury balistického nosiče by mohly způsobit prozrazení a ztrátu potencionální výhody. Mnoho takovýchto vest se vyrábí zcela zakázkově a vyžadují plnou specifikaci velikosti plátů a nosičů zbroje, aby dobře padly a poskytovaly komfortní používání. Obtížnější je přesné změření a výroba vest pro obézní osoby, či ženy.

3.2 Balistický materiál

Stěžejní část neprůstřelné vesty určující její vlastnosti, především pak třídu balistické odolnosti, je samotný balistický materiál. Jak již bylo zmíněno, kromě tkaného Kevlaru existuje několik dalších vláken se svou vlastní specifikou úpravou a vlastnostmi. Jedná se především o balistické materiály Dyneema, GoldFlex, Spectra, Twaron, Zylon. Výše jmenované materiály, zde uvádím pouze telegraficky, blíže se jim a především srovnání vlastností dvou vybraných zástupců, Kevlaru a Dyneemy, věnuji v části Balistické materiály.

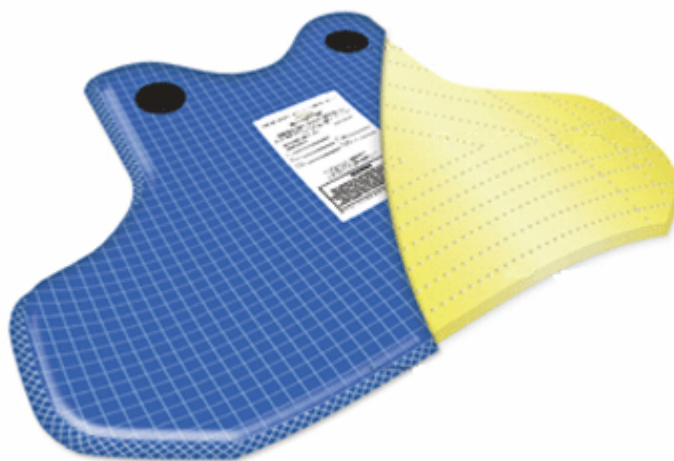
3.2.1 Výroba balistické vložky

Zpracování balistického materiálu do podoby balistické vložky má, podobně jako samotná výroba balistických materiálů, již se věnuji níže, nezanedbatelný podíl na vlastnostech výsledného produktu.

Tkanina balistického materiálu je rozřezána do požadovaných tvarů podle šablon, jejichž optimálního rozmístění je pro zvýšení efektivity určeno grafickým počítačovým systémem. Nařezané díly jsou stohovány do přesných hromádek. Dalším důležitým krokem je sešití. Materiály typu Dyneema sešití nevyžadují a obvykle jsou jen vloženy do těsných kapes vesty. Vesty využívající Kevlar mohou být sešity dvěma způsoby, buďto prošíváním tak, že vzniká kosočtvercový vzor, nebo prostým obšitím po obvodu. Prošívání je pracnější a obtížnější, avšak výsledný panel je pevnější. Naopak obšití je méně náročné a rychlejší a umožňuje větší pružnost výsledné balistické vložky.

3.2.2 Zapouzdření balistického materiálu

Mezi nosičem a balistickými komponenty se nachází ještě třetí vrstva textilu. Balistické panely jsou zpravidla zakryty v povlacích, které balistický materiál zapouzdřují. Povlaky jsou vyrobeny dvěma způsoby, buď jako tepelně hermeticky uzavřené nebo jako jednoduše ušité potahy. Pro některá balistická vlákna je toto kritická část systému. Povlak brání vlhkosti uživatelova těla a vlhkosti prostředí vůbec, aby pronikla do balistického materiálu a snížila tak jeho balistické vlastnosti. Ochrana proti vlhkosti zvyšuje rovněž celkovou životnost zbroje.



Obr. 11. Zapouzdření balistického materiálu¹³

¹³ *ARMOR EXPRESS : Body Armor Reborn* [online]. Armor Express, Inc., c2007 [cit. 2008-12-10]. Dostupný z WWW: <http://www.armorexpress.com/images/male_halo_popup.jpg>.

3.3 Antišoková vložka

Poslední, avšak neméně důležitý prvek, mezi uživatelem a projektilem je antišoková vložka. Projektil, pohybující se vysokou rychlostí, ačkoliv je zcela zastaven balistickým materiálem, předá velkou část své energie nositeli. Kinetická energie projektilu je přeměněna na mechanickou práci, která se projeví deformací zasažené oblasti. Vzhledem k faktu, že se lidské tělo skládá ze 70% z vody, která je z fyzikálního hlediska považována za nestlačitelnou, může se tlaková vlna šířit organismem velmi vysokou rychlostí.

Hydrostatický šok může způsobit rozsáhlá vnitřní zranění, jakými jsou protržení orgánů neslučitelná se životem, aniž by došlo k proniknutí projektilu zbrojí. Tomuto scénáři mají předejít právě antišokové vložky, které pomáhají rozložit energii na větší plochu a snížit tak lokální zatížení organismu. Antišokové vložky se vyrábějí především ve dvou provedeních, buďto jako samostatně zapouzdřené pláty, které se vkládají přímo do nosiče a to vždy blíže k tělu, a nebo jako trikot nošený přímo na těle a těsně na něj doléhající.

Pro výrobu vložek se používají buďto přímo balistické materiály jako aramidy či fólie z netříštivého polykarbonátu, nebo z materiálů, které balistické vlastnosti nemají a pouze redukují průhyb, jakým je například polyuretan.

Jeden z nejvýznamnějších tuzemských výrobců prostředků balistické ochrany firma Petris s.r.o na svých internetových stránkách uvádí: „Při zásahu měkké vesty střelou 9 mm PARA o rychlosti 430 m/s naměřen průhyb 29 – 32 mm. Při použití antišokové vložky je průhyb redukován na 40% z této hodnoty.“¹⁴

¹⁴ Petris [online]. c2001 [cit. 2009-02-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.petris.cz/katalog.php3?kat=1&podkat=7>>.

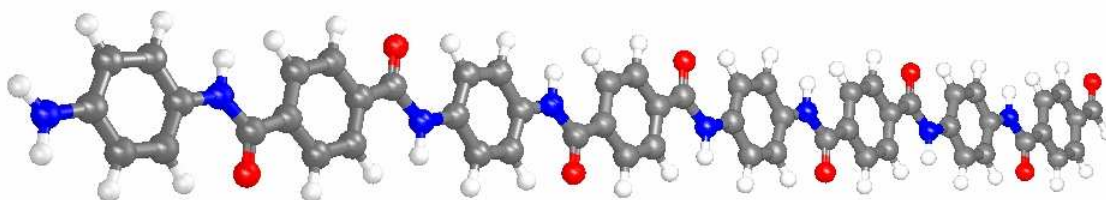
4 BALISTICKÉ MATERIÁLY

Jedním z hlavních představitelů balistických materiálů je aramidové vlákno Kevlar (Twaron), jak již bylo zmíněno v kapitole Historie balistické ochrany. Kevlarové vlákno sice stojí u vzniku moderních neprůstřelných vest jak je dnes známe, avšak není zdaleka jediným materiálem, který se pro konstrukci neprůstřelných vest využívá. Mezi největší rivaly aramidových vláken patří vlákna polyethylenová (Dyneema, Spektra), která se liší nejen chemickým složením, ale ve výsledku také fyzikálními vlastnostmi, způsobem výroby, spřádáním a výslednou strukturou tkaniny.

V problematice balistických materiálů, především pak tkanin jako Kevlar, se vedle všeobecně známých fyzikálních veličin, setkáváme i s méně známým pojmem denier (zkráceně den). Jednotka denier je definována jako hmotnost 9 000 metrů vlákna v gramech a využívá se především pro označení jemnosti příze. Čím je hodnota nižší, tím je příze jemnější a naopak.

4.1 Kevlar

Kevlar svými vlastnostmi způsobil doslova revoluci ve vývoji neprůstřelných vest. Ačkoliv byl původně vyvíjen jako náhrada za kordy v pneumatikách, našel si cestu do celé spektra oborů a využití. S Kevlarem se můžeme vedle balistické ochrany setkat například také ve výrobě částí letadel a raketoplánů, brzd a podvozků, převodových řemenů, optických a telekomunikačních kabelů a dokonce ve sportovním náčiní.

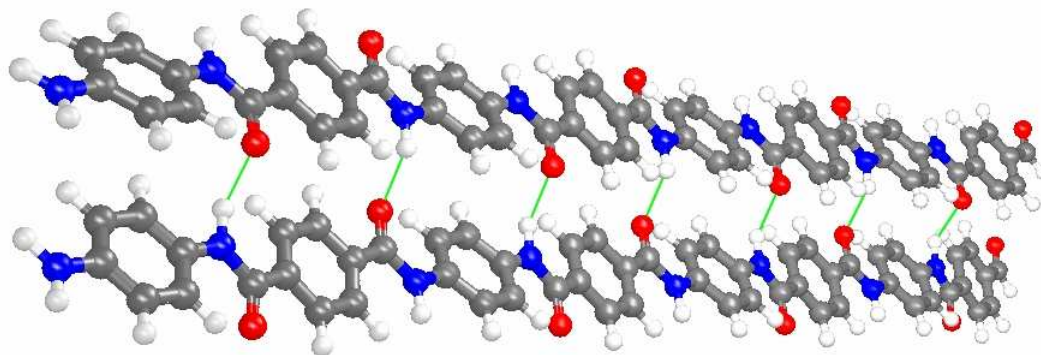


Obr. 12. Molekulový řetězec Kevlaru

4.1.1 Chemické složení kevlaru

Kevlar patří mezi tzv. aramidy, což je zkrácený souhrnný název pro aromatické polyamidy. Tyto sloučeniny vytvářejí molekulové řetězce benzenových jader (C_6H_6) a amidových skupin (NH_2), které jsou spojeny silnými molekulárními vazbami. Benzenová jádra představují hexagonální struktury atomů uhlíku, na které se mohou vázat další atomy či skupiny. V případě řetězení molekul velmi záleží i na vzájemném postavení vazeb výsledného polymeru. V případě Kevlaru se vazby nalézají v protilehlých rozích, jedná se tedy o para-aramid.

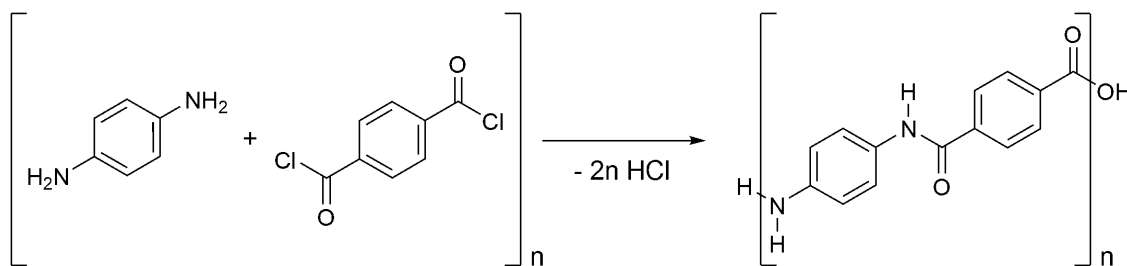
Jednotlivé molekulové řetězce jsou navzájem spojeny vodíkovými můstky, podobně jako je tomu v případě molekul vody. Ačkoliv jsou tyto síly relativně slabé, mezi dlouhými vysoce orientovanými řetězci jich je velké množství. Tento fakt je silnou i slabou stránkou aramidů. Vodíkové můstky na jedné straně zajišťují vysokou vzájemnou soudržnost řetězců, ale v případě namočení jsou vazby narušeny působením vodíkových můstků molekul vody a úroveň balistické ochrany se prudce snižuje.



Obr. 13. Vodíkové můstky mezi molekulovými řetězci Kevlaru

4.1.2 Výroba Kevlaru

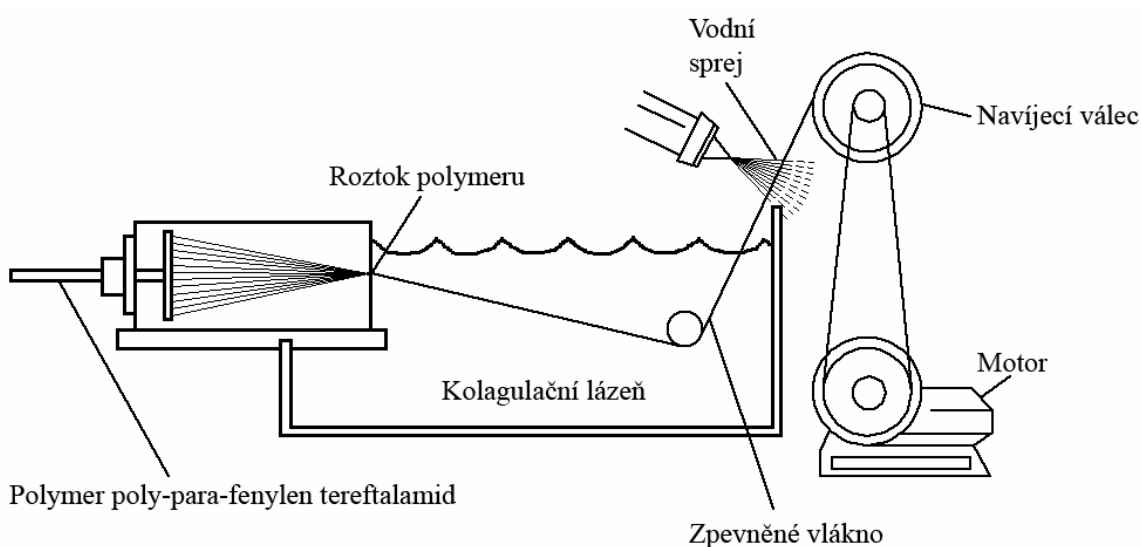
Samotný Kevlar, nebo-li celým chemickým názvem poly-paraphenylen terephthalamid (zkráceně PPTA) polymer, musí být nejprve vyroben laboratorně prostřednictvím polymerace, tedy spojením samostatných molekul do dlouhých řetězců. Kapalného roztoku je dosaženo použitím chloridu vápenatého (CaCl_2), sloužícího jako iontová složka reakční směsi, která se váže na vodíkové můstky amidové skupiny (NH_2), a organického rozpouštědla N-methylpyrrolidon. Při výrobě se vzniká kyselina chlorovodíková (HCl) a velké množství dalších odpadních látek. Právě nebezpečné odpadní látky, tedy především náklady spojené s jejich likvidací, navyšují výslednou cenu produktu.



Obr. 14. Chemická syntéza Kevlaru z *para*-phenyldiaminu a terephthaloyl chloridu¹⁵

¹⁵ Wikipedia : *The Free Encyclopedia* [online]. 2005 , 21 April 2009 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Kevlar_chemical_synthesis.png>.

Výsledný polymer kapalných krystalů ve tvaru tyčinek je protlačen kovovým plátem s mnoha malými otvory, aby se zformoval do podoby kevlarové příze. Vlákna Kevlaru pak procházejí koagulační lázní, aby se zpevnila. Po následném nástřiku vodou je syntetické vlákno navíjeno do rolí a posláno na spřádání. Pro zvýšení pevnosti vláken se provádí tzv. dloužení, zvýšení orientace krystalů a makromolekul v podélném směru působícího napětí, při teplotě 300 - 400 °C. Výsledná příze je tkána do jednoduchého vzoru, kdy jsou všechna vlákna prokládána střídavě nahoru a dolů.



Obr. 15. Zjednodušené schéma výroby vlákna Kevlaru

4.1.3 Chemické vlastnosti Kevlaru

Z chemických vlastností Kevlaru je nutné uvést jeho odolnost vůči nejrozličnějším chemikáliím, zvláště pak organickým rozpouštědlům. Jako příklad uvádím, že po expozici vláken stoprocentnímu roztoku acetonu při teplotě varu po dobu jednoho sta hodin zůstává pevnost v tahu prakticky nenarušena (materiály výrobce uvádějí ztrátu v rozmezí 0-10%). Výjimkou jsou silné kyseliny a zásady, avšak i mezi nimi nalezneme takové, kterým, i po dlouhé expoziční době v řádu stovek hodin, Kevlar bez problémů odolává.

Kevlar má samozhášecí schopnost a obvykle přestává hořet po odejmutí zdroje plamene. Také chování materiálu v průběhu hoření je příznivé. Vzhledem k tomu, že se netaví, nevytváří Kevlar kapky typické pro ostatní organická vlákna a tudíž nedochází k šíření plamene. Během spalování se navíc uvolňuje pouze malé množství škodlivin jakými jsou kyanovodík a oxid uhelnatý.

Výše zmíněné vlastnosti mají také svou stinnou stránku, výsledné Kevlarové vlákno je obtížně barvitelné, proto je nezbytné barvit materiál v průběhu výroby, ještě v rozpuštěném stavu. Druhou nevýhodou je degradace materiálu působením ultrafialového (dále jen UV) záření. UV záření, vedle ztráty barevnosti v případě obarvených vláken, způsobuje také ztrátu mechanických vlastností z důvodu narušení chemických vazeb.

4.1.4 Fyzikální vlastnosti Kevlaru

Mezi fyzikálními vlastnostmi vyniká Kevlar vysokou pevností v tahu, malým prodloužením a vysokým Youngovým modulem pružnosti. Mezi další vlastnosti určující jeho využití patří relativně vysoká teplota rozkladu. Kevlar nemá stanovitelnou teplotu tání, protože se netaví, avšak na vzduchu se rozkládá při teplotě 425 C. Při zvýšených teplotách je Kevlar dobře továrně zpracovatelný. Z pohledu ochrany je zajímavá také nevodivost a špatná zápalnost. Měrná hmotnost Kevlaru je $1\,439\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ¹⁶, což je vzhledem k jeho pevnosti a odolnosti relativně málo.

Mezi jevy, které nejsou v problematice balistické odolnosti žádoucí uvedme vysokou absorpci vody, která má negativní dopad na výslednou balistickou odolnost.

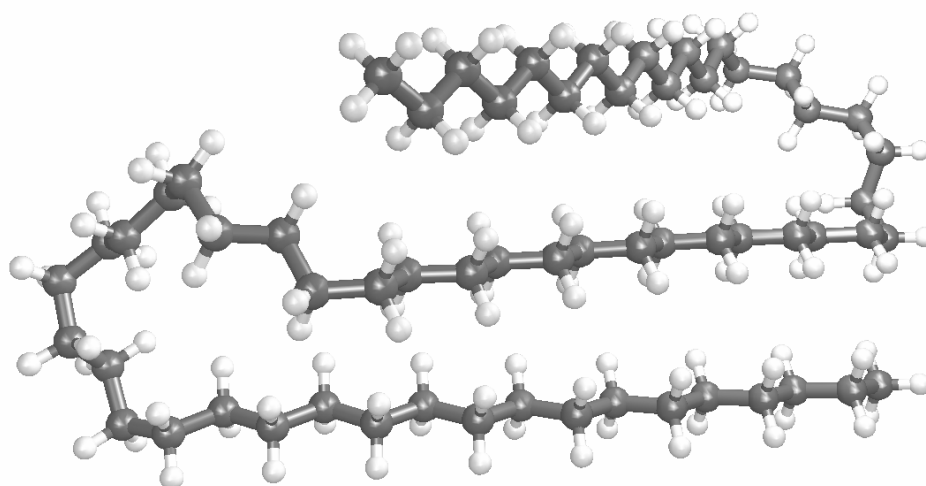
¹⁶ KEVLAR : *Aramid Fiber*. Richmond (VA) : DuPont, [2000]. 32 s.

4.2 Dyneema

Alternativním materiálem pro Kevlar je především polyethylenové vlákno Dyneema nizozemské chemické skupiny DSM. Dyneema se vyrábí od roku 1990 pobočce DSM High Performance Fibers BV holandském Heerlenu. Licenčně se vyrábí také v USA a v Japonsku. Celková produkce je 1000 tun ročně, což činí DSM největším světovým výrobcem superpevných PE vláken. Z celkové produkce 40% představují vlákna pro balistickou ochranu, 35% slouží k výrobě námořních lan a rybářských sítí a zbývajících 25% připadá na sportovní potřeby.

4.2.1 Chemické složení Dyneemy

Základním stavebním kamenem Dyneemy je polyethylen (dále jen PE). Jedná se o termoplast, který vzniká polymerací ethenu nebo-li ethylenu (C_2H_4), jedné ze základních surovin chemického průmyslu. Poprvé byl PE syntetizován německým chemikem Hansem von Pechmannem (1850 - 1902) v roce 1891. V roce 1931 byla zvládnuta průmyslová syntéza a v roce 1939 byla zahájena průmyslová výroba vysokohustotního PE a v roce 1954 byl poprvé syntetizován nízkohustotní PE. PE je v současnosti nejpoužívanějším polymerem na světě a díky němu předčila v roce 1979 produkce plastů celosvětovou výrobu oceli, odhadovanou roční produkcí více než 60 milionů tun.

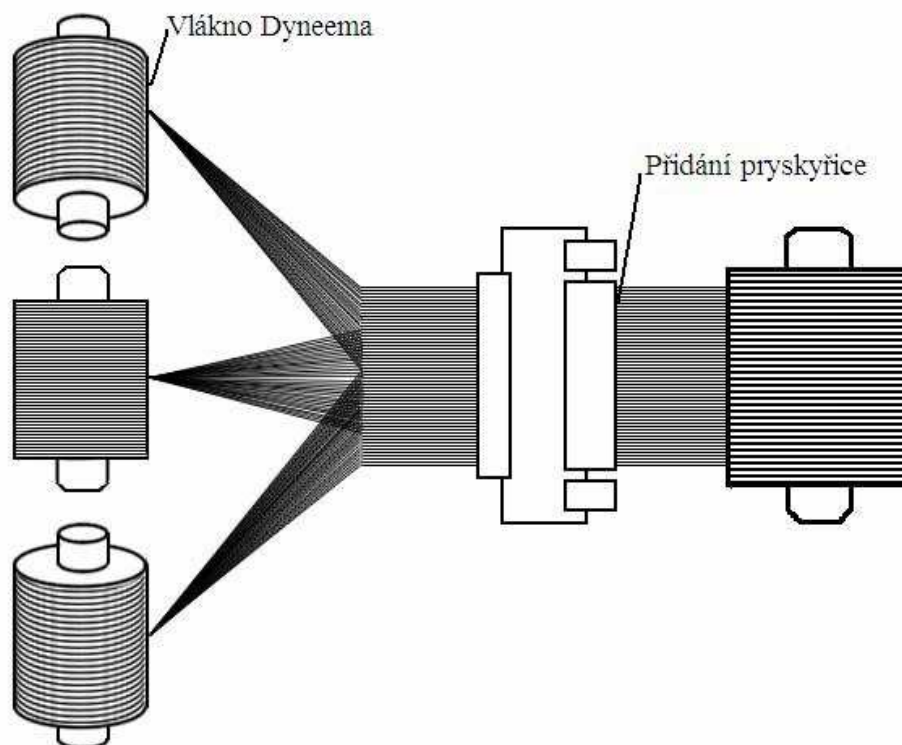


Obr. 16. Polyethylenový řetězec

4.2.2 Výroba Dyneemy

Technologický postup výroby vlákna Dyneema je patentově chráněn od roku 1979 a spočívá ve změně orientace a stavby molekulových řetězců PE vlákna s ultravysokou molekulovou hmotností (UHMV-PE). Tento výchozí materiál se při tzv. gelovém předení (HPPE proces) nejprve namočí do rozpouštědla, čímž se rozpustí jeho molekuly tvořící shluky s malou soudržností. Při následném předení se shluky narovnají a spojí do pevných provazců, které se ještě vyrovnají do směru vlákna při jeho natažení a ochlazení. Vznikne tak vlákno s vysokou houževnatostí a pevností v tahu, s makromolekulární orientací vyšší než 95%. Gelové předení je tedy proces, který závisí na mechanických a fyzikálních parametrech a nikoliv na chemických.

Dyneema pro použití v balistických vestách není, narozdíl od Kevlaru, tkaná. Filamenty vysokopevnostního polyetylénového polymeru jsou spřádány do vláken, která jsou následně rovnoběžně uložena. Uspořádaná vlákna jsou zalita pryskyřicí tak, aby vytvořila arch. Dva archy jsou přes sebe položeny, tak aby vlákna navzájem svírala pravý úhel a opět spojena. Vzniklá netkaná látka je umístěna mezi dva archy polyetylénové fólie. Z výsledného materiálu se vyřezávají kusy ve tvaru požadovaném pro umístění do vesty.



Obr. 17. Výroba Dyneemy

4.2.3 Chemické vlastnosti Dyneemy

Dyneema, na rozdíl od Kevlaru, neobsahuje chemické skupiny jako amidy (NH_2) nebo hydroxylové skupiny (OH^-), které jsou citlivé na působení agresivních látek. Z uvedeného důvodu je velice odolná proti vodě, vlhkosti, většině chemikálií, UV záření a dokonce mikroorganismům.



Obr. 18. Polyethylenový vosk

4.2.4 Fyzikální vlastnosti Dyneemy

Dyneema má vzhledem HPPE procesu výroby vynikající fyzikální vlastnosti. Ačkoli je v tahu pevnější než konkurenční Kevlar a má také vyšší modul pružnosti, stále se nevyrovná speciálním uhlíkatým vláknům. I přes svou vynikající odolnost dosahuje Dyneema relativně nízké hustoty $990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a tudíž plave na vodě. Bod tání Dyneemy se pohybuje v rozmezí $+144$ až $+152^\circ\text{C}$ a materiál se rozkládá při teplotě $+300^\circ\text{C}$. Bohužel, na rozdíl od aramidových vláken, klesá houževnatost Dyneemy již při teplotách nad $+80^\circ\text{C}$ a klesá také pevnost v tahu. Naopak při teplotách pod bodem mrazu pevnost v tahu roste, přičemž až do teploty -150°C nebyl nalezen bod křehnutí. Proto se vlákna doporučují pro použití až do -100°C . Velkou výhodou Dyneemy oproti Kevlaru je její odolnost proti působení vody, která nemá na její fyzikální vlastnosti žádný vliv.

4.3 Srovnání Kevlaru a Dyneemy

Rozhodl jsem se postavit vedle sebe zvolené zástupce balistických materiálů a porovnat vlastnosti klíčové pro jejich využití v balistické ochraně. Pro větší přehlednost jsem z konkrétních technických specifikací dostupných v dokumentacích výrobců DuPont a DSM sestavil srovnávací tabulku (Tab. 1.). Pro srovnání uvádím i vlastnosti blíže nespecifikovaného ocelového drátu.

Tab. 1. Srovnání vybraných fyzikálních a mechanických vlastností zvolených balistických materiálů

	KEVLAR 29 ¹⁷ (1 500 den)	KEVLAR 49 ¹⁷ (1 1400 den)	DYNEEMA SK76 ¹⁸ (1 600 den)	Ocelový drát ¹⁷
Měrná hmotnost ρ [kg.m ⁻³]	1 439	1 439	990	7 750
Pevnost v tahu σ_t [MPa]	2 923	2 999	3 500	1 965
Modul pružnosti v tahu E_t [GPa]	70	112	115	199
Poměrná deformace na mezi pevnosti v tahu $\epsilon_{\sigma t}$ [%]	3,6	2,4	3,6	2,0
Teplotní degradace (tání) T_d [°C]	427 - 482	427 - 482	144 - 152	1 500

¹⁷ KEVLAR : *Aramid Fiber*. Richmond (VA) : DuPont, [2000]. 32 s.

¹⁸ *Major Glove* [online]. c2003 [cit. 2008-11-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.ssgloves.com/html/techinfo-no04.html>>.

Jako zajímavost přikládám souhrnnou srovnávací tabulku základních vlastností (Tab. 2.), kterou jsem sestavil především z nejrůznějších propagačních materiálů obou výrobců. Na první pohled je zřejmý nesoulad v udávaných pevnostech. Ačkoliv by měla být ,podle druhé tabulky (Tab. 2.), Dyneema prakticky 3x pevnější než Kevlar, přesné a konkrétní údaje z první tabulky (Tab. 1.) tomu nenasvědčují, protože rozdíl v pevnosti tahu jednotlivých materiálů je přibližně 500 MPa.

Tyto nesrovnalosti jsou způsobeny především nedostatkem bližší specifikace druhu pevnosti a neuvedením plochy průřezu, na kterou je pevnost v tahu vztažena. K mystifikacím tedy dochází snahou výrobce zdůraznit silné stránky svého produktu ve srovnávací reklamě, kdy na straně jedné uvádí přesný typ svého výrobku a na straně druhé obecný druh materiálu konkurence. Například pokud je konkurenčním produktem Kevlar, je v tabulkách a grafech uveden pouze jako aromatický polyamid, bez bližší specifikace tohoto širokého pojmu.

Tab. 2. Obecné srovnání Kevlaru a Dyneemy

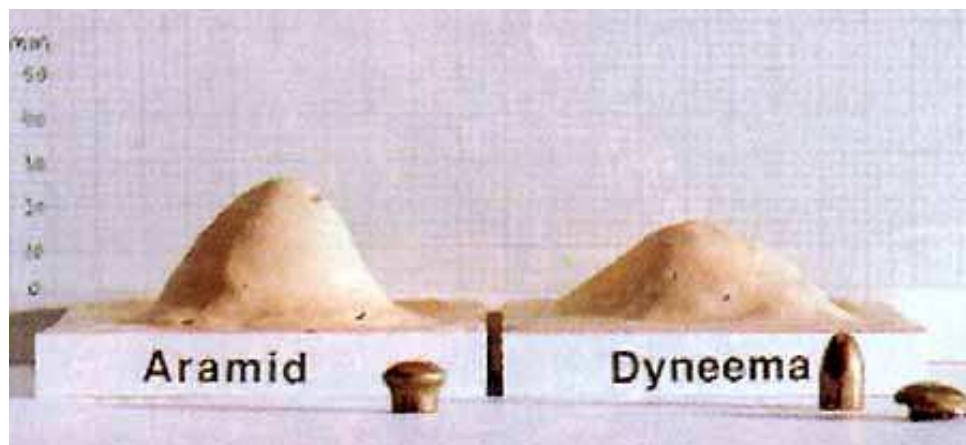
Materiál:	Kevlar	Dyneema
Chemické složení:	aromatický polyamid	polyethylenový polymer
Pevnost:	5x ocel	15x ocel
Vliv UV záření:	degradace	odolnost
Absorpce vody:	vysoká	nízká
Odolnost vůči chemikáliím	dobrá	vysoká
Rozsah teplot:	-196 – 450 °C	-150 – 150 °C
Ztráta pevnosti:	+ 150 °C	+ 80 °C
Hmotnost:	2,5 x vyšší	nižší
Zpracování:	tkaním	příčným prokládáním s termoplastickou fólií

Na obrázku níže (Obr. 19.) uvádím srovnání struktury zvolených balistických materiálů. Na snímku vlevo je netkaná textilie Dyneema. Za povšimnutí stojí struktura rovnoběžně uspořádaných vláken, patrná především v okolí výtrží způsobených zásahy. Obecně má materiál vzhled hrubého mléčně zakaleného igelitu. Na pravém snímku je viditelná tkaná struktura Kevlaru a jeho přirozené žlutavé zbarvení. Oba snímky jsem záměrně umístil těsně vedle sebe z důvodu větší názornosti obrázku.



Obr. 19. Srovnání struktury Dyneemy (vlevo) a Kevlaru (vpravo)

Na následujícím snímku (Obr. 20.) je možné na pořízených odlitcích porovnat hloubku průtisku do terče. Průtisk umístěný vlevo vznikl po zásahu zbroje využívající jako balistický materiál blíže nespecifikovaný aromatický polyamid. Pravý průtisk zanechala po zastavení zbroj na bázi vysokopevnostního polyethylenu. Přesný druh použité munice, počet vrstev balistického materiálu a jeho bližší specifikace, ani druh podkladového materiálu zdroj neuvádí. Pokud však vycházíme z předpokladu, že autor snímku se snažil zachovat určitou objektivitu a stejné podmínky obou testů, můžeme říci, že Dyneema vykazuje lepší výsledky, především co se hloubky průtisku týče.



Obr. 20. Srovnání zastavovacích účinků aramidů (Kevlaru) a Dyneemy¹⁹

¹⁹ OCHRANNÉ VESTY [online]. [2007] [cit. 2008-10-15]. Dostupný z WWW: <strelnice-zlin.hyperlink.cz/zajimavosti/020103/>.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 KLASIFIKACE PROSTŘEDKŮ BALISTICKÉ OCHRANY

Prostředky balistické ochrany jsou klasifikovány podle své odolnosti do tříd balistické odolnosti (dále jen TBO). TBO jsou stanoveny vždy patřičnou normou pro daný stát. Můžeme se setkat například s německou normou DIN 52290, britskou BS 5051 ruskou GOST R50963-96 americkými NIJ Standard–0101.03 a NIJ Standard–0101.04 a v neposlední řadě českou normou ČSN 39 5360. Blíže se budu věnovat především dvěma posledním a v České republice nejrozšířenějším normám a to americké NIJ Standard–0101.04 a samozřejmě české normě ČSN 39 5360.

5.1 NIJ Standard–0101.04

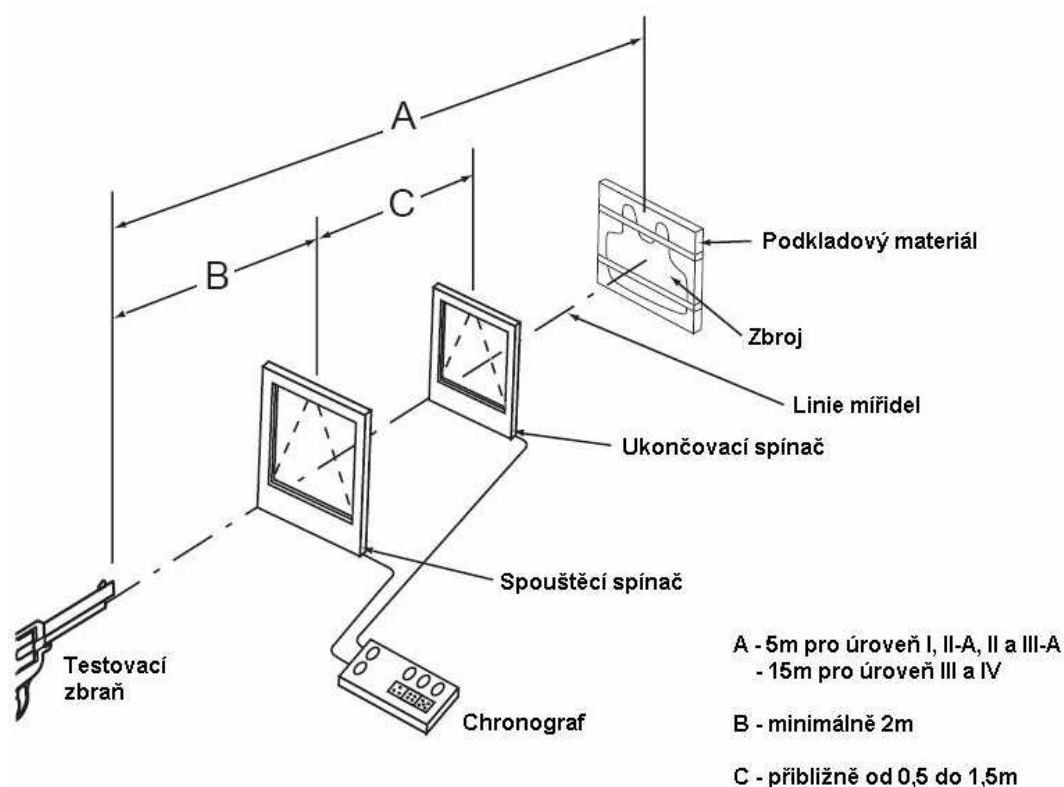
Obecně je výše uvedená norma označována za jednu z nejpoužívanějších norem řešících problematiku balistické ochrany. NIJ Standard–0101.04 byla vydána Úřadem pro výzkum, vývoj a vyhodnocení Ministerstva spravedlnosti Spojených států amerických, americkou obdobou Ministerstva spravedlnosti ČR, a navazuje na normu NIJ Standard–0101.03. NIJ Standard–0101.04 definuje 4 základní třídy odolnosti a 2 třídy doplňující. Samotné testování probíhá v šestiranných sekvencích pro každý druh munice specifikovaný v tabulce normy. Maximální přípustná hloubka průtisku činní 44 mm, přičemž objem průtisku se neměří. Testování se provádí pro dva případy, jednak za sucha a jednak po vystavení testované zbroje působení vody. Namočení zbroje se provádí před umístěním na podkladový materiál tak, že jsou obě strany zbroje vystaveny po dobu 3 minut přesně určenému množství vody. Následně jsou testovány obě strany zbroje, jak přední tak zadní. Jestliže vesta obsahuje panely pro ochranu konce páteře či jiné součásti, jsou testovány také spolu s vestou.

Tab. 3. Přehled tříd balistické odolnosti dle NIJ 0101.04

US STANDARDS NIJ 0101.04					
Třída	Projektíl	Ráže	Typ munice	Hmotnost	Minimální rychlost projektílu.
I	1	.38 Special	RN Olověná	10,20 g	259 m/s
	2	.22	LRHV Olověná	2,60 g	320 m/s
II-A	1	.357 Magnum	JSP	10,20 g	381 m/s
	2	9 mm	FMJ	8,00 g	332 m/s
II	1	.357 Magnum	JSP	10,20 g	425 m/s
	2	9 mm	FMJ	8,00 g	358 m/s
III-A	1	.44 Magnum	Lead SWC	15,55 g	426 m/s
	2	9 mm	FMJ	8,00 g	426 m/s
III		7,62 mm Win.	FMJ	9,70 g	838 m/s
IV		.30-06	AP	10,80 g	868 m/s
AP: Průbojná střela RN: Ogivální střela LRHV: Pušková, vysokorychlostní			JSP: Poloplášťová střela FMJ: Celoplášťová střela SWC: Prosekávací střela s plochou špičkou		

5.1.1 NIJ Standard–0101.04 – zkušební sestava

Pro správné provedení testu a jeho opakovatelnost stanovuje norma také správné rozestavení jednotlivých prvků testovací aparatury (Obr. 21.). Hlavními prvky jsou testovací zbraň, chronograf a testovaná zbroj upevněná na podkladový materiál. Podle obrázku prezentovaného níže je možné vidět, že vzdálenost zbraně od zbroje závisí na TBO pro kterou je zbroj testována, tedy 5 m pro úrovně I, II-A, II a III-A, které podle tabulky odpovídají krátkým kulovým zbraním, a 15 m pro úrovně III a IV odpovídajícím dlouhým kulovým zbraním. Vzájemná vzdálenost jednotlivých spínačů chronografu není pevně stanovena, ale také se odvíjí od TBO a musí být v rozmezí od 0,5 do 1,5 m, avšak při dodržení vzdálenosti 2 m od ústí hlavně testovací zbraně ke spouštěcímu spínači chronografu.

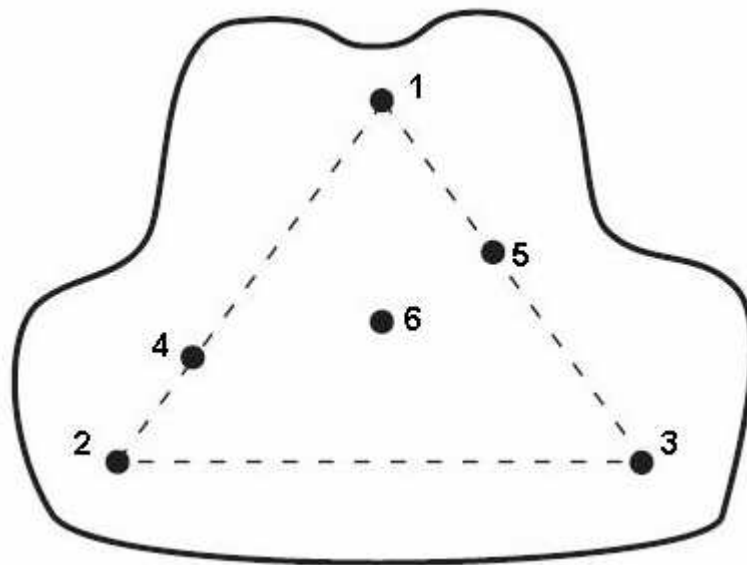


Obr. 21. Rozmístění zkušební sestavy²⁰

²⁰ Převzato a přeloženo z *NIJ Standard–0101.04 : Ballistic Resistance of Personal Body Armor*. Acting Director Julie E. Samuels. Washington (DC) : 2000. 67 s.

5.1.2 NIJ Standard–0101.04 – rozmístění zásahů

Norma NIJ Standard–0101.04 stanovuje také požadavky na rozmístění testovacích zásahů na ploše testované zbroje. Podle obrázku níže (Obr. 22.), bod číslo 1 slouží k posouzení deformace podkladu po prvním zásahu a ke změření hloubky průtisku. Po změření probíhá zbytek série, tedy body 2 až 6, bez přerušení. Cílem je posouzení odolnosti zbroje proti vícečetným zásahům. 5. a 6. zásah série jsou vedeny pod úhlem 30° k ploše zbroje.



Obr. 22. Rozložení testovacích zásahů²¹

²¹ Převzato a přeloženo z *NIJ Standard–0101.04 : Ballistic Resistance of Personal Body Armor*. Acting Director Julie E. Samuels. Washington (DC) : 2000. 67 s.

5.2 Norma ČSN 39 5360

Česká norma ČSN 39 5360 formuluje požadavky na prostředky ochrany proti střelám, střepinám a bodným zbraním. Norma definuje sedm základních tříd balistické odolnosti, ustanovuje termíny a definice související s danou problematikou, rozděluje zkoušky, stanovuje technické požadavky a provedení samotného zkoušení a také jeho vyhodnocení.

Tab. 4. Přehled tříd balistické odolnosti dle ČSN 39 5360²²

ČSN 39 5360 Zkoušky odolnosti ochranných prostředků				
TBO	Ráže	Střela	Rychlost [m/s]	Hmotnost [g]
1	22LR	Pb/O	300 ± 10	2,6
2 2CZ	9 mm Luger 7,62x25	CP/Pbj./O CP/Pbj./O	410 ± 10 470 ± 10	8 5,5
3 3CZ	357 Magnum 9 mm Luger	CP/Pbj./KK CP/Fej./O	430 ± 10 440 ± 10	10,2 6,45
4 4CZ	44 Magnum 7,62x25	CP/Pbj./KK CP/Fej./O	440 ± 10 550 ± 10	15,6 5,50
5 5CZ	223 Rem. 7,62x39	CP/Pbj. CP/Fej.	920 ± 10 710 ± 10	4 8
6 6CZ	7,62x51 223 Rem.	CP/Pbj. CP/Fej.	830 ± 10 820 ± 10	9,5 3,95
7 7CZ	7,62x51 7,62x54R	CP/Fej. CP/Fej.	820 ± 10 860 ± 10	9,8 9,75
Vysvětlivky:	CP - celoplašť, Pbj. - olovené jádro, Fej. - ocelové jádro O - ogivál, KK - komolý kužel			

²² ČSN 39 5360 Zkoušky odolnosti proti střelám, střepinám a bodným zbraním: Technické požadavky a zkoušky. Praha: Český normalizační institut, 1995. 3 sv. (16, 2, 2 s.).

5.2.1 Norma ČSN 39 5360 – rozdělení provozních podmínek

Podmínky za nichž jsou testy prováděny se rozděluje norma ČSN 39 5360 na:

Běžné

Běžné podmínky zahrnují teplota prostředí (21 ± 3) °C a relativní vlhkost 40 - 80%.

Ztížené

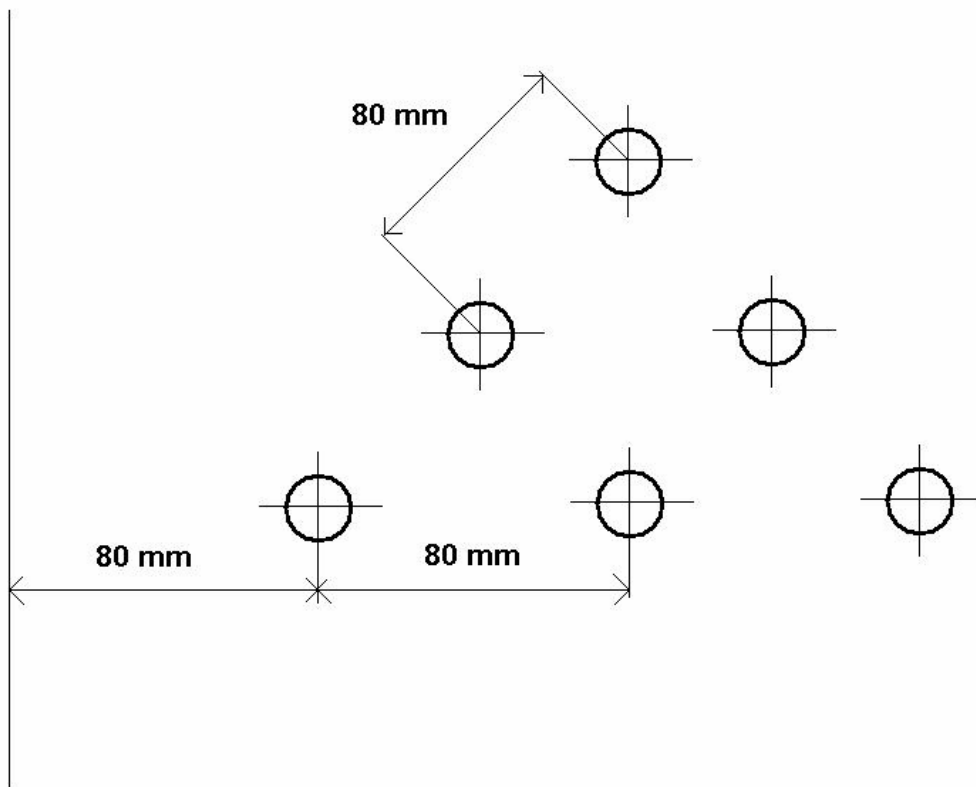
Ztížené podmínky se aplikují pouze pro vzorky a dělí se dále na 3 druhy, přičemž prvním je ponoření vzorku do vody o teplotě 15 až 20 °C na 1 hodinu. Druhou možností je vystavení vzorku mrazu při -20 °C po dobu 12 hodin. Třetí a poslední možnost představuje vystavení horku teploty +50 °C, opět po dobu 12 hodin.

5.2.2 Norma ČSN 39 5360 – zkušební sestava

Zkušební sestava pro testování zbroje dle ČSN 39 5360 se sestává ze vzorku upevněného tak, aby se dotýkal po celé ploše podkladového materiálu, dále ze zbraně v horizontální poloze tak, aby úhel dopadu střely byl kolmý k povrchu vzorku. Vzdálenost vzorku od ústí hlavně se odvíjí od TBO. Pro TBO 2, 3 a 4 je to 5 m a pro TBO 1, 5, 6, 7 10 metrů.

5.2.3 Norma ČSN 39 5360 – rozmístění zásahů

Podobně jako u americké normy NIJ Standard–0101.04, nemůže být rozložení zásahů na testované zbroji náhodné, ale určitým způsobem předepsáno. Česká norma stanovuje 3 výstřely pro každou ráži, přičemž 2 výstřely jsou vedeny pod úhlem 30° k ploše zbroje a to ze vzorku zbraně s nejvyšším stupněm poškození. Předepsaná minimální vzdálenost mezi okraji sousedících vzorků činí 80 mm a minimální vzdálenost zásahu od okraje vzorku je taktéž 80 mm viz. (Obr. 23.). V případě zóny poškození o průměru větším než 80 mm musí být vzdálenost mezi zónami nejméně o průměru zóny poškození.



Obr. 23. ČSN 39 5360 – rozmístění zásahů

5.2.4 Norma ČSN 39 5360 – zaznamenání účinku

Při testování se zaznamenává účinek na podkladový materiál v ochranném prostředí a vtisk v podkladovém materiálu. V případě poškození většího rozsahu než 80 mm se zaznamenává průměr poškození. Hloubka průtisku se měří pomocí hloubkoměru s přesností na 1 mm. Objem průtisku se stanovuje pomocí odměrného válce s přesností 0,5 ml a vody o teplotě (21 ± 3) °C. V průběhu celého testu se zaznamenávají rychlosti jednotlivých střel.

5.2.5 Norma ČSN 39 5360 – vyhodnocení

Norma definuje testovanou zbroj jako nevyhovující v případě: úplného proniknutí střely nebo její části, při proniknutí uváznuté střely a při vzniku a oddělení výtrže. Dále, pokud je vtisk v podkladovém materiálu větší než 25 mm nebo o objemu větším než 8 ml a také pokud je objeven průsvit v kontrolní desce

5.2.6 Norma ČSN 39 5360 – zkušební protokol

Na základě vykonané zkoušky se vyhotoví zkušební protokol. Mezi náležitosti, které by měl protokol obsahovat patří: datum, místo zkoušek, klimatické podmínky, typ, druh a výrobní č. ochranného prostředku, název výrobce ochranného prostředku, TBO udaná výrobcem, případně způsob odběru vzorku a také typ, druh, výrobní č., ráže a délka hlavně zkušební zbraně.

6 NOVÉ TRENDY V BALISTICKÉ OCHRANĚ

V poslední kapitole své práce se věnuji novým trendům v problematice balistické ochrany. Vzhledem k široké škále materiálů využívaných v tomto odvětví je výsledný pokrok spojením vývoje ve všech zainteresovaných odvětvích. Na následujících řádcích uvádím pouze vybrané oblasti.

6.1 Pokrok ve vývoji vláken

Pokroky ve výzkumu materiálů v posledních letech otevřely dveře staré myšlenky doslovně „neprůstřelné vesty“, která by byla schopná zastavit pistolové a puškové projektily již jako měkká textilní vesta, bez pomoci těžkopádných přídatných kovových či keramických plátů. Ve skutečnosti je pokrok ve vláknových materiálech poněkud pomalejší v porovnání s rychlostí změn v jiných technických disciplínách.

Nejnovější výrobkem společnosti DuPont je Kevlar XP, který vykazuje o 15% nižší deformaci vnitřní strany při zásahu a zároveň je od 10% lehčí než předešlé verze. Aktuální měkké zbroje dovedou zastavit většinu pistolových nábojů, což by mělo podle předpokladů platit ještě po 15 let. Avšak pro zastavení puškové munice a pistolové munice s ocelovým jádrem jako 7,62x25 jsou zapotřebí pláty. Para-aramidy již nepokročí za limit 23gramů na denier v pevnosti vlákna. Menšího zlepšení balistických výkonů bylo dosaženo novými výrobci tohoto typu vlákna. To samé můžeme říci o vysokopevnostních polyetylénech UHMW-PE, jejichž základní vlastnosti postoupily k rozmezí 30-35 g/d. Určité zlepšení je možno pozorovat ve vývoji příčně prokládaného netkaného laminátu Spectra Shield.

Pokrok balistických výkonů vláken PBO je asi klasickým odstrašujícím příkladem materiálového inženýrství. Toto sice vlákno dovoluje vytvoření měkké zbroje proti krátkým palným zbraním, která by byla o 30-50% menší ve srovnání s aramidem a UHMW-PE, avšak větší odolnost je spojena se „medializovanou“ nízkou odolností proti přírodním vlivům. Týmy Akzo-Magellanu (nyní DuPontu) pracují na vlákně nazvané M5, avšak ohlášený start jejich hlavního provozu byl zpožděn o více než 2 roky. Data ukazují, že pokud bude materiál M5 uveden na trh, jeho vlastnosti budou zhruba podobné PBO.

V květnu 2008 skupina firem Teijin Aramid oznámila svůj vývojový program „supervláken“ (super fibers). Zdá se, že důraz Teijinu spočívá na výpočetní chemii pro určení řešení vysoké pevnosti bez vlivů prostředí. Materiálové inženýrství „supervláken“ druhé generace je komplexní, vyžaduje velké investice a představuje značnou technickou výzvu. Výzkum míří k vývoji umělého pavoučího hedvábí, které by mohlo být velice pevné a zároveň lehké a ohebné. Další výzkum se provádí na využití nanotechnologií k vytvoření super silných vláken, která by mohla být využita v budoucích neprůstřelných vestách.

6.2 Výzkum tkaných textilií a laminátů

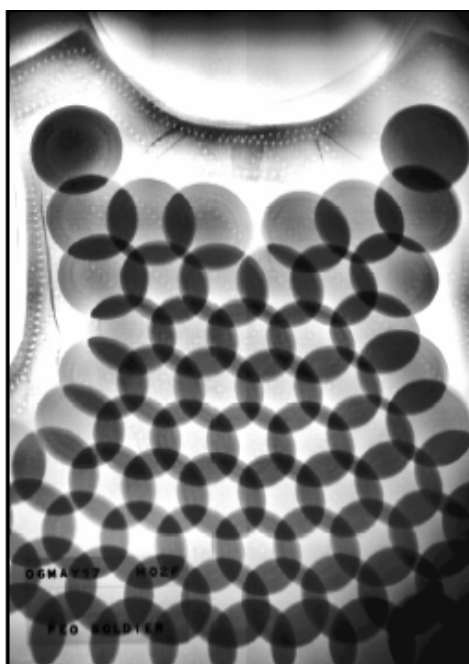
Jemná příze a jemně tkané látky jsou klíčovými faktory ve zlepšení balistických výsledků. Cena balistických vláken prudce vzrůstá spolu s poklesem velikosti příze, takže je nejasné, jak dlouho může tento trend pokračovat. Současný praktický limit velikosti vláken je 200 den a většina tkanin je omezena na hranici 400 den.

Pro výrobu jak pevných tak měkkých vesty je testováno využití třídímního tkaní s vlákny spojujícími ploché tkaniny dohromady v 3D systém. Vícevrstvé materiály navrhuje a tká společnost Team Engineering Inc. Společnost DSM, výrobce materiálu Dynama, vyvinula více účinné lamináty využívající nová, pevnější vlákna SB61 a HB51. Bylo zjištěno, že, že tyto pokročilé materiály poskytují určité zlepšení vlastností, avšak měkká vesta na bázi SB61 byla z prodeje stažena. Na akci Shot Show v roce 2008 byl předvedeny unikátní kompozity propletených ocelových plátů a měkký UHWM-PE plát od firmy TurtleSkin. Mnoho výzkumných iniciativ pracuje na kombinaci balistické plsti s obvyklejšími tkanými textiliemi a lamináty. Na vývoji těchto materiálů pracuje společnost Tex Tech, která vidí výhodu, podobně jako u 3D tkaní, v třírozměrné orientaci vláken. Tyto materiály mohou nabídnout nižší cenu balistických řešení založenou na nižší ceně vláken.

6.3 Rozvoj v keramických zbrojích

Keramické materiály, zpracování těchto materiálů a pokrok v mechanice pronikání keramikou jsou důležitými oblastmi akademických a průmyslových aktivit. Toto kombinované odvětví výzkumu keramických zbrojí je široké a nejlépe jej sumarizuje organizace The American Ceramics Society (dále jen ACS). ACS pořádá každoroční konference věnované zbrojím.

Speciální oblastí vývoje vest je výzkum využití malých keramických komponentů. Velké keramické pláty chránící celý trup jsou složité na výrobu a při používání náchylné na popraskání. Monolitické pláty mají také omezenou odolnost v případě vícenásobného zásahu v důsledku velké oblasti zlomů v dopadové zóně. Toto jsou hlavní důvody pro vývoj nových typů balistických plátů. Nové návrhy využívají dvou- a tří- prostorové uspořádání (matrice) keramických elementů, které mohou být pevně, pružně, či polopevně spojeny. Představitelem těchto systémů je Dragon Skin body armor (Obr. 24). Evropský vývoj ve sférických a hexagonálních uspořádání vyústil v produkty, které vykazují určitou ohebnost a vícezásahovou odolnost. Výroba maticových systémů, ohebných a odolných až k okrajům keramických článků, je oblastí aktivního výzkumu. Pokročilé zpracování keramických matic vyžaduje navíc pro kompletaci metody lepení. Jedním z nových přístupů ke spojení keramických matic je využití háčkových a smyčkových sponek. Pevnost spojů je důležitá pro výslednou odolnost produktu.



Obr. 24. RTG snímek Dragon Skin body armor²³

²³JawBreaker 2 Delta [online]. 2007 [cit. 2008-12-08]. Dostupný z WWW:

<http://2.bp.blogspot.com/_Bpo7wLAmswU/Rn8VU5z9bWI/AAAAAAAAAAs/dwsZFJXEhPM/s1600/Dragon%2BSkin%2BX-ray.png>.

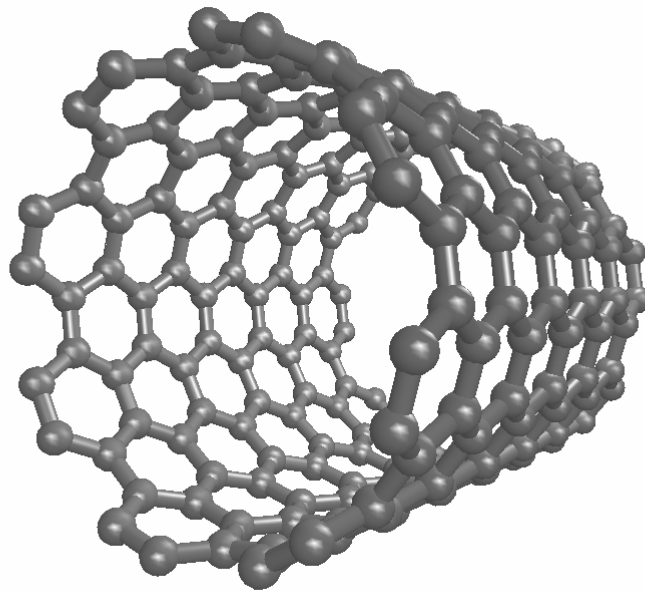
6.4 Využití nanomateriálů

Existuje mnoho metod, kterými jsou nanomateriály implementovány do produkce neprůstřelných vest. První je založena na nanočásticích uvnitř zbroje, které se stávají dostatečně pevnými na to, aby ochránily nositele teprve v momentě, kdy je překonána určitá energetická hranice. Balistické materiály obsahující nanočástice, nebo-li nano-infuzované tkaniny, byly licencovány evropským zbrojním koncernem BAE systéme, který vznikl sloučením firem British Aerospace (BAe) a Marconi Electronic. Zatím nebyl uvolněn žádný produkt na bázi této technologie.

V roce 2005 americká společnost ApNano vyvinula stále pevný stále nanokompozit, který, dle tvrzení výrobce, dokáže odolat rázům vyvolaným ocelovým projektilem o rychlosti přesahující 1 500 m/s. Materiál je také údajně schopen odolat rázovým tlakům generovaným dopady o síle více než 250 tun na centimetr čtverečný (2,5 GPa). Během testů se materiál ukázal natolik pevným, že po dopadech zůstal prakticky nepoškozen.

V polovině roku 2008 byly pro případné uvedení na trh vyvinuty neprůstřelné vesty z pavoučího hedvábí. Výroba vest z pavoučího hedvábí získaného přirozenou cestou, byť v chovných stanicích, je vysoce nákladná a neefektivní. Proto se vědci snaží napodobit pavoučí vlákno synteticky. I přes velké pokroky ve vývoji však uměle syntetizované vlákno stále nedosahuje vlastností přírodního materiálu.

Jak britská tak americká armáda vyjádřily zájem o tkaninu z vláken z uhlíkových nanotubic, která byla vyvinuta na Cambridge University, a která nabízí velký potenciál pro využití v neprůstřelných vestách. V roce 2008 začaly být společností Nanocomp vyráběny velkoformátové archy uhlíkových nanotubic. Dlouhotubicové materiály mohou najít své využití právě v pokročilých balistických zbrojích.



Obr. 25. Uhlíková nanotrubička

ZÁVĚR

Bakalářská práce vytváří ucelený přehled v problematice osobní balistické ochrany a jejím cílem je informovat a orientovat odbornou veřejnost v dané problematice a sumarizovat znalosti potřebné pro provedení praktického testu zvolené neprůstřelné vesty, jenž bych chtěl provést během následujícího studia.

Na základě zjištěných dat z policejních statistik, počet legálně držných palných zbraní každoročně roste. Z pohledu bezpečnosti ale není hrozbou ani tak množství legálně držných zbraní, které jsou registrovány a u nichž není problém dohledat majitele, ale spíše zbraně držené nelegálně, protože právě prostřednictvím nich je spáchána drtivá většina trestných činů s použitím zbraně. Nelegálně držené zbraně je velmi obtížné monitorovat a odhaleno a zadrženo je jich pouze minimální množství, často již jako důkazní materiál v rámci vyšetřování trestného činu. Problémem však nejsou pouze zbraně palné, ale vrůstající trend agresivity pachatelů násilných trestných činů vůbec a množící se případy použití různých improvizovaných chladných zbraní. Vzhledem k situaci ve společnosti a ekonomické krizi, se nedá očekávat, že by kriminalita, a především majetková trestná činnost, byly na ústupu, ba právě naopak.

Otázka zní, jak se zvyšující agresivitě bránit. Ozbrojené bezpečnostní sbory státu, zvláště Police ČR, které služební zákon přímo ukládá povinnost čelit těmto hrozbám, jsou vybaveny prostředky balistické ochrany. Na jednoho policistu v terénu však u nás teoreticky připadá přibližně 1 200 obyvatel. Stávající situace vytváří prostor pro působení soukromých bezpečnostních služeb poskytujících mimo prostředky technické ochrany také služby v podobě fyzické ochrany.

Terénní pracovníci soukromých bezpečnostních služeb však nejsou vázáni služebním zákonem a jednají, zvláště při vykonávání fyzické ochrany, na základě paragrafů 13 a 14 Trestního zákona v nutné obraně či krajní nouzi. Soukromé bezpečnostní služby se tak postupně stávají první obranou linií proti rostoucí kriminalitě a jsou vystaveny rostoucímu riziku útoku. Zákon o ochraně zdraví při práci nařizuje zaměstnavateli poskytnout zaměstnanci ochranné pomůcky proti hrozbám souvisejícím s výkonem zaměstnání. Z uvedených důvodů je proto dobré zvážit nasazení prostředků balistické ochrany také u soukromých bezpečnostních služeb, ačkoliv jejich pracovníkům zákon nenařizuje uvedená rizika snášet.

Některé, především větší, bezpečnostní agentury již prostředky balistické ochrany svých pracovníků běžně využívají, menší firmy ale důležitost balistické ochrany nadále podceňují. Častým jevem je také situace, kdy sice agentura ochranné prostředky vlastní, ale nedohlíží na jejich používání. Vesty jsou často vezeny v kufru služebního či zásahového vozidla, kde nemusí být v případě potřeby rychle dostupné. Neopomenutelný je samozřejmě výcvik. Neprůstřelná vesta, především těžší typy, je často určitým způsobem omezující a je tedy vhodné si v ní alespoň vyzkoušet činnosti spojené s výkonem konkrétního úkolu. Pro efektivní využití prostředků balistické ochrany, především neprůstřelných vest, nestačí samotné jejich používání, ale také správná údržba, skladování a pravidelná kontrola. Nesprávným skladováním, údržbou a samozřejmě v důsledku stárnutí materiálu, ztrácí vesta své ochranné vlastnosti.

I přes dynamický vývoj a nové trendy v problematice balistické ochrany, jakým je vývoj nových materiálů, nové technologie zpracování materiálů stávajících či využití nanotechnologií, jsou klasické a léty služby ověřené prostředky balistické ochrany cenově dostupné. Ačkoliv existují rizikovější oblasti, než činnost soukromých bezpečnostních služeb, riziko s ní spojené rozhodně není zanedbatelné a cena balistické ochrany je ve srovnání s cenou lidského života mizivá.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The bachelor thesis establishes a comprehensive overview of the issue of personal ballistic protection and its objective is to inform and orient the professional public in this issue and summarize the knowledge needed for the practical test of the selected body armor, which I would like to perform during my following studies.

According to police statistics, the number of legally held firearms is growing annually. From the view of security the amount of legally held weapons which are registered and their owners are easy to find is not such a threat, but the threat are illegally held weapons, because the overwhelming most of armed crimes is committed by using the illegal ones. Illegal weapons holding is very difficult to monitor and discovered and seized amount of these illegal weapons is minimal, often as evidence in the investigation of the crime. However the problem are not only firearms, but the growing aggression of offenders of violent crimes and the multiplication ratio of cases of the use of various improvised melee weapons. Regarding to the situation in society and the economic crisis the criminality and especially property criminality decreasing is not to be expected, increasing is.

The question is how to prevent the increasing aggressiveness. The armed state security forces, especially Police of Czech Republic, which the Services Law directly imposes an obligation to deal with these threats, are equipped with ballistic protection. However at one policeman in the field fall theoretically about 1 200 inhabitants. The current situation creates a space for the working of private security services which offer next to the technical protection also the services in the form of physical protection.

Field staff of private security services is not bound by Services Law and act, especially in carrying out the physical protection, on the basis of Sections 13 and 14 of the Criminal Code in the necessary defence or ultimate necessity. Private security services become a first defence line against the growing criminality and are under increasing risk of attack. The law about health at work ordering to the employer to provide protective equipment to employees, which is related to the threats of employment. For these reasons is –a good to consider using of the ballistic protection for the private security services, although the law does not direct their staff to tolerate these risks.

Some of the security agencies, especially larger, already using the ballistic protection equipment of its workers, but smaller companies still underestimate the importance of the ballistic protection. A common phenomenon is a situation when the agency owns the protective equipment, but do not supervise on its use. Vests are often carried in the trunk of service or response vehicle, where may not to be quickly available if needed. The training is obviously necessary. Body armor, particularly heavier types, is often somehow restrictive and therefore is appropriate to try it at least during training activities related to a specified task. For the effective utilization of the ballistic protection, especially bulletproof vest is not enough to wear them, but also to keep the proper maintenance, storage and periodic inspections. Improper storage, maintenance and, of course, due to the aging of material, the vest loses its protective properties.

Despite the dynamic development and new trends in the area of the ballistic protection, such as the development of new materials, new processing technologies of existing materials or use of nanotechnology, the classic and years of service certified ballistic protection equipment is affordable. Although there are more risky areas, than the activity of private security services, the associated risk is not negligible and the price of the ballistic protection as compared to the price of human life is infinitely low.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HRAZDÍRA, Ivo, KOVÁRNÍK, Libor, NOVOTNÝ, František. Použití zbraně a zákon. 1. vyd. Praha : Eurounion, 2000. 412 s. ISBN 80-85858-83-5.
- [2] ZEMAN, Petr. Česká bezpečnostní terminologie. Brno : Masarykova univerzita-Vydavatelství, 2002. 186 s. ISBN 80-210-3037-2.
- [3] ČERNÝ, Josef. Evropský výcvikový modul pro základní ostrahu. Zlín : UTB, 2003. 152 s. ISBN 80-7318-107-X.
- [4] BRABEC, František, et al. Bezpečnost pro firmu, úřad, občana. Praha : Public History, 2001. 400 s. ISBN 80-86445-04-06.
- [5] VALENDIN, Miroslav. Mechanika I : Dynamika. 1. vyd. Zlín : UTB, 2007. 153 s. ISBN 80-7318-154-1.
- [6] Kevlar : aramid fiber. USA : [s.n.], [2000]. 32 s.
- [7] ČERNÝ, Pavel. Balistická ochrana. Střelecká revue. 26.11.2008, roč. 40, č. 12, s. 43-55. ISSN 0322-7650.
- [8] ARNDT, Rob. *Japanese Strange Vehicles : JAPANESE MOBILE TROOP ARMOR AND BODY ARMOR (1937-1945)* [online]. 2008 [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://japan.greyfalcon.us/Armor.htm>>.
- [9] *VietnamGear.com* [online]. 2006 [cit. 2008-11-01]. Text v angličtině. Dostupný z WWW: <<http://www.vietnamgear.com/Article.aspx?Art=91>>.
- [10] MAREK, Vladimír. Čtyřnohá elitní jednotka. *Naše vojsko*. 2008, roč. 4, č. 3, s. 7-9. ISSN 0027-8211.
- [11] *Petris* [online]. c2001 [cit. 2009-02-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.petris.cz/katalog.php3?kat=1&podkat=7>>.
- [12] *Major Glove* [online]. c2003 [cit. 2008-11-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.ssgloves.com/html/techinfo-no04.html>>.
- [13] ČSN 39 5360 *Zkoušky odolnosti proti střelám. střepinám a bodným zbraním : Technické požadavky a zkoušky*. Praha : Český normalizační institut, 1995. 3 sv. (16, 2, 2 s.).

[13] *NIJ Standard-0101.04 : Ballistic Resistance of Personal Body Armor*. Acting Director Julie E. Samuels. Washington (DC) : 2000. 67 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ACP	Automatic Colt Pistol – označení náboje pro poloautomatické pistole.
AP	Armor-Piercing – označení průbojných střel
Aramid	Aromatický polyamid
BS	British Standards – Britský standard – označení britských norem
CP	Celoplášťová střela
ČSN	Chráněné označení českých technických norem
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V. – Německý ústav pro průmyslovou normalizaci
Fej	Střela s ocelovým jádrem
FMJ	Full Metal Jacket – označení celoplášťové střely
FN	Fabrique Nationale – belgická zbrojovka
HPPE	High-performance polyethylene
IBA	Interceptor Body Armor – osobní zbroj Interceptor
JSP	Jacketed Soft Point – označení poloplášťových střel
KK	Střela ve tvaru komolého kužele
LRHV	Long Rifle High Velocity – označení vysokorychlostních olověných střel pro malorážové pušky
MP	Maschinenpistole – německé označení pro samopal
NIJ	National Institute of Justice – Úřad pro výzkum, vývoj a vyhodnocení Ministerstva spravedlnosti Spojených států amerických
O	Ogivální střela
PASGT	Personal Armor System for Ground Troops – systém osobní zbroje pro pozemní jednotky
Pbj	Střela s olověným jádrem
PE	Polyethylen

PPTA	Para-phenylen diamin
RBA	Ranger Body Armor – osobní zbroj Ranger
RN	Round Nose – označení pro ogivální střelu
S&W	Smith & Wesson – americká zbrojovka
SAPI	Small Arms Protective Insert – ochranná vložka proti malým zbraním
SBS	Soukromá bezpečnostní služba
SWC	SemiWadCutter – označení střel s prosekávací hranou a plochou špičkou
TBO	Třída balistické odolnosti
UHMV-PE	Ultra high molecular weight polyethylene – polyethylen s ultravysokou molekulovou hmotností
UV	Ultraviolet – označení ultrafialového záření
VIP	Very important people – důležité osoby

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Korejská bavlněná zbroj	12
Obr. 2. Dobová kresba zbroje Neda Kellyho	13
Obr. 3. Flack jackets	15
Obr. 4. Japonská zbroj Typ III	16
Obr. 5. Stalynoi Nagrudnik SN-42.....	17
Obr. 6. T65-2 Chicken plate	19
Obr. 7. Ranger Body Armor.....	21
Obr. 8. Interceptor Body Armor.....	22
Obr. 9. Zbroj pro služební psy	24
Obr. 10. Deformace projektilu při zásahu překážky	25
Obr. 11. Zapouzdření balistického materiálu.....	28
Obr. 12. Molekulový řetězec Kevlaru.....	30
Obr. 13. Vodíkové můstky mezi molekulovými řetězci Kevlaru	31
Obr. 14. Chemická syntéza Kevlaru z para-phenylendiaminu a terephthaloyl chloridu.....	32
Obr. 15. Zjednodušené schéma výroby vlákna Kevlaru	33
Obr. 16. Polyethylenový řetězec	35
Obr. 17. Výroba Dyneemy	36
Obr. 18. Polyethylenový vosk.....	37
Obr. 19. Srovnání struktury Dyneemy (vlevo) a Kevlaru (vpravo)	40
Obr. 20. Srovnání zastavovacích účinků aramidů (Kevlaru) a Dyneemy.....	41
Obr. 21. Rozmístění zkušební sestavy	45
Obr. 22. Rozložení testovacích zásahů	46
Obr. 23. ČSN 39 5360 – rozmístění zásahů.....	49
Obr. 24. RTG snímek Dragon Skin body armor	53
Obr. 25. Uhlíková nanotrubička.....	55

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Srovnání vybraných fyzikálních a mechanických vlastností zvolených balistických materiálů.....	38
Tab. 2. Obecné srovnání Kevlaru a Dyneemy	39
Tab. 3. Přehled tříd balistické odolnosti dle NIJ 0101.04.....	44
Tab. 4. Přehled tříd balistické odolnosti dle ČSN 39 5360.....	47