

Materiály použitelné pro výrobu balistických vest

Josef Linhart

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef Linhart**
Osobní číslo: **A11034**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Materiály použitelné pro výrobu balistických vest**
Téma anglicky: **Materials Useful for Ballistic Vests Production**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu používaných soudobých balistických materiálů v osobní balistické ochraně.
2. Používané soudobé balistické materiály rozřídte do skupin a podrobně popište.
3. Zjistěte, jaké typy balistických vest využívají pracovníci průmyslu komerční bezpečnosti.
4. Naznačte směr možného vývoje v dané oblasti.
5. V práci uplatněte dostatečné množství ilustračního materiálu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. LUKÁŠ, Luděk (ed.). Bezpečnostní technologie, systémy a management I. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2011, 316 s. ISBN 978-80-87500-05-7.
2. LUKÁŠ, Luděk (ed.). Bezpečnostní technologie, systémy a management II. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2012, 387 s. ISBN 978-80-87500-19-4.
3. LUKÁŠ, Luděk (ed.). Bezpečnostní technologie, systémy a management III. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2013, 456 s. ISBN 978-80-87500-35-4.
4. JURÍČEK, Ludvík a Zdeněk MALÁNÍK. Speciální tělesná příprava 3: Ranivá balistika a její aplikace. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 165 s. ISBN 978-80-7454-419-4. Vydáno elektronicky.
5. JANKOVÝCH, Róbert. Hlavnové zbraně a střelivo [online]. 1. vyd. Brno, 2012 [cit. 2012-11-22]. ISBN 978-80-260-2384-5. Dostupné z: www.vutbr.cz

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Gracla

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

23. února 2016

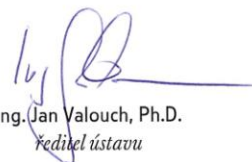
Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2016

Ve Zlíně dne 16. února 2016



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/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 diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- 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 – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se bude zabývat materiály využívaných pro osobní balistickou ochranu. Na základě toho budou popsány v současnosti používané balistické materiály. Jednotlivé z nich budou rozděleny, seřazeny podle struktur a podrobně popsány (historie, použití a směr vývoje). Cílem BP je analyzovat možný vývoj balistických materiálů pro osobní ochranu.

Klíčová slova: balistická vesta, balistické materiály, osobní ochrana

ABSTRACT

Bachelor thesis will deal with materials used for personal ballistic protection. On this basis there will be described presently used ballistic materials. Each of them will be divided, sorted according to structure and described in detail (history, use and development direction). The aim of this BT is analyzing possible development of ballistic materials for personal protection.

Keywords: ballistic vest, ballistic materials, personal protection

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce, panu Ing. Michalu Graclovi za ochotu a vynaložený čas při vzniku práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a všem blízkým, kteří při mně stáli během studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 ÚVOD DO BALISTICKÝCH VEST.....	11
1.1 HISTORIE BALISTICKÝCH VEST	11
1.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ VEST.....	13
2 MATERIÁLY POUŽITELNÉ PRO VÝROBU BALISTICKÝCH VEST.....	15
2.1 MĚKKÉ MATERIÁLY	15
2.1.1 Aramidy.....	15
2.1.1.1 KEVLAR	16
2.1.1.2 TWARON.....	18
2.1.1.3 NOMEX.....	19
2.1.1.4 ARTEC	19
2.1.2 Polyethylenová vlákna	20
2.1.2.1 Dyneema	20
2.1.2.2 Spectra	22
2.1.3 Polypropylenová vlákna.....	22
2.1.3.1 Innegra S	22
2.1.4 Skelná vlákna	23
2.1.5 Uhlíková vlákna	25
2.1.6 Zylon	26
2.2 TVRDÉ MATERIÁLY	27
2.2.1 Ocelové pancíře.....	27
2.2.2 Pancíře ze slitin hliníku a titanu	28
2.2.3 Nekovové Pancíře	29
3 DALŠÍ SOUČÁSTI BALISTICKÝCH VEST.....	31
3.1 ANTIŠOKOVÁ VRSTVA	31
3.2 OCHRANA PROTI BODNÝM A SEČNÝM ZBRANÍM	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
4 VÝROBA VESTY	34
5 TYPY BALISTICKÝCH VEST POUŽÍVANÝCH PRACOVNÍKY PRŮMYSLU KOMERČNÍ BEZBEČNOSTI.....	36
5.1 BALISTICKÉ VESTY PRO SKRYTÉ NOŠENÍ	36
5.2 BALISTICKÉ VESTY PRO ZJEVNÉ NOŠENÍ	36
5.3 PŘÍKLADY TYPŮ VEST PRO RŮZNÉ ÚČELY POUŽITÍ.....	37
5.3.1 Vesta DIPLOMAT	37
5.3.2 Vesta Premier	38
5.3.3 Vesty Bankovní.....	38
5.3.4 Vesta XENA.....	39
5.3.5 Vesta CITYPOL.....	40
5.4 DRAGON SKIN	40
6 SMĚR VÝVOJE MATERIÁLŮ PRO BALISTICKÉ VESTY	43

6.1	UHLÍKOVÉ NANOTRUBICE	43
6.2	GRAFEN.....	44
6.3	TEKUTÝ PANCÍŘ	45
6.4	PAVOUČÍ VLÁKNA	47
ZÁVĚR		48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		49
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		53
SEZNAM OBRÁZKŮ		54
SEZNAM TABULEK.....		56

ÚVOD

Od nástupu prvních střelných zbraní se všechny konflikty změnilly. Dlouhou dobu proti nim ale nebyla účinná ochrana. To platilo pouze do chvíle prvních pokusů vyrobit balistickou vestu s dostatečnou ochranou proti projektilům. Prvotní opravdové náznaky přišly v období první světové války, avšak největší rozmach se dostavil až s prvními super silnými textilními vlákny. Nejvýznamnějším z nich se stal kevlar, který odstartoval masovou výrobu balistických vest. Nejdříve se ve velkém počtu začaly používat kevlarové balistické vesty u armádních složek a policie, ale po nějakém čase si našly cestu i k soukromým bezpečnostním službám. Ve velké míře tyto vesty využívají strážníci ve věznicích, justiční stráž, zásahové jednotky soukromých bezpečnostních agentur nebo také přepravci peněz a cenin.

Od svého nasazení tyto vesty velkou měrou snížily následky zranění způsobené střelnými zbraněmi a zachránily mnoho lidských životů.

Je ovšem potřeba říct, že dokonalá balistická ochrana neexistuje. Především proti sečným a bodným zbraním většina vest nechrání svého nositele dostatečně. Nicméně s příchodem lepších a odolnějších materiálů se kvalita ochrany neustále zvyšuje a naopak ceny těchto produktů se ustavičně pomalu snižují. Dnes si může balistickou vestu koupit každý, kdo ji z nějakého důvodu potřebuje. Navíc v současnosti už nelze u některých typů vůbec rozzeznat, že ji má dotyčný majitel na sobě, a přitom tyto vesty poskytují dobrou ochranu proti malým střelným zbraním.

V této práci se budu zabývat jednotlivými druhy balistických materiálů, jejich popisem, zjednodušenou výrobou a použitím.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ÚVOD DO BALISTICKÝCH VEST

Balistická vesta je bezpečnostní prvek osobní ochrany především proti střelným zbraním. Tyto vesty využívají složky armády, policie, a dále soukromé bezpečnostní služby. Od vězeňské služby, přes justiční strážce až po přepravu peněz a cenin je vhodný jiný druh balistické vesty.

1.1 Historie balistických vest

Samotné použití různých typů balistických vest jde do velmi vzdálené historie, kdy se potřebovali lidé chránit. To začíná už od ochrany proti šípům ve starověku a středověku pomocí štítů, kroužkových košil, plátových zbrojí a kyrysů.

Od vynálezu palných střelných zbraní bylo potřeba najít jiné možnosti ochrany, protože kov, aby dostatečně chránil, je moc těžký a příliš by omezoval pohyb vojáka.

Historie moderních vest sahá do první světové války, kdy se experimentovalo s plátovými brněními pro piloty letadel z důvodu neexistujícího pancéřování tehdejších letadel. I pozemní jednotky zkoušely podobné typy brnění. Nakonec se tento typ brnění nedostal ani do jedné složky armády pro velké snížení pohyblivosti vojáka nebo letce.



Obrázek 1 Německé balistické vesty v první světové válce [4]

Za druhé světové války se objevili první předchůdci neprůstřelných vest u posádek bombardérů B-17. Nazývali se flack jacket, speciální proti-střepinová vesta. Ta chránila posádku proti střepinám z vybuchujících granátů protivzdušné obrany. Tyto vesty se skládaly z nově vynalezeného materiálu zvaného nylon a kovových destiček. Díky kovovým destičkám byly sice vesty těžké a ještě nedokonalé, nicméně bylo jejich nasazení hodnoceno kladně a naznačilo to možný směr vývoje v této oblasti.



Obrázek 2 Flack Jacket v bombardérech
B-17 [5]

Další rozvoj vest probíhal během války ve Vietnamu, kde se pokračovalo ve využívání nylonu a k jeho postupnému modifikování. V této válce se vesty pomalu stávaly běžnou součástí pozemních jednotek. Tyto vesty měly za úkol ochránit nositele hlavně proti střepinám, které pro něj představovaly největší nebezpečí. V průběhu války se začaly objevovat i vesty s přídatnými kovovými destičkami z ocelových nebo lehkých slitin. V některých případech byl panel přímo zabudován do nylonové vesty. Tato varianta nebyla moc přijímána z důvodu snížení pohyblivosti vojáka a nepříliš dobré ochraně. V průběhu času byl jednotný plát rozdělen na menší části. [1,2,3]

Novodobé balistické vesty přišly až s nástupem kevlaru a jemu podobných materiálů v kombinaci s pevnými materiály.

1.2 Základní rozdělení vest

Vesty se dělí podle třídy balistické odolnosti. Ty jsou dané normami. V USA to jsou normy NIJ STD 0101.04 I,II,III a IV a v České Republice ČSN 39 5360. V ČR jsou tyto normy doloženy Státní zkušebnou zbraní a střeliva v Praze a Vojenským technickým ústavem výzbroje a munice ve Slavičíně. Tyto třídy se dělí podle ráže střely, typu střely a rychlosti střely po výstřelu.

TBO	Ráže	Střela	Rychlost střely v m/s	Hmotnost střely v g
1	.22 LR	Pb/O	300±10	2,6
2	9 mm Luger	CP/Pbj./O	410±10	8
2 CZ	7,62x25	CP/Pbj./O	470±10	5,5
3	.357 Magnum	CP/Pbj./KK	430±10	10,2
3 CZ	7,62x25	CP/Fej./O	440±10	6,45
4	.44 Magnum	CP/Pbj./KK	440±10	15,6
4 CZ	7,62x25	CP/Fej./O	550±10	5,5
5	.23 Rem	CP/Pbj.	920±10	4
5 CZ	7,62x39	CP/Fej.	710±10	8
6	7,62x51	CP/Pbj.	830±10	9,5
6 CZ	.223 Rem	CP/Fej.	950±10	3,95
7	7,62x51	CP/Fej.	820±10	9,8
7 CZ	7,62x54 R	CP/Fej.	860±10	9,75
Vysvětlivky	TBO – Třída balistické odolnosti, CP - Celoplášť, Fej – ocelové jádro, Pbj. – olovené jádro, O – ogivál, KK – komolý kužel			

Tabulka 1 Třídy balistické odolnosti podle ČSN 39 5360 [6]

Třída	Podtřída	Střela	Váha střely v m/s	Rychlost střely v m/s
I	1	.22 LR LRN	2,6	329
	2	380 ACP FMJ RN	6,2	322
II-A	1	9 mm FMJ	8,0	341
	2	40 S&W FMJ	11,7	322
II	1	9 mm FMJ RN	8,0	367
	2	357 Mag JSP	10,2	436
III-A	1	9 mm FMJ RN	8,2	436
	2	44 Mag SJHP	15,6	436
III	1	7,62 mm NATO FMJ	9,6	847
IV	1	30 kalibr M2 AP	10,8	878

Tabulka 2 Třídy balistické odolnosti podle NIJ STD 0101.04 [6]

Díky této normě se určuje, z jaké vhodné kombinace materiálů bude vesta udělána. U některých ráží, především pistolových, jsou vesty vyrobeny z vrstvené měkké látky, kde je rychlost střely relativně malá. Naopak u ráží pro dlouhé pušky je rychlost i průrazná síla mnohem vyšší. V takovém případě se měkké látkové materiály kombinují s pevnými des-

kami ze slitin kovů, laminátů či různých kompozitních materiálů složených z více materiálů.

Hlavním rozdílem látkových vest vyrobených například z kevlaru a jemu podobných materiálů je absorpce a rozložení energie střely do vesty a jejímu průhybu. Nejčastěji se výrobci řídí americkou normou NIJ STD 0101.04, jako mezinárodně uznávanou. Tento standard dovoluje maximální hodnotu trauma efektu v maximální výši 44 mm bez rozdílu použití skryté nebo neskryté vesty. V této normě není definována hodnota objemu vtisku v plastelinovém bloku.

Naopak český standard je z hlediska balistické ochrany mnohem přísnější na splnění požadovaných parametrů. Pro splnění standardu je dovolena maximální hodnota trauma efektu ve výši 25 mm bez rozdílu použití skrytě nebo neskrytě nošené vesty. Na rozdíl od americké normy je zde kladen požadavek na maximální objem vzniklého vtisku, a to o hodnotě 8 mm. Při tomto objemu činí maximální tloušťka traumatu asi 2 mm.

U pevných materiálů dochází při nárazu střely do ochranné desky k její deformaci a absorpci její energie do materiálu. Tím zamezí průniku střely do těla. Nejčastěji se pevné pláty používají v kombinaci s látkovými absorpčními vestami. [3,6]

2 MATERIÁLY POUŽITELNÉ PRO VÝROBU BALISTICKÝCH VEST

V této kapitole budou rozebrány jednotlivé typy materiálů, ze kterých jsou balistické vesty vyrobeny. První kapitola se zaměří na měkké materiály, jako kevlar a v druhé kapitole na tvrdé materiály jako keramika, slitiny kovů a jiné materiály.

2.1 Měkké materiály

Prvním materiálem, který se začal používat u balistických vest, byl nylon. S nástupem kevlaru však došlo k velkému zlepšení balistických vest a jejich většímu rozmachu. [7,8,9,12]

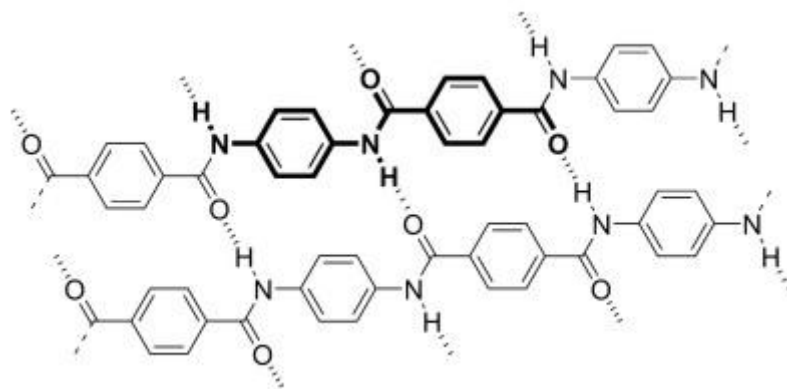
Dnes se měkká vlákna dělí na:

- **Aramidy**
- **Polyethylenová vlákna**
- **Polypropylenová vlákna**
- **Uhlíková vlákna**
- **Skelná vlákna**
- **Zylon**

2.1.1 Aramidy

Jedná se o materiály, které jsou vyrobeny z aromatických polyamidů. Všechna tato vlákna jsou definována jako dlouhý řetězec uhlovodíků složených alespoň z 85% peptidických vazeb, které spojují dvě aromatická jádra. Do této kategorie patří materiály jako Kevlar, Nomex, Twaron. [13]

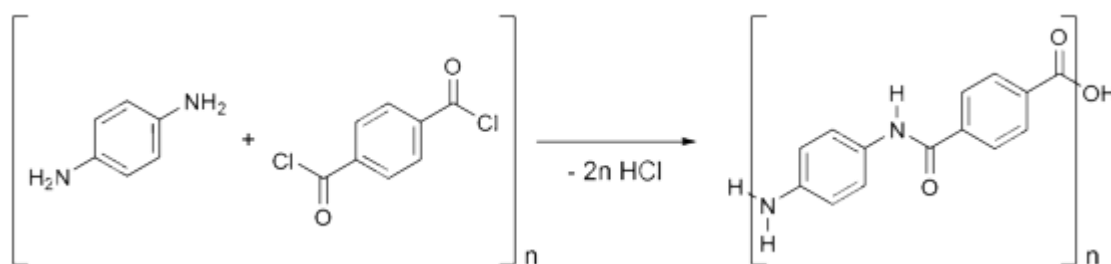
2.1.1.1 KEVLAR



Obrázek 3 Chemická struktura kevlaru [13]

Je to materiál vyvinutý v roce 1971 firmou DuPont. Byl zamýšlen jako náhrada oceli ve výtuhách pneumatik. Krátce nato se jejich využitelnost rozšířila u letounů, částí brzd, raketoplánů, sportovního vybavení, a také u ochranných vest.

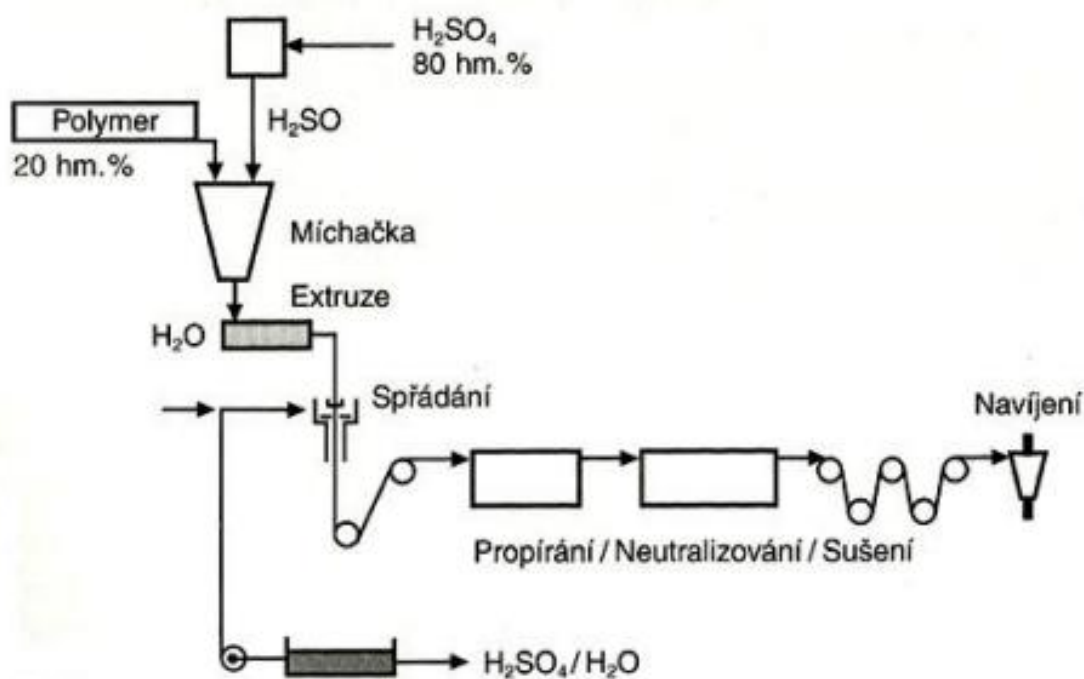
Tato organická vlákna se vyrábějí navíjením pevného vlákna z kapalného roztoku díky přidání iontové složky reakční směsi (chlorid vápenatý), která na sebe váže vodíkové můstky amidové skupiny s volbou organického rozpouštědla (N-methylpyrrolidon). Jinak řečeno je kevlar syntézou monomeru 1,4 phenylene-diamine (para-phenylenediaminu) a terephthaloyl chloridu, kde při kondenzační reakci vzniká kyselina chlorovodíková jako vedlejší produkt. Díky tomu vznikne materiál, který se chová jako tekutý krystal, jehož řetězce jsou orientované ve směru vlákna.



Obrázek 4 Chemická syntéza do kevlaru [13]

Dříve se při výrobě používal polymerizační roztok Hexamethylphosphoramid (HMPA), jenže byl po toxikologických testech zakázán kvůli přítomnosti karcinogenních látek. Byl proto nahrazen N-methyl-pyrrolidinem a roztokem chloridu vápenatého. I přesto je výroba kevlarového vlákna nákladná, protože je pro výrobu vodou nerozpustného polymeru v roztoku v průběhu syntézy a soukání potřeba použít kyselinu sírovou.

Mezi výhody kevlarového vlákna patří jeho nevodivost, odolnost vůči odření, teplu a organickým rozpouštědly, špatně se zapaluje, má velmi vysokou pevnost a pružnost, a je bez teploty tání. Mezi jejich nevýhody patří citlivost na ultrafialové záření, vlhkost a salinitu, a také špatně se barví.



Obrázek 5 Postup výroby aramidových vláken [12]

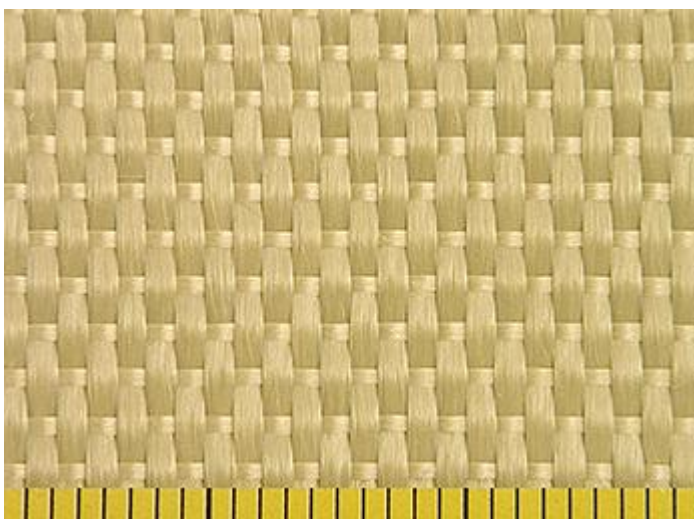
Po výrobě a stočení vznikne vlákno s vysokou pevností v tahu kolem 3000 MPa s hustotou 1,44 g/cm³, které nekoroduje a má velmi vysokou odolnost vůči vysokým i nízkým teplotám. S těmito vlastnostmi je kevlar až 5 krát pevnější v tahu než ocel při stejné váze, a je také oproti oceli velmi flexibilní. [13]

Kevlar se dělí na tři základní typy, kdy každý z nich má jiné pole působení:

- Kevlar – výztuhy pneumatik a jiné aplikace u gumárenských výrobků.
- Kevlar 29 – do této skupiny patří kabely, náhrady azbestu, brzdící šňůry a ochranné prvky oděvů.
- Kevlar 49 – vyznačuje se největší pevností v tahu, a proto je využívám jako plastické zpevnění trupů lodí, letadel a kol.

Stupeň	Hustota g/cm ³	Modul tažnosti GPa	Modul pevnosti GPa	Tažnost %
29	1,44	83	3,6	4,0
49	1,44	131	3,6-4,1	2,8
149	1,47	186	3,4	2,0

Tabulka 3 Vlastnosti různých druhů kevlaru [13]

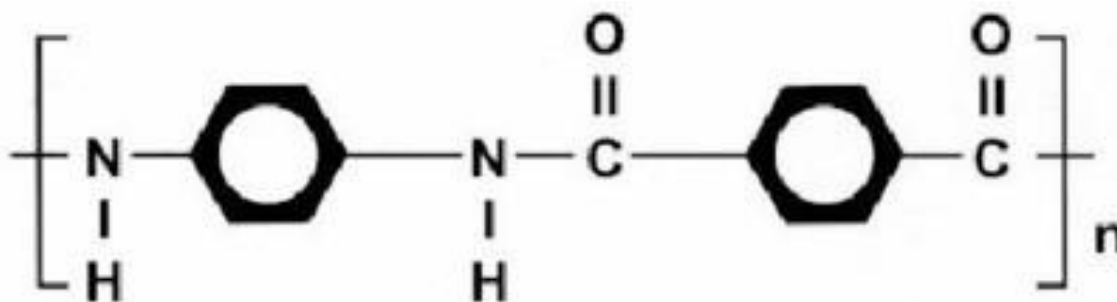


Obrázek 6 Spletená látka z kevlaru [14]

2.1.1.2 *TWARON*

Je to velmi pevný a lehký materiál vyvinutý a vyráběný japonskou firmou Teijin Aramid od roku 1986 z para-aramidového vlákna. Stejně jako kevlar je navíjený z kapalného roztoku, a je používán v mnoha aplikacích pro svou velkou odolnost a snadnou recyklaci.

Twaron nabízí vysokou pevnost (až 5x větší než ocel), malé riziko únavy materiálu, nízkou ztrátu pevnosti při ohybu, tlaku i abrazi, prostorovou stabilitu, nevodivost, a také velmi dobrou odolnost vůči vysokým teplotám.

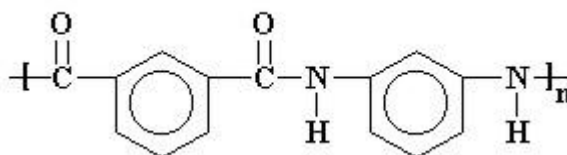


Obrázek 7 Chemická struktura Twaronu [13]

Samotná vlákna z Twaronu se skládají z dlouhých molekulových řetězců složených z poly-paraphenylene terephthalamide, kde jsou přítomny meziretězcové vazby. To dělá materiál velmi pevným. Částečně je to dáno i vodíkovými vazbami mezi karbonylovými skupinami a protony na sousedních polymerových řetězcích, a také mezi vazbami samotných vláken.[13,15]

2.1.1.3 NOMEX

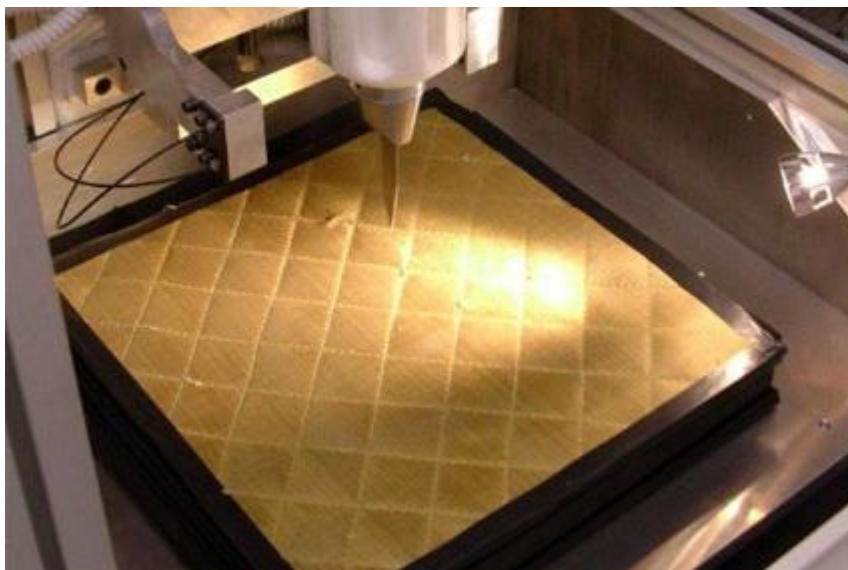
Je to vlákno vyrobené z ohnivzdorného meta-aramidu firmou DuPont v 60. letech 20. století. Jde o aromatickou, meta variantu para-aramidu Kevlaru. Tento materiál je vysoce odolný vůči velmi vysokým teplotám, ale nabízí nižší pevnost než para-aramidová vlákna, která je ale pořád 3x vyšší než u bavlny. Díky těmto vlastnostem se výborně hodí pro hasiče, armádu i policii. [13]



Obrázek 8 Chemická struktura Nomexu [13]

2.1.1.4 ARTEC

Je to vlákno, které vyvinuli ruští techniky s pomocí evropských společností v roce 2000. Hlavním evropským výrobcem je firma Pro-Systems. Jde o para-aramidové vlákno, které vyniká komplexním molekulárním řetězcem za použití speciální chemické složky. Částečně své vlastnosti získal i tepelným zpracováním po předení. Vlákno se vyznačuje vysokým modulem pružnosti, kohezní pevností, odolností proti teplu a ohni, odolností vůči chemickým látkám, odolností proti řezání, nízkou absorpcí vlhka, nízkou elektrickou vodivostí, rozměrovou stabilitou a skvělým chováním při použití v kompozitních materiálech. [16]



Obrázek 9 Látka z ARTEC vlákn [16]

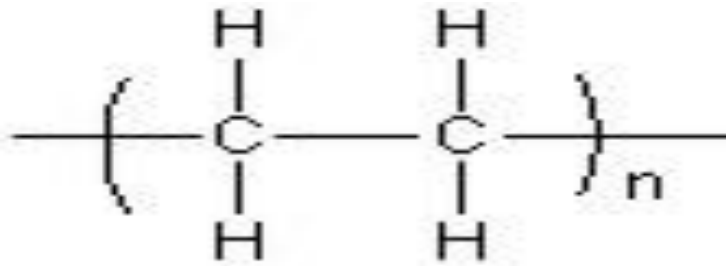
2.1.2 Polyethylenová vlákna

Jedná se o vlákna s velmi vysokým modulem pružnosti (High Modulus Polyethylene Fibres – HMPE). Jsou vyrobená z polyethylenu s vysokou molekulární hmotností řetězce (2-6 milionů) spojeného s ostatními Van der Waalsovými vazbami. Mezi tato vlákna patří Dyneema, Spectra a další. [8,13]

2.1.2.1 Dyneema

Jedná se o super-pevné polyethylenové vlákno (vyvinuté v roce 1979 firmou DSM). Vlákno disponuje až desetinásobnou pevností oproti oceli. Vyniká svým specifickým modulem, je odolné vůči korozi, chemikáliím, kyselinám, má vysokou odolnost proti nárazu, která je nejvyšší proti všem termoplastům. Pro balistické vesty vyniká i vysokou energetickou absorpcí, která snižuje následný trauma efekt po nárazu kulky na vestu.

Vlákno Dyneemy se vyrábí syntézou monomerů etylenu, jejichž spojováním vzniká ultra-vysoce-molekulární polyethylen (UHMWPE). Molekuly v materiálu jsou vysoce orientované, více než u klasických polyethylenů. UHMWPE se vyrábí čtyřmi metodami, kdy nás zajímá jen metoda gelového spřádání, která je určena pro různé šňůry a hlavně brnění.

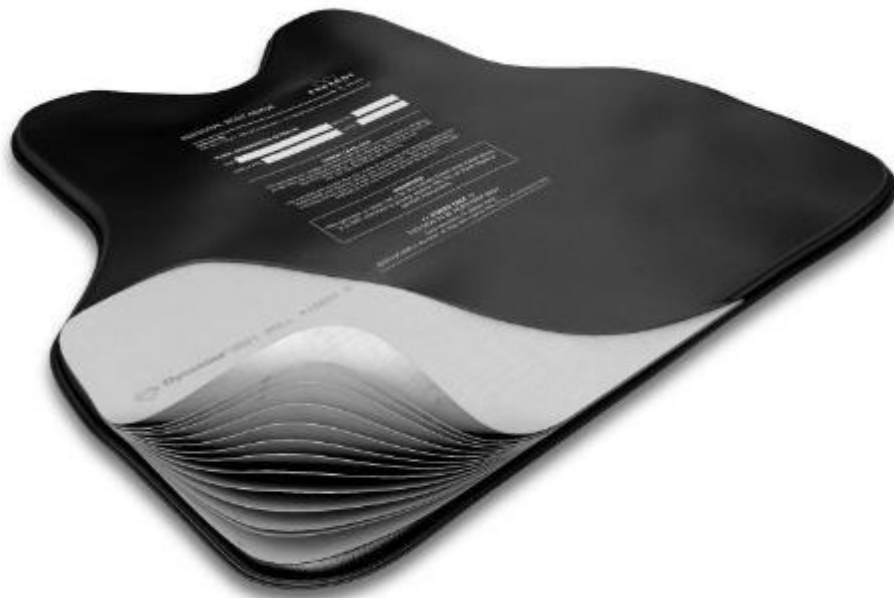


Obrázek 10 Chemické složení Dyneema vlákna [13]

Gelové spřádání je zpracování přesně zahřátého gelu UHMWPE přes extruder na spřádací zařízení. Tento extrudát je vytahován vzduchem a ochlazován ve vodní lázni. Díky této výrobě vzniká vlákno s vysokým stupněm molekulární orientace, která mu propůjčuje vysokou pevnost v tahu.

Nejčastější způsob výroby vlákna Dyneema je gelové spřádání, kdy vznikají syntetická vlákna s pevností až 2,4GPa a hustotou pouze 0,97 kg/l. Pro příklad vysoko-pevnostní ocel má srovnatelnou pevnost v tahu, ale hustotu má 7,8 kg/l. To znamená, že je poměrná hustota u tohoto vlákna vyšší 10 až stokrát. Dále poměr pevnosti k hmotnosti je u Dyneema vlákna vyšší o 40 procent než u aramidových vláken.

Jedinou nevýhodou Dyneema vlákna je jeho nízká odolnost vůči teplotám, kdy při delším vystavení 80-100°C může dojít k degradaci. Navíc bod tání je už mezi 144-152 °C. Z tohoto důvodu se vlákna Dyneemy kombinují s Aramidovými vlákny (například Kevlar), kdy vzniká unikátní kombinace dobré tepelné odolnosti Aramidu a nízké měrné hmotnosti a vysoké pevnosti Dyneemy. Díky tomu jde o velice komfortní systém s velice dobrou balistickou ochranou s nízkou hodnotou trauma efektu. [13]



Obrázek 11 Dyneema balistická vložka [17]

2.1.2.2 Spectra

Jedná se o polyethylenové vlákno s velmi vysokou pevností uvedené firmou Honeywell v USA v 80 letech 20. století. Jedná se o vlákno vyráběné gelovým zvlákněním, které je téměř stejné jako u Dyneemy. Stejně jako Dynnema vyniká vysokou tuhostí, vysokou elasticitou, odolností proti chemickým látkám, vodě a ultrafialovému světlu. Navíc tlumí chvění, na vodě oproti oceli plave, a díky nízké permitivitě vláken je nezachytitelné radarem. Stejně jako Dyneema má oproti Aramidovým vláknům mnohem nižší teplotu tání (okolo 150 °C). Oproti aramidovým vláknům však disponuje nízkou absorpcí vlhkosti. [13,18,19]

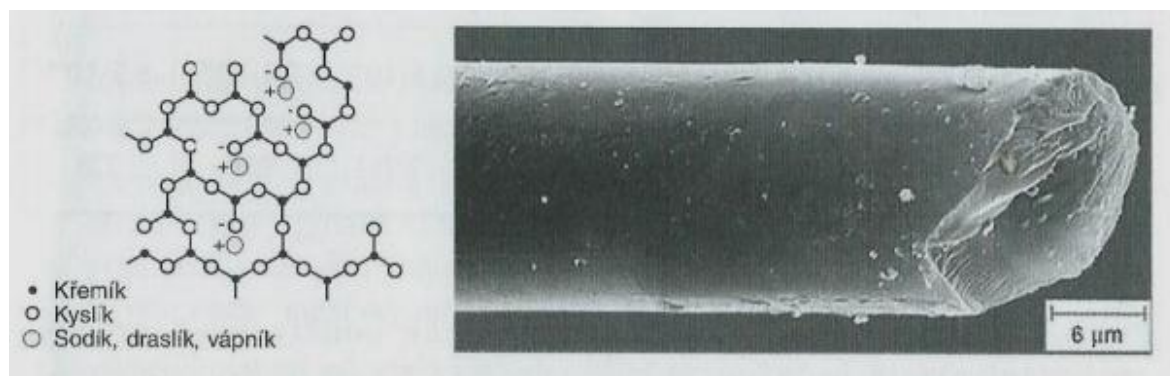
2.1.3 Polypropylenová vlákna

2.1.3.1 Innegra S

Pochází od společnosti Innegritty, LLC. Vlákno je tvořeno vysoce orientovaným polypropylenem. Stejně jako polyethylenová vlákna disponuje nízkým bodem tání (asi 150°C). Má velmi dobré dielektrické vlastnosti, odolnost vůči biologickým a chemickým materiálům. Nejčastěji se toto vlákno kombinuje s aramidovými, skelnými a uhlíkovými tkaninami. [19]

2.1.4 Skelná vlákna

Jedná se o textilní skleněná vlákna (GF – Glass Fiber), což je společný název pro vlákna s průměrem od 3,5 do 24 μm s pravidelným kruhovým průřezem. Tato vlákna jsou tažena z roztavené skloviny a následně používána pro textilní účely.



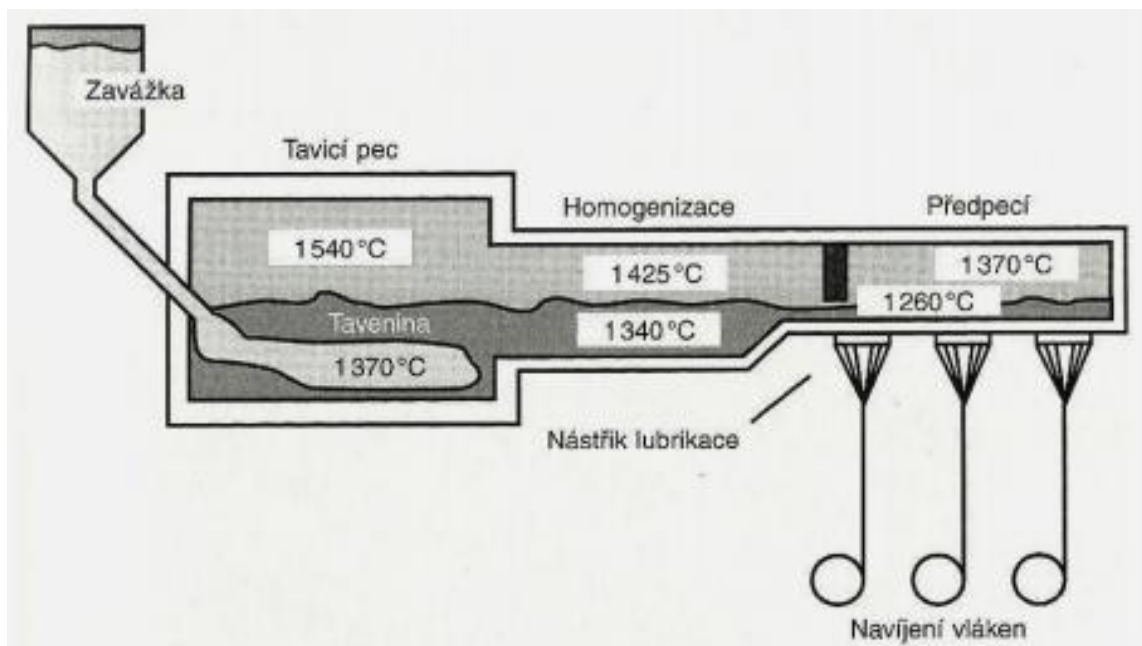
Obrázek 12 Chemické složení vlákna s mikroskopickým detailem [12]

Skelná vlákna vyrobená z bezalkalické skloviny jsou výborným elektrickým izolantem. Zároveň mají vysokou propustnost vůči záření. Tato vlákna se označují jako E-vlákna s E-sklovinou. Tento typ skleněného vlákna je nejčastěji používaným (asi 90% obsazeného trhu).

Dalším druhem skelného vlákna je vlákno s vyšším obsahem SiO_2 , MgO a Al_2O_3 , které má vyšší pevnost (od 40 do 70%). V USA to je S-sklovina (S-strength), v Evropě R-sklovina (R-rezistence), a v Japonsku T-sklovina.

Další druh skelného vlákna je vysoce odolný vůči kyselinám a jiným chemicky agresivním látkám. Nazývá se C-sklovina. ECR-sklovina je pevná a chemicky odolná bezboritá sklovina. Tato sklovina má vyšší dielektrickou konstantu (7,0) než E-skloviny s borem (5,9-6,6).

Tato vlákna se vyrábějí tažením z trysek. V první fázi je ve sklářské peci ze žáruvzdorné keramiky při teplotě 1400°C roztaven křemičitý písek, vápenec, kaolin, dolomit, kyselina boritá a kazivec. Z kombinace těchto prvků vznikne E-sklovina, která se několik dní čirí, a potom je v tekutém stavu vedena kanálky předpecí do spřádacích trysek. Aby z 200 až 4000 trysek pomalu vytékala a rychle tuhla vlákna, musí být tyto trysky zahřáté na určitou teplotu.



Obrázek 13 Postup výroby skelného vlákna [12]

Skelná vlákna jsou dále odolná vůči ohni (bod tání nad 1000°C), kdy dlouhodobě snáší i teploty do 450°C. Jejich nevýhodou je snižující se pevnost vláken při působení vlhkosti a nízká odolnost při trvalém namáhání. I pevnost při oděru je nízká.

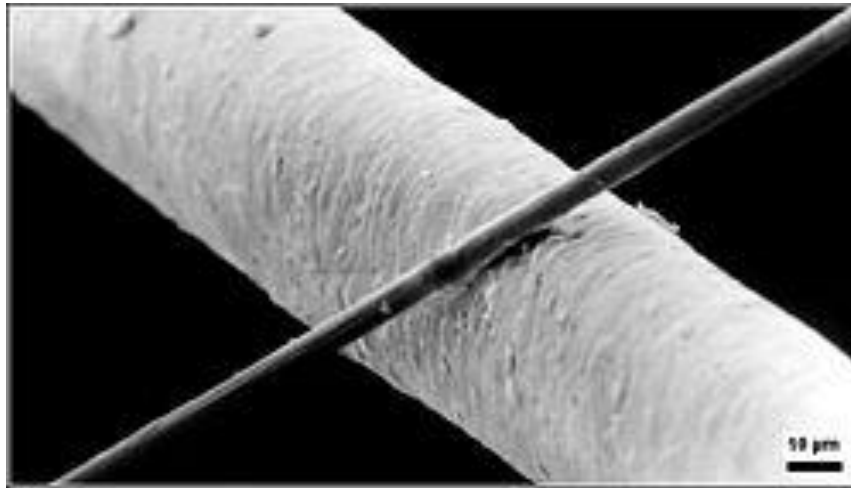
Po výrobě se následně zpracovávají v mnoha odvětvích průmyslu, nejčastější je kombinace do kompozitních materiálů. [8,12]

Sklovina	E	R	C
Složení (%)			
SiO ₂	54	60	60-65
Al ₂ O ₃	14-15	25	2-6
CaO	0	14	14
B ₂ O ₃	6-9	<1	2-7
K ₂ O	<1	<1	8
Vlastnosti			
Hustota (g/cm ³)	2,6	2,53	2,52
Mez pevnosti (N/mm ²)	3400	4400	2400
E-modul (N/mm ²)	73000	86000	70000
Poměrné prodloužení při přetr-	<4,8	<4,6	<4,8
Teplotní součinitel roztažnosti	5*10 ⁻⁶	4*10 ⁻⁶	6,3*10 ⁻⁶
Teplota měknutí (°C)	850	980	750

Tabulka 4 Porovnání složení sklovin a jejich vlastností [12]

2.1.5 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna (CF-Carbon fiber) jsou vlákna s extrémní pevností a tuhostí, ale s nízkou tažností. Až do 500°C mají uhlíková vlákna vysokou hodnotu E-modulu, nekorodují, jsou silně anizotropní, mají vysokou odolnost vůči dlouhodobému namáhání. Kvůli velké křehkosti a lámavosti uhlíkových vláken se povrchově apretacují směsí epoxidové pryskyřice.



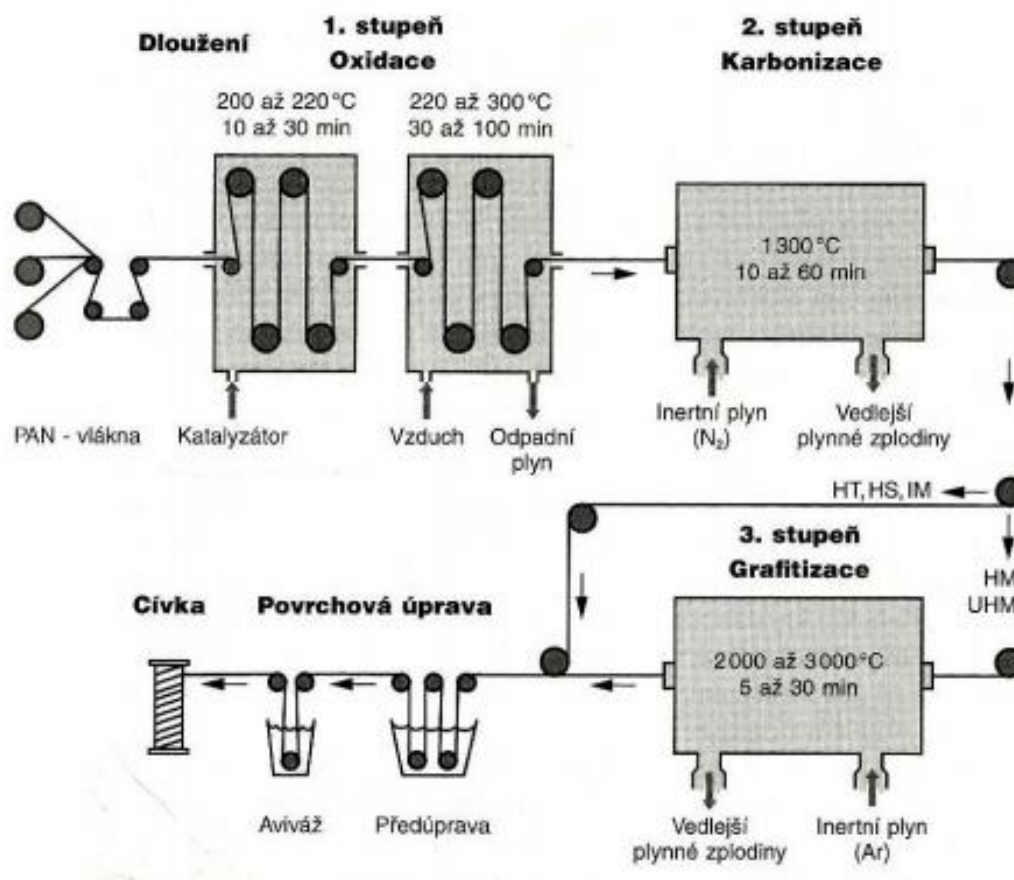
Obrázek 14 Porovnání lidského vlasu s uhlíkovým vláknem [12]

Průměr vláken se pohybuje od 5-10 μm , a tato vlákna se skládají převážně z atomů uhlíku, které jsou spojeny v mikroskopické krystaly orientované paralelně k ose vlákna. Vlákna se dnes nejčastěji vyrábějí z polyakrylonitrilu (PAN), který tvoří asi 90% a zbytek je složen z viskózních vláken nebo smol dehtu po krakování ropy.

Při výrobě je PAN nejprve dloužen, aby dosáhl co největší orientace molekul ve směru osy vlákna. Poté jsou stabilizována při zahřívání na 200-300°C pod mechanickým napětím při přístupu vzduchu, kdy materiál dehydruje a přemění se na žebříčkovitý polymer.

V dalším stupni dojde k řízené pyrolýze, kde při karbonizaci vlákna v teplotách mezi 1000-2000°C získá nejvyšší hodnotu pevnosti v tahu (až 5650 MPa).

Po karbonizaci se už může vlákno dále upravit, vyčistit a následně navíjet na cívku, nebo může projít ještě jedním stupněm zahřívání, kde jsou teploty mezi 2000-3000°C. Tímto dalším procesem se získá vlákno s menší pevností v tahu, naopak jeho pružnost v E-modulu bude až 531 GPa. [12]



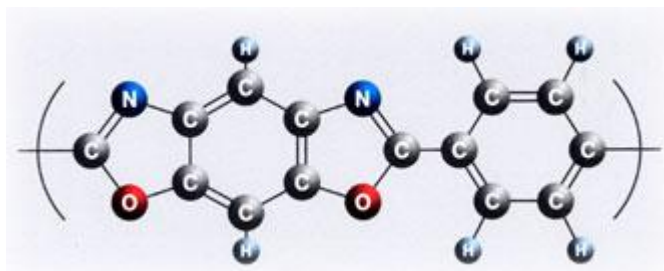
Obrázek 15 Postup výroby uhlíkového vlákna [12]

Tato vlákna se následně používají v kompozitech s jinými materiály.

2.1.6 Zylon

Jde o textilní vlákno složené z poly (p-phenylene-2,6-benzobisoxazol) neboli PBO vydané japonskou firmou Toyobo v roce 1998.

Jedná o jádro s téměř dvakrát větší pevností v tahu než para-aramidová vlákna (až 5,8 GPa), vysokou teplotní odolností (až do 650°C), ale jeho velkou nevýhodou je jeho slabá odolnost vůči slunečnímu záření, které snižuje jeho pevnosti. Při použití ve venkovním prostoru potom musí být ochráněné jinými krycími materiály. Dále se jeho síla snižuje vlivem vysoké vlhkosti a neodolává silným kyselinám. Z tohoto důvodu jej některé společnosti nepoužívají jako materiál na balistické vesty. [21,22,23]



Obrázek 16 Chemická struktura Zylonu [24]

2.2 Tvrdé materiály

V této kategorii jsou hlavně pevné vložky, které jsou integrovány do balistických vest, nebo je možné je do vesty podle potřeby dodatečně přidat. [7]

Samotné vložky se rozdělují na:

- Ocelové pancíře.
- Pancíře z hliníkových nebo titanových slitin.
- Nekovové pancíře.

2.2.1 Ocelové pancíře

Ocelové pancíře se vyrábějí z ocelí s vysokou pevností. Hlavními kritérii z hlediska penetrace jsou tvrdost, houževnatost a pevnostní charakteristika. Hlavním představitelem je nízkolegovaná vysoce pevná ocel s pevností v tahu 1500 až 1800 MPa. Častým představitelem je ocel Armox 500.

Balistická odolnost ocelového pancíře je závislá na tloušťce, tvrdosti a houževnatosti, kdy se výrobci snaží zmenšit tloušťku, ale naopak zvětšit tvrdost. Se zvyšující se tvrdostí však klesá houževnatost pancíře. [7,8,25]

Mezi výhody ocelových plátů patří:

- Nízká pořizovací cena – je 2-5 krát nižší než u ostatních druhů plátů.
- Nestárnou.
- Vydrží hrubé zacházení a pády – nevadí jim déšť, slaná voda a další nepříznivé vlivy.
- Při vhodném skladování mají neomezenou životnost.

Nevýhody:

- Jejich váha je asi dvakrát větší než u keramických plátů.
- Pláty jsou rozměrově menší.



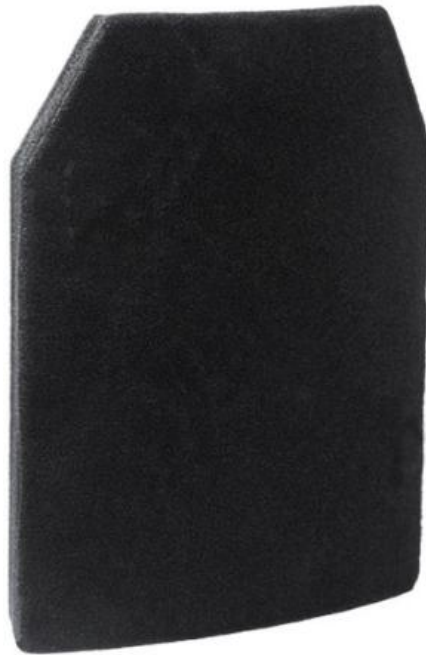
Obrázek 17 Ocelový balistický plát [25]

2.2.2 Pancíře ze slitin hliníku a titanu

Výhodou hliníkových pancířů je třetinová hustota ve srovnání s ocelí. Základním typem je slitina 5083 s pevností 350 MPa. Její odolnost je při použití průbojných střel nižší než u stejně těžkých ocelových pancířů. Proti standardním projektilům je odolnost těchto pancířů zhruba stejná. Výhodou je však jejich vysoká tuhost.

Dalším druhem vhodné slitiny pro pancíř je typ 7039 s pevností 500 MPa, kde se jejich odolnost vůči průbojným střelám téměř vyrovná s vysoce pevnou ocelí.

Další možností ve využití titanu, který je dnes zatím velmi drahý. [8]



Obrázek 18 Balistický plát z hliníkových kompozitů [26]

2.2.3 Nekomové Pancíře

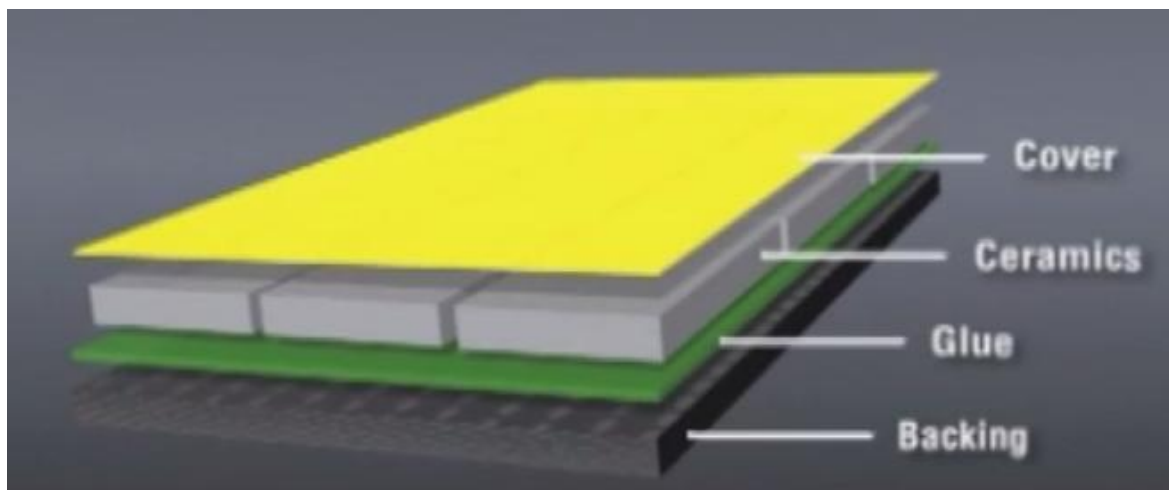
Jedná se především o kompozitní materiály, které jsou složeny z vysoce pevných vláken, laminátů a keramiky.

Lamináty se používají z kombinací skelných, aramidových, polyetylenových a uhlíkových vláken, a jsou schopny absorbovat velké množství energie, ale proti tvrdým projektilům jsou neúčinné, protože se tento projektil jednoduše protlačí. Naopak u měkkých materiálů dojde k otupení střely a k rozložení její síly na velkou plochu.

Pro osobní ochranu se používají lamináty spojené s keramickou vrstvou. Díky této keramické vrstvě jsou tyto pancíře odolné vůči průbojným střelám.

Samotná keramika bez dalších vrstev není pro pancíře příliš vhodná kvůli své velké křehkosti a malé pevnosti v tahu a ohybu. Proto se používají vesty složeny z podkladové vrstvy a samotné keramické vrstvy.

Podkladová vrstva se skládá z kovů, nebo balistických laminátů. Tato vrstva slouží k podpoře keramiky a prodloužení její odolnosti při nárazu střely, a také k zachycení zbytků střely.[8]



Obrázek 19 Složení keramického balistického plátu [27]

3 DALŠÍ SOUČÁSTI BALISTICKÝCH VEST

Samotné vesty nejsou vybaveny pouze balistickými pláty, které primárně slouží k ochraně jeho nositele, ale i dalšími vložkami zmírňující následky střel, nebo zvyšující ochranu proti bodným a sečným zbraním.

3.1 Antišoková vrstva

Slouží jako další vrstva ochrany, která má za úkol snížit průhyb balistického materiálu rozprostřením energie projektilu na větší plochu.

Samotné balistické materiály (aramidová vlákna nebo polykarbonáty) poskytují určitou antišokovou ochranu při použití dostatečného množství vrstev. Další možností je použití polyuretanových materiálů.

Tyto vrstvy dokážou zmírnit následky trauma efektu o téměř 35%. [28,29]



Obrázek 20 Anti-šoková vložka [28]

3.2 Ochrana proti bodným a sečným zbraním

Není pravda, že balistické vesty dokážou nositele ochránit proti všem možným útokům. Klasické vesty jsou zranitelné vůči bodným zbraním, kde hrozí protržení materiálu. Jednou

z možností je přidání kovové mřížky do konstrukce balistické vesty. Nevýhodou tohoto řešení je zvýšení hmotnosti vesty.

Další možností je využít ochrannou vrstvu tvořenou z Dyneema vlákna, které je odolné vůči pořezání a bodnutí. Z tohoto materiálu se vyrábějí i ochranné prostředky, které dokážou ochránit nositele i proti účinkům řetězových pil.[28,29]



Obrázek 21 Vložka proti nožům [28]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 VÝROBA VESTY

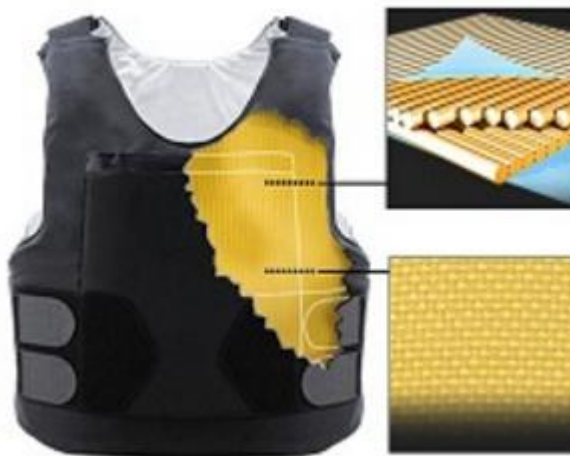
Výroba samotné balistické vesty není příliš složitá věc a v základě je vesta složena ze tří hlavních komponent:

- Samotná kvalitně ušitá vesta z odolných materiálů (nylon, Cordura a jiné) s rozličnými kapsami v různých barvách.
- Vlastní balistická ochranná vložka z Kevlaru, Twaronu nebo Dyneemy.
- Nepromokavá kapsa pro balistickou ochranu (100% nylon, Cordura).

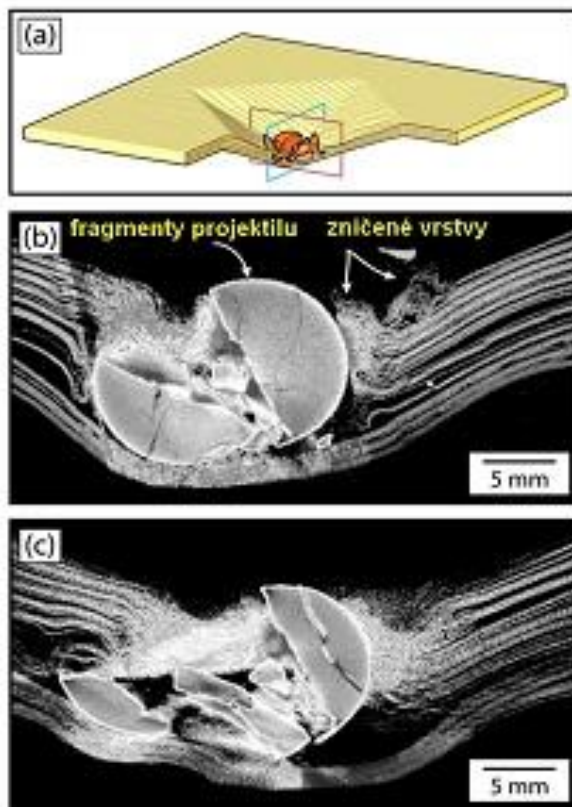
Postup výroby vesty je složen z několika částí:

- Nastříhání balistické tkaniny na stejně velké díly a jejich složení kolmo k protilehlé vrstvě. Počet vrstev závisí na zvolené balistické odolnosti a pohybuje se v desítkách vrstev pro přední i zadní díl a jejich následné křížové prošití. Je možné přímo dodat i vrstvy látky odolné vůči útoku nože nebo vrstvy pro snížení trauma efektu.
- Oba komplety se zašijí do pouzder z nylonu nebo Condury pro zajištění voděodolnosti balistické vložky.
- Po vytvoření balistických vložek následuje jejich vložení nebo přímé sešití do vesty.

Taková vesta je už plně připravena pro použití a k ochraně majitele. Důvod proč se jednotlivé vrstvy na sebe skládají kolmo je ten, že při nárazu střely na balistickou vložku je mnohem lépe rozložena energie nárazu. Tím dochází k zmírnění účinků dopadu projektilu. [31,32]



Obrázek 22 Vesta z Dyneema vlákn [32]



Obrázek 23 Děj po dopadu projektilu [32]

5 TYPY BALISTICKÝCH VEST POUŽÍVANÝCH PRACOVNÍKY PRŮMYSLU KOMERČNÍ BEZBEČNOSTI

Pracovníci průmyslu komerční bezpečnosti dnes používají dva základní druhy vest:

- Balistické vesty pro skryté nošení
- Vnější balistické vesty

5.1 Balistické vesty pro skryté nošení

Jedná se převážně o lehké balistické vesty, které se umisťují pod oblečení. Jejich odolnost je dána normou, podle které jsou zhotoveny. Zpravidla poskytují balistickou ochranu úroveň II a III-A dle americké normy a jejich hmotnost je mezi 1,6-3,1 kg.

Tyto vesty jsou dobře anatomicky tvarované, aby neomezovaly své uživatele v pohybu (běh, chůze) a neprozradily ostatním, že ji nositel má. Zpravidla se s nimi dají provozovat všechny pracovní úkony od střelby, řízení vozidel a jiných pracovních úkolů.

Jako balistický materiál je použit Spectra shield, Dyneema, kevlar a jejich kombinace.

Tyto vesty jsou vhodné pro příslušníky policie, kontraktory, osobní strážce a jiný bezpečnostní personál.

Některé vesty navíc nabízejí přidání balistických plátů pro zvýšení balistické ochrany hlavně proti dlouhým zbraním. U některých typů jsou vesty vybaveny i přídatnou ochranou proti nožům.[33]

5.2 Balistické vesty pro zjevné nošení

Tyto vesty jsou určeny hlavně k zastrašení potencionálních útočníků. V soukromých bezpečnostních službách je využívají hlavně strážce ve věznicích nebo bankách, převozníci peněz nebo jiných cenin, a rovněž zásahové jednotky bezpečnostních agentur.

Tyto vesty se dají ve velké míře opatřit další výbavou od přídatných balistických plátů přes antišokové a jiné příslušenství.

V posledních letech je velmi žádaný systém MOLLE, který uživateli vesty dovolí její rychlé odhození vesty pomocí bezpečnostního lanka, které bývá umístěné centrálně uvnitř vesty.

Samotný systém se skládá ze soustavy horizontálních popruhů po celé ploše vesty. Na tato lanka si uživatel může připevnit různé kapsy nebo jiné součásti výstroje podle potřeb.[33]

5.3 Příklady typů vest pro různé účely použití

Tato kapitola je zaměřena na několik typů balistických vest vhodných pro použití v průmyslu komerční bezpečnosti s popisem jejich balistické odolnosti, příkladu použití, jejich hmotnosti a orientační ceny.

5.3.1 Vesta DIPLOMAT

- Neprůstřelná vesta pro skryté nošení pod košilí.
- Splňuje balistickou odolnost III-A podle americké normy NIJ, kdy chrání před účinky krátkých střelných zbraní.
- Hmotnost vesty je 2,5 kg.
- Vybavena balistickým materiálem Spectra Shield.
- Vybavena antišokovou vrstvou z Jatexu.
- Cena kolem 11 000 Kč.



Obrázek 24 Vesta Diplomat [34]

5.3.2 Vesta Premier

- Neprůstřelná vesta pro skryté nošení pod košilí.
- Splňuje balistickou odolnost III-A podle americké normy NIJ, kdy chrání před účinky krátkých střelných zbraní.
- Hmotnost vesty je od 2 do 3,5 kg podle velikosti.
- Cena mezi 9 000-14 000 Kč podle velikosti.



Obrázek 25 Vesta Premier [35]

5.3.3 Vesty Bankovní

- Vesta vhodná pro zaměstnance převozu peněz a cenin.
- Splňuje balistickou odolnost III-A nebo IV podle americké normy NIJ.
- Hmotnost od 4 do 10 kg podle třídy odolnosti a výbavy.
- Opatřena suchými zipy pro nápisy.
- Počet kapes podle přání.
- Cena mezi 14 000 – 27 000 Kč podle třídy odolnosti.



Obrázek 26 Bankovní vesta [35]

5.3.4 Vesta XENA

- Neprůstřelná vesta pro vrchní nošení vhodná pro zásahové jednotky ochranných agentur.
- Splňuje balistickou odolnost III-A podle americké normy NIJ.
- Vybavena 8 kapsami pro příslušenství (nůž, pistole, vysílačka a další).
- Provedení s maximální volností pohybu.
- Cena kolem 16 000 Kč.



Obrázek 27 Vesta Xena [35]

5.3.5 Vesta CITYPOL

- Neprůstřelná vesta na vrchní nošení vhodná pro zásahové jednotky bezpečnostních agentur.
- Provedení s maximální volností pohybu.
- Vybavena 8 kapsami pro příslušenství.
- Splňuje balistickou odolnost III-A podle americké normy NIJ.
- Cena kolem 17 000 Kč.



Obrázek 28 Vesta Citypol [35]

5.4 Dragon Skin

Jde o novinku americké firmy PINNACLE ARMOR. Je to balistická vesta, která svým tvarem a uspořádáním připomíná šupiny plazů, které tvoří keramicko-titanový kompozit zalitý do plastické hmoty.

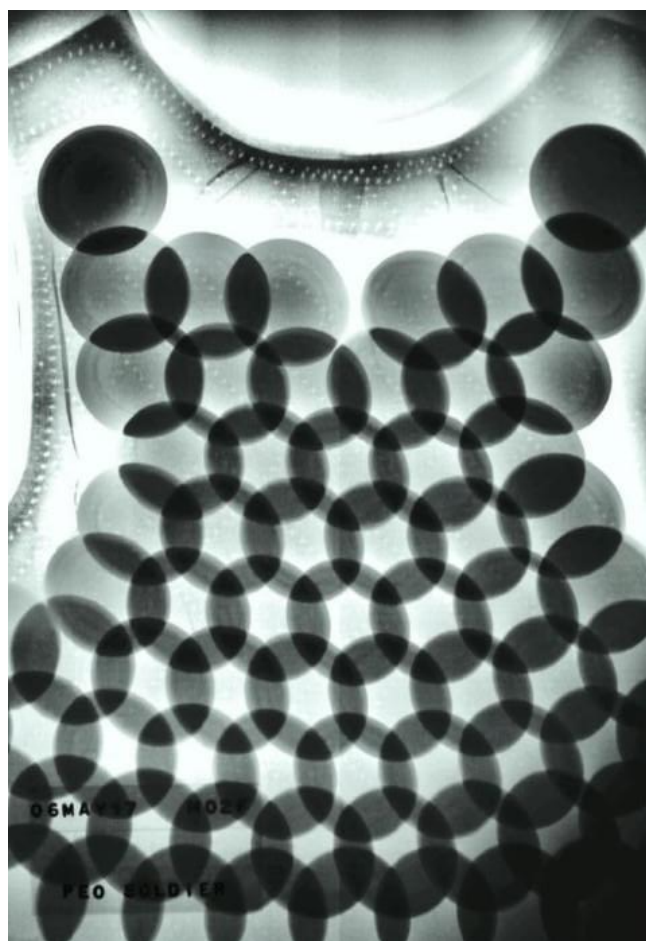
Toto uspořádání se vyznačuje vysokou pevností a schopností rozložit sílu nárazu na větší plochu než u klasických vest.

Tato vesta je velmi účinná nejen proti klasickým pistolovým nábojům, ale velmi dobře odolává i puškovým nábojům z M16 pušek s ráží 5,56x45 (223 Remington) nebo pušek

AK 47 s ráží 7,62x39. V testech dokázala odolat velkému množství zásahů, kde by klasická neprůstřelná vesta byla už dávno zničena, ale vesta Dragon Skin zůstala vnitřní stranou neporušená.

Další významnou výhodou tohoto typu vesty je pohodlí, které je zajištěno díky kompozitním kolečkům, které jsou vloženy do měkké plastické hmoty, jenž je velmi ohebná. Navíc oproti klasickým vestám chrání celý obvod těla.

V současné době se tyto vesty ve velkém měřítku nepoužívají, i když za čas se mohou dostat i do soukromého sektoru, kde budou pronikat pomalu kvůli vysoké ceně, která se v zahraničí u podobných provedení pohybuje kolem 1300 amerických dolarů. [36,37,38]



Obrázek 29 Vesta Dragon skin pod rentgenem [36]



Obrázek 30 Vesta Dragon Skin [37]

6 SMĚR VÝVOJE MATERIÁLŮ PRO BALISTICKÉ VESTY

6.1 Uhlíkové nanotrubičky

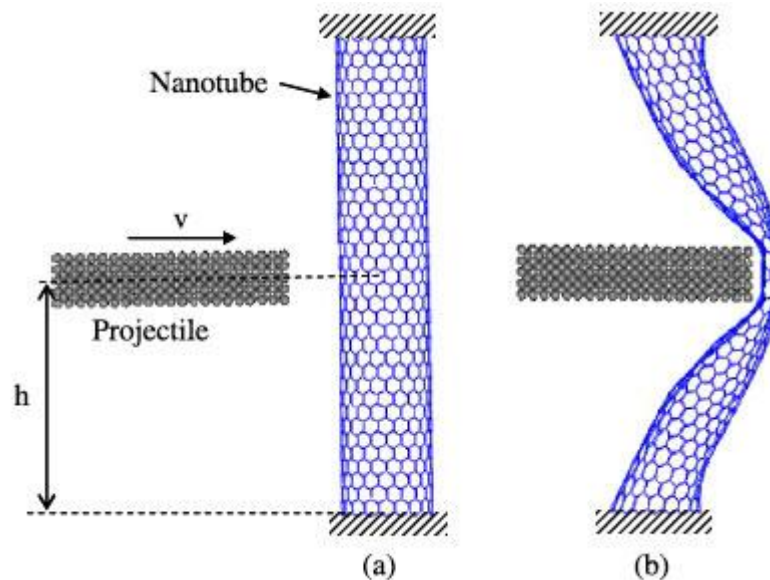
Do těchto materiálů patří zejména uhlíkové nanotrubičky, které byly objeveny v roce 1991. Tyto nanotrubičky mají neuvěřitelné vlastnosti pro své elektronické, magnetické a mechanické vlastnosti. Jsou stokrát silnější než ocel, váží ale jen šestinu její hmotnosti. Mohly by vést teplo a elektrinu lépe než měď.

Uhlíkové atomy jsou zde uspořádány do tvaru trubice s tloušťkou v nanometrech. To je pro představu asi 10 000 krát menší velikost než je tloušťka lidského vlasu. Vazba mezi atomy je velmi silná.

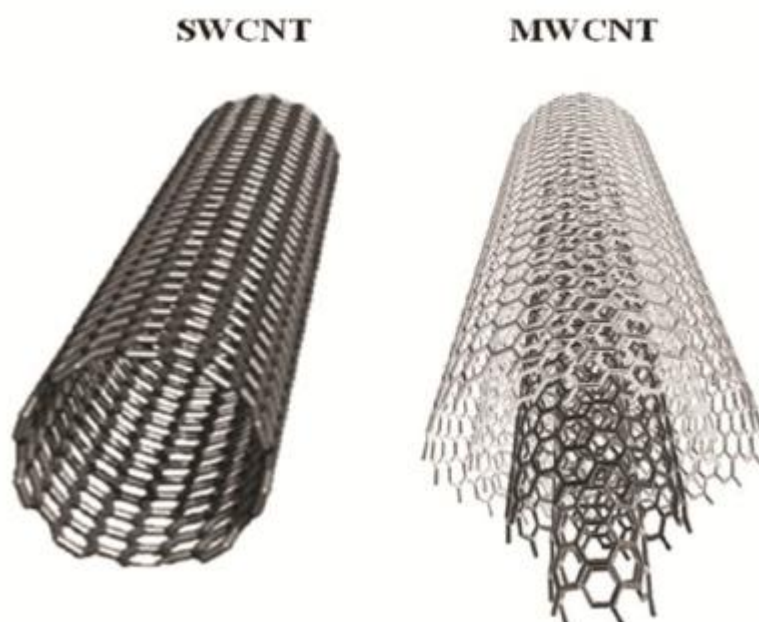
Trubičky samotné mají velké množství struktur s různou délkou, tloušťkou a počtem vrstev. Samotná trubička má tvar srolovaného hexagonálního pletiva z uhlíkových molekul. Tyto trubičky se dělí na několik druhů, ale obvykle jsou charakterizovány počtem stěn od jedné (SWNT – single-walled) po několik (MWNT – multi-walled), které jsou do sebe vnořené trubice stále větších průměrů. Teoreticky to může být až 100 stěn a více. Už dnes se využívají nanotrubičky jako strukturální výztuže do betonů díky vysoké pevnosti, pružnosti a nízké hmotnosti. Další využití je u akumulace sluneční energie a její převod jako zdroj tepla. Další možností je využití v elektronice, kombinování v kompozitech (například vrstva v balistickém panelu), vysoce výkonné kondenzátory, radar pohlcující povlaky, a nakonec opravdu silná textilní vlákna. [39]

Materiál vlákna	Specifická hustota	E-modul pružnosti	Pevnost (GPa)
Uhlíkové nanotrubičky	1,3-2	1	10-60
Uhlíkové vlákno	1,7-2	0,2-0,6	0,3-2,4
Skelné vlákno	2,5	0,07-0,08	2,4-4,5
Kevlar 49	1,4	0,13	3,6-4,1
Vysokopevnostní ocel	7,8	0,2	4,1

Tabulka 5 Porovnání vysoko-pevnostních vláken [39]



Obrázek 31 Chování trubice při nárazu projektilu [40]



Obrázek 32 Vlevo trubice s jednou stěnou, vpravo s více stěnami

[39]

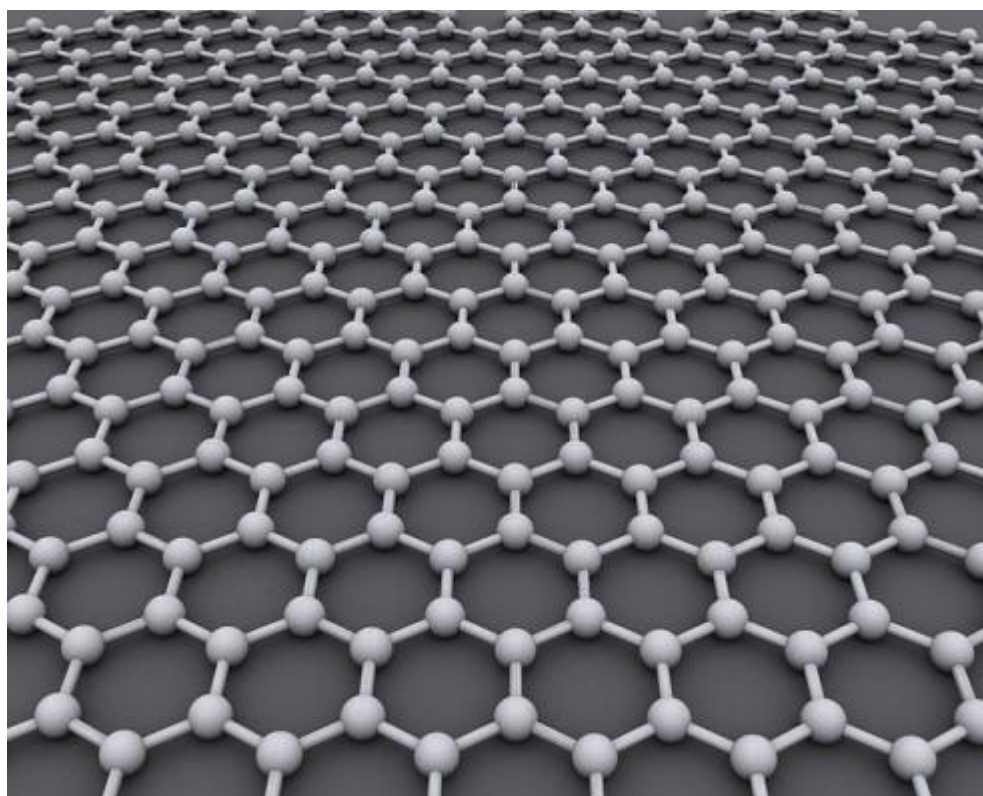
6.2 Grafen

Je to materiál, který může v následujících desetiletích způsobit revoluci ve vědě a technice. Jeho možnosti využití jsou široké: od nových procesorů, přes vesmírné výtahy, telefony s ohýbatelnou obrazovkou, baterie s desetinásobnou kapacitou než dnešní až po skvělé vlastnosti u balistické ochrany.

Vědci už grafen otestovali v miniaturní střelnici, kterou si postavili v Riceově univerzitě. Miniaturní skleněné projektily stříleli pomocí laserů na terče tvořených 10 až 100 vrstev grafenových plátů, rychlostí 3000 m/s. Po střelbě výsledky zkoumali elektronovým mikroskopem.

Přitom bylo zjištěno, že grafen rozptyluje energii z nárazu podobným způsobem jako trampolína. Na povrchu se sice vytvořily po zásahu miniaturní trhliny, ty se ale dají kompenzovat použitím více vrstev nebo vyztužením jiným kompozitním materiálem.

Samotný grafen je velmi tenký a lehký. V 1 mm tloušťky vesty by byl obsažen milion jeho vrstev. Grafen je schopen absorbovat 0,92 MJ/kg energie kulky. Ocel zvládne jen 0,08 MJ/kg. Oproti kevlaru je grafen dvakrát odolnější vůči průstřelu. [41,42]



Obrázek 33 Struktura atomů v grafenu [41]

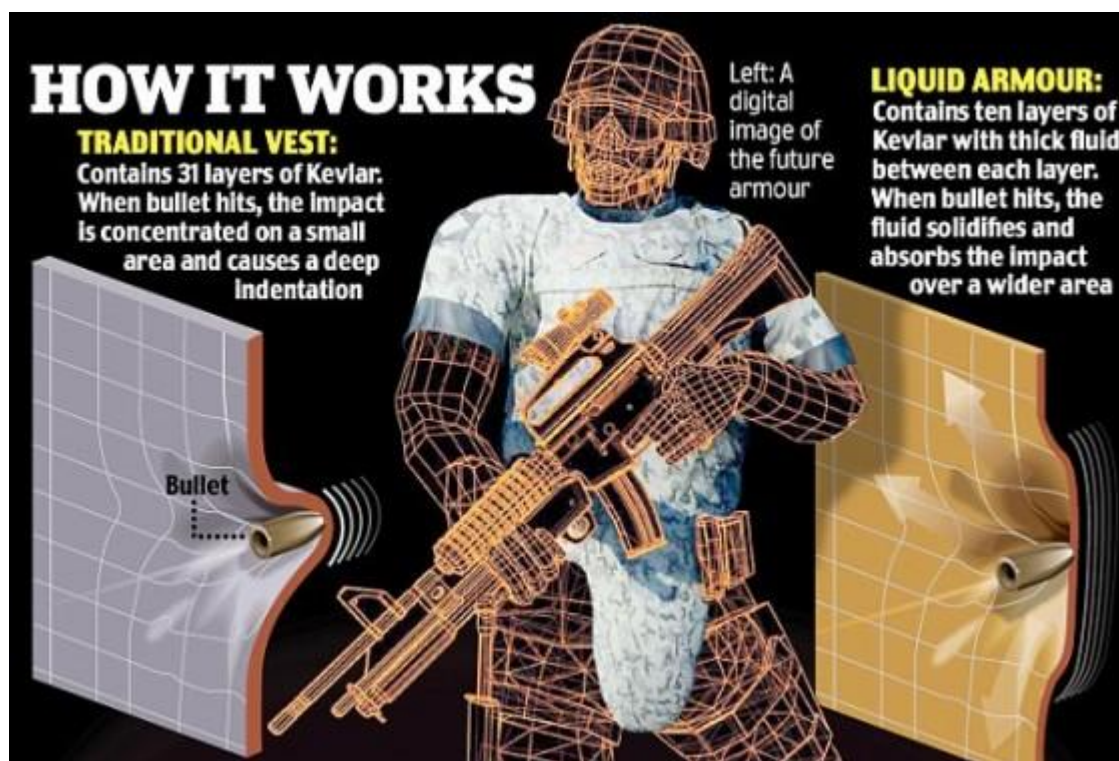
6.3 Tekutý pancíř

Jedná se o speciální druh kapaliny, která při nárazu projektilu ztuhne a dokáže rozprostřít kinetickou energii střely na velkou plochu. Vyvinuli ji britští vědci z BAE Systems.

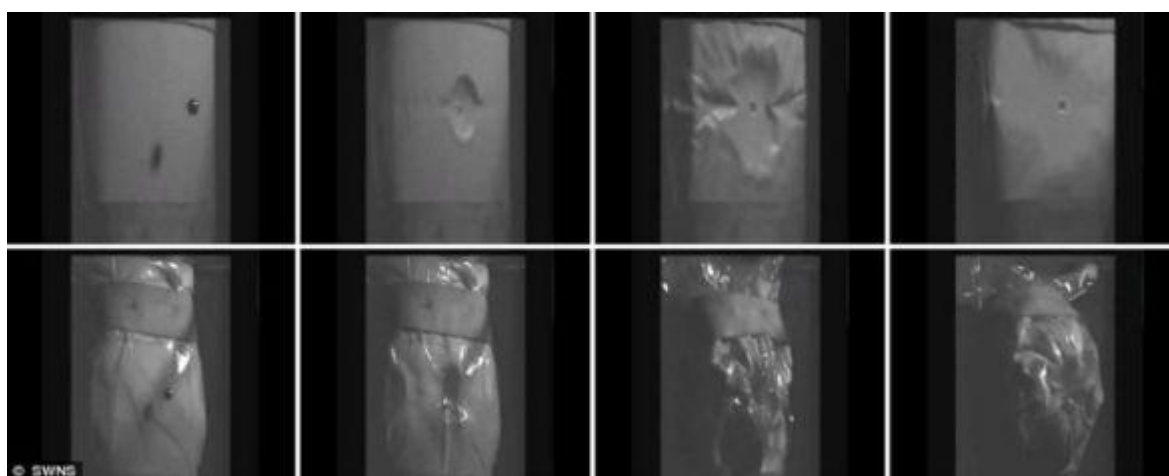
Vědci mají v plánu zkombinovat tekutý pancíř o konzistenci krému s kevlarovou tkaninou. Ta bude tvořit vnější obal, ve kterém bude krém umístěn.

Samotnou ochrannou vrstvu budou pořád tvořit kevlarové vrstvy tkaniny, ale díky okamžitému ztvrdnutí tekutého pancíře a následného rozprostření energie střely budou tyto vrstvy mnohem méně namáhány.

Díky této vrstvě tekutého pancíře se mohou za čas objevit až od 50% lehčí neprůstřelné vesty než jaké používáme dnes. Navíc je možné, že vesty s tímto pancířem budou také mnohem ohebnější. [43,44]



Obrázek 34 Popis chování tekutého pancíře [43]



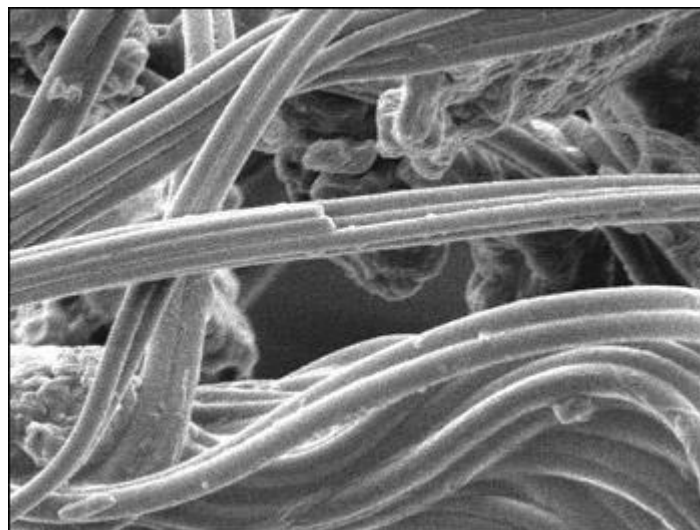
Obrázek 35 Popis chování kevlarových vrstev po dopadu projektilu nahoře, dole po kombinaci s kevlarom a tekutým pancířem [44]

6.4 Pavoučí vlákna

Pavoučí vlákno se dostalo do hledáčku výrobců vláken pro své neuvěřitelné vlastnosti, ke kterým se zatím žádné umělé látky nepřiblížily. Tato vlákna disponují velkou pružností a pevností. Síla těchto vláken je průměrně 0,15 μm , kdy nejtenčí má kolem 0,002 μm .

Tato vlákna disponují větší pevností v tahu než ocel, ale dokáží snést protažení o 30-40% své původní délky. Oproti kevlaru je pavoučí vlákno až třikrát pevnější, ale jeho tepelná odolnost je nízká (jen do 200°C).

Získávání tohoto druhu vlákna však není jednoduchá záležitost. Jedním ze způsobů je využití geneticky modifikovaných housenek bource morušového, protože jeho chov je už dávno zvládnutý. Další možností je výroba pavoučího vlákna z bílkovin mléka angorských koz, které ale není zdaleka tak pevné jako pravé pavoučí vlákno. [45,46]



Obrázek 36 Detail pavoučího vlákna [47]

ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se věnoval balistickým materiálům, které se dnes používají, popsal jsem jejich klady, zápory a cestu, kterou by se mohly vesty v následujících desetiletích ubírat.

Ještě jednou je ale potřeba říct, že stoprocentně odolná balistická vesta neexistuje. I když jsou dnes na trhu vesty, které nás dokážou ochránit i proti tak nebezpečným zbraním jako AK 47, zůstávají však tyto vesty stále příliš těžké a snižují pohyblivost jejich nositelů. Naštěstí tyto zbraně používá minimum útočníků. Častěji na vás zaútočí malými střelnými zbraněmi, kde je odolnost dnešních vest více než dostatečná. Navíc se tyto vesty dělají v mnoha provedeních, kdy u některých typů nepoznáte, jestli ji někdo nosí nebo ne. Tyto vesty se perfektně hodí pro skryté strážníky, bodyguardy a jiné profese v průmyslu komerční bezpečnosti. Naproti tomu u vest pro zjevné nošení se očekává útok, a proto částečně slouží jako odrazovací prvek.

Všechny tyto vesty se řídí normami, kde česká norma ČSN 39 5360 patří mezi ty vůbec nejpřísnější pro dodavatele balistických vest. Dále se řídí americkými normami NIJ STD 0101.04, nebo jejich ekvivalenty v Německu či Rusku.

Samotné materiály, ze kterých jsou vesty vyrobeny, prošly od dob první světové války obrovským vývojem směrem vpřed. Prvním materiálem byl nylon, který byl později nahrazen dnes mnohem rozšířenějším Kevlarem, Twaronem a Dyneemou. Tyto materiály začaly poskytovat velkou míru ochrany a zároveň i nízkou hmotnost, díky které už tolik neomezovaly svého nositele. Některé z těchto materiálů jsou dokonce tak odolné, že dokážou ochránit i vůči chladným bodným nebo řzným zbraním, kdy ne všechny typy vest proti těmto zbraním fungují dobře.

O kladném přínosu balistických vest není potřeba dlouho mluvit. Bohužel se dnes objevují stále větší hrozby terorismu a potřeba se chránit bude jen narůstat. V některých profesích je navíc použití vesty jedinou možností ochrany. A nemusí to být jen lidé pracující v bezpečnostním průmyslu, kteří se chtějí chránit, ale i obyčejní občané v neklidných lokalitách světa, kde může vesta rozhodnout mezi životem a smrtí, protože takových lidí, kteří neváhají střelnou zbraň použít, je v těchto částech světa velké množství.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Strelci.com. *Historie použití vest* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.strelci.com/?p=142>
- [2] Valka.cz. *Neprůstřelné vesty* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://www.valka.cz/newdesign/v900/clanek_10353.html
- [3] LAUCKÝ, Vladimír a Rudolf DRGA. *Speciální technologie komerční bezpečnosti*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012. ISBN 978-80-7454-146-9.
- [4] Tonnel-ufo.ru. *Příběh brnění, část 2* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://tonnel-ufo.ru/czech/articles.php?id=4341>
- [5] 303rdbg.com. *WWII Uniforms and Flight Gear* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.303rdbg.com/uniforms-gear6.html>
- [6] Gared.cz. *Balistické standardy* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.gared.cz/norms.html>
- [7] LUKÁŠ, Luděk (ed.). *Bezpečnostní technologie, systémy a management I*. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2011, 316 s. ISBN 978-80-87500-05-7.
- [8] LUKÁŠ, Luděk (ed.). *Bezpečnostní technologie, systémy a management II*. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2012, 387 s. ISBN 978-80-87500-19-4.
- [9] LUKÁŠ, Luděk (ed.). *Bezpečnostní technologie, systémy a management III*. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2013, 456 s. ISBN 978-80-87500-35-4.
- [10] JUŘÍČEK, Ludvík a Zdeněk MALÁNÍK. *Speciální tělesná příprava 3: Ranivá balistika a její aplikace*. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 165 s. ISBN 978-80-7454-419-4. Vydáno elektronicky.
- [11] JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavnové zbraně a střelivo* [online]. 1. vyd. Brno, 2012 [cit. 2012-11-22]. ISBN 978-80-260-2384-5. Dostupné z: www.vutbr.cz
- [12] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [13] Odetka.cz [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: http://www.odetka.cz/net20/cz/hitech_vyrobky.aspx

- [14] Havel-composites.com [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/shop/43-Jednosmerne/465-Aramidova-tkanina--158gmspan-stylefont-size-8pxsup2supspan---jednosmerna.html?pls=0>
- [15] Teijinaramid.com. *Twaron* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.teijinaramid.com/aramids/twaron/>
- [16] Artec-aramid-fibre.com [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.artec-aramid-fibre.com/en/>
- [17] Businesswire.com. *EnGarde Introduces Ultra Light Body Armor* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.businesswire.com/news/home/20111031005065/en/EnGarde-Introduces-Ultra-Light-Body-Armor>
- [18] Honeywell-spectra.com [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <https://www.honeywell-spectra.com>
- [19] Taktickavystroj.cz. *Materiály* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.taktickavystroj.cz/html/materialy/>
- [20] Innegratech.com [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.innegrtech.com>
- [21] Csrbraids.com. *Zylon fiber* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://csrbraids.com/index.php/zylon-fiber.html>
- [22] Toyobo-global.com [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.toyobo-global.com/seihin/kc/pbo/>
- [23] Eurofibers.com. *Zylon* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://eurofibers.com/zylon/>
- [24] Formula1-dictionary.net. *Zylon* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.formula1-dictionary.net/zylon.html>
- [25] Frogman.cz. *Balistický plát ocelový* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <https://www.frogman.cz/Takticka-vystroj/Balisticke-vlozky-a-platy/Balisticky-plat-ocelovy-6-mm-armox-III-trida-bal-odolnosti>
- [26] Armed.cz. *Gared přední zadní balistický panel* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <https://www.armed.cz/gared-predni-zadni-balisticky-panel-iv/d-106211/>

- [27] Ceramtec.com/. *Ballistic protection* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <https://www.ceramtec.com/ballistic-protection/>
- [28] Engardebodyarmor.com. *Accessories* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.engagebodyarmor.com/accessories.htm>
- [29] Policista.cz. *Noseni-neprustrelne-vesty-aneb-jak-na-to* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.policista.cz/clanky/reportaz/noseni-neprustrelne-vesty-aneb-jak-na-to-dil-druhy-381/>
- [31] Dfens.cz. *Last-line-of-defense-neprustrelne-vesty*[online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://dfens-cz.com/last-line-of-defense-neprustrelne-vesty/>
- [32] Techmagazin.com. *Polyamidová vlákna, která zachraňují životy* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/2013>
- [33] Policista.cz. *Balisticka-ochrana* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.policista.cz/clanky/reportaz/balisticka-ochrana-1125/>
- [34] Frogman.cz. *Balisticka-vesta-DIPLOMAT* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <https://www.frogman.cz/Takticka-vystroj/Balisticke-vlozky-a-platy/Balisticka-vesta-DIPLOMAT-pro-skryte-noseni-III-A-trida-bal-odolnosti>
- [35] Rucksack.cz [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.rucksack.cz>
- [36] Bodyarmornews.com. *Dragon skin body armor*[online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.bodyarmornews.com/doj-dumps-dragon-skin-body-armor/>
- [37] Policista.cz. *Dragon-skin-neboli-draci-kuze* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.policista.cz/clanky/reportaz/dragon-skin-neboli-draci-kuze-311/>
- [38] Ebay.com. *Dragon skin armor* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/Dragon-Skin-Body-Armor-Remanufacturing-with-our-Materials-and-Labor-/141990808479>
- [39] Nanoscience.com. *Cnt-technology-overview* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.nanoscience.com/applications/education/overview/cnt-technology-overview/>
- [40] Nanowerk.com. *Bullets harmlessly bouncing off nanotechnology T-shirts* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=3134.php>
- [41] Vtm.e15.cz. *Grafen-zazracna-forma-uhliku-prekvapuje* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/grafen-zazracna-forma-uhliku-prekvapuje>

- [42] Cdr.cz. *Lepsi-nez-kevlar-grafen-jako-novy-material-pro-neprustrelne-vesty* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://cdr.cz/clanek/lepsi-nez-kevlar-grafen-jako-novy-material-pro-neprustrelne-vesty>
- [43] Armyweb.cz. *Tekuty-pancir-pro-vojaky-budoucnosti* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.armyweb.cz/clanek/tekuty-pancir-pro-vojaky-budoucnosti>
- [44] Armadninoviny. *Unikatni-tekuty-pancir-pro-neprustrelne-vesty*[online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/unikatni-tekuty-pancir-pro-neprustrelne-vesty.html>
- [45] Ideje.cz. *Pevny-jako-pavucina* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <https://www.ideje.cz/cz/clanky/pevny-jako-pavucina>
- [46] Materialtimes.com. *Nepriřpusobivi-pavouci-a-jejich-neprekonatelne-pavuciny* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.materialtimes.com/vsimame-si/nepriřpusobivi-pavouci-a-jejich-neprekonatelne-pavuciny.html>
- [47] Svetoutdooru.cz. *Prvenstvi-podle-inspirace-v-prirode!* [online]. [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.svetoutdooru.cz/svet-outdooru/prvenstvi-podle-inspirace-v-prirode/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HMPE Polyethylenové vlákno s vysokou molekulovou hmotností

UHMWPE Ultra vysoce orientované polyethylenové vlákno

PAN polyakrylonitril

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Německé balistické vesty v první světové válce [4]	11
Obrázek 2 Flack Jacket v bombardérech B-17 [5]	12
Obrázek 3 Chemická struktura kevlaru [13].....	16
Obrázek 4 Chemická syntéza do kevlaru [13].....	16
Obrázek 5 Postup výroby aramidových vláken [12]	17
Obrázek 6 Spletená látka z kevlaru [14].....	18
Obrázek 7 Chemická struktura Twaronu [13]	18
Obrázek 8 Chemická struktura Nomexu [13].....	19
Obrázek 9 Látka z ARTEC vlákna [16].....	20
Obrázek 10 Chemické složení Dyneema vlákna [13].....	21
Obrázek 11 Dyneema balistická vložka [17].....	22
Obrázek 12 Chemické složení vlákna s mikroskopickým detailem [12].....	23
Obrázek 13 Postup výroby skelného vlákna [12]	24
Obrázek 14 Porovnání lidského vlasu s uhlíkovým vláknem [12]	25
Obrázek 15 Postup výroby uhlíkového vlákna [12]	26
Obrázek 16 Chemická struktura Zylonu [24]	27
Obrázek 17 Ocelový balistický plát [25]	28
Obrázek 18 Balistický plát z hliníkových kompozitů [26]	29
Obrázek 19 Složení keramického balistického plátu [27]	30
Obrázek 20 Anti-šoková vložka [28].....	31
Obrázek 21 Vložka proti nožům [28]	32
Obrázek 22 Vesta z Dyneema vlákna [32]	34
Obrázek 23 Děj po dopadu projektilu [32]	35
Obrázek 24 Vesta Diplomat [34].....	37
Obrázek 25 Vesta Premier [35]	38
Obrázek 26 Bankovní vesta [35]	39
Obrázek 27 Vesta Xena [35].....	39
Obrázek 28 Vesta Citypol [35]	40
Obrázek 29 Vesta Dragon skin pod rentgenem [36].....	41
Obrázek 30 Vesta Dragon Skin [37].....	42
Obrázek 31 Chování trubice při nárazu projektilu [40].....	44
Obrázek 32 Vlevo trubice s jednou stěnou, vpravo s více stěnami [39].....	44

Obrázek 33	Struktura atomů v grafenu [41]	45
Obrázek 34	Popis chování tekutého pancíře [43]	46
Obrázek 35	Popis chování kevlarových vrstev po dopadu projektilu nahoře, dole po kombinaci s kevlarem a tekutým pancířem [44]	46
Obrázek 36	Detail pavoučího vlákna [47]	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Třídy balistické odolnosti podle ČSN 39 5360 [6]	13
Tabulka 2 Třídy balistické odolnosti podle NIJ STD 0101.04 [6]	13
Tabulka 3 Vlastnosti různých druhů kevlaru [13]	18
Tabulka 4 Porovnání složení sklovin a jejich vlastností [12]	24
Tabulka 5 Porovnání vysoko-pevnostních vláken [39]	43