

Polymerní materiály ve vojenském průmyslu

Magda Knotková

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

IPROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU I

Jméno a příjmení: **Magda Knotková**
Osobní číslo: **T11670**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Polymerní materiály ve vojenském průmyslu**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte literární rešerši na zadané téma: zaměření na materiály používané ve vojenství, při výrobě bojové techniky, ochraně vojáků a pro ostatní vybavení.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. L. H. SPERLING: Introduction to Physical Polymer Science. 3rd. edition, Wiley-Interscience, 2001. 671 s. ISBN 0-471-32921-5

2. Dostupné internetové databáze odborné literatury

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kalous

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

10. ledna 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

28. května 2014

Ve Zlíně dne 7. února 2014


doc. Ing. Román Čermák, Ph.D.
děkan




Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: MAGDA KNOTKOVÁ

Obor: CHTM - IP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 21.5.2014

Knotková

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělěčně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Vláknité materiály mají široké průmyslové využití. Vlákná s vysokou pevností se s výhodou využívají pro výrobu ochranných pomůcek vojáků, jako jsou například helmy a neprůstřelné vesty. V této práci jsou jako vysokopevnostní vlákna uvedena skleněná a uhlíková vlákna a vysokopevnostní polymerní vlákna, jako jsou aramidová, polyethylenová, polypropylenová vlákna, Biosteel, Zylon a multi-vrstvená dvouosá útková pletenina. Tyto materiály můžeme aplikovat pro výrobu neprůstřelných vest a helem. Zajímavou neprůstřelnou vestou je Dragon Skin. Kompozity složené z uvedených materiálů mají významné využití u vojenských obrněných vozidel, v letadlech. V závěru práce se zabývám budoucností vývoje materiálu u neprůstřelných vest a letadel.

Klíčová slova: vysokopevnostní vlákna, neprůstřelné vesty, neprůstřelné helmy, kompozity

ABSTRACT

Fibrous materials are widely used in industry. Fibres with high strength are advantageously used for production of protective equipment of soldiers, such as helmets and vests. In this work, high-strength fibres are shown – glass, carbon and high-strength polymer fibres as aramid, polyethylen, polypropylen fibres, Biosteel, Zylon and Multi-layered Biaxial Weft Knitted fabrics. We can use this materials for production of bulletproof vests and helmets. Interesting bulletproof vest is Dragon Skin. Composites. Employing mentioned materials, have important uses in military armored vehicles and aircrafts. In the conclusion of this work I deal with future development of the material of bulletproof vest and aircraft.

Keywords: high-strength fibres, bulletproof vests, bulletproof helms, composites

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Jiřímu Kalousovi, za cenné rady, odborné vedení a vynaložený čas při vzniku této práce. Ráda bych také poděkovala mé rodině za podporu, kterou mi poskytovali během studia.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VYSOKOPEVNOSTNÍ VLÁKNA	12
1.1 SKLENĚNÁ VLÁKNA.....	12
1.1.1 Vlastnosti.....	12
1.1.2 Výroba	13
1.1.3 Aplikace	14
1.2 ARAMIDOVÁ VLÁKNA.....	14
1.2.1 Vlastnosti.....	15
1.2.2 Výroba	16
1.2.3 Aplikace	16
1.2.4 Druhy aramidových vláken	16
1.2.4.1 Kevlar.....	17
1.2.4.2 Nomex.....	19
1.3 UHLÍKOVÁ VLÁKNA.....	19
1.3.1 Vlastnosti.....	19
1.3.2 Výroba	20
1.3.2.1 Výroba uhlíkových vláken z PAN	20
1.4 POLYETHYLENOVÁ VLÁKNA	21
1.4.1 Spectra.....	21
1.4.2 Dyneema.....	22
1.4.3 UHMW PE.....	22
1.4.3.1 Výroba UHMW PE.....	23
1.5 POLYPROPYLENOVÁ VLÁKNA	23
1.5.1 Innegra S.....	24
1.6 BIESTEEL.....	24
1.7 ZYLON.....	25
1.8 MULTI-VRSTVENÁ DVOUOSÁ ÚTKOVÁ PLETENINA (MBWK).....	26
1.8.1 Aplikace MBWK.....	27
1.8.1.1 Lékařská dlaha	27
1.8.1.2 Neprůstřelné přilby	27
1.8.1.3 Neprůstřelné vesty.....	28
2 APLIKACE	29
2.1 NEPRŮSTŘELNÉ VESTY	29
2.1.1 Historie	29
2.1.2 Vlastnosti.....	31
2.1.3 Princip	31
2.1.4 Aramidové neprůstřelné vesty.....	32
2.1.5 Spectra neprůstřelné vesty.....	32
2.1.6 Twaron neprůstřelné vesty	32
2.1.7 Poranění hrudníku pod neprůstřelnou vestou.....	33

2.2	DRAGON SKIN	33
2.3	KOMPOZITY V LETADLECH	35
2.4	STŘELNÉ ZBRANĚ	37
2.5	CHOBHAM ARMOR.....	37
3	BUDOUCNOST VE VOJENSKÉM PRŮMYSLU	40
3.1	TEKUTÝ PANCÍŘ U NEPRŮSTŘELNÝCH VEST	40
3.2	KOMPOZITY V LETECKÉM PRŮMYSLU	41
	ZÁVĚR	43
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	44
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	47
	SEZNAM OBRÁZKŮ	48
	SEZNAM TABULEK.....	49

ÚVOD

Vysokopevnostní vlákna jsou velmi důležité materiály, které se vyvíjí především z důvodů ochrany vojáků, agentů a policistů.

Nejlepším vysokopevnostním polymerním vláknem je Kevlar, který se používá nejčastěji na výrobu neprůstřelných vest.

Zvýšený zájem o vývoj neprůstřelných vest nastal po zastřelení člověka, jehož chránila neprůstřelná vesta. Selhání vesty nastalo kvůli propustnosti materiálu pro UV záření.

Současná studia se zabývají vývojem neprůstřelné vesty „tekutý pancíř“, která obsahuje kapalinu, která při zásahu projektilem ztuhne. Tato vesta má opravdu pozoruhodné vlastnosti.

Ochranná pancéřovaná vozidla používaná vojáky v boji jsou složena z kompozitního materiálu zajišťující vysokou pevnost a tvrdost vozidla.

Kompozitní materiály v letadlech jsou prokládány aramidovými, uhlíkovými nebo skleněnými vlákny. Tyto materiály jsou lehké, ale zároveň pevné a to umožňuje snižovat hmotnost letadel. Kompozitní materiály v letadlech jsou stále nově vyvíjeny. Budoucí použití mohou mít například uhlíkové nanotrubičky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VYSOKOPEVNOSTNÍ VLÁKNA

1.1 Skleněná vlákna

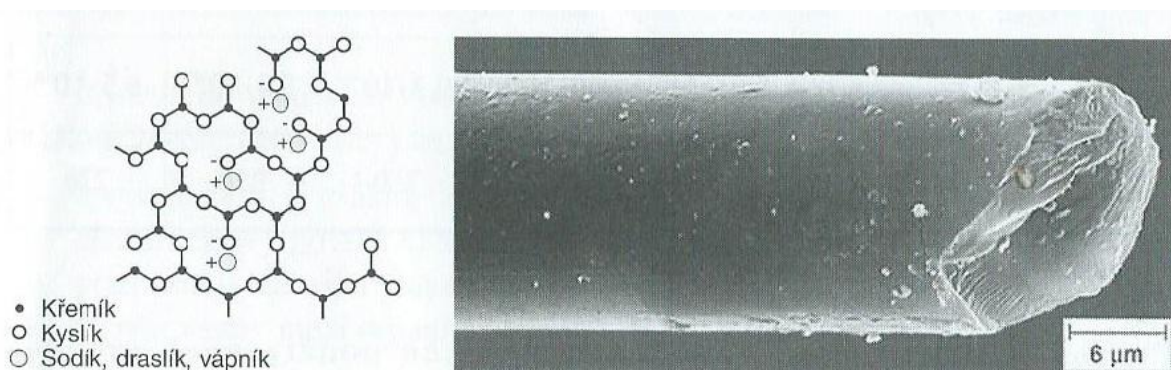
Textilní skleněná vlákna neboli glass fiber je společný název pro tenká vlákna o průměru 3,5 až 24 μm s pravidelným kruhovým průřezem [1].

1.1.1 Vlastnosti

Skleněná vlákna jsou vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou propustností pro záření, díky tomu bývají označovány jako E-vlákna, neboli elektrická a jejich sklovina se nazývá E-sklovina. Je nejčastěji používaným druhem skloviny pro výrobu vláken. Sklovina s vyšším obsahem SiO_2 , MgO a Al_2O_3 má o 40 až 70 % vyšší pevnost a v Evropě se označuje jako R-sklovina. Dalším typem je C-sklovina s vysokou odolností proti kyselinám a chemicky agresivním látkám.

Důsledkem vysoké hodnoty pevnosti a E-modulu jsou silné kovalentní vazby mezi křemíkem a kyslíkem v trojrozměrné síti skloviny. Síla jednotlivých vazeb je také závislá na druhu použitých oxidů kovů.

Skleněná vlákna jsou na základě své amorfní struktury izotropní, na rozdíl od uhlíkových a aramidových vláken. Jsou nehořlavá a dají se použít pro kompozity [1].



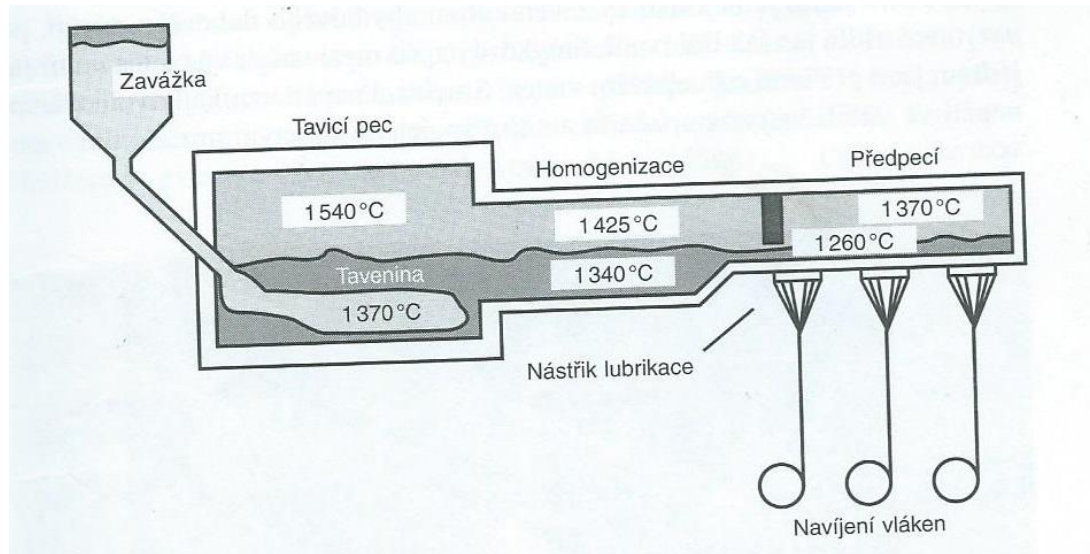
Obrázek 1. Struktura skleněného vlákna pořízena rastrovacím elektronovým mikroskopem [1].

Tabulka 1. Složení skloviny a důležité vlastnosti neupravených vláken [1].

Sklovina	E	R	C
Složení (%)			
SiO ₂	54	60	60 až 65
Al ₂ O ₃	14 až 15	25	2 až 6
CaO	-	14	14
MgO	20 až 24	3	1 až 3
B ₂ O ₃	6 až 9	< 1	2 až 7
K ₂ O	< 1	< 1	8
Na ₂ O	-	-	-
Vlastnosti			
Hustota (g.cm ⁻³)	2,6	2,53	2,52
Mez pevnosti v tahu (N.mm ⁻²)	3 400	4 400	2 400
E-modul (N.mm ⁻²)	73 000	86 000	70 000
Poměrné prodloužení při přetržení (%)	< 4,8	< 4,6	< 4,8
Součinitel teplotní roztažnosti (K ⁻¹)	5,0.10 ⁻⁶	4,0.10 ⁻⁶	6,3.10 ⁻⁶
Teplota měknutí (°C)	850	980	750

1.1.2 Výroba

Skleněná vlákna se vyrábí tažením z trysek. Jako první, ve sklářské peci, která je vyzděná žáruvzdornou keramikou, se při 1 400 °C roztaví křemičitý písek, vápenec, kaolin, dolomit, kyselina boritá a kazivec na E-sklovinu. Několik dní se čirí a poté se vede v tekutém stavu kanálky předpecí do spřádacích trysek. Trysky jsou zahřáté na takovou teplotu, aby z jejich 200 až 4 000 trysek, sklovina pomalu vytékala a rychle tuhla do tvaru vláken. Vlákna na výstupu trysky jsou asi 2 mm tlustá. Dloužením vysoce viskózních vláken na rychle rotujícím navíjecím zařízení se vlákna kalibrují na zvolený průměr, a to 10 až 14 μm. Současně se prodlužují na 40 000 násobnou délku [1].



Obrázek 2. Výroba textilních skleněných vláken tažením z trysek [1].

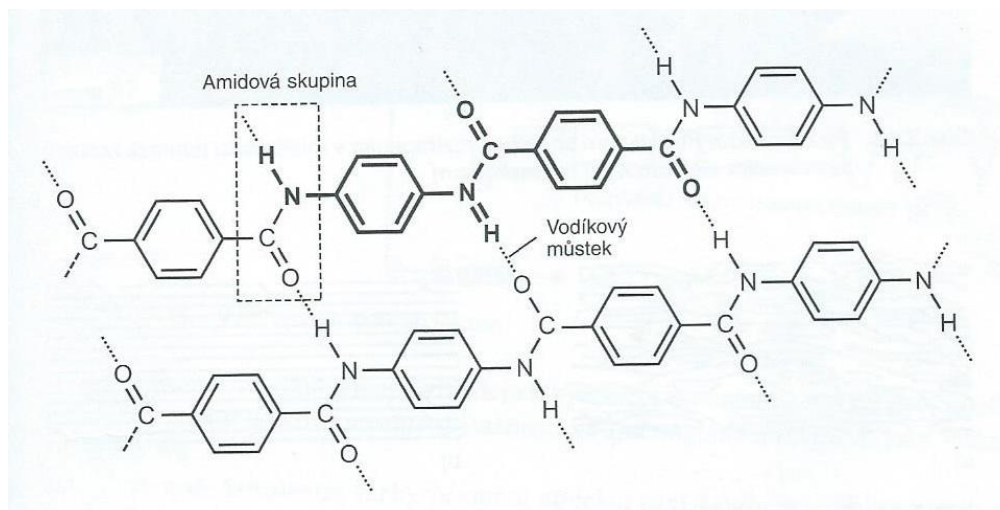
1.1.3 Aplikace

Konečné výrobky se využívají v automobilovém průmyslu, leteckém a chemickém průmyslu a také ve stavebnictví na izolace (skelná vata) [1].

1.2 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna jsou vlákna na bázi lineárních organických polymerů. Jejich kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vlákna.

Na obrázku 3 je možno vidět hlavní znaky ve struktuře aromatického polyamidu, a to tuhá hlavní řetězec (aromatická jádra) a silné vazby mezi hlavními řetězci (vodíkové můstky) [1].



Obrázek 3. Struktura aromatického polyamidu [1].

1.2.1 Vlastnosti

Předností těchto vláken je vysoká pevnost a tuhost. Molekuly jsou navzájem spojeny vazbami vodíkových můstků. Nositeli vysoké tuhosti v řetězci jsou aromatická jádra. Odhadovaná teoretická pevnost je kolem $200\,000\text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Díky pravidelnému uspořádání fenylenových jader a amidových skupin s vazbami vodíkových můstků mají řetězce vysokou tuhost a vysokou hustotu struktury uspořádání.

Jsou silně anizotropní. To znamená, že jeho vlastnosti měřené ve směru vlákna se liší od vlastností měřených v příčném směru. Teplota skelného přechodu (T_g) aramidových vláken je $300\text{ }^\circ\text{C}$ a teplota rozkladu (T_z) je $480\text{ }^\circ\text{C}$.

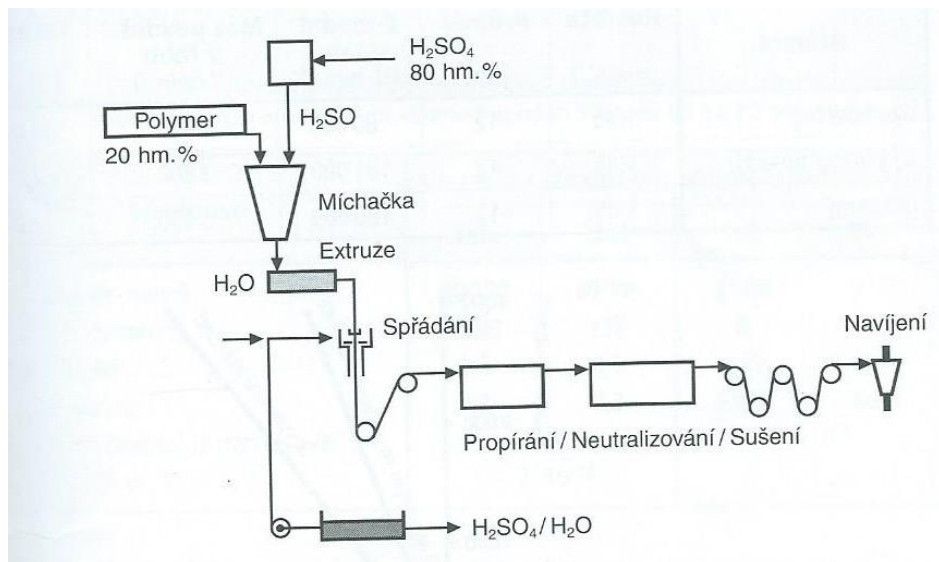
Aramidové vlákno má několik druhů, které se liší hodnotami modulu pružnosti v tahu a tažností [1].

Tabulka 2. Mechanické vlastnosti aramidových vláken [1].

Aramid	Hustota ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Průměr (μm)	E-modul v tahu ($\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$)	Mez pevnosti v tahu ($\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$)	Tažnost (%)
Vysokotažný	1,45	12	80 000	3 600	4,0
S vysokou tuhostí	1,45	12	131 000	3 800	2,8
Ultratuhy	1,45	12	186 000	3 400	2,0

1.2.2 Výroba

Vysoce krystalická vlákna se silně orientovanými molekulami se spřádají z vysokoviskózního 20 %-ního roztoku v koncentrované kyselině sírové. Jednotlivá vlákna se spojují. Pro zlepšení zpracovatelnosti se mnohokrát propírají, neutralizují a opatřují aviváží, což je prostředek pro zlepšení kluzných a zpracovatelských vlastností [1].



Obrázek 4. Výroba aramidových vláken [1].

1.2.3 Aplikace

Hlavní oblastí použití je náhrada azbestu v třecích a brzdových obloženích, výztuž pro pneumatiky, balistické aplikace a světlovodné kabely. Také jsou vhodná pro protipožární ochranné obleky.

Aramidová vlákna jsou na trhu ve formě pramenců, přízí, tkanin a povrchových rohoží [1].

Kompozity potažené aramidovým vláknem mohou být používány v kombinaci s uhlíkovými a skleněnými vlákny ve vojenských a technických účelech [17].

1.2.4 Druhy aramidových vláken

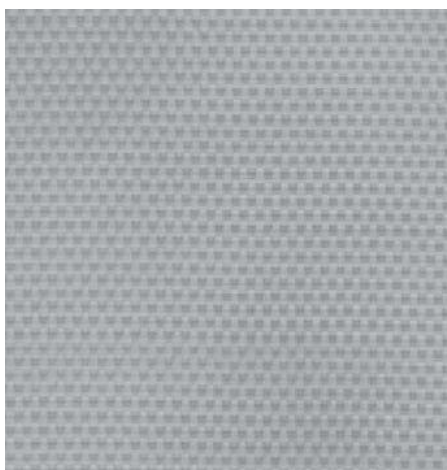
Mezi aramidová vlákna patří Kevlar a Nomex.

1.2.4.1 Kevlar

Poly (para-fenylentereftal) amid (PPTA), jehož obchodní název je Kevlar, je nejznámějším para-aramidovým vláknem.

Kevlar se skládá z dlouhých řetězců molekul vyrobených z PPTA.

Tento moderní materiál je lehký, má vysokou pevnost a poskytuje ochranu na extrémní náraz.



Obrázek 5. Kevlarová textilie [17].

Vlastnosti kevlarové textilie jsou vysoká pevnost v tahu při nízké hmotnosti, vynikající rozměrová stabilita, nízká tažnost, vysoký modul a houževnatost, je ohnivzdorný a samozhášivý, dále vysoká chemická odolnost, nízká elektrická vodivost, nízké tepelné smršťování, degradace pod UV světlem.

Kevlar je syntetizován v roztoku z monomerů 1,4-fenylendiaminu a tereftaloylchloridu v kondenzační reakci, získáme kyselinu chlorovodíkovou jako vedlejší produkt.

Výroba Kevlaru je nákladná, kvůli obtížím vyplývajících z použití koncentrované kyseliny sírové potřebné k udržení ve vodě nerozpustného polymeru v roztoku v průběhu jeho syntézy a zvlákňování.

Existuje mnoho meziřetězcových vazeb, které tvoří materiál extrémně silný.

Kevlar má relativně tvrdé molekuly, které mají tendenci tvořit většinou hladké vrstvené struktury.

Tento polymer má velmi dobrou odolnost vůči vysokým teplotám a může udržet svou pevnost a odolnost při kryogenní teplotě $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při vyšších teplotách se pevnost v tahu sníží o 1-20 %.

Ke snížení pevnosti o 50 % dochází při vystavení teplotě $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 3 dnů.

Tepelné zpracování pod napětím zlepšuje konstrukční dokonalost.

Kevlar 29 má menší modul než další uspořádané formy s vyšším modulem jako např. Kevlar 49 a 149, jak můžete vidět v tabulce 3.

Kevlar se používá pro radiální pneumatiky, pro nafukovací zařízení a pro vojenské a mechanické aplikace. Existují tři stupně Kevlaru používané jako výztuž v těchto produktech. Kevlar 29 je lehký a vhodný pro balistické vesty. Kevlar 49 má velmi vysokou pevnost v tahu a je používán jako vyztužující vlákno v elastomerních kompozitech pro automobily, lodě a letadla. Pogumovaný Kevlar je možno použít namísto tradičních ocelových komponentů při výrobě pneumatik, díky jeho poměru pevnosti k hmotnosti. Pogumovaný Kevlar se používá jako vnitřní obložení pro některé cyklistické pneumatiky, aby se zabránilo propíchnutí. Elastomerem potažený Kevlar může být použit pro ochranné oblečení motorkářů. Vysoce výkonný povlak se používá pro posílení hadic používaných ve vysokoteplotních aplikacích. Kevlar 149 má nejvyšší modul pružnosti v tahu ze všech komerčně dostupných aramidových vláken. Modul pružnosti v tahu u Kevlaru 149 je o 40 % vyšší než u Kevlaru 49. Kevlar 149 má rovnovážný obsah vlhkosti 1,2 % při relativní vlhkosti vzduchu 65 % a při teplotě $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je téměř o 70 % nižší než u Kevlaru 49 za podobných podmínek. Jedním ze zajímavých aplikací Kevlaru 149 je měkká lehká zbroj, helmy používané k ochraně policistů a vojenského personálu. Kevlar 149 netaje, je samozhášivý, zuhelňuje při $427\text{ }^{\circ}\text{C}$, dobrá chemická odolnost s výjimkou několika silných kyselin a zásad, je citlivý na ultrafialové záření. Delší vystavení přímému slunečnímu záření způsobuje zbarvení a významnou ztrátu pevnosti v tahu [17, 18, 19].

Tabulka 3. Vlastnosti kevlarových vláken [19].

	Kevlar 29 (vysoká tuhost)	Kevlar 49 (vysoký modul)	Kevlar 149 (ultra vysoký modul)
Hustota ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1,44	1,44	1,47
Průměr vlákna (μm)	12	12	12
Modul pružnosti v tahu (GPa)	83	131	186

Pevnost v tahu (GPa)	3,6	3,6 - 4,1	3,4
Pevnost v prodloužení (%)	4,0	2,8	2,0
Počet vláken	134 - 10 000	134 - 5 000	134 - 1 000
Koeficient tepelné expanze ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	-2,9	-2	-1,9
Poissonovo číslo	0,37	0,35	0,30

1.2.4.2 Nomex

Poly (metafenylentereftal) amid, obchodní název Nomex. Je to tedy meta-aramidové vlákno. Má částečně orientovanou strukturu. Jeho tvar zabraňuje tvorbě kapalných krystalů [16].

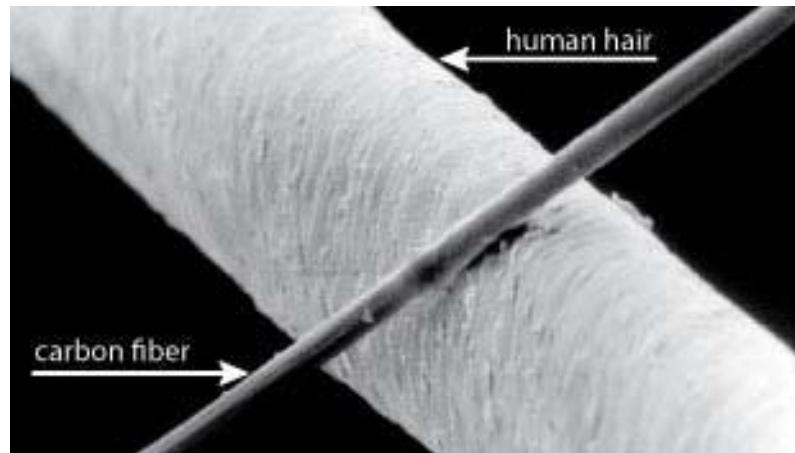
Polymer potažený Nomexem lze použít u ochranných pomůcek, které mohou nabídnout vysokou tepelnou odolnost a retardaci plamene [19].

1.3 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna jsou složená výhradně z uhlíkových atomů. Jsou to technická vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí. Mají ovšem nízkou tažnost [1].

1.3.1 Vlastnosti

Uhlíková vlákna mají vysokou pevnost a hodnoty E-modulu až do teploty 500 °C. Jsou silně anizotropní. Za normálních teplot jsou velmi křehká a při zpracování se snadno lámou. Proto se povrchově upravují apretací směsí na bázi epoxidové pryskyřice. Vlákna mají průměr 5 až 10 μm [1].



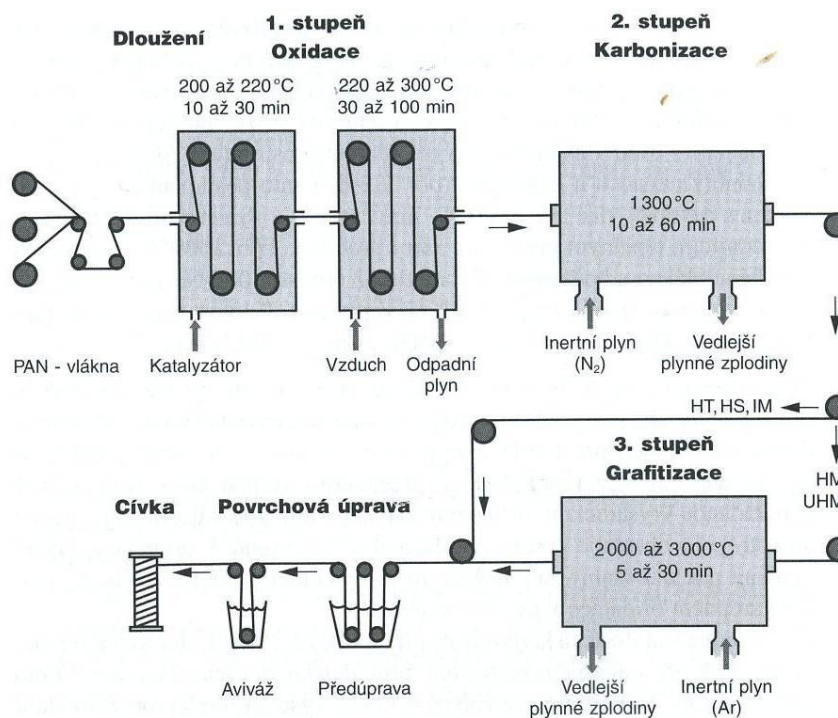
Obrázek 6. Porovnání tloušťky uhlíkového vlákna a lidského vlasu [2].

1.3.2 Výroba

Výchozí surovinou pro výrobu těchto vláken jsou celulóza, polyakrylonitril (PAN) a smola. Vlákna vyrobená z celulózy mají méně dokonalou strukturu, používají se jako izolační materiál pro vysoké teploty. Vlákna vyrobená z PAN se používají dnes častěji a jsou považována za standardní vlákna. Výroba vlákna ze smoly je velmi nákladný způsob přípravy vláken. Tato vlákna však mají velmi vysokou hodnotu E-modulu a velmi dobré tepelné a elektrické vlastnosti [1].

1.3.2.1 Výroba uhlíkových vláken z PAN

PAN je dlužen k dosažení co největší orientace molekul ve směru osy vlákna, poté jsou vlákna stabilizována zahříváním na 200 až 300 °C za přítupu vzduchu. Při této teplotě dochází k dehydrataci PAN a jeho přeměně na žebříčkový polymer. Následuje oxidace za přítupu vzduchu a poté je při teplotě 1300 °C v atmosféře inertního plynu přeměněn na grafickou strukturu. Vyrobena vlákna mají E-modul až 400 000 MPa a pevnost více než 5000 MPa [1].



Obrázek 7. Schéma výroby uhlíkových vláken z PAN [1].

1.4 Polyethylenová vlákna

Polyethylenová vlákna s vysokým modulem pružnosti (High Modulus Polyethylene Fibres – HMPE) typu Dyneema a Spectra jsou vyrobené z polyethylenu s velmi vysokou molekulovou hmotností. Krystalická síť zahrnuje prodloužené řetězce s vysokou hustotou kovalentních vazeb podél všech rovin, ale s velmi slabými Van der Waalsovými vazbami na řetězci [3].

1.4.1 Spectra

Spectra je vyráběna spřádáním z roztoku vysoce molekulárního polyethylenu. Spřádání z roztoku přináší vysoce orientovanou vláknitou strukturu s mimořádně vysokou krystalinitou (95–99 %).

Vynikající vlastnosti Spectra vláken je nízká absorpce vlhkosti (1 % ve srovnání s 5–6 % u Kevlaru 49) a vysoká odolnost vůči oděru. Teplota tání Spectra vláken je nízká, a to 147 °C. Spectra vlákna mají vysoký stupeň tečení nad 100 °C. Teplota použití vláken je 80 až 90 °C.

Spectra vlákna mají vysokou odolnost proti nárazům, u kompozitních laminátů i při nízkých teplotách, a díky tomu mají stále větší uplatnění u balistických kompozitů [3].

1.4.2 Dyneema

Dyneema je vlákno s vysokou pevností a modulem, vysokou rázovou houževnatostí, ale s nízkou hustotou. Vlákno má vysokou životnost a vynikající světelnou a chemickou stabilitu. Lano z Dyneemy o průměru 1 mm může nést až 240 kg nákladu.

Vlákna Dyneema se používají pro horolezecká lana, rybářské sítě, kabely, ochranné látkové rukavice, chemické filtry. Použití v kompozitech pro jezdecké přilby, sportovní a automobilové kompozity [4, 13].



Obrázek 8. Horolezecká smyčka vyrobená z Dyneemy [9].

1.4.3 UHMW PE

Ultra high oriented polyethylene fibre (UHMW PE) jsou ultra vysoce orientované polyethylenové vlákna. UHMW PE je desetkrát silnější než ocel a o 50 % lehčí než aramidová vlákna. Mají stále častější využití díky jejich extrémně vysoké tuhosti a pevnosti.

UHMW PE se skládá z uspořádaných polymerních řetězců s vysokým prodloužením a dobrou odolností proti nárazu.

I přes pozoruhodné vlastnosti, nízký modul a mez pevnosti v tahu mají poměrně vysoké náklady na ošetření povrchu vláken pro zlepšení přilnavosti vlákna a matrice.

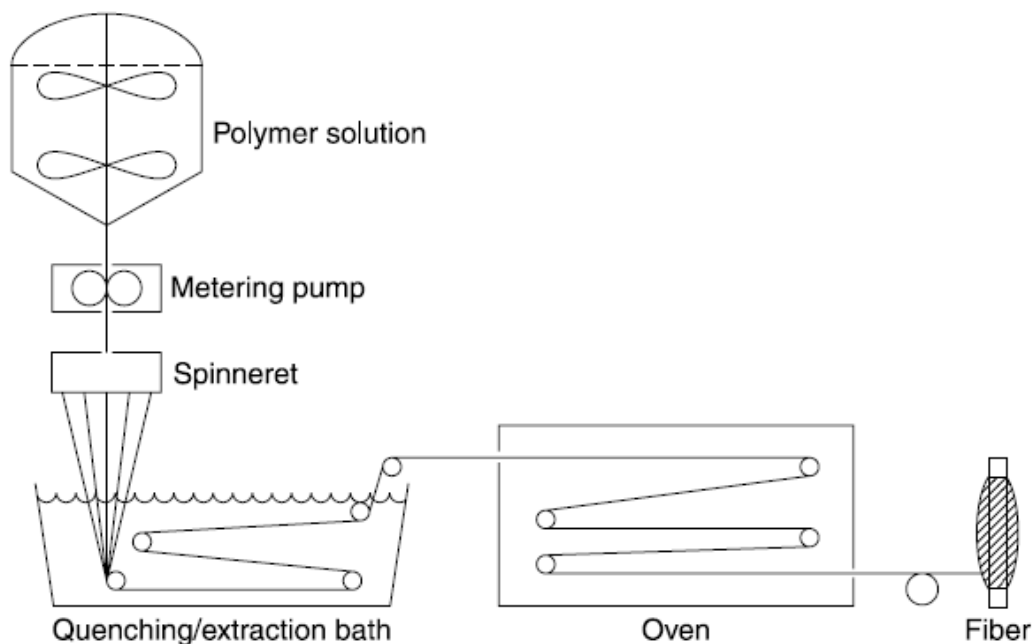
Vlákno UHMW PE je o 35 % silnější než Kevlar a má vysokou energii dávající významné balistické vlastnosti.

Možné aplikace jako kompozity pro lodní trupy, sportovní zařízení, konstrukční prvky a také aplikace v leteckém průmyslu [3, 13, 17].

1.4.3.1 Výroba UHMW PE

1-2 %-ní roztok UHMW PE je míchán a přes dávkovací čerpadlo přechází do zvlákňovací trysky. Dále vlákna přechází do chladicí lázně obsahující vodu. Po ochlazení získáme vlákno, které obsahuje velké množství rozpouštědla. K získání vlákna s dostatečnou mechanickou pevností, musí být vlákno transportováno do pece. V peci se odpařuje rozpouštědlo a tažená vlákna jsou namotána na cívky.

Takto lze získat i produkty Spectra a Dyneema [13].



Obrázek 9. Schéma diagramu zvlákňování z roztoku u UHMW PE [13].

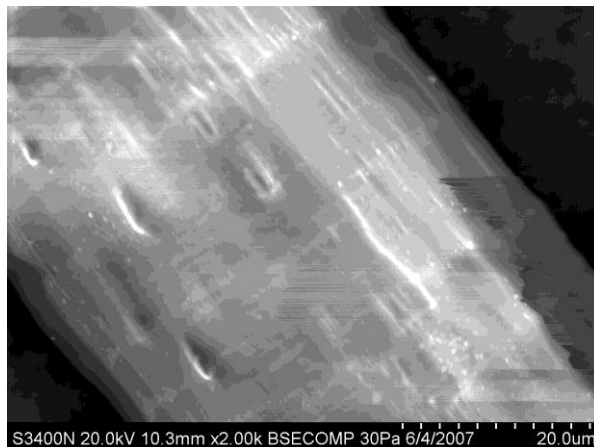
1.5 Polypropylenová vlákna

Příkladem polypropylenového vlákna je Innegra S.

1.5.1 Innegra S

Innegra S má excelentní dielektrické vlastnosti, je hydrofobní. Má nízký creep (tečení hmoty vlivem gravitace), nízkou hustotu a nízké prodloužení. Je vysoce krystalická.

Innegra S je recyklovatelná, houževnatá, tvarovatelná a biologicky a chemicky stabilní [14].



Obrázek 10. Vlákno Innegra S [15].

1.6 Biosteel

Vlákno Biosteel je vyrobené z proteinů vylučovaných transgenními kozami (geneticky modifikované zvíře). Je o 25 % lehčí než Kevlar a je také 10 x silnější a flexibilnější než ocel.

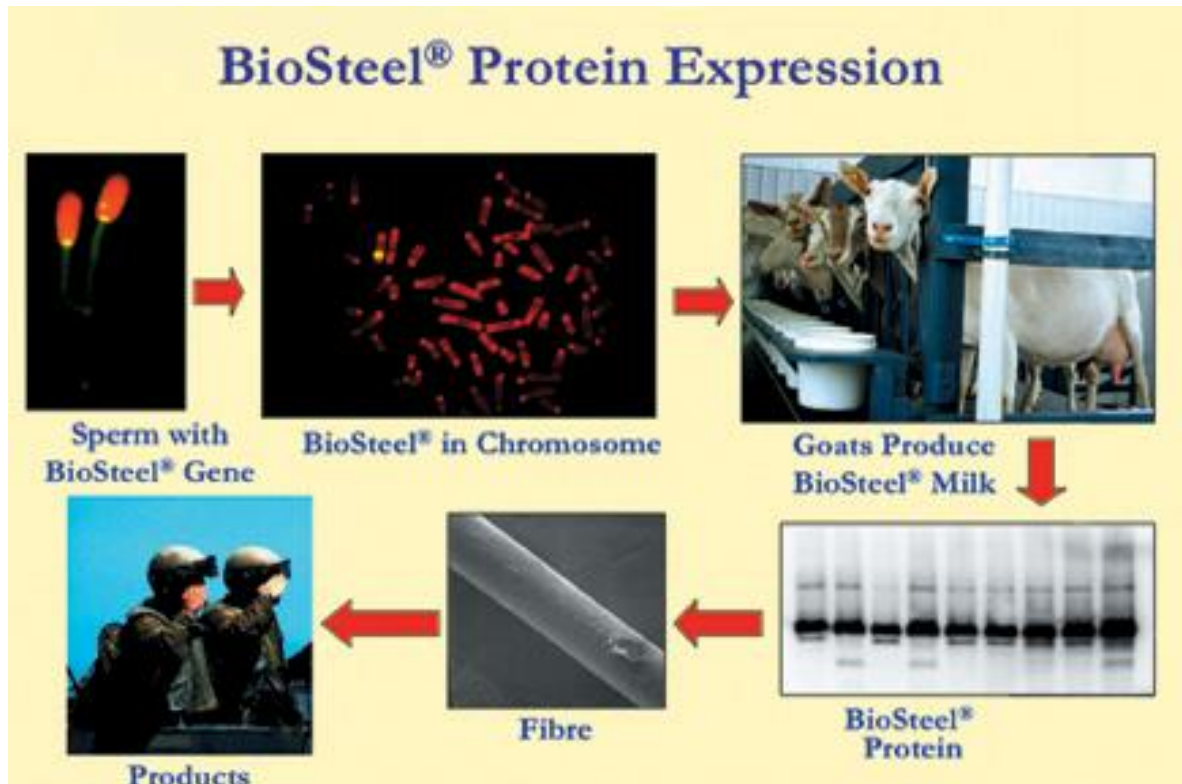


Obrázek 11. Vlákno z Biosteelu [7].

Vlákno je šetrné k životnímu prostředí, je produkováno ve velkém měřítku bez znečištění.

Má vysokou přirozenou retardaci hoření.

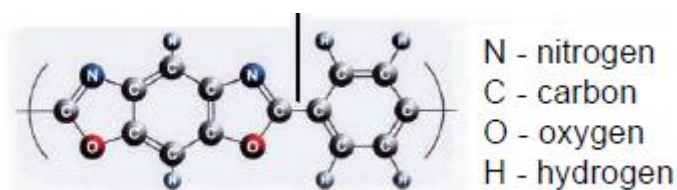
Cílené aplikace jsou ve zdravotnickém zařízení, průmyslová a sportovní lana, rybářské vlasce, v letectví a dopravě, ve vojenství a polymerní sítě jako výztuž pro balistickou ochranu [5, 6].



Obrázek 12. Výroba Biosteelu [8].

1.7 Zylon

Zylon je poly (fenylen-2,6-benzobisoxazol), neboli PBO. Zylon je alternativou Kevlaru s vysokou pevností polymerních vláken používané pro neprůstřelné vesty. Zylon byl vyroben firmou Toyobo z Japonska.



Obrázek 13. Chemická struktura Zylonu [18].

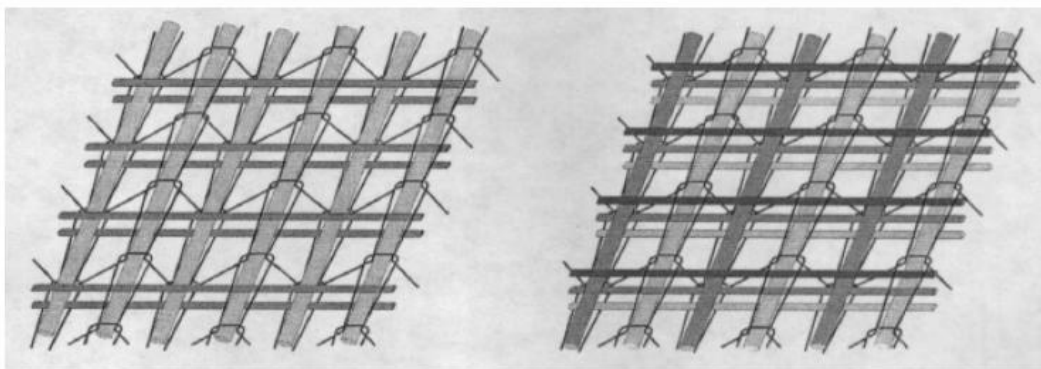
Aromatická šesti-uhlíková cyklická fenylenová skupina přispívá k tuhosti podobné kevlaru. Zylon avšak není polyamid jako Kevlar. Kromě fenylenových skupin jsou tam dva oxazolové pětičlenné kruhy. Kyselina fosforečná se podílí na jeho výrobě, která musí být důkladně odstraněna pro dlouhodobou stabilitu polymeru. Zylon je náchylný k degradaci. Kyselina fosforečná může přispívat k hydrolytické degradaci. Atraktivním znakem zylonových vest je, že jsou mnohem lehčí než jiná vlákna používaná při výrobě balistických vest.

Zylonové neprůstřelné vesty podstoupily intenzivní studium především americkou vládou poté, co byli v roce 2003 dva policisté postřeleni. Jeden v Kalifornii zemřel, když dvě ze tří 9 mm kulek pronikly přes vestu a vstoupily do těla a další byl v Pensylvánii postřelen a 40 ráží kulky, která pronikla jeho vestou. Měl vážná zranění, ale přežil.

Národní institut spravedlnosti v roce 2005 hlásil, že zylonová vlákna vykazují systematickou ztrátu pevnosti v tahu, došlo k rozpadu oxazolových kruhů, pětičlenných kruhů, obsahující dusík a kyslík, k čemuž došlo v důsledku působení vlhkosti a světla [18].

1.8 Multi-vrstvená dvouosá útková pletenina (MBWK)

Multi-layered Biaxial Weft Knitted fabrics (MBWK). Tato tkanina má výborné mechanické vlastnosti. Má nízkou povrchovou tvárnost. Pevnost MBWK látky je větší než 90 % pevnosti příze ve srovnání s běžnými tkaninami, kde pevnost je pouze 70 %, což je způsobeno strukturou tkaniny. Osnovní a útková příze jsou vzájemně rovnoběžné [10].



Obrázek 14. Schéma struktury MBWK [10].

1.8.1 Aplikace MBWK

1.8.1.1 Lékařská dlaha

Lékařská dlaha je vícevrstvá dvouosá útková pletená textilie povrstvená fotosenzitivní pryskyřicí. K upevnění musí být vystavena slunečnímu záření [10].



Obrázek 15. Lékařská dlaha [10].

1.8.1.2 Neprůstřelné přilby

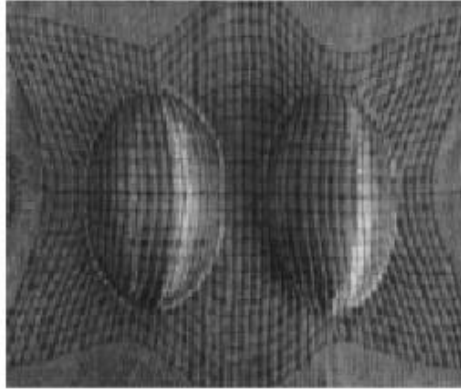
Dvouosý útek pleteniny je výhodný ve formování neprůstřelné helmy. Tkanina má dobré tvářecí vlastnosti a je možno vytvořit objekt pomocí jediného kusu látky s hladkým 3D povrchem. Příze jsou zarovnány, čímž se využívá plný potenciál vysoce výkonné příze a reaguje rychle na napětí [10].



Obrázek 16. Neprůstřelná helma [10].

1.8.1.3 Neprůstřelné vesty

Tkanina má vynikající vlastnosti jako odolnost proti průrazu. Bylo prokázáno, že pletenina má dobrou tvarovatelnost do tvaru dvou polokoulí, netvoří se vrásky a jiné nežádoucí jevy po tváření. Tkanina je vhodná zejména pro výrobu ochrany ženské hrudi [10].



Obrázek 17. Neprůstřelná vesta pro ženy [10].

2 APLIKACE

Nejrozšířenější aplikací vysokopevnostních vláken je ochranné oblečení, jako jsou neprůstřelné vesty a helmy.

Ráda bych se dále v této části zmínila o dalších polymerech, které se používají ve vojenském průmyslu. Důležitým polymerem, který se využívá ve vojenském průmyslu je akrylonitrilbutadienstyren (ABS), který je obsažen na pažbě u střelných zbraní. Další významnou aplikací jsou pancéřovaná vozidla a letadla, pro jejichž výrobu se používají kompozitní materiály.

2.1 Neprůstřelné vesty

2.1.1 Historie

V roce 1364 bylo zaznamenáno první použití střelné zbraně. Střelec rukou zapálil knot a vznítil se střelný prach, který byl vložen do hlavně pistole.

První měkká neprůstřelná vesta byla vynalezena ve firmě Joseon v Koreji.

V roce 1860 byly tyto vesty vyrobeny ze 13-ti záhybů bavlny, ačkoliv byly vesty v té době účinné proti kulkám, byly snadno hořlavé a v létě příliš teplé na nošení.

Od roku 1800 do 1. světové války byly použity různé kovy jako suroviny pro výrobu neprůstřelných vest, například směs železného šrotu (44 kg) a chrom niklové oceli (18 kg). Tyto kovové vesty byly velmi těžké, dělaly uživatele nemotornými a těžkopádnými. Na konci roku 1800 byla vyrobená vesta z hedvábné tkaniny, která mohla zastavit relativně pomalou ránu z černého prachu z ruční zbraně. Avšak vesty byly v té době velmi drahé [13].



Obrázek 18. Německá vesta z 1. světové války [13].

V roce 1969 byla vyrobena „americká neprůstředlná vesta“, která byla vyráběna z patentované kombinace prošivaného nylonu s několika ocelovými deskami. Ta byla na trh uvedena pod obchodním názvem Barrier Vest. Byla první policejní vrstvou mající široké využití při policejních operacích ve vysokém ohrožení.

V polovině roku 1970 DuPont vyvinul vysoce účinné kapalně krystalické vlákna Kevlar, což je ochranná známka pro lehké, silné para-aramidové syntetické vlákno.

Od roku 1970 bylo vyvinuto několik nových vláken a konstrukčních metod pro neprůstředlné látky, kromě Kevlaru i Dyneema od DSM, Gold Flex a Spectra od Honeywell, Twaron od Teijin Twaron a Zylon od Toyobo. Tyto novější materiály jsou lehčí, tenčí a odolnější než Kevlar, ale mnohem dražší.

Dva hlavní typy polymerních vláken běžně používané v komerčních balistických vestách v současné době jsou para-aramid a polyethylenová vlákna o ultra vysoké molekulové hmotnosti.

Kevlar byl první materiál pro použití v moderní generaci ochranných brnění. O něco později Akzo Nobel vyvinul alternativní formu para-aramidových vláken známých jako Twaron [13].

2.1.2 Vlastnosti

Ochranný oděv je důležitý produkt technických textilií. Obsahují vysoce výkonné vlákna na bázi materiálů, jako je para-aramid (Kevlar, Twaron), polyethylen o vysoké hustotě (Dyneema), vyznačující se obrovskou pevností v tahu, u para-aramidu asi $2\,900\text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$.

Zatímco vesty brání před kulkami, stále bohužel nemůže vesta bránit před bodnými zbraněmi, jako jsou nože. Statisticky hrozba napadení s nožem v ruce je mnohem vyšší než riziko, že bude osoba zastřelena a to zejména v západní Evropě, protože je mnohem obtížnější zde získat zbraň. Některé postupy jsou použity pro zlepšení odolnosti proti probodnutí, jako například začlenění kovových fólií nebo keramických destiček do vesty. Vesta má hmotnost typicky 5-6 kg. Vesta nabízí nízký komfort a to z důvodu, že je těžká a tuhá. Je zajímavé, že textilie selže, pokud je nasáklá vodou, ale po vysušení se obnoví ochranné vlastnosti. V současné době je para-aramidový materiál, který je použit v neprůstřelných vestách, zabalen ve vodotěsné fólii, která je jedním z důvodů, proč ochranná vesta přináší velmi špatný komfort, jelikož jsou vesty nepropustné pro vzduch [11].



Obrázek 19. Neprůstřelná vesta [20].

2.1.3 Princip

V případě rychlosti střely menší než 2000 m/s, neprůstřelné vesty obsahují vrstvy velmi silných vláken k zachycení a deformování kulky, ta deformuje materiál do tvaru misky a šíří svoji sílu přes větší část tkaniny vesty. Vesta absorbuje energii z deformující střely.

Když je balistický materiál zasažen kulkou, vlákna budou namáhána zejména ve směru osy vláken a díky obrovské pevnosti vláken v tahu, je schopen projektil zastavit [13].

2.1.4 Aramidové neprůstřelné vesty

Para-aramidy jsou dlouhé řetězce syntetických polyamidů. Vysoce orientované dlouhé molekulární řetězce para-aramidu poskytují bezpečné meziřetězcové vazby, díky čemuž mají vysokou pevnost s nízkou hmotností, vysokou chemickou odolnost, vysokou odolnost proti prořezu a odolnost plamenu.

Para-aramidové vlákno má špatnou odolnost proti UV záření. Pokud není materiál uložen ve tmě, v krátkém čase mění barvu, polymer degraduje. Dlouhodobé vystavení ultrafialovému záření s největší pravděpodobností zničí balistické vlastnosti para-aramidové tkaniny kvůli snížení pevnosti v tahu.

Asi 30 vrstev para-aramidových tkanin (hmotnost tkaniny 200 g.m^{-2}) je schopno zastavit projektil z většiny běžných ručních zbraní [11, 13].

2.1.5 Spectra neprůstřelné vesty

Spectra vesty jsou vyrobeny z netkané textilie, která má paralelní příze z materiálu, který je spojen pryskyřicí. Od 8 do 30 vrstev tkaniny Spectra jsou vrstveny a sešity se střídavými vrstvami v pravém úhlu k sobě navzájem. Každá dvojice vláken je dělena polyethylenovou fólií. Vesty jsou šité z polyesteru, bavlny nebo nylonovým vláknem.

Spectra (nebo Kevlar) destičky jsou všité uvnitř nebo vloženy ve tvaru kapes, další kapsy mohou být umístěny v problémových lokalitách [12].

2.1.6 Twaron neprůstřelné vesty

Toto vlákno bylo používáno jako 1000 nebo více spředených jednotlivých vláken, které působí jako energetická houba absorbující dopad kulky a rychle ztratí energii prostřednictvím přilehlých vláken. Při použití více vláken je dopad rozptýlen ještě rychleji.

Akzo tvrdí, že jejich patentovaná technologie mikrovláken umožňuje maximální absorpci energie na minimum hmotnosti a zvyšuje komfort a flexibilitu [13].

2.1.7 Poranění hrudníku pod neprůstřelnou vestou

Ačkoli balistické ochranné vesty účinně snižují úmrtnost ze střelných zbraní, stále ještě dochází k významnému poranění. Je zde uveden příklad účinku přenášených sil přes ochrannou vestu, což vede k výraznému zhmoždění hrudníku.

Na obrázku 20 je možno vidět poranění od výstřelu do hrudi zblízka po použití ochranné vesty vyrobené pro civilní a vojenské účely [22].



Obrázek 20. Poranění hrudníku [22].

2.2 Dragon Skin

Dragon Skin neboli dračí kůže je další typ neprůstřelné vesty, která byla vyvinuta k ochraně amerických vojáků kvůli rostoucímu počtu výbušných zařízení a střel na bojištích po celém světě.

Dragon Skin je extrémně silná a odolná balistická vesta, která byl navržena společností Pinnacle Armor v Kalifornii.

Tyto vesty jsou vyrobeny z disků z karbidu křemíku, keramiky a laminátů, které jsou vzájemně propojeny jako středověká zbroj.

Na obrázku 21 je Dragon Skin vesta, při pohledu na vestu můžete vidět disky vyrýsované na látce, ze kterých je vesta složena.

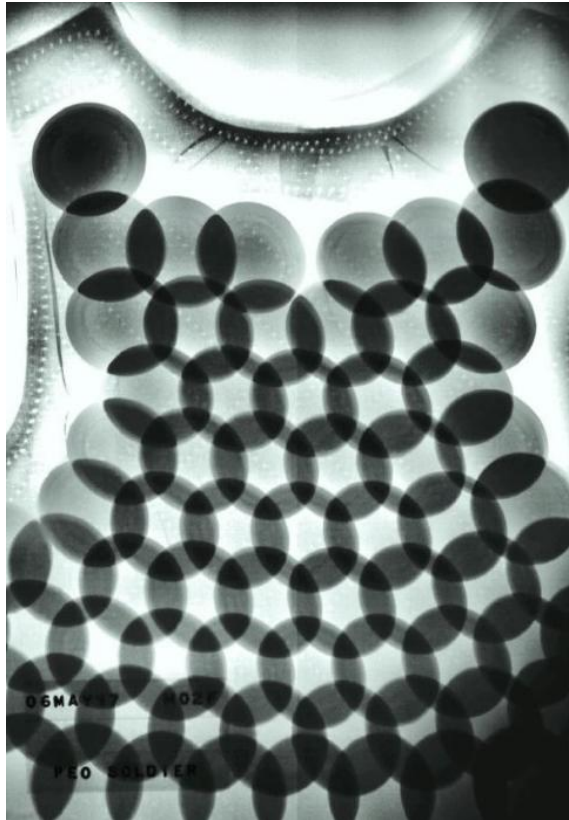


Obrázek 21. Dragon Skin vesta [25].

Brnění Dragon Skin bylo vyvinuto na pomoc vojákům lépe odolávat silným přímým výbuchům a zásahům od kulek a střepin. Testy prokázaly, že brnění odolá čtyřiceti nábojům na krátkou vzdálenost. Někteří vojenští pozorovatelé tvrdí, že vesty Dragon Skin jsou tak pevné, že můžou chránit vojáka ležícího na vybuchujícím granátu.

Dragon Skin vesty mají jedinečný design. Negativně však působí na vestu příliš nízké a vysoké teploty, ty oslabují lepidlo, které drží disky pohromadě. Dalším negativem je hmotnost vesty, což může být problém pro vojáky, kteří potřebují nosit spoustu zařízení, ale hlavně při pohyblivosti. Dragon Skin vesta váží 21,5 kg.

Zatímco Dragon Skin nebyl přijat celou americkou armádou, je používán americkými speciálními silami a agenty CIA, v Iráku a Afganistánu. Tyto vesty jsou také používány několika americkými SWAT týmy a tajnou službou, které je používají u agentů chránící amerického prezidenta [23,24].



Obrázek 22. Rentgen vesty Dragon Skin [26].

2.3 Kompozity v letadlech

Kompozity byly poprvé použity pro vojenská letadla během druhé světové války.

V současné době se používají pro soukromé tryskáče a moderní komerční letadla, a také v kosmickém průmyslu.

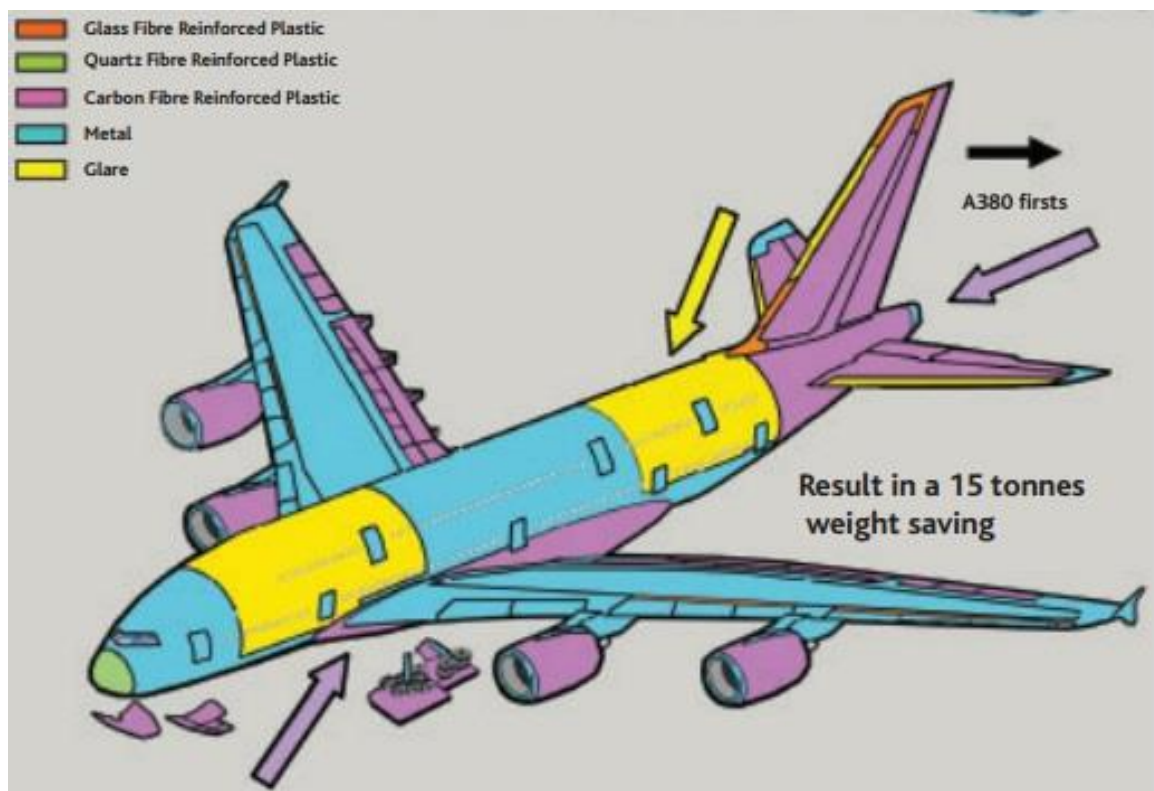
Tři nejběžnější stávající typy kompozitů jsou vyztuženy skelnými, uhlíkovými a aramidovými vlákny.

U skelných vláken jsou matrice vyztuženy jemnými skelnými vlákny. Skelná vlákna jsou lehká, extrémně silná a pevná. Pevnostní vlastnosti jsou avšak o něco nižší než u uhlíkových vláken. Dalším typem jsou tedy uhlíková vlákna a aramidová vlákna.

Kompozitní materiály se používají stále častěji, hlavně v průmyslu, letectví a námořnictví. Kompozity nekorodují tak jako kovy. Kombinace koroze a vzniku únavových trhlin je významný problém pro komerční hliníkové konstrukce. Vynikající vlastností kompozitů je tedy odolnost proti korozi, únavě a dobrá odolnost proti nárazu. Výhodou kompozitů je

nižší hmotnost, dále také vysoká odolnost proti nárazu, jako například u Kevlaru, který je použit na pancéřové štíty letadla. Také vysoká tolerance poškození zvyšuje šanci v případě nehody letadla. Další výhodou je problém s korozí, který by nastal u dvou kovů v kontaktu, zejména ve vlhkém mořském prostředí, zde díky nevodivým sklolaminátům jsou tyto problémy vyloučeny. Důležitou výhodou je také menší spotřeba paliva. Nevýhodou jsou však vyšší materiálové náklady.

Na obrázku 23 je možno vidět materiál, ze kterého je složen Airbus A380, kde největší zastoupení mají karbonová vlákna, dále kov, glare (glass laminate aluminium reinforced epoxy), což je kompozitní materiál tvořený skleněnými vlákny a hliníkem vyztužený epoxidovou pryskyřicí, křemenná a skleněná vlákna [27].



Obrázek 23. Materiály, ze kterých je složen Airbus A380 [27].

Cílem každé letecké společnosti je vybrat nejvhodnější materiál pro konkrétní aplikaci, která povede k nejlehčí možné struktuře.

Airbus A380 je první letadlo, jehož centrální křídlo je z kompozitu z CFRP (carbon fiber reinforced plastic), tedy plastu vyztuženého uhlíkovým vláknem, tento kompozit předsta-

vuje velmi velkou úsporu hmotnosti. Nosníky horní paluby a zadní tlaková přepážka jsou také vyrobeny z CFRP [27].

2.4 Střelné zbraně

Střelná zbraň sestává z několika desítek částí, základní jsou hlaveň, zásobník, pažba, spoušť. Na obrázku 24 je možno vidět rakouskou útočnou pušku Steyr AUG s kalibrem 5,56 mm. Hmotnost této zbraně je 3,6 kg. Vyrábí se od roku 1979 až do současnosti. Plastový zásobník je na 30 nebo 42 nábojů.



Obrázek 24. Útočná zbraň Steyr AUG [29].

Zásobník i pažba zbraně jsou vyrobeny z akrylonitrilbutadienstyrenu (ABS). ABS je amorfní termoplastický průmyslový kopolymer, který je odolný vůči mechanickému poškození [29].

2.5 Chobham armor

Pancéřování typu Chobham je název pro kompozitní pancéřování, které bylo vyvinuto v roce 1960 v britském výzkumném centru v Surrey, v Anglii [28].



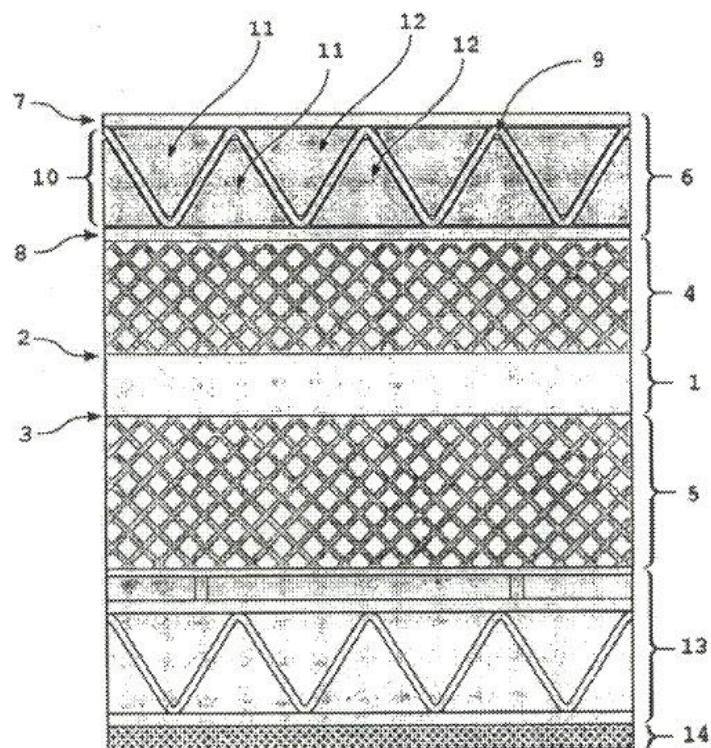
Obrázek 25. Chobham armor [28].

Na obrázku 26 můžete vidět příklad vícevrstvého kompozitního brnění založené na konceptu buněčných materiálů.

Střední vrstva (1) může být složena z pevné desky z hliníkové slitiny. Čistý hliník má poměrně malou pevnost, proto se vyskytuje spíše ve slitinách například s hořčíkem, mědí nebo křemíkem. Střední vrstva má přední (2) a zadní (3) čelo, přední čelo (2) je spojeno jednou buněčnou strukturou (4) a zadní čelo (3) je spojeno s druhou buněčnou strukturou (5).

První buněčná struktura a druhá buněčná struktura jsou multi-vrstvené pyramidové mřížkové konstrukce. Buněčný sendvičový panel (6) obsahuje hliníkovou slitinu, ale může být vyroben z vláknitých polymerních kompozitů. Horní panel (7) a spodní panel (8) jsou od sebe odděleny zvlňovacím prvkem (9). Jádro (10) má množství dutin (11).

Střídavá oblast kovu a keramiky může poskytnout různou tvrdost, což může být použito k silné deformaci velkého projektilu, což způsobí rozptýlení kinetické energie [28].

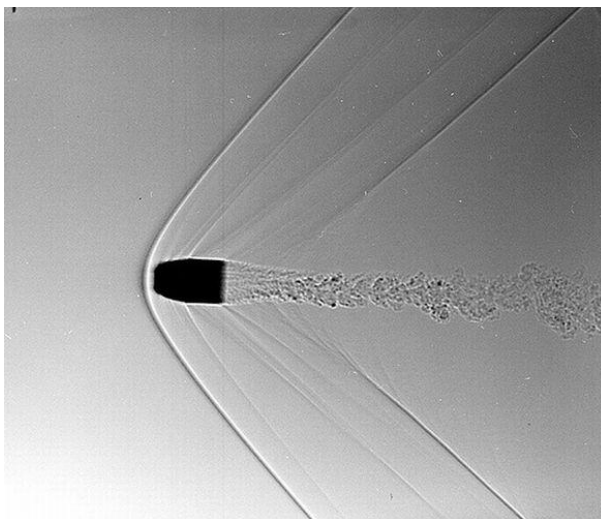


Obrázek 26. Vícevrstvé kompozitní brnění [28].

3 BUDOUCNOST VE VOJENSKÉM PRŮMYSLU

3.1 Tekutý pancíř u neprůstřelných vest

Jde o speciální tekutou látku, která při nárazu projektilu okamžitě ztuhne a rozprostře kinetickou energii na velkou plochu.

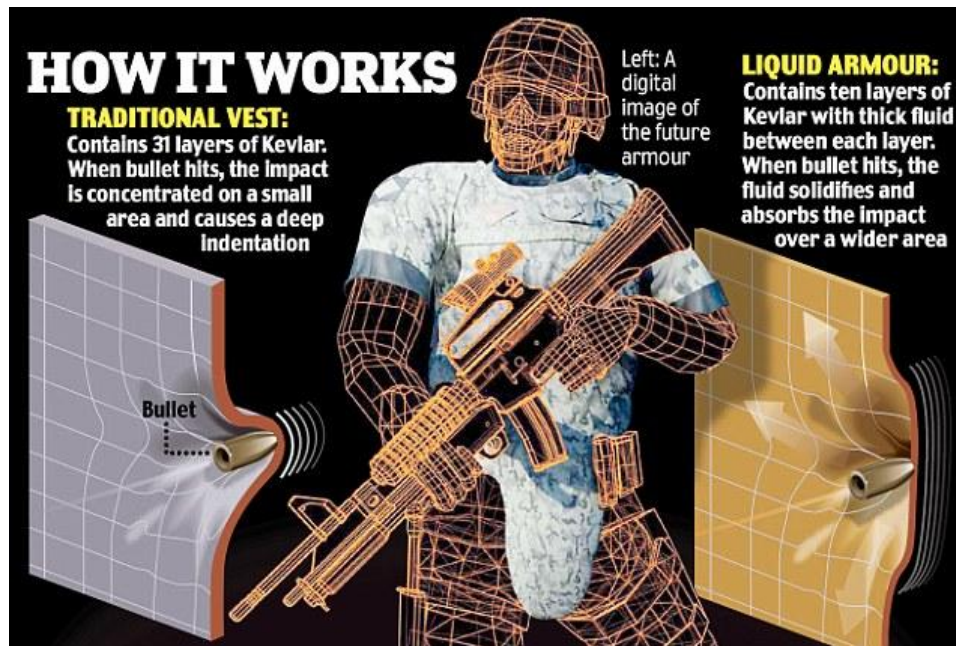


Obrázek 27. Projektil ráže 9 mm proniká tekutým pancířem [21].

Je zde možnost, že budoucí neprůstřelné vesty založené na tekutém pancíři budou mnohem lehčí, odolnější a ohebnější než ty současné.

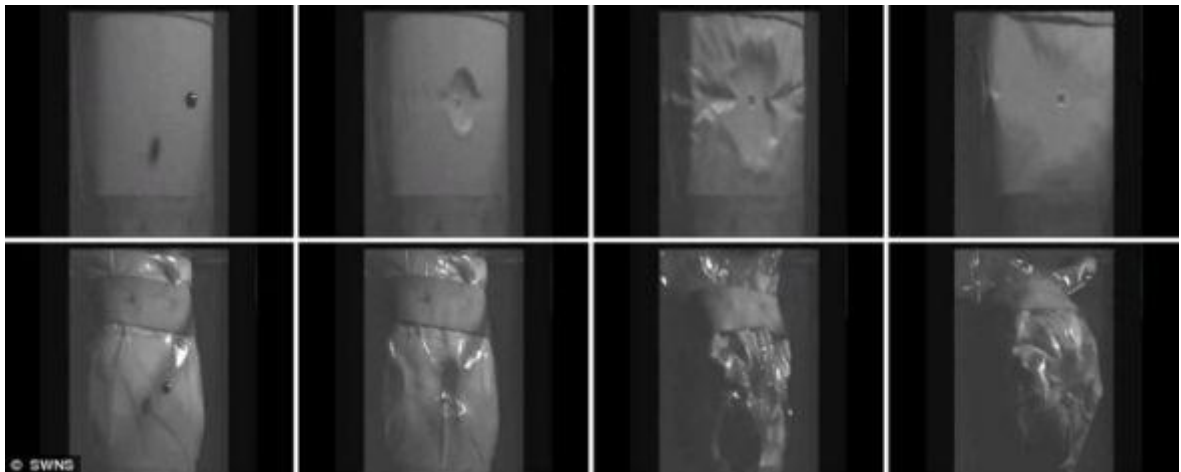
Při kombinaci tekutého pancíře s kevlarovou tkaninou budou kevlarové vesty tvořit vnější obal a samotná tekutá látka, nebo spíše krém, bude umístěna uvnitř. Díky tekutému pancíři se energie střely rozloží na mnohem větší plochu, výrazně se tak sníží namáhání kevlarových vrstev. Kromě toho, že je tekutý pancíř lehký, je také velmi ohebný. Nová generace vest nemusí chránit jen trup, ale i kloubový aparát lidského těla. Vesta bude po celou dobu plně ohebná, k samotnému ztvrdnutí tekutiny dojde až při zásahu střelou.

Tradiční vesta obsahuje 31 vrstev Kevlaru. Když kulka zasáhne vestu, náraz je koncentrovaný na malé ploše a způsobuje hluboké prohloubení. Tekutý pancíř obsahuje 10 vrstev Kevlaru s hustou tekutinou mezi každou vrstvou. Když dojde k zásahu kulkou, kapalina ztuhne a absorbuje náraz přes širší oblast. Rozdíl při zásahu kulkou a její chování můžete vidět na obrázku 28, vlevo kevlarová vesta, vpravo tekutý pancíř [20, 21].



Obrázek 28. Rozdíl zásahu kulky mezi kevlarovou vestou a tekutým pancířem [20].

Na dalším obrázku vidíme test neprůstřelných vest v kombinaci materiálů. Na horní části vidíme dopad projektilu na látku složenou z 10 vrstev Kevlaru a vrstvy tekutého pancíře. Na dolní části vidíme bortící se látku složenou z 31 vrstev Kevlaru [21].



Obrázek 29. Test neprůstřelných vest [21].

3.2 Kompozity v leteckém průmyslu

Budoucnost v leteckém průmyslu je stále pod trvalým tlakem na zlepšení výkonnosti a snížení hmotnosti letadel, dále také náklady na údržbu letadla.

Budoucnost letadel spočívá ve vývoji nových kompozitních materiálů, ještě lehčích a cenově dostupnějších než jsou teď.

V budoucnu můžeme očekávat vývoj kompozitů, jako například s uhlíkovými nanotrubičkami nebo kompozity s kovovou maticí [27].

ZÁVĚR

V této práci jsem se zabývala vysokopevnostními materiály, které se s výhodou používají ve vojenském průmyslu.

Mezi nejlépe a nejvíce používaný materiál patří Kevlar, ze kterého se vyrábí neprůstřelné vesty, dále se také používá jako vyztužující vlákno v elastomerních kompozitech pro automobily, lodě a letadla.

Rozšířenou aplikací jsou také vesty Dragon Skin, složené z disků z karbidu křemíku, keramiky a laminátů, mající vynikající pevnostní vlastnosti, ale nevýhodou těchto vest je vysoká hmotnost, která se pohybuje kolem 20 kg.

Dalším polymerem používaným ve vojenském průmyslu je akrylonitrilbutadienstyren, který se používá na pažby a zásobníky střelných zbraní.

Dalším využitím jsou polymerní kompozity, ze kterých se vyrábí pancéřovaná vozidla, jako je například Chobham armor, který má díky více vrstvám kompozitů vysokou pevnost.

Letadla se vyrábí z kompozitních materiálů s uhlíkovými, skleněnými a křemíkovými vlákny. Airbus A380 je první letadlo, ve kterém je obsažen kompozit z CFRP (carbon fiber reinforced plastic), tedy plastu vyztuženého uhlíkovým vláknem, díky tomuto kompozitu dochází k velké úspoře hmotnosti.

V současné době je výzkum zaměřen na novinky ve vojenském průmyslu, velký zájem je o vývoj neprůstřelných vest, jako je například tekutý pancíř, jehož struktura se jeví mnohem lepší než Kevlar.

V budoucnosti můžeme očekávat vývoj ve všech aplikacích ve vojenském průmyslu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, s. 37-61. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [2] Carbon Fiber. In What is carbon fiber? [online]. St. Louis : Zoltek Corporation, 2010 [cit. 2014-5-7]. Dostupné z www: <http://www.zoltek.com/carbonfiber/>
- [3] MURPHY, John. *Additives for plastics handbooks*. 2nd ed. New York, NY, USA: Elsevier Science Ltd., 2001, s. 48-49. ISBN 1856173704.
- [4] KULSHRESHTHA, A.K. a EDITORS. *Handbook of polymer blends and composites*. 1. publ. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, [England]: Rapra Technology Lt, 2002, s. 76-77. ISBN 1-85957-249-9.
- [5] BIRON, Michel. *Thermoplastics and thermoplastic composites: technical information for plastics users*. 1st ed. Oxford: Elsevier, 2007, s. 1010. ISBN 978-1-85617-478-7.
- [6] FRANCK, Edited by Robert R. *Silk, mohair, cashmere and other luxury fibres*. Repr. Boca Raton: CRC, 2006, s. 189-190. ISBN 1855735407.
- [7] Amsilk.com: *Biosteel* [online]. 2014 [cit. 2014-05-10] Dostupné z www: <http://www.amsilk.com/en/products/biosteel-spidersilk-fibers.html>
- [8] Docinthemachine.com: *Biosteel protein expression*. [online] [cit. 2014-05-10]. Dostupné z www: <http://docinthemachine.com/wordpress/wp-content/uploads/2006/10/biosteel-all.jpg>
- [9] Singingrock.cz: Smyčka [online]. 2012-2014 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z www: <http://www.singingrock.cz/dyneema-smycky-11-mm>
- [10] LIU, Edited by Xiaoming Qian and Huawu. *Advanced textile materials: selected, peer reviewed papers from the 2011 International Conference on Textile Engineering and Materials (ICTEM 2011)*, September 23-25, 2011, Tianjin, China. Durnten-Zurich: Trans Tech, 2011, s. 1911-1912. ISBN 978-303-7852-415.
- [11] MAHLTIG, Boris a Torsten TEXTOR. *Nanosols and textiles*. New Jersey: World Scientific, 2008, s. 171-172. ISBN 9812833501.

[12] BRALLA, James G. *Handbook of manufacturing processes: how products, components and materials are made*. 1st ed. New York: Industrial Press, 2007, s. 643. ISBN 978-083-1131-791.

[13] SPARKS, Edited by E. *Advances in military textiles and personal equipment: materials, methods and applications*. 2nd ed. Oxford: Woodhead Pub, 2012, s. 214-221. ISBN 978-085-7095-572.

[14] Innegrity.com: *Innegra S High performance fiber*. [online] [cit. 2014-05-17].

Dostupné z www:

http://www.innegrity.com/mydocuments/innegra_s_high_performance_fiber_presentation_2010.pdf

[15] Innegrates.com: *Innegra S*. [online] [cit. 2014-05-17]. Dostupné z www: <http://www.innegrates.com/products/InnegraS/>

[16] STRONG, A. *Fundamentals of composites manufacturing: materials, methods and applications*. 2nd ed. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, 2008, s. 240-241. ISBN 978-087-2638-549.

[17] AKOVALI, Edited by Guneri. *Advances in polymer coated textiles*. 1st edition. Shrewsbury, United Kingdom: Smithers Rapra Technology Ltd, 2012, s. 138-141. ISBN 9781847354976.

[18] EZRIN, Myer. *Plastics failure guide: cause and prevention*. 2nd edition. s. 533-534. ISBN 978-1-56990-449-7.

[19] EDITORS, A. *Handbook of polymer blends and composites*. 1. publ. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, [England]: Rapra Technology Lt, 2002, s. 74-76. ISBN 1859572499.

[20] E-army.cz: *Neprůstřelná vesta* [online] [cit. 2014-05-17]. Dostupné z www: <http://www.e-army.cz/neprustrelna-vesta-mk-iii-cover-body-armour-dpm-desert-orig-e2093.html>

[21] Armadninoviny.cz: *Unikátní tekutý pancíř pro neprůstřelné vesty* [online] [cit. 2014-05-20]. Dostupné z www: <http://www.armadninoviny.cz/unikatni-tekuty-pancir-pro-neprustrelne-vesty.html>

- [22] MILLER M. A., LEVSKY M. E. Chest injury while wearing a bullet-proof vest. *American Journal of Emergency Medicine*. Elsevier, 2008, 26, str. 736.
- [23] Nbcnews.com: *Dragon Skin* [online] [cit. 2014-05-27]. Dostupné z www: http://www.nbcnews.com/id/18790506/ns/us_news-military/t/army-dragon-skin-armor-failed-battery-tests/#.U4RAq8JDHmK
- [24] Usmilitary.about.com: *Dragon Skin* [online] [cit. 2014-05-27]. Dostupné z www: <http://usmilitary.about.com/od/weapons/a/dragonskin.htm>
- [25] Zedomax.com: *Dragon Skin* [online] [cit. 2014-05-27]. Dostupné z www: <http://zedomax.com/blog/tech/dragon-skin-bullet-proof-armor-identifies-bullets/>
- [26] Bodyarmornews.com: *Dragon Skin Body Armor* [online] [cit. 2014-05-27]. Dostupné z www: <http://www.bodyarmornews.com/doj-dumps-dragon-skin-body-armor/>
- [27] MRÁZOVÁ M. Advanced composite materials of the future in aerospace industry. *Incas bulletin*. 2013, 5, str. 139-150.
- [28] Maybach300c.blogspot.cz: *Chobham armor* [online] [cit. 2014-05-27]. Dostupné z www: <http://maybach300c.blogspot.cz/2012/09/chobham-armor.html>
- [29] Zbrane.specwar.info: *Zbraně* [online] [cit. 2014-05-27]. Dostupné z www: <http://zbrane.specwar.info/utocne-pusky/steyr-aug/steyr-aug.png>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
CFRP	Carbon fiber reinforced plastic (plast vyztužený uhlíkovým vláknem)
GLARE	Glass laminate aluminium reinforced epoxy (kompozitní materiál tvořený skleněnými vlákny a hliníkem vyztužený epoxidovou pryskyřicí)
HM PE	Polyethylenové vlákno s vysokou molekulovou hmotností
MBWK	Multi-layered Biaxial Weft Knitted fabrics (multi-vrstvená dvouosá útková pletenina)
PAN	Polyakrylonitril
PBO	Poly (fenylen-2,6-benzobisoxazol)
PPTA	Poly (para-fenylentereftal) amid
UHMW PE	Ultra vysoce orientované polyethylenové vlákno
UV	Ultrafialové záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Struktura skleněného vlákna pořízena rastrovacím elektronovým mikroskopem [1].	12
Obrázek 2. Výroba textilních skleněných vláken tažením z trysek [1].....	14
Obrázek 3. Struktura aromatického polyamidu [1].....	15
Obrázek 4. Výroba aramidových vláken [1].	16
Obrázek 5. Kevlarová textilie [17].	17
Obrázek 6. Porovnání tloušťky uhlíkového vlákna a lidského vlasu [2].	20
Obrázek 7. Schéma výroby uhlíkových vláken z PAN [1].	21
Obrázek 8. Horolezecká smyčka vyrobená z Dyneemy [9].	22
Obrázek 9. Schéma diagramu zvláknování z roztoku u UHMW PE [13].	23
Obrázek 10. Vlákno Innegra S [15].	24
Obrázek 11. Vlákno z Biosteelu [7].....	24
Obrázek 12. Výroba Biosteelu [8].	25
Obrázek 13. Chemická struktura Zylonu [18].	25
Obrázek 14. Schéma struktury MBWK [10].	26
Obrázek 15. Lékařská dlaha [10].	27
Obrázek 16. Neprůstřelná helma [10].	27
Obrázek 17. Neprůstřelná vesta pro ženy [10].	28
Obrázek 18. Německá vesta z 1. světové války [13].	30
Obrázek 19. Neprůstřelná vesta [20].	31
Obrázek 20. Poranění hrudníku [22].....	33
Obrázek 21. Dragon Skin vesta [25].....	34
Obrázek 22. Rentgen vesty Dragon Skin [26].	35
Obrázek 23. Materiály, ze kterých je složen Airbus A380 [27].	36
Obrázek 24. Útočná zbraň Steyr AUG [29].	37
Obrázek 25. Chobham armor [28].	38
Obrázek 26. Vícevrstvé kompozitní brnění [28].	39
Obrázek 27. Projektil ráže 9 mm proniká tekutým pancířem [21].	40
Obrázek 28. Rozdíl zásahu kulky mezi kevlarovou vestou a tekutým pancířem [20].	41
Obrázek 29. Test neprůstřelných vest [21].	41

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Složení skloviny a důležité vlastnosti neupravených vláken [1].	13
Tabulka 2. Mechanické vlastnosti aramidových vláken [1].	15
Tabulka 3. Vlastnosti kevlarových vláken [19].	18