

Pancéřování a způsoby jeho překonávání

Armour and Ways of its Overcoming

Michal Langer

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Langer**
Osobní číslo: **A11031**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Pancéřování a způsoby jeho překonávání**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši zaměřenou na pancíře, jejich vlastnosti a obecné využití.
2. V rámci literární rešerše se zaměřte na perspektivy využití pancíře pro zabezpečení vozidel.
3. Popište možnosti a způsoby využití pancíře v průmyslu komerční bezpečnosti.
4. Proveďte měření základních parametrů pancíře na reálných vzorcích.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **BUCHAR, Jaroslav a Josef VOLDRŽICH. Terminalní balistika. Vyd. 1. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1222-2.**
2. **BEER, Stanislav. Munice. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2010. ISBN 978-80-7231-746-2.**
3. **PRIFTI, Joseph, Michael CASTRO, Richard SQUILLACIOTI a Raymond CELLITTI. Improved Rolled Homogeneous Armor (IRHA) Steel Through Higher Hardness. Aberdeen U.S., 1997. ARL-TR-1347. Zpráva.**
4. **HILD, Roman a Oldřich TĚŠÍK. Opravy pancířů tankové techniky. Vyd. 1. Brno VA, 1993. 75 s. EP: 126**
5. **MADHU, Vemuri a Balakrishna BHAT. Armour Protection and Affordable Protection for Futuristic Combat Vehicles. DRDO Publications [online]. [cit. 2014-02-02]. Dostupné z: <http://publications.drdo.gov.in/ojs/>**

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

7. března 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. června 2014

Ve Zlíně dne 7. března 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce má za úkol přehledným způsobem uvést do problematiky pancéřování, přesněji pasivní ochrany a to zejména vozidel. Čtenáři bude ve stručné historii představen vývoj moderních typů balistické ochrany od dob prvních pancéřovaných vozidel až do současnosti. V práci je vysvětlováno množství pojmů týkajících se pancířů i prostředků, využívaných ve vojenství k jejich překonávání. Poměrně podrobně jsou popsány nejmodernější protipancéřové prostředky jako podkaliberní střely a kumulativní hlavice. Je nastíněn i možný budoucí vývoj pasivní ochrany, zaváděním novějších materiálů jako jsou IRHA nebo titan. Poslední teoretická část je věnována využití pancéřování v průmyslu komerční bezpečnosti.

Klíčová slova: pancéřování, vrstvený pancíř, střela, balistika, balistická ochrana

ABSTRACT

The order of bachelor's thesis is to introduce to issue of armour, more precisely to passive vehicle protection. In brief history reader will be introduced to modern armour development from the time of first armoured vehicles into present. Amount of terms about armour protection and ways of its military overcoming is explained. Modern anti-armour principles like shaped charge and fin stabilized sabot projectile are relatively thoroughly described. Possible future development of passive armour through material (alloy) replacement is suggested (Improved rolled homogeneous armour, titanium). The last theoretic chapter concerns use of armour in industry of commercial security.

Keywords: armour, laminate armour, projectile, ballistics, ballistics protection

Chtěl bych poděkovat panu docentu Milanu Adámkovi za příkladné vedení a cenné rady při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PANCÉŘOVÁNÍ	11
1.1 STRUČNÁ HISTORIE	11
1.2 DĚLENÍ PANCÍŘE.....	12
1.2.1 Homogenní.....	12
1.2.2 Heterogenní	13
1.2.3 Dynamicky aktivní	15
1.3 SOUČASNÉ TRENDY	17
1.3.1 Mřížová ochrana.....	17
1.3.2 Přídavné pancéřování	17
1.4 BUDOUCÍ VÝVOJ.....	17
1.4.1 IRHA (Improved rolled homogeneous armor).....	18
1.4.2 Hliník.....	18
1.4.3 Titan	19
2 ZPŮSOBY PŘEKONÁVÁNÍ PANCÍŘE	20
2.1 TERMINÁLNÍ BALISTIKA	20
2.1.1 Vybrané základní pojmy terminální balistiky	20
2.2 STŘELY PŮSOBÍCÍ KINETICKOU ENERGIÍ	21
2.2.1 Plné (AP).....	22
2.2.2 S tupou hlavou (SAPHE)	22
2.2.3 S protipancéřovou čepicí (SAPHE)	22
2.2.4 Jádrové (APHC)	23
2.2.5 Podkaliberní	23
2.3 STŘELY VYUŽÍVAJÍCÍ CHEMICKÉ ENERGIE	26
2.3.1 Tříštivotrhavé (HE)	26
2.3.2 Kumulativní (HEAT)	27
2.3.3 Výbuchově tvářené projektily (EFP)	28
2.3.4 S výtržným účinkem (HESH)	28
3 PANCÍŘE V PKB – OBRNĚNÉ VOZY	30
3.1 MATERIÁLY UŽÍVANÉ PRO ZVÝŠENÍ ODOLNOSTI	31
3.2 VÝROBA PANCÉŘOVANÉHO VOZU	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
4 POPIS MĚŘENÍ, OBECNÉ INFORMACE	35
4.1 ELEKTROEROZIVNÍ ŘEZÁNÍ.....	35
4.2 MĚŘENÍ TVRDOSTI (PODLE ROCKWELLA).....	35
4.3 MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI (PODLE VICKERSE)	36
4.4 METALOGRAFIE.....	36
5 100 MM GRANÁT PROTIPANCÉŘOVÝ SE STOPOVKOU	37
5.1 ÚDAJE NA STŘELE	37
5.2 ELEKTROEROZIVNÍ ŘEZ STŘELY	39
5.2.1 Řezání střely.....	39

5.2.2	Analýza konstrukce střely	41
5.3	TVRDOST VZORKU STŘELY	42
5.3.1	Postup měření (makrotvrdost).....	42
5.3.2	Postup měření (mikrotvrdost)	43
5.3.3	Výsledky (makrotvrdost)	44
5.3.4	Výsledky (mikrotvrdost)	46
5.4	CHEMICKÉ SLOŽENÍ.....	46
5.5	METALOGRAFIE.....	48
5.6	DISKUZE VÝSLEDKŮ	50
6	PANCÍŘ	51
6.1	POPIS.....	51
6.2	MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI	52
6.3	DISKUSE VÝSLEDKŮ	52
	ZÁVĚR	53
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62

ÚVOD

Lidé již od pradávna vyrábějí různé prostředky pro ochranu svého života a zdraví proti újmě, která může být způsobena mnoha faktory, mezi nimi jsou i zbraně. Po velmi dlouhou dobu tedy existuje speciální obor zabývající se výrobou a vývojem pancířů. Stručně lze říci, že jeho náplní je zkoumání účinků mnoha druhů zbraní, studium různorodých materiálů a jejich kombinací potenciálně uplatnitelných pro účely ochrany, objevování nových materiálů i metod zpracování. A to vše ve snaze vytvořit efektivní ochranu a zároveň cenově dostupný prostředek proti nejnovějším „protipancéřovým“ zbraním. Tento obor je v jisté nevýhodě, jelikož na nové způsoby překonávání pancíře teprve reaguje. Není tudíž možné vyvinout ochranu, která by zůstala 100% účinná po dlouhou dobu.

Hlavním cílem této bakalářské práce je seznámit čtenáře s pojmem pancéřování, přesněji pasivní ochranou a to zejména ve smyslu vojenském, představit jeho různé druhy a také několik opět vojenských způsobů, kterými je v současnosti překonáváno. V práci jsem se zaměřil a chtěl bych popisovat zejména balistickou ochranu vojenských vozidel, tudíž připadají v úvahu hlavně tanky a obrněné transportéry. Musím ale dodat, že mnoho principů využívaných ve vojenství je postupně aplikováno i v civilním sektoru a tak se toto téma stává důležitým předmětem zájmu celé bezpečnostní komunity.

V závěru teoretické části jsou zmíněny některé aplikace pancířů i v PKB a to hlavně v souvislosti s použitím na pancéřovaných speciálech využívaných při převozu peněz a cenin.

Při definici některých pojmů byly pro praktičnost doplněny i jejich ekvivalenty v angličtině. Snahou mimo jiné také bylo, učinit práci srozumitelnou a čtenářsky zajímavou. Práce si rozhodně nemůže klást za cíl úplnost a to už jen z toho důvodu, že se jedná o rozsáhlou transdisciplinární problematiku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PANCÉŘOVÁNÍ

Obecně balistická pasivní ochrana, určená k ochraně osob a technického vybavení vozidla, primárně před účinky zbraní. Prochází neustálým vývojem, se snahou zvýšení jeho odolnosti při současném snížení rozměrů a hmotnosti. Vysoká hmotnost se negativně promítá ve snížení pohyblivosti, průchodovosti vozidla a v neposlední řadě zvýšením spotřeby pohonných hmot. Konstrukce může být víceúčelová univerzální (homogenní p.) nebo také speciální proti konkrétním hrozbám (např. vrstevnatý p.). Při použití na vozidle pokrývá většinu povrchu a na nejexponovanějších místech bývá nejodolnější. Jeho výroba, složení, skladba nebo dokonce šířka bývá z pochopitelných důvodů utajována. Odolnost pancéřování závisí na tloušťce, použitém materiálu a sklonu vůči dopadajícímu projektilu.

Základní požadavky na pancíř jsou zamezení vzniku a šíření trhlin a omezení vzniku výtrží na týlní straně. Kladně se v tomto směru projevuje zvyšování pevnosti při zachování houževnatosti a to zjemňováním struktury homogenních pancířů. [3]

1.1 Stručná historie

Vývoj modernějších pancířů vozidel započal již v průběhu první světové války na bojištích na řece Sommě roku 1916. Zde byly poprvé v historii použity tanky. První tanky byly ve své podstatě obrněná vozidla (traktory) jejichž ochrana sestávala z ocelových nýtovaných plátů homogenního pancíře. Tyto pláty mohly být válcované nebo kované (Američané), bývaly středně legované s nižším obsahem uhlíku.

Během druhé světové války bylo složení pancéřování a tedy i jeho vlastnosti silně ovlivňováno dostupností různých legovacích prvků. Výsledkem byl nízkolegovaný pancíř s malým obsahem uhlíku a s odpovídající houževnatostí. Tato skutečnost byla nejvíce patrná u německých tanků na konci konfliktu, kdy podléhající Třetí říše neměla dostatek legur a pozdější tanky tedy měly pancíře více „šizené“. Během druhé světové války se pancíře vyráběly (a stále se i vyrábějí) dvěma způsoby, odléváním do forem (hlavně spojenci) nebo válcováním. Požadovaných balistických vlastností se v případě odlévání dosahovalo hlavně pomocí legování a to např. niklem, chromem a dalšími prvky. Těchto prvků byla značná spotřeba. U válcování se k dosažení vysoké balistické odolnosti používaly speciální metody zpracování, např. kalení. Výroba válcovaných pancířů byla však i přes pokrok v oblasti jejich svařování stále ve srovnání s litím nákladnější a výrazně pomalejší.

Výroba věží i trupů litím převládala ještě následujících 25 let. Jako významného zástupce lze jmenovat tank M 60 americké provenience. S pokrokem v metalurgii (nové levnější postupy) i konstrukci vojenských vozidel docházelo k postupnému vytlačování litých pancířů válcovanými. V současnosti se při konstrukci používají vrstvené pancíře, které oproti homogennímu ocelovému disponují vyšší odolností jak proti střelám kinetickým tak kumulativním. I přes tuto skutečnost si „klasické“ pancéřování ponechává své nezastupitelné místo.

Při celkovém zvyšování balistické odolnosti se hlavní důraz kladl na zvyšování tvrdosti bez ohledu na stoupající křehkost materiálu. Dalším zkoumáním se během 70. a 80. let přišlo na tři zásadní poznatky. Prvním byl fakt, že ocelové pláty s tvrdostí nad 52 HRC si po zásahu širokým spektrem průrazných střel nedokáží zachovat celistvost své struktury, za další je důležitým faktorem pro výrobu efektivního pancíře dostatečná vrubová houževnatost a třetí neméně důležitý fakt je, že použití výkonnějšího materiálu nemusí nutně znamenat i snížení jeho tloušťky nebo hmotnosti. [4]

1.2 Dělení pancíře

Pancíře můžeme dělit podle následujících hledisek:

Konstrukční a bojové – dělení podle tvrdosti a síly pancíře. Tenký pancíř bývá obvykle velmi tvrdý, ale zároveň křehký. Je určen zejména proti projektilům z pěchotních zbraní a střepinám. Silný pancíř bývá houževnatý a tvrdý jen na povrchu z důvodu narušení struktury dopadajícího projektilu. Je to typický tankový pancíř.

Technologické hledisko – dělení se odvíjí od chemického složení v průřezu pancíře. Tomuto hledisku odpovídá dělení na homogenní, heterogenní a dynamicky aktivní. [5]

1.2.1 Homogenní

Jedná se o základní, původní skupinu pancířů se stejným chemickým složením v celém průřezu. Pro balistickou odolnost ocelového pancíře je jedním z rozhodujících parametrů jeho tvrdost a zároveň jeho dostatečná houževnatost. Hodnota tvrdosti je důležitá jak pro nízké, tak pro vysoké dopadové rychlosti. Zajímavostí je fakt, že pro střední rychlosti se vysoká tvrdost naopak negativně promítá ve snížení odolnosti. Homogenní pancíře se dělí následujícím způsobem:

Kalený

V současnosti patří mezi nejpoužívanější. Podle struktury se dělí na martenzitické a sorbitické (bainitické). Martenzitická struktura vznikne po zakalení oceli a následném nízkoteplotním popouštění, sorbitická po vysokoteplotním popouštění. Sorbit může být také označován jako vysokopopuštěný martenzit.

Martenzitický pancíř – dosahuje vysoké tvrdosti, je popuštěn za nižší teploty (do 250 °C) aby byla odstraněna vnitřní pnutí a zachován charakter jeho struktury, dosažitelná tvrdost zakalením je závislá na chemickém složení slitiny. Jeho úlohou je otupit špici projektilu, kterému pak pancíř klade vyšší odpor. Využívá se pro obrněná vozidla a transportéry, kde chrání proti malorážovým střelám a střepinám. Střely vyšších ráží pancířem pronikají.

Sorbitický pancíř – nedosahuje takových hodnot tvrdosti jako martenzitický (popouští se při teplotách až 680 °C), oproti tomu disponuje vyšší houževnatostí. Je to charakteristický pancíř používaný na tancích. Úlohou je klást střelám vysokých ráží značný odpor.

Povrchově kalený

Je to kombinace martenzitického a sorbitického pancíře. Spojuje tvrdost a houževnatost. Špice střely je otupena o tvrdou vrstvu a dále je její energie spotřebovávána při průniku houževnatou částí. Výroba je náročná, a tudíž je použití spíše vzácnější.

Termomechanicky zpracovaný

Metoda patří k těm modernějším. Pancíř se tváří a současně probíhají fázové přeměny (např. austenit > martenzit). Výsledný produkt má vysoké mechanické hodnoty, dochází hlavně ke zvýšení meze kluzu. Používá se u slaběji pancéřovaných vozidel např. BVP – 2. [5]

1.2.2 Heterogenní

Také nazýván sendvičový, vrstevnatý, vrstvený, kompozitní apod. Tento pancíř bývá vyráběn na základě specifických požadavků (např. proti kumulativním náložím). Tvoří jej posloupnost nejméně dvou chemicky odlišných vrstev s různými vlastnostmi. Bývá nejčastěji osazován na přední část korby, čelo věže nebo jiná zvláště ohrožená místa na vozidle.

Kovové vrstvené pancíře

Nejčastěji složeny ze dvou (duální) nebo tří (ternární) kovových metalurgicky spojených vrstev. V případě ternárních pancířů se střední vrstva vyznačuje vysokou plasticitou. Tyto pancíře se vyrábí litotvářecí a ROW technologií a můžeme je rozdělit na:

Kalené vzduchem

Při výrobě tohoto typu se používají středně legované oceli s obsahem legovacích prvků v rozmezí 8 – 10%. Po válcování je plech zakalen proudícím vzduchem, poté následuje několikanásobné popouštění (540 – 580 °C). Výsledná tvrdost čelní vrstvy je v rozmezí 660 – 690 HBW a u týlní se hodnoty pohybují v intervalu 600 – 620 HBW. Obojí v závislosti na teplotě popouštění.

Termomechanicky zpracované

Materiál používaný při výrobě term. zpracovaných pancířů je nízkolegovaná ocel s obsahem legovacích prvků do 6%. Čelní vrstvu konkrétně tvoří nástrojová ocel, týlní je na bázi pancéřové nebo opět nástrojové oceli. Fyzikálních vlastností je dosaženo termomechanickým zpracováním, po kterém se tvrdost čelní vrstvy pohybuje v rozmezí 630 – 680 HBW (týlní 530 – 580 HBW). Příkladem může být duální pancíř s čelní vrstvou tvořenou z oceli TENAX H a týlní z oceli 3PA.

Martenziticky vytvrditelné (MARAGING)

Zde již nacházejí uplatnění vysokolegované materiály s obsahem legovacích prvků od 30 do 40 %. Tyto pancíře bývají vyráběny jako duální, s dobrou houževnatostí, dobře tvářitelné i svařovatelné. Požadovaných hodnot tvrdosti (495 – 616 HBW) se docílí vytvrzením při teplotě 470 – 520 °C.

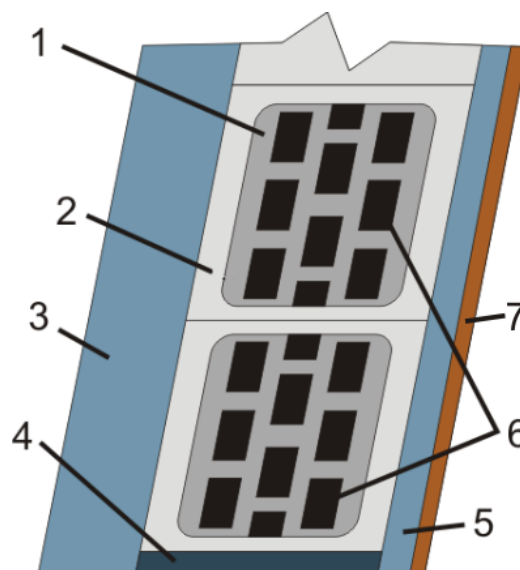
Vrstvené pancíře s nekovovými složkami

V případě hlavního pancéřování vozidel jsou obvykle tvořeny ze dvou kovových plátů homogenního pancíře, mezi kterými jsou poskládány různě silné vrstvy materiálů, disponující při daném uspořádání výjimečnou odolností proti vymezeným hrozbám. Množství různých kombinací materiálů a vrstev je v podstatě nevyčerpatelné. V některých případech je čelní vrstva tvořena keramikou a zadní kovem/kompozitem (např. přídatné pancíře). V jiných aplikacích může být na zadní straně ocelového plátu pro zvýšení odolnosti použit úplet z vláknitého kompozitu jako je např. aramid.

Pro materiály mezivrstev se používají: keramika, neželezné kovy (zejména slitiny hliníku), plastické hmoty (např. vysokomolekulární polyetylén, lamináty), vzduch (resp. dutiny), kapaliny (např. nafta) a další.

Chobham

Vrstvený pancíř vynalezený ve Velké Británii během 60. let minulého století. Přesné složení je utajováno a spolehlivějšími údaji jsou maximálně použité materiály. Chobham je dle dostupných tvrzení instalován na tancích M1 Abrams nebo Challenger 2. [5, 13, 14]



Obr. 1: Schematické znázornění pancíře Chobham [14]

- 1 – plastické palivo, 2 – hliníkové pouzdro vyztužené vlákny, 3 – vnější pancéřový plát, 4 – ocelová deska, 5 – týlní pancéřový plát, 6 – keramické desky, 7 – nehořlavá vnitřní izolace

1.2.3 Dynamicky aktivní

Způsob ochrany proti kumulativnímu paprsku známý i jako pancíř reaktivní, anglicky ERA. První exempláře prakticky použity Izraelci roku 1982 v Libanonu, avšak vývoj této technologie probíhal i v Německu a hlavně v Rusku.

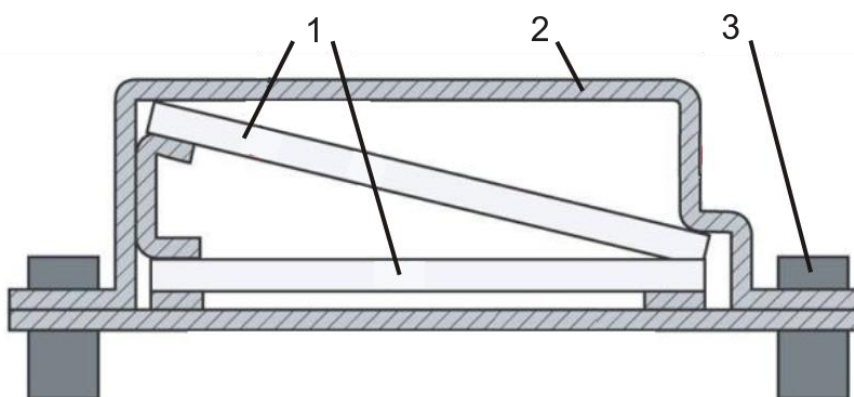
Obvykle ve formě schránek upevněných na hlavním pancíři. Schránka obsahuje destičku (1 nebo i 2) složenou ze dvou plechů svírajících mezi sebou speciální trhavinu (síla vrstvy 2 – 10 mm) např. na bázi RDX. Trhavina je vyvinuta tak, aby došlo k její

iniciaci primárně kumulativním paprskem a zabránilo se nežádoucímu dopálení v případě dopadu střel pěchotních zbraní nebo výbuchem sousední schránky. Systém má několik poměrně významných nevýhod. Při montáži je nutné z podstaty funkce zohlednit sílu základního pancíře a systém je také nebezpečný ve chvíli iniciace pro okolí. Naopak výhodami jsou nižší hmotnost a navýšení odolnosti hlavního pancíře až o 300 mm RHA.

Účinnost je značně závislá na úhlu dopadajícího paprsku a desky. Dá se říci, že čím je tento úhel menší, tím větší tloušťku musí paprsek prorazit. Desky je možné přivést k výbuchu i kontaktem s průbojnou střelou, jejich účinek je ale díky hmotnému tělu střely výrazně nižší.

Princip funkce

Dopadající střela je v definované (představné) vzdálenosti iniciována a dochází ke tvorbě kumulativního paprsku. Trhavina se při styku s paprskem odpálí, načež je horní plech urychlen směrem k paprsku, který jej postupně proráží a spotřebovává svou energii. Dolní plech se odráží od hlavního pancíře opět vstříc oslabenému paprsku. Ten již nemá dostatečnou energii k proražení základního pancíře.



Obr. 2: Schránka dynamické aktivní ochrany [20]

1 – destičky trhaviny, 2 – kovový obal, 3 – prvek uchycení

Světových úspěchů ve vývoji ERA dosáhl i Vojenský technický ústav výzbroje a munice ve Slavičíně, kde se byla vyvíjena dynamická ochrana s účinkem i proti podkaliberním střelám. [5, 15]

1.3 Současné trendy

V současnosti jsou na pancíře bojových vozidel kladeny nároky na odolnost proti tzv. IED, minám, tankovým střelám i proti ručním protitankovým zbraním, které mají vysoký účinek, jsou dostupné a vejdou se prakticky do „kufru“. Bojové akce se častěji odehrávají v městské zástavbě, kde je značně omezena pohyblivost a útok se dá očekávat ze všech směrů.

Za těchto podmínek, musí být na moderním pancéřovaném vozidle pokryta dostatečnou balistickou ochranou většina míst, která doposud nebyla proti účinku takových zbraní odolná. Velký důraz je kladen na přizpůsobení pancéřové ochrany předpokládaným podmínkám – modulární pancéřování.

1.3.1 Mřížová ochrana

Tvoří ochranu zejména lehčích vozidel před kumulativními hlavicemi. Jedná se o lehkou obvodovou mřížovou konstrukci, připevněnou k vozidlu ve vzdálenosti několika desítek cm od hlavního pancíře. Funguje na podobném principu, jako představné pancíře tanků druhé s. v. U hlavice, která se zastaví v mezeře mezi pruty, dochází k vyzkratování iniciačního obvodu – zapalovače (konkr. hlavový piezoelektrický) a paprsek se neutvoří. V méně pravděpodobném případě zasažení prutu, se sice paprsek utvoří, ale ve větší vzdálenosti než je S_{VP} . Udávaná úroveň ochrany je např. u Pandurů II AČR, které mají tuto ochranu nainstalovanou, okolo 60 %.

AČR vlastní asi čtyři Pandury II (KBVP M1 RVS) vybavené mřížovou ochranou o hmotnosti 14,5 kg na m². [16]

1.3.2 Přídavné pancéřování

Ve své podstatě jde o přidání další ochrany na stávající pancíř. U obrněných vozů může být například k vidění vrstevnatý pancíř keramika – kov, keramika – kompozit, umístěný na exponovaných místech. Složení a umístění na vozidle závisí na hrozbě, před kterou má chránit. Např. přídavný pancíř podvozku bývá navržen proti minám.

1.4 Budoucí vývoj

I přesto, že je současná hmotnost obrněných vozidel již velmi vysoká, stále je potřeba pancíře zvětšovat. Důvodem je rostoucí účinnost protipancéřových zbraní. Existují proto snahy o vyvinutí efektivnějšího materiálu pancíře, který by v budoucnosti prakticky

nahradil obvyklý RHA. Mezi vlastnostmi nového materiálu by kromě vysokého stupně ochrany měla být i nízká hmotnost, dobrá obrobiteľnosť a hlavně nízká cena. Možných cest k řešení problému existuje několik.

Zajímavá je také myšlenka tzv. elektrického pancíře, který by mohl chránit vozidlo před kumulativními hlavicemi a v pozdější době i proti podkaliberním strelám či EFP. Principem by se jednalo o systém vytvářející silné elektrické pole v okolí vozidla. Pole působí na materiál vložky kumulativní hlavice (nebo na již utvoření paprsek), zahřívá jej a rozptyluje.

V následující části je uveden stručný popis perspektivních materiálů jako je tzv. IRHA, hliník a titan.

1.4.1 IRHA (Improved rolled homogeneous armor)

Tento materiál byl vyvinut v USA z tradiční slitiny používané pro výrobu homogenních pancířů. Hlavním důvodem pro vyvinutí IRHA byl fakt, že slitina využívaná pro výrobu h. p. se od konce druhé světové války prakticky nezměnila. Zvýšení balistické odolnosti bylo dosaženo zvýšením tvrdosti a to pomocí optimalizace složení slitiny.

Složení nové slitiny oproti standardnímu h. p. bylo mírně pozmeněno, tím bylo dosaženo optimální tvrdosti při zachování obsahu uhlíku do 0,27 %. Slitina s tímto obsahem je stále dobře svařitelná a vyznačuje se i dobrou prokalitelností při využití různých metod kalení. Nepatrným zvýšením obsahu niklu byla zaručena dobrá kujnost a houževnatost, zvýšením obsahu manganu a molybdenu tvrdost. Zároveň bylo možné materiál vyrobit ve dvou úrovních tvrdosti a to 40 a 48 HRC, oba s vysokou hodnotou vrubové houževnatosti.

Jako vhodnější varianta, s optimální balistickou odolností, svařitelností a odolností proti lomu, byla stanovena ta s hodnotami 40 HRC. [4]

1.4.2 Hliník

Hliníkový pancíř velmi dobře odolává projektilům malých ráží a drobným střepinám, nadto je velmi lehký a korozivzdorný. Uplatní se tedy při konstrukci lehce obrněných vozidel. U těžší techniky nachází své místo ve vrstvených pancířích, ale pro použití jako samostatného základního pancíře je nevhodný. Perforace např. výbuchem IED je doprovázena vznikem velkého množství fragmentů. Hliník má nižší bod tání a ztrácí

pevnost při podstatně nižší teplotě než ocel. V případě požáru to vede k brzkému zhroucení konstrukce. Navíc je hliník výborný tepelný vodič, což ještě napomáhá šíření požáru.

Při výrobě neprůstřelných skel lze také využít hliníku resp. oxynitridu hliníku (AlON). Ten je lehčí a poskytuje i vyšší odolnost než např. sklo s vrstvami polykarbonátu, používané pro okýnka obrněných vozidel.

Hliníkového pancíře využívalo např. bojové vozidlo Bradley armády USA. Vzhledem k bojovým zkušenostem, bylo ale nakonec opět nahrazeno ocelí. [10]

1.4.3 Titan

Vývoj titanového pancíře probíhá již od konce 50. let 20. století (Spojené státy). Titan poskytuje podstatně vyšší ochranu před širokou škálou různých nebezpečí než homogenní pancíř. Oproti němu má i nižší hmotnost, je korozivzdorný a vzhledem k pokroku v jeho výrobě a zpracování i levnější než v minulosti. Na některých současných vozidlech se již používá a tento trend bude pokračovat. Příkladem může být slitina Ti – 6Al – 4V.

Problémem znesnadňujícím zpracování je fakt, že titan o teplotě vyšší než 400 °C se stává vysoce reaktivním se vzduchem. Svařování musí tedy probíhat v ochranné atmosféře (argon, směs hélia – argon) za současného chlazení materiálu v blízkosti svaru. Další strojírenské zpracování není výrazně odlišné od zpracování oceli, má však svá specifika. Jako příklady použití lze jmenovat přídatné pancíře na vybraných místech trupu či věže nebo velitelskou kopuli na bojovém vozidle Bradley. Součástí modernizace tanku M1A2 Abrams bylo také nahrazení některých částí zhotovených z RHA titanem. V plánu byl i vývoj titanové věže pro tank Abrams, kde by celkové vypočítané snížení hmotnosti činilo 4 tuny. [11]

2 ZPŮSOBY PŘEKONÁVÁNÍ PANCÍŘE

Možností jak překonat pancéřovou ochranu vozidel je celá řada. V oblasti vojenské munice jsou jednoznačně nejdůležitějšími prostředky kumulativní bojové hlavice a podkaliberní projektily. Poměrně dlouhou dobu se hojně využívaly i střely s výtržným účinkem, ale s nástupem vrstevnatých pancířů jejich význam značně klesl.

2.1 Terminální balistika

Terminální balistika je věda zabývající se interakcí pohybujícího se projektilu a terče. Zasahuje do mnoha jiných vědních disciplín, např. vývoj turbín, vývoj kosmických zařízení nebo jaderná energetika. Je jedním z oddílů tzv. rázového zatěžování, kam se řadí i účinky detonujících výbušnin nebo speciálních laserů apod., kdy dochází k rychlému uvolnění energie. Zatěžování je krátkodobé s vysokými rychlostmi deformace, kde hraje důležitou roli vlna napětí (napěťový puls), kterou se do těles přenáší silové účinky. Materiál na zatěžování reaguje a podle intenzity zatěžování dochází ke změnám jeho vlastností resp. k různým odezvám. Máme tři základní typy odezvy:

- elastická odezva,
- pružně plastická odezva,
- hydrodynamická odezva.

O typu odezvy rozhodují faktory jako dopadová rychlost, materiál projektilu a terče a jejich vzájemná geometrie. Také v průběhu samotného kontaktu projektilu a terče může dojít k postupnému uplatnění všech základních odezev. [8]

2.1.1 Vybrané základní pojmy terminální balistiky

Při popisování interakce střely a terče se vyhodnocuje řada důležitých faktorů. Mezi ty nejdůležitější se řadí dopadová rychlost, mocnost terče a vzájemná poloha střely a terče.

Při užití ocelových terčů a střel zhotovených z oceli, wolframu nebo ochuzeného uranu, můžeme pro dopadovou rychlost zmínit následující dělení:

- nízká (nad 500 m/s),
- běžná (500 až 1500 m/s),
- vysoká (1500 až 3000 m/s),
- extrémně vysoká (nad 3000 m/s).

V případě rotačně symetrických střel s délkou L a průměrem D a terčů o mocnosti H je používáno pro terče následující dělení:

- tenké ($H/D < 1$),
- středně silné ($1 < H/D < 10$),
- polonekonečné ($H/D > 10$).

Balistická mez V_{50} – údaj vyjadřuje 50% pravděpodobnost probití. Při postupném zvyšování dopadové rychlosti se účinek střely mění. Dříve dochází k penetraci, při vyšších rychlostech k penetraci nebo perforaci a při vysokých už jen k perforaci. Určování této meze je založeno na vyhodnocování experimentů, a proto je tento údaj spíše orientační vzhledem k rozptylu vlastností terče, projektilu a nemožnosti reprodukce přesné dopadové rychlosti.

Penetrace – případ vniku střely do terče kdy střela v terči zůstává. Stálým zájmem je její zvyšování a zásadním údajem je její hloubka.

Perforace – v tomto případě střela (nebo její fragmenty) již překážkou prorazí. V praktickém využití nejde až tak o samotnou perforaci, nýbrž o tzv. reziduální rychlost neboli rychlost potažmo energii střely za pancířem. [8]

2.2 Střely působící kinetickou energií

V české literatuře bývají označovány písmenem P, v anglicky psané AP popř. obdobným zkratkovým slovem charakterizujícím jejich konstrukci. Tato kategorie se vyvíjí nepřetržitě již téměř sto let a za tu dobu vzniklo mnoho typů střel odlišujících se stavbou, účinkem v cíli a hlavně výkonem. Optimální volbou materiálu i jeho vlastností a vhodným tepelným zpracováním je maximálně využíván jeho potenciál, experimentuje se s výkonnějšími kapalnými výmetnými náplněmi, zvětšují se ráže a výkony samotných kanónů. Celkové současné úsilí směřuje ke koncentraci co největší energie na co nejmenší plochu. Proto vývoj postupně šel od prvních tzv. plných střel, přes střely jádrové až k dnes často užívaným střelám podkaliberním.

2.2.1 Plné (AP)

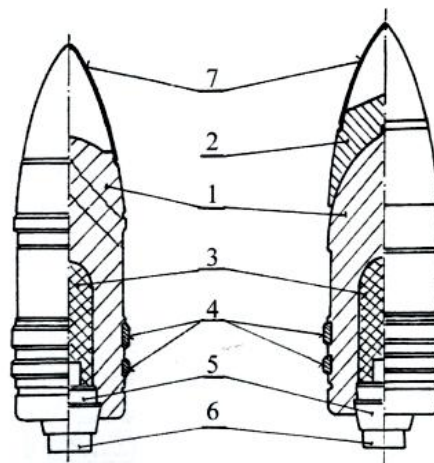
První typ protipancéřové střely, používaný přibližně do ráže 70 mm. Materiál těla je legovaná ocel vysoké pevnosti i tvrdosti. Během interakce s pancířem dochází k značnému namáhání vlivem stlačování. Po proražení pancíře tlakové síly působící na střelu okamžitě ustanou, následně se začnou uvolňovat pnutí ve střele a ta se tříští. Střela působí kinetickou a tepelnou energií. [6]

2.2.2 S tupou hlavou (SAPHE)

Od plné střely se odlišuje tepelným zpracováním a navíc bývá vylepšena o dutinu s obsahem trhaviny, která z tohoto typu dělá (v případě perforace) nejúčinnější protitankovou zbraň. Hlavová část je velmi tvrdá a pevná. Směrem ke dnu se naopak zvyšuje houževnatost, která zlepšuje tříštivost. Někteří zástupci tohoto typu mají špičku s drážkami, díky kterým probíhá při pronikání pancířem k „řízenému“ lámání projektilu do špičky. Materiál těla je opět legovaná ocel. [6]

2.2.3 S protipancéřovou čepicí (SAPHE)

Konstrukcí těla vychází z předešlého typu. Špička těla je opatřena tzv. protipancéřovou čepicí, jež snižuje pravděpodobnost odrazu a současně chrání křehkou špičku. Čepice je obvykle napájena. Materiál čepice i těla je stejný, ale čepice nemá tepelné zpracování a tak ani stejné vlastnosti. Čepice mimo jiné slouží k narušení povrchové vrstvy pancíře. Pro zmenšení balistického odporu nese balistickou kuklu. [6]



Obr. 3: Střela s tupou hlavou (vlevo) a protipancéřovou čepicí [6]

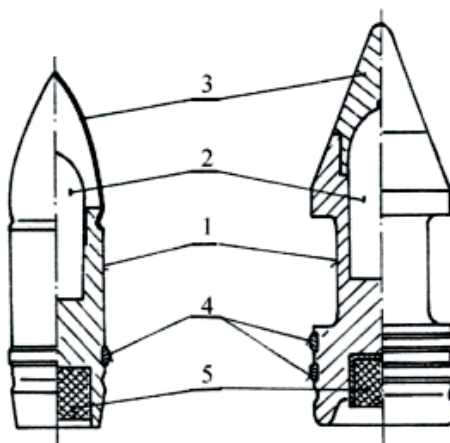
- 1 – tělo, 2 – protipancéřová čepice, 3 – náplň trhaviny, 4 – vodící obroučky, 5 – zapalovač,
6 – stopovka, 7 – balistická kukla

2.2.4 Jádrové (APHC)

Uplatňují se zde principy vysoké úst'ové rychlosti díky snížení hmotnosti a zvýšení koncentrace energie na plochu zeštíhlením průbojného těla. Střelu tvoří dvě hlavní části (jádro a nosič) dohromady pevně spojené tak, že se po výstřelu neoddělují.

Jádro může být ocelové, wolframové, z karbidu wolframu nebo uranové. Opět lze aplikovat balistickou nebo protipancéřovou čepici.

Nosič plní funkci správného a těsného vedení v hlavni. Je charakteristického cívkovitého tvaru, který však není balisticky vhodný a proto mají jádrové střely význam spíše na menší vzdálenost. Na průraznosti se významně nepodílí. Vhodným materiálem nosiče je lehká hliníková slitina. [6]



Obr. 4: Různé provedení jádrových střel [6]

- 1 – tělo, 2 – jádro, 3 – balistická kukla (vlevo), balistická čepice, 4 – vodící obroučky,
5 – stopovka

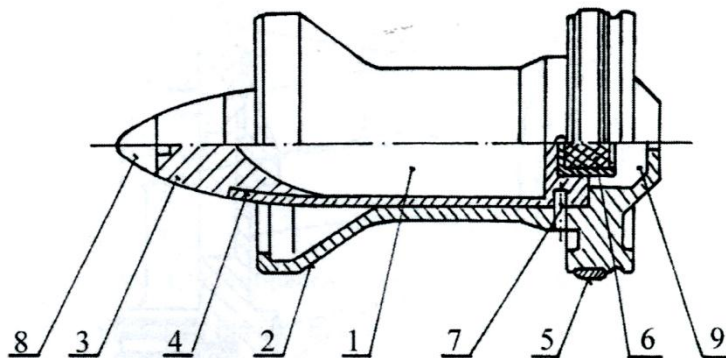
2.2.5 Podkaliberní

Vyšším stupněm ve vývoji protipancéřových kinetických střel. Principem jejího vyššího výkonu je snížení její hmotnosti obdobně jako u střely jádrové a snížení jejího balistického odporu (koeficientu) zmenšením plochy průřezu průbojného těla. Tímto dojde při použití stejné výmetné náplně ke zvýšení úst'ové rychlosti ve srovnání s hmotnější rážovou střelou. Zároveň nižší balistický odpor zaručuje nižší ztrátu rychlosti na dráze letu a zvyšuje účinný dostřel. Samotná podkaliberní část střely je řešena jako plná nebo jádrová.

Podkaliberní střely rotační (APDS)

Prvním typem podkaliberní střely. Rotačně stabilizovaná střela má některý z mnoha způsobů oddělení vodícího pouzdra (nosiče) a průbojného těla. Po opuštění hlavně dochází k oddělení balisticky nevýhodně tvarovaného pouzdra a tělo již samo pokračuje k cíli. Problémem prvních projektilů tohoto typu byl vyšší rozptyl v důsledku nepravidelného oddělování obou částí. Proto se u pokročilejších konstrukcí zavedla tzv. expanzní komůrka umístěná v dolní části pouzdra. Do té po iniciaci náplně vniknou žhavé prachové plyny, jejichž vysoký tlak zlepšuje oddělování. Dalšímu zvyšování průřezového zatížení cestou zeštíhlování penetrátoru brání stabilizační rotace, kdy by délka střely neměla přesáhnout ráži zbraně více než 6.5x. Problém tkví ve faktu, že při použití tenčího potenciálně výkonnějšího penetrátoru je nezbytné snížit i délku střely a tím i její hmotnost.

Poměr průměru průbojného těla a ráže zbraně závisí na materiálu a konstrukci střely, často je však 1:2. Jako materiál penetrátoru je obvykle volena slitina wolframu.



Obr. 5: Střela APDS [6]

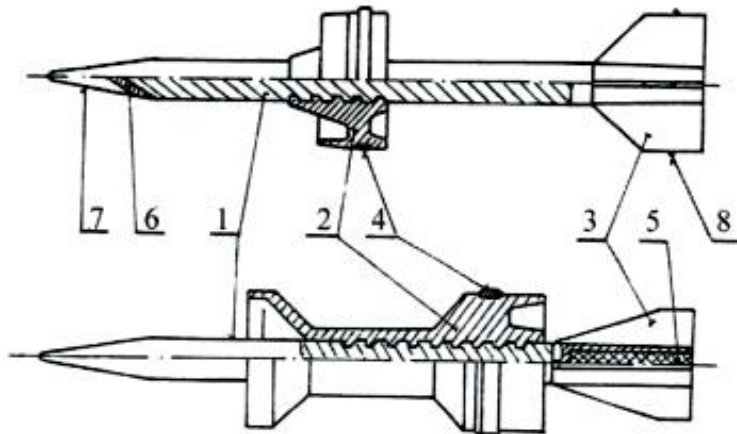
- 1 – jádro, 2 – pouzdro, 3 – protipancéřová čepice, 4 – plášť střely, 5 – vodící obroučka,
6 – stopovka, 7 – střížný kolík, 8 – balistická čepice, 9 – expanzní komůrka

Podkaliberní střely šípové (APFSDS)

Limity vyplývající z konstrukce předcházejícího typu měly za následek přechod na penetrátory z kovů vyšší hustoty (ochuzený uran) a na šípovou stabilizaci. Průměr penetrátoru byl snížen a jeho délka podstatně vzrostla až na třicetinasobek průměru (došlo ke zvýšení poměru L/D neboli koeficientu štíhlosti). Tím bylo dosaženo velmi vysokých

hodnot průřezového zatížení. Konstrukce průbojného těla může opět vycházet ze střel plných, opatřených protipancéřovou čepicí apod. navíc je opatřeno stabilizátorem.

Pouzdro bývá zhotoveno z ocele s vysokou pevností nebo v lepším případě z lehčí hliníkové slitiny. Tvoří jej dva, tři nebo více segmentů, které se po opuštění hlavně od penetrátoru oddělí. Jejich celkovou hmotnost lze v současnosti snížit až na 30 % hmotnosti jádra (např. i okolo 2 kg).



Obr. 6: Střely podkaliberní, šípově stabilizované [6]

- 1 – penetrátor, 2 – pouzdro, 3 – stabilizační křídélka, 4 – těsnicí obroučka, 5 – stopovka,
6 – protipancéřová čepice, 7 – balistická kukla, 8 – vodící kolík

Vývojové stupně:

1. *generace* – jádro zhotoveno z oceli, wolframu nebo i ochuzeného uranu. Pouzdro z vysoce pevné oceli. Koeficient štíhlosti 10 – 13, průraznost až 600 mm RHA.
2. *generace* – monolitické, jádro z wolframu nebo ochuz. uranu. Z důvodu neexistence materiálu s dostatečnými vlastnostmi byly střely kratší a silné. Koeficient štíhlosti max. 15.
3. *generace* – proběhlo další zeštíhlení. Koeficient štíhlosti až 30.
4. *generace* – koeficient štíhlosti nad 25. Takto dlouhé penetrátory jsou náchylnější k lomu (např. při dopadu na šikmý pancíř).

Pokud se při zvyšování účinnosti pokračuje cestou dalšího zeštíhlování jádra, narazí se na přibližnou hraniční hodnotu koeficientu L/D (30), za kterou již má jádro tendenci se ohýbat. Tento problém je možné řešit potažením jádra povlakem z vláknitého kompozitu.

Ztráta rychlosti moderních podkaliberních střel činí na jednom kilometru i méně než 60 m/s. Materiál jádra musí být vysoce pevný i houževnatý kvůli vysokému namáhání při urychlování v hlavni. Může to být wolframová slitina ($17,6 \text{ g.cm}^{-3}$), karbid wolframu nebo ochuzený uran ($18,6 \text{ g.cm}^{-3}$).

Uranu se potřebné vlastnosti dodávají legováním (např. Ti) a tepelným zpracováním. Výjimečný je svou pyroforičností, kdy třením rozzhavený prach a částice erodovaného projektilu prudce reagují s kyslíkem, následně dochází k přetlaku i zápalnému účinku. I přes jeho další výhody, jakými jsou ve srovnání s wolframem např. lepší obrobiteľnosť a vyšší výkon, je ale jeho použití sporné. Vykazuje radioaktivitu a tak dochází k dlouhodobé kontaminaci prostředí, je toxický a také velmi drahý.

Tento typ střely se řadí mezi dnes nejpoužívanější v boji proti silně obrněné technice. Její průraznost může dosahovat až šestinásobku ráže. Pro představu o účinku lze uvést příklad 120 mm kanónu M 256, který při použití střely M 829 dokáže na vzdálenost 2000 m probít homogenní pancíř o síle až 540 mm. Úst'ová rychlost dosahuje hodnoty přibližně $1\,670 \text{ m.s}^{-1}$. [6, 7]

2.3 Střely využívající chemické energie

U střel kinetických je veškerá energie udělena na začátku tlakem prachových zplodin. V průběhu letu se energie na dráze vlivem aerodynamických sil snižuje a s ní klesá i průraznost.

Střely využívající energie výbuchu jsou urychleny stejným způsobem, ale svůj hlavní potenciál vynaloží až ve vhodný okamžik (konečná fáze letu nebo kontakt s překážkou). Mají tak „stejný“ účinek po celé dráze letu a působení na pancíř je maximální. Na druhou stranu nižší rychlost znamená i nižší pravděpodobnost zásahu. [7]

2.3.1 Tříštivotrhavé (HE)

V případě použití proti pancéřované technice se využívá převážně účinku trhavého (po kontaktu s překážkou vybuchuje se zpožděním). Význam má hlavně při použití proti slabě pancéřovaným cílům, jejichž ochranu tlakem výbuchových zplodin prolamuje. Silné pancíře deformuje jen omezeně nebo vůbec. Může způsobit trhliny ve svarech, deformovat konstrukci nebo poškodit zařízení apod. Používá se omezeně. [6]

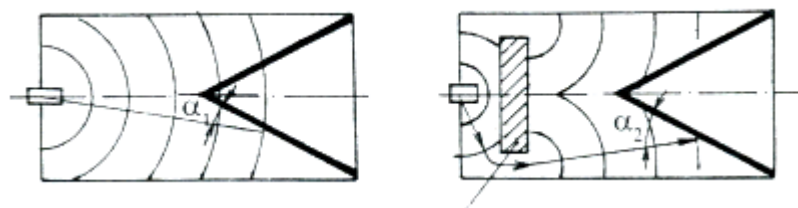
2.3.2 Kumulativní (HEAT)

Mezi prvními, kteří se snažili o popis kumulativního jevu, je i Charles E. Munroe (1888). Munroe si všiml, že v plátu určeném jako podklad pro testování výbušnin, zůstávají prohlubně přibližně stejného průměru jako roznětka. Jím popsáný efekt nese i jeho jméno – Munroeův jev (lze narazit i na pojmy Foersterův či Neumanův).

Základem hlavice je výbušnina s vysokou brizancí (součin hustoty a druhé mocniny detonační rychlosti). Z tohoto důvodu se používají výkonné vojenské trhavinny jako např. RDX, TNT. V závislosti na ráži a druhu se hmotnost náplně pohybuje v rozmezí 1 – 2 kg. Kumulativní nálož má tvar válce s obvykle kuželovou dutinou na jednom konci. Pro zvýšení účinku paprsku se do dutiny vkládá kovová vložka (Cu, Ag, Ti, Zr). Důležitou součástí střely je distancier umístěný před samotnou hlavici, který zajišťuje iniciaci ve správném okamžiku (při dosažení tzv. představné vzdálenosti S_{VP}). Dalšího zvýšení účinku se dosahuje pomocí stínící vložky ovlivňující šíření detonační vlny v trhavině. Reakce mezi paprskem a pancířem jsou vždy v oblasti hydrodynamické odezvy. Tlakem trhaviny dochází ke zhroucení vložky a koncentraci energie do tlouku a paprsku o vysoké rychlosti (cca $8000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Na ničivém účinku se podílí paprsek i žhavé fragmenty pancíře.

Průraznost závisí na mnoha faktorech. Negativní vliv mají nepřesnosti (nesymetrie) tvaru vložky nebo nerovnoměrné rozložení trhaviny. Pro dosažení nejvyššího účinku musí být v okamžiku iniciace rovněž dodržena optimální vzdálenost S_{VP} mezi hlavici a pancířem. Odchylka od této vzdálenosti vždy snižuje průraznost. Nežádoucí je i rotace střely.

Výhodou oproti kinetickým projektilům je fakt, že kumulativní hlavice má stejný účinek na celé dráze trajektorie a není závislá na dopadové rychlosti. Ve specifických případech může také plnit roli univerzální střely, kde by použití kinetického projektilu bylo neefektivní (lehce obrněné cíle).



Obr. 7: Vliv stínící vložky na šíření detonační vlny [6]

Využití kumulativního jevu nespadá pouze do vojenství. Perspektivu má jeho výzkum i v těžebním průmyslu, stavebnictví (demoliční práce) nebo při dělení materiálu. [6, 8]

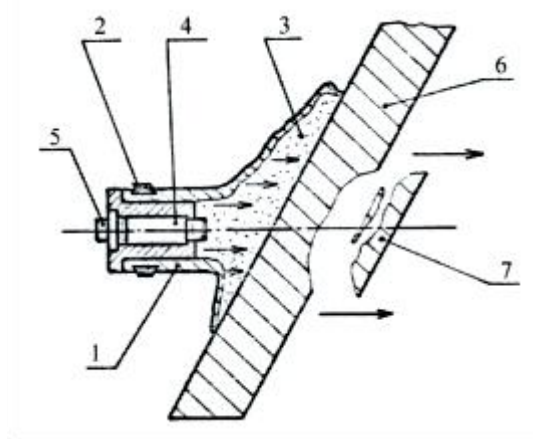
2.3.3 Výbuchově tvářené projektily (EFP)

Konstrukcí do jisté míry odpovídá kumulativní hlavici. Místo kuželové vložky je ale použita vložka tvaru přibližně kulového vrchlíku. Odpálením trhaviny je vložka (obvykle měděná) deformována do tvaru, připomínajícího projektil. Současně je vytvořený projektil explodující složi urychlen (i přes $2000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v závislosti na výbušnině a dalších faktorech) do požadovaného směru.

Výhodou ve srovnání s kumulativními hlavicemi je schopnost, prorážet pancíř přibližně stejné tloušťky, jako je průměr hlavice na vzdálenost až tisícinásobku průměru hlavice. Náročnost výroby není nijak zvlášť vysoká a hlavice jsou celkově levné. EFP se hojně využívá při výrobě tzv. IED, konstruovaných na ničení méně chráněných cílů. [6, 8]

2.3.4 S výtržným účinkem (HESH)

Principem je tzv. Hopkinsonův jev. Počátek výzkumu tohoto jevu pro použití proti obrněným cílům sahá do konce 2. světové války. Střely využívající tohoto efektu jsou tvořeny dutým tělem z tvárné oceli vyplněným trhavinou a dnovým zapalovačem. Střela se při dopadu na pancíř deformuje tak, aby obsah trhaviny byl v co největším kontaktu s jeho povrchem. Dnový zapalovač ji pak ve stanoveném čase iniciuje. Pancířem se začnou šířit silné rázové vlny, které se po odrazu od týlního povrchu pancéřové desky změny na vlny tahové, šířící se opačným směrem. Následné interference původní rázové vlny a odražené tahové, vyvolají v pancíři silná pnutí, která převyšují jeho pevnost. Na týlní straně pancíře vzniká výtrž (nebo několik výtrží) pohybující se vysokou rychlostí (až 80 m/s). Je možné říci, že u tohoto typu střel je kombinován princip využívající chemickou energii trhaviny a princip kinetických střel.



Obr. 8: Střela po dopadu na pancíř [6]

- 1 – deformující se tělo, 2 – vodící obroučka, 3 – trhavina, 4 – dnový zapalovač,
5 – stopovka, 6 – pancíř, 7 – výtrž

Střely na principu výtržného účinku se používají spíše sporadicky, jelikož jsou neúčinné proti vrstevnatým pancířům. Limitujícími faktory jsou i dopadová rychlost, která by měla být v intervalu $600 - 700 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a vysoké nároky na vlastnosti trhaviny. [6, 8, 9]

3 PANCÍŘE V PKB – OBRNĚNÉ VOZY

Pancéřování se v průmyslu komerční bezpečnosti uplatňuje například v konstrukci pancéřovaných vozů, určených k převozu peněžní hotovosti a cenin nebo také při výrobě balistické ochrany jednotlivce (neprůstřelné vesty). Na významu stále více nabývá i výroba osobních pancéřovaných vozů dostupných i pro střední třídu. Snahou firem zabývajících se úpravou sériových vozů nebo přímo výrobou pancéřovaných speciálů je, aby jejich pancéřované vozy nebyly příliš nápadné. Proto se v případě úpravy sériového vozu, umisťují tvarované pancéřové panely za vlastní povrch karoserie.

Primárním cílem je spolehlivá ochrana osádky před účinky ručních zbraní a ve specializovaných případech i před výbuchem určité intenzity. Stejně významná jako balistická ochrana osádky, je rovněž ochrana kritických míst vozu. Ohroženy jsou např.: baterie, motor, palivová nádrž. U osobních i nákladních automobilů je kladen důraz i na celkovou mechanickou odolnost. Pancéřované vozy musí splňovat čtyři základní požadavky:

Balistická odolnost – obvyklé je použití pancéřové oceli o síle v rozmezí 3,2 mm až 6,4 mm (i více, závisí však na požadované úrovni ochrany). Skla oken se nahrazují neprůstřelnými o tloušťce 3,8 cm až 7,6 cm. I po selhání pneumatik (proražení, průstřel) musí být zaručen jistý dojezd např. pomocí speciální obruče nainstalované na disku kola. Nárazníky musí být uzpůsobeny k proražení zátarasů. Uvedené hodnoty jsou spíše orientační, jelikož platí pravidlo, čím je pancíř mocnější, tím také poskytuje větší ochranu.

Maximální nosnost – průměrná nosnost vozidla určeného k převozům peněz i cenin je cca 11 350 kg (5 450 kg vozidlo a 5 900 kg užitečná hmotnost). Pokud je redukována hmotnost vozidla, zvětšuje se i limit pro maximální hmotnost cenného nákladu.

Bezpečnost – důležité je rozdělení vozidla přepážkou na prostor určený pro řidiče a prostor pro kurýra. Zámek nákladového prostoru umožňuje zabouchnutí a jeho otevření je možné jen řidičem z kabiny vozidla. Cennosti je možné uložit do trezoru uvnitř vozidla, eventuálně do jednosměrného vhozového trezoru, který je možné otevřít jen na určeném místě. Střílny je možné otevřít pouze zevnitř.

Komfort posádky – prostřednictvím klimatizace/topení. Řidič i kurýr mají možnost regulace teploty ve svém sektoru. K udržení potřebných teplot přispívá i pěnová izolace ve

stěnách, stropu a podlaze. Výměnu vzduchu zajišťují ventilátory s vyústěním na střeše vozu. Skrz otvory nesmí existovat přímá cesta do interiéru – klapky. [17, 18]

3.1 Materiály užívané pro zvýšení odolnosti

Pancéřová ocel

Tradiční materiál pro zvýšení balistické odolnosti částí karoserie. Spočívá v instalaci panelů vysoce odolné oceli s vysokou hodnotou tvrdosti i pevnosti pod karoserií. Tímto způsobem musí být ošetřena většina povrchu vozidla a současně musí být brán ohled i na volbu materiálu vzhledem k umístění na vozidle (ochrana podlahy bude optimalizována proti účinkům výbuchu, kdežto boky budou optimalizovány zejména proti malorážovým projektilům).

Ocelovým plátům bývá dáвана přednost před jinými lehčími materiály (např. aramidem) v případech, kdy konstrukce vozidla použití jiného materiálu nedovoluje, např. skrz jeho tloušťku.

Spektra shield (lehký kompozit)

Tvořen z kvalitního lehkého polyetylenu, který se vyznačuje až desetinásobně vyšší pevností než ocel, voděodolností a zároveň výrazně nižší hmotností. Má odolávat projektilům ručních zbraní, tlakovým vlnám a střepinám. Své využití původně nalézal v ochranných aplikacích v armádě, ale technologie byla uvolněna i pro civilní sektor. Prvním výrobcem byla firma Honeywell. Podobným způsobem se dají využít materiály jako nylon, kevlarová a aramidová vlákna.

Transparentní (čirý) pancíř

Běžná skla se nahrazují polykarbonátem (např. lexan). Ten bývá typicky používán u zcela plochých skel. Světlo jím prostupuje v dostatečné intenzitě a je možné i jeho tónování. Používá se obvykle na místech, kde by instalace prémiového materiálu nebyla efektivní.

Kvalitnější variantou je tzv. ALON (oxynitrid hliníku – AION), který je až třikrát tvrdší než ocel. Nevýhodou je však jeho vysoká cena. [18]

3.2 Výroba pancéřovaného vozu

Podrobnější proces úpravy nebo úplné stavby pancéřovaného vozidla je u každé organizace specifický a z pochopitelných důvodů chráněný. Výroba pancéřovaného vozu může být shrnuta do devíti bodů:

1. Pořízení odolného podvozku s vysokou nosností. Součástí je i motor s převodovkou a kompletní systém zavěšení. Někteří výrobci pořizují podvozek i s kompletní kabinou, kterou při úpravách odstraní a použijí jen části interiéru.
2. Následuje výroba jednotlivých dílčích koster (pro střechu, stěny, podlahu), na kterých budou pancéřové plechy upevněny. Každá část je svařenec obvodových čtvercových trubek (jeklů) a vnitřních ocelových profilů. Respektují se otvory pro okna a dveře.
3. Na jiném místě jsou zpracovávány pancéřové plechy, které je nutné opracovat do požadovaných formátů (střecha, přepážky apod.). Do nastříhaných plátů se plasmovou řezačkou nebo i jiným způsobem vyřežou přesné otvory. Pokračuje se tvarováním, jež probíhá pod lisu. Po vytvoření požadovaných tvarů a úhlů jsou pláty přiloženy na příslušné části kostry a přivařeny nebo přinýtovány.
4. Nyní přichází na řadu fáze skládání, kdy se již opancéřované panely spojují dohromady. Zafixuje se podvozek, usadí se panel podlahy a na něj panely stěn. Nakonec se usadí střecha, překontrolují se polohy všech dílčích částí a vše se pevně spojí svary nebo nýty.
5. Dále jsou upevněny závěsy dveří a zavěšeny dveřní křídla. Závěsy jsou opatřeny mazacími hlavicemi zaručujícími hladký chod dveří.
6. Do mezer mezi výztuhami v panelech se vloží pěnová izolace. Následně se zadní část panelu překryje tenkým krycím plechem. Někteří výrobci používají místo vnitřního krycího plechu epoxidem spojené vrstvy balistických tkanin. Těm je udělen finální tvar ve formě.
7. Dále přichází na řadu upevnění vnitřní přepážky, oddělující kabinu řidiče od nákladového prostoru a připevnění polic, košů, trezorů i jiného příslušenství uvnitř nákladového prostoru.
8. Předposledním krokem je obroušení svarů a drsných míst se současnou kontrolou těsnosti spojů. Interiér se pokryje několika vrstvami ochranného nátěru. Vnější povrch se vytmelí a nalakuje dle požadavků klienta.

9. Mezi konečnými úpravami je montáž elektroinstalace v dobře přístupných potrubích pro snadnou údržbu. Instaluje se klimatizace a topení, do oken se vsazují neprůstředná skla, upevňují se nárazníky, střílny, zámky a další nezbytné příslušenství. Úplně naposledy se instalují vnitřní komponenty, jako jsou sedadla, kliky, měkká polstrování a jiné choulostivé vybavení. Vozidlo se přemístí na speciální lakovací linku, kde podvozek dostane antikorozi nátěr.



Obr. 9: Pancéřovaný vůz pro převoz peněz a cenností [19]

Výsledkem zmíněného výrobního postupu může být i vůz na obrázku výše. Účel vozu prozrazují např. zcela rovná skla, pevnější nárazníky a samozřejmě střílny pod okny a ve dveřích. [17]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 POPIS MĚŘENÍ, OBECNÉ INFORMACE

Cílem praktické části bakalářské práce bylo provedení měření základních parametrů – resp. tvrdosti řezu střely a vzorku pancíře. Na řezu bylo provedeno měření makro (podle Rockwella) i mikrotvrdosti (Vickers). Pancíř byl zkoumán pouze z pohledu mikrotvrdosti. Navíc bylo zjištěno chemické složení částí střely a pořízeno několik snímků metalografické struktury vzorku střely.

Cílem bylo také potvrzení/vyvrácení získaných informací o projektilu.

Cíle bakalářské práce

1. Vypracujte rešerši zaměřenou na pancíře, jejich vlastnosti a obecné využití.
2. V rámci literární rešerše se zaměřte na perspektivy využití pancíře pro zabezpečení vozidel.
3. Popište způsoby a možnosti využití pancíře v průmyslu komerční bezpečnosti.
4. Proveďte měření základních parametrů pancíře na reálných vzorcích.

4.1 Elektroerozivní řezání

Stručně lze elektroerozivní řezání popsat jako nesilově působící metodu dělení, kdy obrobek tvoří elektrodu opačné polarity k elektrodě nástroje – drátu. Obě elektrody jsou uloženy v lázni (dielektrikum – destilovaná voda), která zabezpečuje chlazení i odvádění kalu. Drát je zhotoven z materiálu s dobrou vodivostí (Cu, mosaz) nebo je jím alespoň povlakován. Drát se v průběhu operace odvíjí skrz vodící hlavu (kterou mimo jiné z důvodu chlazení tryská do prostoru eroze dielektrikum) a mezi ním a obrobkem vznikají elektrické výboje. Každý takový výboj roztaví a odpaří část hmoty nástroje i obrobku a tím vzniká dutina - řez. Metoda je velmi přesná, použitelná i pro extrémně tvrdé materiály jelikož tvrdost a houževnatost obrobku nemají na řezání prakticky vliv. Podmínkou ale je, že obrobek musí být z elektricky vodivého materiálu. [1]

4.2 Měření tvrdosti (podle Rockwella)

Vnikací metoda měření tvrdosti, vhodná pro materiály s tvrdostí nad 20 HRC. Princip spočívá v měření hloubky vtisku diamantového kuželového indentoru do povrchu

vzorku. Pro eliminaci vlivu povrchových nerovností se indentor nejprve zatlačí předzatěžující silou, teprve po ní následuje hlavní zatěžující síla. Doba, po kterou je na vzorek vyvíjen tlak, je závislá na vlastnostech materiálu resp. na závislosti plastické deformace na čase. Čím je závislost vyšší, tím je doba delší. Hlavními výhodami jsou univerzálnost a rychlost měření. [21]

4.3 Měření mikrotvrdomi (podle Vickerse)

Metoda není principiálně příliš odlišná od metody Rockwellovy. Místo kuželového je použit indentor tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu o vrcholovém úhlu 136° a měří se délky úhlopříček čtvercového vtisku. Výsledná tvrdost je zde podílem zatěžující síly a velikosti plochy vtisku.

Výhodou metody je nezávislost tvrdosti na velikosti zatěžující síly. V případě mikrotvrdomi je však výsledná hodnota tvrdosti vždy vyšší, než hodnota makrotvrdomi. Tento jev se připisuje tzv. ISE neboli vlivu velikosti vtisku. [21]

4.4 Metalografie

Nauka o vnitřní struktuře kovů a jejich slitin. Vlastnosti materiálu jsou dány jeho mikrostrukturou, která je studována za pomoci mikroskopů. Zkoumání se provádí na pro tento účel speciálně vyrobeném vzorku tzv. metalografickém výbrusu. Na výbrusu se v požadovaných místech aplikuje žíravý roztok, který napomáhá zvýraznění struktury. Na připraveném materiálu je možné rozlišit zrna a jejich hranice, tuhé roztoky, samostatné fáze, různé vměstky a nečistoty nebo vady materiálu (trhliny).

Z metalografického zkoumání lze tedy materiál blíže identifikovat, odvodit jeho vlastnosti i jeho kvalitu. [22]

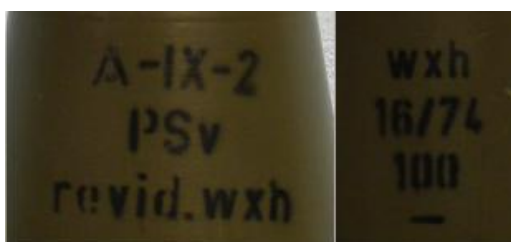
5 100 MM GRANÁT PROTIPANCÉŘOVÝ SE STOPOVKOU

V tomto oddíle byla věnována pozornost protipancéřové střele, jelikož její konstrukce dokáže mnoho vypovědět i o pancíři, proti kterému byla navržena. V první řadě mělo dojít k potvrzení získaných informací uvedených v teoretické části a informací ze značení střely. Dále k získání komplexnějších informací prostřednictvím celkové analýzy (ze střely byl vyřezán vzorek, na kterém měla být prakticky dokázána vnitřní stavba).

Dále bylo provedeno měření tvrdosti v různých místech vzorku, jednoduché mikroskopické prozkoumání metalografické struktury a nakonec bylo získáno chemické složení těla, protipancéřové čepice a těsnících kroužků.

5.1 Údaje na střele

Informace na náboji mají sloužit k přesné identifikaci typu a účelu. Popisky jsou provedeny nástřikem přes šablonu a odborně se označují jako šablonování. K přesné identifikaci se používají i různé barevné pruhy. Méně podstatné informace týkající se výroby mechanických částí (číslo tavby, výrobce atd.) jsou na různých místech náboje vyraženy a odborně se nazývají značkování. Šablonování nebo značkování se vztahuje k části, na které je provedeno (šablonování střely – vztahuje se ke střele apod.). V následujících tabulkách jsou uvedeny údaje ze šablonování, které se podařilo určit.

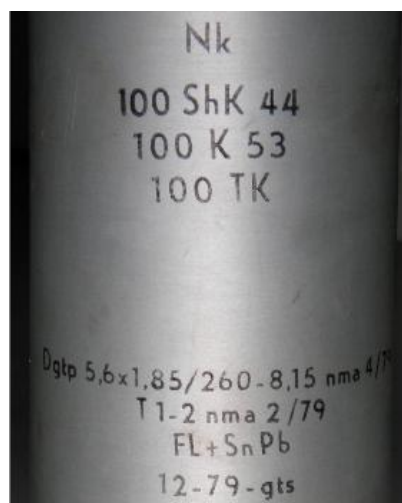


Obr. 10: Šablonování střely (přední a zadní část)

Střela	
Údaj	Význam
A - IX - 2	Druh trhaviny (flegmatizovaný hexogen s hliníkovým prachem)
PSv	Typ střely (protipancéřová)
wxh	Třímístný krycí kód výrobce
16/74	Série a rok výroby
100	Ráže střely v mm

Tab. 1: Význam údajů ze šablonování střely [23]

Výrobce jakékoli části nebo složky náboje je charakterizován třímístným krycím kódem. Dle dostupných údajů kód wxh patřil laboračnímu závodu Nováky, Slovensko.



Obr. 11: Šablonování nábojnice

Nábojnice	
Údaj	Význam
Nk	Označení nábojky s plnou náplní
100 ShK 44	Skupina děl, pro které je náboj určen
100 K 53	
100 TK	
Dgtp	Bezdýmný diglykolový trubičkový prach (střelivina)
5,6 x 1,85/260	Rozměry prachových trubiček (průměr x síla stěny/délka)
8,15	Kalorická hodnota prachu (výbuchové teplo ve stovkách kcal/kg)
nma 4/79	Třímístný krycí kód výrobce prachu, série a rok výroby
T 1 - 2 nma 2/79	Označení zažehovače, výrobce, série rok výroby prachu zažehovače
FL + SnPb	Flegmatizátor + odměďovač (slitina cínu a olova)
12/79	Série a rok výroby (laborace)
gts	Kód laboračního závodu nábojky, sestavení náboje

Tab. 2: Význam údajů ze šablonování nábojnice [23]

Nma v tabulce znamená, že prach hlavní náplně i černý prach zažehovače byly vyrobeny ve zbrojovce Vsetín. Kód gts patřil n. p. Synthesia v Pardubicích, zde byl náboj také konečně sestaven dohromady. [23]

Pozn.: Mechanické části (střela, nábojnice) mohly být vyrobeny v Povážských strojárnách, jedná se však o nepotvrzenou domněnku.

5.2 Elektroerozivní řez střely

Řez je proveden kvalitně a odchyly od roviny řezu jsou zanedbatelné. Části střely, jejich hranice i nedokonalosti v jejich mechanickém spojení jsou dobře zřetelné. Na ploše řezu jsou zbytky materiálu nástroje (Cu).

5.2.1 Řezání střely

Podmínkou pro vznik kvalitních a hlavně použitelných vzorků bylo zabránění tepelného ovlivnění a také mechanického namáhání jejich materiálů. Pro všechny řezy byla tedy zvolena metoda dělení materiálu pomocí elektroeroze. Řezy byly postupně provedeny na CNC elektroerozivních drátových řezačkách FANUC Robocut Alfa-1iD a HITACHI 355Y.



Obr. 12: FANUC Robocut Alfa-1iD [2]

Celý proces je poměrně zdoluhavý a v případě výroby vzorku č. 1 trval 14 hodin. To bylo zapříčiněno zejména špatným vyplachováním. Svoji roli sehrálo také postupné uzavírání vyerodované štěrbiny (zřejmě důsledek tepelného zpracování – vnitřní pnutí) a následné skřípnutí drátu. Projektil byl po celou dobu řezání uložen v lázni na bázi destilované vody (dielektriku) jehož teplota nepřesáhla 35 °C. Pro samotné řezání jsou důležitými údaji i napětí a proud. Napětí se pohybovalo v rozsahu přibližně 35 – 70 V a proud přibližně v rozsahu 0 až 35 mA. Byl použit mosazný drát o průměru 0,25 mm.



Obr. 13: Střela bezprostředně po řezu

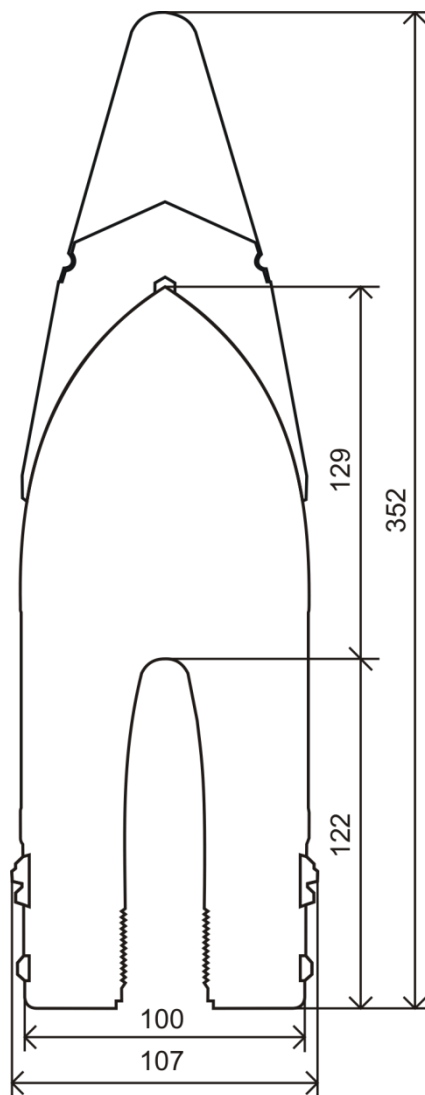
Výkon střely

Střela byla vyrobena v 70. letech v Československu a vychází z ruského (resp. sovětského) vzoru. Dosazením do jednoduché rovnice $e_d = E_d / S$, kde E_d je vztah pro kinetickou energii a S je plocha příčného průřezu projektilu, můžeme stanovit koncentraci dopadové energie. Pro zkoumaný projektil vážící 15 kg s plochou příčného průřezu 78,5 cm² a maximální dopadovou rychlostí 925 m/s, je koncentrace energie cca 81 747,6 J/cm²

Ve srovnání s moderní APFSDS o hmotnosti 6 kg, plochou příčného průřezu 4,9 cm² (průměr 25 mm) a dopadovou rychlostí 1 600 m/s, činí e_d cca 1 567 347 J/cm² (více než 19násobek). Z tohoto výsledku je zřejmé, že v konfrontaci s moderními typy pancíře nemá tato střela dostatečný účinek. Může být ale použita v boji proti méně obrněným cílům, jakými jsou např. OT.

5.2.2 Analýza konstrukce střely

Jedná se o protipancéřovou střelu s protipancéřovou čepicí opatřenou balistickou kuklou. Povrchovou úpravou je zelená barva, šablonování je provedeno černě. Vnitřní prostor kukly je dutý a opatřený černým nátěrem. Kukla z cca 1 mm silného ocelového plechu je mechanicky spojena s čepicí zalisováním nebo zaválcováním do drážky a část plochy čepice v kontaktu s kuklou je rádlována (nad drážkou cca 6 mm, patrně proti protáčení). Čepice je k tělu přiletována. V těle je dutina ukončená levým závitem o průměru 30 mm, sloužícím k našroubování zapalovače. Vodicí/těsnicí obroučky jsou zalisovány do lichoběžníkových drážek v těle. Dno drážek je zdrsněno, aby nemohlo dojít k jejich protočení při udělování rotace během urychlování v hlavni. Hmotnost bez bojové náplně a zapalovače je přibližně 14,4 kg. Hlavní rozměry jsou patrné z obrázku.



Obr. 14: Stavba střely

5.3 Tvrдость vzorku střely

Tvrдость je pro průbojnou střelu (resp. průbojnou část) důležitý parametr, mající velký vliv na hloubku penetrace. V případě střely proběhlo měření makro i mikrotvrlosti, u vzorku pancíře pouze mikrotvrlosti a proto bylo pro srovnání s teoretickými údaji nutné provést převod.

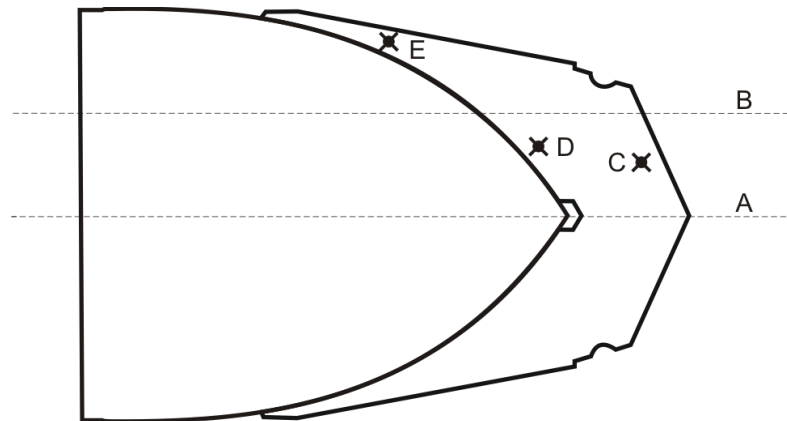
5.3.1 Postup měření (makrotvrдость)

Tvrдость vzorků střely byla měřena na stroji Rockwell RB 1 výrobce Škoda Plzeň v mechanické laboratoři podniku ZPS Slévárna a. s. ve Zlíně – Malenovicích. Podle charakteru vzorku byla zvolena metoda měření podle Rockwella. Síla předzatížení činila 98 N a následná zatěžující síla 1 470 N. Indentor o vrcholovém úhlu 120° a poloměru zaoblení špičky 0,2 mm tvořil diamantový kužel.



Obr. 15: Tvrdoměr RB 1

Měření proběhlo ve dvou zvolených osách (A, B) a také bodově (C, D, E) viz obrázek na další straně. Na obou osách se měřilo směrem od špičky ke dnu jak v průbojném těle, tak i v protipancéřové čepici.



Obr. 16: Nákres vzorku pro měření tvrdosti

5.3.2 Postup měření (mikrotvrdost)

Mikrotvrdost byla v případě střely měřena pro srovnání. Měření proběhlo na mikrotvrdoměru MicroCombi od firmy CSM Instruments v laboratoři tvrdosti a mikrotvrdosti FAI UTB ve Zlíně.

Kvalita výsledků této metody je závislá na rovnosti povrchu a na dostatečné homogenitě materiálu vzorku. Z tohoto důvodu byl zvolen jako vzorek vybroušený kousek průbojného těla, který byl použit již při metalografii.



Obr. 17: Vzorek pro mikrotvrdost i metalografii

Pro střelu bylo stanoveno maximální zatížení 0,5 N, rychlost zatěžování byla 1 N/min a setrvání na zátěži trvalo 90 s.

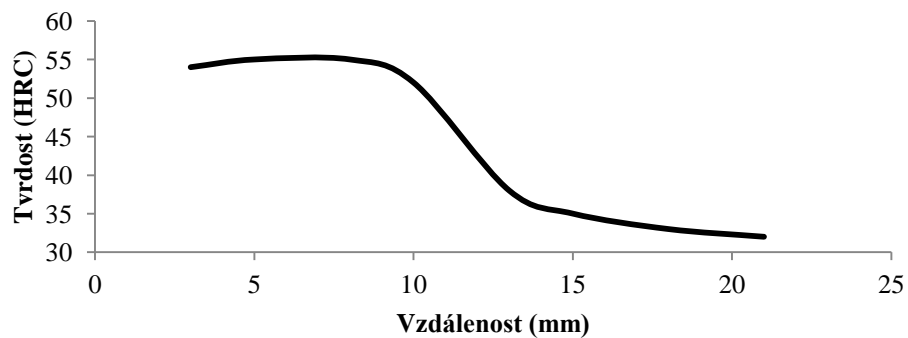
V případě pancíře bylo maximální zatížení 1 N, rychlost zatěžování byla 2 N/min a doba působení byla opět 90 s.

5.3.3 Výsledky (makrotvrдость)

Tvrđost protipancéřové čepice (HRC)							
Osy					Body		
Č. měření	Osa A	Vzdálenost (mm)	Osa B	Vzdálenost (mm)	Bod	Tvrđost	Vzdálenost (mm)
1.	54	3	56	4	C	56	4
2.	55	5	55	6			
3.	55	8	37	9			
4.	52	10	32	12	D	27	30
5.	38	13	25	25			
6.	35	15					
7.	33	18			E	20	82
8.	32	21					

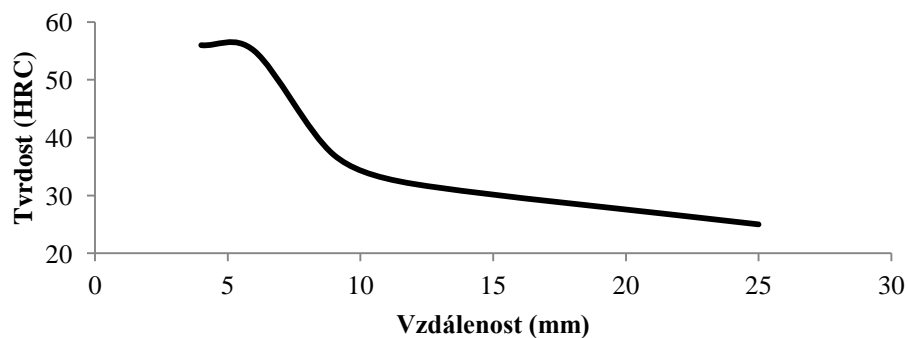
Tab. 3: Naměřené hodnoty v protipancéřové čepici

Průběh tvrdosti na ose A



Obr. 18: Klesající tvrdost na ose A

Průběh tvrdosti na ose B

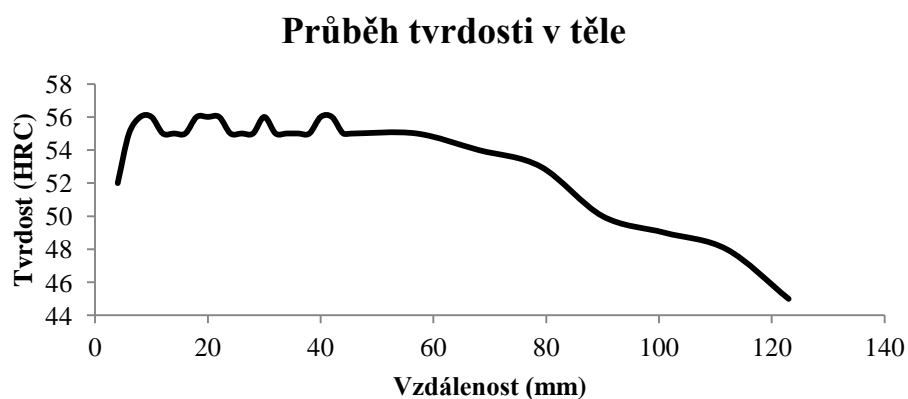


Obr. 19: Klesající tvrdost na ose B

Z naměřených hodnot je patrné, že tvrdost čepice postupně klesala směrem ke středu střely. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny na špičce, kde maximum činilo 56 HRC. Přibližně do hloubky 8 mm od povrchu hodnoty výrazněji neklesaly. Z toho vyplývá, že čepice má pravděpodobně zakalenou špičku.

Tvrdost průbojného těla (HRC)					
Č. měření	Tvrdost	Vzdálenost (mm)	Č. měření	Tvrdost	Vzdálenost (mm)
1.	52	4	16.	55	34
2.	55	6	17.	55	36
3.	56	8	18.	55	38
4.	56	10	19.	56	40
5.	55	12	20.	56	42
6.	55	14	21.	55	44
7.	55	16	22.	55	46
8.	56	18	23.	55	57
9.	56	20	24.	54	68
10.	56	22	25.	53	79
11.	55	24	26.	50	90
12.	55	26	27.	49	101
13.	55	28	28.	48	112
14.	56	30	29.	45	123
15.	55	32			

Tab. 4: Naměřené hodnoty v průbojném těle



Obr. 20: Klesající tvrdost od špičky do středu těla

Tělo vykazuje poměrně vysokou tvrdost, která zvolna klesá od špičky k základně. Zvlnění v první třetině křivky na předešlém obrázku je zapříčiněno zaokrouhlováním na celá čísla.

5.3.4 Výsledky (mikrotvrdost)

Měření mikrotvrdosti (HV)						
Č. měření	HIT (MPa)	EIT (GPa)	CIT (%)	W. ELAST. (nJ)	W. PLAST. (nJ)	HVIT
1.	7636,5	203,4	1,50	86	248	720,8
2.	7288,5	208,8	0,69	78	233	687,9
3.	7803,1	253,6	1,01	78	241	736,5
4.	8658,0	226,8	-0,23	79	233	817,2
5.	9459,6	262,9	-1,47	79	202	892,9
6.	8344,8	260,3	0,29	73	228	787,6
Aritmetický p.	8198,42	235,97	0,30	78,83	230,83	773,82
S. odchylka	721,48	24,19	0,96	3,80	14,42	68,11

Tab. 5: Získané hodnoty mikrotvrdosti těla

Průměrná hodnota mikrotvrdosti vyšla cca 774 HV, po převodu 63 HRC. V porovnání s reálnou hodnotou makrotvrdosti je patrný velký rozdíl. Ten je ale do určité míry zapříčiněn již zmíněným ISE.

5.4 Chemické složení

Stanovení chemického složení (kvantometrický rozbor) různých částí střely proběhlo na zkušebním přístroji LECO SA – 2000 metodou OES (BULK) opět v mechanické laboratoři ZPS v Malenovicích. Pro stanovení orientačního chemického složení byl použit i příruční přístroj Thermo NITON XL 3T (XRF Analyzer). Analyzátor byl efektivně použit jen při zjišťování chemického složení těsnících kroužků a pájky použité pro spojení čepice a těla, jelikož nedokázal určit obsah uhlíku.

Chemické složení pájky	
Prvek	Podíl (%)
Sn	60
Pb	40

Tab. 6: Pojivo mezi čepicí a tělem

Chemické složení hlavních částí			
Protipancéřová čepice		Průbojné tělo	
Prvek	Podíl (%)	Prvek	Podíl (%)
C	0,560	C	0,545
Mn	0,563	Mn	0,813
Si	0,299	Si	0,972
P	0,055	P	0,019
S	0,043	S	0,027
Cr	0,246	Cr	1,165
Ni	0,203	Ni	0,115
Mo	0,018	Mo	0,016
V	0,014	V	0,099
W	0,004	W	0,000
Ti	0,001	Ti	0,001
Co	0,015	Co	0,011
Cu	0,210	Cu	0,218
Al	0,004	Al	0,003
B	0,000	B	0,000
Pb	0,000	Pb	0,000

Tab. 7: Chemické složení čepice a těla

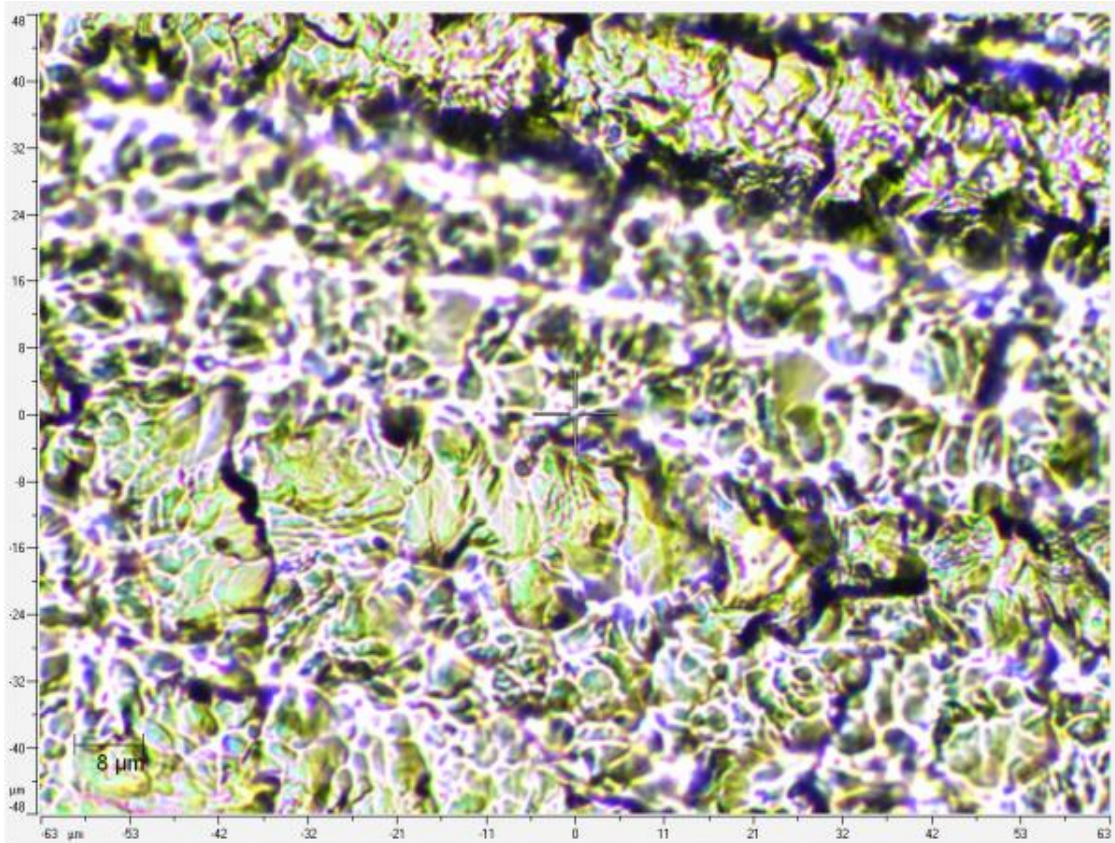
Chemické složení těsnicích obrouček			
Obroučka 1 (blíže ke špičce)		Obroučka 2	
Prvek	Podíl (%)	Prvek	Podíl (%)
Cu	95	Cu	97
Ni	5		

Tab. 8: Chemické složení obrouček

Z výsledků byl vyvozen závěr, že chemické složení čepice odpovídá oceli na odlitky ČSN 42 2670, v hutním provedení ČSN 12 060. Chemické složení těla nejbližší odpovídá opět oceli na odlitky ON 42 2830, v hutním provedení ČSN 15 260.

5.5 Metalografie

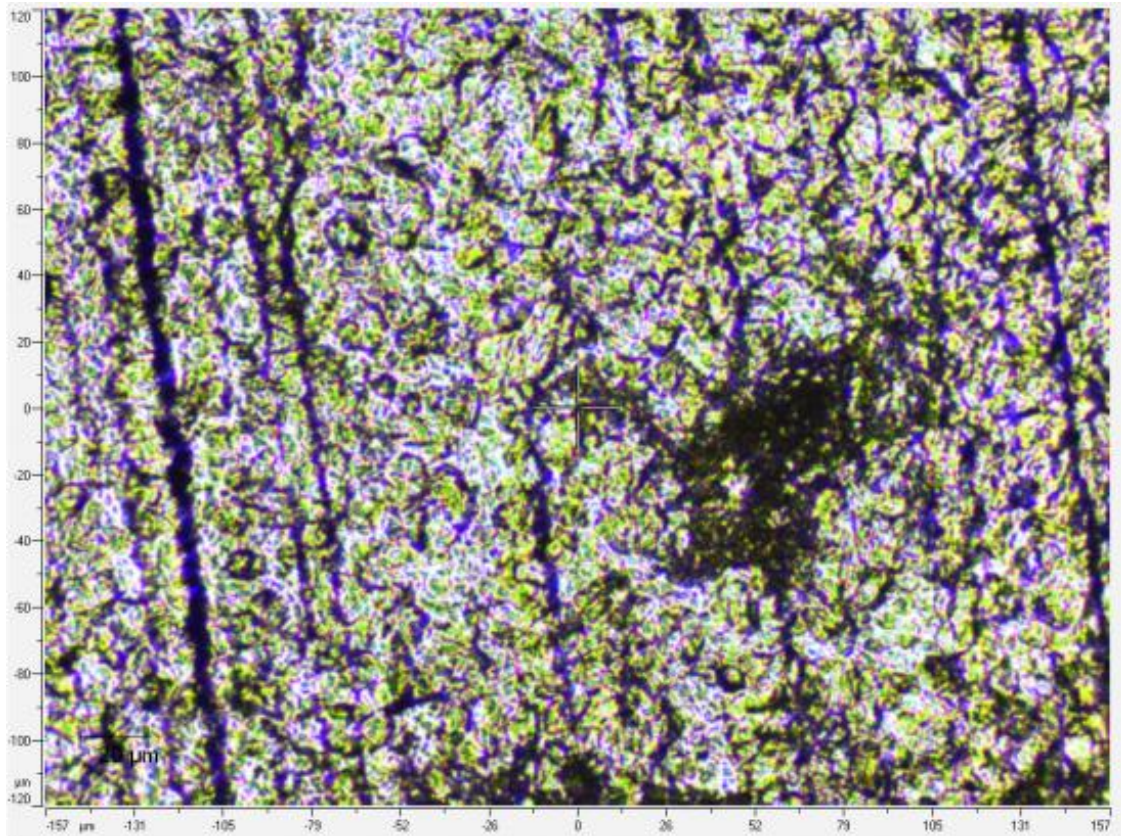
Část metalografie je částí doplňující. Dvojice vzorků (protipancéřová čepice, průbojné tělo) byla jednoduše studována pomocí už zmíněného mikrotvrdoměru v laboratoři na U5 (FAI), který možnost mikroskopického zkoumání umožňuje.



Obr. 21: Snímek b. čepice (zvětšeno 500x)

Popis

Snímek je pořízen z místa blízko špičky protipancéřové čepice, z oblasti zakalení. Struktura je tedy tvořena převážně martenzitem. Záměrem výrobce tedy bylo učinit špičku velmi tvrdou, aby při dopadu na pancíř došlo k narušení jeho povrchu. Čepice je zakalena jen do nezbytně nutné hloubky (cca 8 mm) aby spolehlivě plnila svoji primární funkci – zabránění sklouznutí.



Obr. 22: Snímek p. těla (zvětšeno 200x)

Popis

Snímek mikrostruktury průbojného těla v hloubce cca 25 mm od povrchu. Struktura je sorbitická. Černé čáry a výrazná skvrna jsou stopy po nástrojích (horší kvalita zpracování vzorku).

Fázové přeměny ve slitinách železa – za rovnovážných podmínek vede přeměna austenitu ke vzniku feritu a cementitu. To, jaká fáze bude v materiálu vznikat, závisí na chemickém složení a na teplotě. Pokud je austenit ochlazován kritickou rychlostí, dochází k jedné z následujících přeměn:

- **Perlitická transformace**
- **Bainitická transformace** – vyšší rychlost ochlazování
- **Martenzitická transformace** – vysoká rychlost ochlazení, základ kalení [12]

5.6 Diskuze výsledků

Během provádění měření se přišlo na několik nesrovnalostí mezi tvrzeními v literatuře a reálnými výsledky. Bylo jednoznačně vyvráceno tvrzení o stejném materiálu protipancéřové čepice a průbojného těla. Každá část je vyrobena z jiných slitin (viz část chemické složení). Navíc se zjistilo, že čepice je povrchově zakalena a tudíž musí mít tepelné zpracování.

Většina výroků však byla potvrzena. Tělo dosahuje vysokých hodnot tvrdosti, která směrem od špičky ke dnu klesá. Hlavními legovacími prvky jsou Cr, Mn, Si. Čepice je ve většině objemu houževnatá.

Zajímavostí je vznik poměrně rozsáhlých trhlin uvnitř těla. Trhliny vznikaly nejspíše v průběhu dělení, a jelikož elektroerozivní řezání nijak silově nepůsobí na obráběný materiál, musely trhliny s nejvyšší pravděpodobností vznikat v důsledku uvolňování vnitřních napětí. Tvrzení, že trhliny mohly být způsobeny nešetrným zacházením se střelou, jsou nepravděpodobné. Povrch střely nenesl žádné výraznější stopy po dynamickém namáhání.

6 PANCÍŘ

Měření mikrotvrdomosti byl podroben vzorek pancíře pod obchodním označením 2P (dle poskytnutých informací). Jedná se o úsporně legovanou ocel běžně používanou při konstrukci obrněných transportérů a vozidel AČR. Materiál je odolný penetraci, vzniku trhlin a výtrží. Výrobce je pravděpodobně Evraz Vítkovice.

Chemické složení oceli 2P (udávané výrobcem)		
Ocel	Příměs	Podíl (%)
2P	C	0,23 – 0,29
	Mn	1,2 – 1,6
	Si	1,2 – 1,6
	Cr	Max. 0,3
	Ni	Max. 0,5
	MO	0,15 – 0,25
	Si	0,03
	P	0,035

Tab. 9: Chemické složení pancíře [24]

Tvrdomost oceli 2P		
Tloušťka (mm)	Tvrdomost (HB)	HRC
4 – 7	444 – 514	47 – 52
8 – 14	388 – 495	42 – 51
15 – 20	363 – 495	39 – 51

Tab. 10: Orientační hodnoty tvrdosti pro různé síly plechu [24]

6.1 Popis

Pancíř nebyl v nejlepším stavu (povrchová rez) a aby na něm mohlo být provedeno kvalitní měření, musel být tedy na jedné straně vybroušen. Tím došlo k částečnému odstranění nejtvrďší vrstvy. I přesto jsou hodnoty tvrdosti poměrně vysoké.

Vzorek má rozměry 5 x 64 x 58 mm.

6.2 Měření mikrotvrdoti

Mikrotvrdot vzorku pancíře						
Č. měření	HIT (MPa)	EIT (GPa)	CIT (%)	W. ELAST. (nJ)	W. PLAST (nJ)	HVIT
1.	5050,9	226,6	-0,57	192	760	476,7
2.	4457,6	206,6	0,45	203	900	420,7
3.	6721,8	284,3	1,30	185	758	634,4
4.	7828,6	332,8	1,19	192	659	738,9
5.	5175,3	226,2	1,44	193	903	488,5
6.	5887,9	269,9	1,20	158	820	555,7
7.	6210,5	257,6	1,52	189	865	586,2
8.	6003,6	245,9	1,69	201	960	566,7
9.	4710,0	210,8	1,21	190	955	444,6
10.	5864,3	250,6	1,39	200	866	553,5
11.	4334,7	214,5	1,09	192	978	409,1
12.	5250,6	230,8	1,41	194	931	495,6
Aritm. p.	5624,65	246,38	1,11	190,75	862,92	530,88
S. odchylka	1009,42	36,32	0,61	11,56	97,14	95,27

Tab. 11: Získané hodnoty mikrotvrdoti pancíře

Průměrná hodnota cca 531 HV – přibližně 51 HRC. Pokud porovnáme s převedenými hodnotami HRC v tabulce 10, tak můžeme konstatovat, že pancíř udávanou tvrdostí disponuje. Stále zde ale platí vliv ISE, v takovém případě bude skutečná hodnota nižší, patrně u spodní hranice.

6.3 Diskuse výsledků

Zkoumaný pancíř vykazoval relativně vysoké hodnoty tvrdosti. Z tloušťky pancíře a naměřených hodnot lze potvrdit, že pancíř byl určen pro balistickou ochranu vojenských vozidel a transportérů. Sloužil tedy jako ochrana proti projektilům nižších ráží (ráže ručních zbraní do 20 mm).

ZÁVĚR

Práce si ve své teoretické části kladla za cíl srozumitelným způsobem vysvětlit pojem pancéřování. Byla uvedena řada různých typů pancířů i jejich funkčních principů, výhod. Ve druhé kapitole se zabývala způsoby (prostředky) překonávání, ze kterých by čtenář měl získat přehled o současných principech moderních protipancéřových zbraní. Součástí práce je i kapitola o využití pancéřování v PKB. Ta byla věnována pancéřovaným vozům určeným pro převoz peněz a cenin. Zde byly popsány různé materiály používané pro zvýšení balistické odolnosti, požadavky na pancéřované vozidlo a i možný algoritmus stavby takového pancéřovaného vozu.

Praktická část je zasvěcena dvojici vzorků (střela a pancíř). V její první části dochází k celkové analýze chemického složení, geometrie a stavby protipancéřové kaliberní střely PSv a jsou provedena měření její základní vlastnosti – tvrdosti. Úkolem také bylo potvrdit (nebo i vyvrátit) tvrzení o konstrukci a vlastnostech.

Většinu údajů uváděných o střele se podařilo potvrdit. Na druhou stranu měření prokázalo, že ne všechny údaje jsou přesné a bylo odhaleno i vnitřní poškození průbojného těla.

Druhou polovinu praktické části vyplňují údaje o získaném vzorku a měření jeho mikrotvrdosti (pancíř 2P). Ke vzorku byly dostupné základní informace týkající se chemického složení (pouze rozsahy příměsí) a tvrdostí pro různé tloušťky (opět jen rozsahy). Pochopitelně vzhledem ke stále citlivosti tématu pancéřování, není možné s jistotou tvrdit, že vzorek pancíře je vskutku již zmíněný 2P. Tvrdost ležící ve správném rozsahu tomu alespoň nasvědčuje.

Měření prokázalo jednu ze základních vlastností kladených na střely i pancíře. Vysoká tvrdost je pro průbojné části současných kinetických střel zásadním parametrem. Vedle toho musí být zaručena i dostatečná pevnost a houževnatost, která jde ovšem proti tvrdosti. Proto je volen vždy optimální kompromis.

Podobně je tomu i u homogenních kovových pancířů. Pancíř by měl být dostatečně tvrdý, aby dokázal deformovat špici dopadající střely (střela s nevýhodným balistickým tvarem hůře proniká pancířem) a současně dosti houževnatý, aby kladl pronikající střele co nejvyšší odpor. I zde je výsledný pancíř kompromisem. Jinou kapitolou jsou vrstevnaté pancíře, u nichž lze vybrat požadované vlastnosti kombinací speciálních vrstev.

Výzkum nových materiálů, postupů zpracování a technologií má ve vývoji pancířů velký potenciál. Dá se poměrně s jistotou tvrdit, že budoucnost bude ve znamení vrstevnatých pancířů a nových materiálů jako titan.

Klasický homogenní ocelový pancíř se dnes může jevit jako zastaralý. Stále se však jedná o nejvýznamnější typ, kterého se bude vzhledem k obrovské praxi ve výrobě a příznivější ceně hojně využívat.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The goal of theoretical part of Bachelor's thesis was to clearly introduce and explain term armour. Many armour types, their function principles and advantages was defined. The second chapter deal with ways of armour overcoming, from which reader should get survey over present principles of modern anti armour weapons. Constituent part of thesis is also chapter about use of armour in security industry. The chapter is about armoured vehicles for money and valuables transport. Here various materials for ballistics protection enlargement were described. Also requirements for armoured vehicle and possible algorithm of construction were mentioned.

In practical part there are two examined samples (sample of armour and projectile). In its first part chemical composition, geometry and construction of full bore anti armour projectile (PSv) was analyzed and measurement of essential attribute (hardness) is made. The task also was to confirm or disaffirm statements about construction and attributes of projectile.

Majority of information was verified. On the other hand the measurement showed that not all of the information is exact. The analysis showed damage inside the projectile too.

The second half of practical part is filled with information about acquired armour sample and its microhardness measurement (2P armour). Some basic information about chemical composition and hardness for different thicknesses was available (ranges only). Naturally in this case it is not certain, that the armour sample is real 2P, because of permanent sensitivity of this area. However the hardness at least belongs to correct range. The measurement demonstrated one major attribute required for projectiles and armour. High level of hardness is essential parameter for present kinetic penetrators. Concurrently the sufficient strength and toughness have to be guaranteed. These properties naturally go against each other and the final product is always optimal compromise.

Similar situation predominate in case of metal homogeneous armour. Armour should be hard enough to deform the top of the contacting projectile (penetrator without advantageous ballistic shape penetrates armour worse) and concurrently tough to constitute the greatest possible resistance for penetrating projectile. It means that optimal armour is also compromise as in the previous case. Laminate armour is another part, where is possible to choose desired properties by combination of special layers.

Research of new materials, treatment procedures and technologies has great potential in armour development. It can be said, that efforts of future engineers will be concentrated on development of laminate armour and new materials like titanium.

Nowadays classical homogeneous armour could seem outdated. But still it is the most important type, which will be abundantly used due extra production practice and lower cost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARTOŠ, Pavel. *Elektroerozivní drátové řezání*. Brno, 2011. Diplomová. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. KAREL OSIČKA, Ph.D.
- [2] *Drahterodiermaschinen*. Daume Erodiertechnik [online]. 2008 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.daume-erodiertechnik.de/Unternehmen/Maschinenpark/Drahterodiermaschinen/tabid/760/language/de-DE/Default.aspx>
- [3] VODÁREK, Vlastimil, Miroslav GREGER a Ladislav KANDER. *Struktura a vlastnosti oceli P2-04BCh po deformaci metodou ECAP*. [online]. 2008 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.nanotechnologie.cz/storage/Vodarek.pdf>
- [4] PRIFTI, Joseph, Michael CASTRO, Richard SQUILLACIOTI a Raymond CELLITTI. *Improved Rolled Homogeneous Armor (IRHA) Steel Through Higher Hardness* [online]. Aberdeen, 1997 [cit. 2014-06-04]. ARL-TR-1347. Dostupné z: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=AD A329222>. Zpráva.
- [5] HILD, Roman a Oldřich TĚŠÍK. *Opravy pancířů tankové techniky*. Brno: Brno VA, 1993. EP: 126.
- [6] BEER, Stanislav. *Munice*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2010, 92 s. ISBN 978-80-7231-746-2.
- [7] SOUKUP, Miloš. *Tanky 4*. Vyd. 1. Praha: ESo-video, 1997, 5 sv. *Moderní vojenská technika*. ISBN 80-902669-1-65.
- [8] BUCHAR, Jaroslav a Josef VOLDŘICH. *Terminální balistika*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2003, 340, [8] p. ISBN 80-200-1222-2.
- [9] MADHU, Vemuri a Balakrishna BHAT. *Armour Protection and Affordable Protection for Futuristic Combat Vehicles*. DRDO Publications [online]. [cit. 2014-02-02]. Dostupné z: <http://publications.drdo.gov.in/ojs/>.
- [10] *Aluminum Armor*. G2mil [online]. 2001 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.g2mil.com/aluminum.htm>.

- [11] *Low – Cost Titanium Armors for Combat Vehicles. TMS.org [online]. 1997 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.tms.org/pubs/journals/jom/9705/montgomery-9705.html>*
- [12] *SKÁLOVÁ, Jana. Nauka o materiálech. 3. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2003. ISBN 978-807-0432-440.*
- [13] *ČOS 343907. Svařování: Obloukové svařování vícevrstevných ocelových pancířů pro lehké a přídatné pancéřování objektů a vojenské techniky. Praha: Odbor obranné standardizace Úř OSK SOJ, 2010.*
- [14] *SOUKUP, Miloš. Tanky 1. Vyd. 1. Brno: ESo-video, 1995-1999, 5 sv. Moderní vojenská technika. ISBN 80-902669-1-65.*
- [15] *Explosive Reactive Armour. DRDO [online]. 2000 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.drdo.gov.in/drdo/pub/techfocus/feb04/explosive.htm>*
- [16] *ZDOBINSKÝ, Michal. Pandury pro Afgánistán. ATM. 2010, č. 10.*
- [17] *Armored Truck. How Products Are Made [online]. 2013 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-4/Armored-Truck.html>*
- [18] *Bulletproof Armoring Materials. Texas Armoring Corporation [online]. 2013 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: http://www.texasarmoring.com/armored_vehicle_bulletproofing_materials.html*
- [19] *What Is an Armored Car Robbery?. WiseGEEK [online]. 2014 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.wisegeek.com/what-is-an-armored-car-robbery.htm>*
- [20] *Активная танковая броня. [online]. 2014 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://topwar.ru/782-aktivnaya-tankovaya-bronya.html>*
- [21] *OVSÍK, Martin. Výzkum možností nových metod měření tvrdosti polymerů. Zlín, 2013. Disertační. FT UTB Zlín.*
- [22] *Metalografie. VŠCHT v Praze [online]. 2013 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fn_metalografie_1/teorie.htm*
- [23] *Označování munice. Ruce vzhůru [online]. 2009 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.rucevzhuru.cz/index.php/technika/156-oznacovani-munice.html>*
- [24] *Modelování průstřelu ocelové desky malorážovou průbojnou střelou. Vojenské zdravotnické listy. 2004, č. 3.*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

RHA	Válcovaný homogenní pancíř
IRHA	Vylepšený válcovaný homogenní pancíř
PKB	Průmysl komerční bezpečnosti
HRC	Jednotka tvrdosti podle Rockwella (150 kgf, indentor – 120 °)
HV	Jednotka tvrdosti podle Vickerse
HB	Jednotka tvrdosti podle Brinella
HBW	Jednotka tvrdosti podle Brinella (wolframový indentor)
HIT	Indentační tvrdost
EIT	Indentační modul
IED	Improvizované/nástražné výbušné zařízení
ERA	Dynamicky aktivní pancéřování
AČR	Armáda České republiky
TNT	Trinitrotoluen (vojenská výbušnina)
RDX	Hexogen (vojenská výbušnina)
EFP	Explozivně tvářený projektil
L/D	Koeficient štíhlosti
ISE	Vliv velikosti vtisku
ROW	Svařování válcováním
ČSN	Česká státní norma
OES	Optická emisní spektroskopie
CIT	Indentační tečení (tečení během konstantního zatížení)
S_{VP}	Představná vzdálenost
e_d	Koncentrace energie
ON	Oborová norma

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Schematické znázornění pancíře Chobham [14]</i>	15
<i>Obr. 2: Schránka dynamické aktivní ochrany [20]</i>	16
<i>Obr. 3: Střela s tupou hlavou (vlevo) a protipancéřovou čepicí [6]</i>	22
<i>Obr. 4: Různé provedení jádrových střel [6].....</i>	23
<i>Obr. 5: Střela APDS [6]</i>	24
<i>Obr. 6: Střely podkaliberní, šípově stabilizované [6]</i>	25
<i>Obr. 7: Vliv stínící vložky na šíření detonační vlny [6].....</i>	27
<i>Obr. 8: Střela po dopadu na pancíř [6].....</i>	29
<i>Obr. 9: Pancéřovaný vůz pro převoz peněz a cenností [19]</i>	33
<i>Obr. 10: Šablonování střely (přední a zadní část).....</i>	37
<i>Obr. 11: Šablonování nábojnice</i>	38
<i>Obr. 12: FANUC Robocut Alfa-IiD [2]</i>	39
<i>Obr. 13: Střela bezprostředně po řezu.....</i>	40
<i>Obr. 14: Stavba střely.....</i>	41
<i>Obr. 15: Tvrdoměr RB 1</i>	42
<i>Obr. 16: Nákres vzorku pro měření tvrdosti.....</i>	43
<i>Obr. 17: Vzorek pro mikrotvrdost i metalografii.....</i>	43
<i>Obr. 18: Klesající tvrdost na ose A.....</i>	44
<i>Obr. 19: Klesající tvrdost na ose B.....</i>	44
<i>Obr. 20: Klesající tvrdost od špičky do středu těla</i>	45
<i>Obr. 21: Snímek b. čepice (zvětšeno 500x)</i>	48
<i>Obr. 22: Snímek p. těla (zvětšeno 200x)</i>	49

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Význam údajů ze šablonování střely [23]</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 2: Význam údajů ze šablonování nábojnice [23]</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 3: Naměřené hodnoty v protipancéřové čepici</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 4: Naměřené hodnoty v průbojném těle</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 5: Získané hodnoty mikrotvrdosti těla</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 6: Pojivo mezi čepicí a tělem</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 7: Chemické složení čepice a těla</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 8: Chemické složení obrouček</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 9: Chemické složení pancíře [24]</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 10: Orientační hodnoty tvrdosti pro různé síly plechu [24]</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 11: Získané hodnoty mikrotvrdosti pancíře</i>	<i>52</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Protokol o zkoušce

PŘÍLOHA P I: PROTOKOL O ZKOUŠCE

	PROTOKOL O ZKOUŠCE	
	ZPS SLÉVÁRNA, a.s. Metalurgické laboratoře a zkušebny, http://www.slzps.cz	laborator@slzps.cz Tel. 577 532 390, Fax 577 103 606

Číslo protokolu : 470 / 14
Počet listů : 1
List číslo : 1

Zákazník : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Popis zkoušeného předmětu

Název : Střela
Material : Ocel

Datum přijetí zkoušeného předmětu : 12.5.2014
Datum provedení zkoušky : 13.5.2014

Výsledky měření - hodnocení :

Odběr vzorku : Do laboratoře dodány výřezy dvou částí střely za účelem stanovení chemického složení.

Příprava vzorku : broušeno

1. Chemické složení [%]

Hrot

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
0.560	0.563	0.299	0.055	0.043	0.246	0.203	0.018	0.014	0.004
Ti	Co	Cu	Al	B	Pb				
0.001	0.015	0.210	0.004	0.000	0.000				

Tělo

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
0.545	0.813	0.972	0.019	0.027	1.165	0.115	0.016	0.099	0.000
Ti	Co	Cu	Al	B	Pb				
0.001	0.011	0.218	0.003	0.000	0.000				

Validace provedena na : RM: RM-N ; SPL LA-3E
Kvantometrický rozbor č. : 253
Zkušební přístroj - metoda : LECO SA-2000 - OES (BULK)
Zkoušku provedl : Jan Fojtik

2. Závěr

Chemické složení hrotu střely odpovídá oceli na odlitky ČSN 42 2670. V hutním provedení ČSN 12060 resp. C55 dle ČSN EN 10083-2.

Chemické složení těla střely nejbližší odpovídá oceli na odlitky ON 42 2830. V hutním provedení ČSN 15260 resp. 51CrV4 dle ČSN EN 10083-3.

Příloha : není
Zlín dne : 13.5.2014
Zpracoval : Jan Fojtik

ZPS - SLÉVÁRNA, a.s.
Laboratoře a zkušebny
Třída 3. května 1172
763 02 Zlín, Malenovice

Schválil : Ing. Petr Látal

Uvedené výsledky zkoušek se týkají pouze předmětu zkoušek.

Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu laboratoře reprodukován jinak než celý