

Komplexní ochrana vojenské techniky

Článek pojednává o současných přístupech a možnostech řešení ochrany vojenské techniky a jejich osádek. Základním rysem je využití nových materiálů a technologií s cílem zajištění ochrany komplexního charakteru. Systémy balistické ochrany jako dominantní prvek ochrany vojenské techniky jsou totiž v současné době ve vyspělých zemích řešeny s respektováním požadavků radiační ochrany, požární ochrany, maskování ve viditelné, infračervené a mikrovlnné oblasti elektromagnetického spektra, odolnosti proti vnějšímu prostředí a chemikáliím.

* * *

Ve Vojenském technickém ústavu ochrany Brno ve spolupráci s Vojenskou akademií v Brně byl v souladu s těmito trendy v letech 1998 až 2000 řešen projekt „Komplexní ochrana vojenské techniky“. Cílem projektu bylo získání teoretických, a zejména experimentálních poznatků o ochranných vlastnostech materiálů používaných k balistické a radiační ochraně a k maskovacím účelům a vyvinout vysoce výkonná materiálová, technologická a konstrukční řešení v oblasti pancéřové ochrany a maskování, která by současně splňovala požadavky v ostatních výše citovaných oblastech.

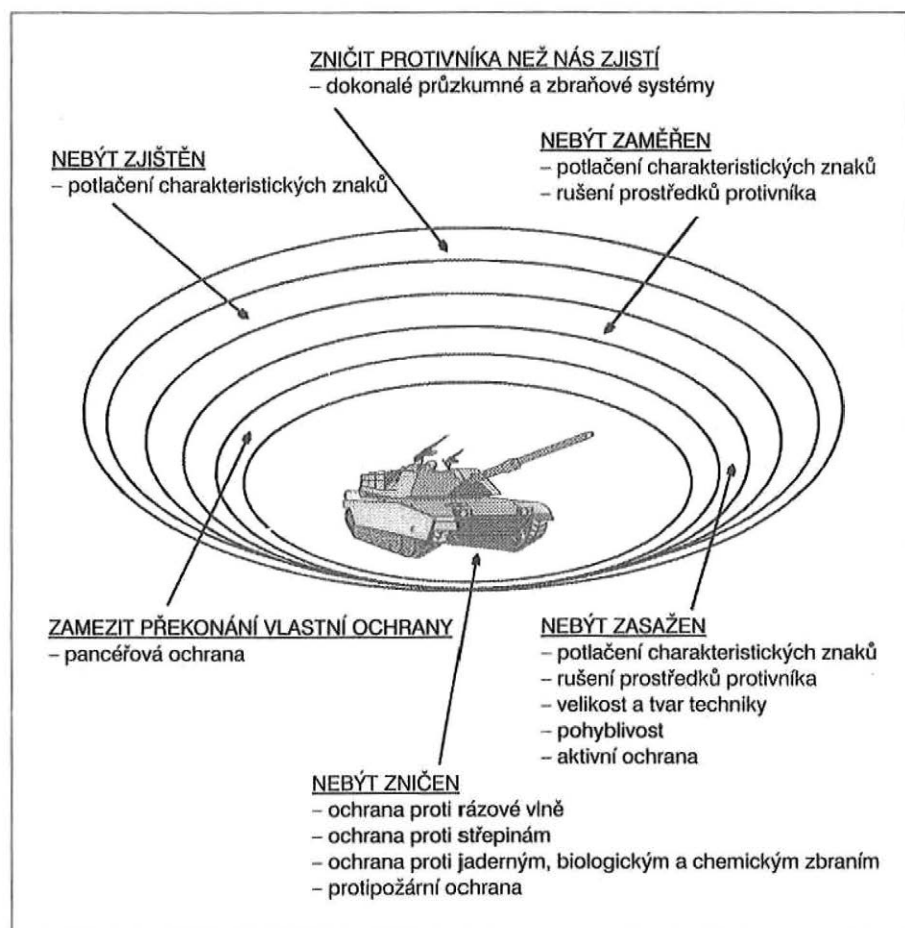
Výzkumu a vývoji účinných balistických materiálů a systémů ochrany je totiž v současné době věnována ve vyspělých zemích značná pozornost. Výsledky jsou bezprostředně aplikovány k ochraně vojáků i vojenské techniky, a to jak u nově vyvíjené vojenské techniky, tak u techniky zavedené, např. cestou přídatných pancéřových modulových systémů. Tento vývoj je zřejmý u vybavení jednotek USA, VB, Kanady a SRN nasazených na Balkáně.

V minulosti se ochrana vojenské techniky zajišťovala většinou jen s ohledem na jeden typ ohrožení. Vznikaly tak situace, kdy vyřešení jednoho problému znamenalo zhoršení situace v oblasti jiné. Jako příklad mohou sloužit následující případy:

- část ochranných materiálů na bázi polybutadienu a polyolefinů proti neutronovému záření je prudce hořlavá a výrazně snižuje požární odolnost tanků,
- část protiradiačních ochranných výtelek používaných v tancích a BVP obsahuje rozptýlené olovo, což ztěžuje a prodražuje případnou likvidaci techniky, zároveň tyto materiály nepůsobí jako balistický ochranný materiál, ale naopak vytváří střepiny,
- materiály pro maskování techniky v mikrovlnné oblasti jsou rovněž často velmi hořlavé,
- maskovací nátěry používané u stávající techniky řeší problematiku maskování ve viditelné oblasti, maskování v infračervené oblasti není dořešeno,
- nátěrové systémy nebyly řešeny z hlediska odolnosti proti pronikání kapalných chemických kontaminantů a dekontaminačních směsí.

Na druhé straně nebyly využity vlastnosti perspektivních pancéřových materiálů v oblasti radiální ochrany a maskování, a rovněž nové materiály pro maskování nebyly využity pro ochranu balistickou.

V současné době je ve vyspělých zemích NATO prosazována a respektována koncepce ochrany komplexní. Obecně musí být ochranný systém navržen tak, aby zajistil požadovanou ochranu před možnými prostředky ohrožení při daných limitech hmotnosti. Vzhledem k tomu, že každý druh ochrany znamená nárůst hmotnosti i ekonomických nákladů, je vhodné všechny druhy ochrany řešit simultánně již v etapě výzkumu a vývoje tak, aby nově používané materiály i systémy splňovaly požadavky na ochranu v celém spektru možných ohrožení. Pro přežití vozidla na bojišti se vychází ze základních principů komplexní ochrany (viz obr. 1).



Obr. 1: Základní principy komplexní ochrany

Zajistit ochranu osádek a techniky je požadováno ze dvou základních důvodů:

- o vojenského, kdy je cílem zajistit bojovou efektivnost a splnění úkolů,
- o politického, kdy se vyžadují minimální ztráty s ohledem na veřejné mínění obyvatelstva.

Jak již bylo zmíněno, základním typem ochrany je **ochrana balistická**. Používané pancéřování lze rozdělit na tři základní skupiny:

- pancéřování pasivní
- pancéřování reaktivní
- pancéřování aktivní

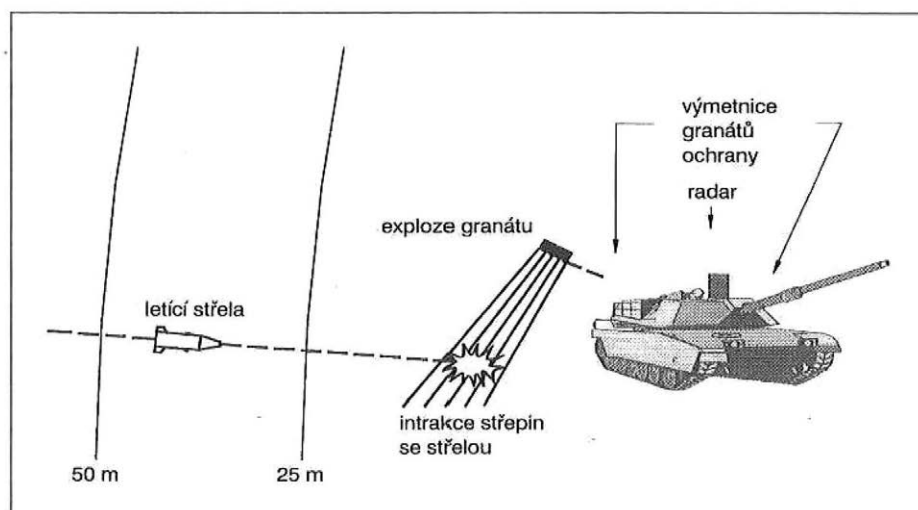
Klasické **pasivní pancéřování** využívá homogenní válcované oceli a hliníkové slitiny. V současnosti se spektrum používaných materiálů rozšiřuje o vrstvené materiály, keramiku, sklo, vysokopevná vlákna, lamináty, speciální kovové slitiny. Účinnost pasivního pancéřování je daná vlastnostmi použitého materiálu a jeho tloušťkou v případě homogenního pancíře, a vlastnostmi, tloušťkou, uspořádáním a způsobem spojení jednotlivých vrstev použitých materiálů v případě vícevrstevných pancířů. Podle konstrukčního provedení se může jednat o pancéřování základní nebo přídatné.

Reaktivní pancéřování dělíme na výbušné a nevýbušné. Výbušné reaktivní pancéřování (ERA) je charakterizováno tím, že obsahuje výbušninu uloženou zpravidla v boxech mezi dvěma kovovými deskami. Účinek reaktivního pancéřování je pak dán jednak vlastnostmi použité výbušniny, jednak vlastnostmi a tloušťkou desek, mezi kterými je výbušnina uložena. Tento způsob pancéřování byl zaveden zejména u izraelských tanků a u tanků řady T-55 a vyšších. V případě tanků se ukázala ochrana explozivním reaktivním pancéřováním jako velmi efektivní, snižuje účinek kumulativního paprsku na 1/3 až 1/5 jeho původní probíjecí schopnosti. Reaktivní pancéřování je však v současné době účinné pouze proti kumulativním střelám, není dostatečně účinné proti podkaliberním střelám nebo střelám EFP (výbuchem formované projektily). Vývoj reaktivního pancéřování směřuje k eliminaci účinků tandemových kumulativních náloží a je také snaha rozšířit účinek tohoto typu pancéřování i proti podkaliberním střelám. Reaktivní pancéřování může být provedeno jako návěsné (přídatné) nebo jako vestavěné, tvořící integrální součást pancéřování vozidla. Návěsná ochrana tohoto typu je použita i u naší modernizace tanku T 72.

Nevýbušné reaktivní pancéřování se odlišuje od předchozího typu tím, že vrstva výbušniny je nahrazena zpravidla elastomerem.

Aktivní pancéřování (APS) představují systémy ochrany schopné detekce, sledování a následného vyloučení zásahu či snížení jeho účinků na bojové technice. Funkce tak zvaných měkkých (*soft kill*) systémů je založena na využití elektromagnetického rušení, vytváření klamných signálů a využití aktivních prvků maskování s cílem vyloučit zasažení vozidla řízenou střelou. Funkce tvrdých (*hard kill*) systémů aktivní ochrany je cílena na zničení projektilu resp. střely před jejím dopadem na cíl. Aktivní ochrana je v současné době považována za klíčovou technologii z hlediska vývoje nové generace bojové techniky. Požadováno je zajištění ochrany ze všech směrů proti všem typům protitankových zbraní. V rámci NATO je většina systémů aktivní ochrany v současné době ve stadiu intenzivního výzkumu či vývoje.

V Rusku byl vyvinut systém Arena, který je hodnocen jako nejúčinnější zavedený systém aktivní ochrany tanků. Poskytuje ochranu čela, boků a vrchních částí vozidla proti střelám s kumulativní náloží. Princip funkce je znázorněn na **obr. 2**.



Obr. 2: Schéma činnosti systému APS ARENA

ARENA byla poprvé veřejně představena v roce 1992 a v roce 1994 byla demonstrována její účinnost zahraničním expertům. Nedávno byla představena modernizovaná verze BVP 3 vybavené verzí E této ochrany. Nevýhodou systému ARENA je její neúčinnost proti kinetickým projektilům a EFP munici.

Nově vyvíjené systémy aktivní ochrany využívají pro zajištění aktivní ochrany vozidel proti spektru PT zbraní letící desky urychlované elektromagneticky či výbušinou, urychlované tyče, soustavy malých kumulativních náloží a další řešení.

Současné požadavky na balistickou ochranu vojenské techniky

Technické řešení a využívání pancéřování není dáno jen materiálovými a ekonomickými možnostmi, ale závisí i na globálních politických podmínkách a strategických záměrech.

S koncem studené války dochází k rozšířenému použití armád zejména členských států NATO mimo vlastní území v řadě humanitárních a logistických podpůrných operací a v operacích pro udržení či vytvoření mírových podmínek (*peace-keeping, peace-making, peace-enforcing operations*).

Hlavními požadavky na bojovou pozemní techniku nadále zůstávají palebná síla, mobilita, ochrana. Avšak se změnou podmínek použití vojenské techniky dochází v oblasti ochrany vojenské techniky ke změnám priorit. Vývoj požadavků plánovačů NATO na balistickou ochranu je vyjádřen v **tabulce**.

Tab.

Typ techniky	Studená válka	Mírové operace (<i>peace-making/keeping</i>)
Tanky, BVP	balistická odolnost	odolnost proti minám
OT	balistická odolnost	zvýšená bal. ochrana a odolnost proti minám
Logistická a speciální vozidla	bez ochrany	balistická ochrana (ruční zbraně, střepiny, odolnost proti minám)

Bojové vozidlo musí být konstrukčně navrženo tak, aby tvořilo vyvážený celek výzbroje, pohyblivosti a ochrany. V případě pancéřové ochrany je nutné stanovit racionální požadavky vycházející z rozboru předpokládané činnosti vozidla, podmínek nasazení a možných typů ohrožení. Pancéřovaná ochrana je limitována zejména hmotností.

Vzhledem k vysoké účinnosti zbraní ohrožujících vojenskou techniku nejsme samozřejmě schopni zabezpečit ochranu v plném rozsahu. Pro tento případ je technika konstruována tak, aby bylo zabezpečeno přežití osádky, např.:

- využitím protistřepinových výstřelů omezujících prostor ohrožení v případě penetrace kinetických projektilů, probití kumulativním paprskem či vzniku výtrží,
- zamezení, případně vhodné směrování výbuchu vezené munice,
- ochrana proti požáru, zahrnující použití nehořlavých materiálů a aktivního hasičského systému,
- snížení účinků rázových vln, zejména při výbuchu min, vhodnou konstrukcí a použitím tlumících materiálů.

U lehkých obrněných vozidel je výchozí hladinou ochrana proti střelám z ručních střelných zbraní a odolnost proti střepinám granátů. Vychází se z předpokladu pravděpodobného ohrožení ze všech směrů. Zároveň jsou vozidla chráněna proti účinku minimálně pěchotních min a výbuchu tříštivo-trhavých granátů dělostřelectva.

U těžších obrněných transportérů a bojových vozidel je snaha poskytnout vyšší stupeň ochrany u části vozidel, kde se předpokládá nejvyšší míra ohrožení. Z čela jsou tato vozidla chráněna proti střelám 12,7 mm AP (průbojné), resp. 14,5 mm AP a u nejtěžších až proti 30mm AP projektilům. Boky vozidla pak až proti 7,62 mm AP ze všech směrů. Současným trendem ve zvyšování odolnosti vozidla je vedle změn základního pancíře na bázi ocelové či hliníkových slitin využívání systému přidávného pancéřování vozidla.

Ohrožení těžké pancéřové techniky - tanků - představují zejména kinetické projektily (KE), kumulativní nálože (CE) a výbuchem formované projektily (EFP) a protitankové miny. V současné době se z důvodu možností nasazení těžké bojové techniky v lokálních konfliktech klade důraz na snížení hmotnosti. Například v USA byl vytyčen pro bojové vozidlo nové generace následující cíl snížení hmotnosti. U tanku ze 70 tun (kde 36 tun představuje vlastní konstrukce a pancéřová ochrana) na 20 tun (8,6 tun vlastní konstrukce a pancéřová ochrana) při zachování, případně zvýšení balistické ochrany. Tyto cíle jsou splnitelné pouze aplikací nových vysoce pevných materiálů a technologií aktivní ochrany.

U bojových letounů určených pro přímou podporu pozemních jednotek je pancéřová ochrana použita zejména pro ochranu pilotní kabiny, a to proti střelám z pěchotních zbraní a střepinám.

Materiály pancéřování

V této části článku jsou uvedeny základní informace o vlastnostech a funkci materiálů balistické ochrany. Vývoj a použití progresivních materiálů v oblasti pancéřování zaznamenal v posledním desetiletí bezprecedentní kvalitativní skok. Byly vyvinuty a jsou zaváděny nové typy lehkých pancířů na bázi ultrapevných ocelí, aramidových,

skelných (S2 sklo) a polyetylenových laminátů, a zejména vícevrstvé keramické pancíře. Vývoj a použití těchto účinných prostředků balistické ochrany urychlila zejména změna vojenské a politické situace po roce 1990 spolu s růstem nebezpečí terorismu.

□ Kovové pancíře

Ocelové pancíře. Významná část obrněné techniky je konstruována s využitím ocelových pancířů na bázi ocelí vysoké pevnosti (až 1800 MPa). Hlavními materiálovými vlastnostmi těchto ocelí z hlediska penetrace protipancéřových střel jsou tvrdost, houževnatost a pevnostní charakteristiky. Podstatným požadavkem zejména u pancířů tvořících integrální součást konstrukcí vojenské techniky je svařitelnost. Základním představitelem této třídy ocelí jsou nízkolegované vysoce pevné oceli.

Ze závislosti limitních tlouštěk pancíře na jeho tvrdosti v případě protipancéřových projektilů vyplývá, že tloušťka pancíře nezbytná k zastavení projektilu významně klesá s rostoucí tvrdostí pancíře. Bohužel rostoucí tvrdosti je v kontroverzním vztahu houževnatost. Snižující se parametry houževnatosti vedou u vysoce tvrdých materiálů k iniciaci a šíření křehkého porušení. Pokroky v metalurgii umožňují v současné době výrobu a vývoj nových typů ocelí velmi vysoké pevnosti (až 2300 MPa). Špičkové pancéřové oceli tohoto typu vykazují úsporu hmotnosti až 20 % ve srovnání s oceli vyšší uvedené třídy. Problémem je omezená svařitelnost vedoucí k jejich použití zejména na přídatné pancíře.

Z hlediska homogenitních ocelí vykazují nejvyšší účinnost proti AP projektilům oceli typu maraging s obsahem cca 18 %Ni a 10 %Co. Problémem je vysoká cena omezující jejich použití v pozemní technice.

Další zvýšení balistické odolnosti lze dosáhnout u dvouvrstevných (duální pancíře), vícevrstevných resp. gradovaných pancířů, jejichž materiálové charakteristiky se mění napříč tloušťkou pancéřové desky tak, aby výsledný pancíř dosahoval optimální odolnost. Duální ocelové pancíře jsou tvořeny čelní vysoce tvrdou vrstvou a měkčí houževnatou vrstvou, které jsou navzájem metalurgicky spojené. Vysoká tvrdost čelní vrstvy umožňuje utopení, lom, případně fragmentaci projektilu a následnou absorpci kinetické energie ve větším objemu houževnaté podkladové vrstvy. Duální ocelové pancíře umožňují snížení hmotnosti více jak o 40 % ve srovnání s vysoce pevnými pancéřovými oceli. Problémem je zvládnutí technologie jejich výroby a zpracování a vysoká cena. V současné době jsou vyráběny pouze v USA a ČR (vyvinuty ve VTÚO Brno).

Pancíře z hliníkových a titanových slitin. Hliníkové pancíře jsou užívány v konstrukcích OT, BVP a další vojenské techniky zejména v USA, VB a Rusku. Hustota slitin hliníku je zhruba třetinová ve srovnání s ocelí.

Jako základní slitina je používána slitina 5083 s pevností 350 MPa. Tato slitina má podstatně nižší odolnost proti AP projektilům ve srovnání s vysoce pevnými oceli při odpovídajících hmotnostech pancíře. Proti standardním projektilům a střepinám je její odolnost mírně nižší, či srovnatelná.

Výhodou oproti ocelovým pancířům je vysoká tuhost hliníkových konstrukcí (úměrná třetí mocnině tloušťky) umožňující u lehkých vozidel absenci konstrukčních výztuží, případně rámu. Výhodou je i snazší obrobitelnost hliníkových slitin.

Další generací slitin hliníků pro pancéřování jsou vytvrditelné slitiny 7039 s pevností až 500 MPa. Jejich odolnost proti AP projektilům je vyšší než slitiny 5083 a přibližuje se k vysoce pevným ocelím (při srovnatelných hmotnostech). Problémem je svařování s nebezpečím vzniku koroze pod napětím v tepelně ovlivněné oblasti svaru. Z tohoto důvodu jsou i v současné době používány na svařované konstrukce (korba, věž) v převážné míře slitiny typu 5083 (např. Bradley).

Pro zvýšení balistické odolnosti hliníkových slitin je využíváno stejného principu jako u duálních ocelových pancířů - kombinace tvrdé čelní vrstvy z vysoce tvrdé oceli a houževnaté podkladové vrstvy z hliníkové slitiny. Tato kombinace je v současné době užívána při zvyšování balistické odolnosti obrněných vozidel s korbou příp. věží z hliníkových slitin.

Jako perspektivní z hlediska balistické odolnosti jsou slitiny na bázi titanu, např. Ti6Al4V s pevností 950 MPa. Odolnost titanových pancířů se při srovnatelné hmotnosti blíží duálním ocelovým pancířům. Z důvodu zejména vysoké ceny nejsou pro pozemní techniku využívány.

□ Nekovové pancíře

Vysoce pevná vlákna, textilie a lamináty. Obecně platí, že ochranu proti AP munici zajistí pouze tvrdý pancíř, popřípadě pancíř, který má tvrdou čelní vrstvu. Balistické lamináty na bázi skelných, aramidových a polyetylenových vláken, i když jsou schopny absorbovat mnohem větší energii než vysoce pevné oceli, jsou v tomto případě neúčinné. Střela pancíř v důsledku vysoké koncentrace sil na její špičce či okrajích buďto „prostříhne“, nebo se jím „protlačí“, aniž dojde k jejímu otupení či destabilizaci.

Jestliže je střela vyrobena z relativně měkkého materiálu, dojde při střetu s balistickým laminátem k jejímu otupení, působící síly se rozloží do větší plochy a začne se uplatňovat schopnost pancíře rozvést kinetickou energii do velkého objemu materiálu a tuto energii pohltit. Tuto schopnost si měkké pancíře uchovávají rovněž v případech, kdy je střela předem destabilizována nebo je narušen její tvar a symetrie. V praxi dochází k destabilizaci, deformaci a narušení střel při průchodu tvrdými pancíři. Speciálním případem „střel“ tohoto typu jsou též střepiny vznikající při výbuchu granátů a min a v důsledku interakce střel, kumulativních paprsků a rázových vln s pancířem.

Z uvedených důvodů je vhodné umísťovat na vnitřních stranách pancířů výstelky z balistických laminátů. Použití výstelek je v současné době také výhodné proto, že existuje množství speciální kumulativní a podkaliberní munice, kterou prostřelíme prakticky libovolný pancíř. Zvláště u lehké obrněné techniky je nutné se smířit s tím, že střela resp. paprsek prolétne pancířem a zničí vše, co jí stojí v cestě. Snahou konstruktérů techniky je, aby proti účinku takového zásahu byl chráněn zbytek osádky a zařízení. Základním požadavkem na materiály výstelek je, aby jejich schopnost zachytávat střepiny byla v přepočtu na 1 kg hmotnosti pancíře výrazně lepší než u ocelových materiálů. V opačném případě by nemělo smyslu tyto materiály používat vzhledem k jejich značně vyšší ceně.

Vedle využití jako protistřepinových výstelek se využívají balistické lamináty jako podložní vrstvy pro keramiku v přídatných pancířích. Vývoj balistických laminátů

a technologií jejich zpracování dává předpoklady pro náhradu kovových materiálů v konstrukcích lehkých obrněných vozidel (korba, věž).

Aramid. Z hlediska chemicko-technologického jde o vysoce orientovaná vlákna polyparafenyltereftalamidu. Ve světě je tento materiál nejčastěji znám pod obchodními názvy Kevlar (DuPont) a Twaron (AKZO). Měrná hmotnost aramidu je velmi nízká při velké pevnosti vlákna (3300 MPa). Je odolný vůči působení většiny chemických látek a vůči vyšším teplotám. Není elektricky vodivý, ale je citlivý na UV záření. U textilií z něho vyrobených dochází působením vody ke ztrátě balistických vlastností.

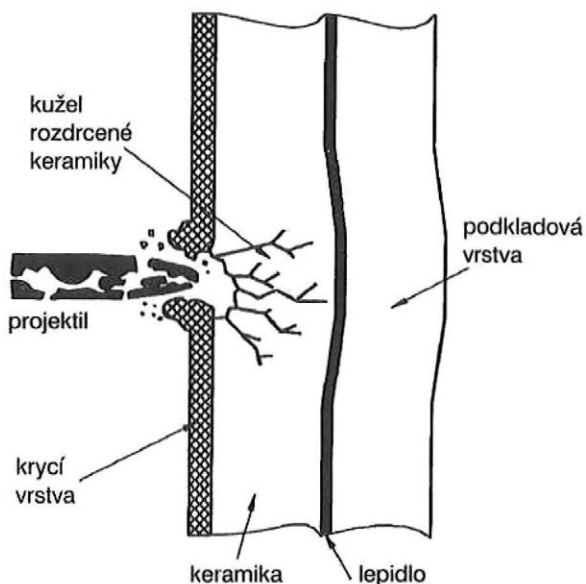
Aramidová vlákna se pro balistickou ochranu používají ve formě textilií a výztuže v laminátech. Aramidové lamináty vykazují výbornou odolnost proti střepinám a měkkým projektilům.

Polyetylény (PE). Ultraorientovaná vlákna z vysokomolekulárního lineárního polyetylénu jsou známa na trhu pod obchodními názvy Spectra (*Allied-Signal*) a Dyneema (DSM) a patří mezi nové typy vysokopevných vláken. Mechanické vlastnosti polyetylénu jsou srovnatelné s aramidem, polyetylén vzhledem ke své nižší hustotě umožňuje dosahovat lepších mechanických a balistických vlastností na jednotku hmotnosti. Polyetylenová vlákna mají nízkou tepelnou odolnost a vysokou hořlavost, která omezuje jejich použití ve vojenské technice. PE lamináty jsou cenově srovnatelné či dražší než aramidové lamináty, poskytují však v oblasti protistřepinových výstřelů či podložních vrstev keramiky nejúčinnější řešení z hlediska hmotnosti.

Skelná vlákna a lamináty. Skelná vlákna vykazují pevnosti srovnatelné jako PE a aramidová vlákna. Účinnost skelných laminátů v ochraně proti střepinám závisí na typu použitých vláken. Při použití běžných vláken ze skla typu E, která jsou vyráběna i v ČR, jsou dosahovány odolnosti srovnatelné s vysoce pevnými ocelmi. Vyšší úroveň lze dosáhnout použitím vláken typu S2 vyráběných v USA. Jeho cena je výrazně vyšší než E-skla, balistická odolnost je vyšší jen zhruba o 15 %. Skelné lamináty se vyznačují malou hořlavostí, při použití S2 skla i lepší balistickou účinností (proti střepinám) než vysoce pevná ocel. Dílce vyráběné ze skelných laminátů se vyznačují vysokou tuhostí a lze je využít i jako nosné prvky. Nevýhodou je jejich nižší schopnost absorbovat energii než je tomu u PE a aramidů a jejich vyšší hustota. Ve srovnání s ocelmi je nevýhodná jejich menší odolnost proti průbojným střelám.

Keramické pancíře. Keramické materiály s vysokou tvrdostí a nízkou hustotou jsou předurčeny k použití proti průbojným projektilům. Samotná keramika není používána vzhledem ke své vysoké křehkosti a nízké pevnosti v tahu a ohybu, vždy je ji nutno použít v kombinaci s dalšími materiály tak, jak je ukázáno na obr. 3.

Podobně jako v případě duálních ocelových pancířů, keramický pancíř využívá čelní tvrdé keramické vrstvy k poškození či k roztržení tvrdého, ale křehkého průbojného projektilu, zároveň absorbuje část kinetické energie převedením na energii lomovou a distribuuje zatížení na větší plochu podložní vrstvy (kužel rozdrčené keramiky). Podložní vrstva může být jak kovová (ocel, hliníkové slitiny), tak na bázi balistických laminátů (skelných, aramidových či polyetylenových). Funkce podložní vrstvy spočívá v podepření keramiky a prodloužení fáze jejího drcení, v absorpci kinetické energie a v zachycení zbývajících částí projektilu a rozdrčené keramiky. První využití keramického pancíře pro lehkou pozemní techniku se uskutečnilo na počátku



Obr. 3: Princip činnosti keramického pancíře

devadesátých let (Last Armor na LAV USMC - válka v Zálivu, IBD na M113, Pbv 302 a Fuchs v Bosně).

Výhodou keramiky je, že její tvrdost je podstatně vyšší než tvrdost jádra kalených ocelových průbojných projektilů. Navíc řada keramických materiálů má tvrdost významně vyšší i než v současné době zaváděná jádra průbojných projektilů na bázi karbidu wolframu.

Nevýhodou keramických materiálů je nízká pevnost v tahu, křehkost a náročné technologie jejich výroby a zpracování. Ve srovnání s ocelovými pancíři vykazují keramické pancíře nižší odolnost vůči vícenásobnému ostřelování, z hlediska konstrukčního je keramika balastní zátěží a navíc její cena je mnohonásobně vyšší. Nejlevnější korundová keramika (Al_2O_3) je více než 3x dražší než ocelový pancíř srovnatelné odolnosti. Tvrdší keramiky, tak jako karbid křemíku (SiC), stojí 10x více a u nejtvrďšího karbidu bóru (B_4C) je cena až 40x vyšší než srovnatelného ocelového pancíře. Z tohoto důvodu jsou aplikace keramiky u lehkých obrněných vozidel v současné době pouze na bázi korundové keramiky. Ve srovnání s homogenními ocelovými pancíři přináší užití keramiky 2 až 3násobné snížení hmotnosti pancíře. Se zaváděním jader průbojných projektilů na bázi WC se předpokládá i v pozemním vojsku využití tvrdší keramiky.

Integrace principů komplexnosti ochrany do pancéřování

Pancéřování tvoří vnější plášť obrněné techniky a jeho základní funkcí je zabezpečit balistickou ochranu.

V souladu s principy komplexní ochrany (obr. 1) zároveň tento plášť musí zajistit, aby možnost zjištění, rozpoznání, zaměření a následného zasažení byla mini-

malizována. Ochrana v této oblasti vychází ze stavu, že průzkumné a zbraňové systémy pracují převážně ve vizuální, infračervené a mikrovlnné oblasti spektra elektromagnetického záření.

Průzkum ve viditelné a blízké infračervené oblasti je poloaktivní, tzn. jeho funkčnost závisí na osvětlení techniky slunečním zářením, v krajním případě záření oblohy. Zamezení detekce, rozpoznání nebo identifikace souvisí se snižováním barevného (spektrálního) a jasového kontrastu techniky vůči okolí. K tomu se využívají maskovací nátěry, sítě, dýmy. Úprava barevného i jasového kontrastu techniky vůči okolí závisí na typu techniky i charakteru okolí. Proto je nutné, aby charakteristiky zastíracích prostředků odpovídaly charakteristikám okolí v jednotlivých ročních obdobích.

S ohledem na uvedené skutečnosti je potřeba volit nátěrové systémy pro povrchovou ochranu pancířů tak, aby zároveň splňovaly kritéria pro maskování v této oblasti. Samozřejmým požadavkem je stálost povrchové ochrany při expozici ve vnějším prostředí a při působení BOL a odmořovacích prostředků. Rovněž je potřeba vždy počítat s možností upevnění maskovacích prostředků na povrchu vozidla. Z těchto důvodů jsou preferovány svařitelné ocelové pancíře.

V infračervené oblasti (IČ) je průzkum pasivní, závisí na IČ vyzařování z povrchu techniky. Toto vyzařování, vyjma záření zplodin pohonných jednotek, je závislé na teplotě a spektrální emisivitě povrchů. Při provozu techniky se z vnitřních agregátů uvolňuje teplo, které vede ke zvyšování povrchové teploty a následnému vyzařování techniky v IČ oblasti. Technika nepracující se teplotně s okolím vyrovnává a v tomto směru ji lze od okolí odlišit z rozdílné časové setrvačnosti při změnách teploty okolí. Omezení průzkumu v IČ oblasti vyžaduje snížit rozdíl mezi povrchovou teplotou techniky a teplotou okolí, snížit spektrální emisivitu povrchu techniky a omezit spektrální transmitanci vrstvy atmosféry mezi technikou a IČ senzorem. Řešením je například použití termorochoží účinně absorbujících IČ záření z techniky a umožňující proudění vzduchu mezi rohoží a povrchem techniky, konstrukční opatření snižující teplotu výfukových plynů či vytvoření dýmové clony absorbující infračervené záření. Co se týká pancéřování, je vhodné využít materiálů s nízkou tepelnou vodivostí (keramika, polymery), zvláště v oblasti pohonné jednotky.

V mikrovlnné oblasti (RL) je průzkum zpravidla aktivní, protože přítomnost techniky v sledovaném sektoru je zjistitelná ze zpětného RL rozptylu (odrazu) záření vysílače radiolokátoru na technice. U větších rovinných ploch chráněné vojenské techniky je požadována minimální drsnost a orientace tak, aby RL záření bylo zrcadlově odraženo mimo směr dopadu. Tím je dosahováno malé velikosti zpětně odraženého záření. V RL oblasti se objekty charakterizují tzv. „efektivní (účinnou) plochou“ (EOP) vyjadřující průmět plochy všesměrově rozptylujícího tělesa do směru dopadajícího svazku, která vyvolává v RL přijímači stejně velký signál jako signál způsobený sledovaným objektem. Tato veličina zahrnuje vliv jak velikosti plochy, tak i reflektance povrchových částí. Pro snížení možnosti detekce je cílem minimalizovat EOP k hodnotám odpovídajícím EOP okolí. Omezení možnosti RL průzkumu znamená snížení zpětné reflektance povrchu buď jeho vhodným geometrickým tvarem (oblé plochy, ne hrany, ne kouty), nebo zabránění rozptylu. Toto se v praxi realizuje pokrytím povrchu (radioabsorbéry mikrovlnného záření) nebo integrací speciálních materiálů absorbujících RL záření (RAM) do povrchových vrstev pancíře. Radioabsorbéry jsou

účinné proti radiolokačnímu průzkumu, průzkumným palebným systémům a zbraním vysoce přesného navedení na cíl. Dále se využívají různé typy zastíracích prostředků ve směru působícího ohrožení (vodivé pásy, kuličky či aerosolové disperze). Proto se v této oblasti nejlépe uplatní skládané pancíře.

Z hlediska **ochrany proti radiaci** se vychází z následujících poznatků:

- ▲ Ochranu proti gama záření lze podstatně zvýšit jen u materiálů s vysokým protonovým číslem. Toto zvýšení je ale podmíněno velkým nárůstem hmotnosti.
- ▲ Stínění samotného neutronového pole je možné uvažovat jen v případě současné ochrany proti gama záření.
- ▲ Ochrana proti neutronovému záření má smysl jen v případě, že jsou vrstvy obsahující lehká jádra (jako je například vodík), umístěny za vrstvami těžkých prvků, které zpomalují rychlé neutrony.

Z výše uvedených poznatků plynou tyto zásady pro konstrukci balistické ochrany:

- ▲ Je-li nutné chránit osádky proti gama záření, je nezbytné použít masivní ocelové pancíře.
- ▲ Ochranu proti neutronovému záření zajistíme nejlépe tak, že za ocelový pancíř (který brzdí rychlé neutrony) umístíme výstelky na bázi aramidových vláken, které mají velkou účinnost při zachytávání pomalých neutronů. Tyto výstelky mají zároveň vysokou účinnost při zachytávání střepin a rovněž mohou sloužit jako tepelná izolace (viz problematika IČ záření). Stejně či dokonce lepší vlastnosti mají výstelky na bázi polyetylenových vláken, které však není možno použít z hlediska vysoké hořlavosti. Skelné lamináty, které lze pro tyto účely rovněž použít, mají účinnost menší a naopak větší hmotnost.

Řešení komplexní ochrany vojenské techniky ve VTÚO Brno

Problematika komplexní ochrany vojenské techniky byla ve Vojenském technickém ústavu ochrany Brno ve spolupráci s Vojenskou akademií v Brně řešena v letech 1998 až 2000 v rámci projektu obranného výzkumu KOMPLEX. Výsledky jsou obsaženy v celkem 28 výzkumných zprávách a studiích.

V úvodní části řešení projektu byly řešeny **metodiky hodnocení ochranných vlastností materiálů**, zejména střelecké odolnosti, účinku tlakové vlny vznikající při výbuchu miny, infračervených a radiolokačních charakteristik vojenské techniky, nátěrových systémů z hlediska odolnosti chemikáliím a radiačních ochranných vlastností materiálů (VA v Brně). Dále byly získány resp. doplněny základní experimentální data o užitných vlastnostech materiálů v minulém období zavedených do AČR. Jednalo se o materiály používané v pancéřování, v radiační ochraně a o maskovací prostředky a nátěry. Tato data ukazují, že ve všech zmiňovaných oblastech se jedná o systémy, které jsou v převážné míře zastaralé a neodpovídají současným nárokům.

Hlavní pozornost při řešení projektu byla soustředěna na **vývoj a testování nových materiálů** zejména balistické ochrany respektující principy komplexnosti ochrany. Byly získány zahraniční materiály používané v pancéřování vojenské techniky armád vyspělých států (oceli velmi vysoké pevnosti, balistická keramika, skelné, aramidové a polyetylenové lamináty) a rozsáhle testovány z hlediska užitných vlastností.

V rámci řešení projektu byla vyvinuta vlastní materiálová a technologická řešení, jednalo se zejména o:

- dokončení vývoje dvouvrstevných ocelových pancířů,
- návrh technologií, příprava a testování vzorků třívrstevných ocelových pancířů,
- návrh a odzkoušení technologií dělení a svařování vícevrstevných ocelových pancířů,
- optimalizaci výroby 96 % a 98 % balistické korundové keramiky,
- technologii přípravy a testování lehkých keramických pancířů typu korund-hliníková slitina, korund-ocel, korund-skelný resp. aramidový laminát, korund-voština,
- systémy ochrany dna bojových vozidel před účinky tlakové vlny a střepin od výbuchu min využívající sendviče s tlumícím elementem na bázi voštin, silikonové a PUR pěny a dřeva,
- keramické přídavné pancíře s integrovanou povrchovou vrstvou s maskovacími vlastnostmi v mikrovlnné části elektromagnetického spektra,
- balistické výstelky na bázi skelného nebo aramidového laminátu zvyšující odolnost ocelového nebo hliníkového pancíře a snižující zranitelnost,
- návrh, přípravu a reálné ověření maskovací termorochoze a pokryvu s multispektrálními maskovacími vlastnostmi ve viditelné, infračervené a radiolokační oblasti spektra.

Navržená a odzkoušená řešení vycházela z cíle dosáhnout maximální charakteristiky z hlediska zejména střelecké odolnosti a maskování, přičemž respektovala získané poznatky z hlediska radiálních ochranných vlastností, požární bezpečnosti a odolnosti proti působení vnějšího prostředí.

Vyvinutá řešení využívají v maximální míře výchozí materiály tuzemského původu a možnosti našeho průmyslu. Materiálová a technologická řešení systémů ochrany jsou na vysoké technické úrovni srovnatelné se špičkovými zahraničními výrobky. Střelecká odolnost byla hodnocena ve Zkušebně malorážových zbraní a ochranných prostředků VTÚVM Slavičín. Špičkové vlastnosti byly dosaženy zejména u vyvinutých dvou- a třívrstevných ocelových pancířů určených proti průbojně malorážové munici. Ve srovnání se v současné době nejvýkonnějším zahraničním ultrapevným ocelovým pancířem ULTRAFORT 6355 (Německo) byla dosažena deseti procentní úspora hmotnosti.

V oblasti keramických pancířů se podařilo optimalizovat užité vlastnosti balistické korundové keramiky na světovou. Získané poznatky o interakci projektilů s keramickými pancíři spolu s technologickými poznatky umožňují navrhovat a připravovat pancíře dle konkrétních požadavků.

Výsledky projektu byly využity při návrhu a stavbě prototypu modernizovaného BVP-1 (balistické výstelky, maskovací prostředky), a zejména v letounu L-159 (návrh systému pancéřování, dvouvrstvé ocelové pancíře, metodiky testování maskování a demaskujících charakteristik objektu).

Literatura:

- **S. Rolc:** Závěrečná zpráva projektu obranného výzkumu KOMPLEX. VTÚO Brno, 2001.
- **B. Burns:** Survivability of Ground Platforms in the Army after the Year 2010. Protection of Personnel and Materiel Conference. Brussels, November 2000.
- **D. Yaziv:** Considerations on Active Protection. Protection of Personnel and Materiel Conference. Brussels, November 2000.
- **M. Held:** Active Protection Against KE-Rounds and Shaped Charges at Short Distances. 19th International Symposium on Ballistics, Interlaken, May 2001.
- **J. Buchar and S. Rolc:** The Development of the Glass Laminates Resistant to the Small Arms Projectiles. 19th International Symposium on Ballistics, Interlaken, May 2001.
- **L. Ohdržálek and S. Rolc:** Steel and Ceramic Armours for Light Vehicles. 32nd International Scientific Symposium of the Defense Research Agency, Bucharest 2001.