



RAKETY A ŘÍZENÉ STŘELY NAD UKRAJINOU

MĚNÍCÍ SE TVÁŘ VÁLKY

MIHAJLO „MIKE“ S. MIHAJLOVIČ

RAKETY A ŘÍZENÉ STŘELY NAD UKRAJINOU

MĚNÍCÍ SE TVÁŘ VÁLKY

Mihajlo S. Mihajlović

GRADA PUBLISHING

Mihajlo S. Mihajlović

Rakety a řízené střely nad Ukrajinou Mění se tvář války

Z anglického originálu *Rockets and Missiles Over Ukraine: The Changing Face of Battle*,
vydaného nakladatelstvím Pen & Sword Books v roce 2023
přeložil Jiří Mareš

Vydala Grada Publishing, a.s.
U Průhonu 22, Praha 7
obchod@grada.cz, www.grada.cz
tel.: +420 234 264 401
jako svou 9952. publikaci

Odpovědná redaktorka Danuše Martinová
Sazba Miroslav Ferdinand
Počet stran 312
První vydání, Praha 2025
Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod a.s.

Copyright © Mihajlo Mihajlović, 2023
This translation of *Rockets and Missiles Over Ukraine: The Changing Face of Battle* first published in 2023
is published by arrangement with Pen & Sword Books Limited

Czech edition © 2025 Grada Publishing, a.s.

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

Automatizovaná analýza textů nebo dat ve smyslu čl. 4 směrnice 2019/790/EU a použití této knihy k trénování AI jsou bez souhlasu nositele práv zakázány.

ISBN 978–80–271–7841–4 (ePub)
ISBN 978–80–271–7840–7 (pdf)
ISBN 978–80–271–5323–7 (print)

Obsah

Předmluva	vii
Poděkování.....	vii
Poznámka pro čtenáře	vii
Kapitola 1 Představení bojových hlavic	1
Účinky výbuchu střel a raket	2
Krátery	5
Rázová vlna	10
Fragmentace	13
Probíjení pancíře – kumulativní střely	14
Termobarické bojové hlavice	22
Kapitola 2 Operačně taktické řízené střely	24
Točka-U	25
Iskander	35
Střela Orešnik.....	49
Kapitola 3 Vícehlavňové raketomety.....	54
BM-21 (9K51) Grad	63
BM-27 (9K57) URAGAN	80
Raketomet BM-30 (9K58) Smerč.....	88
M270 a M142 HIMARS	117
Improvizované raketomety	133
Kapitola 4 Termobarické zbraně	137
Technologické pozadí	137
Impozantní TOS	143
Kapitola 5 Řízené střely	160
Řada Ch-22 a 32	160
Řada Ch-55 a 101	167
Ch-59	173
Rakety 3M-14E a 3M-54 „Kalibr“	179
Řada Ch-29 a 38	187
P-800 Oniks/Jachont	189
R-360 Neptun	193
Harpoon	195
Kinžal.....	198
Protiradiolokační střely	203
Storm Shadow/SCALP	211
„Mocný“ Taurus	213

Kapitola 6	Střely země-vzduch	218
	Dalekonosné systémy PVO	218
	Patriot versus Kinžal	233
	Systémy středního doletu	235
	Západní „zázračné zbraně“	245
	SHORAD (Protiletadlové systémy krátkého dosahu) ..	253
	MANPADS (Přenosné protiletadlové komplety)	259
Kapitola 7	Protipancéřové systémy	267
	Javelin.....	267
	Stugna	274
	Brimstone	276
	9K121 Vichr	278
	9K135 Kornet.....	279
	Izdělje-305	281
Kapitola 8	Střely vzduch-vzduch	283
	<i>Dodatek</i>	
	Zkratky	289
	Poznámky	295
	Bibliografie	299
	Rejstřík.....	303

Předmluva

Tato publikace se zabývá nejběžnějšími raketami a střelami používanými ve válce na Ukrajině a je napsána na úrovni, která bude srozumitelná běžnému čtenáři se zájmem o techniku a vojenství. Autor měl možnost osobně si prohlédnout některé z těchto systémů a jejich municí. Kniha obsahuje 200 ilustrací a schémat.

Shrnutí:

- Kapitola 1 představuje bojové hlavice a jejich výbušné účinky.
- Kapitola 2 se zabývá operačně taktickými raketovými systémy.
- Kapitola 3 podrobně popisuje vícehlavňové raketové systémy (MLRS).
- Kapitola 4 se zabývá termobarickými zbraněmi.
- Kapitola 5 se podrobně zabývá řízenými střelami odpalovanými ze vzduchu, ze země a z moře.
- Kapitola 6 se zabývá raketovými systémy země-vzduch.
- Kapitola 7 popisuje protipancéřové raketové systémy.
- Kapitola 8 se zabývá raketami vzduch-vzduch.
- V dodatku jsou uvedeny nejčastěji používané zkratky v knize.

Bibliografie obsahuje rozšířený seznam literatury a doporučení pro další četbu.

Poděkování

Zdrojem obrázků v této práci jsou soubory uvedené v bibliografii, Ministerstvo obrany Ruské federace a Ministerstvo obrany Ukrajiny (MO), veřejně přístupné stránky a archiv autora. Některé dobové fotografie pocházejí z ruských vojenských webových stránek a publikací. Ostatní snímky mají původ v jiných jmenovaných zdrojích. Stejně jako u všech publikovaných prací se autor při recenzování své knihy spoléhal na pomoc přátel.

Poznámka pro čtenáře

Vzhledem k omezenému rozsahu je tato kniha velmi široce pojatým přehledem nejběžnějších raket a střel, které používají obě strany ve válce na Ukrajině. Některé zbraně, například starší protitankové řízené střely, naváděné dělostřelecké granáty nebo protitankové rakety odpalované z ramene, nejsou proto z důvodu omezeného prostoru konkrétně zmíněny. Autor se rozhodl používat původní označení a uvádět u nich při první zmínce jejich západní označení.

Kniha je napsána tak, že každou kapitolu lze číst, aniž by bylo nutné číst kapitolu předchozí. Text je určen běžnému čtenáři, který se zajímá o vojenskou techniku, zejména o rakety a střely a jejich využití ve válce na Ukrajině. Může ale být zajímavý i pro odborníky z oblasti techniky i pro zpravodajskou komunitu a vojenské analytiku.

Představení bojových hlavic

Hlavním úkolem raket a střel je likvidovat živou sílu a techniku nepřítele, jeho stavby a opevnění a plnit speciální úkoly. Jejich výkonnou částí je bojová hlavice (obr. 1-1, 1-2), která na cíl působí největším ničivým účinkem. Podrobný popis a vysvětlení k jednotlivým typům bojových hlavic budou podány v příslušných kapitolách.

Ničivý účinek je definován jako schopnost munice poškodit cíl za předpokladu, že se již nachází v jeho blízkosti a všechny její prvky fungují bez poruchy. Míra ničivého účinku munice na cíl a její bojová účinnost by se proto neměly zaměňovat. Je zřejmé, že bojová účinnost závisí nejen na účinnosti munice v blízkosti cíle, ale také na přesnosti dopravy munice k cíli, spolehlivosti všech jejích prvků (zejména zapalovače), schopnosti odolat obranným akcím nepřítele a mnoha dalších faktorech.

Munice se podle svého hlavního účinku dělí na následující typy:¹

- tříštivá/se střepinovým účinkem (s přirozenou nebo kontrolovanou tvorbou střepin a s předem tvarovaným rozpadem na střepiny; hlavice s kruhovým střepinovým účinkem; střelný prach a šrapnelová munice; kazetová munice),
- průbojná (munice pro ruční zbraně, protipancéřová a protibetonová),
- kumulativní nálože (jednoduché nebo tandemové; projektily tvarované výbuchem),
- trhavá (vysoce výbušná) munice, včetně objemové výbušné munice (aerosolové, termobarické),
- zápalná munice,
- jaderná munice (na základě štěpení nebo jaderné fúze),
- sjednocená podle typu působení.

Munici, která nepoškozuje cíle, ale slouží jako protiopatření k ochraně nebo snížení škod způsobených nepřátelskou municí, lze označit za samostatnou skupinu. Stejný účel plní aktivní ochrana obrněných vozidel, která ničí nepřátelskou municí při jejím přiblížení k cíli.

Existuje také řada druhů pomocné a speciální munice: osvětlovací, kouřová a další, které zde nebudou rozebírány, stejně jako munice jaderná.

Pro zajištění ničivého účinku na cíle je nutné na ně nějak působit. Obvykle se zdůrazňují tyto aspekty:

- působení toku střepin,
- penetrace,
- kumulativní působení,
- působení rázové vlny a produktů exploze,
- zápalný účinek,
- průbojné působení,
- působení elektromagnetického záření jaderného výbuchu.

Navzdory velké rozmanitosti konstrukcí raket a střel existuje jen několik způsobů, jak může munice působit na cíle. Všechny jsou vesměs určeny buďto kinetickou energií samotné munice, nebo chemickou energií výbušniny, kterou je munice opatřena.

Účinky výbuchu střel a raket

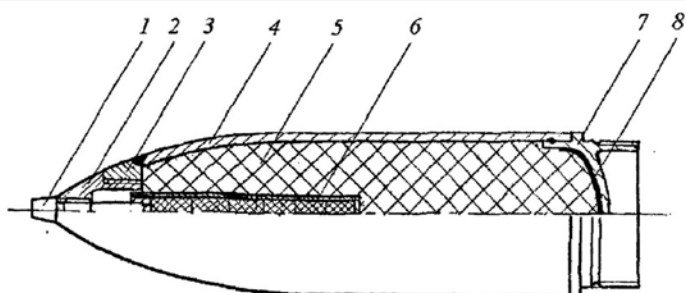
Moderní verze dělostřeleckých kanónů a minometů jsou v rámci svého účinného dostřelu schopné dosáhnout při nepřímé palbě poměrně vysoké přesnosti. Projektily vícehlavňových raketometů se obecně rozptylují na značné ploše, která se zvětšuje s rostoucí vzdáleností od cíle, což omezuje jejich technickou vhodnost pro použití proti menším nebo pohyblivým cílům, zejména v obydlených oblastech. Většina zbraňových systémů určených pro nepřímou palbu a používaných v dnešních konfliktech (s výjimkou řízených střel) není schopna dosáhnout vysokého stupně přesnosti, který je nutný k zasažení malého bodového cíle první střelou.²

Nenaváděným dělostřeleckým raketám odpalovaným z vícehlavňových raketometů chybí vždy do jisté míry přesnost.

K hlavním účinkům trhavé (vysoce výbušné) munice patří výbuch, vysoká teplota a střepiny pocházející z munice a sekundární střepiny a úlomky vzniklé při dopadu nebo výbuchu munice, které se pohybují vysokou rychlostí do značné vzdálenosti (technický popis viz následující oddíl). Tyto účinky jsou umocněny současným nebo postupným vypálením salvy munice a jejím použitím v obydlených oblastech, což často vede k tomu, že na rozdíl od škod způsobených shlukem navzájem nesouvisejících a plošně omezených bodů dochází ke značnému poškození rozsáhlých oblastí.

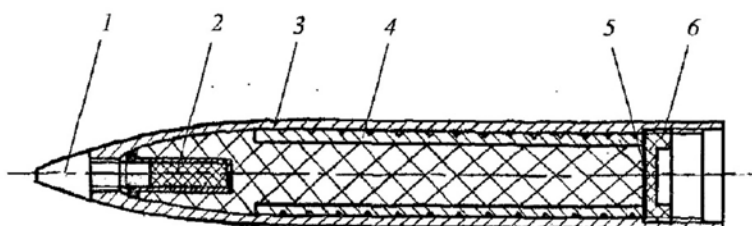
Trhavá (vysoce výbušná) munice může způsobit rozsáhlé poškození vojenských objektů a dokonce i úplné zničení cílového objektu nebo plochy. Na Ukrajině se nachází mnoho městských oblastí využívaných pro vojenské

PŘEDSTAVENÍ BOJOVÝCH HLAVIC



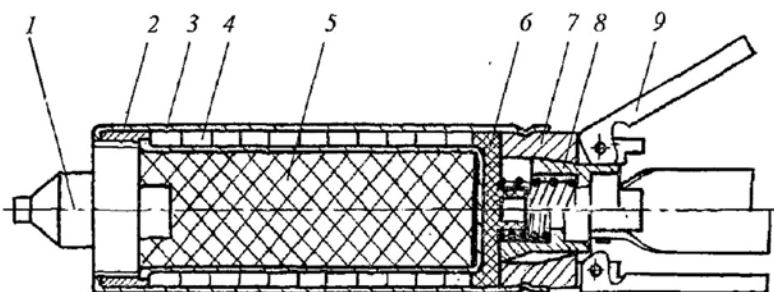
Konstrukční schéma trhavé (vysoce výbušné) bojové hlavice:

1 – zapalovač, 2 – objímka adaptéru, 3 – pouzdro těla, 4 – tělo, 5 – výbušná náplň, 6 – rozbuška, 7 – dno, 8 – tepelná izolace



Konstrukční schéma tříštivotrhavé (vysoce výbušné) bojové hlavice:

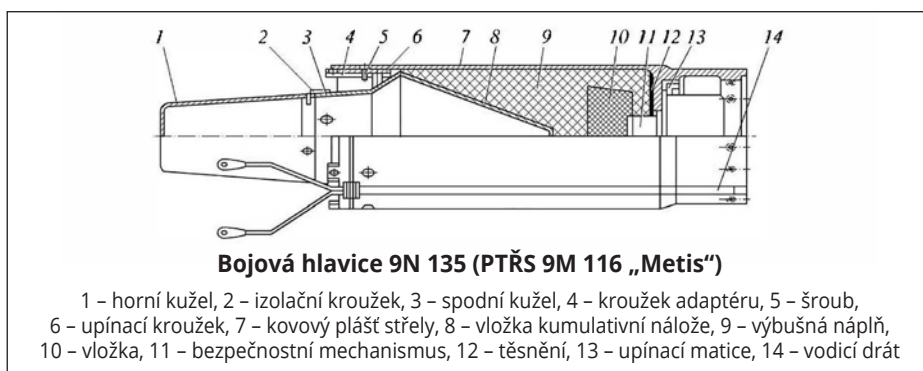
1 – zapalovač, 2 – rozbuška, 3 – tělo, 4 – vlnitý plášť, 5 – těsnění, 6 – zátka



Konstrukční schéma tříštivotrhavé (vysoce výbušné) kazetové munice
(ve spodní části obrázku, stabilizátory jsou ve složené poloze):

1 – zapalovač, 2 – přední kroužek, 3 – plášť, 4 – fragment, 5 – výbušná náplň, 6 – dno, 7 – zadní kroužek, 8 – pouzdro, 9 – stabilizátor

Obr. 1-1: Typy bojových hlavic: trhavá (vysoce výbušná) (HE) – nahoře; tříštivotrhavá (vysoce výbušná) (HE-FRAG) – uprostřed; kazetová (dole). (Zdroj: A. P. Orlov, *Osnovy ustrojstva i funkcionovania snarjadov RSZO*, upraveno autorem)



Obr. 1-2: Kumulativní hlavice. (Zdroj: A. P. Orlov, *Osnovy ustrojenstva i funkcionirovania snarjadov RSZO*, upraveno autorem)

účely, například továrny a komerční sklady přeměněné na muniční skladiště. Mnoho obytných budov, jako jsou školy, rodinné domy a budovy, se využívá k vojenským účelům. Výbušniny dopravované neřízenými nebo řízenými prostředky v obydlených oblastech jsou významně ovlivněny přítomností zástavby a terénních prvků. Stavby mohou poskytovat ochranu před primárními a sekundárními účinky výbušných zbraní, ale také tyto účinky zesilují v důsledku usměrnění a odrazů tlakové vlny. Cihly, beton, sklo a další materiál z budov a trosky zničených vozidel mohou zvyšovat střepinový účinek vlastní zbraně. Veškeré zdroje paliva (kapalného a plynného) nebo toxické chemické látky v oblasti dopadu munice a zhoršená statická stabilita budov, které mohou být náchylné ke zřícení, představují další nebezpečí.³

Intuitivní reflex cílových osob (vojáků i civilistů) hledat úkryt před útokem výbušné zbraně v budovách, vozidlech a podobných uzavřených prostorech představuje smrtelné riziko. Zintenzivnění účinků zbraně v obydlené oblasti je způsobeno především odrazem tlakové vlny a přítomností mnoha osob a staveb v postižené oblasti, zesíleným účinným dosahem munice i zdroji sekundární fragmentace. To má za následek vyšší podíl smrtelných zranění, než by pravděpodobně bylo v otevřeném prostoru.⁴

Lidé jsou obzvláště náchylní ke zraněním způsobeným přetlakem výbuchu a odrazem tlakových vln. To, že někdo přežije útok výbušnou zbraní pouze s povrchovými pohmožděninami, nevylučuje protržení ušních bubínek, poškození plic, vnitřní krvácení, poškození mozku, infekce, otravy a zlomeniny kostí. V závislosti na rozmístění staveb v obydlené oblasti a typu výbušné zbraně použité při útoku se může pravděpodobnost přežití člověka skutečně zvýšit, pokud se nachází mimo blízkost staveb (vleže na zemi v malé prohlubni nebo v úzkém příkopu).

Palba z minometů a dělostřeleckých systémů se i dnes navádí na cíl metodou přenášení palby k cíli, pozorováním místa jejího dopadu a následné korekce zaměření. První střely často dopadají do oblastí mimo zamýšlený

cíl. Maximální přesnost a preciznost těchto postupů vyžadují rozsáhlý výcvik, časté testování zbraní, přístup k moderním technologiím a podrobné zpravodajské informace podpořené důkladným výběrem cílů a komplexními a kompetentními odhady vedlejších škod.

Účinky výbuchu na cíle

Účinky výbušné munice lze rozdělit na primární účinky, způsobené hlavními ničivými mechanismy, a na sekundární a terciární účinky, které jsou vyvolány primárními účinky. Tato část se zaměřuje na primární ničivé mechanismy a sekundární účinky výbušnin.⁵

Primární účinky výbušných zbraní jsou definovány jako „způsobené destruktivními účinky, které se šíří z místa iniciace a zahrnují tlakovou vlnu, fragmentaci, vysokou teplotu a světlo“, a jsou přisuzovány přímo hlavním ničivým mechanismům výbušné zbraně – výbuchu, fragmentaci a vysoké teplotě. Termín „výbuch“ označuje tlakovou vlnu pohybující se nadzvukovou rychlostí (používá se i termín „rázová vlna“), po níž následuje výbuchem vyvolaná větrná smršť. Primární fragmentace zahrnuje úlomky vznikající přímo z výbušné munice. Třetím ničivým mechanismem je tepelná energie uvolněná při detonaci výbušniny.

Většina vysoce explozivních bojových hlavic není konstruována tak, aby poskytovala zesílený zápalný účinek; tepelný účinek je omezen na bezprostřední oblast detonace a trvá pouze extrémně krátkou dobu. Obecně platí, že primární tepelné nebezpečí, které představuje výbušná zbraň, je méně významné než nebezpečí výbuchu a fragmentace. Sekundární účinky výbušných zbraní vyplývají z prostředí, v němž munice exploduje. K nejvýznamnějším sekundárním účinkům patří sekundární fragmentace, hořící trosky, otřesy půdy a krátery.

Sekundární fragmentace pochází z předmětů, které byly zasaženy detonací, a může zahrnovat například kusy zdiva nebo skla ze staveb nebo úlomky kostí ze zasažených osob či zvířat. Sekundární fragmenty jsou obecně větší než primární fragmenty a nemají tendenci se pohybovat tak rychle nebo tak daleko jako primární.

Otřesy půdy jsou důsledkem energie, kterou na půdu přenese rázová vlna způsobená výbuchem, a mohou vzniknout v důsledku detonace pod zemí, na zemském povrchu nebo ve vzduchu nad ním. Představují další ohrožení statiky budov (což má významný vliv v městských oblastech), protože půda převádí rázovou vlnu do základů a stěn.

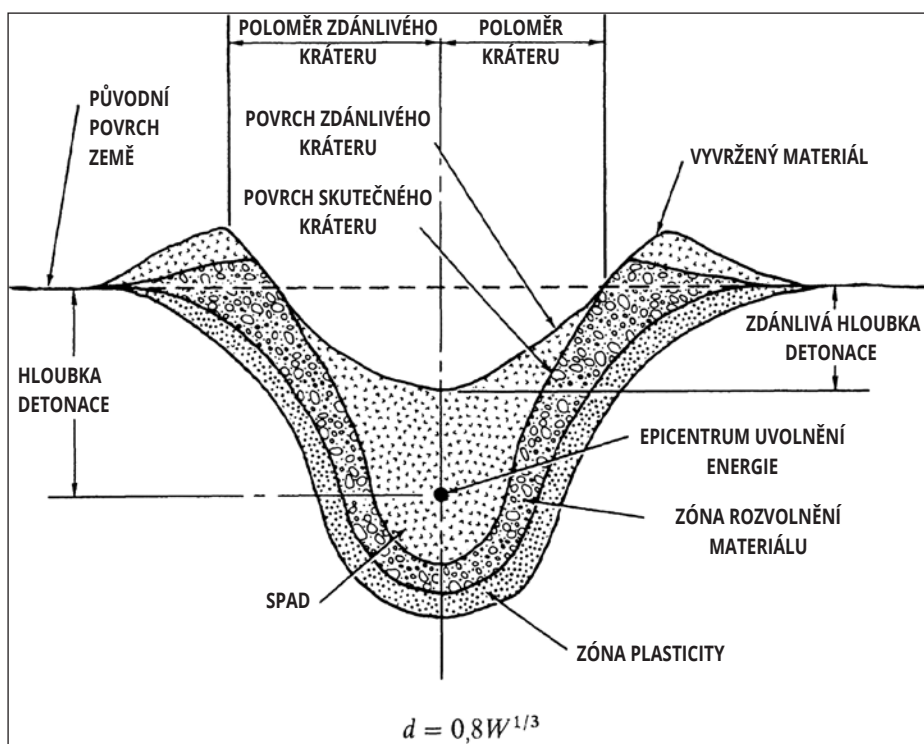
Krátery

Kráterem se rozumí prohnutí a deformace půdy v okolí místa detonace (obr. 1-3). Otřesy půdy i krátery mohou způsobit značné škody na podzemních úkrytech a bunkrech i na kritické infrastruktuře. Může se jednat o záměrný

účinek výbušné munice optimalizované pro vytváření kráterů, které mají za cíl zablokovat přístupové cesty nebo narušit infrastrukturu.⁶

V městském prostředí představuje další nebezpečí odlupování. Jedná se o účinek rázové vlny, který se nejčastěji vyskytuje u materiálů křehkých než kov. Dochází k němu, když střela dopadne na vnější povrch pevného tělesa a způsobí odštěpení úlomků z jeho vnitřního povrchu. Střela nebo střepina přitom nemusí pevným tělesem proniknout; k odštěpení může vést i pouhý náraz s dostatečnou energií do vnějšího povrchu. Možným scénářem, který vede k tomuto jevu, je také zasažení cihlové zdi tlakovou vlnou nebo v některých případech projektilem nebo střepinou s dostatečnou energií, což způsobí sekundární fragmentaci uvnitř budovy. Významným nebezpečím specifickým pro městské prostředí je riziko fatálního narušení statiky budov způsobené tlakovou vlnou. Všechny osoby v těchto budovách a konstrukcích a v jejich okolí mohou být při jejich částečném nebo úplném zhroutilu rozdraceny.⁷

Působivým aspektem povrchové exploze je výsledný kráter (obr. 1-4). Velkou variabilitu vzniku kráteru naznačují směrodatné odchylky, jejichž průměrná hodnota se rovná přibližně jedné třetině průměru kráteru a které jsou uvedeny v rovnici na obr. 1-3.



Obr. 1-3: Typický kráter vytvořený explozí; „d“ je hloubka kráteru, „W“ je výtěžnost exploze. (Zdroj: G. F. Kinney a K. G. Graham, *Explosives Shock in Air*)

Hloubka kráteru vzniklého výbuchem se obvykle rovná přibližně jedné čtvrtině jeho průměru, ale to závisí na typu půdy (obr. 1-4). Průměr kráteru po výbuchu závisí také na místě výbuchu vzhledem k úrovni povrchu. Výbuchy nad povrchem země tedy nemusí vytvořit žádný kráter. U výbuchů pod povrchem se průměr kráteru zpočátku s hloubkou výbuchu zvětšuje, dosahuje maxima a poté se výrazně zmenšuje.⁸

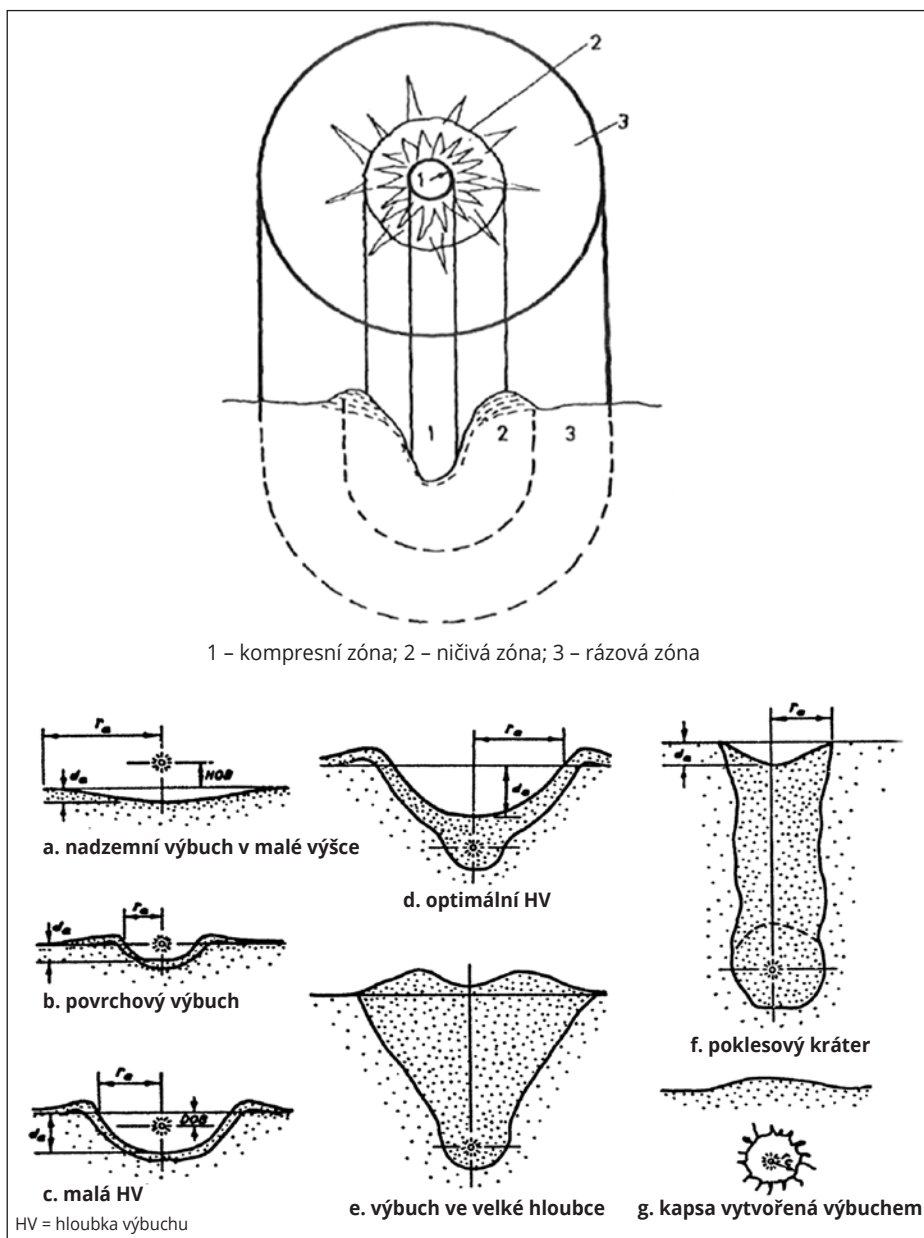
Mezi poloměrem kráteru a vzdáleností sympatetické detonace existuje relativně dobrá korelace (obr. 1-5), což je skutečnost potvrzující myšlenku, že sympatetickou detonaci ovlivňuje hmatatelný fyzický efekt dopadu střely nebo jejího úlomku (obr. 1-6).

Jeden ze zajímavých jevů souvisejících s krátery, který je často v médiích interpretován nesprávně, představují fotografie, na nichž vyčnívá ze země

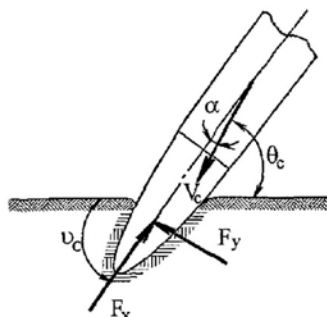


Obr. 1-4: Kráter po střele Točka-U u Makejevky (nahore); kráter velikosti bazény po dopadu střely ve Slavjansku (dole). (Zdroj: archiv autora)

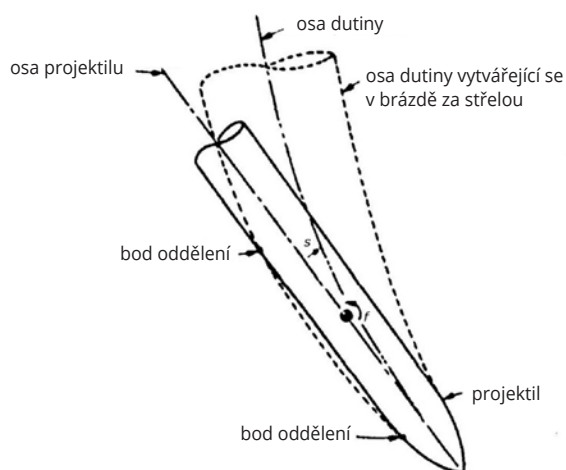
ocasní část střely. V popisku k fotografii se často uvádí, že se jedná o nevybuchlou střelu, což není pravda. Tyto fotografie zobrazují motorovou/pohonnou jednotku řízené nebo neřízené střely odpálené z vícehlavňového raketometu, která se v určitém bodě trajektorie odděluje od zbytku střely, ale



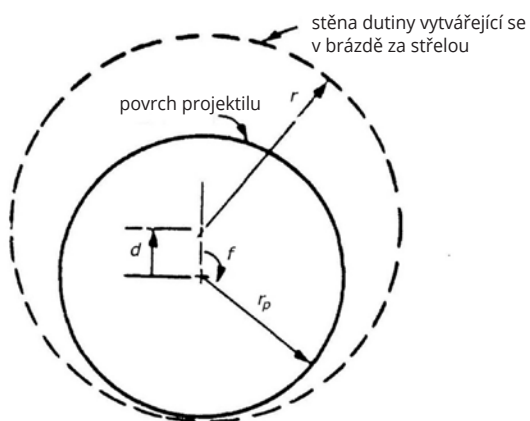
Obr. 1-5: Při explozi se v půdě vytvářejí tři charakteristické zóny (nahore).
(Zdroj: S. Jaramaz, *Physics of Explosion*); Tvar kráteru ovlivňuje geometrie výbuchu (dole).
(Zdroj: *Cratering by Explosion*, kompendium)



Náraz rakety na překážku (schematický náčrtek typické geometrie dopadu rakety odpálené z vícehlavňového raketometu)



oddělení a opětovné navázání rotujícího projektilu



Pohled zezadu v podélné ose na průřez projektilu

Obr. 1-6: Geometrie výbuchu. (Zdroj: *Cratering by Explosion*, kompendium)

pokračuje po balistické dráze, na níž ji stále stabilizuje rotace. Při dopadu (téměř vždy pod určitým úhlem) může proniknout hluboko do země. Uvážíme-li hmotnost a rychlost ocasní části, není divu, že takovýto dopad může způsobit značné škody i bez exploze, a to pouze v důsledku své setrvačné energie (obr. 1-7).

Rázová vlna

Výbušnina je materiál, jenž je schopen způsobit explozi uvolněním potenciální energie, kterou obsahuje. Všechny brizantní výbušniny produkují teplo a plyny. Při explozi vysoce výbušné nálože se vytváří tlaková vlna (přetlak), která se skládá ze dvou částí: rázové vlny a výbuchem vyvolané větrné smršti.



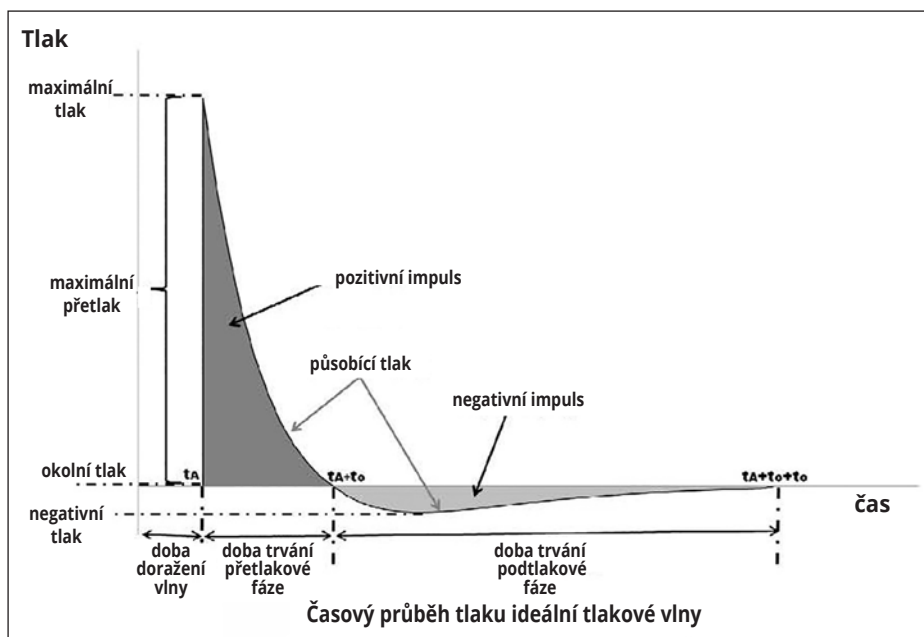
Obr. 1-7:
Pohonná
jednotka této
ruské rakety
BM-30 dopadla
pod tak velkým
úhlem, že
roztrhla bok
nákladního
automobilu
a polovinou
své délky se
zarazila do země.
I ve válce je
takovýto případ
neobvyklý.
(Zdroj: avia.pro)

Rázová vlna se šíří nadzvukovou rychlostí z centra výbuchu směrem ven. Vnější okraj rázové vlny tvoří stlačené plyny obsažené v okolním vzduchu. Tato vrstva stlačeného vzduchu se výstižněji označuje také jako rázová fronta. Na volném prostranství se účinky rázové vlny s časem a rostoucí vzdáleností rychle vytrácejí; jejich trvání se obvykle měří v milisekundách.⁹

Rázová vlna má dvě fáze (obr. 1-8). V přetlakové fázi dochází k vytlačování velkého objemu okolního vzduchu nadzvukovou rychlostí z centra výbuchu směrem ven, přičemž na jeho místě vzniká rozsáhlé částečné vakuum. Když přetlaková fáze rázové vlny ztratí energii, stlačené a vytlačené plyny změni směr pohybu a rychle se vracejí do vzduchoprázdného prostoru. Pohyb plynů v podtlakové fázi je pomalejší než v přetlakové fázi a podtlaková fáze také trvá přibližně třikrát déle než přetlaková.

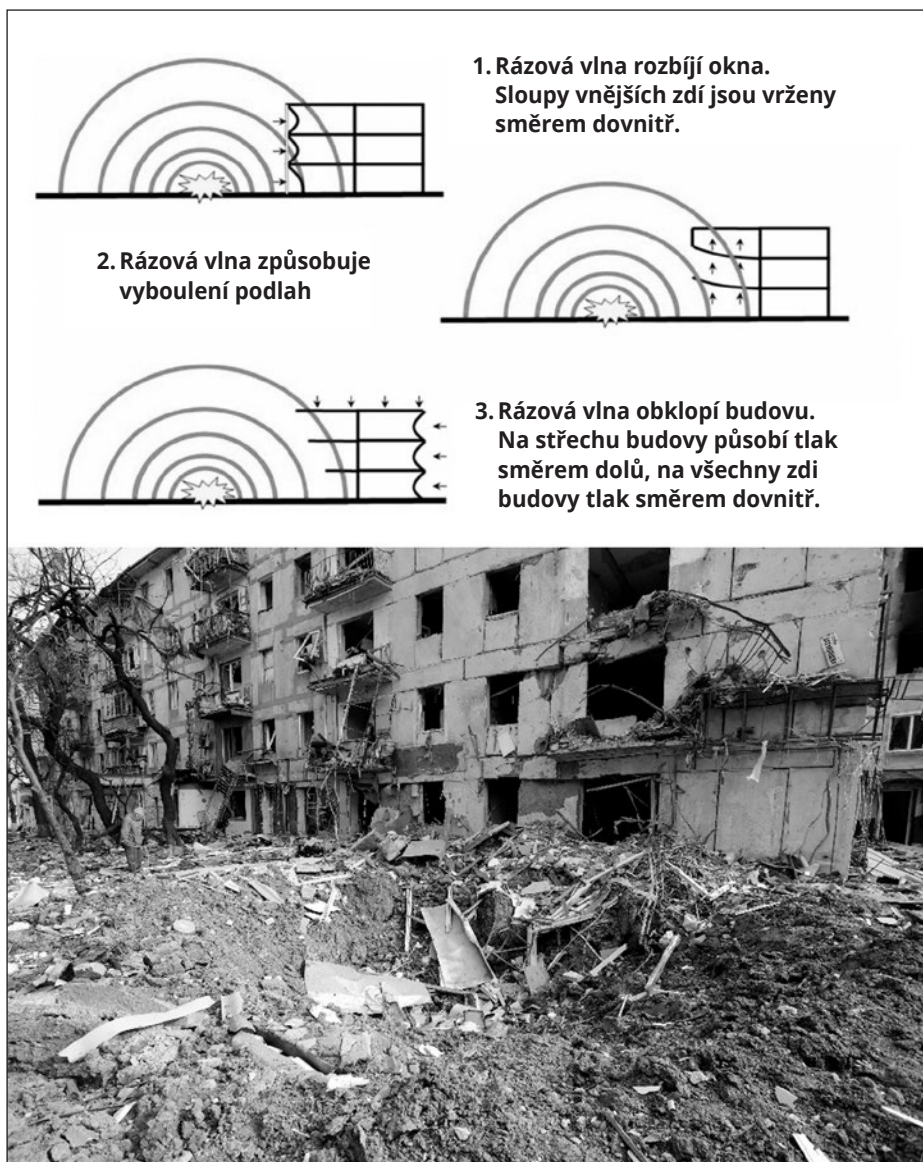
Účinek rázové vlny na konstrukci či budovu závisí na tom, z čeho se konstrukce skládá a jak je postavena. V podstatě závisí na přirozené frekvenci vibrací budovy v porovnání s trváním rázové vlny. Když nadzvuková rázová fronta vyvolaná detonací narazí na pevnou konstrukci, část její energie se odrazí a část se přenese na konstrukci; jejich vzájemný poměr záleží na vlastnostech konstrukce.

Během nárazu na cíl udělí rázová fronta vnějším součástem konstrukce či budovy značnou energii (obr. 1-9). Přetlaková vlna vyvolá pohyb těchto



Obr. 1-8: Zákon o škálování výbuchů/zákon třetí odmocniny (Hopkinson-Cranzův zákon).
(Zdroj: V. Karlos a G. Solomos, *Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components*)

součástí směrem dovnitř, přičemž dochází k namáhání odolávajících prvků konstrukce (opěrných sloupů, fasády apod.). Některé z těchto odolávajících prvků, zejména okna, se rozpadnou či zhroutí. Když se začne vracet podtlaková vlna, směr působení energie se otočí. Na rozdíl od zvukových vln, jejichž účinek na prostředí, jímž procházejí, je zanedbatelný, se rázové vlny pohybují tak rychle a obsahují takové množství energie, že mění samotné prostředí.



Obr. 1-9: Poškození budovy způsobené výbuchem v její blízkosti (nahore), budova v Mariupolu (dole).

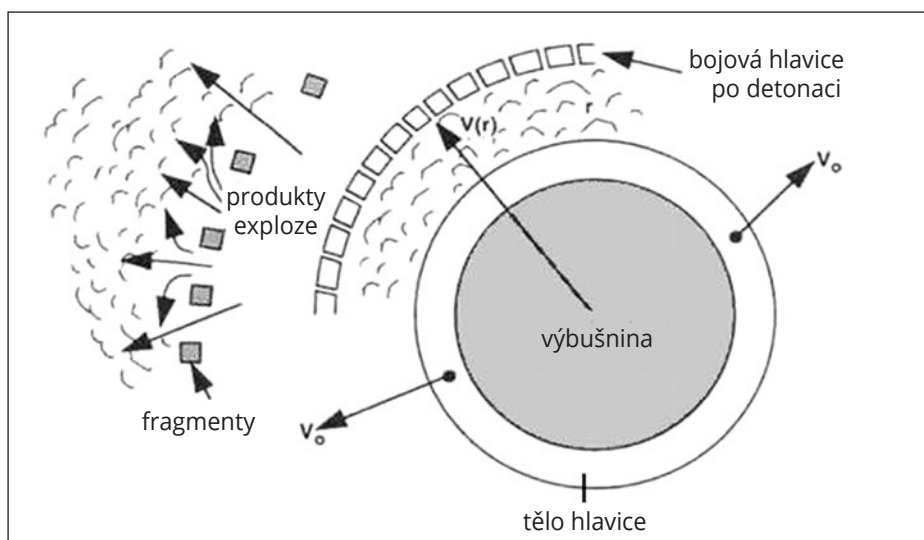
Když rázová vlna narazí do země, odrazí se vzhůru do proudu vzduchu, který stále ještě postupuje vpřed. To zesiluje přetlak výbuchu až na dvacetinásobek hodnoty, kterou měla počáteční detonace.¹⁰

Fragmentace

Zdrojem primární fragmentace je kovový plášť střely, v němž je uložena vysoce brizantní výbušná náplň. Střepiny se vyskytují v mnoha podobách a velikostech a jsou účinné zejména proti živé síle (obr. 1-10, 1-11).¹¹

Významnou roli při určení charakteru primární fragmentace střely hraje kov, z něhož je dělostřelecký náboj vyroben. Tříštivotrhavé (vysoce výbušné) střely se vesměs vyrábějí z ocelových nebo litinových výkovků nebo odlitků. U odlitků se roztavený kov nalévá do forem, které odlitkům dávají požadovaný tvar, ocelové výkovky se tvarují kovářím rozžhavených ocelových ingotů. Střely do vícehlavňových raketometů mají tenčí předem vytvarovaný plášť nebo plášť skládající se ze slisovaných drobných kostiček, aby se snížila jejich hmotnost. Totéž platí pro protiletadlové řízené střely, kde jsou hlavní účinnou složkou rovněž střepiny.

Výpočet účinku primární fragmentace je vzhledem k velkému počtu známých neznámých složitější než u účinku výbuchu. Počáteční rychlost (rychlost a úhel dopadu) střely v okamžiku výbuchu není v mnoha případech známa; totéž platí i pro přesný tvar, hmotnost a aerodynamické chování



Obr. 1-10: Schematické znázornění detonace tříštivotrhavé (vysoce výbušné) bojové hlavice. (Zdroj: M. Lloyd, *Conventional Warhead Systems, Physics and Engineering Design* (Progress in Astronautics and Aeronautics), Vol. 179)

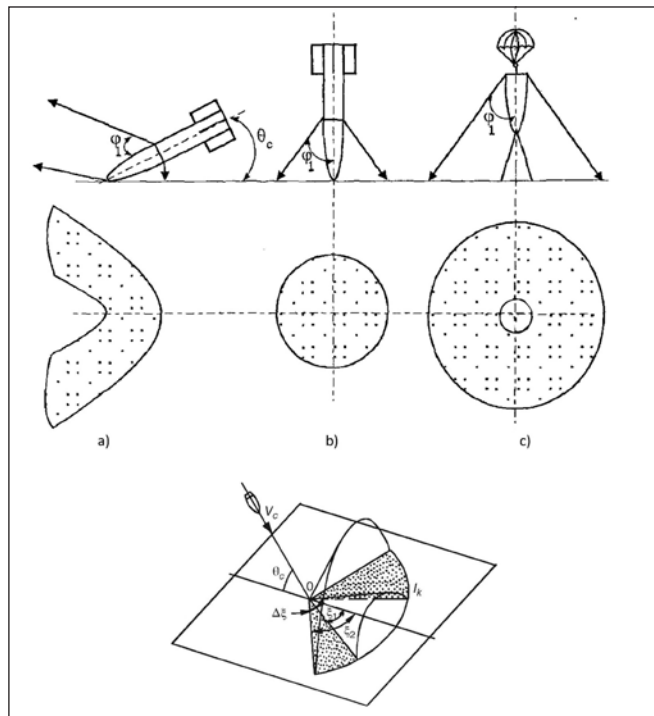
jednotlivých fragmentů. Rozptyl úlomků je ovlivněn i typem zapalovače. Vzhledem ke značné různorodosti fragmentů co do velikosti i počtu je předvídání a modelování přirozené fragmentace obtížnější. Obzvláště nepředvídatelný je střepinový účinek na lidské cíle, kde může hrát výraznou roli plocha odkryté části těla a poloha zasažené osoby.¹²

Úhel, pod nímž munice narazí na cíl, má značný dopad na velikost a tvar plochy, v níž má munice smrtící účinek. Jednoduše řečeno, čím větší je úhel dopadu (až k maximu 90°), tím větší je plocha smrtícího účinku. Pro dosažení co největší plochy smrtícího účinku při úhlu dopadu 45 až 90° je žádoucí, aby střela explodovala v optimální výšce cca 2 m nad zemí, i když se plocha smrtícího účinku zvětšuje ještě i při výbuchu těsně nad zemí (obr. 1-11).¹³

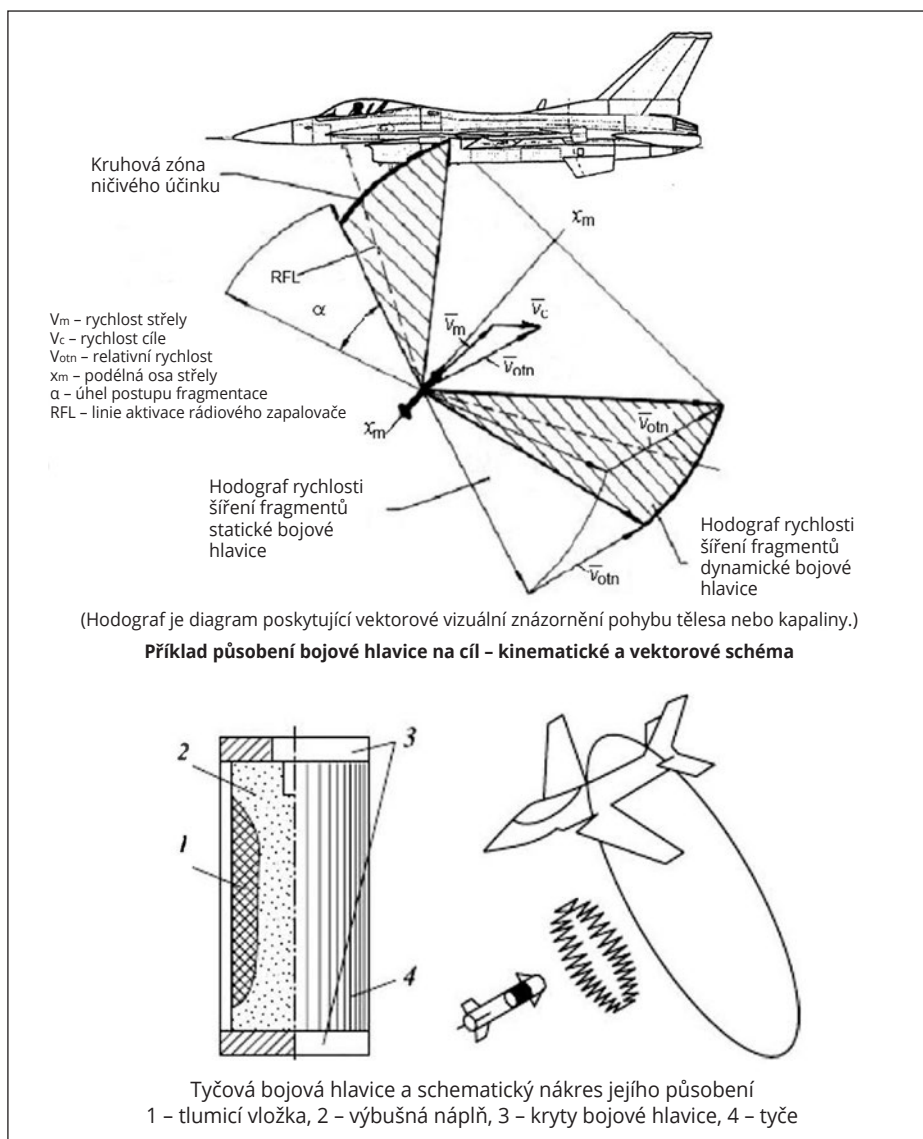
Fragmentace je velmi důležitá u bojových hlavic střel země-vzduch (obr. 1-12 nahoře, 1-13). Jedna z variant tříštivých hlavic používá tyče (obr. 1-12 dole). Tyto typy bojových hlavic se používají u některých protiletadlových střel.

Probíjení pancíře – kumulativní střely

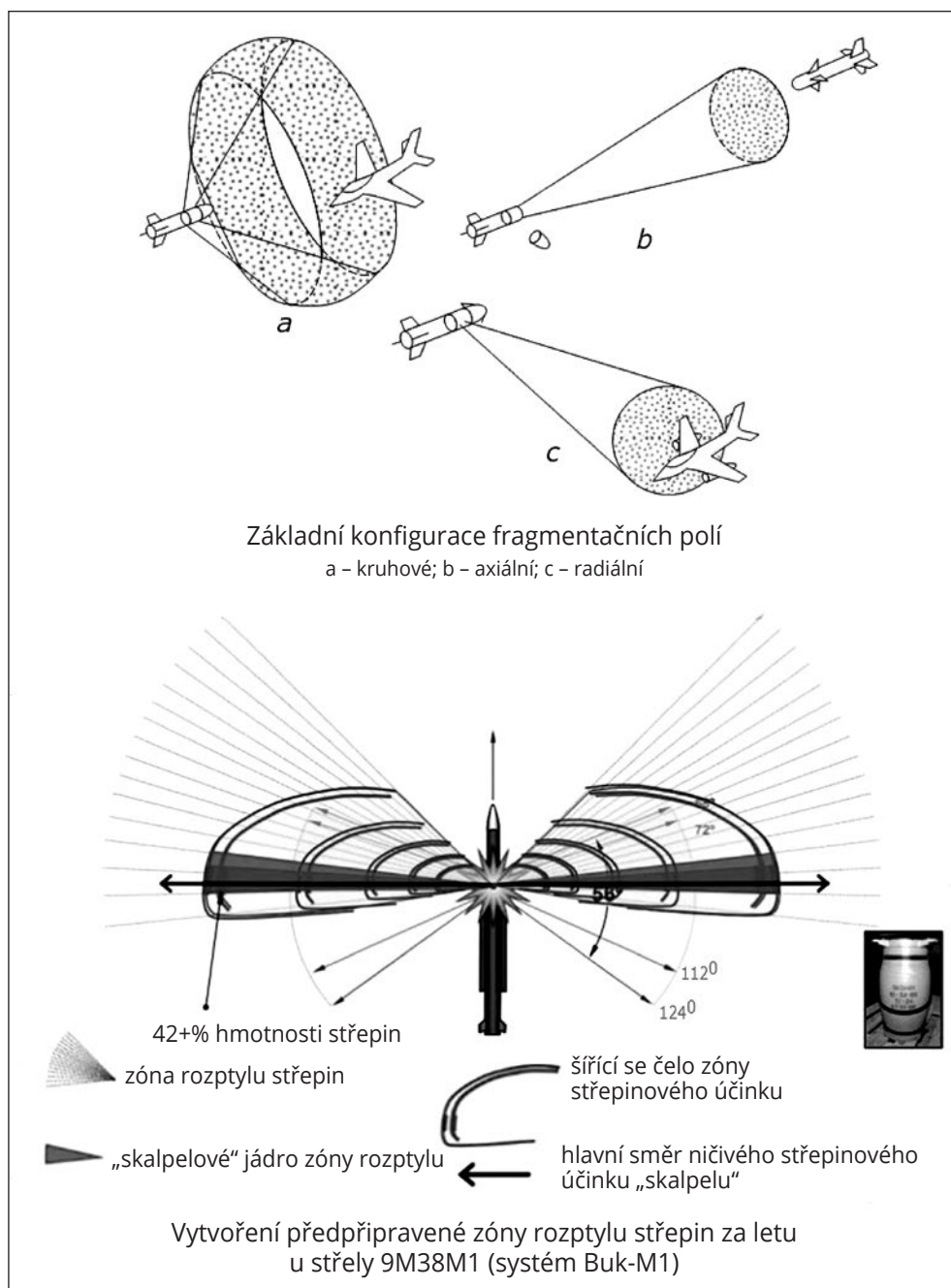
Bojové hlavice obsahující kumulativní nálož spadají do kategorie bojových prostředků na bázi chemické energie, protože k dosažení ničivého účinku nevyžadují od prostředků dopravujících je na cíl žádnou kinetickou energii.



Obr. 1-11: Distribuce fragmentů bojové hlavice: a) dopad pod úhlem; b) vertikální dopad; c) vertikální dopad s aktivací distančním zapalovačem (nahore a uprostřed). (Zdroj: A. P. Orlov, *Osnovy ustrojstva i funkcionirovanija snarjadov RSZO*); vytváření sektorů ničivého účinku na povrchu země (dole). (Zdroj: I. Balagansky, *Damaging Effects of Weapons and Ammunition*)



Obr. 1-12: Schematický náčrtek kinematiky výbuchu tříštivé bojové hlavičky řízené střely země-vzduch (nahore); působení tyčové bojové hlavičky (dole). Tyče jsou vyrobeny z oceli, mají kruhový nebo čtvercový průřez a kladou se na povrch výbušné náplně, obvykle pod určitým úhlem vzhledem k podélné ose střely. Tyče mohou být pevně připojeny (přivařeny) střídavě horním a dolním koncem. V tomto případě se po aktivaci tyče rozvinou do souvislého kruhu. Nejsou-li navzájem propojeny, vytvoří se pole obsahující velký počet dlouhých tyčových fragmentů. Tyče jsou od výbušné náplně odděleny tlumicí vložkou, aby během exploze náplně nedošlo k jejich zničení. Účinek takovýchto tyčových komponent na cíl se podobá účinku otvíráku na konzervy – souvislé zářezy do potahu letadla, jeho palivové soustavy, kostry a pohonné jednotky, které mají za následek jeho zničení téměř bezprostředně po zásahu.



Obr. 1-13: Fragmentace: kruhová, axiální a radiální (nahore). (Zdroj: V. V. Selivanov, *Boepripasy*, sv. 1); fragmentační obrazec střely 9M38M1 (systém Buk-M1), (dole). (Zdroj: Almaz-Antey)

Díky této vlastnosti jsou ideální pro použití ve zbraních odpalovaných z ramene, granátech, minách, a dokonce i ve statických demoličních náložích.

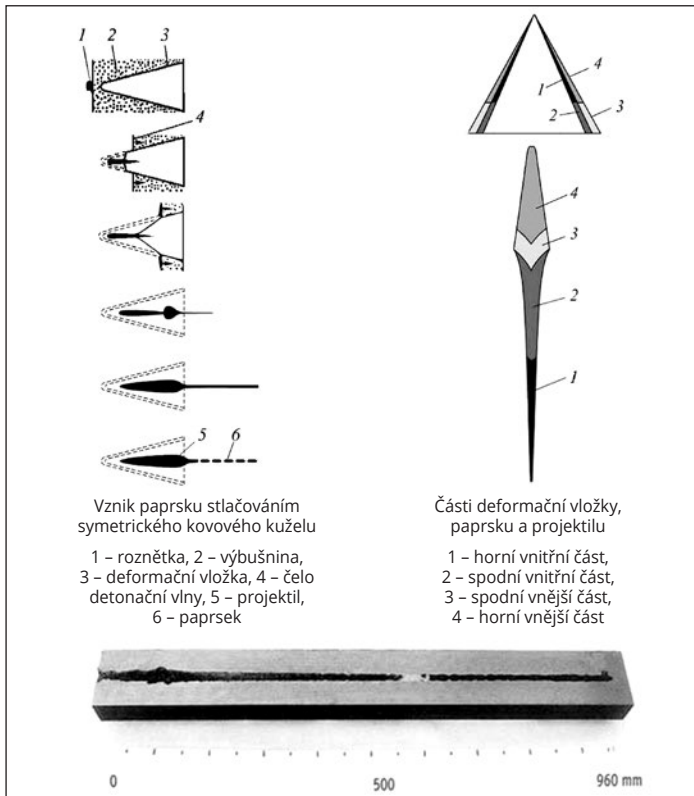
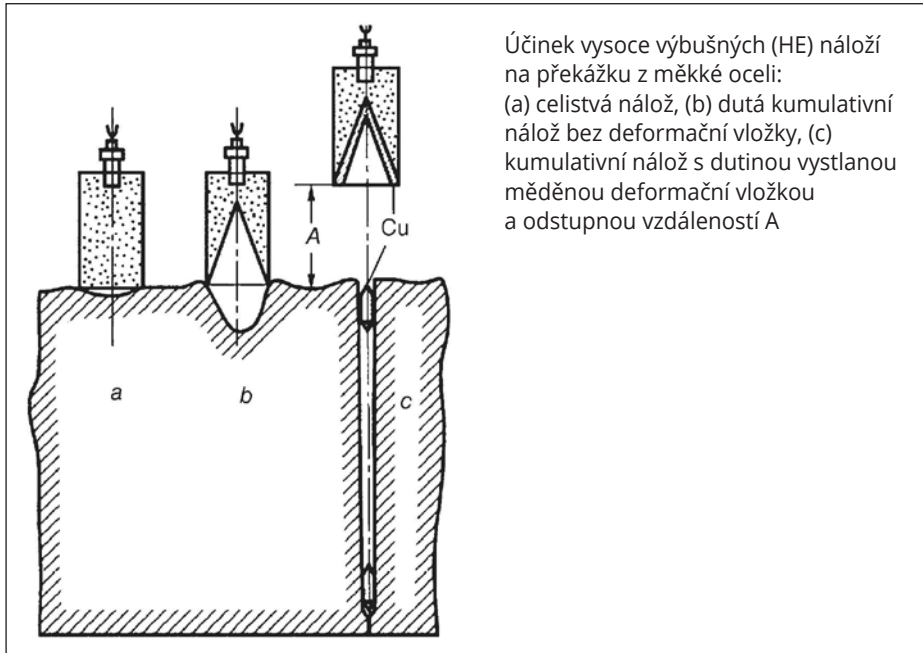
Kumulativní nálož funguje následovně:

1. Výbuch způsobí průchod detonační vlny deformační vložkou.
2. Deformační vložka se působením expandujících plynů zhroutl směrem dopředu a je stlačena.
3. Dojde k vytvoření paprsku materiálu, který se pohybuje vysokou rychlostí směrem k cíli.
4. Zbývající materiál vložky vytvoří projektil, který následuje paprsek, ale mnohem menší rychlostí (zhruba jedna desetina rychlosti špičky paprsku). Špička proniká cílem a celková délka paprsku se snižuje až do chvíle, kdy buďto dojde k proražení cíle, nebo k pohlcení a spotřebování celého paprsku.

V tomto procesu vznikají vysoké teploty a tlaky, což vede k některým nesprávným představám. Kumulativní nálože pancíř nepropalují. Má se obecně za to, že tato představa vznikla chybnou interpretací zkratky HEAT (pozn. překl. – anglicky „tepló“), která ale ve skutečnosti znamená „high explosive anti-tank“ (česky „kumulativní protitanková střela“). I když při probíjení pancíře opravdu vznikají vysoké teploty, práci obstarává kinetická energie. Kumulativní nálože neproměňují deformační vložku na kapalinu. Když je tlak řádově vyšší než mez kluzu materiálu (a tak tomu při vzniku paprsku skutečně je), lze k problému přistoupit z hlediska dynamiky kapalin, i když materiál deformační vložky není kapalina. Pokud bychom průběh detonace nechali zamrznout, viděli bychom roubík pevného materiálu. Vytvoření paprsku typické kumulativní nálože je znázorněno na obr. 1-14 nahoře, probití pancíře na obr. 1-15 (dole).

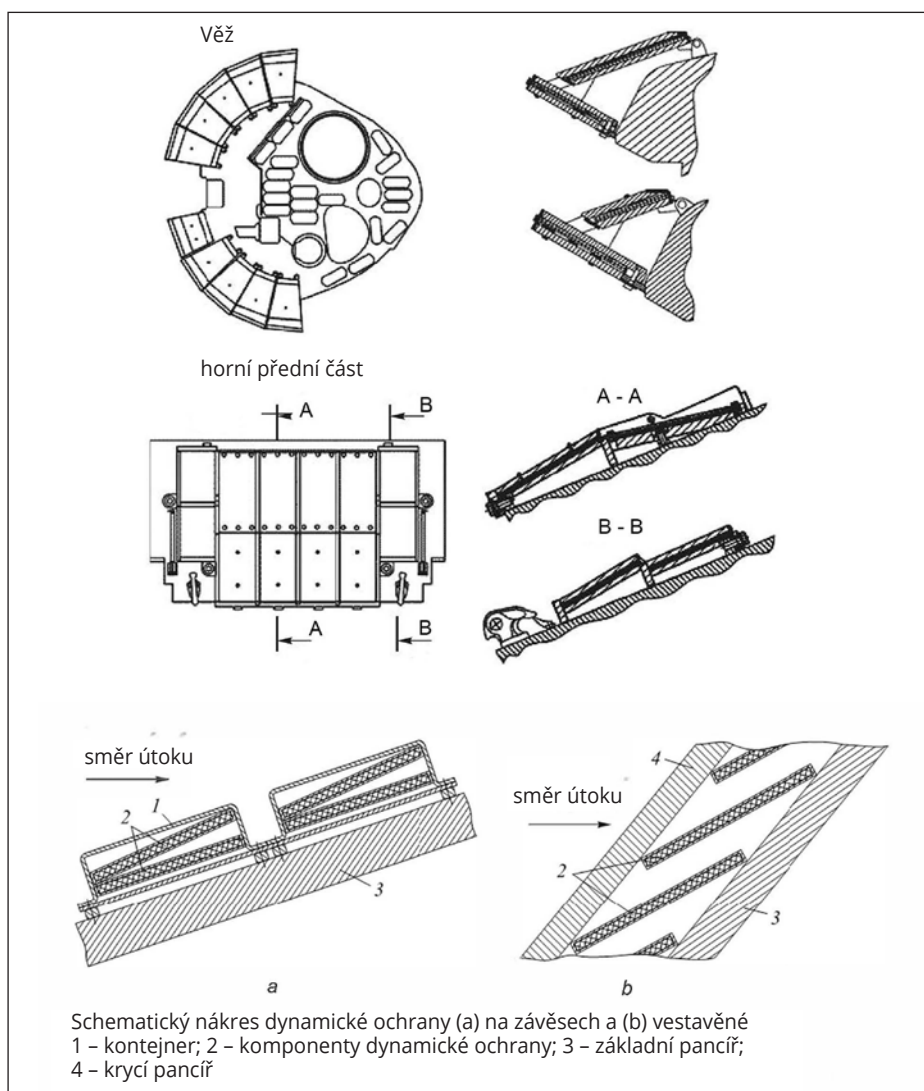
Takzvaný odstup A (obr. 1-14) kumulativní nálože je vzdálenost od základny deformační vložky nebo dutiny k cíli. Je známo, že odstupná vzdálenost má velký význam pro průbojný účinek kumulativní nálože na pancéřovaný cíl. Průbojný účinek je na odstup velmi citlivý a rychle se zhoršuje, pokud je odstupná vzdálenost příliš velká, nebo příliš malá. Efektivní způsob obrany proti kumulativním střelám představuje výbušný reaktivní pancíř, který při nárazu střely rozruší paprsek, dodává mu další materiál, kterým musí proniknout, a mění odstupnou vzdálenost (obr. 1-16, 1-17).

Odstupové desky a pytle s pískem chrání před kumulativními střelami tím, že ovlivňují odstupnou vzdálenost, respektive vyčerpávají energii paprsku. Odstupové panely mohou mít různý tvar, například klecí, které jsou často k vidění na Ukrajině (obr. 1-18, 1-19). Obzvláště zajímavým příkladem je střešní klec, jíž byly vybaveny některé ruské tanky, které vtrhly na Ukrajinu. Jejím účelem je likvidovat útoky shora prováděné nejmodernějšími PTŘS a raketami, například PTŘS Javelin a NLAW, které NATO ve velkých počtech dodávalo Ukrajině před ruskou intervencí.



Nahoře: Obr. 1-14: Srovnání průbojného účinku obyčejné nálože a kumulativních náloží. (Zdroj: V. V. Selivanov, *Boepripasy*, sv. 1)

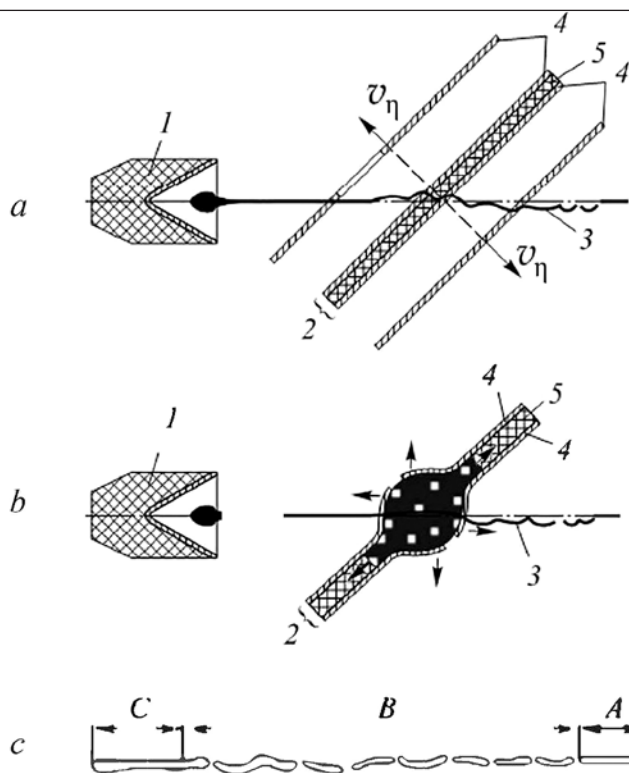
Vlevo: Obr. 1-15: Proces vytváření paprsku u kumulativní nálože (nahore). (Zdroj: V. V. Selivanov, *Boepripasy*, sv. 1); probíjení pancíře tandemovou kumulativní protitankovou střelou (dole). (Zdroj: archiv autora)



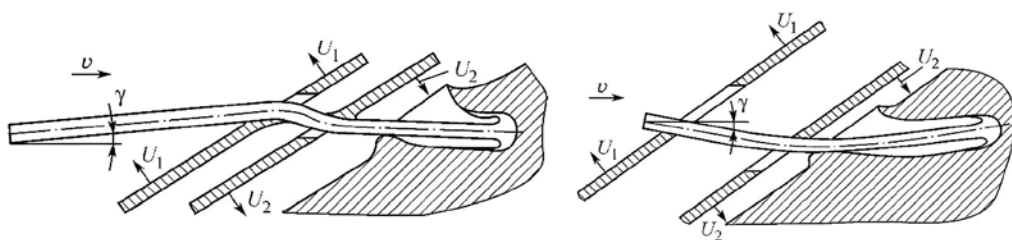
Obr. 1-16: Reaktivní pancíř a jeho instalace na tank (nahore a uprostřed).
(Zdroj: V. V. Selivanov, *Boepripasy*, sv. 1); vícevrstevná dynamická ochrana s výbušnými nebo pasivními komponentami (dole)

Kromě odstupné vzdálenosti hraje důležitou roli i symetrie detonace. Už při mírné asymetrii deformační vložky nebo zážehu výbušné náplně může dojít k neúčinnému nebo nesprávnému vytvoření paprsku. Proto jsou deformační vložky určené pro vojenské použití obráběné s maximální přesností.

Rychlost paprsku významně ovlivňuje poměr hmotnosti výbušné náplně k hmotnosti deformační vložky. Je-li příliš vysoký, vložka se může rozpadnout a nedokáže probít pancíř. Je-li příliš nízký, rychlost paprsku nebude pro



Schematický náčrt výbušné reaktivní (a) a nevýbušné (b) dynamické ochrany a struktury paprsku kumulativní střely po průchodu dynamickou ochranou (c): 1 – kumulativní střela, 2 – prvek dynamické ochrany, 3 – narušený paprsek kumulativní střely, 4 – bloky, 5 – výplň, v_η – rychlost roztahování bloků.



Penetrace paprsku kumulativní střely do tankového pancíře vybaveného výbušnou reaktivní ochranou, kde nedochází k narušení paprsku.

Obr. 1-17: Spolupůsobení kumulativní střely a reaktivního pancíře s narušením paprsku kumulativní střely (nahore); penetrace paprsku kumulativní střely do tankového pancíře v případě, že výbušné bloky nenaruší paprsek (dole). (Zdroj: I. Balagansky, *Damaging Effects of Weapons and Ammunition*)

účinné probití pancíře dostačovat. Geometrie deformační vložky má značný vliv na vytvoření paprsku, protože určuje, jak vlna exploze stlačí deformační vložku a vytvoří paprsek.



Obr. 1-18: Zničený ruský tank T-72B3 vybavený střešní klecovou ochranou (gur.gov.ua). Obecně lze říci, že funkční typ klecové ochrany spočívá ve zkratování detonačního řetězce bojové hlavice tak, že při dopadu piezoelektrického prvku – tedy pancéřové korby bojového vozidla – na cíl nemůže rozbuškou procházet proud. Tento zkrat je způsoben místní deformací vnějšího kovového kužele klecovou ochranou. Rozbuškou bude stále ještě protékat velmi malý proud, protože rozbuška má velmi vysoký odpor a zkratový obvod s velmi nízkým odporem a rozbuška dohromady vytvářejí paralelní obvod s piezoelektrickým prvkem jako zdrojem elektrické energie. Takto nízký proud za normálních okolností rozbušku neodpálí.

Druhotným efektem klecové ochrany může být poškození deformační vložky kumulativní střely, a to i v případě, kdy bojová hlavice nebyla poškozena natolik, aby došlo ke zkratování detonačního řetězce. I když klecová ochrana může významně snížit průbojnost bojové hlavice, ve většině případů nedokáže ochránit lehce pancéřovaná vozidla před úplným probitím korby. U hlavních bojových tanků však může toto snížení průbojnosti zabránit úplné penetraci jejich pancíře. Potenciálním vedlejším negativním efektem klecové ochrany je možnost, že výbušný materiál ve zkratované bojové hlavici při dopadu na hlavní pancíř exploduje. Exploze může vyvolat ráz při dopadu nebo náraz zahřátého, případně hořícího raketového motoru do výbušného materiálu po dopadu na korbu vozidla. (Zdroj: Frederik Coghe, „Efficiency of Different Cage Armour Systems,” *Applied Sciences*)

Termobarické bojové hlavice

Termobarické zbraně jsou výbušniny konstruované tak, aby vytvořily maximální tepelný a tlakový efekt – nemají tedy prorážet pancíř nebo likvidovat protivníka svým střepinovým účinkem. Výbušninám používaným v termobarických zbraních vesměs chybí kyslík; k úplnému shoření své výbušné náplně



Obr. 1-19: Zničený ukrajinský tank T-64BV (nahore) a ruský tank T-72B3 (dole). Odmrštěné věže v důsledku exploze uvnitř tanku. Automatické nabíjecí zařízení u většiny ruských a ukrajinských tanků má munici uloženou v karuselu pod podlahou (T-72, T-90), nebo na boku věže (T-80, T-84, T-64). Pokud PTRS zasáhne tank shora nebo mezi věž a korbu, může dojít k probití pancíře (tloušťka pancíře stropu věže je 25–50 mm) a vyvolání výbuchu uložené munice, který dokáže věž odhodit. Média často uvádějí, že se jedná o ruské tanky, ale skutečností je, že obě strany přišly o velké množství techniky. (Zdroj: MO Ukrajiny a Ruska)

potřebují kyslík ze vzduchu. Během počáteční fáze detonace se uvolní pouze část energie, která vytvoří vysoké koncentrace na palivo bohatých produktů, jež se při styku s okolním vzduchem zahřátým rázovou vlnou výbuchu následně vznítí. Energie uvolněná následným hořením prodlužuje trvání přetlaku vyvolaného explozí a zvětšuje objem vzniklé ohnivé koule. U konvenční tříštivotrhavé munice na bázi TNT k významnějšímu následnému hoření nedochází. Fragmenty brání smíšení plynů vytvořených explozí se vzduchem a rychlé šíření detonace způsobuje zchlazení ještě dříve, než dojde ke smíšení s atmosférickým vzduchem.

Tyto zbraně jsou obzvláště účinné v uzavřených prostorech, například tunelech, budovách a polních opevněních. Ohnivá koule i tlaková vlna se mohou šířit i „za roh“ a proniknout do oblastí, kam se střepiny bomb nedostanou. Po odrazu od stěn a jiných povrchů se navíc intenzita tlakové vlny zvyšuje.

K primárním ničivým mechanismům patří tlaková vlna a teplota, sekundární účinky zahrnují létající střepiny a toxické plyny, které jsou produktem výbuchu.

Smrtící zóna tlakové vlny je obvykle větší než smrtící zóna popálenin; ochrana proti popáleninám má tedy jen minimální přínos (obr. 1-20).

Obr. 1-20: Přímý zásah z těžkého raketometu TOS-1A (nahore); záběry ruského dronu zobrazující zásah ukrajinského postavení termobarickými raketami. Voják (v kroužku) byl podle všeho odmrštěn na vzdálenost delší než 40 m (dole).

