

11 Terminální balistika palných zbraní

Na první pohled se zdá, že terminální balistika, která zkoumá zákonitosti interakce střel (obecněji libovolného letícího předmětu) v cíli (obecněji v libovolné překážce), je ze všech odvětví balistiky nejmladší. Ve skutečnosti byla a je neoddelitelnou součástí nejen balistiky ale i palných zbraní od jejich vzniku. S ohledem na rychlost a složitost dějů probíhajících při zasažení cíle zaznamenala skutečný teoretický a experimentem podložený vývoj až po druhé světové válce v souvislosti s možností použití experimentální techniky.

Terminální balistika v současnosti představuje relativně velmi široký obor, kterého předmětem studia je interakce letícího předmětu s danou překážkou. V dalším textu se budeme ovšem zabírat pouze terminální balistikou letící střely. V této souvislosti představuje terminální balistika souhrn metod, které slouží k objasnění efektivnosti palné zbraně k danému účelu. Terminální balistika palných zbraní zkoumá například zákonitosti

- pronikání střel neživým materiálem (průbojný účinek),
- ranivého účinku střel na živý organismus,
- zastavujícího účinku střel na útočníka.

V dalším textu si objasníme průbojný účinek střel.

11.1 Průbojný účinek střel

Průbojnost je schopnost střely proniknout cílem (překážkou). Průbojný účinek střely závisí na celé řadě vlivů. Průnik překážky je výsledkem interakce střely a překážky. Pro tuto interakci jsou charakteristická extrémní zatížení střely i překážky a překročení pevnostních mezí materiálu překážky, příp. také střely.

Úroveň průbojnosti střely závisí dle [19] na třech základních skupinách faktorů:

1. balistických charakteristikách střely, k nimž se řadí ráže, hmotnost, tvar a dopadová rychlost střely (včetně úhlové rychlosti rotace), a také její schopnost průniku s minimálním předáním energie zasaženému cíli, která je určena celkovou konstrukcí střely (zejména její pevností, tvrdostí, tuhostí, deformovatelností a také odrazivostí), ale i stabilitou střely v okamžiku dopadu a při pronikání překážkou;
2. vlastnostech překážky, k nimž patří druh překážky, její tloušťka, celková geometrie a fyzikální vlastnosti - struktura, hustota, celková hmotnost, tvrdost, mechanická pevnost, elasticita, homogenita, obsah příměsí a další vlastnosti, které determinují její balistickou odolnost,
3. geometrii interakce, která je dána úhlem dopadu střely, tj. úhlem mezi podélnou osou střely a normálou k překážce v bodu jejich prvního kontaktu (s rostoucím úhlem dopadu se zvyšuje pravděpodobnost odrazu střely od překážky).

Schopnost střely proniknout překážkou definované tloušťky závisí do značné míry na absolutní dopadové kinetické energii střely E_d , určené dopadovou rychlostí střely v_d [m·s⁻¹] a její hmotností m_q [kg]. Je zřejmé, že s rostoucí dopadovou energií se zvyšuje za jinak stejných podmínek i průbojnost střely.




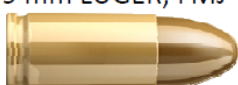
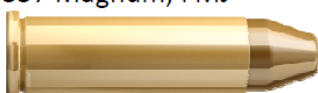

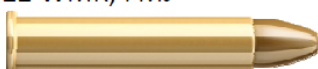
$$E_d = \frac{1}{2} m_q v_d^2. \quad (11.1)$$

Dopadovou kinetickou energii střely E_d je nutné posuzovat ve vztahu k pronikanému průřezu S [m²], proto objektivnějším ukazatelem průbojné schopnosti střely je její měrná kinetická dopadová kinetická energie e_d (absolutní energie vztažená na jednotku příčného průřezu střely) [23].

$$e_d = \frac{E_d}{S} \quad (11.2)$$

V následující tabulce 11.1 jsou uvedeny údaje o hodnotách předpokládané dopadové kinetické energie a příslušné měrné kinetické energie při střelbě na terč vzdálený 5 m od ústí tlakoměrné hlavně. Balistické údaje o nábojích jsou převzaty z www.sellier-bellot.cz.

Tab. 11.1 Dopadová kinetická energie a měrná dopadová kinetická energie vybraných druhů nábojů

Náboj, druh střely	Hmotnost střely m_q [kg]	Průměr střely d [m]	Příčný průřez střely S [m ²]	v_d [ms ⁻¹]	Dopadová kinetická energie střely E_d [J]	Měrná kinetická energie střely e_d [MJm ⁻²]
6,35 Browning, FMJ 	$3,30 \cdot 10^{-3}$	$6,380 \cdot 10^{-3}$	$3,1969 \cdot 10^{-5}$	238	93,5	2,924
45 AUTO, FMJ 	$1,55 \cdot 10^{-2}$	$1,148 \cdot 10^{-2}$	$1,0351 \cdot 10^{-4}$	260	523,9	5,062
22 LR, SB CLUB 	$2,56 \cdot 10^{-3}$	$5,720 \cdot 10^{-3}$	$2,5697 \cdot 10^{-5}$	325	135,2	5,261
9 mm LUGER, FMJ 	$7,50 \cdot 10^{-3}$	$9,030 \cdot 10^{-3}$	$6,4042 \cdot 10^{-5}$	390	570,4	8,906
357 Magnum, FMJ 	$1,03 \cdot 10^{-2}$	$9,120 \cdot 10^{-3}$	$6,5325 \cdot 10^{-5}$	385	759,7	11,629
7,62 x 25 TOKAREV, FMJ 	$5,50 \cdot 10^{-3}$	$7,830 \cdot 10^{-3}$	$4,8152 \cdot 10^{-5}$	502	693,0	14,392
22 WMR, FMJ 	$2,60 \cdot 10^{-3}$	$5,700 \cdot 10^{-3}$	$2,5518 \cdot 10^{-5}$	560	407,7	15,976

Průbojnost střely, tj. schopnost jejího průniku do určité hloubky překážky obecně roste (za jinak stejných podmínek):

- s rostoucí hmotností střely a její dopadovou rychlostí,
- se zmenšující se ráží střely a úhlem dopadu (měřeno ke kolmici k rovině překážky),
- se zlepšující se stabilitou střely [19].

Průbojnost určité střely na určité překážce s rostoucí délkou střelby klesá. V souvislosti s hodnocením průbojného účinku střel ve vztahu k definované překážce v určité vzdálenosti od hlavně se používají pojmy limitní rychlost střely a limitní délka střelby. V obou případech se jedná o balistické ukazatele průbojné schopnosti dané střely k dané překážce.

Limitní rychlost střely v_{lim} je v tomto smyslu nejnižší dopadová rychlost určité střely, při níž dojde k probití dané překážky. Přitom předpokládáme, že veškerá dopadová kinetická energie se spotřebuje na probití překážky (na konci průniku bude rychlost střely nulová).

Limitní délka střelby je vzdálenost od dané zbraně, na níž dosáhne střela své limitní rychlosti vzhledem k dané překážce (definované odolnosti proti probití).

Nejjednodušší přístup k definování zákonů interakce střela – překážka spočívá ve stanovení empirických vztahů odvozených na základě řady experimentů. Mezi nejznámější empirické vztahy patří například rovnice de Marre pro limitní rychlost střely v_{lim} [ms^{-1}]:

$$v_{\text{lim}} = K_{\text{SI}} \frac{d^{0,75} s^{0,7}}{m_q^{0,5}}, \quad (11.3)$$

kde K_{SI} [$\text{kg}^{0,5} \text{m}^{-0,45} \text{s}^{-1}$] - konstanta (koeficient průbojnosti zahrnující vlastnosti střely a překážky),

d [m] - ráže střely,

s [m] - tloušťka překážky,

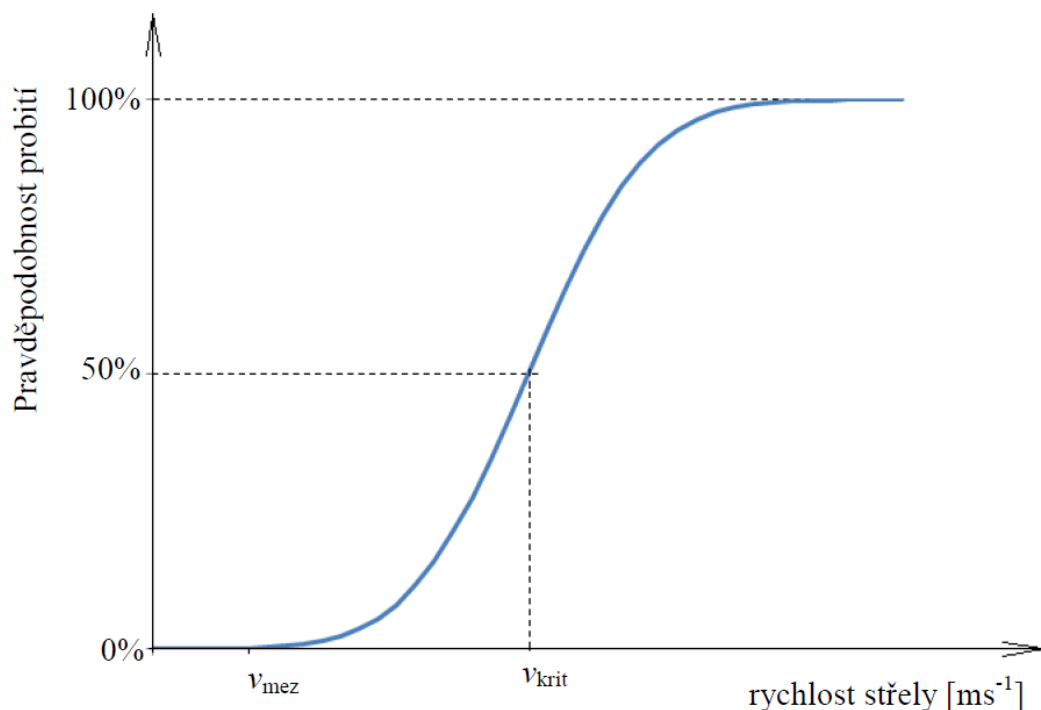
m_q [kg] - hmotnost střely.

Konstanta K_{SI} je empiricky stanovena pro danou dvojici (střela, překážka). Například pro homogenní pancíř vyrobený z legované oceli a průbojné střely ráže 7,62 mm s tupou hlavou má hodnotu v rozmezí 66232-69050. V některé literatuře je vztah (11.3) uváděn pro ráži střely a tloušťku překážky v decimetrech, pak příslušný koeficient průbojnosti K je v rozmezí hodnot 2350 - 2450 (platí $K_{\text{SI}} = 28,18 K$).

Rovnice de Marre (11.3) platí pro kolmý dopad střely na danou překážku a při střelbě na homogenní pancíř je použitelná pro pancíře, kterých tloušťka je řádově srovnatelná s ráží střely a její dopadová rychlost je menší než 2000 ms^{-1} .

Ukazatelem balistické odolnosti překážek (například pro balistické ochranné prostředky) jsou mezní a kritická rychlost.

Mezní rychlost v_{mez} je definována jako nejvyšší dopadová rychlost dané střely (popř. jiného balistického tělesa, např. střepiny), při které ještě nedojde k probití překážky (pravděpodobnost probití je 0 %). Obdobně je definována kritická rychlost v_{krit} , kterou je taková dopadová rychlost střely (střepiny), při které dojde k probití překážky s 50% -ní pravděpodobností.



Obr. 11.1 Mezní rychlost v_{mez} a kritická rychlost v_{krit} (upraveno dle [19])