



Metody nepřímé identifikace základní metodologický přístup experimentální ranivé balistiky

Indirect Identification Methods as a Fundamental Principle of Experimental Wound Ballistics

Ludvík Juříček^{a*}, Martin Ficek^b, Norbert Moravanský^c

^a Vysoká škola DTI, s.r.o. Dubnica nad Váhom, Katedra manažmentu

^b Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství

^c Univerzita Komenského v Bratislave, Lékařská fakulta, Ústav soudního lékařstva

ABSTRAKT

Problematika experimentálního posuzování ranivého potenciálu malorážových střel (střepin) je stále více diskutována v rámci soudně znalecké praxe v oboru střelivo a výbušniny se specializací na ranivou balistiku. Základním metodologickým přístupem v experimentální ranivé balistice jsou metody nepřímé identifikace. Při realizaci balistických experimentů jsou postřelovány substituční fyzikální modely vlastní konstrukce, které z etických důvodů v měřicím řetězci zastupují reálný cíl biologické povahy. Metody nepřímé identifikace jsou v praxi uskutečňovány metodou profilu zranění, metodou radiálních trhlin (metoda nepřímá) a metodou optickou. První dvě jmenované metody jsou metodami statickými, metoda optická, využívající k měření a záznamu rychloběžnou kameru, patří k moderním dynamickým metodám. Výše uvedené simulační metody kromě komparace ranivého potenciálu posuzovaných střel umožňují predikci klinické závažnosti střelného poranění. Tento článek byl publikován na konferenci ExFoS 2020 [7].

Klíčová slova: reálné střelné poranění, malorážová střela (MRS), ranivý účinek, ranivý potenciál, experimentální ranivá balistika, substituční fyzikální model, metoda nepřímé identifikace, balistická simulace, profil zranění, nepřímá hodnotící metoda, metoda optická.

1. ÚVOD

Experimentální zkoumání ranivých účinků a kvantitativního hodnocení ranivého potenciálu malorážových střel (MRS) je v současnosti realizováno zejména na fyzikálních substitučních modelech (homogenních nebo heterogenních) vyrobených z náhradních materiálů biologické tkáně plastické, elastické a pružně-plastické povahy, nebo kombinace syntetických materiálů a tkání biologických dárců.

ABSTRACT

The experimental evaluation of wound potential of small caliber ammunition (fragments) is constantly discussed in ammunition and explosives expert field focusing on wound ballistics. The fundamental principle of evaluation in experimental wound ballistics are indirect identification methods. In ballistic experiments with respect of ethics are used the ad hoc physical models in substitution of real biological aims. The indirect identification methods are implemented as the wound's profile method, radial lacerations method and optic method. First two methods are static; optic method imposes the high-speed camera imaging for recording and ballistic measurement and it's the contemporary dynamic methods. Mentioned simulated methods except of comparative bullet's wound potential method provides the possible predictor of gunshot wound clinical seriousness. This article has been published at ExFoS 2020 conference [7].

Keywords: real gunshot wound, small-caliber projectile (SCP), wounding effect, wound potential, experimental wound ballistics, substitution physical model, indirect identification method, ballistic simulation, wound profile, indirect evaluation method and optic method.

V balistických experimentech jsou proto přednostně používány metody **nepřímé identifikace**, kdy jsou postřelovány fyzikální substituční modely, méně často živá zvířata nebo jejich izolované orgány.¹⁾

¹⁾ Možnosti využití pokusných zvířat v balistických laboratořích jsou však s ohledem na etické důvody v demokratických státech omezené. V České republice je tato problematika řešena zákonem č. 246/1992 Sb. na ochranu zvířat proti týrání (část III. „Ochrana pokusných zvířat“).

Tento technický přístup, založený na simulaci působení střely na živé tkáně, se stává v experimentální ranivé balistice (ERB) základním prostředkem vědeckého poznání, kdy je v experimentu reálný cíl zastoupen fyzikálním substitučním modelem.

METODY NEPŘÍMÉ IDENTIFIKACE

Moderní experimentální metody používané v ERB jsou založeny na využití *plastických*, resp. *pružně-plastických* náhradních materiálů, které se svými vlastnostmi více blíží vlastnostem živých měkkých tkání. Vedle dříve používaného *jílů* a *hlíny* našly v balistickém experimentu největší uplatnění *balistická želatina*, *gel*, *glycerinové transparentní mýdlo*, *plastelína* a také směs *petrolátu s parafinem*. Experimentálně získané charakteristiky popisující proces pronikání střel bloky náhradních materiálů se staly základem pro odvození nejrozličnějších kritérií a metodik kvantitativního hodnocení ranivého potenciálu malorážových střel (MRS) [1].

Homogenní struktura vzorku náhradního materiálu je výhodná z hlediska objektivního srovnání různých druhů střeliva, a proto je tento materiál považován za optimální náhradu velmi variabilního těla člověka, jehož různorodé tkáně se vyznačují z balistického hlediska vysokým stupněm „nehomogenity“. V praxi se osvědčila poměrně úzká skupina metod hodnocení ranivého účinku střel založených na postřelování specificky upravených zkušebních bloků náhradního materiálu.

K nejrozšířenějším hodnotícím metodám nepřímé identifikace patří²⁾:

- metoda profilu zranění,
- metoda radiálních trhlin (metoda nepřímá),
- metoda optická. Analýza systémem *i-SPEED*.

Každá z výše uvedených metod je specifickým vyjádřením odborného názoru a praktické zkušenosti svého tvůrce na hodnocení ranivých účinků malorážových střel na organismus člověka a je zpravidla přísně vázána k určitému konkrétnímu náhradnímu materiálu biologických tkání. U vysoce plastických netransparentních materiálů (hlína, plastelína, glycerinové mýdlo) lze po nástřelu velmi snadno stanovit parametry vytvořené dočasné dutiny přímo bez potřeby použití speciálních technik. Naopak u pružně-plastických materiálů (balistická želatina, gely) lze přímo stanovit pouze trvalou dutinu. S využitím speciálních technik, např. záznamu rychloběžné kamery, lze u těchto materiálů stanovit nepřímou i parametry dočasné dutiny během proniku.

Dříve používané *homogenní* zkušební bloky substituce biologické tkáně byly v balistickém experimentu postupně nahrazeny fyzikálními modely vykazující určitý stupeň nehomogenity. Experimentální zastoupení reálného objektu tímto modelem, který se mu svým geometrickým uspořádáním a fyzikálními a mechanickými vlastnostmi co nejvíce blíží, tvoří základ metody nepřímé identifikace. Mezi reálným biologickým cílem a fyzikálním modelem do jisté míry platí geometrická podobnost. Tento typ balistického experimentu lépe vyhovuje simulaci podmínek *komplikovaného střelného poranění* (účast kosti, popř. velké cévy), kdy není zasažena pouze měkká tkáň.

²⁾ V dostupné odborné literatuře je možné se ještě setkat s metodou komparační, která je založena na vzájemném porovnání skutečných střelných poranění.

2.1 Metoda profilu zranění

Z tvaru a rozměru dočasné dutiny střelného kanálu můžeme usuzovat na ranivý potenciál střely (do jisté míry i na výsledný ranivý účinek) pomocí tzv. profilu zranění. Profilem zranění rozumíme fotografii (resp. náčrt) dočasné dutiny vytvořené střelou v náhradním materiálu, která je opatřena měřítkem a údaji o hmotnosti, dopadové rychlosti a typu střely [2]. Tvar dočasné dutiny je možné získat optickými metodami (např.blesková fotografie). Pro tuto metodu jsou upřednostňovány tzv. *bloky polonekonečné tloušťky*³⁾, kdy snahou balistiků je postihnout chování střely v materiálu na celé dráze, na které dojde k zastavení střely ve zkušebním bloku. Srovnání účinků střel na základě porovnání profilů zranění je jednoduchá orientační metoda. Spolu s údaji o celkové předané kinetické energii bloku poskytuje profil zranění představu o chování střely v materiálu i rozložení měrné předané kinetické energie.

S analýzou ranivé balistických jevů v živé tkáni právě velmi úzce souvisí pojem *profil zranění* (M. L. Fackler, J. A. Malinowski, 1985). Oba autoři tímto pojmem označili grafické vyjádření ranivého účinku, který může být od střely dané konstrukce a balistických parametrů očekáván. Tento profil je tvořen *střelným kanálem*, jehož jádrem je *trvalá (permanentní) dutina*. Její velikost je dána množstvím ztracených tkání. Sestavení tohoto profilu lze chápat jako určité rozšíření experimentálních metod používajících balistickou želatinu jako simulační prostředek, kdy jsou sledovány čtyři základní složky balistického účinku MRS na želatinový zkušební blok zastupující v balistickém experimentu reálný biologický cíl:

- *hloubku vniku střely* do želatinového bloku,
- *deformaci střely* popř. *rozpad* jejího těla (pokud k nim dojde),
- velikost (průměr) *dočasné dutiny* a
- velikost (průměr) *trvalé dutiny* (jádra střelného kanálu).

Velikost *dočasné* i *trvalé* dutiny je možné poměrně dobře vyčíslit z tvorby a uspořádání (hustoty a délky) radiálních trhlin v prostřeleném želatinovém bloku a z nich odvodit a také zkonstruovat názorný grafický obraz *profilu zranění* (obr. 1). Pro další práci s tímto profilem je vhodné jej překreslit na průsvitný papír a doplnit milimetrovým měřítkem.

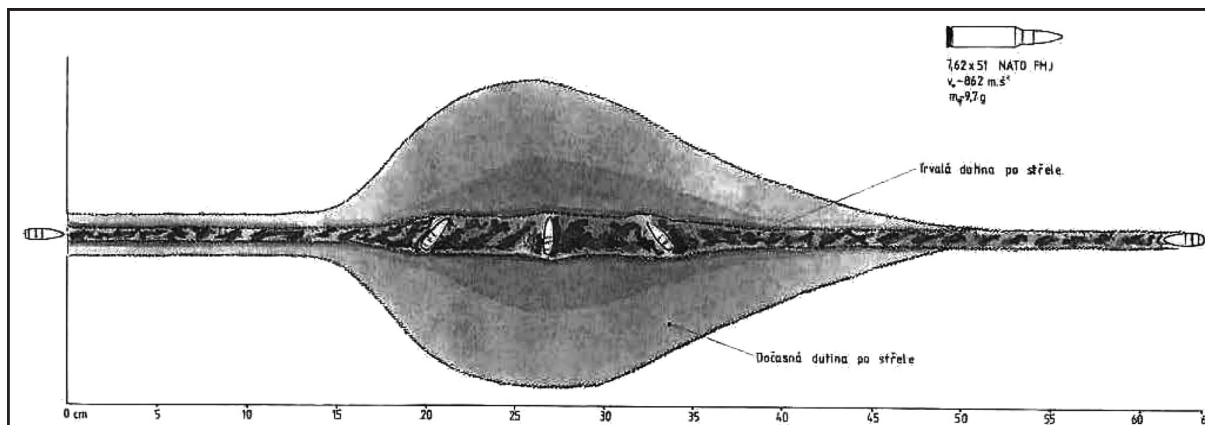
Při tvorbě dočasné dutiny v měkkých tkáních nebo jejich substituci dochází k pulsaci dočasné dutiny [3]. Celková doba pulsace τ_D ⁴⁾ závisí na velikosti předané kinetické energie E_{PR} střely okolí a je možné ji vypočítat podle následujícího empirického vztahu

$$\tau_D = 2 \cdot \sqrt[3]{E_{PR}} \quad (1)$$

Grafické profily střelných kanálů (dočasné dutiny), získané postřelováním zkušebních bloků vyrobených z transparentního glycerinového mýdla, doplněné milimetrovým měřítkem, umožňují vzájemné porovnání hloubek vniknutí střely, geometrického tvaru (vnitřního uspořádání) a velikosti (objemu) střelného kanálu u střel

³⁾ Blok polonekonečné tloušťky má takovou délku, aby se v něm střela zastavila. U takového zkušebního bloku zanedbáváme jeho radiální rozměry (velikost příčného průřezu), resp. vliv těchto rozměrů na velikost a tvar dočasné dutiny střelného kanálu.

⁴⁾ Pro předanou kinetickou energii $E_{PR} = 450$ J dosahuje τ hodnotu kolem 15 ms (milisekund), pro $E_{PR} = 3\,600$ J odpovídá tato hodnota 30 ms.



Obr. 1 Profil zranění typický pro FMJ střelu výkonného puškového náboje ráže $7,62 \times 51$ Standard NATO s vyznačením dočasné (Temporary Cavity) a trvalé (Permanent Cavity) dutiny vytvořené střelou ($m_q = 9,6 \text{ g}$; $v_0 = 862 \text{ m.s}^{-1}$) po proniku zkušebním blokem z balistické želatiny [5].

Fig. 1 Profile of the injury model for FMJ bullet (powerful rifle ammunition 7.62×51 Standard NATO; temporary and permanent cavity marked caused by bullet ($m_q = 9.6 \text{ g}$; $v_0 = 862 \text{ m.s}^{-1}$) in testing ballistic gelatin block.

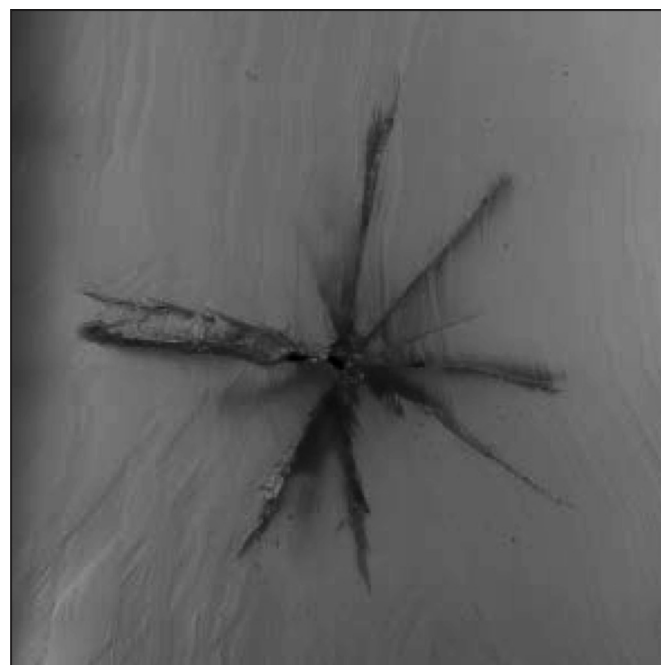
různé konstrukce a balistických parametrů. Takto získané profily střelných kanálů dávají určitou představu o tom, jaké střelné poranění může být očekáváno od konkrétního zbraňového systému, při splnění určitých konkrétních podmínek zásahu člověka. Rovněž stopy po fragmentaci těla střely, případně jeho deformace, spolu s množstvím porušené tkáně, mohou být porovnány se sériemi profilů střelných poranění k odhadu typu střely a druhu palné zbraně, z níž byla vystřelena, a která poranění způsobila.

2.2 Metoda radiálních trhlin (metoda nepřímá)

Postřelování bloků balistické želatiny je provázáno vznikem radiálních trhlin, které se paprskovitě šíří v radiálním směru od střelného kanálu. Ze známých rozměrů a počtu těchto trhlin v několika příčných řezech blokem a známé celkové předané energie bloku lze stanovit závislost měrné předané energie bloku na dráze střely [4].

Metoda radiálních trhlin je vhodná pro vyhodnocení střeleckých experimentů zaměřených na postřelování transparentních želatinových bloků [5]. Balistická želatina se při postřelování chová odlišně od jiných náhradních materiálů používaných pro ranivě balistický experiment. Dočasná dutina vzniklá pronikem střely během svých pulsací kolabuje a její velikost a tvar jsou reprezentovány systémem radiálních trhlin podél střelného kanálu. Radiální trhliny jsou zachyceny v příčném řezu blokem balistické želatiny na obr. 2. Lze experimentálně dokázat, že celková délka radiálních trhlin v daném průřezu odpovídá elementu předané energie materiálu v tomto řezu bloku (na diferenciálu dráhy střely ds).

Tato metoda spočívá ve stanovení součtu délek radiálních trhlin v daných řezech blokem. Z celkových délek radiálních trhlin lze získat diagram závislosti celkové délky trhlin Σr_i na hloubce vniku střely s do želatinového bloku. Na obr. 3 je znázorněna část takového diagramu. Řezy blokem i a $i+1$ ohraničují i -tý interval dráhy střely. V jednotlivých řezech jsou změřeny délky jednotlivých radiálních trhlin příslušných těmto řezům a je stanoven jejich součet Σr_i a Σr_{i+1} . Tloušťka i -tého disku želatiny (resp. délka i -tého intervalu) je Δs .



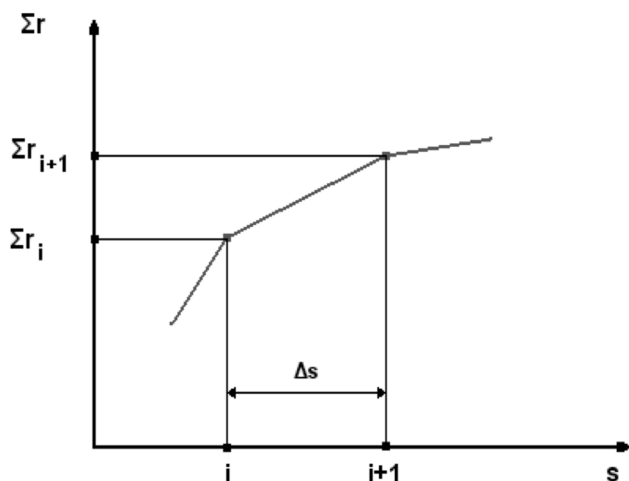
Obr. 2 Radiální trhliny na čelní ploše želatinového bloku postřeleného střelou Slug ráže 12 [5].

Fig. 2 Radial fissure on the block's face surface using Slug ammunition cal 12.

Průměrnou celkovou délkou radiálních trhlin i -tého intervalu lze vypočítat jako aritmetický průměr délek radiálních trhlin podle vztahu [6]:

$$\sum_i r = 0,5 \cdot (\sum r_i + \sum r_{i+1}). \quad (2)$$

Při pečlivém provedení a vyhodnocení experimentu platí, že plocha pod křivkou celkové délky radiálních trhlin na daném intervalu je úměrná celkové předané energii E_i na tomto intervalu.



Obr. 3 Konstrukce závislosti celkové délky radiálních trhlin na dráze střely [5].

Fig. 3 Length of radial fissure depending on the bullet trajectory.

Platí:

$$\Delta s \cdot \sum_i r = c \cdot E_i, \quad (3)$$

kde c [$\text{cm}^2 \cdot \text{J}^{-1}$] je konstanta (multiplikační koeficient), která charakterizuje vlastnosti použité želatiny. Výška, resp. tloušťka disků želatiny (vzdálenosti rovin řezu) Δs je volena nejčastěji 2,5 nebo 5 cm. S volbou menší tloušťky disků lze získat přesnější průběh celkové délky radiálních trhlin na dráze střely, ale na úkor neúměrného zvýšení pracnosti vlastního vyhodnocení. Dílčí úroveň měrné předané energie E_i' na daném intervalu lze pak vypočítat dle vztahu:

$$E_i' = \frac{E_i}{\Delta s} = \frac{\sum_i r}{c}. \quad (4)$$

Při vyhodnocení experimentu je nutné znát dopadovou rychlost střely a hodnotu její výletové rychlosti po proniknutí blokem. Z těchto rychlostí a známé hmotnosti střely lze vypočítat celkovou předanou kinetickou energii střely bloku E_{PR} . Z plochy pod křivkou celkové délky radiálních trhlin v závislosti na dráze střely a z celkové předané energie lze vypočítat konstantu c pro daný blok ze vztahu:

$$c = \frac{0,5 \cdot \sum_1^n \left(\sum_i r \cdot \Delta s \right)}{E_{PR}}, \quad (5)$$

kde n je počet disků stejné tloušťky, na které byl blok želatiny rozdělen (rozřezán).

Dráha střely v diagramech měrných předaných energií bývá nejčastěji uváděna v cm. Hodnota konstanty c je platná pouze pro konkrétní blok želatiny a je nutné ji vždy stanovit ještě před provedením vlastního balistického experimentu. Se změnou koncentrace želatiny, její struktury nebo teploty bloku se hodnota této konstanty mění.

Mechanické vlastnosti balistické želatiny jsou závislé kromě její koncentrace na teplotě. Bloky želatiny proto musí být temperovány

na stejnou teplotu. Teplota temperance zkušebních bloků bývá různá, ve většině pramenů je doporučena teplota 20 °C (pro želatinový roztok o koncentraci 20 %). Při srovnávání výsledků různých autorů je nutné tuto okolnost mít stále na paměti.

Metoda radiálních trhlin je vhodná i pro popis ranivého potenciálu fragmentujících střel. Při experimentu je však potřeba určit úbytek hmotnosti střely a zahrnout ho do výpočtu celkové předané energie.

2.3 Metoda optická. Analýza systémem *i-SPEED*

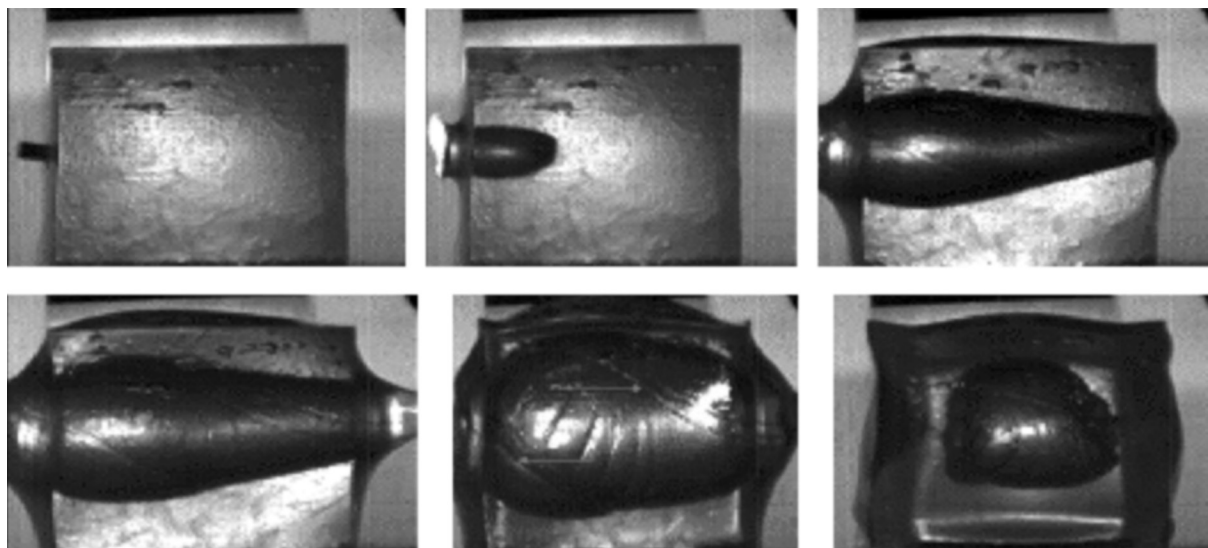
Nejmodernější metoda je spojena se zařazením rychloběžné kamery do měřicího řetězce, která zaznamenává interakci střely se zkušebním blokem transparentní substitute živé tkáně. Pomocí rychloběžné kamery, umožňující snímkování s frekvencí desítek tisíc snímků za sekundu, a jejího programového vybavení lze určit průběh rychlosti střely ve zkušebním bloku a následně vypočítat dílčí úroveň měrné předané energie bloku na jednotlivých přesně stanovených úsecích dráhy proniku střely.

Pomocí programového vybavení rychloběžné kamery je možné sestavit i přibližný průběh odporu prostředí proti pohybu střely. Z definice ranivého potenciálu a vztahů uvedených výše je zřejmé, že obsah plochy pod křivkou odporu prostředí $R = f(s)$ odpovídá ranivému potenciálu (resp. předané energii bloku, tj. práci, kterou síla R vynaložila na zpomalení střely na dráze s). Optická metoda kvantifikace ranivého potenciálu je v současné době stále předmětem zájmu našich odborných pracovišť. Pro účely realizace těchto balistických experimentů byla v minulosti používána rychloběžná kamera 1. generace *Olympus i-SPEED* zapůjčená i s nutným příslušenstvím Fakultou elektrotechnickou, VUT Brno. Z typového označení použité rychloběžné kamery jsme vyšli při pojmenování optické metody pracovním názvem „analýza systémem *i-SPEED*“.

Analýza záznamů rychloběžných kamer využívající jejich programového vybavení je nejmodernější dynamická metoda vyhodnocení balistického experimentu, při kterém lze postřelovat všechny známé transparentní náhradní materiály (tedy i ty, které nevytvářejí patrné radiální trhliny, např. balistické gely). Záznamy rychloběžné kamery umožňují sledovat celou interakci střely s blokem náhradního materiálu, tvorbu i pulsace dočasné dutiny střelného kanálu, příp. deformaci nebo fragmentaci těla střely (pokud k nim dochází). Programové vybavení rychloběžné kamery umožňuje určit průběh rychlosti střely na její dráze, který je výchozí pro výpočet závislosti měrné předané energie. Lze stanovit i průběh dráhy střely v bloku v závislosti na čase pro výpočty předaného impulzu, nebo určení průběhu síly odporu proti pohybu střely v materiálu. Velký význam pro vyhodnocení balistického experimentu má také zjištění rychlosti nárůstu radiálních rozměrů dočasné dutiny střelného kanálu (viz obr. 4).

Tato metoda je velmi náročná na technické vybavení. V rozhodující míře přesnost dosažených výsledků ovlivňuje kvalita pořízeného záznamu. Blok materiálu je nutné pro pořízení záznamu prosvítit. Proto se používají poměrně výkonné reflektory, jejichž světlo bývá rozptýleno polopropustnou překážkou [5].

Pro analýzu záznamu rychloběžné kamery je nutné provést kalibraci záznamu, nejčastěji s využitím znalosti přesných rozměrů bloku. Přesnost kalibrace záznamu určuje přesnost výpočtu průměrných rychlostí střely na zadaných intervalech její dráhy. Po kalibraci záznamu jsou vypočteny rychlosti střely



Obr. 4 Série vybraných snímků ze spojitého záznamu proniku želatinového bloku střelou EFMJ náboje ráže 40 S & W. (Snímací frekvence 20 000 sn.s⁻¹) [5].

Fig. 4 Sequences of the speed camera imaging 20 000 pics/s: penetration of the gelatin block by EFMJ cal 40 S & W.

v daných bodech a funkční závislost rychlosti střely podél bloku je aproximována zvolenou křivkou. Volba typu aproximační křivky má zásadní vliv na výslednou závislost měrné předané energie na dráze střely. Tato křivka bývá volena na základě zkušenosti s ohledem na předpokládaný průběh rychlosti střely na její dráze v bloku. Nejčastěji používané křivky jsou polynomy druhého a třetího stupně či exponenciála [6].

Ze získané závislosti:

$$v = f(s), \quad (6)$$

kde v je rychlost střely a s její dráha v bloku náhradního materiálu, vypočteme rychlosti střely v uzlových bodech, tj. v bodech na dráze střely, které leží na hranicích intervalů, na nichž je měrná předaná energie počítána (tyto intervaly jsou nejčastěji voleny po 2,5 nebo po 5 cm)⁵⁾.

Ze zjištěných rychlostí střely v těchto bodech a známé hmotnosti střely vypočteme měrnou předanou energii na daném intervalu E' podle vztahu

$$E' = \frac{0,5 \cdot m_q (v_n^2 - v_{n+1}^2)}{\Delta s}, \quad (7)$$

kde:

m_q	hmotnost střely,
v_n	rychlost střely na počátku zkoumaného intervalu,
v_{n+1}	rychlost střely na konci daného intervalu,
Δs	úsek dráhy (délka daného intervalu).

Hodnota E' se udává v [J.cm⁻¹]. Tímto způsobem se určí úroveň měrné předané energie v jednotlivých dílčích intervalech podél celého bloku. Výsledná závislost měrné předané energie v závislosti na dráze střely poskytuje konkrétní představu o ranivém potenciálu střely.

3. ZÁVĚR

Metoda profilu zranění je experimentální metodou, která vyžaduje poměrně značné zkušenosti obsluhy při zpracování výsledků balistického měření. Snahou autorů této kvantitativní metody je zachycení celého střelného kanálu od zkoumané střely ve zkušebním bloku. Ke splnění této podmínky je nutné volit bloky vyrobené z NM biologické tkáně polonekonečné tloušťky. To umožňuje při správné volbě druhu balistické substituce zachycení *trvalé*, ale i *dočasné* dutiny a jejich grafického zobrazení ve správném měřítku a poropcích pro další popis topografie střelného kanálu.

Metoda radiálních trhlin je poměrně jednoduchá, nevyžaduje pro vyhodnocení experimentů speciální, finančně nákladné vybavení. Přesnost vyhodnocení experimentu závisí na přesnosti temperace pokusných bloků a koncentraci želatiny a na přesnosti změření celkové délky radiálních trhlin ve všech zvolených řezech. Celková délka radiálních trhlin může být ovlivněna i technologií krájení bloku, nevhodným oddělováním disků želatiny může dojít k rozšíření radiálních trhlin v daném průřezu. Zjištěný průběh měrné předané energie touto metodou je však zkrácen poblíž čel bloku.

Touto metodou lze poměrně dobře popsat i ranivý potenciál fragmentujících střel. Kinetická energie střely spotřebovaná na fragmentaci těla se v oblasti průběhu fragmentace projeví na rozměrech a na tvaru dočasné dutiny a tedy i na celkové délce radiálních trhlin. Rozdíl hmotnosti střely způsobený fragmentací jejího těla v průběhu proniku zkušebním blokem je nutné zahrnout při výpočtu do celkové předané energie bloku.

Optická metoda založená na analýze systémem *i-SPEED* je moderním vyhodnocením balistického experimentu. Je to metoda vhodná pro postřelování všech transparentních náhradních materiálů, tedy i těch, které při postřelení nevytvářejí patrné radiální trhliny (např. gely). Průběh měrné předané energie lze snadno určit na základě zjištěné závislosti rychlosti střely na dráze. Přesnost dosažených výsledků je v rozhodující míře ovlivněna nastavením kamery a volbou funkce, kterou je skutečný průběh úbytku rychlosti střely aproximován.

⁵⁾ Rozsah intervalů bývá pro přesné výpočty volen co nejnižší, pro běžnou potřebu volíme tloušťku intervalu obdobně jako při použití *metody radiálních trhlin*.

Pistolové i revolverové střely s poměrně malou dopadovou rychlostí jsou při použité frekvenci snímkování (20 000 snímků za sekundu) zobrazeny pouze přibližně, a to na každých dvou centimetrech jejich dráhy ve zkušebním bloku. Při nízkém rozlišení obrazu může, při analýze v programovém vybavení systému *i-SPEED*, nastat chyba určení rychlosti mezi dvěma body až $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (pro dopadovou rychlost střely cca 300 až $400 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Vliv na výsledek analýzy má také správná kalibrace programu *i-SPEED*. U každého bloku je nutné znát přesně alespoň jeden jeho rozměr pro provedení kalibrace záznamu.

Výsledky analýzy záznamu v programu *i-SPEED* jsou do značné míry závislé na zkušenostech obsluhy a na kvalitě prosvětlení pokusného bloku. Pro prosvětlení bloku materiálu se používají výkonná halogenová svítidla. Při instalaci těchto svítidel během příprav experimentu může takovým výkonným zdrojem světla a tepla dojít k zahřátí zkušebního bloku a změně jeho mechanických vlastností, která se projeví vznikem chyby měření. Z tohoto důvodu jsou v současné době vyvíjeny synchronizované soustavy blesků, které jsou spuštěny nekontaktními hradly reagujícími na průlet střely, prosvítí blok intenzivním zábleskem trvajícím několik tisícín sekund. Tím je vyloučeno nežádoucí zahřátí bloku a eliminuje se tak chyba měření způsobená zahřátím bloku.

4. LITERATURA

- [1] KOMENDA, J., JUŘÍČEK, L. *Ranivá balistika*. Vojenská akademie v Brně, Brno, 2003. 152 s. S-1468.
- [2] JUŘÍČEK, L., PĚCHOUČEK, P., KRAJSA, J. *Metody kvantifikovaného hodnocení ranivého potenciálu malorážových střel v experimentální ranivé balistice*. [Dílčí výzkumná zpráva č. 01-2013-2014-IGA VŠKE]. VŠKE, a. s. Brno, Brno, 2014.
- [3] KNEUBUEHL, B. P., COUPLAND, R. M., ROTHSCCHILD, M. A., THALI, M. J. *Wundballistik. Grundlagen und Anwendungen*. 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2008, 492 s. ISBN 978-3-540-79008-2.
- [4] JUŘÍČEK, L., KOMENDA, J., JEDLIČKA, L., RYDLO, M. Návrh kritéria hodnocení ranivého potenciálu malorážových střel. *Special Technology 2006*. Alexander Dubček University of Trencin, Bratislava, 2006. ISBN 80-8075-128-5.
- [5] JUŘÍČEK, L. a kol. *Ranivá balistika. Technické, soudnělékařské a kriminalistické aspekty*. KEY Publishing, Ostrava, 2017, 614 s. ISBN 978-80-7418-274-7.
- [6] JUŘÍČEK, L. *Ranivý potenciál malorážových střel a jeho hodnocení*. KEY Publishing, Ostrava, 2015, 158 s. ISBN 978-80-7418-222-8.
- [7] JUŘÍČEK, L., FICEK, M., MORAVANSKÝ, N. Inženýrský přístup technického znalce k hodnocení střelných poranění člověka. *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2020*. 1. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Brno, 2020, s. 353–363. ISBN 978-80-214-5829-1.

Správná citace:

JUŘÍČEK, L., FICEK, M., MORAVANSKÝ, N. Metody nepřímé identifikace základní metodologický přístup experimentální ranivé balistiky. *Soudní inženýrství*, 2020, 31(1), 25–30. DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2020.1.25>. ISSN 1211-443X.