

616-001.45.001.57:167.7

## FYZIKÁLNÍ MODEL MĚKKÝCH BIOLOGICKÝCH TKÁNÍ (MĚKKÉ „HOMOGENNÍ“ STRUKTURY) A JEHO POUŽITÍ V BALISTICKÉM EXPERIMENTU

Ludvík JUŘÍČEK, Jan KOMENDA  
Vojenská akademie, Brno

### Souhrn

Článek pojednává o použití fyzikálního modelu v balistickém experimentu v rámci hodnocení ranivého účinku střel malých ráží. Model byl vyroben podle vlastního návrhu ze směsi petrolátu s parafinem v poměru 75:25 %. Fyzikální model umožňuje svou stavbou zachycení celého střelného kanálu a jeho použití podle navržené metodiky má velký význam v predikci očekávaných střelných poranění, tvaru a velikosti střelných kanálů, které jsou typické pro zástřel.

**Klíčová slova:** Fyzikální model; Malorážová střela; Predikce ranivého účinku; Střelný kanál; Zástřel.

### A Physical Model of Soft Biological Tissues (Soft "Homogenous Structures") and Its Application to a Ballistic Experiment

### Summary

This paper deals with the **physical model** application to a ballistic experiment as an integral part of the evaluation of the woundability effect of small calibre ammunition. The model was made from a 75:25 % **petrolatum – parafin** mixture which we designed ourselves. This physical model makes it possible to catch the entire fire channel; its application, according to the suggested methodology, is of crucial importance considering the expected bullet wound **prediction**, the fire channel shape and the typical size for **ranging**.

**Key words:** Physical model; Woundability effect prediction; Small calibre ammunition; Fire channel; Ranging.

### Úvod

V několika posledních letech se na Katedře zbraňových systémů Vojenské akademie v Brně intenzivně zabýváme problematikou **ranivé balistiky**. V počátcích našeho snažení jsme se vedle studia dostupné literatury zaměřili na sladění **odborné terminologie** používané v této oblasti odborníky na balistiku zranění a lékařů zabývajících se chirurgickou léčbou střelných poranění. Věnovali jsme se také studiu skutečných případů **střelných poranění** způsobených střelami krátkých kulových zbraní, ale i výkonnými střelami **vojenských pušek** publikovaných v naší i zahraniční literatuře. Nakonec jsme se vedle právních a etických aspektů těchto problémů zabývali **výběrem a hodnocením náhradních materiálů biologických tkání pro zkoušky v ranivé balistice**.

Základní metodou zkoumání procesů spadajících do oblasti **terminální balistiky** malorážového střeliva se pro nás stala simulace jejich účinků pro-

váděná metodou **nepřímé identifikace na fyzikálních modelech**.

V čísle 1/2002 tohoto periodika jsme čtenáře seznámili s prvním typem simulace provedené u nás, která se zabývala **vlivem rázové vlny vyvolané průnikem malorážové střely částí stehna na cévní systém člověka**. V předloženém příspěvku chceme odbornou, ale i laickou veřejnost seznámit s druhým typem **balistické simulace** méně častých, **nekomplikovaných střelných poranění** člověka, kdy dochází k zásahu pouze měkkých „homogenních“ struktur, bez přímého ohrožení kostí, magistralních cév nebo vitálních orgánů uložených v hloubce.

### Simulace účinků malorážového střeliva na živou tkáň (měkké „homogenní“ struktury)

Ve snaze přispět k objasnění některých typických jevů při průniku střel tohoto typu měkkými částmi živých tkání jsme provedli balistický experiment založený na postřelování bloků simulujících

živou tkáň střelami puškových a výkonných revolverových nábojů. K provedení experimentu jsme navrhli fyzikální model měkkých biologických tkání tvořený homogenními bloky vyrobenými ze **směsi petrolátu s parafinem** v poměru 75:25 % (PP75/25-IV). Pro použití náhradního materiálu (NM) tohoto složení rozhodla kromě jeho vlastností také cena vstupních surovin a jejich dostupnost. Fyzikální charakteristiky použité substituce biologické tkáně byly stanoveny experimentálně bezprostředně před vlastním balistickým experimentem na Katedře zbraňových systémů Vojenské akademie v Brně. Číselné hodnoty zjištěných charakteristik uvádí tabulka 1.

Tabulka 1

**Základní fyzikální charakteristiky použité substituce (PP75/25-IV)**

| Substituce  | $\rho$               | n     | $\eta$                 |
|-------------|----------------------|-------|------------------------|
|             | [kgm <sup>-3</sup> ] | [1]   | 10 <sup>-3</sup> [Pas] |
| PP 75/25-IV | 944                  | 0,589 | 13,0198                |

Vysvětlivky:

$\rho$  – měrná hmotnost (hustota)

n – index tečení

$\eta$  – dynamická viskozita

Bloky náhradní tkáně byly pro potřeby přímého postřelování upraveny do tvaru **kvádru** o ploše příčného průřezu 25x25 cm a délce 40 cm. Hmotnost jednotlivých kvádrů dosahovala v průměru 16 kg. Pro přehlednost jsme kvádry označili velkými písmeny k jejich snadné identifikaci při tvorbě skupin bloků (tandemů) pro účely jejich postřelování zkoumanými druhy střeliva. Pro balistický experiment byl vytvořen tandem dvou bloků a tím dosažena maximální možná hloubka vniku 80 cm pouze u dvou ráží (7,62x39 a 7,62x54 R). Každým druhem zkoumaného střeliva byly pro nedostatečný počet použitelných bloků střelbou vytvořeny pouze dva střelné kanály. Všechny bloky byly temperovány na teplotu okolního prostředí (21 °C), která spadá do teplotní tolerance udávané výrobcem směsi.

### Cíle experimentu

Vedle základního cíle, kterým je **ověření funkčnosti homogenního fyzikálního modelu, vhodnosti použité soustavy měření dopadové rychlosti**

**ti střel, reprodukovatelnosti dosažených výsledků a jejich archivace**, jsme si stanovili tyto dílčí cíle: posoudit chování použité cílové substituce, zejména z hlediska její schopnosti pohlcovat kinetickou energii pronikající střely, prokázat souvislost velikosti a tvaru dosaženého střelného kanálu a množství předané kinetické energie ( $E_{pr}$ ) postřelovanému médiu, vyhodnocením dosažených **profilů střelných kanálů** střelami posuzovaných nábojů predikovat jejich účinek na měkké biologické tkáně člověka.

Experiment byl zaměřen na simulaci jednoduchého (nekomplikovaného) střelného poranění, kdy střela pronikne pouze měkkými tkáněmi bez účasti kosti, velké cévy nebo vitálního orgánu uloženého v hloubce. Proto zvolený fyzikální model neobsahoval žádný ze zmíněných prvků.

Ke střelbě byly použity zbraňové systémy **ráže 7,62 mm vz. 43 a vz. 59; 5,45x39 a 5,56x45**, tvořících skupinu typických zástupců vojenského malorážového střeliva. Výjimku tvořil pouze revolverový náboj ráže **357 Magnum**, který patří mezi moderní náboje s výkonnou expanzivní střelou působící se zvýšeným účinkem. (Pozn.: Tento typ střeliva a jeho použití je v podmínkách ČR zakázán. Do experimentu byl zařazen z důvodu získání základních informací o jeho účincích, které jsou u nás málo publikovány, a provedení určitého srovnání s účinky pistolového, resp. revolverového střeliva v ráži 9 mm.)

Tento náboj byl v rámci provedeného experimentu porovnán s nábojem **9 mm Luger**, který ze skupiny nábojů pro krátké kulové zbraně patří k nejrozsířenějším se střelou celoplášťové konstrukce.

### Balistická charakteristika experimentu

Zkušební blok (tandem) byl na střelnici uložen na stůl a fixován proti pohybu při pronikání střely ve vzdálenosti 4,5 m od ústí balistické hlavně. Záměrný bod na přední ploše bloku byl volen v jejím středu tak, aby bylo při tvorbě střelného kanálu (dočasné dutiny) zamezeno vzniku nepravidelností (vyboulení stěny bloku). **Především u biogiválních a ogiválních střel, zakončených špičkou, nejsou žádnou vzácností i výrazná stranová (příčná) vybočení střel při jejich pronikání.** Cílem experimentu bylo u všech střel zachytit celý střelný kanál. Proto jsme při přípravě jednotlivých bloků kladli důraz na zajištění jejich dostatečné délky. Při každém výstřelu byla měřena pomocí **nekontaktního optického hradla** rychlost střely  $v_3$  (rychlost střely

3 m před ústím zkušební hlavně), kterou lze považovat vzhledem k poloze vzorku za rychlost dopadovou  $v_d$ . V souvislosti s výše zmíněným požadavkem nebylo nutné měřit výletovou rychlost střely. Uspořádání měřicího stanoviště je patrné z obrázku 1 na str. I barevné přílohy.

### Stručná charakteristika malorážového střeliva podrobeného terminálně balistickému zkoumání:

#### a) Vojenské puškové střelivo:

**7,62 mm vz. 43 s celopláštěvou střelou** byl vyvinut během 2. světové války, ale do výzbroje armád zaveden až po jejím skončení. (Pozn.: Náboj byl zaveden do výzbroje armád bývalé Varšavské smlouvy, Číny, Finska, bývalé Jugoslávie, Kuby, Nikaraguy a dále některých zemí Blízkého, Středního a Dálného východu a Afriky. Mimo země, kde byl zaveden do výzbroje, jej vyrábí i řada muničních závodů v západní Evropě a v Americe. Je proto pravděpodobné, že tento náboj, přestože nebyl použit v žádné světové válce, ale téměř ve všech lokálních konfliktech po skončení 2. světové války, je nábojem, který lze zařadit mezi náboje vyrobené v největším množství.)

**Nábojnice** tohoto náboje je vyráběna z oceli fosfátované a lakované a také z mosazi. Je známo rovněž experimentální provedení z duralu. **Střela** základního provedení (použita v experimentu) je biogivální, má ocelové jádro (měkké), olovenou košilku a plášť z oceli plátované tombakem. **Zápalka** je u vojenského provedení typu Berdan a obsahuje slož na bázi třaskavé rtuti.

Hmotnost střely je 8,05 g a počáteční rychlost  $v_0 = 740 \text{ ms}^{-1}$ . Tomu odpovídá počáteční kinetická energie střely  $E_0 = 2205 \text{ J}$ .

**7,62 mm vz. 59 s celopláštěvou střelou** zavedený v Rusku pro pušku Mosin Nagant v roce 1891. Náboj byl později použit i do kulometů a v období mezi světovými válkami zaveden i v dalších zemích (Finsko, pobaltské republiky). Po 2. světové válce byl zaveden v zemích Varšavské smlouvy pro kulometry a odstřelovací pušku. Tento náboj rovněž posloužil jako vzor ke konstrukci některých loveckých nábojů používaných v bývalém Sovětském svazu.

Vojenské provedení má **nábojnici** mosaznou, ocelovou plátovanou CuZn10 nebo ocelovou fosfátovanou a lakovanou, případně pouze lakovanou. Pro účely balistického experimentu byl použit vojenský náboj s **biogivální střelou**, s měkkým ocelovým jádrem a olovenou košilkou.

Plášť **střely** je ocelový, plátovaný tombakem. Hrot střely označen **stříbrně**. (Pozn.: V tomto provedení se vyskytuje náboj 7,62-odst., který se pou-

žívá pro odstřelovací pušku. Konstrukčně je naprosto stejný jako základní typ, ale vyznačuje se podstatně lepší přesností a spolehlivostí.) Nábojnice je osazena **zápalkou** typu Berdan o průměru 6,5 mm, zpravidla se složí na bázi třaskavé rtuti.

Střela má hmotnost 9,60 g a počáteční rychlost  $870 \text{ ms}^{-1}$  ( $E_0 = 3633 \text{ J}$ ).

**5,45x39 sovětský pěchotní náboj malé ráže**, zavedený do výzbroje v roce 1974 pro modernizovanou útočnou pušku **Kalašnikov AK-74** a kulomet **RPK 74**.

**Nábojnice** je ocelová, fosfátovaná a lakovaná. Konstrukčně je u tohoto náboje dokonale propracovaná střela, která má za letu dobrou stabilitu, značnou přesnost i průbojnost (ocelové jádro). (Pozn.: Mezní průbojnost ocelové desky je při střelbě z útočné pušky AK-74 na vzdálenost: 200 m – 10 mm, 130 m – 12 mm a min. 800 m – přílba US 68.) Náboj je vyráběn s různými typy střel. Pro potřeby tohoto experimentu byl použit náboj se střelou základní (7H6). **Střela** má ocelový tombakem plátovaný plášť, dlouhé měkké ocelové jádro zasazené do olovené košilky. Tato střela dosahuje při hmotnosti 3,45 g počáteční rychlosti okolo  $880 \text{ ms}^{-1}$  ( $E_0 = 1336 \text{ J}$ ). **5,56x45** (lovecký ekvivalent 223 Remington) s **celopláštěvou střelou**. Na základě příznivých zkoušek byl tento náboj spolu s automatickou puškou **M 16** zaveden do výzbroje americké armády. Střela tohoto náboje s označením M 193 měla olovené jádro a hmotnost 3,56 g. Náboj s touto střelou se používal až do roku 1984, kdy byl nahrazen nábojem se zdokonalenou střelou označenou SS 109. (Pozn.: Na modernizaci střely se podílela belgická firma **F. N. Herstal**, která při jejím návrhu vycházela ze zkušeností z vietnamské války. Tato firma u navržené střely při zachování její ranivosti dosáhla podstatně vyšší průbojnosti – aplikace ocelového jádra v přední části střely.)

Náboj nové konstrukce byl po přijetí do výzbroje americké armády zaveden i v ostatních členských armádách NATO.

Vojenské provedení náboje má **střelu** o hmotnosti 4 g, s tombakovým pláštěm a kombinovaným ocelovým a oloveným jádrem. K výrobě **nábojnice** se používá převážně slitina CuZn.

Hodnoty počáteční rychlosti střely tohoto náboje se pohybují v závislosti na výrobci kolem  $1000 \text{ ms}^{-1}$  ( $E_0 = 2000 \text{ J}$ ).

#### b) Pistolové a revolverové střelivo:

**9 mm Luger s celopláštěvou střelou** je nejznámější a nejrozšířenější pistolový náboj na světě.

(Pozn.: V Evropě se používalo pro označování tohoto náboje názvu **9 mm Parabellum**.) Byl vyvinut již v roce 1902 firmou DWM pro armádní pistoli Georga Luger, původně zkonstruovanou v ráži 7,65 mm Parabellum. Náboj 9 mm Luger se vyráběl a vyrábí v mnoha zemích v celé řadě variant jako vojenský, obranný a sportovní náboj lišící se od sebe konstrukcí, hmotností, druhem střely, materiálem nábojnic a v neposlední řadě balistickými hodnotami.

Experimentálně byl posouzen účinek střely náboje **9 mm Luger** vyráběný firmou **Sellier & Bellot**. Základní provedení tohoto náboje má mosaznou nábojnici a celoplášťovou střelu s olověným jádrem.

Počáteční rychlost střely o hmotnosti 8 g udává výrobce kolem  $360 \text{ ms}^{-1}$  ( $E_0 = 518 \text{ J}$ ).

**Revolverové střelivo ráže 357 Magnum (Eldorado) s expanzivní střelou** o hmotnosti 9,73 g. Jedná se o moderní americký revolverový náboj vyvinutý firmou **Smith & Wesson** s celoplášťovou střelou s kuželovou přední částí a plochou špičkou, ve které je dutina kuželovitého tvaru. Jádro je olověné. Střela se v důsledku řízené deformace svého těla vyznačuje vysokým porážejícím účinkem při současném zachování její dostatečné průbojnosti. (Pozn.: Na čelní hraně střely je plášť zeslaben pěti zářezy, které s proměnlivou hloubkou jsou rovněž

vytvořeny po obvodě kuželové dutiny v olověném jádře – obr. 3.) Náboje byly vystřelovány z balistické hlavně délky 150 mm ( $v_0 = 380 \text{ ms}^{-1}$ ;  $E_0 = 703 \text{ J}$ ) a z revolveru Taurus s třípalcovou hlavní ( $v_0 = 340 \text{ ms}^{-1}$ ;  $E_0 = 563 \text{ J}$ ).

Tvar a konstrukční uspořádání nábojů do vojenských pušek, pistole a revolveru podrobených experimentálnímu zkoumání je patrný z obrázku 2 na str. I barevné přílohy.

Kromě hmotnosti střely a její dopadové rychlosti (kinetické energie) představují geometrický tvar, použité materiály a celkové uspořádání těla střely rozhodující složky jejího **ranivého potenciálu**. Konstrukční řešení střel, důležité z hlediska koncové balistiky, je zřejmé z obrázku 3 na str. II barevné přílohy.

Náboje byly vystřelovány na připravené bloky náhradní tkáně ze **zkušebních balistických hlavních** po předchozím optickém zaměření osy hlavně na záměrný bod (bílý terčik průměru 1 cm umístěný na přední ploše vzorku). (Pozn.: Výjimku tvořily pouze náboje ráže **357 Magnum (Eldorado)**, které z důvodu porovnání účinků v cíli byly střeleny rovněž z revolveru **Taurus** s třípalcovou hlavní.) Důležité konstrukční a balistické údaje zkušebních balistických hlavních jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2

Konstrukční a balistické údaje zkušebních balistických hlavních  
(poskytnuto majitelem firmy Prototypa Brno)

| Zkušební balistická<br>hlaveň (označení) | $L_{HL}^{1)}$ | $d$  | $V_0$                | Stoupání drážek |       |       | $\alpha^{2)}$ | $n_{max}^{3)}$      |
|------------------------------------------|---------------|------|----------------------|-----------------|-------|-------|---------------|---------------------|
|                                          | [mm]          | [mm] | [ $\text{ms}^{-1}$ ] | [mm]            | [ráž] | [in]  | [°]           | [ $\text{s}^{-1}$ ] |
| R. 9Luger – H7735CIP                     | 150           | 9,00 | 420                  | 305             | 34    | 12,00 | 5,30          | 1377                |
| R. 7 Magnum – H9526CIP                   | 150           | 9,00 | 430                  | 476             | 53    | 18,75 | 3,40          | 903                 |
| R. 5,45x39 – H7893                       | 600           | 5,45 | 900                  | 196             | 36    | 7,75  | 5,00          | 4592                |
| R. 5,56x45,S = 178H9120                  | 575           | 5,56 | 920                  | 178             | 32    | 7,00  | 5,60          | 5169                |
| R. 7,62 vz. 43 – H4667                   | 520           | 7,62 | 700                  | 235             | 31    | 9,25  | 5,80          | 2979                |
| R. 7,62 – okraj – H4380                  | 730           | 7,62 | 800                  | 250             | 33    | 10,00 | 5,45          | 3200                |

Vysvětlivky:

<sup>1)</sup> délka vývrtu zkušební balistické hlavně

<sup>2)</sup> úhel stoupání závitu vývrtu hlavně, měřeno vzhledem k podélné ose hlavně

<sup>3)</sup> počet otáček střely na ústí hlavně

### Hodnocení dosažených výsledků

Po ukončení postřelování bloků (fyzikálních modelů) byl pořízen fotografický snímek **vstřelu** na čelní ploše vzorků náhradní tkáně. Rozměry a tvar vstřelu (kruhovitost nebo oválnost) jsou prvními velmi důležitými údaji, které je možné s dostatečnou přesností vizuálně vyhodnotit. Především tvar vstřelu vypovídá mnohé o poloze střely v okamžiku jejího dopadu na čelní plochu vzorku a dalším chování při průniku.

Po přímém zjištění celkového **objemu** střelného kanálu (vylitím dutiny vodou) byly bloky v místě střelného kanálu podélně rozříznuty. Takto získané **podélné řezy** byly opět fotograficky zdokumentovány a uloženy k dalšímu zpracování. Některé snímky střelných kanálů jsou vidět na obrázcích 4 a 5 na str. II barevné přílohy. Nakonec jsme překreslením podélných řezů střelných kanálů získali jejich **grafické profily** (obr. 7), které svým tvarem a velikostí

odpovídají vytvořené **dočasné dutině** a slouží jako podklad ke kvantifikaci důležitých rozměrových charakteristik střelných kanálů.

#### Těmito charakteristikami jsou:

- průměr vstřelu –  $D_v$
- celková délka střelného kanálu (hloubka vniku střely) –  $s_K$
- celkový objem střelného kanálu –  $W_{SK}$ ,
- maximální průměr vzniklé dutiny –  $D_{max}$
- délka přímého úseku dráhy počáteční fáze průniku střely –  $L_{PÚ}$

(Pozn.: vzdálenost, po kterou se střela v tkáni pohybuje **stabilně**, špičkou napřed, než začne znatelně vybočovat – „narrow channel“ –, je důležitou charakteristikou pro hodnocení ranivého účinku střely.)

- úhel vybočení osy střelného kanálu –  $\varphi$

Střední hodnoty těchto charakteristik uvádí tabulka 3.

Tabulka 3

**Střední hodnoty rozměrových charakteristik střelných kanálů od zkoumaných střel v blocích PP 75/25-IV (střelba byla prováděna ze zkušebních balistických hlavních)**

| Náboj                       | Blok | $E_d$ | $D_v$ | $s_K$ | $L_{PÚ}$ | $D_{max}$ | $\varphi$ | $W_{SK}^{3)}$      | $RRPS^{4)}$          |
|-----------------------------|------|-------|-------|-------|----------|-----------|-----------|--------------------|----------------------|
|                             |      | [J]   | [mm]  | [cm]  | [cm]     | [mm]      | [°]       | [cm <sup>3</sup> ] | [Jcm <sup>-3</sup> ] |
| 9 mm Luger                  | A2   | 517   | 12,0  | 28,5  | 13,5     | 10,0      | 4         | 5,8                | 89                   |
| 357 Magnum                  | B1   | 714   | 15,0  | 16,0  | 2,7      | 17,0      | 0         | 9,9                | 79                   |
| 357 Magnum <sup>1)</sup>    | F2   | 553   | 14,0  | 21,7  | 14,5     | 6,0       | 4         | 11,9               | 46                   |
| 5,45x39 (7H6) <sup>2)</sup> | E1   | 1596  | 9,5   | 35,0  | 9,0      | 18,0      | 7         | 51,0               | 31                   |
| 5,56x45 (SS109)             | G1   | 1855  | 12,0  | 35,7  | 21,5     | 38,0      | 14        | 61,7               | 30                   |
| 7,62x39                     | C2   | 2345  | 15,5  | 42,5  | 9,0      | 30,0      | 6         | 76,8               | 31                   |
| 7,62x54R                    | D2   | 3410  | 13,0  | 54,0  | 18,5     | 28,0      | 3         | 81,3               | 42                   |

Vysvětlivky:

<sup>1)</sup> Hodnoty dosažené střelbou z revolveru **Taurus** s třípalcovou hlavní.

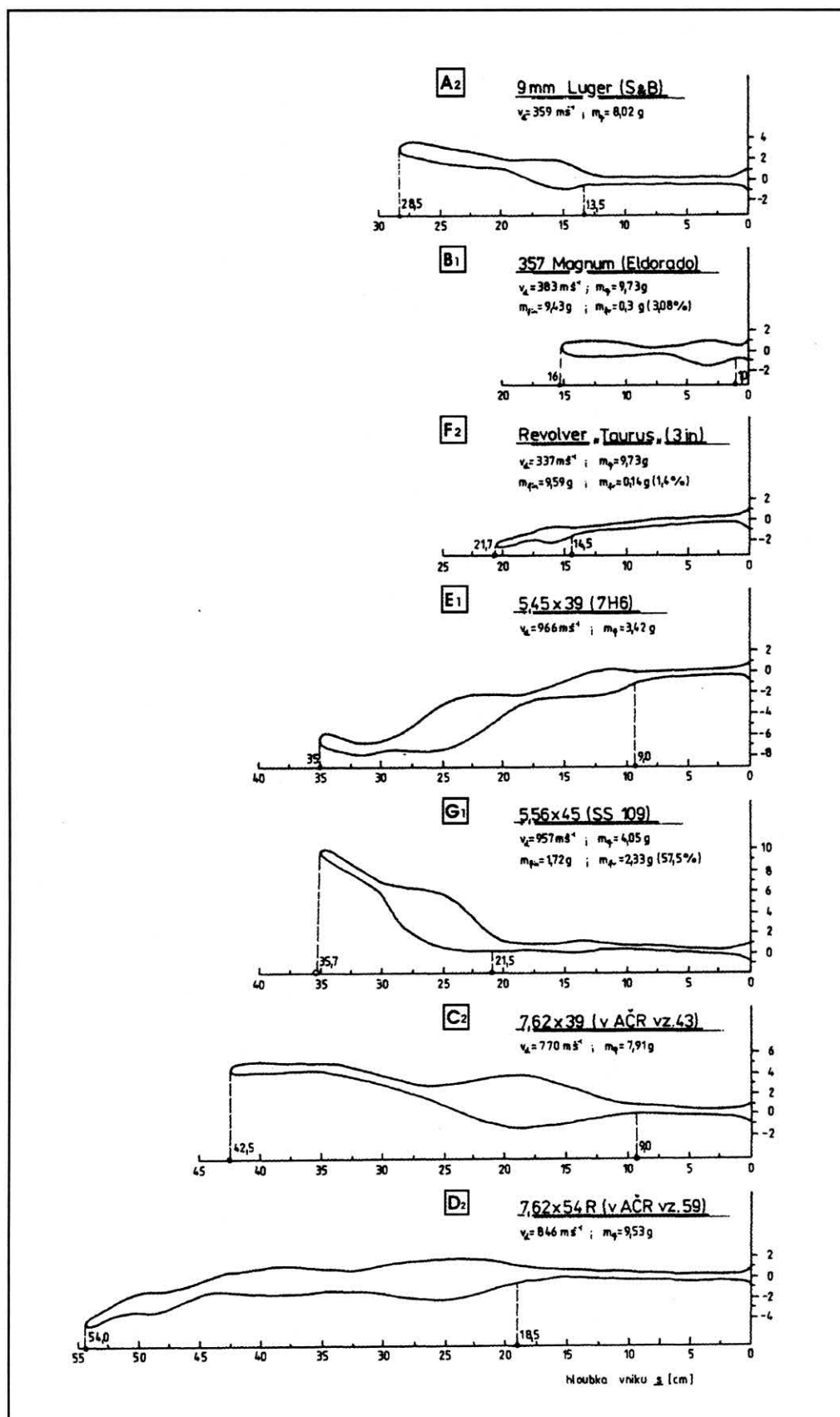
<sup>2)</sup> Balistickému zkoumání v této ráži jsme také podrobili náboj **5,45x39 cv** (dutá plastová střela hmotnosti 0,25 g). Tělo střely se po výstřelu rozpadlo na malé fragmenty, které na papírové zástěně umístěné 1 m před ústím zkušební hlavně vytvořily rozptýlový obrazec kruhového tvaru průměru cca 30 cm.

<sup>3)</sup> Celkové objemy střelných kanálů  $W_{SK}$  byly stanoveny **přímou metodou** (vylití dutiny vodou).

<sup>4)</sup> **Relativní ranivý potenciál střely (RRPS)**, vyjadřuje množství předané kinetické energie  $E_{PR}$  (v joulech), kterou střela potřebuje na vytvoření 1 cm<sup>3</sup> objemu dutiny střelného kanálu v náhradním materiálu.

Odpor prostředí proti pohybu střely při jejím pronikání rovněž způsobuje tvarové změny na střele samotné. Stupeň deformace nebo dokonce rozpad těla střely na fragmenty má v konečném důsledku vliv na stabilitu pohybu střely při jejím průniku a rozsah změn

v proniknutých tkáních. Střední hodnoty tvarových a hmotnostních změn spolu s konstrukčními a balistickými údaji zkoumaných střel uvádí tabulka 4. Porovnání výchozího tvaru střely a jejího stavu na konci průniku nabízí obrázek 6 na str. III barevné přílohy.



Obr. 7: Střelné kanály od střel zkoumaných nábojů v blocích náhradní tkáně reprezentované směsí PP 75/25-IV (podélné řezy).

Tabulka 4

**Rozměrové a hmotnostní změny střel v důsledku jejich průniku blokem PP 75/25-IV důležité z pohledu koncové balistiky střel malých ráží**

| Náboj                    | Typ střely | $v_d$               | $E_d$ | $m_q$ | $m_{fin}$ | $m_{fr}$ | KE  | SF    |
|--------------------------|------------|---------------------|-------|-------|-----------|----------|-----|-------|
|                          |            | [ms <sup>-1</sup> ] | [J]   | [g]   | [g]       | [g]      | [%] | [%]   |
| 9 mm Luger               | FMJ        | 359                 | 517   | 8,02  | 8,02      | –        | –   | –     |
| 357 Magnum               | HP         | 383                 | 703   | 9,73  | 9,43      | 0,30     | 205 | 3,08  |
| 357 Magnum <sup>1)</sup> | HP         | 337                 | 553   | 9,73  | 9,59      | 0,14     | 119 | 1,40  |
| 5,45x39 (7H6)            | FMJ        | 966                 | 1596  | 3,42  | 3,42      | –        | –   | –     |
| 5,56x45 (SS 109)         | FMJ        | 957                 | 1855  | 4,05  | 1,72      | 2,33     | –   | 57,50 |
| 7,62x39                  | FMJ        | 770                 | 2345  | 7,91  | 7,91      | –        | –   | –     |
| 7,62x54 R                | FMJ        | 846                 | 3410  | 9,53  | 9,53      | –        | –   | –     |

Vysvětlivky:

$m_q$  – hmotnost střely před výstřelem

$m_{fin}$  – finální hmotnost střely

$m_{fr}$  – hmotnost fragmentů těla střely

KE – koeficient expanze těla střely ( $KE = d_E/d_0$ , kde  $d_E$  je průměr střely po její expanzi a  $d_0$  původní průměr střely)

SF – stupeň fragmentace těla střely (procentuální podíl hmotnosti fragmentů  $m_{fr}$  na celkové hmotnosti střely  $m_q$ )

<sup>1)</sup> Střední hodnoty tvarových a hmotnostních změn střely 357 Magnum (Eldorado) dosažené střelbou z revolveru Taurus s třípalcovou hlavní. Z tabulky jsou jasně vidět výrazně nižší hodnoty KE a SF, dosahující přibližně poloviční úrovně hodnot dosažených střelbou stejné ráže ze zkušební balistické hlavní ( $L_{HL} = 150$  mm).

### Predikce ranivých účinků střel zkoumaných nábojů na měkkou biologickou tkáň

Grafické profily střelných kanálů doplněné milimetrovým měřítkem umožňují vzájemné porovnání hloubek vniknutí střely, tvaru a velikosti střelného kanálu u střel různé konstrukce a balistických vlastností. Tak dávají určitou představu o tom, jaké střelné poranění může být očekáváno od zkoumaného zbraňového systému. Rovněž stopy po fragmentaci těla střely nebo množství porušené tkáně skutečného střelného poranění mohou být porovnány s těmito profily k určení typu střely, která poranění způsobila.

U každého náboje, který prošel balistickým zkoumáním, byl vyhodnocen jeho účinek v náhradní tkáni a stanoveno možné očekávání vývoje dvou typů střelných poranění:

- jednoduchého střelného poranění stehna (bez účasti stehenní kosti nebo velké cévy) a
- střelného poranění břicha.

#### a) 9mm Luger (S&B)

Tato celoplášťová střela s parabolicky zaoblenou přední částí a olověným jádrem proniká blokem

stabilně a vniká do hloubky 28,5 cm s minimálními vybočeními, ke kterým dochází až ve druhé polovině střelného kanálu (obr. 7). Přímý úsek kanálu je úzký (průměr menší než ráže střely) a zachovává si směr vektoru dopadové rychlosti střely. Malé zvětšení průměru kanálu na konci tohoto úseku ( $D_{max} = 10$  mm) má možnou souvislost se změnou polohy střely při jejím průniku. Orientace střely na konci jejího průniku je špičkou vpřed.

Nekomplikované střelné poranění břicha a stehna, pokud bude střela pronikat stabilně, se bude vyznačovat malým rozsahem zničených tkání. Experiment prokázal dostatečnou průbojnost střely o hmotnosti 8,02 g, což zvyšuje pravděpodobnost zasažení vitálních orgánů v hloubce. Jejich poškození pak může výrazně zvýšit závažnost střelného poranění uvedených oblastí.

#### b) 357 Magnum Eldorado (PMC)

Expanzivní střela revolverového náboje této ráže vystřelená z balistické hlavní vytvořila ve zkušebním bloku střelný kanál, který je svým tvarem a velikostí typický pro střely tohoto konstrukčního uspořádání a balistických parametrů. Dutina vznikající ihned v počáteční fázi průniku střely svou polo-

hou a rozměry napovídá, že k úplnému dokončení řízené expanze těla střely došlo v hloubce, která odpovídá přibližně třem rážím střely. Hříbovitě deformované tělo střely proniká do hloubky jen 16 cm. Při zachování své původní hmotnosti ( $SF = 3,08 \%$ ) střela zdvojnásobila svůj průměr ( $KE = 205 \%$ ).

Při porovnání účinků této střely na měkkou tkáň střelbou z revolveru **Taurus** byla dosažena dopadová rychlost střely  $337 \text{ ms}^{-1}$  ( $E_d = 553 \text{ J}$ ). Snížení dopadové rychlosti střely o  $36 \text{ ms}^{-1}$  (asi  $9,4 \%$ ) oproti předchozímu balistickému systému se projevilo zvýšením její průbojnosti z 16 na téměř 22 centimetrů. Střelný kanál je úzký a svým tvarem připomíná kanál od střely pistolového náboje **9 mm Luger (S&B)**. V důsledku menší síly odporu prostředí proti pronikání, způsobené menší postupnou rychlostí střely, tělo střely nedokončilo svou expanzi ( $KE = 119 \%$ ).

Z uvedeného je patrné, že parametry použitého experimentálního balistického systému se mohou výrazně projevit na rozsahu střelných poranění břicha a stehna. Zatímco v **prvním případě** se dá předpokládat spíše výrazná **zastavovací schopnost** střely s rychlým odevzdáním její kinetické energie zasaženým tkáním, ve **druhém případě** se projeví spíše průbojná složka ranivého účinku střely. Pokud bude střela pronikat stabilně a nenarazí na kost, lze očekávat minimální ztráty tkání a při průchodu takové střely mimo životně důležité orgány i vysokou pravděpodobnost přežití.

#### c) 5,45x39 se střelou 7H6 FMJ

Ve srovnání se střelou náboje klasické ráže **7,62x39** má tato mikrorážová střela méně než poloviční hmotnost, v účincích na živou sílu však nijak nezaostává, právě naopak. (Pozn.: Ačkoli svým vnějším tvarem, použitými materiály i vnitřním uspořádáním mikrorážové střely neodporují platným konvencím, svými účinky na živou sílu se blíží účinkům střel **Dum-Dum**. Proto odborníci zabývající se balistikou zranění vyjádřili na **Mezinárodní konferenci o ranivé balistice konané ve dnech 7.–8. 10. 1997 v Interlakenu** (Švýcarsko) možnost zákazu používání střeliva tohoto typu pro vojenské účely.)

Unikátním rysem této střely (obr. 3) je vzduchový prostor (asi 5 mm dlouhý) uvnitř pláště střely v místě její špičky. Spekulace o tom, že tato vzduchová mezera by mohla plnit funkci expanzní dutiny a napomáhat deformaci, popř. tříštění těla střely při nárazu na tkáň, se ukázaly jako neopodstatněné. Experimentem bylo prokázáno, že tato vzduchová mezera slouží ke konstrukčnímu posunutí těžiště střely k jejímu dnu a pravděpodobně přispívá k velmi časnému vybočení střely při pronikání tkání.

Navíc při nárazu střely na tkáň se olovo tvořící košilkou střely přesune dopředu do volného prostoru, což může být jedním z důvodů pro výrazné zakřivení střelného kanálu v jeho konečné fázi.

Očekávaná poranění břicha a stehna způsobená touto střelou budou v zásadě stejná, jaká mohou být dosažena střelou náboje **7,62x39 FMJ** střeleného ze samopalu **AK-47 Kalašnikov** (bližší specifikaci tohoto poranění provedeme později).

#### d) 5,56x45 se střelou SS 109 FMJ

Střela **SS 109**, která je součástí moderního mikrorážového náboje vyvinutého belgickou firmou **F. N. Herstal**, má specifickou konstrukci s ocelovým jádrem v přední části a olověnou výplní v zadní části (obr. 3). Náboj s touto střelou o hmotnosti 4 g je určen ke střelbě z novější automatické pušky **M16A2** s progresivním vývrtem hlavně a kratším stoupáním závitů (7 palců), který zaručuje poměrně dobrou stabilitu střely a vysokou průbojnou schopnost.

Experimentálně získaný střelný kanál vykazuje v první fázi průniku dlouhý přímý úsek (narrow channel), než začne znatelně vybočovat ze své stabilní polohy (více než 20 cm). Dosažení této polohy (střela postupuje příčně) spolu s vysokým stupněm fragmentace jejího těla ( $SF = 57,5 \%$ ) má za následek vznik velké dočasné dutiny zakončené opět úzkým, výrazně zakřiveným kanálem.

Prokázanou fragmentaci těla střely spolu s působením dočasné dutiny na okolní tkáň lze předpokládat spíše u poranění břicha, kde jsou příznivější podmínky pro jejich rozvoj (dlouhý střelný kanál), než u nekomplikovaného poranění stehna, kde se v důsledku velmi dobré stability střely dají očekávat spíše hladké průstřely. Přesto lze od této střely očekávat těžká střelná poranění, často s malým vstřelem a rozsáhlou devastací tkání v místě střelného kanálu.

#### e) 7,62x39 FMJ

Ve zkušebním bloku tato střela typicky proniká asi 9 cm ve stabilní poloze špičkou napřed, než začne znatelně vybočovat. Tento jev byl pozorován u obětí postřelení ve Vietnamu v 60. letech. Profil střelného kanálu v náhradní tkáni je podobný profilu dutiny dosaženého v 10% balistické želatině střelou jugoslávského náboje stejné ráže (1). Střela je kompaktní, dostatečně pevná a pokud při pronikání nevybočí ze své stabilní polohy, nedochází k deformaci jejího těla.

Bude-li střela pronikat stabilně, způsobí v břišní oblasti minimální poškození tkání. Průměrné nekomplikované poranění stehna bude takové, jaké lze očekávat od ruční palné zbraně středního balistického výkonu; malý vstřel a výstřel s minimálním poško-

zením tkáně. Pokud ovšem bude střela pronikat bočně po většinu své dráhy v břišním prostoru, dá se očekávat poškození více než trojnásobného rozsahu tkáně způsobeného střelou postupující ve stabilní poloze.

Vstup (vstřel) poranění stehna bude malý a kruhový, ale výstup (při průstřelu) bude oválný nebo hvězdovitý, měřící až 11 cm mezi protilehlými vrcholy.

#### f) 7,62x54R FMJ

Lehká střela o hmotnosti 9,6 g byla vystřelována ze zkušební balistické hlavně a dopadala na blok náhradní tkáně rychlostí okolo  $850 \text{ ms}^{-1}$  ( $v_d = 846 \text{ ms}^{-1}$ ;  $E_d = 3\,410 \text{ J}$ ).

Profil střelného kanálu této celoplašťové střely (obr. 7) ukazuje na charakteristické chování v tkáni pozorované u všech střel s nedeformovanými těly. Střela asi po 20 cm průniku v náhradní tkáni nejprve vybočí o  $90^\circ$  a po dosažení polohy dnem (základnou) vpřed (asi po 30 cm) pokračuje ve svém pohybu s malými nebo žádnými vybočeními.

Nekomplikované poranění stehna bude zřejmě vykazovat malé poškození měkké tkáně. Poranění břicha při dostatečně dlouhé dráze pronikání, aby střela mohla vybočit, bude vytvářet velkou dočasnou dutinu (je pozorována v hloubce 20–35 cm) a může mít velmi ničivý charakter. Bude-li dráha střely v tkáních taková, že se dočasná dutina bude nacházet např. v játrech, rozsah poškození tkání činí možnost přežití nepravděpodobnou.

### Závěr

- Provedený balistický experiment simulující ranivé účinky malorážových střel na živou tkáň realizovaný metodou **nepřímé identifikace na fyzikálním modelu** měkké biologické tkáně (bloky PP 75/25-IV) potvrdil schopnost použitého modelu kvantifikovat odezvy na chování střely při jejím průniku.

- Ačkoli experiment prokázal výrazný vliv vnějšího tvaru střely i jejího vnitřního uspořádání na dosaženou úroveň účinků v cíli, tvoří její **hmotnost a dopadová rychlost** na povrch tkáně rozhodující složky **ranivého potenciálu střely**. Tvar střely, její konstrukce a druh zbraně, z níž byla vystřelena, určují, kolik z tohoto potenciálu je ve skutečnosti využito k ničení tkání, a představují hlavní konstrukční charakteristiky determinující **ranivý účinek** střely.

- Experimentálně získané **grafické profily** střelných kanálů (obr. 7) spolu s jejími rozměrovými charakteristikami (tab. 3) slouží ke vzájemnému porovnání chování střel při jejich průniku náhradní tkání, posouzení využití jejich ranivého potenciálu

a predikci ranivých účinků na měkkou biologickou tkáň.

Pro případný návrh **objektivního kritéria ranivosti (OKR)** k ranivě balistickému hodnocení malorážových střel jsou z experimentálně získaných střelných kanálů využitelné tyto rozměrové charakteristiky:

- o dosažený celkový objem dutiny střelného kanálu v bloku NM  $W_{SK}$ ,
- o celková hloubka vniku střely  $s_K$  a
- o délka přímého úseku dráhy průniku (narrow channel)  $L_{PÚ}$ .

Uvedené veličiny dostatečně přesně vyjadřují způsob využití kinetické energie dopadající střely  $E_d$  (J) k ničení měkkých tkání při dané úrovni stability pronikající střely.

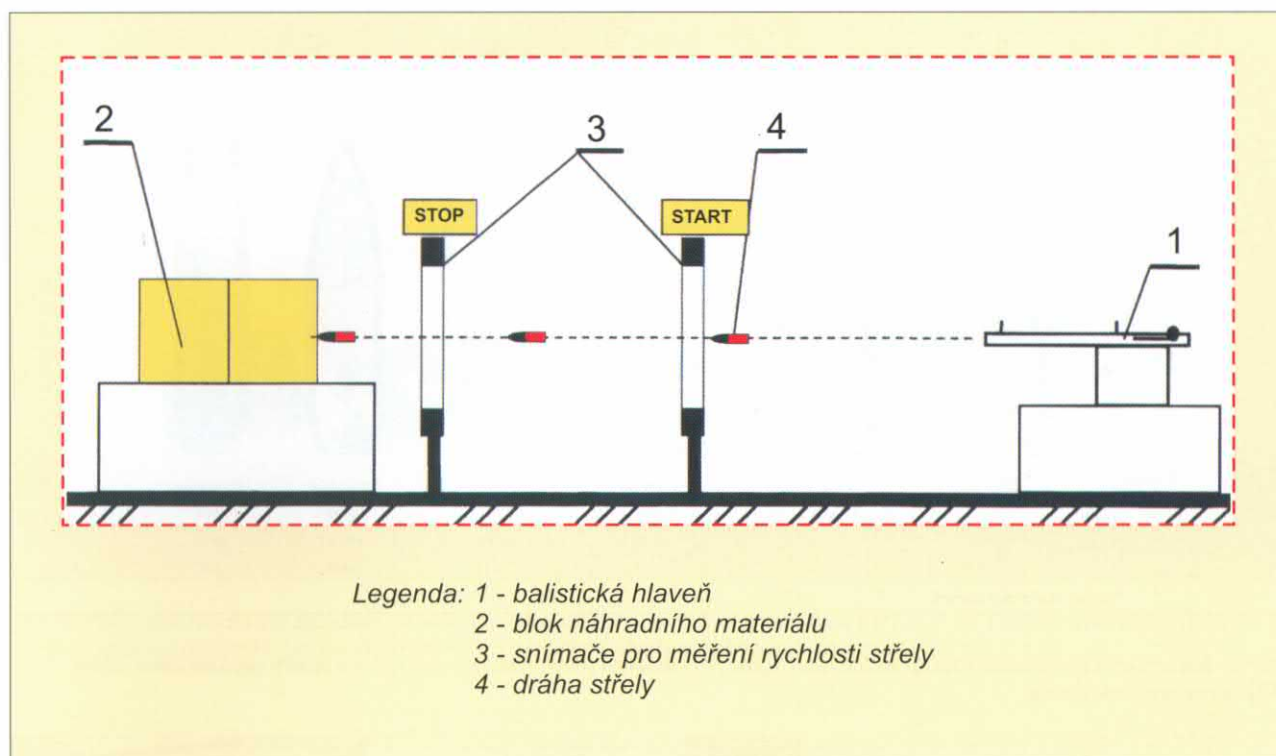
- Za zajímavé lze považovat zjištění, že všechny hodnocené puškové střely se během svého pohybu náhradním materiálem převracely a svůj pohyb ukončily v **obrácené poloze** (dnem vpřed) vzhledem ke svému pohybu v první fázi pronikání (viz obr. 5).

### Literatura

1. SELLIER, K. - KNEUBUEHL, B. *Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen*. Springer-Verlag, Berlin, 2000.
2. KUNEŠ, J. - VAVROCH, O. - FRANTA, V. *Základy modelování*. Praha, SNTL, 1989.
3. SOUKUP, J. *Identifikace soustav*. Praha, SNTL, 1990.
4. PLÍHAL, B. - JUŘÍČEK, L. *Modelování náhradního materiálu živé tkáně pro zkoušky ranivé balistiky*. Slavičín, VTÚ VM, 1999.
5. PLÍHAL, B. *Metody vyšetřování reologických charakteristik TPH. Hodnocení tokových charakteristik plastických materiálů - vytlačovací plastometr*. (Habilitační práce). Brno, VA, 1991.
6. JUŘÍČEK, L. *Simulace a hodnocení účinků malorážových střel na živou sílu*. (Doktorská disertační práce). Brno, VA, 2000.
7. JURKÁČEK, B. *Návrh metodiky zjišťování a vyhodnocování účinků malorážových střel na živou sílu*. Brno, VVÚ ZVS, 1984.
8. COUPLAND, RM. *The Red Cross wound classification*. Geneva, ICRC, 1997.
9. HIRT, M. *Střelná poranění v soudním lékařství*. Brno, MU, 1996.
10. ČSN 657150. *Petrolát*. Praha, 1955.
11. ČSN 657101. *Parafíny*. Praha, 1960.

Korespondence: Ing. Ludvík Juříček, Ph.D.  
Vojenská akademie  
Kounicova 65  
612 00 Brno  
e-mail: Ludvik.Juricek@vabo.cz

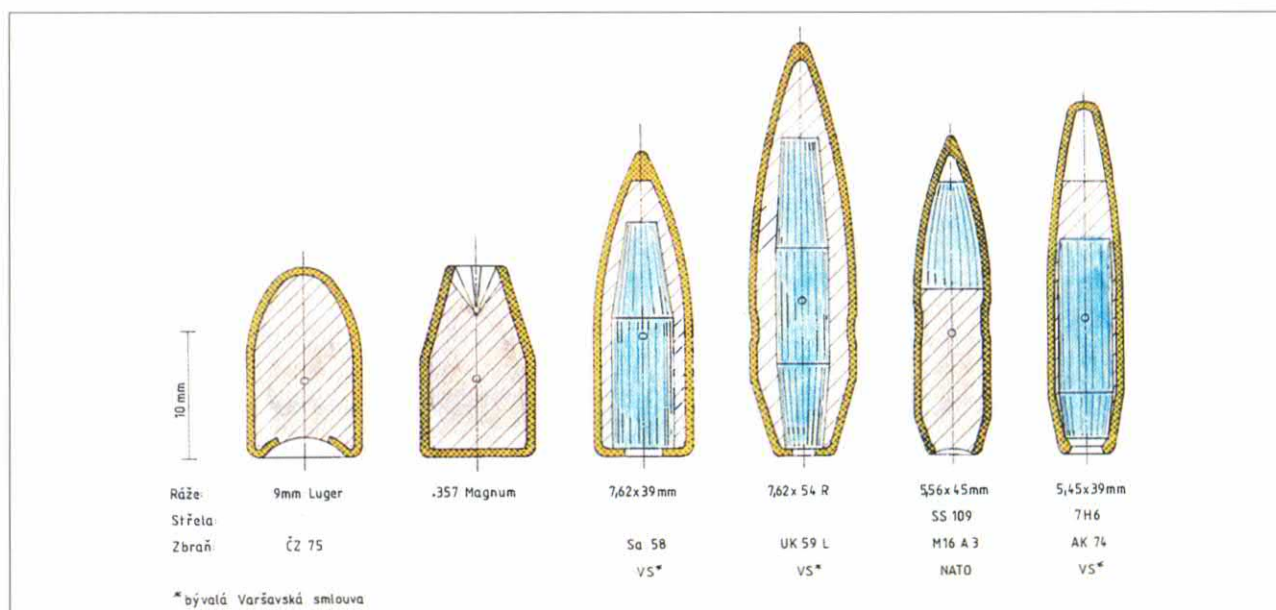
Do redakce došlo 5. 2. 2002



Obr. 1: Schéma měřicího stanoviště.



Obr. 2: Sestava kulových nábojů podrobených experimentálnímu zkoumání jejich ranivého účinku. Zleva: 9mm Luger; 357 Magnum (Eldorado); 5,45x39; 5,45x39 cv; 5,56x45; 7,62x39 a 7,62x54 R.



Obr. 3: Konstruktivní uspořádání střel (podélné řezy). Žlutě je znázorněn plášť, šedě olověné jádro a modře ocelové jádro střely. Bílá barva označuje dutinu.



Obr. 4: Podélný řez blokem PP 75/25-IV (A2) v místě střelného kanálu od střely ráže 9 mm Luger ( $m_q = 8,02$  g;  $v_d = 359$  m/s).



Obr. 5: Podélný řez blokem PP 75/25-IV (C2) v místě střelného kanálu od střely ráže 7,62x39 ( $m_q = 7,91$  g;  $v_d = 770$  m/s). Je vidět výrazné vybočení osy kanálu od horizontálního směru.



Obr. 6: Porovnání tvaru střel zkoumaných nábojů před výstřelem a po vniknutí do bloku PP 75/25-IV. Vpravo stav před výstřelem střely ze zkušební balistické hlavně, vlevo stav střely po průniku blokem náhradní tkáně.