

Postřelování balistické želatiny a metoda radiálních trhlin

Anotace: Článek pojednává o použití želatiny v balistickém experimentu a řeší některé problémy spojené s hodnocením výsledků tohoto experimentu. Článek představuje metodu hodnocení účinků malorážové střely na želatinový blok, zastupující biologickou tkáň, kterou původně vyvinul pro potřeby vojenského lékařského výzkumu J. Knappworst (Dynamit Nobel AG, 1976).¹ V souvislosti s použitím této nepřímé metody hodnocení článek dále objasňuje pojem „Profil zranění“ (M. L. Fackler a J. A. Malinowski, 1985), který lze považovat za určité rozšíření experimentálních metod využívajících želatinu jako simulační prostředek. „Tento příspěvek vznikl v rámci následného výzkumu udržitelnosti pro projekt operačního programu Výzkum a vývoj: Centrum excelentnosti bezpečnostního výzkumu kód ITMS: 26240120034, spolufinancovaný ze zdrojů Evropského fondu regionálního rozvoje“.

Klíčová slova: balistická želatina, malorážová střela, želatinový blok, biologická tkáň, profil zranění, simulační prostředek.

Úvod

Lidské tělo představuje z hlediska ranivé balistiky značně nehomogenní cíl. Je tvořeno prostředím o různých hustotách² a s odlišnými fyzikálními a biologickými charakteristikami. Tato prostředí, která jsou ostře ohraničena, je možné geometricky jen ztěžít exaktně definovat. Proto vytvoření fyzikálního modelu, který by plně vyhovoval vlastnostem a parametrům lidského těla, je téměř nemožné. Tyto skutečnosti velmi ztěžují predikci chování střely v lidském těle a tím i závažnosti střelného poranění. Průměrná hustota lidských tkání je přibližně 900 krát větší než hustota vzduchu. Tím jsou dány velmi dobré předpoklady pro rozvinutí terminálně-balistických jevů, ovlivňujících ranivost střel. Na konstrukci dané zbraně a střeliva pak závisí, zda bude ranivý potenciál využit, či nikoliv.

Náhradní materiály biologických tkání, používané v balistickém experimentu, musí vykazovat téměř stejnou hustotu jako má tělesná tkáň ($\rho = 1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), ale také elasticitu, schopnost pohlcení energie střely a odpor proti jejímu pronikání. Proto z těchto důvodů se v počátcích rozvoje ranivé balistiky používaly k experimentálnímu postřelování především *biologické tkáně*. Nositeli těchto tkání byla zvířata a jejich orgány, lidské mrtvoly a v posledních letech byly ve světě k těmto účelům použity i buněčné kultury. Ačkoliv se dnes z ekonomických, ale hlavně etických důvodů orientujeme na použití *náhradních materiálů* biologických tkání, v opodstatněných případech je použití reálných tkání v balistickém experimentu nezastupitelné.

Problém stanovení ranivosti (ranivého potenciálu) střely se jeví základním problémem pro kvantifikovaný popis základních vlastností střely z pohledu balistiky zranění. Jako míra pro účinek střely byla některými autory zvolena *kinetická energie střely* (E_K) nebo jiná vhodně zvolená fyzikální veličina, vycházející z balistických vlastností dopadající střely. Názory autorů na to, kterou fyzikální veličinu zvolit jako objektivní kritérium ranivosti střely, a tedy i odolnosti živé síly, se však různí. Tito autoři srovnávají odolnost nechráněné živé síly s odolností tuhé překážky z náhradního materiálu určité tloušťky³. Uvedená kritéria, vycházející z použití pevných náhradních materiálů, mají spíše orientační charakter. Jejich

¹ KNAPPWORST, J. *Untersuchung der Geschosswirkung durch quantitative Energieabgabemessungen im Zielmedium Gelatine*. In Munition, Hsg. Bundeskriminalamt, Wiesbaden, 1976.

² Průměrná hustota tkání lidského těla je $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, hustota krve je $1054 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, kosti (zuby) mají hustotu $1650 (2400) \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

³ Za ekvivalentní překážku bylo dřív považováno např. měkké jedlové bezsukové nebo smrkové dřevo tloušťky 1“ (25,4 mm), ocelový plech tloušťky 1,5 mm nebo duralový plech tloušťky 5 mm, což bylo z hlediska potřeb studia balistiky zranění značným zjednodušením.

výsledky jsou jen těžko transformovatelné na předpokládaný účinek střely v biologických tkáních, a proto slouží k pouhému srovnání účinků zkoumaných střel určité konstrukce a balistických parametrů.

Z důvodů dalšího přiblížení ranivě balistické simulace k podmínkám pronikání střely do biologických tkání bylo nutné přejít od postřelování *tuhých náhradních materiálů* (jedlové dřevo, ocelový nebo duralový plech určité tloušťky) ke střelbě na *plastická média*, která se svými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi více blíží vlastnostem měkké biologické tkáně. Bylo ale nutné nalézt takové materiály, kterých hustota, stlačitelnost, elasticita a viskozita zajistí podobné dynamické chování střel při jejich pronikání jako svalová tkáň. Nespornou výhodou plastických médií je jejich homogenita mechanických a fyzikálních vlastností v celém objemu experimentálně postřelovaného bloku. Tato homogenita plastického média je důležitá pro kvantitativní popis účinků zkoumaných střel.

Nositeli takových vlastností se staly⁴:

- 10 % a 20 % želatinový roztok (označení Ž-10 a Ž-20),
- glycerinové mýdlo (označení GM) nebo
- směs petrolátu a parafinu (PP 75/25).

Z důvodů zaměření a omezeného rozsahu příspěvku se dále omezíme pouze na použití *balistické želatiny* jako substituce měkké biologické tkáně v balistickém experimentu a jejího chování v závislosti na konstrukci posuzované střely a použitém balistickém systému.

1. Balistická želatina jako substituce měkkých biologických tkání

Želatina je protein ireverzibilní (nevratné) povahy. Vyrábí se z kůže, kostí nebo šlach hospodářských zvířat. Firmy, zabývající se výrobou želatiny, své receptury přísně tají. Je-li želatina podrobena zatížení, odvodňuje se. Pevnost želatinového gelu závisí na jeho koncentraci a také teplotě.

K experimentálnímu postřelování se z připravené želatiny odlévají bloky o rozměrech 15 x 15 x 15 cm (Dynamit Nobel AG), 15 x 15 x 35 cm (W. Weigel) nebo 25 x 25 x 50 cm (J. Knappworst, M. L. Fackler). Teploty, na které jsou želatinové bloky temperovány, jsou 4 °C (M. L. Fackler), 10 °C (NATO) nebo 15 °C (Dynamit Nobel AG). Pro zabezpečení homogenního rozložení teploty želatinového bloku v celém jeho průřezu je nutná temperace bloků před střelbou po dobu minimálně 12 hodin. Používané koncentrace želatiny odpovídají 10 % a 20 % roztokům podle účelu a zaměření balistického experimentu. 20 % koncentrace želatiny svými vlastnostmi nejvíce odpovídá *svalové tkáni*, 10 % želatinový roztok se blíží parametrům *parenchymatózních tkání* (ledviny, játra nebo plíce) a *mozkovou tkáň*, pro její vlastnosti, můžeme balisticky považovat za vodu.⁵

Při použití želatiny k experimentálním účelům se musí počítat s jejím biologickým rozpadem a se změnou fyzikálních a mechanických vlastností. Proto příprava želatiny probíhá bezprostředně před jejím upotřebením a z důvodu rychlé tvorby plísní (několika málo dní) je archivace výsledků experimentu velmi problematická. Především velmi vysoká teplotní závislost želatiny a její biologická nestabilita tvoří hlavní nevýhody tohoto náhradního

⁴ Vedle těchto médií se k přímému postřelování používaly také *hlína* a *plastelína*. Z důvodu značné závislosti vlastností hlíny na obsahu vody teplotní závislosti plastelíny a obtížné reprodukovatelnosti a archivace výsledků se tyto materiály dnes k přímému postřelování používají zcela výjimečně.

⁵ JURÍČEK, L. *Simulace a hodnocení účinků malorážových střel na živou sílu*. Doktorská disertační práce, VA Brno, 2000, 132 s.

materiálu. V tab. 1 jsou uvedeny některé základní fyzikální a mechanické charakteristiky želatiny různé koncentrace a teploty a pro porovnání tabulka také uvádí parametry některých dalších plastických médií spolu se základními stavebními složkami živé tkáně (voda a vzduch).

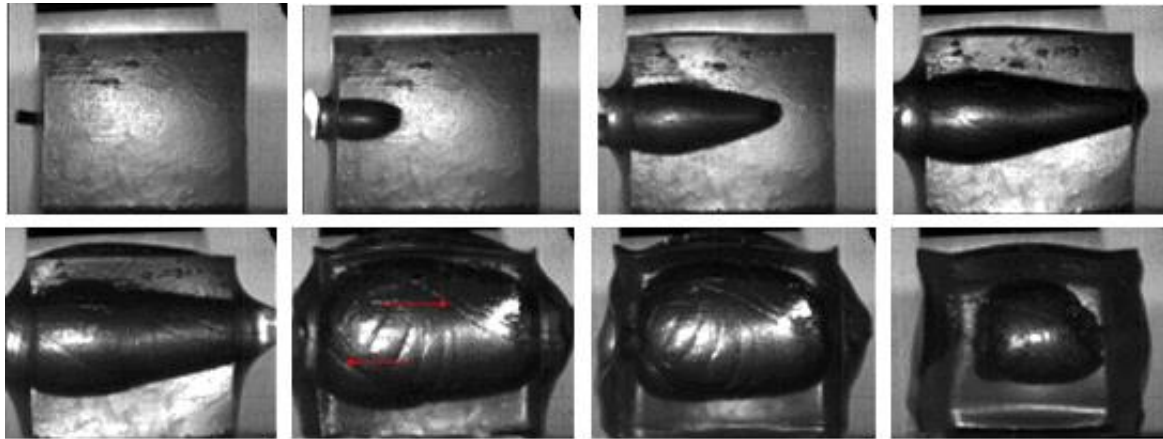
Tabulka 1 Fyzikální a mechanické charakteristiky substitucí biologické tkáně. Hustota (ρ); stlačitelnost (κ); dynamická (η) a kinematická (ν) viskozita; rychlost zvuku (c). Zdroj: Sellier, K., Kneubühl, B. P.

Látka	t	ρ	κ	η	ν	c
	°C	[kg m ⁻³]	[1 Pa ⁻¹]	[Pa s]	[m ² s ⁻¹]	[m s ⁻¹]
Voda	20	998	4,6.10 ⁻¹⁰	1,0.10 ⁻³	1,00.10 ⁻⁶	1483
	0	1000	5,1.10 ⁻¹⁰	1,8	1,79.10 ⁻³	1403
Glycerin	20	1260	2,2.10 ⁻¹⁰	1,48	1,17.10 ⁻³	1923
	0	-	1,2.10 ⁻⁹	-	-	-
Ethanol	20	789	9,3.10 ⁻¹⁰	1,20.10 ⁻³	1,52.10 ⁻⁶	1170
	0	806	10,2.10 ⁻¹⁰	-	-	1100
Glycerinové mýdlo (GM)	20	1080	3,4.10 ⁻¹⁰	≈ 5,0.10 ^{-3 a)}	≈ 5,0.10 ⁻⁶	1660
Želatina 10 % (Ž10)	20	1030	4,2.10 ⁻¹⁰	≈ 40,0 a)	≈ 0,04	1520
	4	-	-	-	-	1486
Želatina 20 % (Ž20)	20	1060	3,8.10 ⁻¹⁰	≈ 1,0.10 ^{-2 a)}	≈ 0,1	1567
	0	-	-	-	-	1541
PP 75/25	20	910-940 ^{b)}	-	≈ 10,4.10 ⁻³	-	-
Plastelína (PL)	25	1710 ^{b)}	-	≈ 13,9.10 ⁻³	-	-
Vzduch	0	1,23	7,4.10 ⁻⁶	1,72.10 ⁻⁵	1,33.10 ⁻⁵	331

Poznámky:

- a) Hodnota látek zjištěná při teplotě 30 °C. Měření pod touto teplotou není možné, neboť **dynamická viskozita** η s klesající teplotou silně vzrůstá.
- b) Hodnota stanovená experimentálně v laboratoři Vojenské akademie v Brně (dnešní Univerzity obrany).

Pro zachycení chování střely (tvorba dočasné dutiny, deformace střely nebo její rozpad na střepiny) uvnitř želatinového bloku je použití *transparentní balistické želatiny* velmi výhodné. Takový experimentální přístup ovšem vyžaduje použití některé z optických metod snímání dynamických dějů (rychloměrná kamera). Na obr. 1 jsou znázorněny snímky postupné tvorby dočasné dutiny v želatinovém bloku o rozměrech 15 x 15 x 15 cm, které byly pořízeny rychloběžnou kamerou Olympus metodou *I-SPEED*. Použitá frekvence snímání byla 20 000 snímků.s⁻¹.



Obrázek 1 Pronik želatinového bloku střelou náboje ráže 40 S & W Federal EFMJ. Série vybraných záběrů ze spojitého záznamu rychloběžné kamery Olympus. Zdroj: autoři.

2. Metoda radiálních trhlin

Pro kvantitativní hodnocení účinků střely v želatině vyvinul J. Knappworst (Dynamit Nobel AG) metodu radiálních trhlin, původně určenou pro potřeby vojenského lékařského výzkumu. Tvar (geometrické uspořádání) a velikost (objem) dočasné dutiny v želatinovém bloku je představován systémem radiálních trhlin (kanálků) v okolí jádra střelného kanálu, vzniklých přenosem kinetické energie střely na pronikané prostředí. Takto vzniklé radiální trhliny svou délkou a hustotou odpovídají okamžitému množství předané kinetické energie střely v daném místě střelného kanálu. Hodnoty předané kinetické energie $E_{PŘ}$ vybraných druhů pistolových a revolverových střel do želatiny uvádí tab. 2.⁶

Tabulka 2 Předaná kinetická energie do balistické želatiny vybraných pistolových a revolverových střel (V. J. M. Di Maio a J. Knappworst – 1976; délka střelby 15 m). Zdroj: Sellier, K., Kneubühl, B. P.

Ráže	Firma ^{a)}	Střela ^{b)}	m_q	v_d	E_d	$E_{PŘ}$	$E_{PŘ}/E_d$
			[g]	[m s ⁻¹]	[J]	[J]	[%]
38 spec.	Remington	RN	13,0	202	260	78	30
38 Auto	Remington	FMJ	8,4	315	410	137	33
38 spec.	Norma	SP/HP	7,1	407	588	531	92
38 spec.	Remington	SP/HP	8,1	288	329	324	99
9mm Para	DNAG	Cu/RN/PISP ^{c)}	5,6	418	489	482	99
9mm Para	DNAG	Cu/RN/PISP ^{d)}	5,65	380	408	300	75
9mm Para	DNAG	Ms/RN/PISP ^{e)}	5,9	380	420	280	67
357 Mag.	Remington	SWC	10,2	363	662	226	34
357 Mag.	S & W	SP/HP	8,1	351	491	380	77
357 Mag.	DNAG	Cu/RN/PISP ^{d)}	7,5	395	579	520	90

⁶ SELLIER, K., KNEUBÜHL, B. P. *Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen*. 2. völlig überarbeitete und ergänzte Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.

357 Mag.	SFM	Ms/P	2,8	643	568	550	97
357 Mag.	Western	SP/HP	7,1	391	534	533	100
44 Mag.	Remington	SP/RN	15,6	381	1 110	739	67
44 Mag.	Remington	SWC	15,6	385	1 130	862	76
44 Mag.	Remington	SP/HP	15,6	372	1 057	974	82
45 Auto	Remington	FMJ	14,9	248	447	159	35
45 Auto	Remington	SP/HP	12,0	279	460	369	80

Poznámky:

a) Označení firem:

S &W: Smith & Wesson
 DNAG: Dynamit Nobel AG
 SFM: Société francaise de munitions

b) Označení střel:

RN: ogivální tvar se zakulacenou (oblou) přední částí
 FMJ: celoplášťová
 P: s ostrou špičkou
 SWC: semiwadcutter (poloprosekávací)
 MsSP: plně mosazná, zašpičatělá
 SP: poloplášťová
 HP: expanzivní (s dutinou)
 Cu/Ms: celoměděná/celomosazná
 PISP: s měkkou plastovou špičkou

c) Obvyklé označení: ACTION 1

d) Obvyklé označení: ACTION 2

e) Obvyklé označení: ACTION 3

Metoda radiálních trhlin je *metodou nepřímou*, kdy reálný objekt je v balistickém experimentu zastoupen homogenním fyzikálním modelem, a spočívá ve stanovení součtu délek trhlin v přesně určených úsecích střelného kanálu. Jako výsledek je získán diagram závislosti součtu délek trhlin $\sum r_i$ na hloubce vniknutí střely s do želatinového bloku (obr. 2). *J. Knappworst* svými experimenty prokázal, že délky trhlin v želatinovém bloku jsou v kvantitativním vztahu k balistickým parametrům pronikající střely a závisí na množství předané kinetické energie na cm bloku. Autor tuto energii označoval jako $E_{ab/s}$ [$\text{J}\cdot\text{cm}^{-1}$]. V textu předloženého příspěvku bylo autory toto označení nahrazeno výrazem E'_{PR} .

J. Knappworst prokázal, že při pečlivém stanovení podmínek postřelování to vede ke vztahu

$$\sum r_i = c \cdot (E'_{PR})_i, \quad [\text{cm}] \quad (1)$$

kde $\sum r_i$ je suma všech délek trhlin i -tého řezu daného bloku a c [$\text{cm}^2\cdot\text{J}^{-1}$] je konstanta charakterizující mechanické vlastnosti a balistické chování postřelované želatiny.

Vyhodnocení balistického experimentu touto poměrně zdlouhavou metodou vyžaduje bezprostředně po střelbě rozřezání želatinového bloku, který je prostoupen radiálními trhlinami, na dostatečně tenké segmenty (2,5 až 5 cm) a následné měření a sumarizace délek trhlin na plochách řezu. Celková délka všech trhlin (tedy nejen v jednom řezu) se získá výpočtem plochy pod lomenou křivkou (obr. 2). S ohledem na rovnici (1) platí:

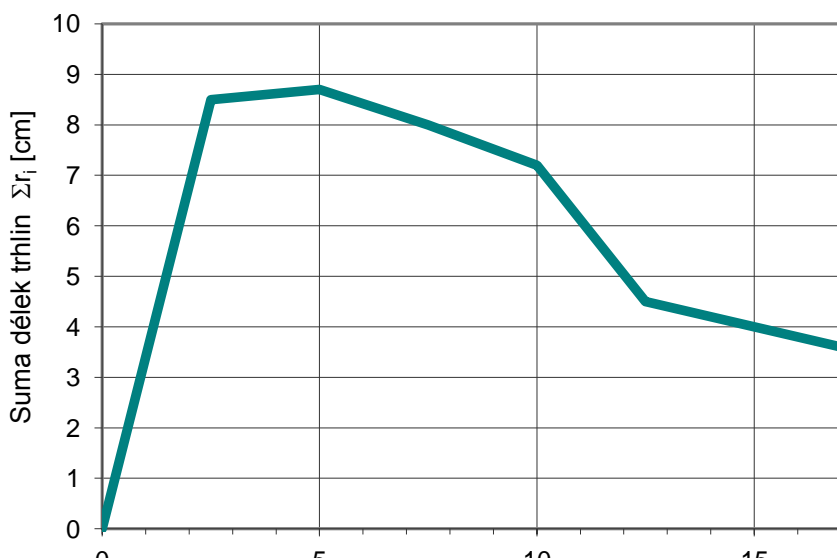
$$\sum_{i=1}^s r_i \cdot \Delta s = c \cdot \sum_{i=1}^s E'_{PR} \cdot \Delta s \quad (2)$$

kde Δs je zvolená tloušťka disku hodnoceného želatinového bloku.⁷

Levá strana této rovnice vyjadřuje plochu pod křivkou, zatímco pravá strana (bez konstanty c) znamená celkovou předanou kinetickou energii E_{PR} [J] střely želatinovému bloku. Můžeme tedy psát:

$$E_{PR} = \sum_0^s E'_{PR} \cdot \Delta s. \quad [J] \quad (3)$$

E_{PR} lze snadno charakterizovat jako rozdíl mezi dopadovou E_d a výletovou E_v kinetickou energií nebo prostřednictvím *dopadové* v_d a *výletové* v_v rychlosti posuzované střely. Zde oba údaje (součet délek všech trhlin a celková předaná kinetická energie střely) jsou známe, proto může být konstanta c snadno vypočtena⁸.



Obrázek 2 Diagram závislosti součtu délek trhlin $\sum r_i$ na hloubce vniku střely „s“ do bloku želatiny. Zdroj: Sellier, K., Kneubühl, B. P. (Upraveno autory).

⁷ SELLIER, K., KNEUBÜHL, B. P. *Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen*. 2. völlig überarbeitete und ergänzte Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.

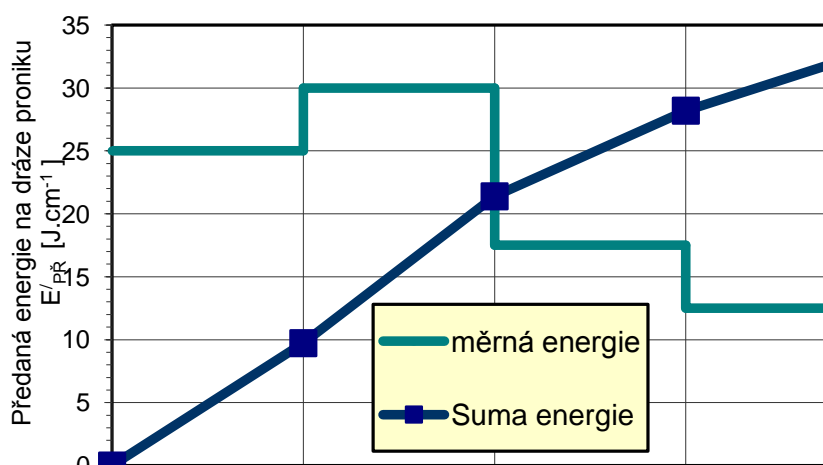
⁸ Konstanta c je konstantou pouze pro určitý konkrétní postřelovaný blok želatiny, pro který musí být vždy stanovena. Se změnou koncentrace, struktury nebo teploty temperance želatinového bloku se mění také údaj této konstanty. Pouze dodržением všech důležitých parametrů vyrobeného bloku želatiny můžeme považovat hodnotu c za konstantní a naměřené hodnoty pak plně *reprodukovatelné*.

Po výpočtu hodnoty konstanty c pomocí rovnice (2) platí:

$$\left(E'_{P\dot{R}}\right)_i = \frac{1}{c} \cdot \sum r_i \quad [\text{J}\cdot\text{cm}^{-1}] \quad (4)$$

S pomocí rovnice (4) může být souřadnice „y“ (svislá stupnice) cejchovaná v cm ($= \sum r_i$) na obr. 2 přetransformována na výraz $E'_{P\dot{R}}$ [$\text{J}\cdot\text{cm}^{-1}$] na obr. 3.

V tomto diagramu není vynesena pouze $E'_{P\dot{R}}$ (levá stupnice), ale je zde také vynesena celková kinetická energie střely $E_{P\dot{R}} = \sum_0^s E'_{P\dot{R}} \cdot \Delta s$ (pravá stupnice) předaná želatinovému bloku. Tak činí $E'_{P\dot{R}}$ na dráze proniku 0 až 5 cm $24,5 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-1}$ (lomená křivka – světle modrá) a tím celková energie $E_{P\dot{R}} = 24,5 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-1} \cdot 5 \text{ cm} = 122,5 \text{ J}$. Střela při svém proniku želatinovým blokem na prvních 5 cm tedy předá pronikanému prostředí kinetickou energii $E_{P\dot{R}} = 122,5 \text{ J}$. Tato hodnota předané kinetické energie střely bloku na prvním úseku $s = 5 \text{ cm}$ je vynesena v diagramu na obr. 3 (součtová křivka – tmavě modrá). Zbývající průběhy obou křivek a jejich konstrukce se provádí postupně, ale samostatně pro další stejně dlouhé úseky hloubky proniku střely.

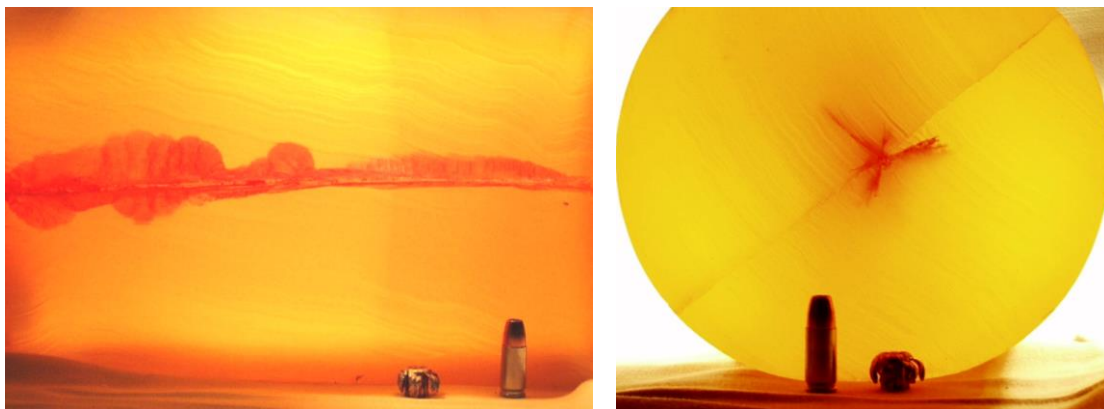


Obrázek 3 Předaná energie ($E_{P\dot{R}}$) a předaná energie za dráhu ($E'_{P\dot{R}}$) želatině jako funkce uraženého úseku dráhy střely „s“ v želatinovém bloku. Zdroj: Sellier, K., Kneubühl, B. P. (Upraveno autory).

3. Profil zranění podle M. L. Facklera a J. A. Malinowskeho, 1985

S analýzou terminálně-balistických jevů v živé tkáni velmi úzce souvisí pojem *profil zranění* (M. L. Fackler a J. A. Malinowski), popisující maximální porušení živé tkáně, které může být od střely dané konstrukce očekáváno. Ve zjednodušeném pojetí je tento profil tvořen střelným kanálem, jehož jádrem je *trvalá (permanentní) dutina* (kaverna). Její velikost je určena množstvím ztracených (lacerovaných) tkání, které ztratily spojitost s organismem nebo zasaženým orgánem. Trvalou dutinu je třeba odlišovat od *dutiny dočasné*, která vzniká

při průchodu střely tkáněmi v důsledku jejich radiální pružné deformace tak, jak tomu je i ve skutečné tkáni. V želatinovém bloku (viz obr. 4) jsou obě dutiny jasně zřejmé.⁹



Obrázek 4 Tvar dočasné dutiny definované systémem radiálních trhlin po proniku želatinového bloku střelou Gold Dot pistolového náboje ráže 9 mm Luger. (Vlevo – podélný řez blokem v místě střelného kanálu, vpravo – pohled na čelo příčného řezu s hvězdicovitě uspořádanými radiálními trhlinami). Zdroj: autoři.

Z důvodu transparentnosti želatiny je pro další vyhodnocení výhodné použít kontrastní látku k barevnému zvýraznění dočasné dutiny při balistickém experimentu.¹⁰ Takto vytvořené profily zranění poskytují mnoho cenných informací k vzájemnému porovnání účinků zkoumaných střel.

Takto získaný profil poranění (podle M. L. Facklera a J. Malinowskeho) může být použit jako jisté rozšíření experimentálních metod využívajících balistickou želatinu jako měřicí prostředek pro hodnocení účinků střel malých ráží na živou tkáň. Při tvorbě tohoto profilu autoři sledovali čtyři složky účinku malorážové střely na želatinový blok zastupující v experimentu živou tkáň:

- hloubku vniku střely do zkušebního bloku,
- velikost (objem) dočasné dutiny,
- velikost trvalé dutiny a
- přítomnost fragmentů (dojde-li k rozpadu těla střely).

Profil zranění je grafickým popisem účinku střely v bloku balistické želatiny,¹¹ kdy velikost dočasné dutiny se dá poměrně přesně vyčíst z průběhu vytvořených radiálních trhlin na ploše podélného řezu želatinového bloku (viz obr. 4) a z nich odvodit a také zkonstruovat názorný obraz profilu celkového ranivého účinku střely a jeho grafické vyjádření, které autoři nazvali „PROFIL ZRANĚNÍ“.¹² Podle potřeby je možné sestavovat želatinové bloky do tandemů, pro spolehlivé zachycení celkového střelného kanálu od střel nábojů vyššího

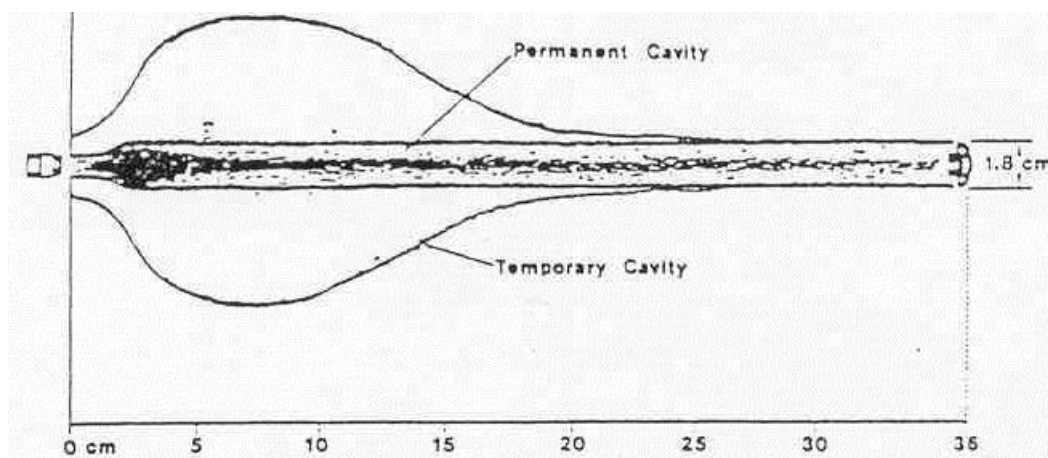
⁹ JUŘÍČEK, L. *Použití fyzikálních modelů biologických systémů člověka v balistickém experimentu pro hodnocení ranivých účinků malorážových střel*. [Habilitationní práce]. Brno: Vojenská akademie v Brně, 2003, s. 19 – 27.

¹⁰ Pro barevné zvýraznění tvaru a velikosti dočasné dutiny prezentované v bloku balistické želatiny systémem radiálních trhlin, byl na čelní plochu zkušebního bloku v místě vstřelu umístěn polyetylenový váček s červenou kontrastní látkou (razítková barva nebo potravinářské barvivo). Barva musí svou hustotou zajišťovat dostatečnou vzlinavost, aby při pulsaci dočasné dutiny tuto spolehlivě vyplnila v celé délce střelného kanálu.

¹¹ Autoři použili 20 % želatinu v blocích o rozměrech 15 x 15 x 30 cm. Před postřelováním byly bloky temperovány na teplotu 15 °C.

¹² FACKLER, M. L., MALINOWSKI, J. A. *The Wound Profile. A Visual Method for Quantifying Gunshot Wound Components*. J. Trauma 25, 522 – 529, 1985.

balistického výkonu. Vyhodnocení experimentu může být doplněno rentgenovým snímkem k odhalení fragmentů z těla rozpadlé malorážové střely v okolí jádra střelného kanálu nebo snímky z rychloběžné kamery, zachycující tvar a velikost dočasné dutiny (viz obr. 1). Pro další práci je vhodné tento *grafický profil* doplnit milimetrovým měřítkem (obr. 5).



Obrázek 5 Profil zranění typický pro střelu revolverového náboje 357 Magnum JSP s vyznačením dočasné (Temporary Cavity) a trvalé (Permanent Cavity) dutiny ($m_q = 8,1$ g; $v_0 = 425$ m s⁻¹). Zdroj: Sellier, K., Kneubühl, B. P.

Závěr

Dlouhá praxe především zahraničních pracovišť potvrdila, že želatina je vedle transparentního glycerinového mýdla substitucí živých tkání, která se velmi dobře hodí ke studiu ranivě balistických jevů. Výroba *želatinových bloků* je poměrně jednoduchá, ale podléhá působení bakterií (tvorba plísní), proto je její experimentální použití časově omezené.

Metoda radiálních trhlin určená ke kvantifikovanému hodnocení účinků malorážových střel je *metodou nepřímou* a používá se v případě experimentálních metod využívajících želatinu jako simulační prostředek. Na rozdíl od ostatních plastických náhradních materiálů (glycerinové mýdlo, plastelína, PP 75/25), které lze hodnotit *přímo* vylitím střelného kanálu (dočasné dutiny) vodou, vykazuje želatina určitý stupeň elasticity, což způsobuje výrazné rozdíly v jejím chování při tvorbě dočasné dutiny. Po ukončení pulsací dočasné dutiny dochází k jejímu uzavření (zborcení) a její velikost (objem) je tak představována hustotou a celkovou délkou radiálních trhlin rozmístěním v okolí jádra střelného kanálu a prezentuje tak množství zasažených tkání.

Grafické profily střelných kanálů (dočasné dutiny), získané postřelováním bloků želatiny, doplněné milimetrovým měřítkem, umožňují vzájemné porovnání hloubek vniknutí střely, tvaru a velikosti střelného kanálu u střel různé konstrukce a balistických parametrů. Takto získané profily střelných kanálů dávají určitou představu o tom, jaké střelné poranění může být očekáváno od daného balistického systému. Rovněž stopy po fragmentaci těla střely, případně jeho deformace, spolu s množstvím porušené tkáně mohou být vhodným doplněním metody radiálních trhlin při hodnocení účinků zkoumaných střel.

Literatura

- FACKLER, M. L., MALINOWSKI, J. A. *The Wound Profile. A Visual Method for Quantifying Gunshot Wound Components*. J. Trauma 25, 522 – 529, 1985.
- JUŘÍČEK, L. *Simulace a hodnocení účinků malorážových střel na živou sílu*. Doktorská disertační práce, VA Brno, 2000, 132 s.
- JUŘÍČEK, L. *Použití fyzikálních modelů biologických systémů člověka v balistickém experimentu pro hodnocení ranivých účinků malorážových střel*. [Habilitační práce]. Brno: Vojenská akademie v Brně, 2003, s. 19 – 27.
- JUŘÍČEK, L. *Ranivý potenciál malorážových střel a jeho hodnocení*. Ostrava: KEY Publishing, s.r.o., Nádražní 733/176, 702 00 Ostrava – Přívoz. Tisk: NOVAPRESS, s.r.o., nám. Republiky 15, 614 00 Brno, 2015, 158 s. ISBN 978-80-7418-222-8.
- KLEIN, L., FERKO, A., a kol. *Principy válečné chirurgie*. 1. vydání. Praha: GRADA Publishing, a.s., 2005. 140 s. ISBN 80-247-0735-7.
- KNAPPWORST, J. *Untersuchung der Geschosswirkung durch quantitative Energieabgabemessungen im Zielmedium Gelatine*. In Muniton, Hsg. Bundeskriminalamt, Wiesbaden, 1976.
- SELLIER, K., KNEUBÜHL, B. P. *Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen*. 2. völlig überarbeitete und ergänzte Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.

Keywords: ballistic gelatine, small-calibre projectile, gelatine block, biological tissue, wound profile, simulation means

Summary

The paper deals with the usage of gelatine in the ballistic experiment and solves some problems related to the evaluation of the results of the experiment. It presents a method for evaluating the effects of the small-calibre projectile on a gelatine block representing biological tissue, which was originally developed for the purposes of military medical research by J Knappworst (Dynamit Nobel AG, 1976). In connection with the employment of that indirect evaluation method, the paper also explains the term ‘wound profile’ (M L Fackler and J A Malinowski, 1985). It can be considered a certain extension of experimental methods in which gelatine is used as a simulation means. The paper has been produced as a result of the implementation of the project of the operational programme Research and Development: Centre of Excellence for Security Research, ITMS code: 26240120034, supported by the European Regional Development Fund.

*Doc. Ing. Ludvík Juříček, Ph.D.
Katedra bezpečnosti a práva
Vysoká škola regionálního rozvoje, s.r.o.
Praha
e-mail: ludvik.juricek@gmail.com*

*Prof. JUDr. Jozef Meteňko, PhD.
Katedra kriminalistiky a forenzných vied
Akadémia Policajného zboru v Bratislave
e-mail: jozef.metenko@minv.sk*

*JUDr. Ing. Olga Vojtěchovská, Ph.D.
Katedra bezpečnosti a práva
Vysoká škola regionálního rozvoje, s.r.o.
Praha
e-mail: o.vojtechovska@atlas.cz*

Recenzent: Ing. Ondrej Laciak