

PREDIKCE HLOUBKY VNIKU BALISTICKÝCH TĚLES DO BLOKU NÁHRADNÍHO MATERIÁLU BIOLOGICKÝCH TKÁNÍ V BALISTICKÉM EXPERIMENTU

PREDICTION OF BALLISTIC BODIES PENETRATION DEPTH INTO ALTERNATIVE MATERIAL BIOLOGICAL TISSUES IN BALLISTIC EXPERIMENT

Ludvík JUŘÍČEK¹, Bohumil PLÍHAL²

SUMMARY:

The paper is dealing with alternative materials substituting for a biological tissue in ballistic experiment used both in our country and in the world. The paper limits to plastic characteristics alternative materials and mutual comparison to a real tissue represented by pork meat. The paper presents a theoretical – and – experimental method which we developed and designed for discovering physical and mechanical properties of alternative materials biological tissues, material resulted in a coherent methodology.

KEYWORDS: *Alternative materials, substitute, ballistics experiment, plastic characteristics, theoretical and experimental methods, biological tissues, experimental wound ballistic.*

ÚVOD

V minulých příspěvcích [6] a [7] se autoři zabývali experimentálním ověřením fyzikálních a mechanických vlastností náhradních materiálů (NM) biologických tkání. V uvedených článcích se autoři omezili na odvození matematického modelu NM biologických tkání plastické povahy založeném na korelační závislosti $s(h)$ a jejich vzájemným porovnáním se skutečnou tkání zastoupenou vepřovým masem. Byla zde představena navržená teoreticko-experimentální metoda zjišťování fyzikálních a mechanických vlastností NM v podobě ucelené metodiky. Tato metodika hodnocení NM je založena na reologickém modelu newtonské kapaliny a umožňuje hodnocení těchto materiálů základními fyzikálními a mechanickými charakteristikami získanými z výsledků pádových zkoušek realizovaných z různých pádových výšek [7].

Základní metodou zkoumání procesů v oblasti ranivé balistiky malorážových střel, se stala simulace jejich účinků provedená metodou nepřímé identifikace na fyzikálním modelu. Vedle základních požadavků, kladených na

homogenní fyzikální model, kterými jsou jeho funkčnost, materiálová nenáročnost (cena), reprodukovatelnost dosažených výsledků a jejich archivace, jsou důležité rovněž jeho rozměry, celková hmotnost a uspořádání.

K výrobě zkušebních bloků byly použity následující substitute: směs petrolátu a parafinu v poměru 75/25 % (PP 75/25) [10, 11] a plastelína – modelovací hmota šedá (PL) [12], 20 % roztok želatiny (Ž-20) a vepřové maso (M) [4].

1 VÝSLEDKY PÁDOVÝCH ZKOUŠEK NÁHRADNÍCH MATERIÁLŮ

Pádové zkoušky provedené za účelem zjištění fyzikálních a mechanických parametrů NM biologické tkáně jsme realizovali na dvou typech pádových zařízení. Substitute PP 75/25-I byla zkoumána na prototypu pádového zařízení, které bylo navrženo a sestrojeno na Katedře zbraňových systémů Vojenské akademie v Brně. Ostatní NM (PP 75/25-II, Ž-20, PL a M) byly testovány v laboratoři Katedry mechaniky a částí strojů na pádovém zařízení „AMSLER“ typ 100 FU 122 [6].

¹ Ludvík JUŘÍČEK, doc. Ing., Ph.D., Ústav práva, Vysoká škola regionálního rozvoje, s.r.o. Praha, Žalanského 68/54, 163 00 Praha, tel. +420 728 232 698, e-mail: ludvik.juricek@gmail.com.

² Bohumil PLÍHAL, prof. Ing., CSc., Katedra zbraní a munice, Univerzita obrany v Brně, Kounicova 65, 612 00 Brno, tel. +420 728 776 589, e-mail: bohumil.plihal@unob.cz.

Bloky substituce biologické tkáně podrobené pádovým zkouškám a následně experimentálnímu postřelování byly vyrobeny litím resp. pýchováním do předem připravených forem [4]. Bloky vyrobené z teplotně závislých NM (PP 75/25 a PL) byly proto bezprostředně před balistickou zkouškou temperovány po dobu 12 hodin na teplotu 21 °C. Časová expozice experimentálního využití uvedených NM pro jejich dlouhodobou skladovatelnost (několik let) nebyla v tomto případě limitována. Pouze v případě balistické želatiny (Ž-20), která kromě výrazné teplotní závislosti je také náchylná k tvorbě plísni, autoři byli při jejím experimentálním využití značně časově omezeni [2, 3]. Postřelování želatinových bloků proto bylo provedeno v co nejkratším čase (do 5 dnů) od jejich výroby.

Doposud používané zjednodušené hodnocení vlastností NM využívá k posouzení vhodnosti dané substituce ke střeleckým zkouškám zpravidla **jednu** geometrickou charakteristiku, kterou je hloubka vniku s_T zkušebního trnu hmotnosti m_T do bloku NM při konstantní pádové výšce trnu h [2, 9]. Při další teoretické analýze experimentu jsme vyšli z výše uvedené korelační závislosti hloubky vniku zkušebního trnu do bloku NM na pádové výšce $s(h)$, při $m_T = konst.$ Náhradní materiál živé tkáně jsme při matematickém modelování

považovali za plastickou látku nebo kapalinu, jejíž pohyb vyvolaný působením vnějších sil odpovídá pohybu newtonské kapaliny. Odvození výpočtových vztahů pro stanovení fyzikálních a mechanických charakteristik NM vychází z obecné reologické rovnice a přijatých základních předpokladů při realizaci pádové zkoušky [1].

Pro porovnání zkoumaných NM byly zjištěné fyzikální a mechanické charakteristiky přepočítány pro stejnou dopadovou energii zkušebního trnu $E_D = 28,4 J = konst.$ Této energii odpovídají referenční hmotnost závaží s trnem $m_r = 2,065 kg$ a referenční pádová výška $h_r = 1,4 m$, které byly použity pro hodnocení NM PP 75/25 a PL.

Takto získané číselné hodnoty fyzikálních a mechanických charakteristik NM uvádí tab. 1 [2, 9]. Tyto je možné využít pro odhad hloubky vniku zkušebního trnu a malorážové střely do NM při vyšších dopadových rychlostech. Experimentálně získané hloubky vniku zkušebního trnu a střely do bloku NM navíc umožňují výpočet součinitele tvaru i dalších malorážových střel při jejich proniku jínými NM.

Tabulka 1.

Porovnání fyzikálních a mechanických charakteristik NM při stejné dopadové energii $E_D = 28,4 J$, která odpovídá referenční pádové výšce $h_r = 1,4 m$.

NM		PP 75/25-I	PP-75/25-II	Ž-20	PL	M
Char.	Rozměr					
ρ	kg.m ⁻³	910	933 ¹⁾	1100	1710	1015
m_T	kg	1,987	2,065	0,66	2,065	2,065
h_p	m	1,455	1,4	4,380	1,4	1,4
n	-	0,674	0,643	0,605	0,866	1,812
s_0	m	0,053	0,0547	0,6	0,068	0,099
h_0	m	0,5	0,5	0,2	0,2	0,02
A	-	-0,9247 10 ⁻³	-1,9072 10 ⁻³	66,489 10 ⁻³	-0,15121	0,4795
s	m	0,1075	0,110	0,552	0,176	0,2384
τ_w	Pa	45,3102	43,6835	32,1091	50,0394	21,9274
γ_w	10 ³ s ⁻¹	3,9927	3,9790	7,1888	3,6292	3,1026
η	10 ⁻³ Pa s	11,3483	10,9786	4,4665	13,7882	7,0675
η_0	Pa s	0,1694	0,2117	0,1491	0,0414	1,0327 10 ⁻⁵
R	N	263,83	258,29	51,38	161,14	118,96

Zdroj: (Plíhal, B., JURÍČEK, L., 1999).

Poznámky:

¹⁾ Vyšší hustota ρ u PP 75/25-II vznikla opakovaným přetavením směsi předchozího vzorku PP 75/25-I. Při ohřátí směsi dochází k odpařování rozpouštědel obsažených v původní směsi.
 h_p – přepočítaná pádová výška [m], τ_w – smykové napětí u stěny trnu [Pa], γ_w – rychlost smykové deformace u stěny [s^{-1}], η – dynamická viskozita [Pa.s], R – střední odporová síla [N].

2 ODHAD HLOUBKY VNIKU ZKUŠEBNÍHO TRNU DO BLOKU NÁHRADNÍHO MATERIÁLU PŘI VYŠŠÍCH DOPADOVÝCH RYCHLOSTECH

Hloubka vniku zkušebního trnu s_T do bloku NM při pádové zkoušce je podle [2, 9] určena vztahem

$$s_T = e^A \cdot s_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{2-n}{2}} \quad (1)$$

kde:

A – korelační přepočtový součinitel [1],
 h – konečná (maximální) pádová výška [m],
 h_0 – počáteční pádová výška [m],
 s_0 – počáteční hloubka vniku zkušebního trnu v bloku NM [m].

Výraz h/h_0 vyjadřuje podíl potenciálních energií při stejné hmotnosti pádového závaží s trnem o hmotnosti m_T spuštěného postupně z pádových výšek h_0 a h . Index tečení n , charakterizující vlastnosti látky a její chování při dynamickém zatížení, byl spolehlivě určen pomocí regresní závislosti h (s) z pádové zkoušky při počátečních podmínkách h_0 (s_0).

Při:

$n = 1$ - newtonovo tečení,³
 $n < 1$ - pseudoplastická látka,
 $n > 1$ - dilatační systém.

Uvažujeme pronikání trnu s jinou hmotností m_K , vyšší dopadovou rychlostí v_K , ale stejnou geometrií, jakou má zkušební trn (průměr zkušebního trnu $d_T = 6$ mm; vrcholový úhel špičky $\alpha = 60^\circ$). Potom:

$$s_K = e^A \cdot s_0 \cdot \left(\frac{m_K \cdot v_K^2}{m_T \cdot v_0^2} \right)^{\frac{2-n}{2}} \quad (2)$$

kde:

s_0, v_0 - počáteční hodnoty veličin z pádových zkoušek.

Problémem interpretace výsledků pádových zkoušek trnu na balistická tělesa typu malorážová střela je značný rozdíl v dopadové rychlosti (maximálně dosažitelná dopadová rychlost v_{max} zkušebního trnu na pádovém zařízení je cca 12 m.s^{-1}). Proto byla platnost vztahu (2) experimentálně ověřena střelbou z kuše (viz obr. 1) na zkušební vzorky NM PP 75/25 a PL v podobě homogenních bloků.

2.1 Střelba z kuše do bloku směsi petrolát-parafin

Do zkušebního bloku vyrobeného ze směsi PP 75/25 byly postupně vystřeleny z kuše tři rány duralovým šípem s ocelovým hrotem (14" HalfMoon) o celkové hmotnosti $m_K = 60,2$ g s dopadovou rychlostí⁴ $v_K = 46,5 \text{ m.s}^{-1}$ a zaznamenány hloubky vniku šípu $s_K = 183, 190$ a 185 mm. Naměřeným hodnotám odpovídá střední hloubka vniku šípu do bloku PP 75/25 $s_K = 186$ mm [2, 9].

Pro výpočet hloubky vniku šípu do bloku NM byly použity následující hodnoty charakteristik NM PP 75/25 zjištěných při pádové zkoušce provedené na prototypu pádového zařízení a parametrů šípu kuše:

$s_0 = 53$ mm; $v_0 = 3,13 \text{ m.s}^{-1}$; $n = 0,674$;
 $A = -0,9247 \cdot 10^{-3}$; $m_T = 1,987$ kg; $v_K = 46,5 \text{ m.s}^{-1}$, $m_K = 60,2 \cdot 10^{-3}$ kg.

Po dosazení do vztahu (2), dostaneme:

$$s_K = e^{-0,9247 \cdot 10^{-3}} \cdot 53,0 \cdot \left(\frac{60,2 \cdot 10^{-3} \cdot 46,5^2}{1,987 \cdot 3,13^2} \right)^{\frac{2-0,674}{2}} = 186,5 \text{ mm}.$$

Vypočítaná hodnota hloubky vniku s_K odpovídá experimentálně zjištěné střední hloubce vniku s dostatečnou přesností (chyba je menší než 0,5 %).

³ V případě, že $n < 1$ (pseudoplastická látka), bude viskozita látky u stěny trnu (v blízkosti jeho povrchu) menší než ve vzdálenějších částech NM.

⁴ Hodnota dopadové rychlosti šípu kuše v_K je průměrnou hodnotou ze tří měření provedených na optickém nekontaktním zařízení s pevnou bází určeném k měření rychlosti pohybu balistických těles.

2.2 Střelba z kuše do bloku plastelíny školní

Za stejných podmínek byly z kuše postupně vystřeleny tři rány šípem s ocelovým hrotem do zkušební bloku NM vyrobeném z plastelíny školní (PL). Plastelínový blok po zásahu duralového šípu kuše s ocelovým hrotem (14" HalfMoon) je vidět na obr. 2.

Pro výpočet hloubky vniku bylo použito těchto hodnot charakteristik náhradního materiálu PL zjištěných pádovou zkouškou na univerzálním pádovém zařízení „AMSLER“ a parametrů šípu kuše:

$$s_0 = 68 \text{ mm}; v_0 = 1,98 \text{ m.s}^{-1}; n = 0,866; \\ A = -151,21 \cdot 10^{-3}; m_T = 2,065 \text{ kg}; v_K = 46,3 \text{ m.s}^{-1}; m_K = 60,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}.$$

Po dosažení těchto hodnot do rovnice (2), obdržíme:

$$s_K = e^{-0,15121} \cdot 68,0 \cdot \left(\frac{60,2 \cdot 10^{-3} \cdot 46,5^2}{2,065 \cdot 1,98^2} \right)^{\frac{2-0,866}{2}} \\ = 281 \text{ mm}.$$

Střelbou byly postupně zaznamenány hloubky vniku $s_K = 280, 275$ a 290 mm . Naměřeným hodnotám odpovídá střední hloubka vniku šípu do bloku PL $s_K = 281,67 \text{ mm}$. Kvalitativně lze tedy usoudit, že i v tomto případě nedošlo k zásadnímu rozporu mezi hodnotami hloubek vniku šípu kuše získanými experimentálně a analytickým řešením.

3 PRONIK MALORÁŽOVÉ STŘELY ZKUŠEBNÍM BLOKEM NÁHRADNÍHO MATERIÁLU

K přímému postřelování byly bloky náhradních tkání, vyrobených z PP 75/25 upraveny do tvaru kvádrů o ploše příčného průřezu $25 \times 25 \text{ cm}$ a délky 40 cm . Hmotnost jednotlivých kvádrů dosahovala $15 - 18 \text{ kg}$. Vzhledem k omezené délce bylo možné tyto bloky jednotlivě použít pouze pro postřelování střelivem s nízkou dopadovou energií, popř. s vysokou úrovní předané energie při proniku. Bloky náhradní tkáně, vyrobené z PL byly vyrobeny stejně jako v předchozím případě na lisovací soupravě (vakuovém lisu), a to ve tvaru osmistěnného hranolu s průměrem opsané kružnice 200 mm a délkou 30 cm [2, 9].

Pro potřeby balistického experimentu se systémy středního a vysokého balistického výkonu, bylo třeba vytvořit tandemy bloků NM

k dosažení potřebné hloubky vniku střel, která se u některých typů střeliva blíží hodnotě 60 cm . A právě v případech balistického zkoumání účinků malorážových střel s výraznou průbojnou složkou, je predikce hloubky vniku do bloku NM při vyšších dopadových rychlostech velmi důležitá [2]. Význam správného odhadu dosahované hloubky vniku malorážové střely v bloku NM výrazně roste s požadavkem na zachycení celkového střelného kanálu od zkoumané malorážové střely ve zkušebním bloku.

V další části uvažujeme pronikání NM malorážovou střelou (MRS) o hmotnosti m_n a dopadové rychlosti v_d . Střela se při malých (podzvukových) rychlostech dotýká při pronikání bloku NM náhradní tkáně pouze svou vodící válcovou částí l_n , která je výrazně kratší než délka stykové plochy pronikajícího zkušebního trnu s_T . Kromě toho je nutné uvažovat i jiný tvar přední části střely než má špička trnu s vrcholovým úhlem čelní kuželové plochy $\alpha = 60^\circ$ a také předpokládat, že se střela při pronikání nedeformuje, nefragmentuje a při svém postupu NM zaujímá stabilní polohu [2].

Na rozdíl od pronikání zkušebního trnu blokem NM je nutné uvažovat:

- jinou hmotnost střely m_n a její dopadovou rychlost v_d ,
- jinou dráhu tření válcové části střely l_n ,
- jiný průměr střely d (ráží),
- jiný tvar střely oproti tvaru zkušebního trnu, charakterizovaný poměrem jejich tvarových součinitelů i_n / i_T .

Za těchto předpokladů byl v [9] odvozen analytický vztah pro přibližné určení hloubky vniku malorážové střely s_n do bloku NM.

Prvním přiblížením je odvození vztahu pro hloubku vniku střely o stejně hladkém povrchu a průměru, jako má zkušební trn $d = d_T$ a stejném tvaru přední části (špičky). Rozdíl lze spatřovat pouze v tom, že tření trnu v NM probíhá v průběhu celého jeho vniku do bloku a to postupně do hloubky s_T , zatímco u střely jen po délce válcové části l_n . Rozdíly při pronikání NM zkušebním trnem a malorážovou střelou je patrný z obr. 3.

Práce tření zkušebního trnu A_T vykonaná na dráze s_T , je dána vztahem (3):

$$A_T = \tau_w \cdot \pi \cdot d_T \int_0^{s_T} s_T \cdot ds_T = \frac{\tau_w \cdot \pi \cdot d_T}{2} \cdot s_T^2. \quad (3)$$

Malorážová střela s dopadovou rychlostí v_d , výrazně převyšující rychlost zvuku, je při pronikání v kontaktu s NM pouze ve své přední části (špičce), kdy přetlak na čele rázové vlny nedovolí pronikání NM přilnout k vodící válcové části střely [2].

Především u střel puškových s ogiválním tvarem jejich přední části, se velmi často můžeme setkat s různými formami nestability proniku hustým médiem. Vedle popsaného účinku rázové vlny se při proniku může projevit výrazné vybočení střely ze stabilní polohy dané často větším úhlem náběhu střely v okamžiku zásahu zkušební bloku [2]. Tato vybočení způsobují změny tvaru a uspořádání střelného kanálu, který v některých místech svým radiálním rozměrem výrazně převyšuje průměr posuzované střely (viz obr. 4).

Proto se účinky tření střely projeví pouze při malých dopadových rychlostech a to na dráze $(s_T - 2l_n)$. Pak pro třecí práci malorážové střely A_n platí

$$A_n = \tau_w \cdot \pi \cdot d_T \cdot \int_0^{[s_T - 2l_n]} s_T \cdot ds_T = \frac{\tau_w \cdot \pi \cdot d_T}{2} \cdot (s_T - 2l_n)^2. \quad (4)$$

Pro podíl práce tření trnu a střely platí:

$$\frac{A_T}{A_n} = \frac{s_T^2}{(s_T - 2l_n)^2} \quad (5)$$

kde podle rovnice (2) uvažujeme, že

$$s_T = e^A \cdot s_0 \cdot \left(\frac{m_n \cdot v_d^2}{m_T \cdot v_0^2} \right)^{\frac{2-n}{2}} \quad (6)$$

Pro odhad hloubky vniku střely s_n do bloku NM byl využit vztah (2), do něhož byl zahrnut podíl rozdílné práce tření zkušební trnu a malorážové střely [9]. Potom můžeme psát:

$$s_T = e^A \cdot s_0 \cdot \left(\frac{m_n \cdot v_d^2}{m_T \cdot v_0^2} \right)^{\frac{2-n}{2}} \cdot \frac{s_T^2}{(s_T - 2l_n)^2} \quad (7)$$

Použitím rovnice (6) můžeme napsat, že

$$s_n = \frac{s_T^3}{(s_T - 2l_n)^2} \quad (8)$$

Nahrazením délky střely l_n hloubkou vniku trnu s_T do NM ($l_n = s_T$) přejde rovnice (8) na tvar (2), resp. (6).

Pokud přejdeme ke skutečné MRS ráže d se součinitelem tvaru i_n , dostaneme konečný tvar rovnice pro přibližné určení hloubky vniku střely do bloku NM ve tvaru

$$s_n = \frac{s_T^3}{(s_T - 2l_n)^2} \cdot \left(\frac{d_T}{d} \right)^2 \cdot \frac{i_T}{i_n} \quad (9)$$

kde:

$i_T = 1$ - součinitel tvaru zkušební trnu [1],
 d_T - průměr trnu [m].

Do součinitele tvaru střely i_n jsou zahrnuty i rozdíly v hladkosti a povrchové úpravě zkušební trnu a malorážové střely (geometrická podobnost).

Rovnice (6) a také rovnice (9) umožňují určit hloubku vniku střely s_n do bloku NM při volbě libovolných počátečních podmínek z pádové zkoušky (s_0, v_0) [2, 9].

Známe-li naopak ze střeleckého experimentu hloubku vniku střely s_n do bloku NM, můžeme výpočtem z rovnice (9) určit součinitel tvaru střely i_n pomocí vztahu

$$i_n = \frac{s_T^3}{(s_T - 2l_n)^2} \cdot \left(\frac{d_T}{d} \right)^2 \cdot \frac{1}{s_n} \quad (10)$$

Orientačně byla platnost vztahu (10) ověřena střelbou z malorážky ráže 22 Long Rifle (LR) do zkušební bloku NM vyrobeného ze směsi PP 75/25-I.

Charakteristiky střely použitého náboje 22 LR:
 $d = 5,6 \text{ mm}$; $l_n = 8 \text{ mm}$; $m_n = 2,5 \text{ g}$;
 $v_d = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

Z výsledků pádových zkoušek (tab. 1) byly využity následující charakteristiky použitého NM (PP 75/25-I):
 $A = -0,9247 \cdot 10^{-3}$; $m_T = 1,987 \text{ kg}$; $d_T = 6 \text{ mm}$;
 $s_0 = 0,053 \text{ m}$; $v_0 = 3,1321 \text{ m.s}^{-1}$; $n = 0,674$.

Střela pronikla do hloubky $s_n = 160 \text{ mm}$.

Po dosazení do rovnice (6) dostaneme:

$$s_T = e^{-0,924710^{-3}} \cdot 53,0 \cdot \left(\frac{2,5 \cdot 340^2}{1,987 \cdot 3,1321^2} \right)^{\frac{2-0,674}{2}} =$$

$$= 316,42 \text{ mm}$$

a po dosazení do rovnice (10)

$$i_n = \frac{316,42^3}{(316,42 - 2 \cdot 8)^2} \cdot \left(\frac{6}{5,6} \right)^2 \cdot \frac{1}{160} = 2,52.$$

ZÁVĚR

Z výpočtu hodnoty součinitele tvaru i_n malorážové střely můžeme předběžně usuzovat na využití vztahu (10) pro určení *součinitele tvaru* i dalších malorážových střel při jejich pronikání jinými náhradními materiály. Se znalostí součinitele tvaru i_n malorážové střely pro určitý NM lze použít rovnici (9) ve spojení s rovnicí (6) k určení hloubky vniku této střely disponující jinou dopadovou rychlostí v_d .

Délka vodící části střely l_n je mnohokrát menší než hloubka vniku zkušebnímu trnu s_t ($l_n \ll s_t$), a proto je možné při výpočtu hodnotu l_n zanedbat.

Tím dojde k dalšímu zjednodušení výpočtových vztahů (9) a (10), které tak budou lépe odpovídat fyzikálnímu jevu, ke kterému dochází při proniku střel zkušebním blokem vyrobeném z konkrétního NM s vyššími

dopadovými rychlostmi, než byly dosahovány při pádových zkouškách zkušebním trnem [9].

Matematický model určený pro odhad hloubek vniku balistických těles různého vnějšího tvaru a vnitřního uspořádání, konstrukce, použitých materiálů k jejich výrobě a terminálně balistických vlastností, který byl zde představen, obsahuje celou řadu zjednodušení nutných k odvození v praxi použitelných analytických vztahů. Jeho platnost byla autory experimentálně potvrzena.

Je zcela evidentní rozdíl v odhadu hloubky vniku šípu kuše do bloku NM, který byl tvarově upraven tak, aby se svým tvarem a hmotností co nejvíce blížil zkušebnímu trnu, použitým pro testování vlastností substituce biologické tkáně a hloubkou vniku reálné malorážové střely do tohoto prostředí.

V praxi bude nutné počítat s tím, že se některé střely budou při interakci s cílem nejen deformovat, ale jejich těla mohou rovněž fragmentovat (rozpad těla střely na střepiny) a tím měnit (snižovat) svoji finální hmotnost.

V takových případech, kdy se jedná o střely se zvýšeným ranivým účinkem (střely expanzní nebo frangible) je nutné toto chování střely zahrnout do změny jejího tvarového součinitele i_n , který lze na základě experimentálně zjištěné hloubky vniku střely s_n do bloku NM pomocí vztahu (10) přepočítat.

Obrazová příloha



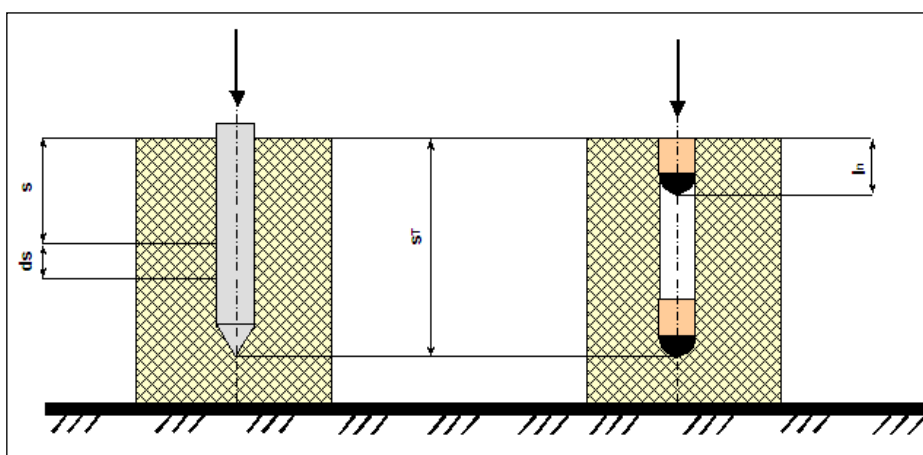
Zdroj: (Fotoarchív autorů)

Obrázek 1. Moderní typ kuše Jandao Chase Wind 150LB.



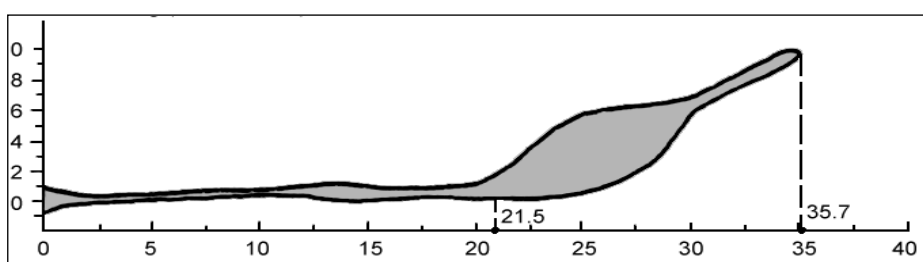
Zdroj: (Fotoarchív autorů)

Obrázek 2. Zástřel duralovým šípem s ocelovým hrotem délky 14“ HalfMoon ve zkušebním bloku vyrobeném z plastelíny (PL).



Zdroj: (PLÍHAL, B., JUŘÍČEK, L., 1999)

Obrázek 3. Průběh proniku balistických těles blokem náhradního materiálu (NM).



Zdroj: (PLÍHAL, B., JUŘÍČEK, L., 1999)

Obrázek 4. Profil střelného kanálu ve zkušebním bloku ze směsi PP 75/25 vyvolaný pronikem střely SS 109 mikrorážového puškového náboje ráže 5,56 x 45.

LITERATURA

- [1] ČERVINKA, F., BARTOŠ, O., TOMIS, F. : *Studium vlivu základních molekulárních parametrů na reologické vlastnosti PVC* (Výzkumná zpráva). Gottwaldov, Výzkumný ústav gumárenské a plastikařské technologie, 1966.
- [2] JUŘÍČEK, L. : *Simulace a hodnocení účinků malorážových střel na živou sílu*. Doktorská disertační práce, VA Brno, 2000, 132 s.

- [3] JUŘÍČEK, L., KOMENDA, J. : *Náhradní materiály biologických tkání pro zkoušky ranivé balistiky*. IX. Pražský chirurgický den. UK Praha, 1999.
- [4] JUŘÍČEK, L. : *Náhradní materiály pro zkoušky ranivé balistiky*. Střelecká revue č. 5-7. Praha, 2001.
- [5] JUŘÍČEK, L., PLÍHAL, B., Komenda, J. : *Náhradní materiály biologických tkání v balistickém experimentu*. Sborník VA, řada B. Brno, 2002.
- [6] JUŘÍČEK, L., PLÍHAL, B. : *Matematický model náhradních materiálů (substitucí) v experimentální ranivé balistice*. (1. část). Žilina: ŽUŽ, FŠI, Krizový manažment. Ročník 13, č. 2/2014, s. 16 - 24. ISSN 1336-0019.
- [7] JUŘÍČEK, L., PLÍHAL, B. : *Matematický model náhradních materiálů (substitucí) v experimentální ranivé balistice*. (2. část). Žilina: ŽUŽ, FŠI, Krizový manažment. Ročník 14, č. 1/2015, s. 14 - 22. ISSN 1336-0019.
- [8] PLÍHAL, B. : *Metody vyšetřování reologických charakteristik TPH*. Část: Hodnocení tokových charakteristik materiálů-vytlačovací plastometr. Habilitační práce, VA Brno, 1991.
- [9] PLÍHAL, B., JUŘÍČEK, L. : *Modelování náhradního materiálu živé tkáně pro zkoušky ranivé balistiky*. VTÚ VM Slavičín, 1999.
- [10] ČSN 657150: Petrolát. Praha, 1955.
- [11] ČSN 657101: Parafíny. Praha, 1960.
- [12] ČSN 908590: Modelovací hmota školní. Praha, 1983.