

MATEMATICKÝ MODEL NÁHRADNÍCH MATERIÁLŮ (SUBSTITUCÍ) BIOLOGICKÝCH TKÁNÍ V EXPERIMENTÁLNÍ RANIVÉ BALISTICE

MATHEMATICAL MODEL ALTERNATIVE MATERIALS (SUBSTITUTE) OF BIOLOGICAL TISSUES IN EXPERIMENTAL WOUND BALLISTIC

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: Mathematical model, alternative materials, substitute, ballistics experiment, mutual comparison, plastic characteristics, pork meat, theoretical and experimental method, biological tissues, experimental wound ballistic.

ÚVOD

Předmětem ranivé balistiky je zkoumání vzájemné interakce malorážové střely (střepiny) a biologického cíle.

Zatímco střela je svým tvarem, geometrickými rozměry a hmotností jednoznačně definována, lidské tělo je ve svém celku nehomogenním objektem tvořeným prostředím (kůže, svalová tkáň, vnitřní orgány a kosti) o různých fyzikálních, mechanických a biologických vlastnostech (hustota, viskozita, stlačitelnost, tvrdost, pevnost, elasticita, plasticita, schopnost pohlcovat energii atd.).

Je proto nutné jednotlivé části a orgány biologického systému izolovat a v prvním přiblížení zkoumat jejich odolnost proti dynamickému působení střely odděleně. I takto chápané izolované orgány však nevykazují ve všech zkušebních vzorcích stejné vlastnosti. Nemají např. stejnou hustotu, napjatost povrchových vrstev i vnitřních struktur tkáně, liší se také obsahem vody, vzduchu, ale také svým stářím.

Proto pro dosažení reprodukovatelnosti hodnotících faktorů je nutné nahradit

biologické tkáně a jejich systémy vhodně zvolenými náhradními materiály (NM), které mohou být stejně jako střely jednoznačně definovány a jsou proto ideální pro vzájemné objektivní porovnání ranivých účinků různých střel.

NM z hlediska simulace a hodnocení ranivého účinku malorážových střel na živou sílu (biologickou tkáň) musí vyhovovat těmto požadavkům [5]:

- musí vykazovat přibližně stejnou hodnotu hustoty, případně dalších fyzikálních a mechanických charakteristik,
- mít podobnost v deformaci a rozpadu těla střely (pokud k nim dochází) v NM a tkáni,
- mít srovnatelné odporové charakteristiky proti vnikání střely,
- podobnost v tvorbě dočasné a trvalé dutiny,
- reprodukovatelnost výsledků.

Dalšími požadavky mohou být cena, snadná příprava k měření, skladovatelnost a rovněž možnost archivace (uchování) výsledků měření [5].

Konečné hodnocení účinků jednotlivých typů střel (střepin) je dáno jejich působením na

¹ Ludvík Juříček, doc. Ing. Ph.D., Ústav bezpečnosti, Vysoká škola Karla Engliše, a.s., Mezírka 775/1, 602 00 Brno, tel. +420 728232698, e-mail: ludvik.juricek@vske.cz.

² Bohumil Plíhal, prof. Ing. CSc., Katedra zbraní a munice, Univerzita obrany v Brně, Kounicova 65, 612 00 Brno, tel. +420 728776589, e-mail: bohumil.plihal@unob.cz.

člověka, ke kterému dochází za určitých konkrétních podmínek. Neocenitelné jsou v této souvislosti zkušenosti a názory vojenských chirurgů, týkající se střelných poranění, ke kterým dochází v průběhu lokálních válečných konfliktů, ale také civilních lékařů, kteří dnes ošetřují tento typ poranění způsobených nehodami při lovu nebo v důsledku násilné trestné činnosti páchané na civilním obyvatelstvu. Jsou to však jednotlivé případy, ve kterých podmínky vzniku těchto poranění nemohou být předem připraveny, jejich průběh ovlivněn a často zde chybí možnost podílet se na jejich odborném vyhodnocení.

Přitom analyzovat důsledky střelného poranění není možné okamžitě po jeho vzniku, ale často s určitým časovým odstupem, kdy se projevy střelného poranění změnily a došlo rovněž k výrazné změně fyzikálních, mechanických a biologických charakteristik zasažených tkání.

V odůvodněných případech jsou pro účely hodnocení účinků malorážových střel použita živá zvířata (v anestézii) nebo jejich izolované orgány. Za těchto podmínek se však struktura jednotlivých vzorků použité biologické tkáně

natolik od sebe liší, že jejich reakce (odezva) na dynamický ráz vyvolaný pronikem střely je velmi proměnlivá. K tomu nedochází při použití ekvivalentních NM, u kterých je dosahováno vyhovující reprodukovatelnosti výsledků. Nicméně pro vzájemné porovnání účinků střel stejné konstrukce na živou tkáň a NM se však bez použití vzorků živé tkáně v budoucnu neobejdeme.

Pro simulaci účinků střel na měkké biologické tkáně jsou podle [2] a [5] používány tyto náhradní materiály (substituce):

- 10 % a 20 % želatinový roztok (označení Ž-10 a Ž-20),
- transparentní glycerinové mýdlo (označení GM),
- plastelína (označení PL),
- směs petrolátu (75%) s parafínem (25 %) (označení směsi PP 75/25).

V tabulce 1 jsou uvedeny některé základní fyzikální a mechanické charakteristiky těchto NM (substitucí) a pro porovnání rovněž základní složky živé tkáně (voda a vzduch) [1], [5].

Tabulka 1.

Fyzikální a mechanické charakteristiky NM živé tkáně

	t	ρ	κ	η	ν	c
	°C	[kg.m ⁻³]	[Pa ⁻¹]	[Pa.s]	[m ² .s ⁻¹]	[m.s ⁻¹]
Ž-10	20	1030	4,2.10 ⁻¹⁰	~ 40 ²⁾	~ 0,04	1520
Ž-20	20	1060	3,8.10 ⁻¹⁰	~ 100 ²⁾	~ 0,1	1567
GM	20	1080	3,4.10 ⁻¹⁰	~ 5.10 ^{-3 2)}	~ 5.10 ⁻⁶	1660
PP 75/25	20	910-940 ³⁾	-	~ 10,4.10 ⁻³	-	-
PL	25	1710 ³⁾	-	~ 13,9.10 ⁻³	-	-
VODA	20	998	4,6.10 ⁻¹⁰	1,0.10 ⁻³	1,0.10 ⁻⁶	1483
VZDUCH	0	1,23	7,4.10 ⁻⁶	1,72.10 ⁻⁵	1,33.10 ⁻⁵	331

Zdroj: (SELLIER, K., KNEUBÜHL, B. P., 2001).

Poznámky:

1) Použité symboly:

t - teplota, ρ - hustota, κ - kompresibilita (stlačitelnost), η - dynamická viskozita, ν - viskozita a c - rychlost zvuku.

2) Hodnota látek zjištěná při teplotě 30 °C. Měření pod touto teplotou není možné, neboť dynamická viskozita η klesající teplotou silně vzrůstá.

3) Hodnota změřená v laboratoři K-201 Univerzity obrany v Brně.

Tuhost, elasticita a průhlednost želatiny umožňuje stanovení její dynamické odolnosti k rázu. K tomuto účelu je vhodné použití vysokorychlostní kamery pro snímání změn v želatinovém bloku během proniku střely [2].

Glycerinové mýdlo (GM), směs petrolátu s parafínem (PP 75/25) a plastelína (PL) reálněji simulují odstranění (vytlačení) tkáně z jádra střelného kanálu. Plastická tvárnost těchto materiálů způsobuje, že po průchodu střely blokem zůstane trvalá dutina ve svém

maximálním objemu. Po provedeném experimentu tyto náhradní materiály umožňují (s výjimkou želatiny) přímé měření objemu vzniklé dutiny (vylitím vodou). U želatiny je nutné použití některé z nepřímých metod pro stanovení závislosti objemu této dutiny na množství předané kinetické energie střely překážce. Svým tvarem a objemem dutina představuje pravděpodobné přemístění částíček náhradního materiálu podél střelného kanálu a je možné ji geometricky transformovat na profil střelného poranění, který lze od zkoumané střely očekávat v biologické tkáni.

1. ZJEDNODUŠENÉ HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ „NM“

Náhradní materiál před použitím pro střelecké zkoušky malorážových střel se doposud zpravidla hodnotil jedinou geometrickou (rozměrovou) charakteristikou z dynamické pádové zkoušky.

Jako příklad může sloužit posouzení kvality zkušebního terče ze směsi petrolátu a parafinu (PP 75/25) před střeleckou zkouškou podle „Metodiky zjišťování a vyhodnocování účinků malorážových střel na nechráněnou živou sílu“ [6].

Hodnocení je založeno na principu zjištění hloubky vniku trnu (hmotné jehly), který je součástí závaží hmotnosti 5,6 kg, spuštěného z výšky 0,718 m volným pádem. Kritériem požadované kvality zkušebního terče, při teplotě 20-25 °C, je hloubka vniku trnu 190 ± 10 mm.

Dalším příkladem může být posouzení plastelíny (PL) jako podkladového materiálu pro střelecké zkoušky odolnosti ochranných prostředků [10]. Kritériem požadované kvality je proniknutí ocelového zkušebního tělesa tvaru válce o celkové hmotnosti $1 \pm 0,01$ kg a průměru $44,5 \pm 0,5$ mm, jehož pracovní část tvoří polokoule o poloměru $22,25 \pm 0,2$ mm do hloubky 25 ± 3 mm. Minimální pracovní délka válcové části je 60 mm. Těleso je spuštěno z výšky 2000 ± 3 mm tak, aby pracovní část ve tvaru polokoule vnikala kolmo do podkladového materiálu (plastelíny), jehož teplota musí být v rozmezí 15 – 30° C.

Z obou uvedených příkladů vyplývá, že základem hodnocení kvality, a tím i nepřímo fyzikálních a mechanických vlastností NM je pouze jedna veličina, a to hloubka vniknutí tvarově a rozměrově definovaného tělesa o předepsané hmotnosti spuštěného ze

stanovené výšky volným pádem na čelní plochu zkušební vzorku.

Takto sestavené metodiky neumožňují přesné určení fyzikálních a mechanických charakteristik, které by komplexně ohodnotily vlastnosti použitého NM, neumožňují jejich vzájemné porovnání a odhad vniku zkušebního tělesa nebo i malorážové střely do NM při vyšších dopadových rychlostech.

2. TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY PRO HODNOCENÍ FYZIKÁLNÍCH A MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ „NM“

Předložený „Návrh metodiky určení fyzikálních a mechanických charakteristik NM“ využívá stávajících pádových zkušebních zařízení, případně zařízení určitým způsobem upravených. Tento návrh však předpokládá rozšíření jejich využití jak z hlediska změny hmotnosti a konstrukce pádových závaží (kladiv), tak také hodnot pádových výšek. Pro další teoretické zpracování experimentu autoři nevycházejí pouze z jedné konstantní hloubky vniku s do NM zkušební trnu se závažím o hmotnosti m_T při jedné pádové výšce h , ale z korelační závislosti $s(h)$ při $m_T = konst.$

Odvození vztahů pro výpočet fyzikálních a mechanických charakteristik NM vychází z následujících předpokladů při realizaci experimentu (pádové zkoušky):

- pronikající ocelový trn (jehla) se závažím je absolutně tuhý, tvarově stabilní, bez příčných a podélných vibrací,
- dráha trnu ve zkušebním bloku NM je plynulá a ve směru rovnoběžném s podélnou osou vzorku,
- zkušební blok NM je v celém svém objemu homogenní (bez dutin a vměstků) o stejné hustotě ρ a teplotě T ,
- ocelový trn si během všech pokusů zachovává stejnou kvalitu povrchu (drsnot pracovní plochy) a geometrický tvar,
- děj pronikání trnu do NM považujeme za izoentropický,
- teoretická dopadová rychlost v_D pádového závaží s trnem odpovídá pádové výšce h .

Tedy:

$$v_D = \sqrt{2gh} \quad (01)$$

K těmto základním předpokladům přistupují další teoretické předpoklady, na nichž jsou přímo založeny odvozené výpočtové vztahy pro určení fyzikálních a mechanických charakteristik NM [4]:

a) NM považujeme za plastickou látku nebo kapalinu, jejíž pohyb pod působením vnějších sil odpovídá pohybu neneutonské kapaliny. Obecná reologická rovnice neneutonské kapaliny má tvar:

$$\tau = \eta(\dot{\gamma}) \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

Předpokládejme (bylo ověřeno orientačními zkouškami), že vztah (1) vyhovuje mocninovému zákonu vyjádřenému rovnicí:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left| \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right|^n, \quad (2)$$

Viskozita η je pak vyjádřena vztahem:

$$\eta = \eta_0 \cdot \left| \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right|^{n-1} \quad (3)$$

a je také funkcí rychlosti smykové deformace $\dot{\gamma}$ a smykového napětí τ .

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}. \quad (4)$$

V těchto rovnicích byla použita následující označení:

τ [Pa]	- smykové napětí,
$\dot{\gamma}$ [s^{-1}]	- rychlost smykové deformace,
η [Pa.s]	- dynamická viskozita,
n [1]	- index tečení neneutonské kapaliny.

Pokud uvažujeme mocninový zákon tečení při referenční hodnotě $\dot{\gamma}_0 = 1 \text{ s}^{-1}$, můžeme podle rovnice (2) až (4) uvažovat $\tau_0 = \eta_0$ a rovnici pro tokovou křivku psát ve tvaru:

$$\tau = \eta_0 \cdot \dot{\gamma}^n. \quad (5)$$

b) Aplikujeme základní vztahy uvedené v práci [3] s reverzí pohybu NM a tuhé součásti. Zatímco v této práci se pohybuje (je protlačován) plastický materiál v tuhé kapiláře vytlačovacího plastometru, v tomto případě tuhý trn se protlačuje (proniká) plastickým materiálem. Publikované vztahy lze aplikovat přijetím následujících předpokladů:

1. τ_w u stěny kapiláry = τ_w na vnějším povrchu trnu.
2. $\dot{\gamma}_w$ u stěny kapiláry = $\dot{\gamma}_w$ na vnějším povrchu trnu.

3. Ustálená rychlost tečení materiálu (média) uprostřed kapiláry

$$v_0 = \frac{v_D}{2}, \quad (02)$$

tj. polovině dopadové rychlosti trnu se závaží.

Další vztahy, které vyplývají z jiné dynamiky působících sil při pádové zkoušce oproti protlačování materiálu v kapiláře plastometru, byly odvozeny v práci [4]:

Index tečení NM jako neneutonské kapaliny n [1] z lineární regrese funkční závislosti s (h):

$$\ln \frac{s}{s_0} = \frac{2-n}{2} \cdot \ln \frac{h}{h_0}, \quad (6)$$

kde h_0 je zvolená počáteční pádová výška závaží, které odpovídá hloubka vniku trnu do zkušebního bloku NM s_0 .

Kontrola indexu tečení n ze dvou pádových výšek:

$$n = 2 \cdot \left(\frac{\ln \frac{s_i}{s_{i+1}}}{\ln \frac{h_i}{h_{i+1}}} \right), \quad (6a)$$

Smykové napětí u stěny trnu τ_w [Pa]:

$$\tau_w = \frac{R_T \cdot \rho \cdot g \cdot h}{8 \cdot s}, \quad (7)$$

kde R_T je poloměr pronikajícího trnu.

Rychlost smykové deformace u stěny trnu $\dot{\gamma}_w$ [s^{-1}]:

$$\dot{\gamma}_w = \frac{3n+1}{2n} \cdot \frac{\sqrt{2gh}}{R_T}, \quad (8)$$

Dynamická viskozita (dále jen viskozita) η [Pa.s]:

$$\eta = \frac{R_T \cdot \rho \cdot \sqrt{gh}}{\frac{3n+1}{n} \cdot 4\sqrt{2} \cdot s}, \quad (9)$$

Kontrola:

$$\eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_w}, \quad (9a)$$

Viskozita η_0 [Pa.s], odpovídající jednotkové rychlosti smykové deformace $\dot{\gamma}_0 = 1 \text{ s}^{-1}$:

$$\eta_0 = \eta \cdot \dot{\gamma}_w^{(1-n)} \quad (10)$$

Závislost viskozity η na rychlosti smykové deformace $\dot{\gamma}_w$:

$$\eta = \eta_0 \cdot \dot{\gamma}_w^{(n-1)} \quad (11)$$

Závislost smykového napětí τ_w na rychlosti smykové deformace $\dot{\gamma}_w$:

$$\tau_w = \eta_0 \cdot \dot{\gamma}_w^n \quad (12)$$

a odtud logaritmická křivka tečení:

$$\ln \tau_w = \ln \eta_0 + n \cdot \ln \dot{\gamma}_w. \quad (12a)$$

Střední odporová síla při vnikání trnu do NM
 R_{str} [N]

$$R_{str} = \frac{m_T \cdot v_D^2}{2 \cdot s} = \frac{m_T \cdot g \cdot h}{s}. \quad (13)$$

Nejdůležitější rovnice pro výpočet fyzikálně-mechanických charakteristik NM jako nenewtonské kapaliny jsou soustředěny do tab. 2.

Z přehledu rovnic (výpočtových vztahů) uvedených v této tabulce vyplývá, že vstupními údaji pro výpočet jsou:

- hustota NM ρ [kg.m⁻³],
- pádová výška závaží h [m],
- hmotnost závaží s trnem m_T [kg],
- poloměr trnu R_T [m],
- hloubka vniku trnu do zkušebního bloku NM s [m].

3. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ TEORETICKÝCH PŘEDPOKLADŮ

3.1 Použité zkušební a měřicí zařízení

Základem pro určení fyzikálních a mechanických charakteristik NM jsou výsledky měření hloubky vniku (s) zkušebního trnu se závažím o hmotnosti m_T do vzorku NM v závislosti na pádové výšce h . Výsledkem je tedy stanovení funkční závislosti $s(h)$ při $m_T = \text{konst.}$ Prvním pokusem byl návrh a výroba pádového zařízení vlastními silami

odborného pracoviště. Schéma tohoto zařízení spolu s hlavními charakteristikami uvádí obr. 1.

Maximální dosažitelná pádová výška závaží s trnem $h_{max} = 1,8 \text{ m}$ pro výšku zkušební vzorku 240 mm odpovídá *maximální teoretické dopadové rychlosti* závaží $v_{Dmax} = 6 \text{ m.s}^{-1}$.

Konstrukce tohoto zařízení umožňovala pouze spouštění zkušebního trnu z předem nastavené pádové výšky, ale přesné ustavení zkušební vzorku do požadované polohy a odečítání dosažené hloubky vniku bylo problematické. Navíc konstrukce pádového zařízení neumožňovala použití akcelerometru k měření časového průběhu zbrzdění a (t) zkušebního trnu při jeho pronikání blokem NM.

Proto byly na tomto zařízení provedeny pouze orientační experimenty s NM PP 75/25. Zkoumání ostatních NM ke stanovení jejich fyzikálních a mechanických charakteristik bylo nutné přenést na jiné zařízení [5].

K tomuto účelu bylo použito pádové zařízení „AMSLER“, typ: 100 FU 122, které umožňuje spouštění zkušebního trnu se závažím konstantní hmotnosti na blok NM volným pádem z předem nastavených pádových výšek. Zařízení bylo poskytnuto laboratoří Katedry strojírenství UO v Brně.

Celkový pohled na spodní část tohoto pádového zařízení jsou vidět na obr. 2. Spodní část zařízení s umístěním zkušebních bloků NM je vidět na obr. 3. Zařízení umožňuje nastavení maximální pádové výšky $h_{max} = 6,4 \text{ m}$. Vybavení stávajícím příslušenstvím dovoluje libovolnou výměnu závaží (kladiv) o hmotnostech 5, 10, 50 a 100 kg. Pro potřeby zkoušek plastických NM bylo nutné vyrobít závaží o hmotnostech 2,065 kg a 0,66 kg včetně ocelového trnu průměru 6 mm a délky 250 mm.

K ověření některých teoretických předpokladů byl piezoelektrickým akcelerometrem KD 33 MMF snímán časový průběh zpoždění pronikání trnu do NM $a(t)$ a registrován mobilním digitálním měřicím systémem „Programable Measurement System MC-32“ (Dr. Scgetter, Puchheim - München). Průběh $a(t)$ byl postupně integrován, čímž byly získány závislosti rychlosti $v(t)$ a dráhy $s(m)$ trnu se závažím v NM.

Ke zkouškám NM živé tkáně byly zvoleny tyto druhy NM:

- směs petrolátu a parafinu (PP 75/25), připravená postupem podle [6],

- želatina 20 % (Ž-20), připravená postupem podle [1] a [5],
- plastelína (PL), vzorek připraven pēchováním,
- živá tkáň (M) v experimentálním měření zastoupena vepřovým masem (kýta), uložena volně do plechové nádoby po jednotlivých vrstvách.

Na obr. 4 je vidět měření teploty zkušebního vzorku vepřového masa bezprostředně před experimentem.

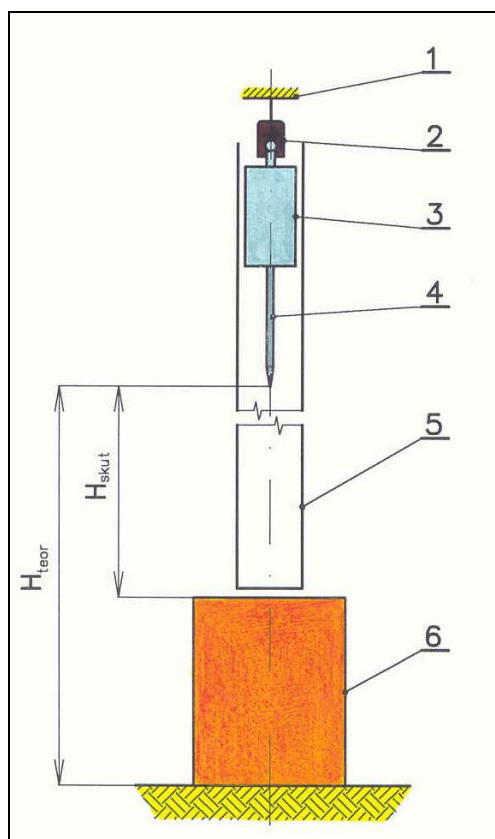
Vzorky byly vyrobeny litím do plechových rozebíratelných forem průměru 145 a 150 mm a výšce 235 mm, kromě plastelíny, jejíž zkušební vzorek byl vyroben pēchováním do rovněž rozebíratelné dřevěné nádoby tvaru kvádrů se čtvercovou podstavou o rozměrech 150x150 mm. Vzorky byly po jejich ztuhnutí z forem vyjmuty a jejich výška upravena na rozměry 200 až 235 mm. Výjimku tvořilo pouze vepřové maso, které bylo podrobeno experimentálnímu zkoumání i s plechovým obalem.

Tabulka 2

Přehled rovnic pro výpočet fyzikálně-mechanických charakteristik NM živé tkáně (nenewtonské kapaliny)

Charakteristika	Označení	Rozměr	Rovnice	Tvar rovnice
Index tečení	n	[1]	(6) (6a)	Z lineární regrese: $\ln \frac{s}{s_0} = \frac{2-n}{2} \cdot \ln \frac{h}{h_0}$ Pro kontrolu: $n = 2 \cdot \left(1 + \frac{\ln \frac{s_1}{s_2}}{\ln \frac{h_2}{h_1}} \right)$
Smykové napětí u stěny trnu	τ_w	[Pa]	(7)	$\tau_w = \frac{R_T \cdot \rho \cdot g \cdot h}{8 \cdot s}$
Rychlost smykové deformace u stěny trnu	γ_w	[s ⁻¹]	(8)	$\gamma_w = \frac{3n+1}{2n} \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h}}{R_T}$
Viskozita	η	[Pa.s]	(9) (9a)	$\eta = \frac{R_T \cdot \rho \cdot \sqrt{g \cdot h}}{\frac{3n+1}{n} \cdot 4\sqrt{2} \cdot s}$ Pro kontrolu: $\eta = \frac{\tau_w}{\gamma_w}$
Viskozita při jednotkové γ ($\gamma_0 = 1 \text{ s}^{-1}$)	η_0	[Pa.s]	(10)	$\eta_0 = \eta \cdot \gamma_w^{(1-n)}$
Závislost η na γ_w			(11)	$\eta = \eta_0 \cdot \gamma_w^{(n-1)}$
Závislost τ_w na γ_w			(12) (12a)	$\tau_w = \eta_0 \cdot \gamma_w^n$ Odtud logaritmická křivka tečení: $\ln \tau_w = \ln \eta_0 + n \cdot \ln \gamma_w$
Střední odporová síla	$R_{stř}$	[N]	(13)	$R_{stř} = \frac{m_T \cdot v_D^2}{2s} = \frac{m_T \cdot g \cdot h}{s}$

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

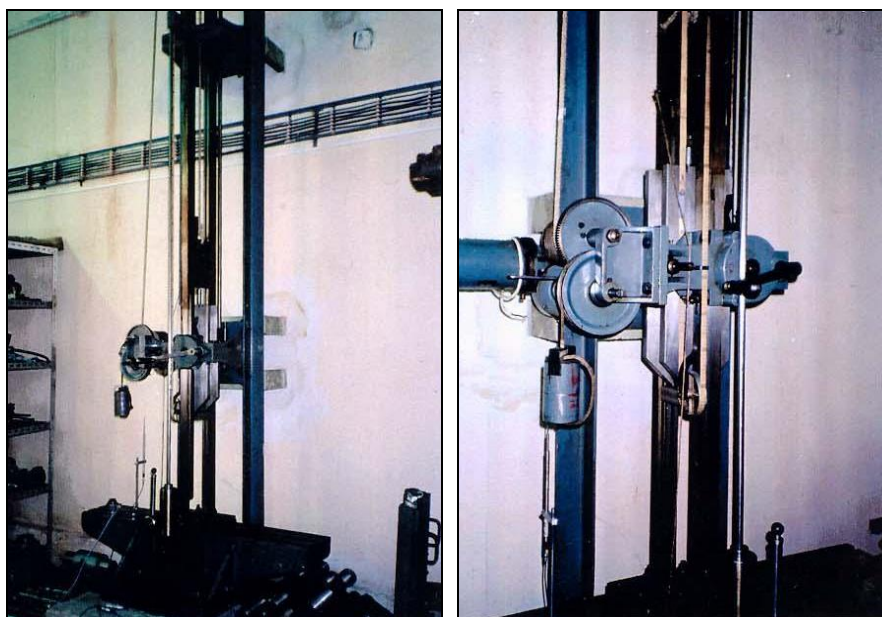


Obrázek 1. Schéma pádového zařízení.

1 – rám, 2 – kleština, 3 – závaží, 4 – zkušební trn, 5 – vodící trubka, 6 – zkušební vzorek NM.

H_{teoret} – teoretická pádová výška, H_{skut} – skutečná pádová výška (závisí na výšce vzorku)

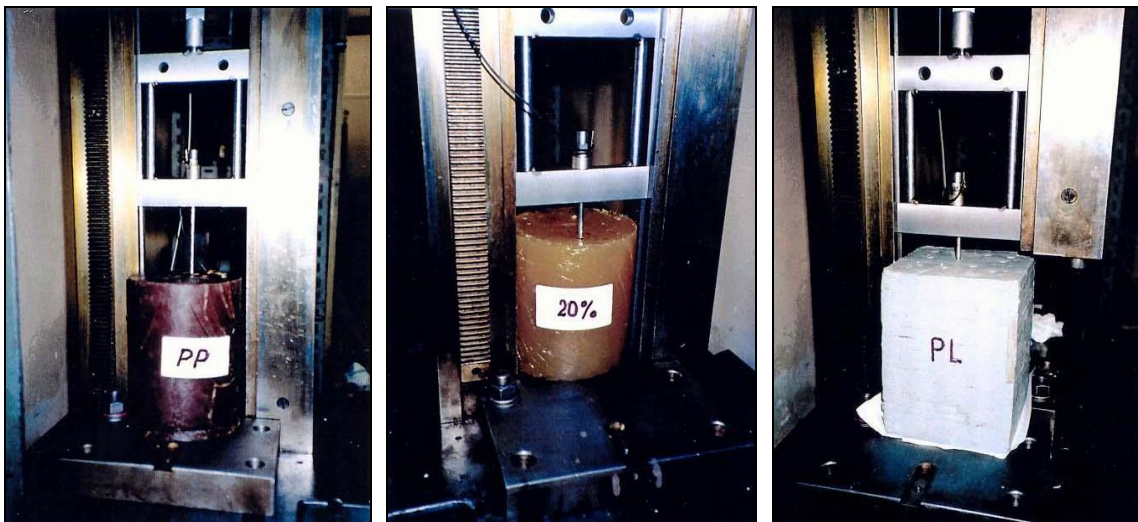
Zdroj: (Archív autorů).



Obrázek 2. Univerzální pádové zařízení „AMSLER“, typ: 100 FU 122.

Vlevo – celkový pohled, vpravo – spodní část

Zdroj: (Archív autorů).



Obrázek 3. Spodní část pádového zařízení s umístěním zkušebních bloků NM v okamžiku vniknutí zkušebního trnu do materiálového vzorku

Vlevo – směs petrolátu s parafínem (PP 75/25), uprostřed – 20% želatina (Ž-20), vpravo – plastelína (PL)
 Zdroj: (Archív autorů).



Obrázek 4. Měření teploty zkušebního vzorku vepřového masa (M) před experimentem

Zdroj: (Archív autorů).

Dokončení v příštím čísle.

LITERATURA

- [1] SELLIER, K., KNEUBÜHL, B.: *Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen*. Berlin: Springer - Verlag, Berlin 2000.
- [2] LEEMING, D.: *Wound Ballistics*. RMCS Shrivenham. Ballistic course (unpublished) 1998.
- [3] PLÍHAL, B.: *Metody vyšetřování reologických charakteristik TPH*, část: Hodnocení tokových charakteristik plastických materiálů - vytlačovací plastometr. Habilitační práce. Brno: VA Brno, 1991.
- [4] PLÍHAL, B., JURÍČEK, L.: *Modelování náhradního materiálu živé tkáně pro zkoušky ranivé balistiky*. VTÚ VM Slavičín, 1999.
- [5] JURÍČEK, L.: *Simulace a hodnocení účinků malorážových střel na živou sílu*. Doktorská disertační práce. Brno: VA Brno, 2000.
- [6] JURKÁČEK, B.: *Návrh metodiky zjišťování a vyhodnocování účinků malorážových střel na živou sílu*. Brno: VVÚ ZVS Brno, 1984.
- [7] HIRT, M.: *Střelná poranění v soudním lékařství*. Brno: LF MU Brno, 1996.
- [8] JURÍČEK, L., KOMENDA, J.: *Náhradní materiály biologických tkání pro zkoušky ranivé balistiky*. IX. Pražský chirurgický den. UK Praha, 1999.
- [9] JURÍČEK, L.: *Náhradní materiály pro zkoušky ranivé balistiky*. Střelecká revue č. 5-7. Praha, 2001.
- [10] ČSN 395360: Zkoušky odolnosti ochranných prostředků. Zkoušky odolnosti proti střelám, střepinám a bodným zbraním. Technické požadavky a zkoušky. ČSNI Praha, 1995.
- [11] ČSN 657150: Petrolát. Praha: ČSNI, 1955.
- [12] ČSN 657101: Parafíny. Praha: ČSNI, 1960.