

Téma 7: (P 2)



**ÚSTAV
BEZPEČNOSTI**
VYSOKÁ ŠKOLA KARLA ENGLIŠE

Fyzikální substituční modely v experimentální ranivé balistice

doc. Ing. Ludvík JUŘÍČEK, Ph.D.

Vysoká škola Karla Engliš, a.s. Brno.

Telefon: +420 728 232 698

E-mail: ludvik.juricek@vske.cz

www.forensic.sk



OSNOVA

Úvod

Použitá a související literatura

1. Balistické simulace přímých a nepřímých účinků MRS na kostní tkáň člověka

- balistická simulace přímých účinků MRS na femur člověka
- balistická simulace nepřímých účinků MRS na femur člověka

2. Balistická simulace účinků rázové vlny od pronikající střely na cévní systém člověka

Závěr

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Použitá a související literatura

- [1] JUŘÍČEK, Ludvík. **Fyzikální modely biologických systémů člověka v balistickém experimentu pro hodnocení ranivých účinků malorážových střel.** [Habilitační práce]. Brno: VA, 2003, 182 s.
- [2] JUŘÍČEK, Ludvík. **Ranivý potenciál malorážových střel a jeho hodnocení.** 1. vydání. Ostrava: KEY Publishing, s.r.o., 2015. 155 s. ISBN 978-80-7418-222-8.
- [3] JUŘÍČEK, Ludvík. **Ranivá balistika I.** Úvod do studia ranivé balistiky. Brno: VŠKE, a.s. Brno, 2013. 12 s. ISBN 978-80-86710-69-3.
- [4] JUŘÍČEK, Ludvík, MALÁNÍK, Zdeněk. **Speciální tělesná příprava 3. Ranivá balistika a její aplikace.** Zlín: FAI UTB ve Zlíně, 2014. 163 s. ISBN 978-80-7454-419-4.
- [5] PLANKA, Bohumil. **Kriminalistická balistika.** Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o. 2010, 660 s. ISBN 978-80-7380-036-9.
- [6] COUPLAND, R. M. **The Red Cross wound classification.** Geneva: ICRC, 1977.

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

ÚVOD

Ranivě balistické simulace


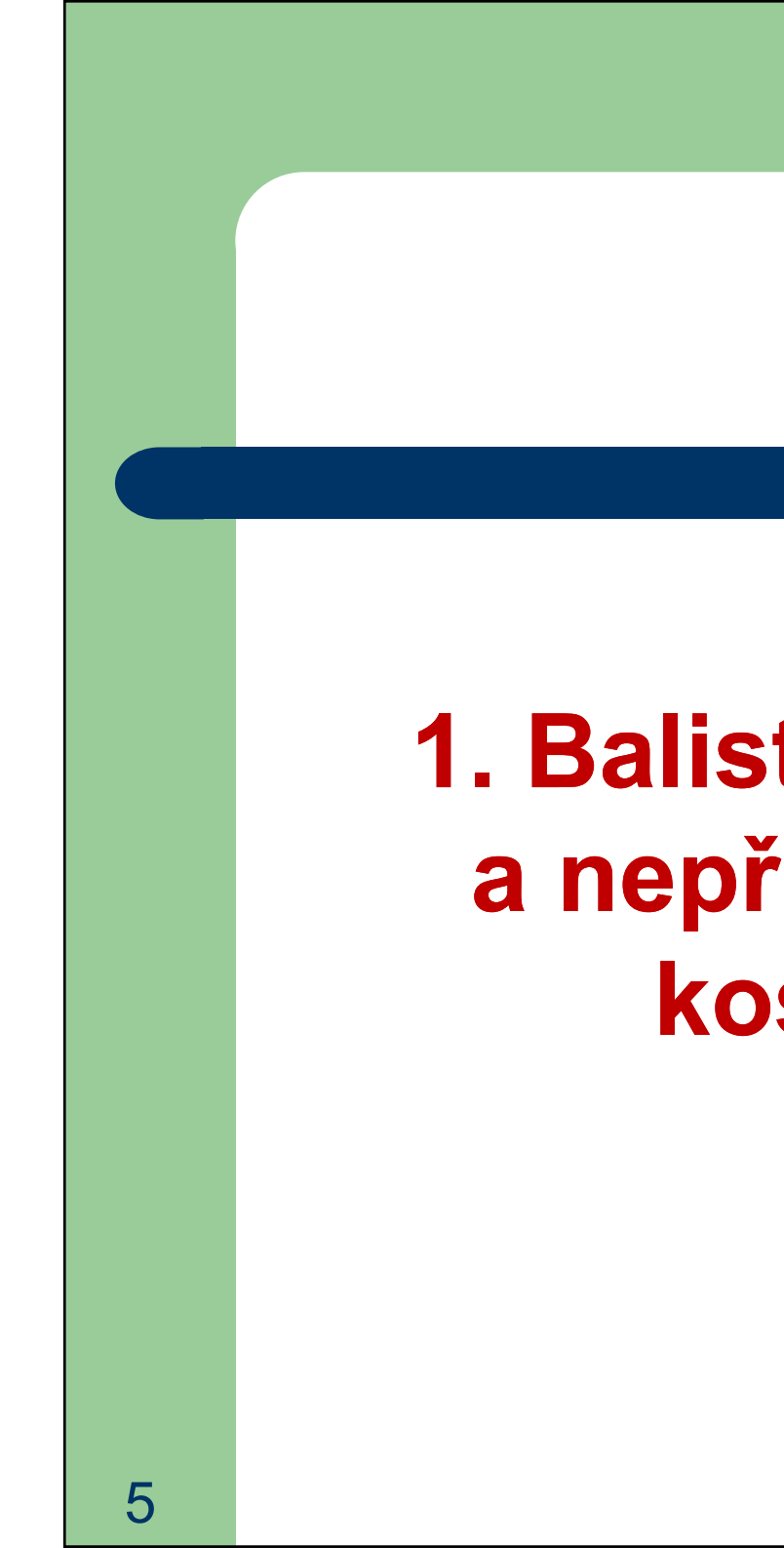
- **Balistické simulace:**

- Simulace účinků MRS na měkké biologické tkáně.
- Simulace účinků MRS na cévní systém člověka.
- Simulace účinků MRS na kostní tkáně.
- Simulace účinků odražené FMJ střely **Pi** a **Re** nábojů ráže **9 mm vz. 82** a **38 Special**.

- **Numerické (PC) simulace:**

- PC simulace proniku průbojné střely náboje ráže **7,62 x 39 PZ**.
- PC simulace proniku **Pi** (9 mm Luger - FMJ) a **Re** (38 Special - LRN) střel homogenním substitučním fyzikálním modelem.

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice



1. Balistická simulace přímých a nepřímých účinků MRS na kostní tkáň člověka

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Metoda nepřímé identifikace v balistickém experimentu

- **Homogenní bloky** náhradní biologické tkáně jsou v experimentu postupně nahrazovány **fyzikálními modely** vykazující určitý stupeň **nehomogenity**.
- Experimentální zastoupení reálného objektu **fyzikálním modelem**, který se mu svými vlastnostmi a uspořádáním co nejvíce blíží, tvoří základ **metody nepřímé identifikace**.
- Tento typ balistického experimentu lépe vyhovuje simulaci komplikovaného střelného poranění (účast kosti, velké cévy nebo vitálního orgánu).

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Elastické, pevnostní a lomové vlastnosti kompaktní kostní tkáně femuru prasete

- *Měřené pevnostní charakteristiky kostní tkáně:*
 - modul pružnosti v tahu kompakty E [GPa],
 - smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]
 - mez pevnosti R_m [MPa].
- Pro výrobu modelu části stehna, jako náhrady **stehenní kosti**, byly použity **diafýzy femuru** dospělého prasete.

Vlastní měření plochých vzorků metodou třibodového ohybu ($L = 40 \text{ mm}$)

Výchozí rozměry plochých vzorků kompaktní kosti femuru prasete použité v experimentu od tří dárců

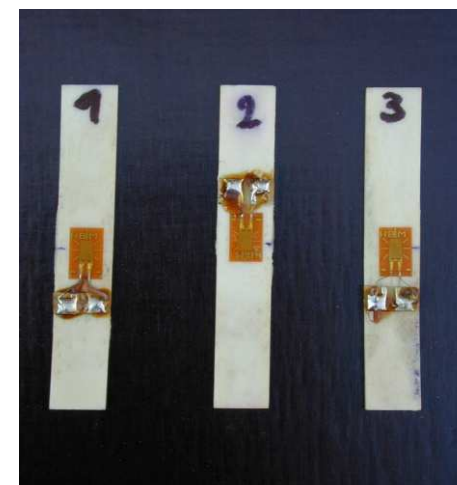
(b_0 -šířka, h_0 -tloušťka, L_0 -délka a S_0 -příčný průřez kostního vzorku)

Číslo vzorku	b_0	h_0	L_0	S_0
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]
Vzorek č. 1	7,46	1,80	55,0	13,43
Vzorek č. 2	7,53	1,82	55,0	13,71
Vzorek č. 3	7,46	1,50	55,0	11,19

Výpočet modulu pružnosti v tahu $E_{1,2}$ [GPa]

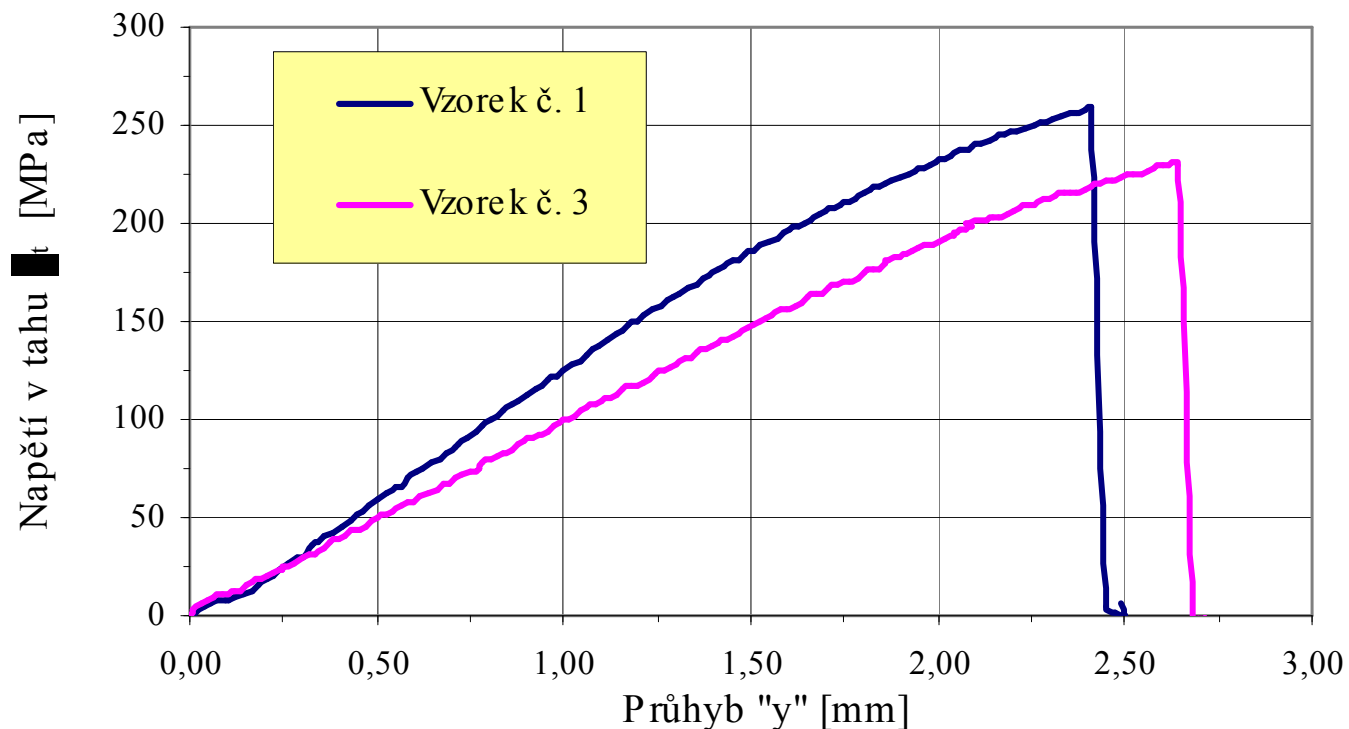
$$E_1 = \frac{\Delta F \cdot l^3}{\Delta y \cdot 4 \cdot b_0 \cdot h_0^2} \cdot 10^3,$$

$$E_2 = \frac{\Delta F \cdot 6 \cdot l}{\Delta \varepsilon \cdot 4 \cdot b_0 \cdot h_0^2} \cdot 10^{-3}$$



Výsledky měření kostních vzorků

Průběhy křivek tahových diagramů obou plochých vzorků kompaktní kostní tkáně podrobených tříbodovému zatěžovacímu testu



Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Hodnoty modulů pružnosti v tahu E_1 (E_2), smluvní meze kluzu $R_{p0,2}$ a meze pevnosti R_m kompaktní kostní tkáně (corticalis) femuru prasete

(Univerzální zkušební stroj FP 10/1 HECKERT, VUT v Brně)

Vzorek kosti	ΔF	Δy	E_1	ΔF	$\Delta \epsilon$	E_2	$R_{p0,2}$	$R_m^{2)}$
	[N]	[mm]	[GPa]	[N]	[mm.m ⁻¹]	[GPa]	[MPa]	[MPa]
Vzorek kosti č. 1	34,4	0,543	24,5	34,4	3 486	23,3	244	259
Vzorek kosti č. 2 ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
Vzorek kosti č. 3	28,7	1,022	18,6	28,7	5 512	17,96	217	230

- Hodnoty pevnostních charakteristik vzorku kosti č. 2 nejsou k dispozici. Došlo k jeho porušení při manipulaci ještě před provedením zátěžového testu.
- Zjištěné hodnoty meze pevnosti R_m svou velikostí odpovídají hodnotám experimentálně získaných **lomových napětí** kostní tkáně femuru prasete a téměř dvojnásobně převyšují průměrné hodnoty meze pevnosti uváděné u **člověka**.

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

1.1 Balistická simulace přímých účinků MRS na femur člověka

Balistická charakteristika experimentu

- Vzdálenost střelby $X = 4,5 \text{ m}$.
- Přímý zásah **kostní náhrady** umístěné v želatinovém bloku ve tvaru krychle (15x15x15 cm) se zachycením **střelného kanálu** (dočasné dutiny).
- Vyhodnocení tvarových a hmotnostních změn střel po jejich proniku fyzikálním modelem.

Střelivo použité k ranivě-balistické simulaci:

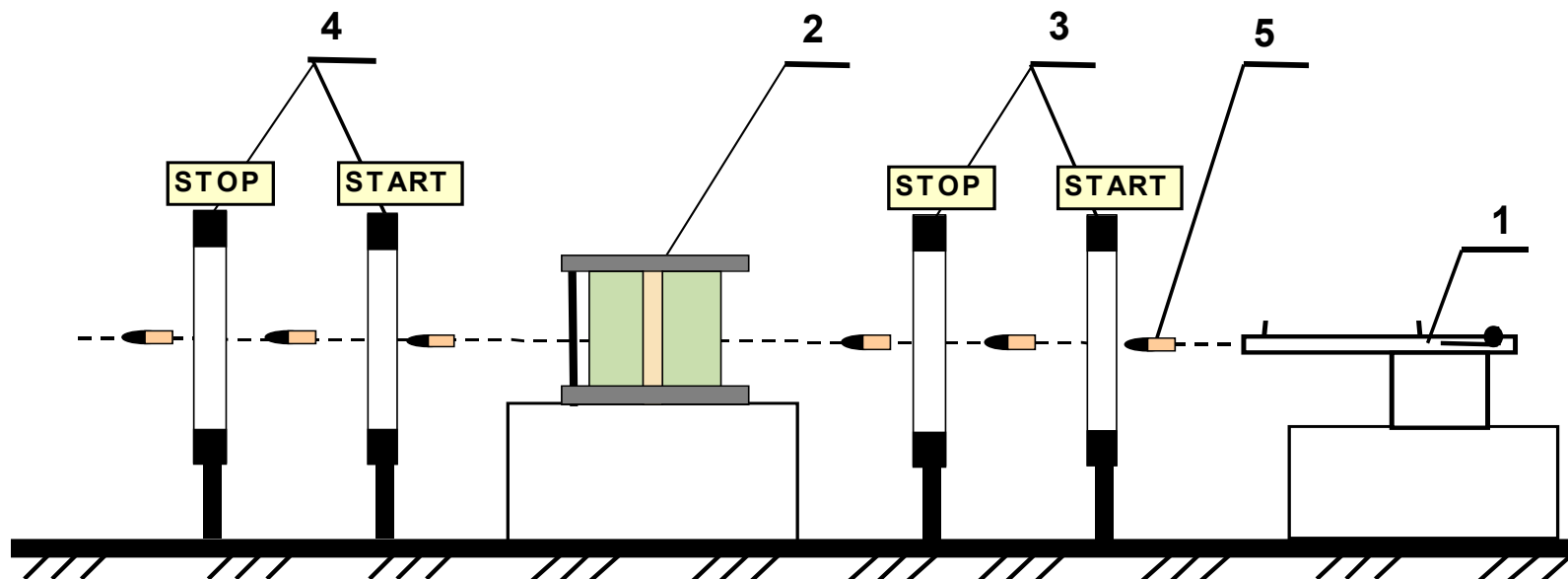
- **9 mm Luger FMJ (S & B):** $v_0 = 390 \text{ m.s}^{-1}$, $m_q = 7,5 \text{ g}$ ($E_0 = 570 \text{ J}$).
- **5,56x45 (SS 109):** $v_0 = 945 \text{ m.s}^{-1}$, $m_q = 4,0 \text{ g}$ ($E_0 = 1\,786 \text{ J}$).
- **5,45x39 (7H6):** $v_0 = 880 \text{ m.s}^{-1}$, $m_q = 3,42 \text{ g}$ ($E_0 = 1\,336 \text{ J}$).

Schéma střeleckého (měřícího) stanoviště

(Střelecký tunel firmy Prototypa, a.s. v Brně)

Legenda:

- 1 - Zkušební balistická hlaveň
- 2 - Fyzikální model části stehna
- 3 - Hradlice s optickou měřicí soustavou
- 4 - Hradlice s optickou měřicí soustavou
- 5 - Dráha střely



Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Hodnocení průstřelu kostní náhrady střelou náboje 9 mm Luger (S & B)

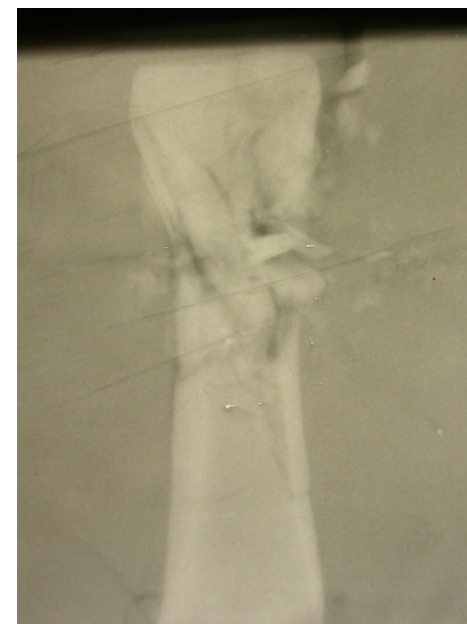
Rentgenové snímky kompaktního bloku modelu části stehna s průstřelem kostní náhrady femuru



Předožadní



Zadopřední



Boční

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Střelný kanál v želatinovém bloku a tvarové změny střely pistolového náboje ráže 9 mm Luger (S & B)

Řez želatinovým blokem (B_1) s kostí v místě podélné osy střelného kanálu



Tvar střely před dopadem na blok a po proniku fyzikálním modelem



Hodnocení průstřelů kostní náhrady střelami nábojů ráže 5,56x45 a 5,45x39



Vlevo: Blok želatiny (B_2) s rozsáhlou devastací kostního segmentu (K_5) po zásahu střelou SS 109 náboje ráže **5,56x45 (S & B)**.

Dole: Řez želatinovým blokem s kostní náhradou v místě střelného kanálu od střely 7H6 náboje ráže **5,45x39 (Tula, Rusko)**.



1.2 Balistická simulace nepřímých účinků MRS na femur člověka

Balistická charakteristika experimentu

- **Hladký průstřel** fyzikálního modelu ve vzdálenosti $r = 30 \text{ mm}$ od kostní náhrady s **tenzometry** s registrací **střelného kanálu** (dočasné dutiny).
- Původní měřicí řetězec rozšířen o **MC 32 (BMC)**.
- Zachycení střel v bloku bavlny po jejich proniku fyzikálním modelem s následným vyhodnocením tvarových a hmotnostních změn.

Střelivo použité k balistické simulaci:

- **9 mm Luger FMJ (S & B):** $v_0 = 390 \text{ m.s}^{-1}$, $m_q = 7,5 \text{ g}$ ($E_0 = 570 \text{ J}$).
- **357 Magnum (S & B):** $v_0 = 425 \text{ m.s}^{-1}$, $m_q = 10,25 \text{ g}$ ($E_0 = 926 \text{ J}$).
- **5,56x45 (SS 109):** $v_0 = 945 \text{ m.s}^{-1}$, $m_q = 4,0 \text{ g}$ ($E_0 = 1\,786 \text{ J}$).

Uspořádání vzorků diafýzy femuru



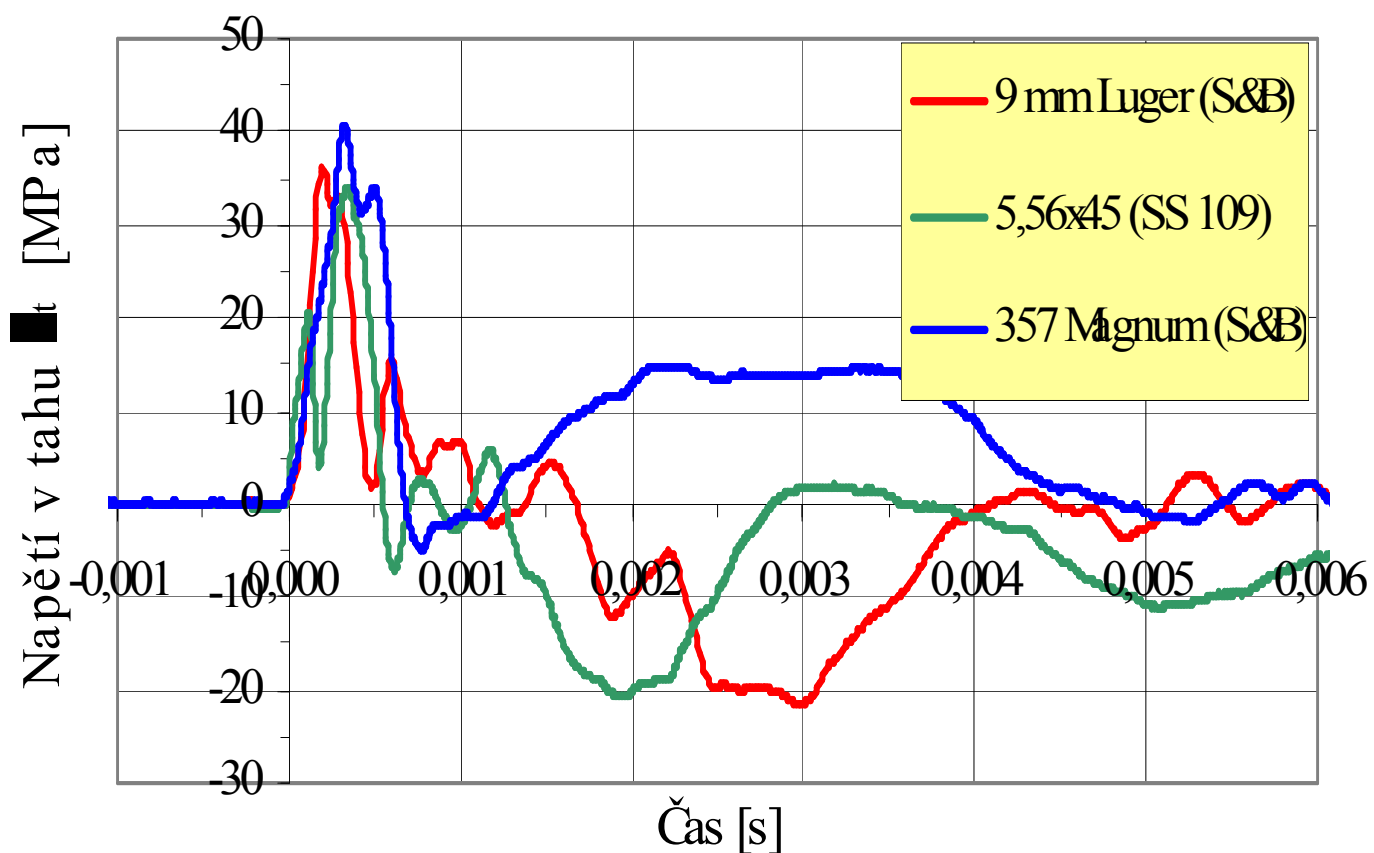
Segmenty diafýz (K_1 - K_3) s odporovými tenzometry.

Pohled na dvě **kostní náhrady** (K_1 a K_2) s tenzometry krytými tmelem a Al-fólií *ABM 75/HBM*.



Časové průběhy tahových napětí ve struktuře kostní tkáně vyvolané rázovou vlnou

(Univerzální měřicí systém MC 32, BMC)



Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Makroskopické hodnocení zasažených želatinových bloků s kostní náhradou

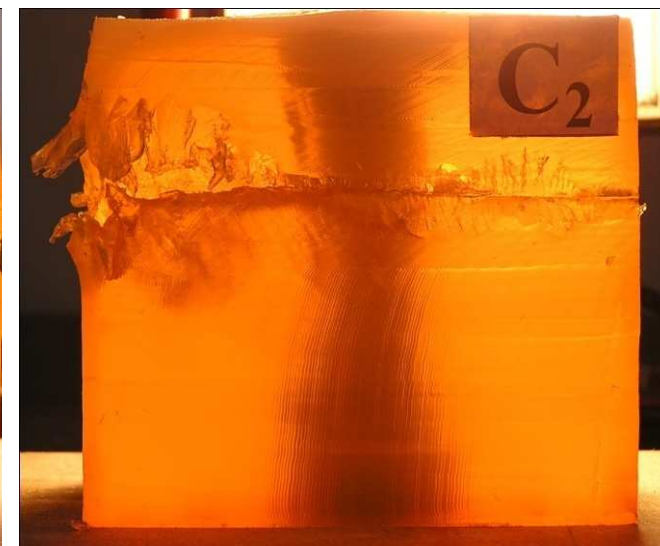
Nasvícené podélné řezy želatinových bloků s kostní náhradou v místě střelného kanálu od zkoumaných střel



9 mm Luger (C₁)



357 Magnum (C₃)



5,56x45 (C₂)

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice


Predikce nepřímých ranivých účinků zkoumaných MRS na femur člověka

- Napětí σ_t vyvolaná deformacemi ve struktuře kosti zasažené postupující **rázovou vlnou** se pohybují v pružné oblasti hluboko pod hodnotami $R_{p\ 0,2}$ (20 %) a R_m (16 %) použité kostní náhrady.
- S největší pravděpodobností tato napětí nevyvolají trvalé deformace nebo porušení kosti \Rightarrow malá pravděpodobnost vzniku vzdálené fraktury femuru působením rázové vlny.
- Dá se předpokládat vznik **nekomplikovaného** střelného poranění části DK (hladký průstřel), jehož závažnost bude závislá na množství (objemu) zničených měkkých tkání.

Dílčí závěry

- **Balistické simulace** prokázaly schopnost navržených **fyzikálních modelů** a použitých měřících systémů kvantifikovat odezvy náhradní kostní tkáně na dynamické působení MRS.
- Chování kostní náhrady po zásahu MRS je silně závislé na konstrukci střely a hodnotě její **kinetické energie** v okamžiku zásahu a také na fyzikálních a mechanických vlastnostech tkáně.
- Použití fyziologicky zdravé kosti v balistických simulacích neumožnilo posoudit odezvu na mechanické působení MRS na kosti s **patologicky změněnou strukturou**.
- Ke zvýšení objektivizace hodnocení ranivých účinků bude v budoucnu nutné do měřícího řetězce balistické simulace zařadit **rychloměrnou kameru**.

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice



2. Balistická simulace účinků rázové vlny od pronikající střely na cévní systém člověka

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Substituce živé tkáně

(Fyzikální modely válcového tvaru průměru 15 cm a délky 30 cm, umělá céva umístěna v místě podélné osy válce)

- ⇒ **20 % - ní želatinový roztok (Ž – 20)**
- ⇒ směs petrolátu s parafínem v poměru 75/25 %
(PP 75/25)
- ⇒ plastelína – modelovací hmota šedá (PL)

Cíle experimentu

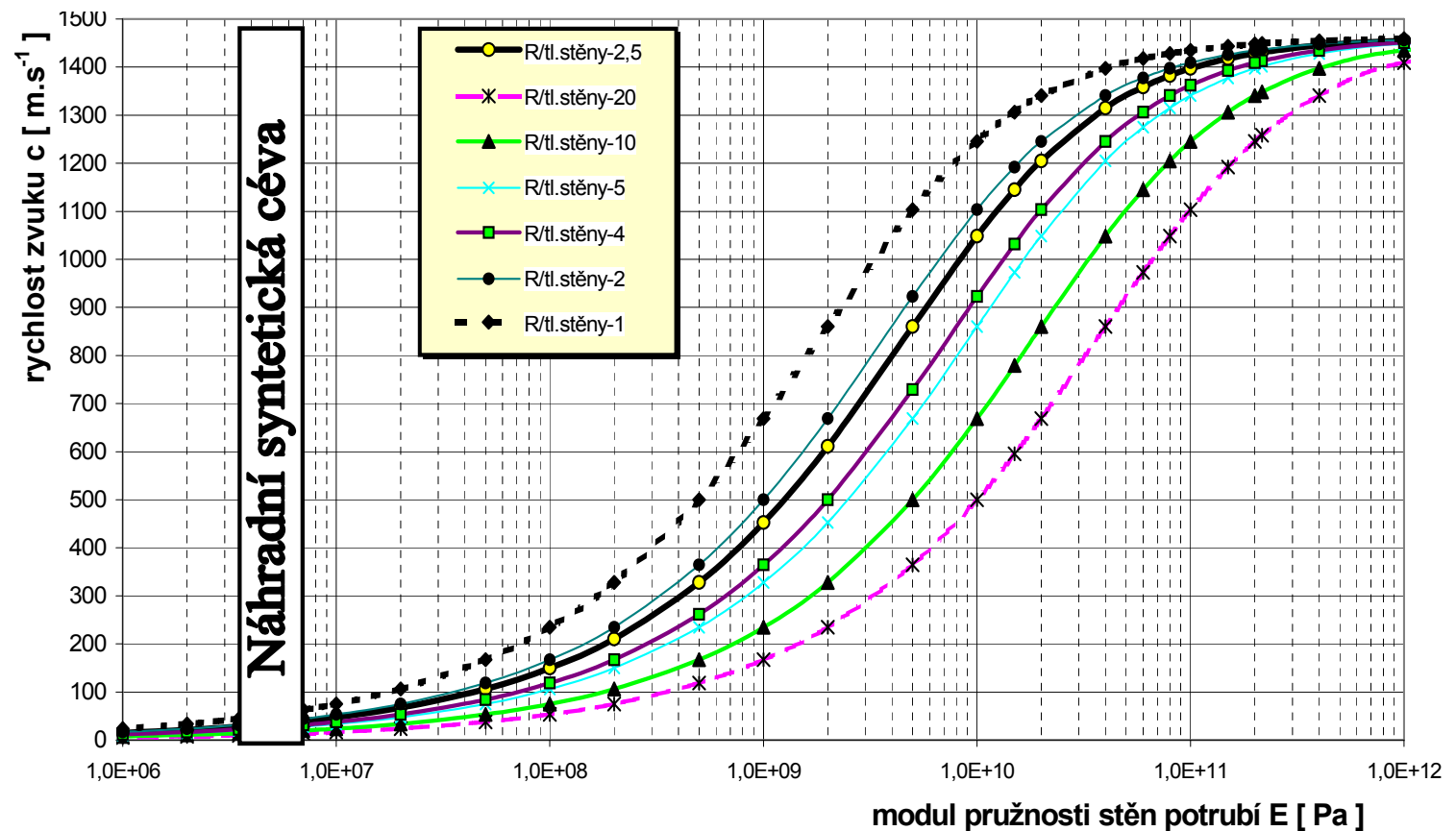
1. Základní cíl:

Ověření funkčnosti navrženého fyzikálního modelu, použitelnosti měřící aparatury tlaku a vyovídací **schopnosti experimentu**.

2. Dílčí cíle:

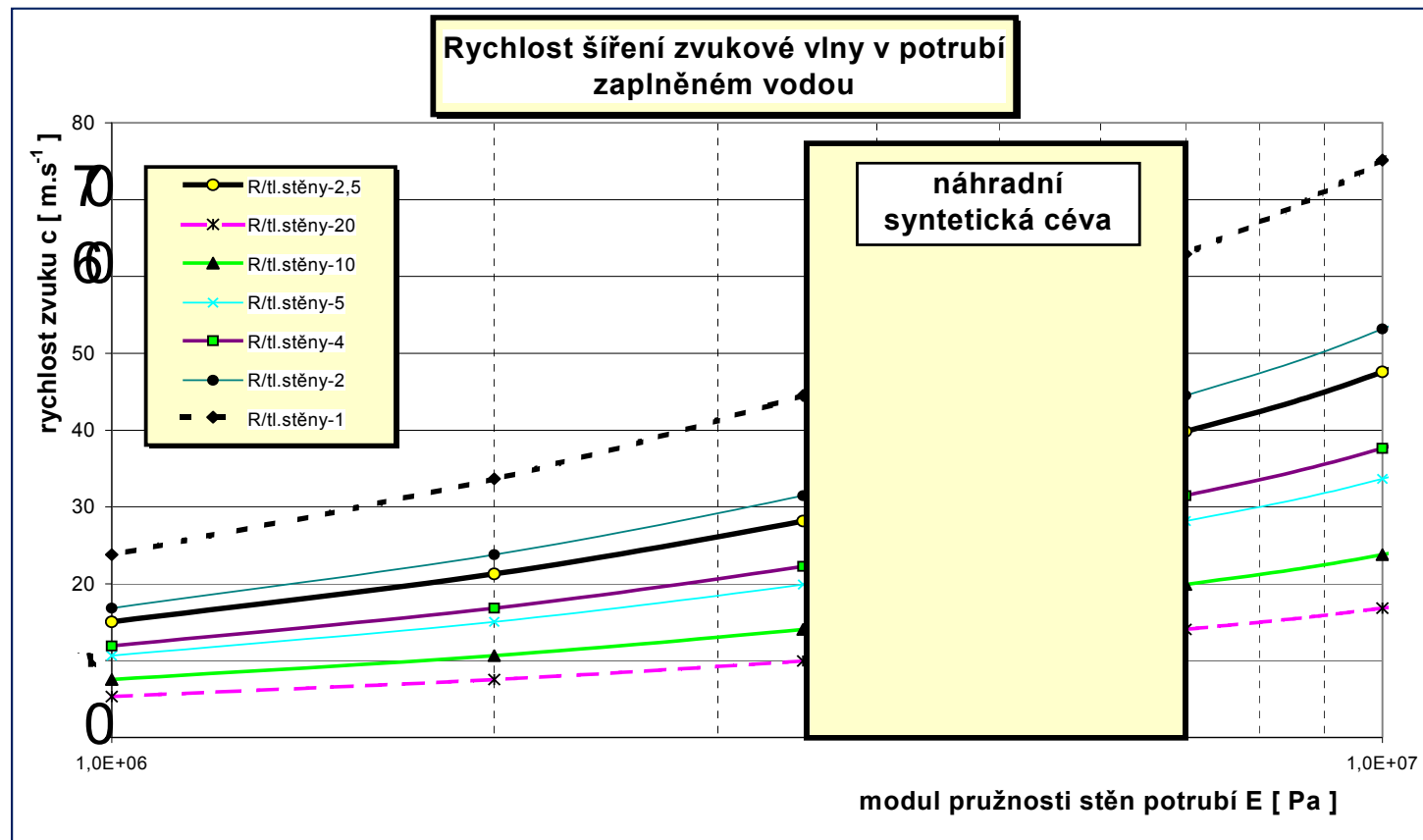
- posoudit chování NM, zejména z hlediska jeho schopnosti přenést energii rázové vlny vyvolané pronikem střely v tkáni
- na základě určení tlakových maxim v cévě stanovit předpokládané účinky střely na vlastní cévu v blízkosti střelného kanálu
- predikovat účinek rázové vlny na cévní systém

Rychlost šíření zvukové vlny v potrubí zaplněném vodou



Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

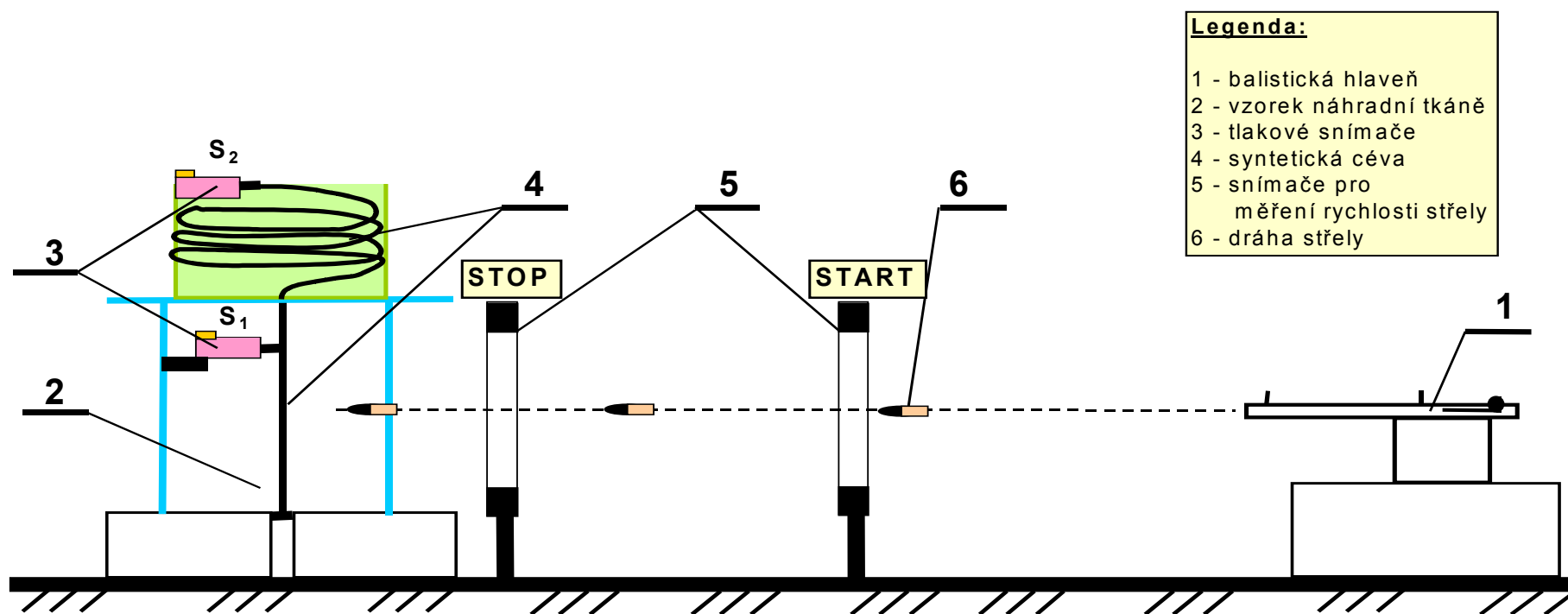
Rychlost šíření zvukové vlny v potrubí zaplněném vodou (DETAIL)



Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Schéma měřicího stanoviště (měřicího řetězce)

Schema měřicího stanoviště



Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Duální měřicí systém tlaku v cévě

1. **záložní větev** – digitální paměťový osciloskop (HP 54 645 A)
2. **hlavní větev** – měřicí počítač

Zbraňové systémy použité v balistickém experimentu

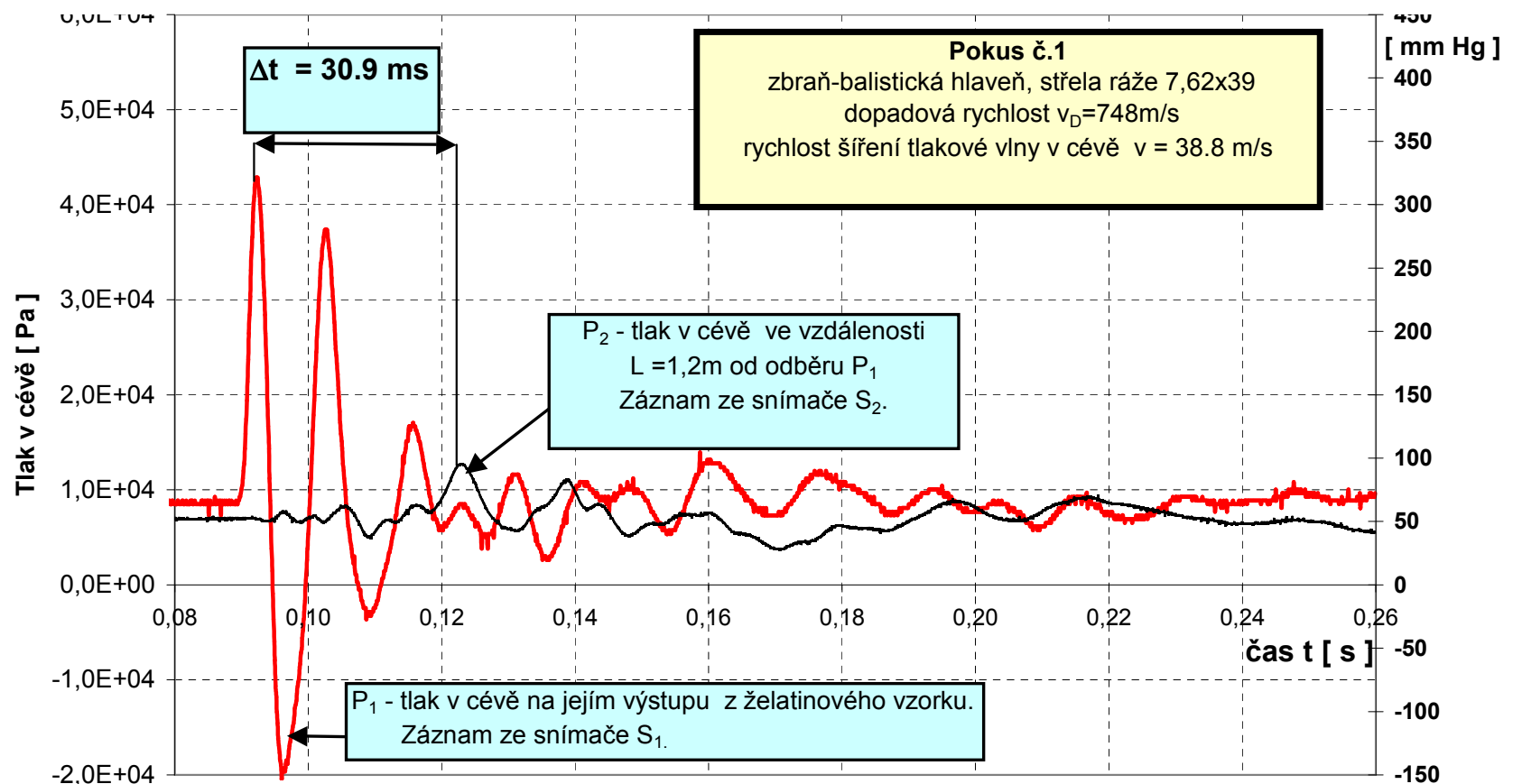
- a) **7,62 x 39 (v AČR vz. 43)** se střelou FMJ
 $m_q = 7,9 \text{ g}$
 $v_3 = 748 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($E_3 = 2\,220 \text{ J}$)
zkušební balistická hlaveň ($L_{HL} = 520 \text{ mm}$)
 $X = 5 \text{ m}$
- b) **357 Magnum Eldorado (PMC)** s expanzivní střelou
 $m_q = 9,73 \text{ g}$
 $v_1 = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($E_1 = 560 \text{ J}$)
revolver „Taurus“ s 3 “ hlavní
 $X = 3 \text{ m}$

Řez homogenním fyzikálním modelem s umělou cévou
v místě paralelních střelných kanálů (PP 75/25)



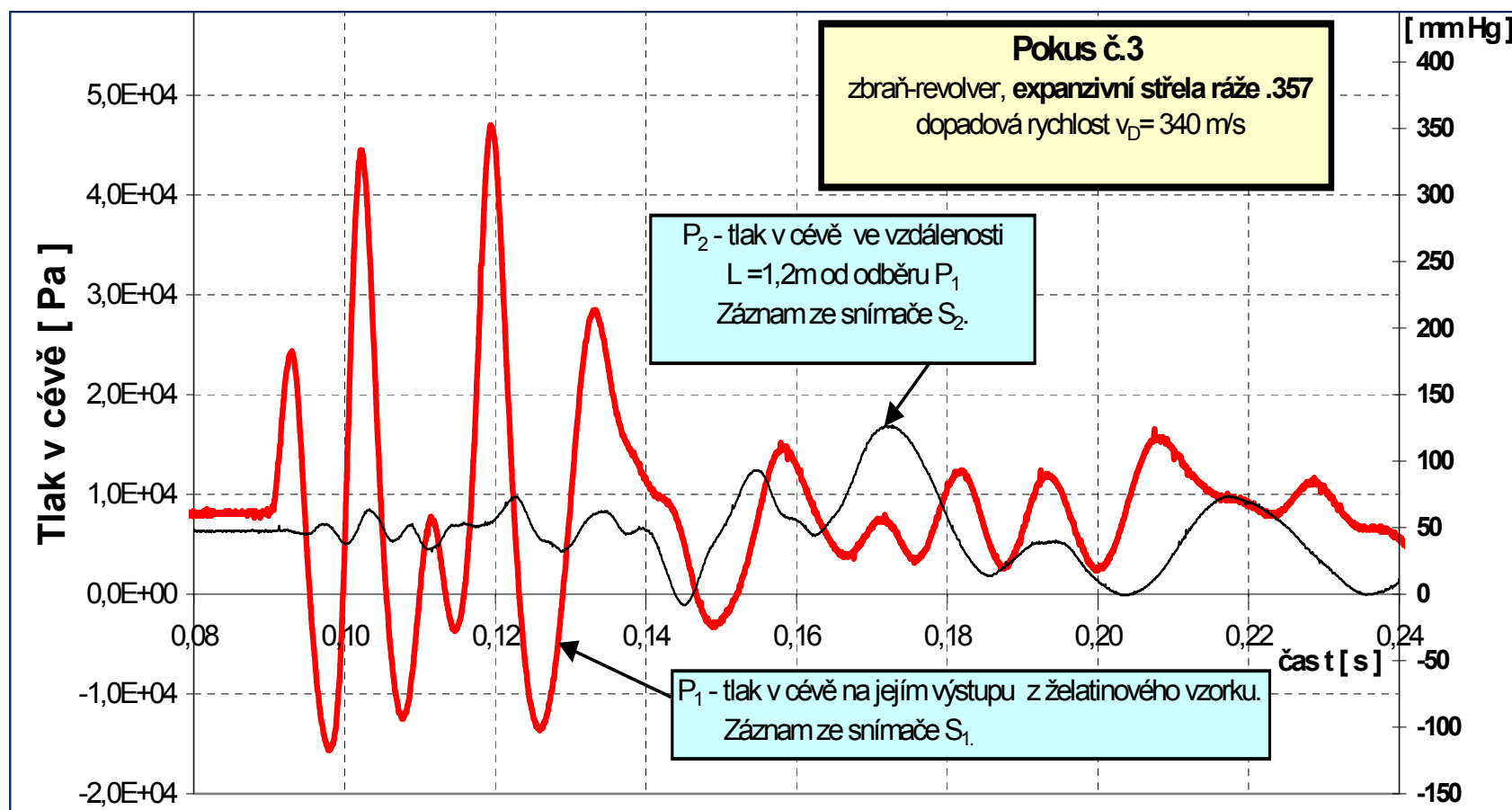
Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Průběh tlaku v cévě při průstřelu želatinového bloku FMJ střelou puškového náboje ráže 7,62 x 39



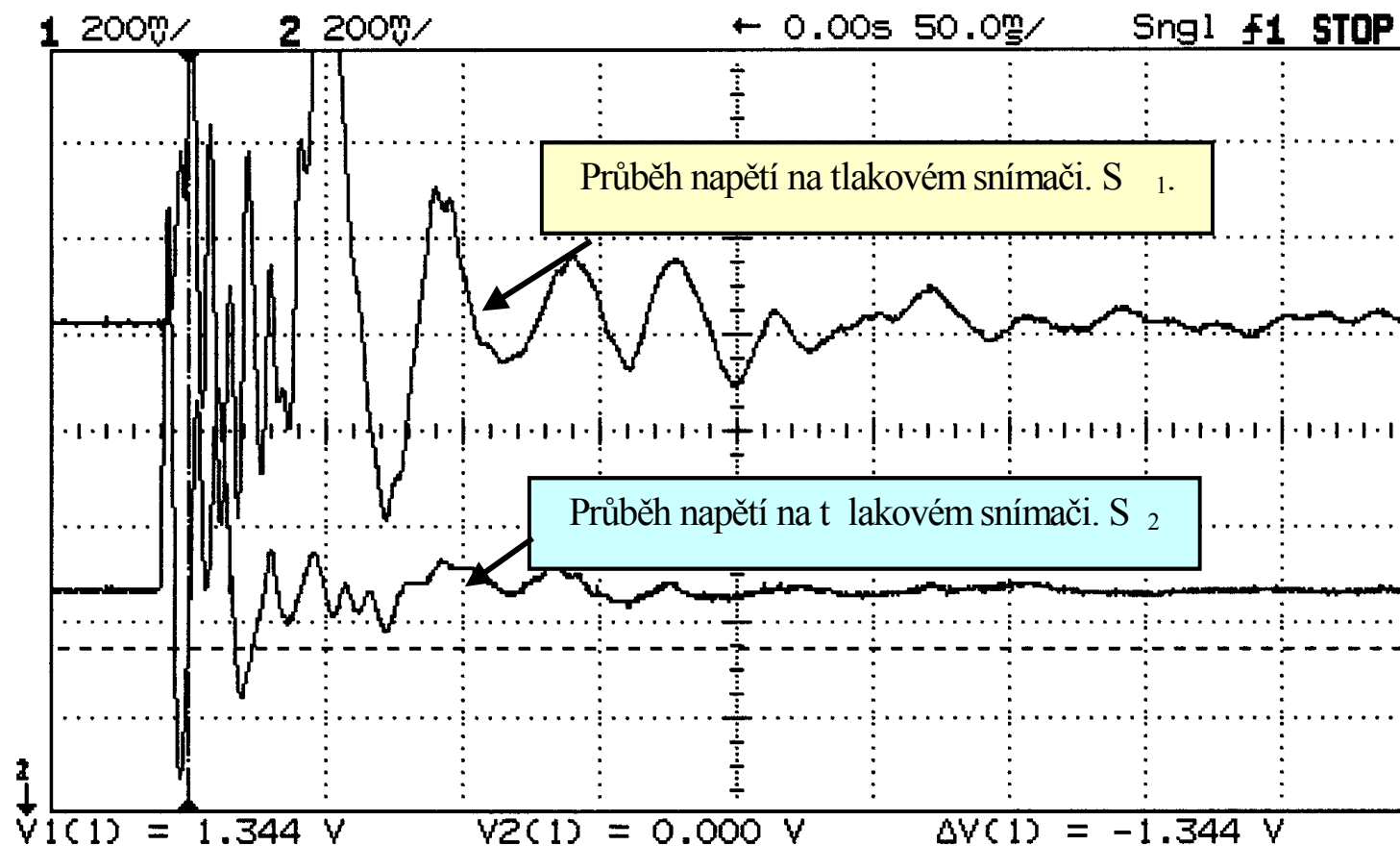
Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Průběh tlaku v cévě při průstřelu želatínového bloku expanzní střelou revolverového náboje ráže .357 Magnum



Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Průběh tlaku v cévě při průstřelu zkušebního plastelínového bloku FMJ střelou puškového náboje ráže 7,62 x 39
(Záznam napětí na osciloskopu HP-54645A)



Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Revolverová střela ráže .357 Magnum s řízenou expanzí

a – po expanzi



b – před expanzí

Fyzikální substituční fyzikální modely
v experimentální ranivé balistice

Lékařské hodnocení účinků rázové vlny

a) U vlastní cévy:

- poškození endotelu (cévní výstelky) s možností mikro - embolizace a jizvení tepny,
- odtržení arterosklerotického plátu,
- poškození periferních cév.

b) U organismu:

- prohloubení hemoragického šoku reflexním mechanismem při poškození tepny v důsledku krevních ztrát.



Děkuji za pozornost !

ludvik.juricek@gmail.com

www.forensic.sk