

Priloha 1

Vypocet rovníc vnitrni balistiky, bez uvazovani ztrat

Vstupni parametry

[> Restart; Restart (1.1.1.1)

Pocatecni tlak [Pa]

[> $p_0 := 40000000$; $p_0 := 40000000$ (1.1.1.2)

Hmotnost prachove naplne [kg]

[> $\omega := 0.1485$; $\omega := 0.1485$ (1.1.1.3)

Pocatecni objem spalovaciho prostoru [m^3]

[> $c_0 := 0.00024$; $c_0 := 0.00024$ (1.1.1.4)

Kovolum prachovych plynu [$m^3 \cdot kg^{-1}$]

[> $\alpha := 0.905e-3$; $\alpha := 0.000905$ (1.1.1.5)

Hustota prachove masy [$kg \cdot m^{-3}$]

[> $\delta := 1600$; $\delta := 1600$ (1.1.1.6)

Merna energie prachu [$J \cdot kg^{-1}$]

[> $f := 0.830e6$; $f := 8.30 \cdot 10^5$ (1.1.1.7)

Geometricka charakteristika prachoveho zrna

[> $\kappa := 1.25$; $\kappa := 1.25$ (1.1.1.8)

Delka hlavne [m]

[> $l_u := 6$; $l_u := 6$ (1.1.1.9)

Raze [m]

[> $d := 0.0298$; $d := 0.0298$ (1.1.1.10)

Hmotnost strely [kg]

[> $m_q := 0.295$; $m_q := 0.295$ (1.1.1.11)

Vybuchova teplota prachu [K]

[> $T_v := 3175$; $T_v := 3175$ (1.1.1.12)

Plocha prurezu vyvrtu hlavne [m^2]

[> $s := 0.0007053$; $s := 0.0007053$ (1.1.1.13)

Soucinitel pasivních odporu strely

$$\begin{aligned} & \triangleright k_{\varphi} := 1.03; \\ & k_1 := 1.03 \end{aligned} \quad (1.1.1.14)$$

Celkový impuls tlaku prachových plynů $[Pa \cdot s] I_K \rightarrow P_K$

$$\begin{aligned} & \triangleright P_K := 262038.29; \\ & P_K := 2.6203829 \cdot 10^5 \end{aligned} \quad (1.1.1.15)$$

Parametr expanze

$$\begin{aligned} & \triangleright \Theta := 0.25; \\ & \Theta := 0.25 \end{aligned} \quad (1.1.1.16)$$

Soucinitel rozšíření spalovacího prostoru

$$\begin{aligned} & \triangleright \varkappa := 1.125; \\ & \varkappa := 1.125 \end{aligned} \quad (1.1.1.17)$$

Resic

Výpočet konstant

$$\begin{aligned} & \triangleright k_{zstr} := \frac{c_0}{l_u \cdot s} \cdot \left(\frac{l_u \cdot s}{c_0} + \left(\frac{1}{\varkappa} - 1 \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{l_u \cdot s}{c_0} \right) \right); \\ & k_{zstr} := 0.9815687108 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.1)$$

Fiktivní hmotnost

$$\begin{aligned} & \triangleright \varphi := 1; \\ & \varphi := 1 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.2)$$

[m]

$$\begin{aligned} & \triangleright l_D := \frac{c_0}{s} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{c_0 \cdot \delta} \right); \\ & l_D := 0.2086877924 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.3)$$

[m]

$$\begin{aligned} & \triangleright l_l := \frac{c_0}{s} \cdot \left(1 - \frac{\alpha \cdot \omega}{c_0} \right); \\ & l_l := 0.1497341557 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.4)$$

[m]

$$\begin{aligned} & \triangleright l_{pom} := \frac{c_0 \cdot \left(2 - \frac{\omega}{c_0} \cdot \left(\frac{1}{\delta} + \alpha \right) \right)}{2 \cdot s}; \\ & l_{pom} := 0.1792109740 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.5)$$

1. Zážeh

$$\begin{aligned} & \triangleright \psi_0 := \frac{\frac{c_0}{\omega} - \frac{1}{\delta}}{\frac{f}{p_0} + \alpha - \frac{1}{\delta}}; \\ & \psi_0 := 0.04713084242 \end{aligned} \quad (1.1.2.2.1)$$

$$\begin{aligned} & \triangleright z_0 := \frac{\psi_0}{\kappa}; \end{aligned}$$

$$z_0 := 0.03770467394 \quad (1.1.2.2.2)$$

2. Dohoreni prachove naplne

Rychlost po dohoreni vymetne naplne $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

$$> v_K := \frac{s \cdot P_K}{\varphi \cdot m_q} \cdot (1 - z_0);$$

$$v_K := 602.8718430 \quad (1.1.2.3.1)$$

Pomocny vypocet [J]

$$> a := f \cdot \omega \cdot \kappa;$$

$$a := 1.54068750 \cdot 10^5 \quad (1.1.2.3.2)$$

Pomocny vypocet [J]

$$> j := \varphi \cdot m_q \cdot (v_K)^2;$$

$$j := 1.072190654 \cdot 10^5 \quad (1.1.2.3.3)$$

Konstanta

$$> b := \frac{1 - \kappa}{\kappa} - \frac{\Theta \cdot \varphi \cdot m_q \cdot (v_K)^2}{2 \cdot f \cdot \omega \cdot \kappa};$$

$$b := -0.2869896276 \quad (1.1.2.3.4)$$

Konstanta

$$> k := \frac{j}{a \cdot b};$$

$$k := -2.424885617 \quad (1.1.2.3.5)$$

Konstanta

$$> M := 1 - k;$$

$$M := 3.424885617 \quad (1.1.2.3.6)$$

Pomocny vypocet [Pa]

$$> A := \frac{f \cdot \omega \cdot \kappa}{s \cdot l_{pom}} \cdot (1 + b \cdot z_0)^k;$$

$$A := 1.251508409 \cdot 10^9 \quad (1.1.2.3.7)$$

Limitni rychlost $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

$$> v_{\text{lim}} := \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot \omega}{\Theta \cdot \varphi \cdot m_q}};$$

$$v_{\text{lim}} := 1828.252847 \quad (1.1.2.3.8)$$

Pomer limitni rychlosti ku rychlosti po dohoreni v. n.

$$> v_K := \frac{v_K}{v_{\text{lim}}};$$

$$v_K := 0.3297529901 \quad (1.1.2.3.9)$$

Urazena vzdalenost po dohoreni vymetne naplne [m]

$$> l_K := l_{pom} \cdot \left(\left(\frac{1 + b}{1 + b \cdot z_0} \right)^k - 1 \right);$$

$$l_K := 0.2171881344 \quad (1.1.2.3.10)$$

Tlak plynu po dohoreni vymetne naplne [MPa]

$$> p_K := \frac{A \cdot (1 + b)^{1-k}}{1000000};$$

$$p_K := 392.9197452$$

(1.1.2.3.11)

Teplota plynu po dohoreni vymetne naplne [K]

$$> T_K := T_v \cdot \left(1 - \left(\frac{v_K}{v_{\text{lim}}} \right)^2 \right);$$

$$T_K := 2829.759915$$

(1.1.2.3.12)

3. Misto maximalnich tlaku

$$> z_m := -\frac{1}{b \cdot (2 - k)};$$

$$z_m := 0.7874658894$$

(1.1.2.4.1)

$$> \psi_m := \kappa \cdot z_m + (1 - \kappa) \cdot (z_m)^2;$$

$$\psi_m := 0.8293067300$$

(1.1.2.4.2)

Rychlost v miste maximalniho tlaku [m·s⁻¹]

$$> v_m := v_K \cdot z_m;$$

$$v_m := 474.7410120$$

(1.1.2.4.3)

Urazena vzdalenost v miste maximalniho tlaku [m]

$$> l_m := l_{pom} \cdot \left(\left(\frac{1 + b \cdot z_m}{1 + b \cdot z_0} \right)^k - 1 \right);$$

$$l_m := 0.1456442996$$

(1.1.2.4.4)

Maximalni tlak [MPa]

$$> p_m = \frac{A \cdot z_m \cdot (1 + b \cdot z_m)^{1-k}}{1000000};$$

$$p_m = 409.8514984$$

(1.1.2.4.5)

Teplota pri maximalnim tlaku [K]

$$> T_m := T_v \cdot \left(1 - \frac{1}{\psi_m} \cdot \left(\frac{v_m}{v_{\text{lim}}} \right)^2 \right);$$

$$T_m := 2916.851548$$

(1.1.2.4.6)

4. Parametry na usti hlavne

Rychlost na usti hlavne [m·s⁻¹]

$$> v'_u := v_{\text{lim}} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \left(\frac{v_K}{v_{\text{lim}}} \right)^2 \right) \cdot \left(\frac{l_l + l_K}{l_l + l'_u} \right)^\Theta};$$

$$v'_u := 1367.541397$$

(1.1.2.5.1)

Tlak na usti hlavne [MPa]

$$> p'_u := p_K \cdot \left(\frac{l_l + l_K}{l_l + l'_u} \right)^{1+\Theta};$$

$$p'_u := 11.58646743$$

(1.1.2.5.2)

[m]

$$\left[\begin{array}{c} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{array} \right] > M_{kkk} := (l_l + l_K) \cdot \left(1 - \left(\mathfrak{v}_K \right)^2 \right)^{\frac{1}{\Theta}} ;$$

$M_{kkk} := 0.2315248110$

(1.1.2.5.3)

Priloha 2

Vypocet rovníc vnitřní balistiky

Vstupní parametry

$$\begin{aligned} & \text{[} > \text{Restart;} \\ & \text{Restart} \end{aligned} \quad (1.1.1.1)$$

Pocateční tlak [Pa]

$$\begin{aligned} & \text{[} > p_0 := 40000000; \\ & p_0 := 40000000 \end{aligned} \quad (1.1.1.2)$$

Hmotnost prachové náplně [kg]

$$\begin{aligned} & \text{[} > \omega := 0.1352; \\ & \omega := 0.1352 \end{aligned} \quad (1.1.1.3)$$

Pocateční objem spalovacího prostoru [m^3]

$$\begin{aligned} & \text{[} > c_0 := 0.0001905; \\ & c_0 := 0.0001905 \end{aligned} \quad (1.1.1.4)$$

Kovolum prachových plynů [$m^3 \cdot kg^{-1}$]

$$\begin{aligned} & \text{[} > \alpha := 0.05e-3; \\ & \alpha := 0.00005 \end{aligned} \quad (1.1.1.5)$$

Hustota prachové hmoty [$kg \cdot m^{-3}$]

$$\begin{aligned} & \text{[} > \delta := 1620; \\ & \delta := 1620 \end{aligned} \quad (1.1.1.6)$$

Merná energie prachu [$J \cdot kg^{-1}$]

$$\begin{aligned} & \text{[} > f := 0.92e6; \\ & f := 9.2 \cdot 10^5 \end{aligned} \quad (1.1.1.7)$$

Tvar zrna, parametr κ_1

$$\begin{aligned} & \text{[} > F := 2 + \frac{1.5}{100}; \\ & F := 2.015000000 \end{aligned} \quad (1.1.1.8)$$

Tvar zrna, parametr $\kappa_1 \cdot \lambda_1$

$$\begin{aligned} & \text{[} > G := - \left(1 + 2 \cdot \frac{1.5}{100} \right); \\ & G := -1.030000000 \end{aligned} \quad (1.1.1.9)$$

Tvar zrna, parametr $\kappa_1 \cdot \mu_1$

$$\begin{aligned} & \text{[} > H := \frac{1.5}{100}; \\ & H := 0.01500000000 \end{aligned} \quad (1.1.1.10)$$

Delka hlavne [m]

$$\begin{aligned} & \text{[} > l_u := 4.5; \\ & l_u := 4.5 \end{aligned} \quad (1.1.1.11)$$

Raze [m]

$$\begin{aligned} & \text{[} > d := 0.0298; \\ & d := 0.0298 \end{aligned} \quad (1.1.1.12)$$

Hmotnost strely [kg]

$$\begin{aligned} & \text{[> } m_q := 0.295; \\ & \qquad \qquad \qquad m_q := 0.295 \end{aligned} \quad (1.1.1.13)$$

Vybuchova teplota prachu [K]

$$\begin{aligned} & \text{[> } T_v := 3175; \\ & \qquad \qquad \qquad T_v := 3175 \end{aligned} \quad (1.1.1.14)$$

Plocha prurezu vyvrtu hlavne [m^2]

$$\begin{aligned} & \text{[> } s := 0.0007053; \\ & \qquad \qquad \qquad s := 0.0007053 \end{aligned} \quad (1.1.1.15)$$

Soucinitel pasivnich odporu strely

$$\begin{aligned} & \text{[> } k_\varphi := 1.03; \\ & \qquad \qquad \qquad k_{1.171255573} := 1.03 \end{aligned} \quad (1.1.1.16)$$

Celkovy impuls tlaku prachovych plynu [$Pa \cdot s$] $I_K \rightarrow P_K$

$$\begin{aligned} & \text{[> } P_K := 269745.3; \\ & \qquad \qquad \qquad P_K := 2.697453 \cdot 10^5 \end{aligned} \quad (1.1.1.17)$$

Parametr expanze

$$\begin{aligned} & \text{[> } \Theta := 0.2; \\ & \qquad \qquad \qquad \Theta := 0.2 \end{aligned} \quad (1.1.1.18)$$

Soucinitel rozsireni spalovaciho prostoru

$$\begin{aligned} & \text{[> } \varkappa := 1.75; \\ & \qquad \qquad \qquad \varkappa := 1.75 \end{aligned} \quad (1.1.1.19)$$

Resic

Vypocet konstant

Funkce 1

$$\begin{aligned} & \text{[> } \kappa := F + G \cdot 0.5 + H \cdot 0.25 \\ & \qquad \qquad \qquad \kappa := 1.503750000 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.1)$$

Funkce 2

$$\begin{aligned} & \text{[> } \kappa\lambda := G \cdot 0.5 + H \cdot 0.75 \\ & \qquad \qquad \qquad \kappa\lambda := -0.5037500000 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.2)$$

Lambda

$$\begin{aligned} & \text{[> } \lambda := \frac{\kappa\lambda}{\kappa} \\ & \qquad \qquad \qquad \lambda := -0.3349958437 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.3)$$

$$\begin{aligned} & \text{[> } k_{xstr} := \frac{c_0}{l_u \cdot s} \cdot \left(\frac{l_u \cdot s}{c_0} + \left(\frac{1}{\varkappa} - 1 \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{l_u \cdot s}{c_0} \right) \right); \\ & \qquad \qquad \qquad k_{xstr} := 0.9261388449 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.4)$$

Fiktivni hmotnost

$$\begin{aligned} & \text{[> } \varphi := k_\varphi + \frac{1}{3} \cdot k_{xstr} \cdot \frac{\omega}{m_q}; \\ & \qquad \qquad \qquad \varphi := 1.171484714 \end{aligned} \quad (1.1.2.1.5)$$

[m]

$$> l_D := \frac{c_0}{s} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{c_0 \cdot \delta} \right);$$

$l_D := 0.1517697574$ (1.1.2.1.6)

[m]

$$> l_l := \frac{c_0}{s} \cdot \left(1 - \frac{\alpha \cdot \omega}{c_0} \right);$$

$l_l := 0.2605132568$ (1.1.2.1.7)

[m]

$$> l_{pom} := \frac{c_0 \cdot \left(2 - \frac{\omega}{c_0} \cdot \left(\frac{1}{\delta} + \alpha \right) \right)}{2 \cdot s};$$

$l_{pom} := 0.2061415070$ (1.1.2.1.8)

1. Zazeh

$$> \psi_0 := \frac{\frac{c_0}{\omega} - \frac{1}{\delta}}{\frac{f}{p_0} + \alpha - \frac{1}{\delta}};$$

$\psi_0 := 0.03529397495$ (1.1.2.2.1)

$$> B := \text{solve} \left(F \cdot z_0 + G \cdot z_0^2 - \psi_0, z_0 \right);$$

$B := 0.01767531727, 1.938635362$ (1.1.2.2.2)

$$> J := ((1.1.2.2.2)) [2];$$

$J := 1.938635362$ (1.1.2.2.3)

$$> L := ((1.1.2.2.2)) [1];$$

$L := 0.01767531727$ (1.1.2.2.4)

z_0 je pro dalsi vypocty nahrazeno promenou C

$$> \text{if } L < 1 \text{ and } L > 0 \text{ then } C := L \text{ elif } J < 1 \text{ and } J > 0 \text{ then } C := J \text{ end if}$$

$C := 0.01767531727$ (1.1.2.2.5)

2. Dohoreni prachove naplne

Rychlost po dohoreni vymetne naplne [m·s⁻¹]

$$> v_K := \frac{s \cdot P_K}{\varphi \cdot m_q} \cdot (1 - C);$$

$v_K := 540.7844369$ (1.1.2.3.1)

Pomocny vypocet [J]

$$> a := f \cdot \omega \cdot \kappa;$$

$a := 1.870424400 \cdot 10^5$ (1.1.2.3.2)

Pomocny vypocet [J]

$$> j := \varphi \cdot m_q \cdot (v_K)^2;$$

$j := 1.010664500 \cdot 10^5$ (1.1.2.3.3)

Konstanta

$$> b := \lambda - \frac{\Theta \cdot j}{2 \cdot a};$$

	$b := -0.3890298106$	(1.1.2.3.4)
Konstanta		
	$k := \frac{j}{a \cdot b};$	
	$k := -1.388941551$	(1.1.2.3.5)
Konstanta		
	$M := 1 - k;$	
	$M := 2.388941551$	(1.1.2.3.6)
Pomocny vypocet [Pa]		
	$A := \frac{f \cdot \omega \cdot \kappa}{s \cdot l_{pom}} \cdot (1 + b \cdot C)^k;$	
	$A := 1.298861849 \cdot 10^9$	(1.1.2.3.7)
Limitni rychlost [m·s ⁻¹]		
	$v_{lim} := \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot \omega}{\Theta \cdot \varphi \cdot m_q}};$	
	$v_{lim} := 1897.155540$	(1.1.2.3.8)
Pomer limitni rychlosti ku rychlosti po dohoreni v. n.		
	$v_K := \frac{v_K}{v_{lim}};$	
	$v_K := 0.2850501319$	(1.1.2.3.9)
Urazena vzdalenost po dohoreni vymetne naplne [m]		
	$l_K := l_{pom} \cdot \left(\left(\frac{1 + b}{1 + b \cdot C} \right)^k - 1 \right);$	
	$l_K := 0.1986291292$	(1.1.2.3.10)
Tlak plynu po dohoreni vymetne naplne [MPa]		
	$p_K := \frac{A \cdot (1 + b)^{1-k}}{1000000};$	
	$p_K := 400.2923558$	(1.1.2.3.11)
Teplota plynu po dohoreni vymetne naplne [K]		
	$T_K := T_v \cdot \left(1 - \left(\frac{v_K}{v_{lim}} \right)^2 \right);$	
	$T_K := 2917.019891$	(1.1.2.3.12)
3. Misto maximalnich tlaku		
	$z_m := -\frac{1}{b \cdot (2 - k)};$	
	$z_m := 0.7584955542$	(1.1.2.4.1)
	$\psi_m := \kappa \cdot z_m + (1 - \kappa) \cdot (z_m)^2;$	
	$\psi_m := 0.8507725040$	(1.1.2.4.2)
Rychlost v miste maximalniho tlaku [m·s ⁻¹]		
	$v_m := v_K \cdot z_m;$	
	$v_m := 410.1825912$	(1.1.2.4.3)

Urazena vzdalenost v meste maksimalniho tlaku [m]

$$\begin{aligned} &> l_m := l_{pom} \cdot \left(\left(\frac{1 + b \cdot z_m}{1 + b \cdot C} \right)^k - 1 \right); \\ & \quad \quad \quad l_m := 0.1256963813 \end{aligned} \quad (1.1.2.4.4)$$

Maximalni tlak [MPa]

$$\begin{aligned} &> p_m = \frac{A \cdot z_m \cdot (1 + b \cdot z_m)^{1-k}}{1000000}; \\ & \quad \quad \quad p_m = 427.3018664 \end{aligned} \quad (1.1.2.4.5)$$

Teplota pri maksimalnim tlaku [K]

$$\begin{aligned} &> T_m := T_v \cdot \left(1 - \frac{1}{\psi_m} \cdot \left(\frac{v_m}{v_{lim}} \right)^2 \right); \\ & \quad \quad \quad T_m := 3000.546834 \end{aligned} \quad (1.1.2.4.6)$$

4. Parametry na usti hlavne

Rychlost na usti hlavne [$m \cdot s^{-1}$]

$$\begin{aligned} &> v'_u := v_{lim} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \left(\frac{v_K}{v_{lim}} \right)^2 \right) \cdot \left(\frac{l_l + l_K}{l_l + l'_u} \right)^\Theta}; \\ & \quad \quad \quad v'_u := 1236.048887 \end{aligned} \quad (1.1.2.5.1)$$

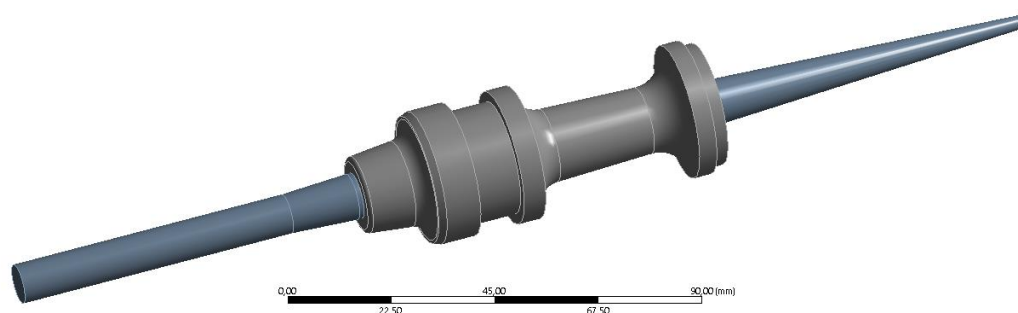
Tlak na usti hlavne [MPa]

$$\begin{aligned} &> p'_u := p_K \cdot \left(\frac{l_l + l_K}{l_l + l'_u} \right)^{1+\Theta}; \\ & \quad \quad \quad p'_u := 24.18408308 \end{aligned} \quad (1.1.2.5.2)$$

[m]

$$\begin{aligned} &> M_{kkk} := (l_l + l_K) \cdot \left(1 - (v_K)^2 \right)^{\frac{1}{\Theta}}; \\ & \quad \quad \quad M_{kkk} := 0.3005562001 \end{aligned} \quad (1.1.2.5.3)$$

VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

PROJEKT:

Topologicky optimalizovaný sabot

TYP ANALÝZY:

Dynamická analýza, celek

DATUM:

22.5.2019

OSTATNÍ:

Příloha 3

POČET STRAN:

10

AUTOR:

Jan Hajda

1. Obsah

2. MODEL	2
2.1. GEOMETRIE	2
2.1.1. <i>Základní informace</i>	2
2.2. MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI	2
2.2.1. <i>Structural Steel</i>	2
2.3. SPOJENÍ	3
2.4.2 <i>Kontakty</i>	3
2.4. SÍŤ PRVKŮ	3
2.4.1. <i>Globální síť</i>	3
2.4.2. <i>Kvalita sítě</i>	4
3. EXPLICITNÍ ŘEŠIČ	5
3.1. NASTAVENÍ ŘEŠIČE	5
3.2. NASTAVENÍ ANALÝZY	6
3.3. ZATÍŽENÍ	6
4. VÝSLEDKY	7
4.1. SOUHRN ENERGIÍ	7
4.2. CELKOVÝ POSUV	8
4.3. POSUV V OSE X	8
4.4. POSUV V OSE Z	8
4.5. CELKOVÁ RYCHLOST	8
4.6. NAPĚTÍ VON-MISES	9
4.6.1. <i>Nejvyšší napětí ve střele</i>	9
4.6.2. <i>Nejvyšší napětí v sabotu</i>	9

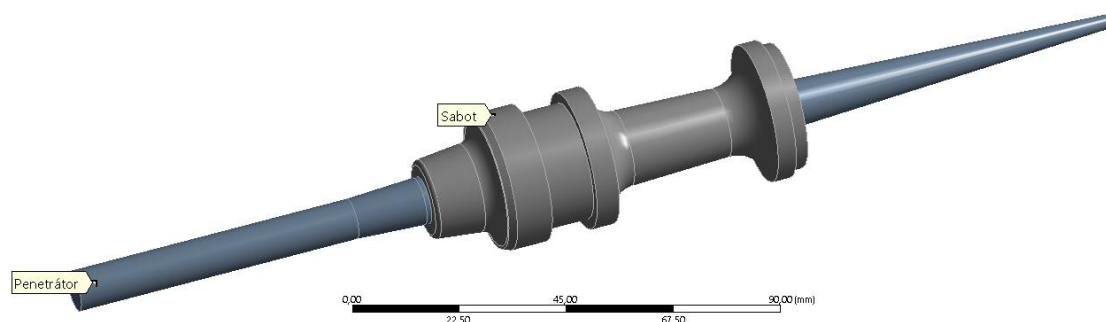
2. Model

2.1. Geometrie

2.1.1. Základní informace

Byl použit materiál Structural Steel

Geometry
22.5.2019 18:49



Obr. 1 Sestava střely

2.2. Materiálové vlastnosti

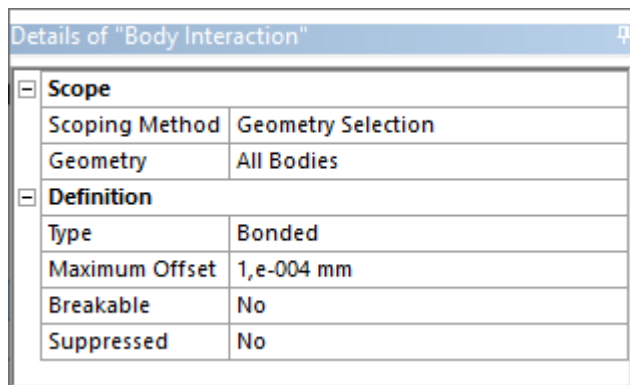
2.2.1. Structural Steel

A	B	C
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	7850	kg m ⁻³
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's ...	
Young's Modulus	2E+11	Pa
Poisson's Ratio	0,3	
Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ ...

Obr. 2 Předdefinované materiálové vlastnosti

2.3. Spojení

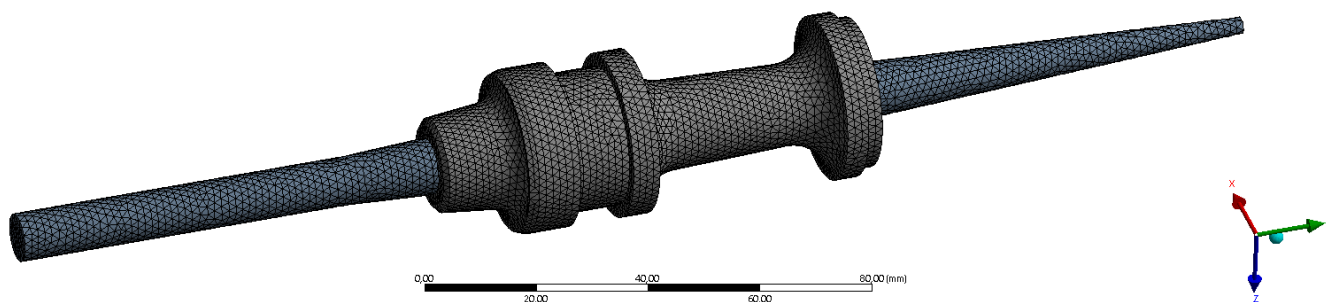
2.4.2 Kontakty



Obr. 3 Body Interaction

2.4. Síť prvků

2.4.1. Globální síť

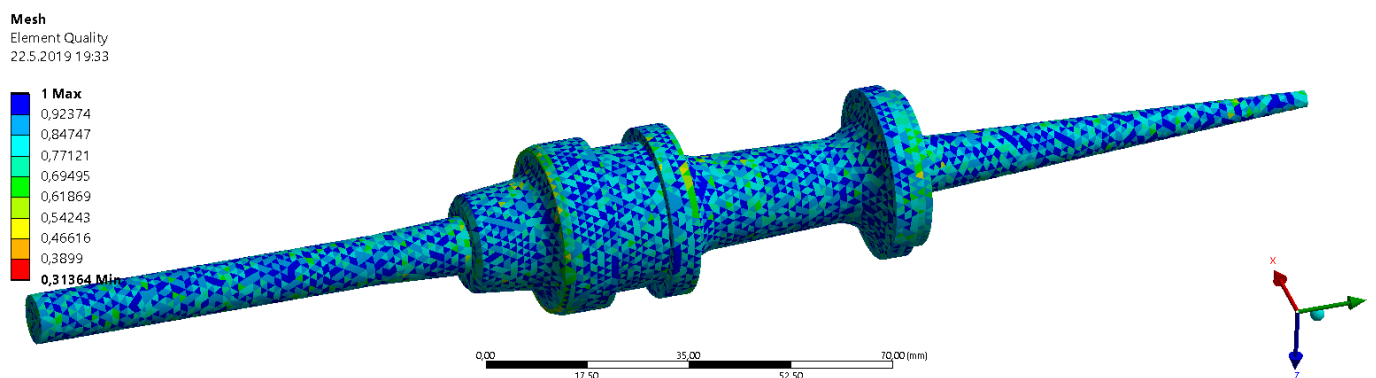


Obr. 4 Pohled na celkově zasítovaný model

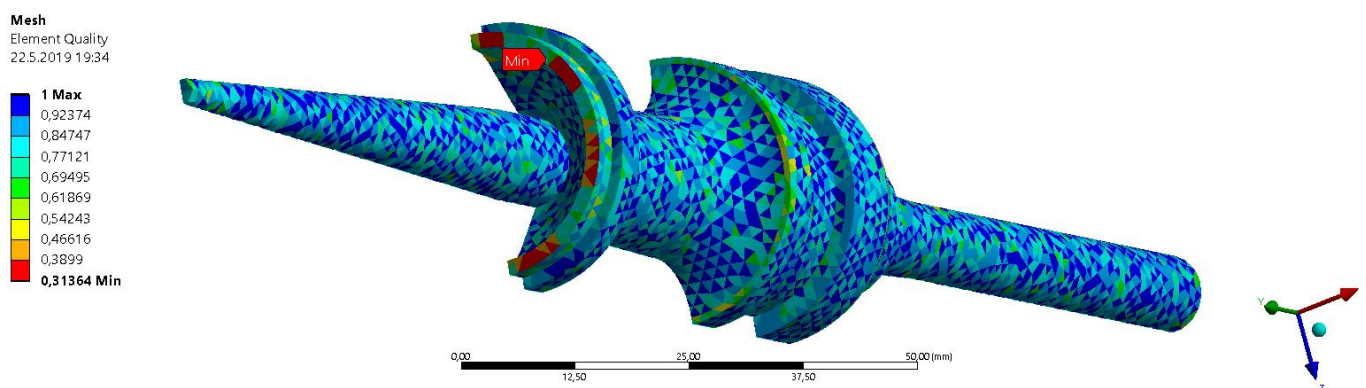
Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	Explicit
Element Order	Linear
☐ Element Size	1,5 mm
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
☐ Nodes	17481
☐ Elements	83803

Obr. 5 Detailní nastavení sítě

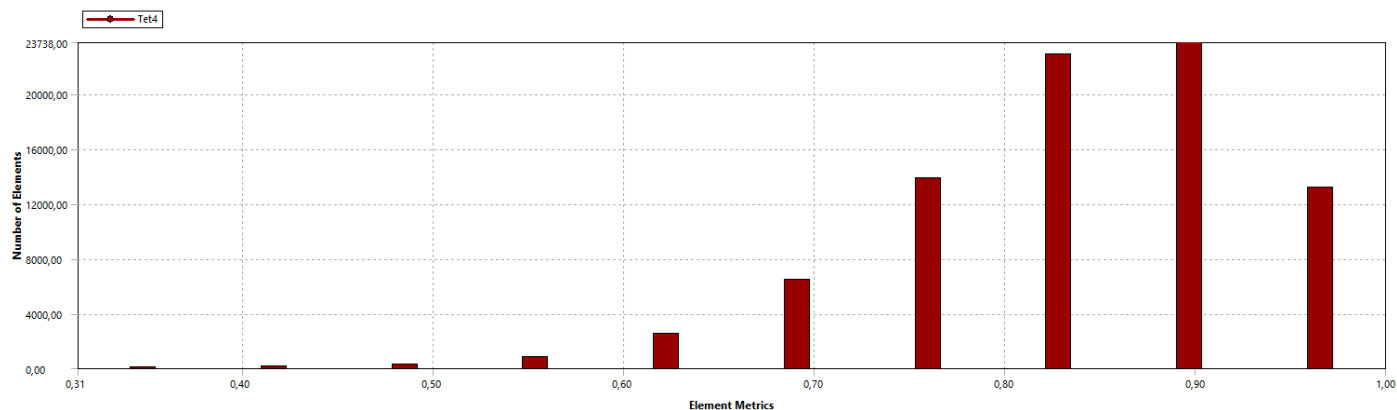
2.4.2. Kvalita sítě



Obr. 6 Kvalita sítě na celkové střele



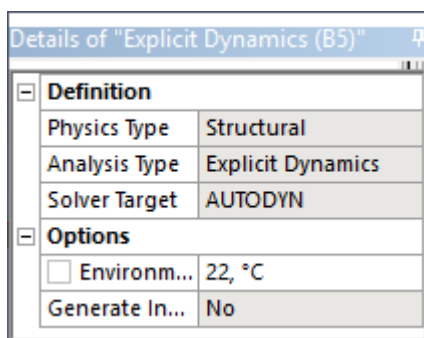
Obr. 7 Kvalita sítě na sabotu (detail)



Obr. 8 Četnost kvality prvků

3. Explicitní řešič

3.1. Nastavení řešiče



Obr. 9 Nastavení řešiče, výchozí teplota

3.2. Nastavení analýzy

Details of "Analysis Settings"	
[-] Analysis Settings Preference	
Type	Program Controlled
[-] Step Controls	
Number Of Steps	1
Current Step Number	1
End Time	6,e-003
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
Maximum Energy Error	1,
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0,9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
[+] Solver Controls	
[+] Euler Domain Controls	
[+] Damping Controls	
[-] Erosion Controls	
On Geometric Strain Limit	Yes
Geometric Strain Limit	1,5
On Material Failure	Yes
On Minimum Element Time Step	No
Retain Inertia of Eroded Material	Yes
[+] Output Controls	
[-] Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\jendy\Desk...
Scratch Solver Files Directory	

Obr. 10 Nastavení analýzy, čas, energetická chyba, vyloučení deformovaných prvků

3.3. Zatížení

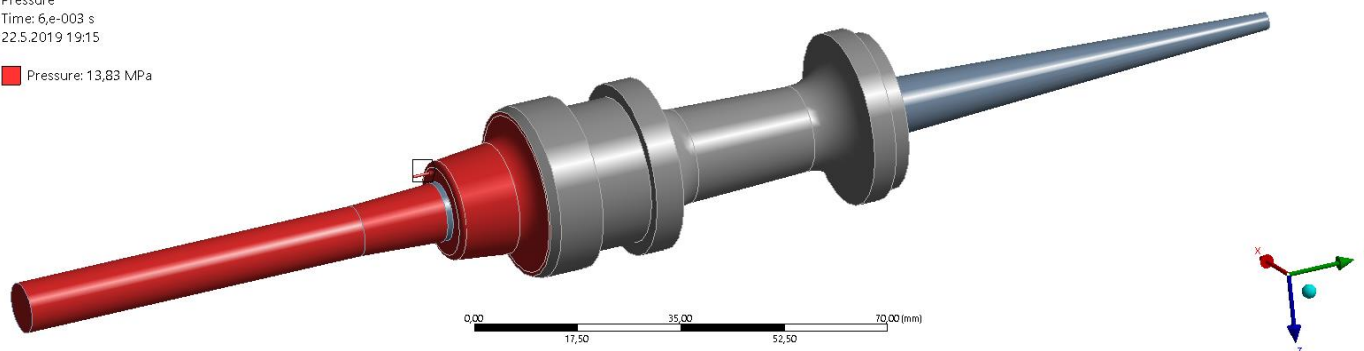
A: Celá střela

Pressure

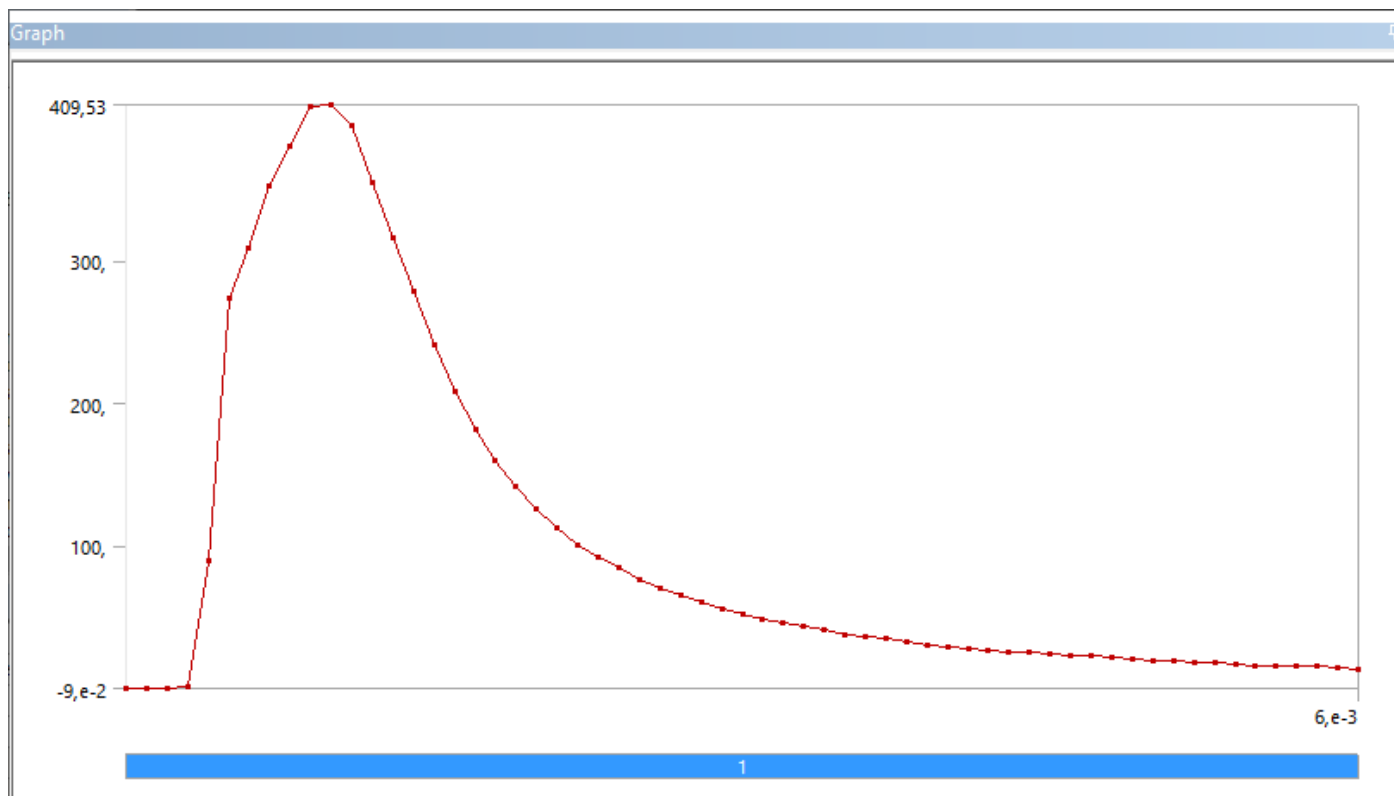
Time: 6,e-003 s

22.5.2019 19:15

Pressure: 13,83 MPa



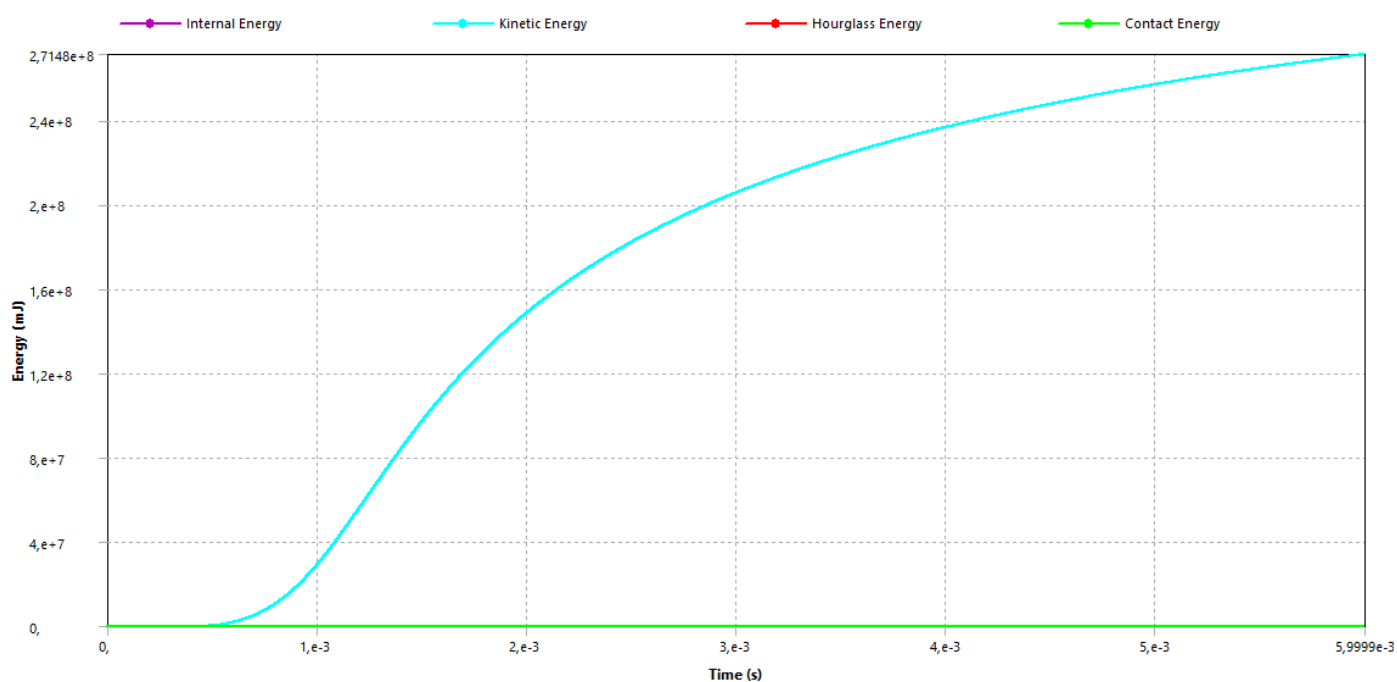
Obr. 11 Hrany zatížené tlakem



Obr. 12 Tlakový průběh

4. Výsledky

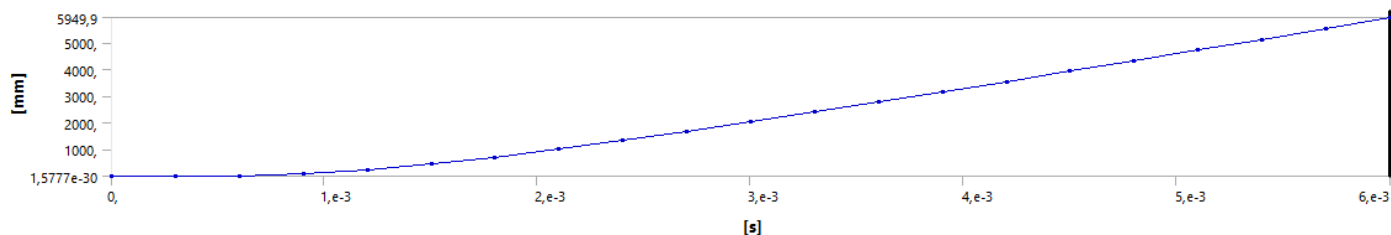
4.1. Souhrn energií



Obr. 13 Kinetická energie (modrá)

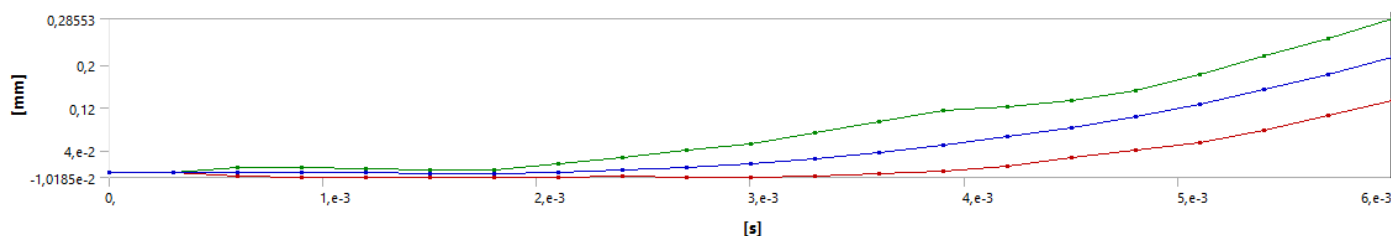
4.2. Celkový posuv

Střela za 0,6 ms urazí 5,949 m.



Obr. 14 Deformace střely za čas

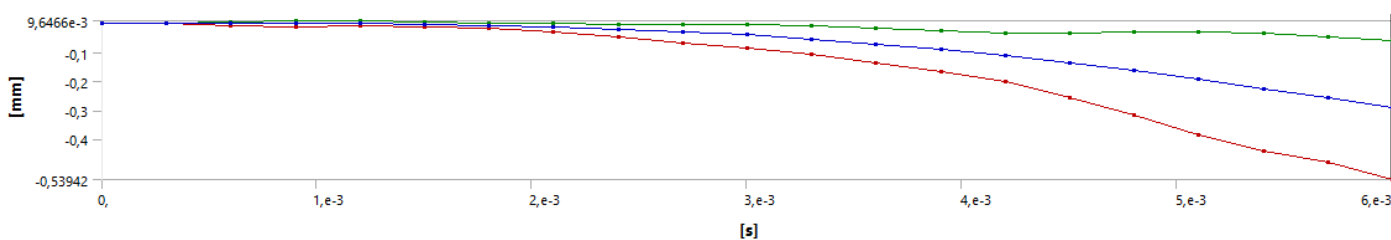
4.3. Posuv v ose X



Obr. 15 Posuv v ose X

4.4. Posuv v ose Z

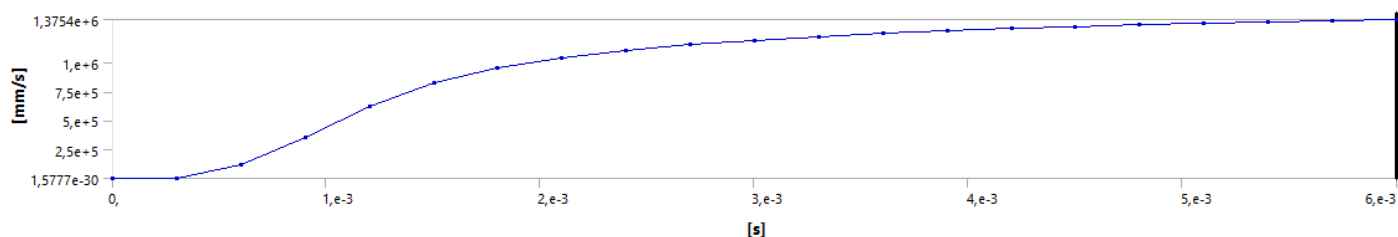
Z posuvu X a Z je patrné, že střela se v čase 6 ms vychýlí z dráhy o necelý milimetr bez použití vazeb.



Obr. 16 Posuv v ose Z

4.5. Celková rychlost

Střela dosáhne rychlosti 1375 m/s na ústí hlavně.



Obr. 17 Rychlost střely v závislosti na čase

4.6. Napětí von-Mises

4.6.1. Nejvyšší napětí ve střele

Největší napětí je 493 MPa. Dané napětí se vyskytuje na sabotu i penetrátoru.

A: Celá střela

Equivalent Stress

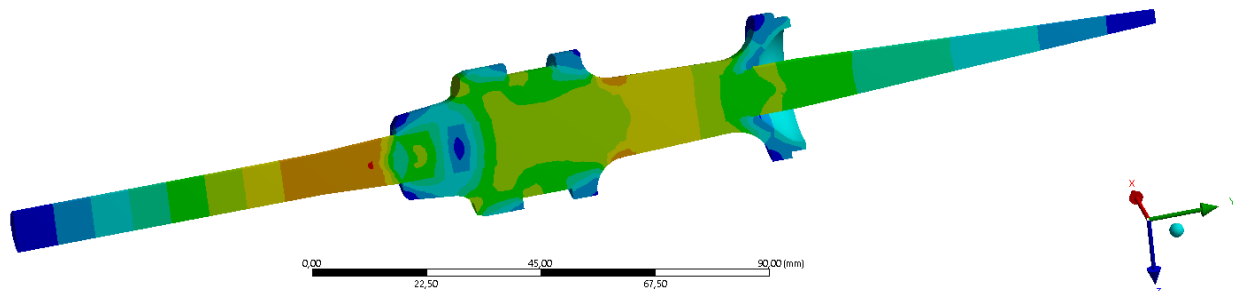
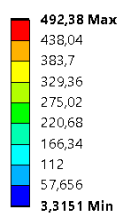
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

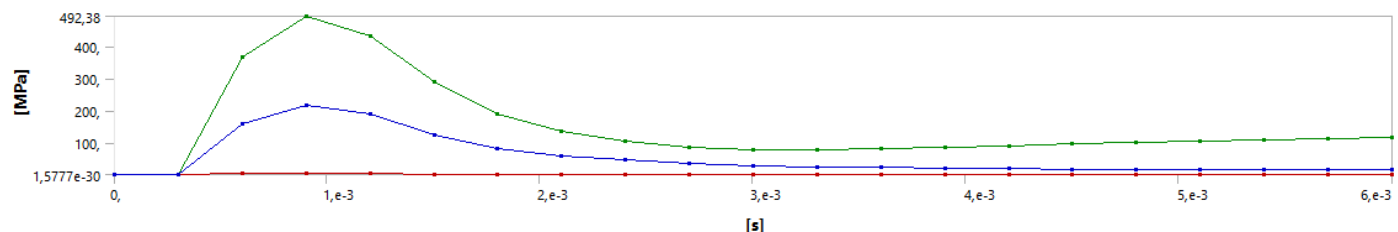
Time: 9,e-004

Cycle Number: 57293

22.5.2019 19:25



Obr. 18 Celková napjatost střely



Obr. 19 Průběh napětí v závislosti na čase

4.6.2. Nejvyšší napětí v sabotu

Největší napětí na sabotu je 493 MPa.

A: Celá střela

Equivalent Stress 2

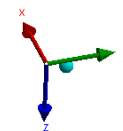
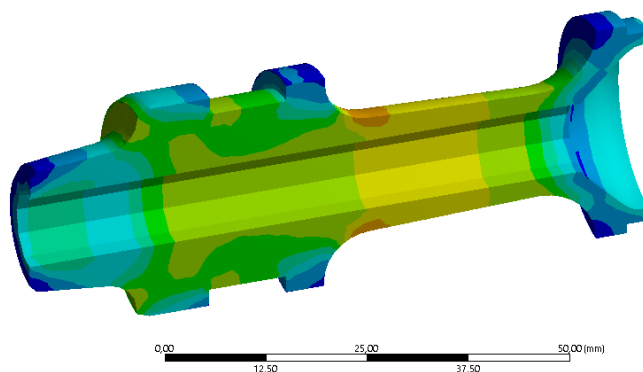
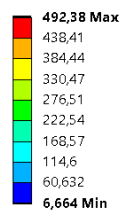
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

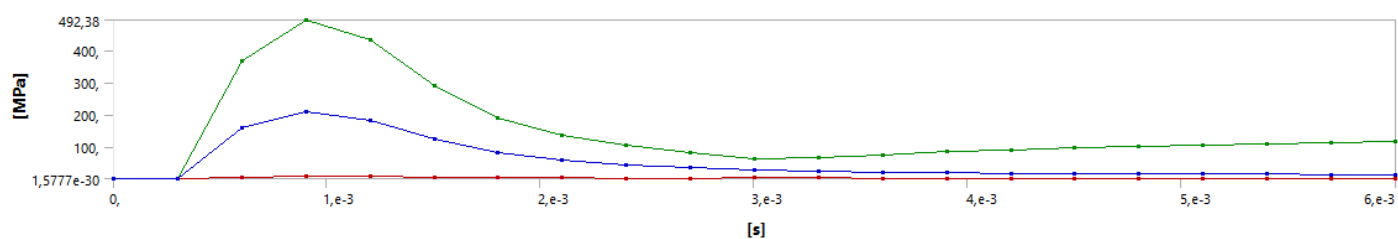
Time: 9,e-004

Cycle Number: 57293

22.5.2019 19:26

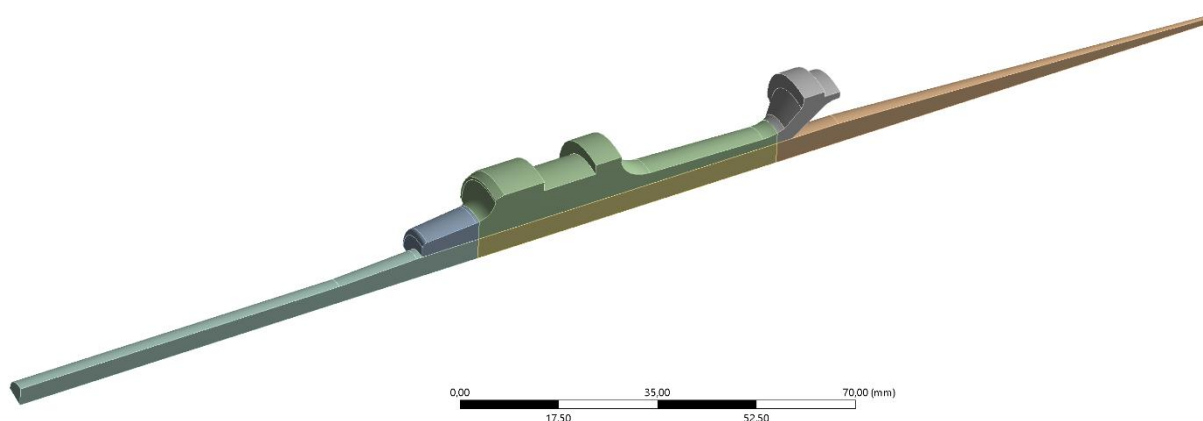


Obr. 20 Celková napjatost sabotu



Obr. 21 Průběh napětí v závislosti na čase

VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

PROJEKT:

Topologicky optimalizovaný sabot

TYP ANALÝZY:

Dynamická analýza, 1/4 model

DATUM:

4.4.2019

OSTATNÍ:

Příloha 4

POČET STRAN:

14

AUTOR:

Jan Hajda

1. Obsah

2. MODEL	2
2.1. GEOMETRIE	2
2.1.1. Základní informace	2
2.2. MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI	2
2.2.1. Structural Steel	2
2.3. SYMETRIE	3
2.3.1. Oblast symetrie 1	3
2.3.2. Oblast symetrie 2	4
2.4. SPOJENÍ	5
2.4.1. Tuhé spojení	5
2.4.2. Kontakt bez tření	6
2.5. SÍŤ PRVKŮ	7
2.5.1. Globální síť	7
2.5.2. Kvalita sítě	8
3. EXPLICITNÍ ŘEŠIČ	9
3.1. NASTAVENÍ ŘEŠIČE	9
3.2. NASTAVENÍ ANALÝZY	9
3.3. ZATÍŽENÍ	10
4. VÝSLEDKY	11
4.1. SOUHRN ENERGÍ	11
4.2. CELKOVÝ POSUV	11
4.3. POSUV V OSE X	12
4.4. POSUV V OSE Z	12
4.5. CELKOVÁ RYCHLOST	12
4.6. NAPĚTÍ VON-MISES	12
4.6.1. Nejvyšší napětí ve střele	12
4.6.2. Nejvyšší napětí v sabotu	13

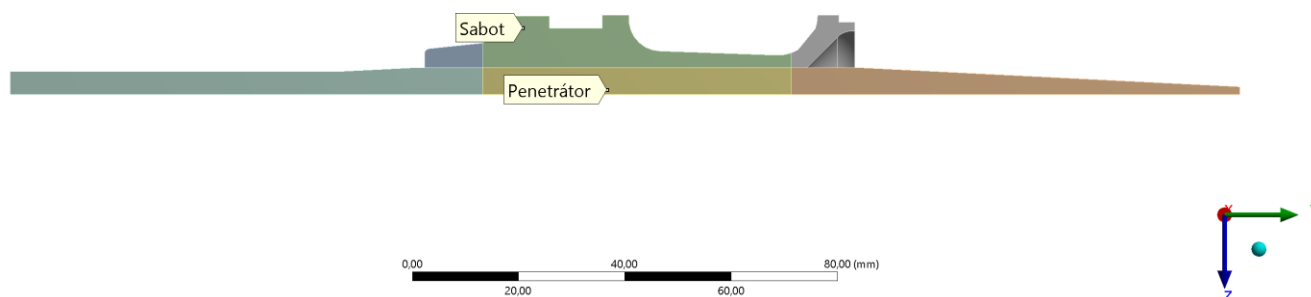
2. Model

2.1. Geometrie

2.1.1. Základní informace

Sabot i penetrátor jsou rozděleny na tři části, které byly spojeny funkcí Shared Topology v modelaři Space Claim. Byl použit materiál Structural Steel

Geometry
4.4.2019 23:28



Obr. 1 Sestava střely

2.2. Materiálové vlastnosti

2.2.1. Structural Steel

A	B	C
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	7850	kg m ⁻³
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's ...	
Young's Modulus	2E+11	Pa
Poisson's Ratio	0,3	
Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ ...

Obr. 2 Předdefinované materiálové vlastnosti

2.3. Symetrie

2.3.1. Oblast symetrie 1

Details of "Symmetry Region"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	6 Faces
Definition	
Scope Mode	Manual
Type	Symmetric
Coordinate System	Global Coordinate System
Symmetry Normal	X Axis
Suppressed	No

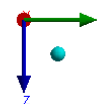
Obr. 3 Symetrie kolmá na osu X

Symmetry Region
23.4.2019 23:25

 Symmetry Region

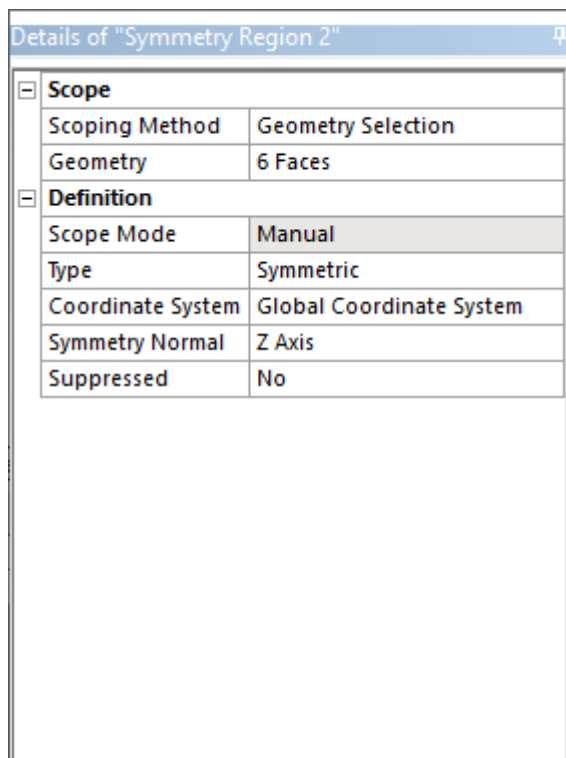


0,00 17,50 35,00 52,50 70,00 (mm)



Obr. 4 Symetrie kolmá na osu X, obrázek

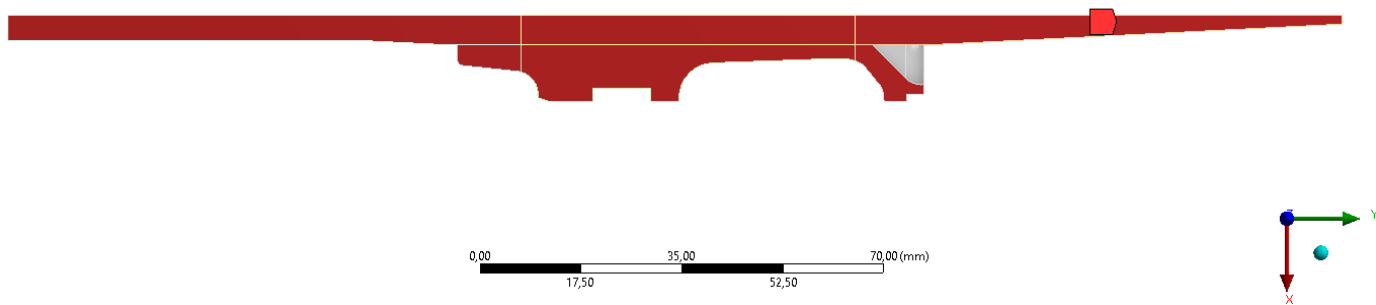
2.3.2. Oblast symetrie 2



Obr. 5 Symetrie kolmá na osu Z

Symmetry Region 2
23.4.2019 23:25

 Symmetry Region 2



Obr. 6 Symetrie kolmá na osu Z, obrázek

2.4. Spojení

2.4.1. Tuhé spojení

Details of "Body Interaction"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Bodies
[-] Definition	
Type	Bonded
Maximum Offset	1,e-004 mm
Breakable	No
Suppressed	No

Obr. 7 Vlastnosti kontaktu

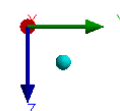
Body Interaction

23.4.2019 22:49

 Body Interaction

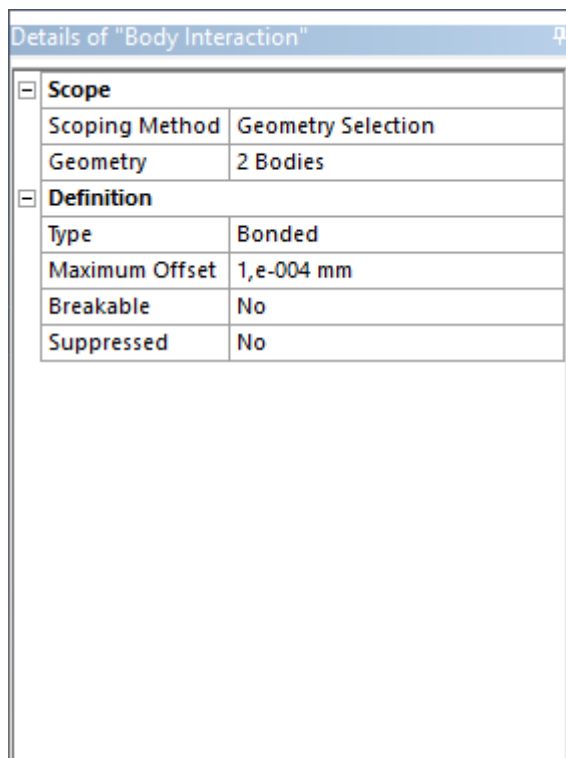


0,00 20,00 40,00 60,00 80,00 (mm)



Obr. 8 Definované plochy

2.4.2 Kontakt bez tření

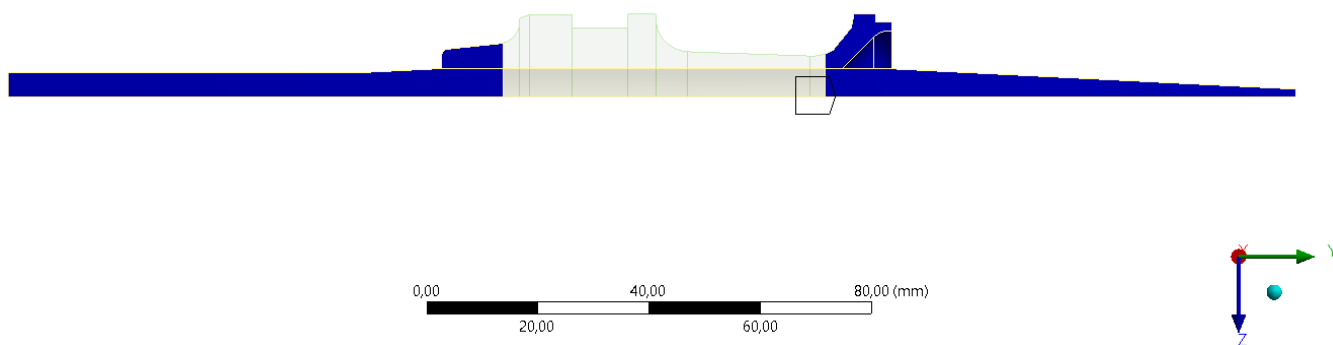


Obr. 9 Vlastnosti kontaktu

Body Interaction 2

23.4.2019 22:50

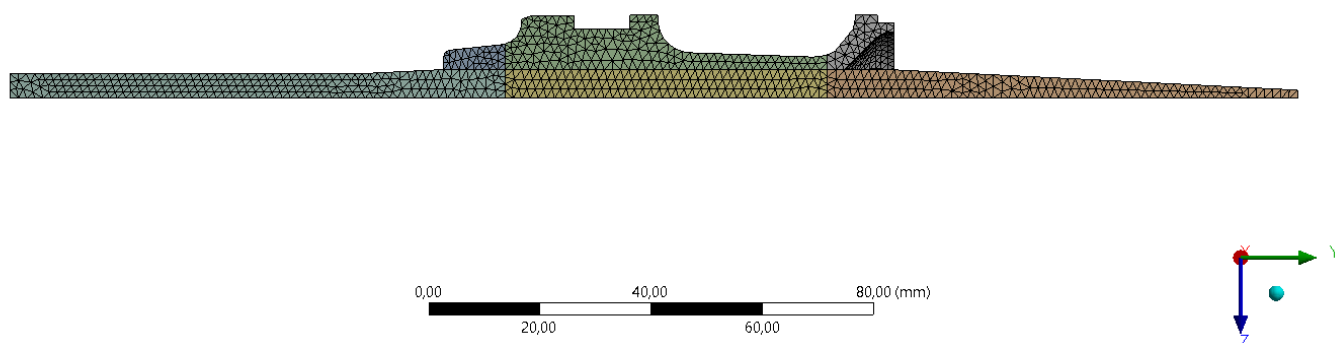
 Body Interaction 2



Obr. 10 Definované plochy

2.5. Sít' prvků

2.5.1. Globální sít'



Obr. 11 Pohled na celkově zasiťovaný model

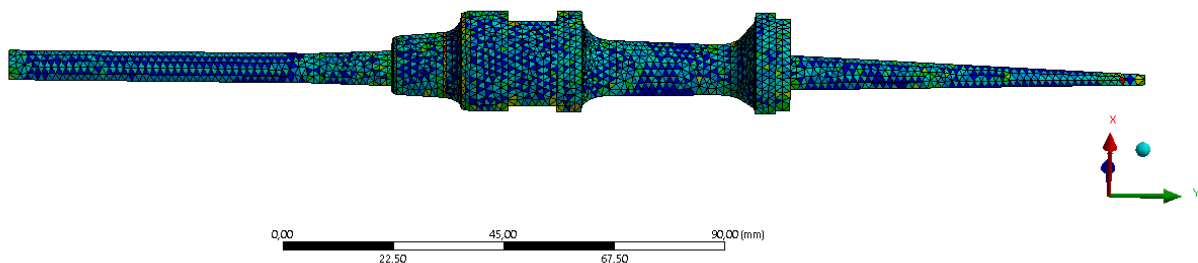
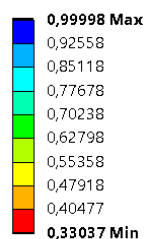
Details of "Mesh"	
☒ Display	
Display Style	Use Geometry Setting
☒ Defaults	
Physics Preference	Explicit
Element Order	Linear
☐ Element Size	1,5 mm
☒ Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (4)
Mesh Defeaturing	Yes
☐ Defeature Size	Default
Transition	Slow
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	232,46 mm
Average Surface Area	125,81 mm ²
Minimum Edge Length	0,57963 mm
☒ Quality	
☒ Inflation	
☒ Advanced	
☒ Statistics	
☐ Nodes	5539
☐ Elements	23173

Obr. 12 Detailní nastavení sítě

2.5.2. Kvalita sítě

Mesh

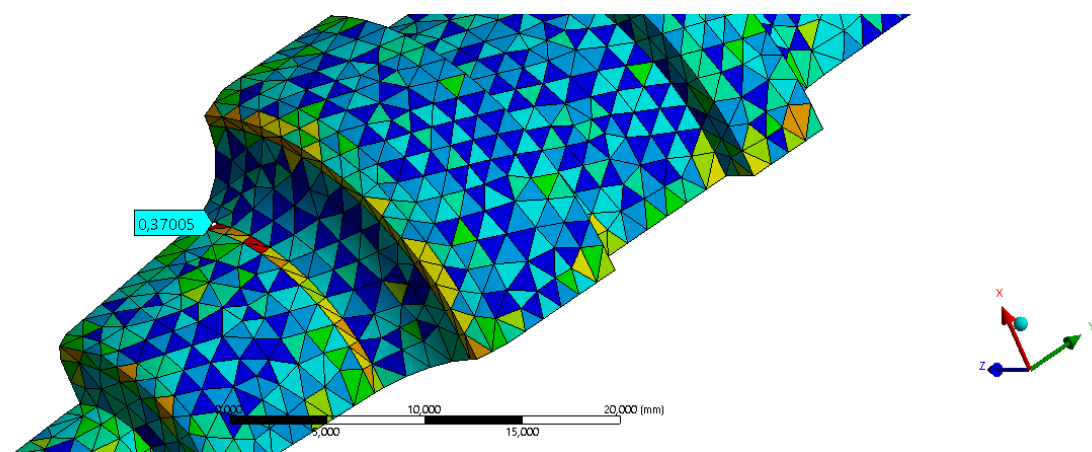
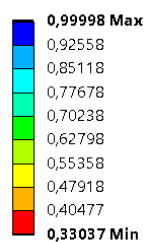
Element Quality
23.4.2019 23:03



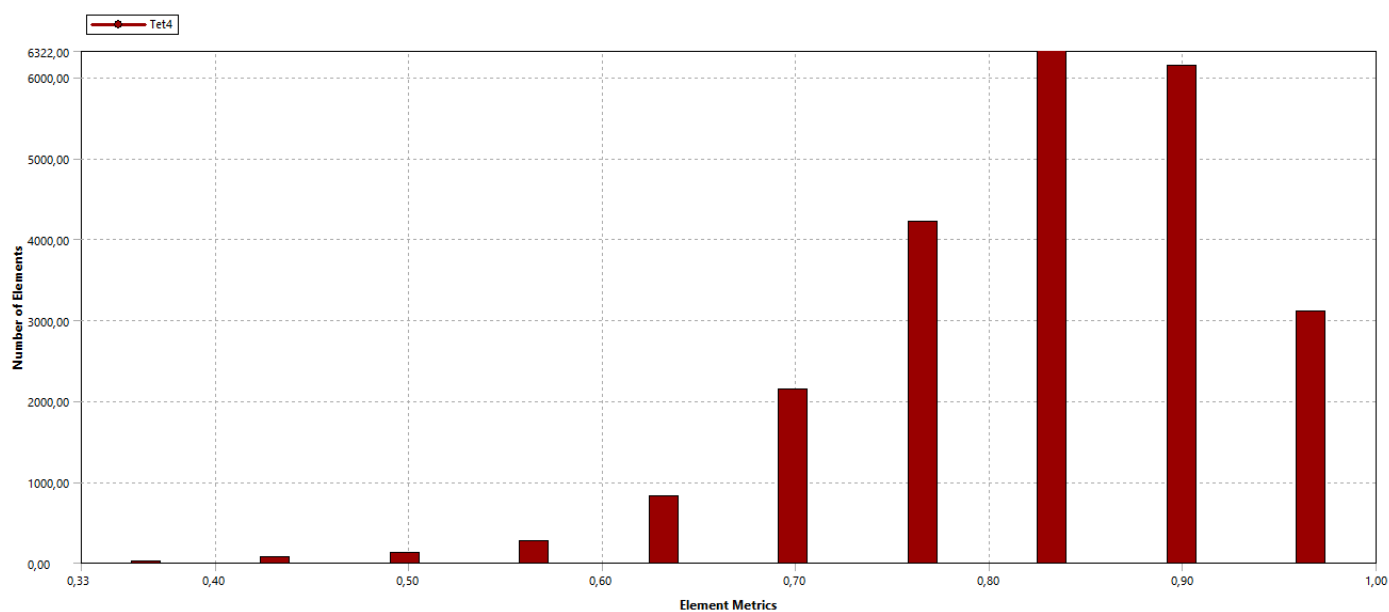
Obr. 13 Kvalita sítě na celkové střele

Mesh

Element Quality
23.4.2019 23:00



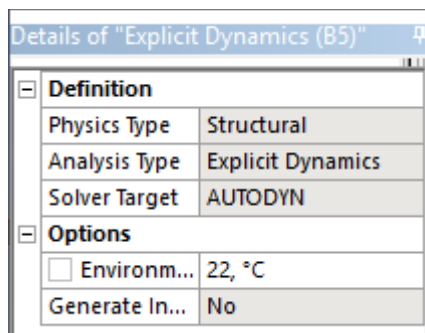
Obr. 14 Kvalita sítě na sabotu (detail)



Obr. 15 Četnost kvality prvků

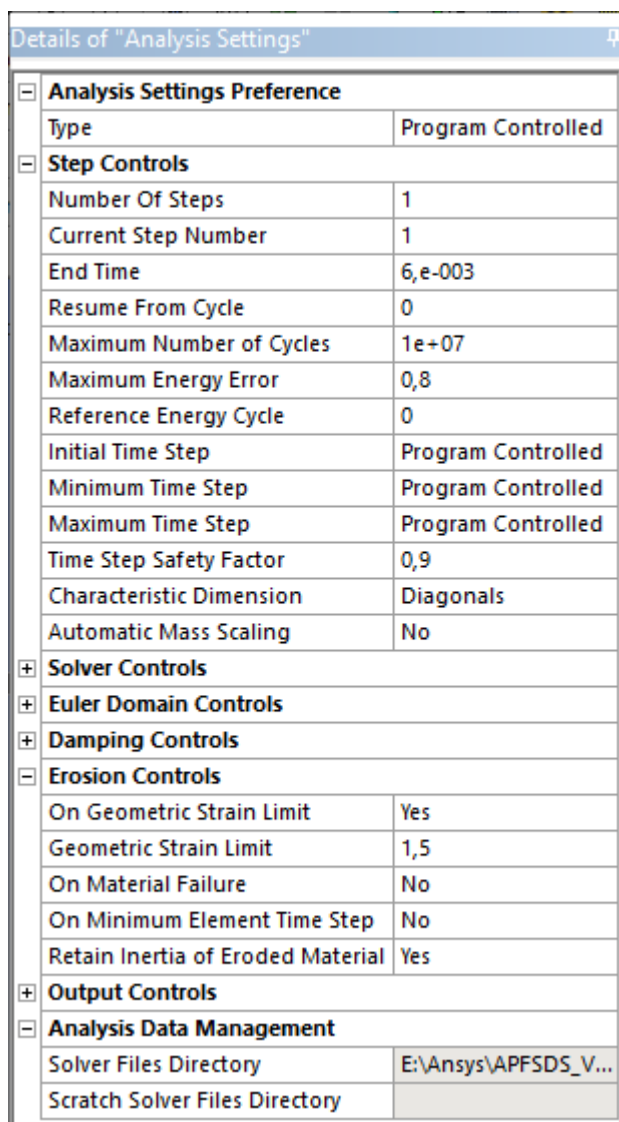
3. Explicitní řešič

3.1. Nastavení řešiče



Obr. 16 Nastavení řešiče, výchozí teplota

3.2. Nastavení analýzy



Obr. 17 Nastavení analýzy, čas, energetická chyba, vyloučení deformovaných prvků

3.3. Zatížení

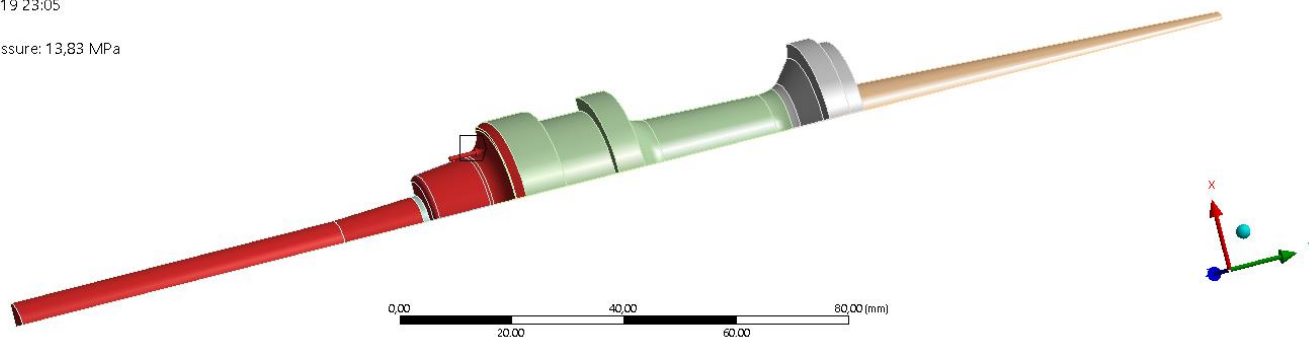
B: Explicit Dynamics

Explicit Dynamics

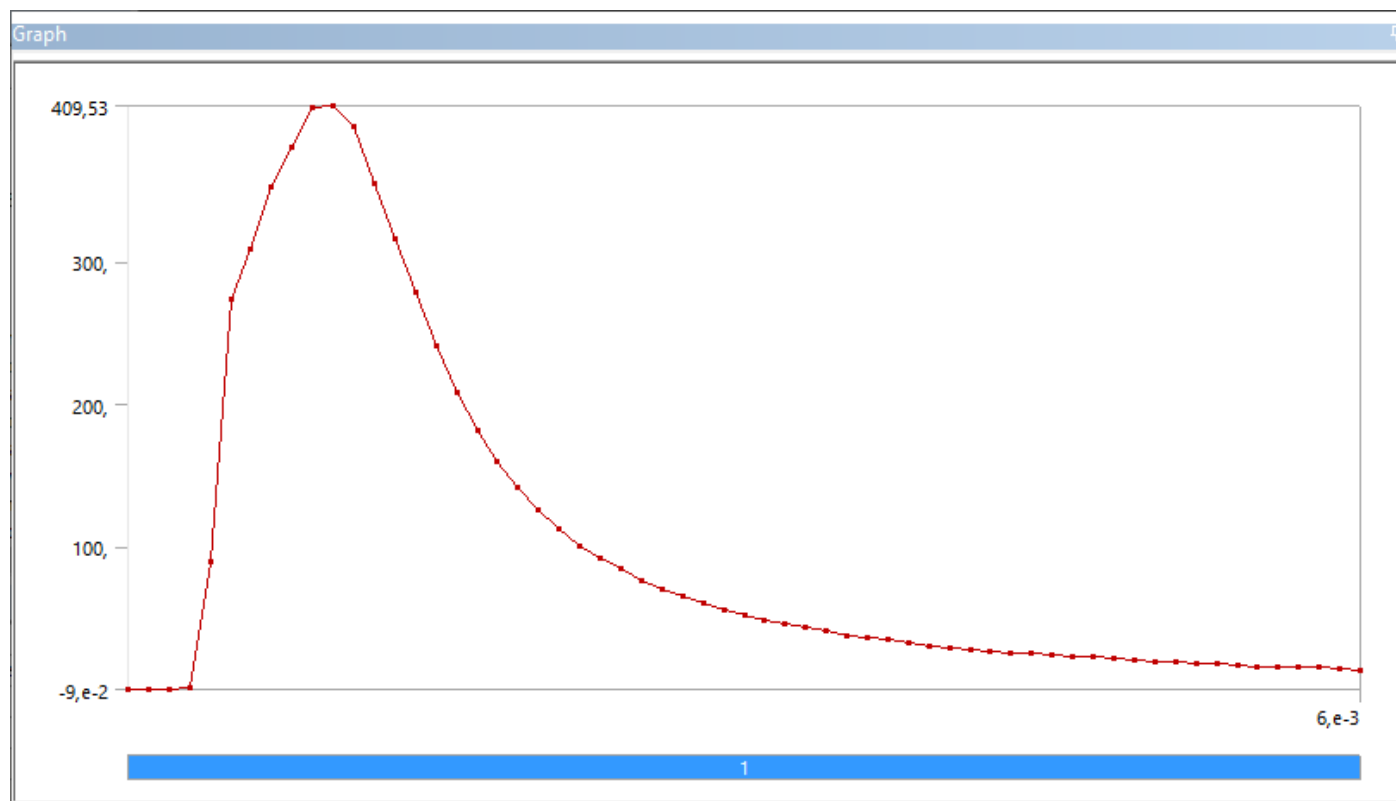
Time: 6,e-003 s

23.4.2019 23:05

Pressure: 13,83 MPa



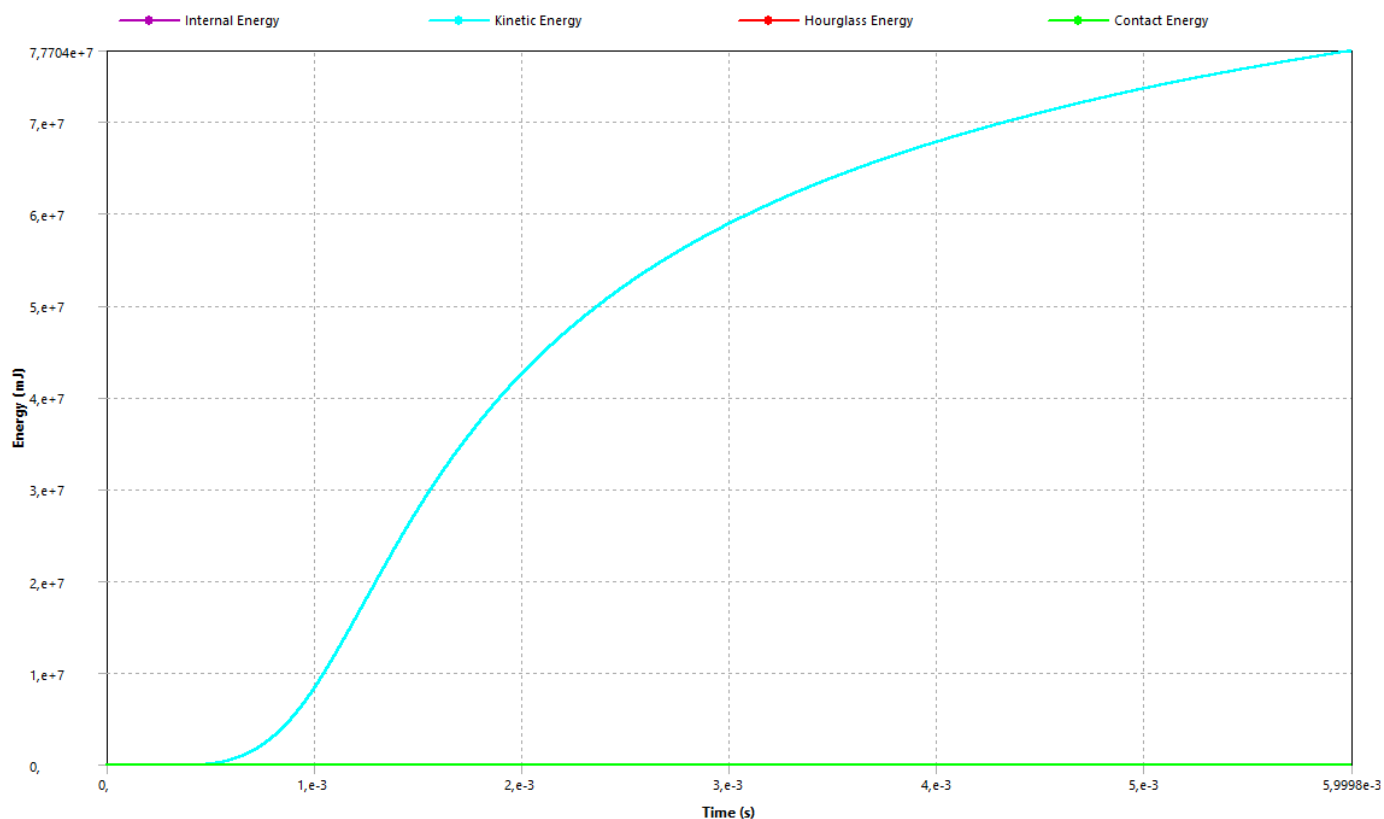
Obr. 18 Hrany zatížené tlakem



Obr. 19 Tlakový průběh

4. Výsledky

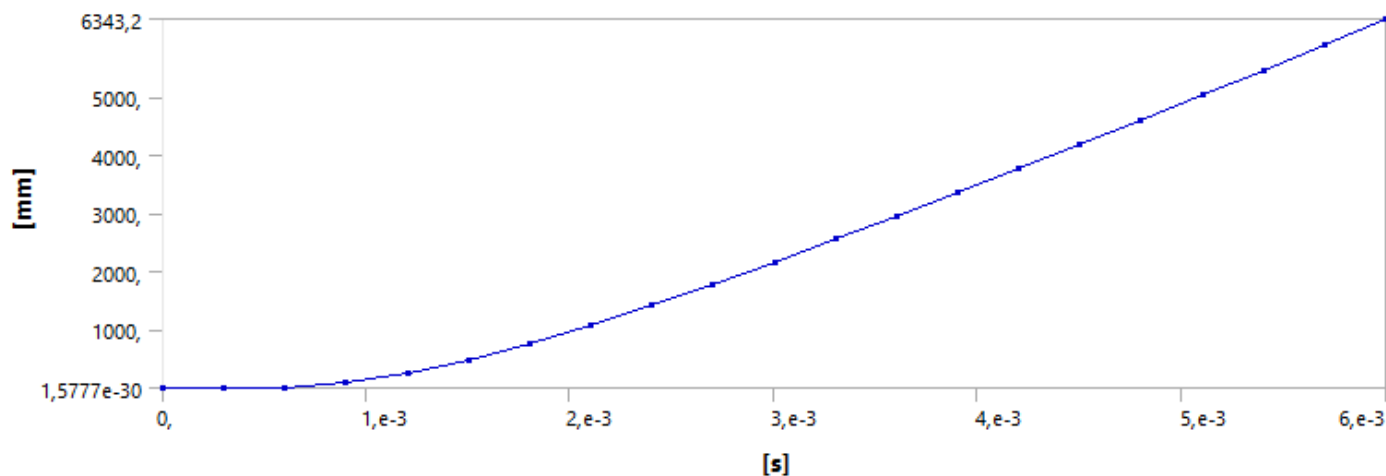
4.1. Souhrn energií



Obr. 20 Kinetická energie (modrá)

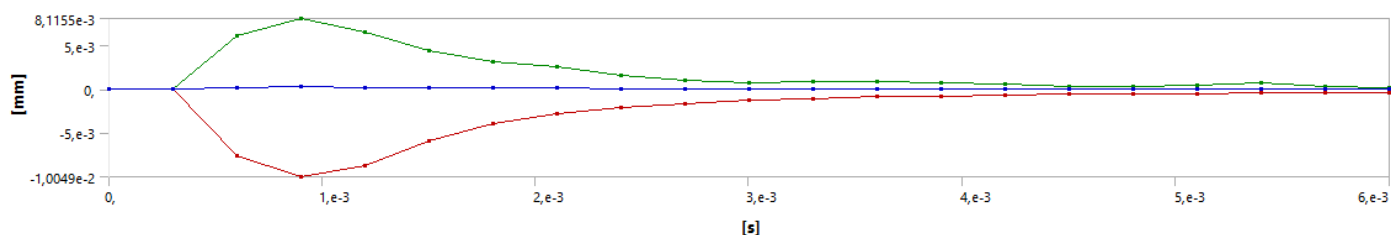
4.2. Celkový posuv

Střela za 0,6 ms urazí 6,343 m.



Obr. 21 Deformace střely za čas

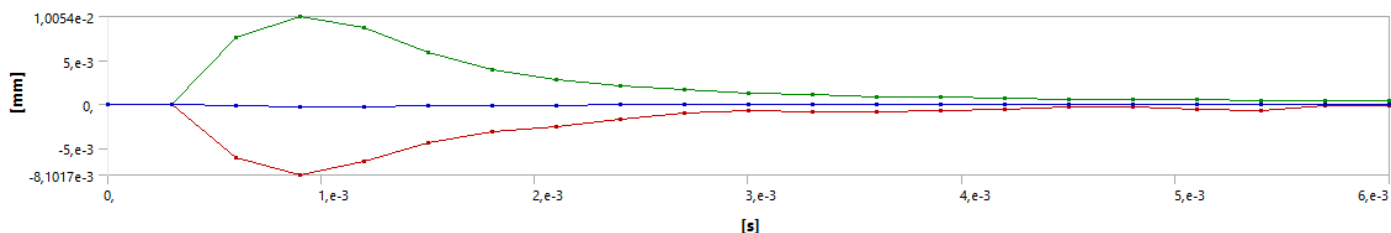
4.3. Posuv v ose X



Obr. 22 Posuv v ose X

4.4. Posuv v ose Z

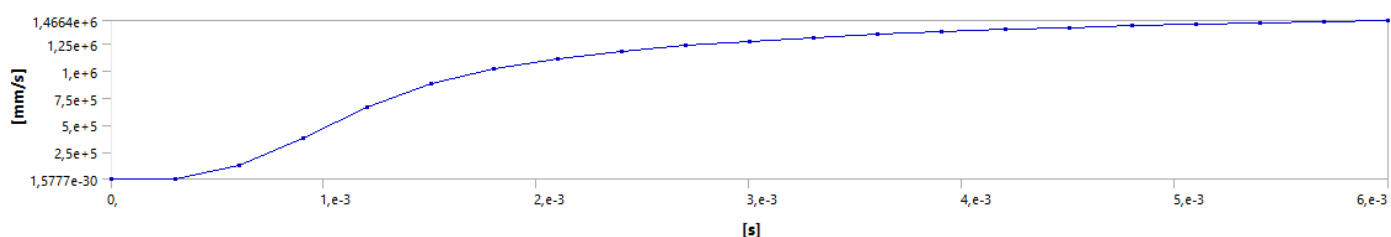
Výsledný posuv v ose X a Z poukazuje na možnost zanedbání vazeb pro dané osy.



Obr. 23 Posuv v ose Z

4.5. Celková rychlost

Střela dosáhne rychlosti 1464 m/s na ústí hlavně.



Obr. 24 Rychlost střely v závislosti na čase

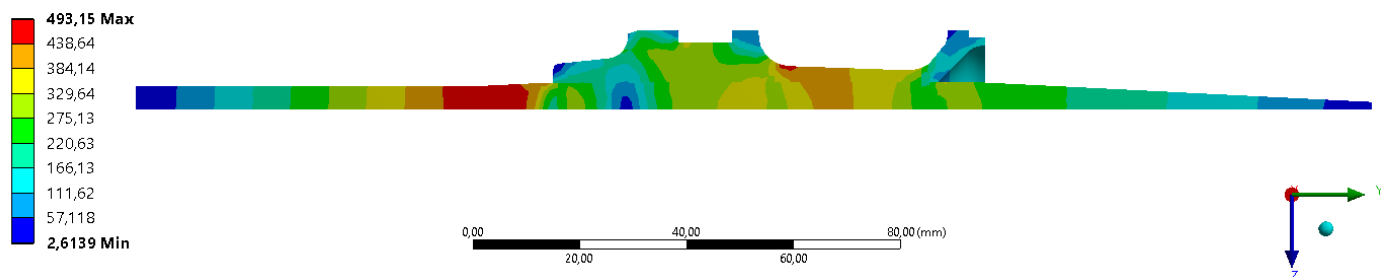
4.6. Napětí von-Mises

4.6.1. Nejvyšší napětí ve střele

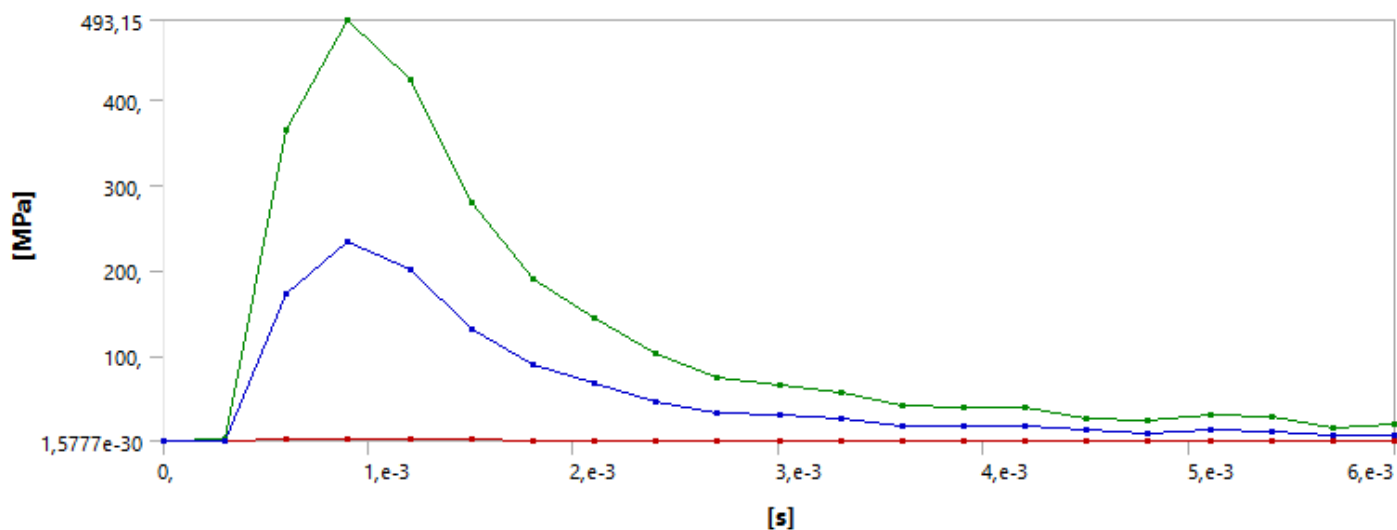
Největší napětí je 493 MPa. Dané napětí se vyskytuje na sabotu i penetrátoru.

B: Explicit Dynamics

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 9,0001e-004
Cycle Number: 20842
23.4.2019 23:15



Obr. 25 Celková napjatost střely



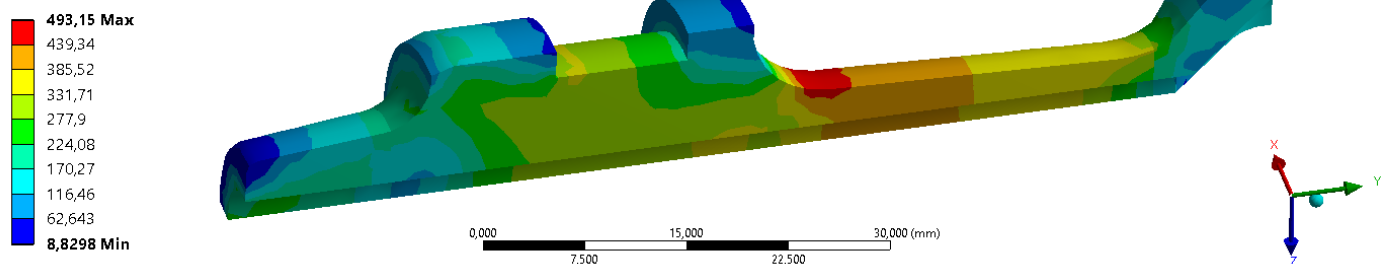
Obr. 26 Průběh napětí v závislosti na čase

4.6.2. Nejvyšší napětí v sabotu

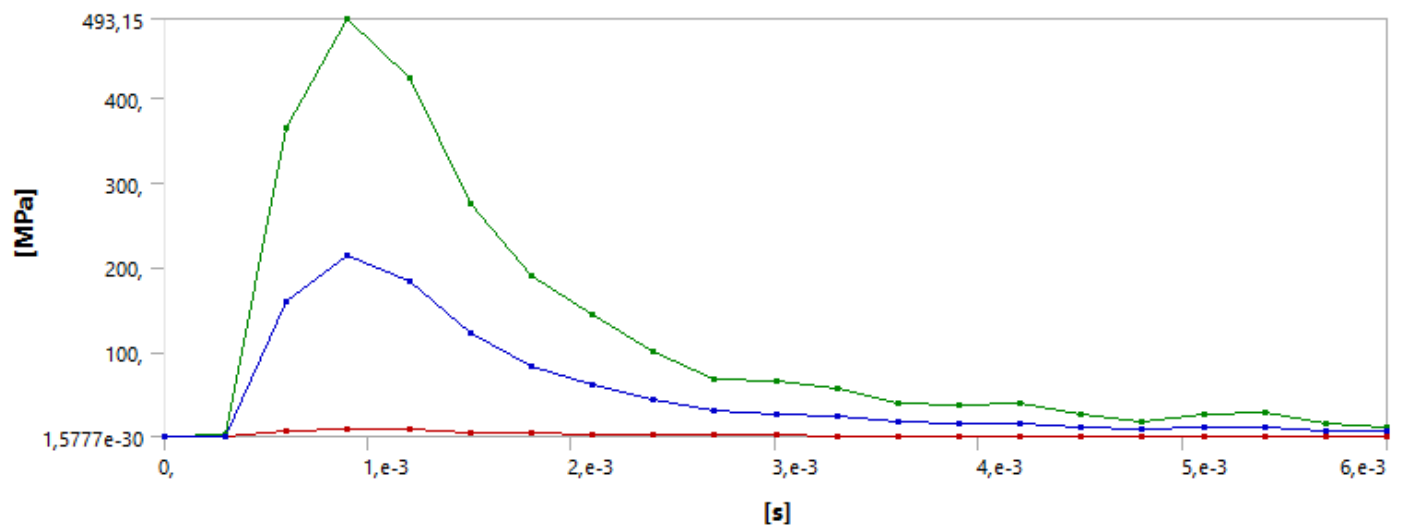
Největší napětí na sabotu je 493 MPa.

B: Explicit Dynamics

Equivalent Stress 2
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 9,0001e-004
Cycle Number: 20842
23.4.2019 23:18



Obr. 27 Celková napjatost sabotu

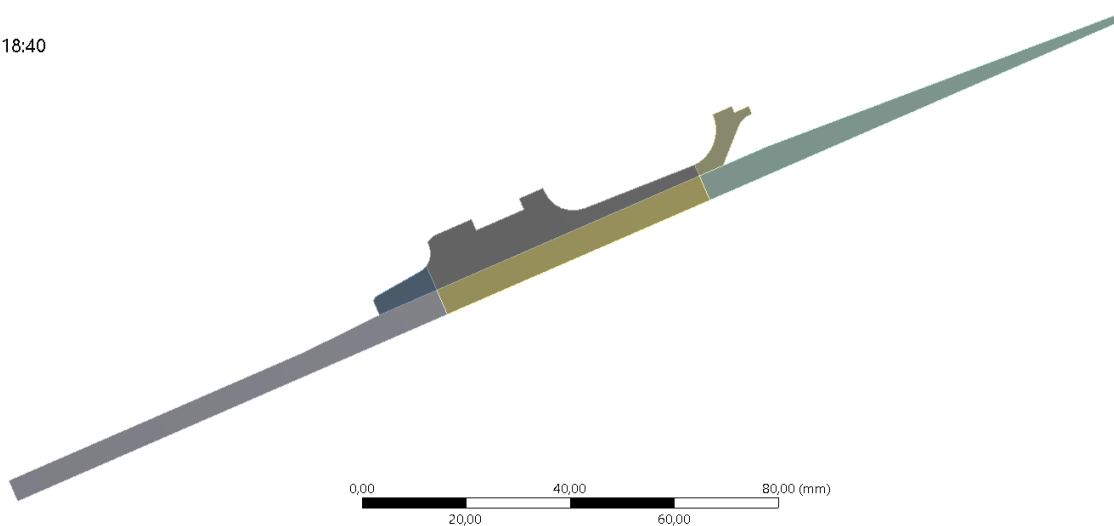


Obr. 28 Průběh napětí v závislosti na čase

VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA

Model

1.4.2019 18:40



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

PROJEKT:

Topologicky optimalizovaný sabot

TYP ANALÝZY:

Dynamická analýza, bez tření

DATUM:

1.4.2019

OSTATNÍ:

Příloha 5

POČET STRAN:

14

AUTOR:

Jan Hajda

1. Obsah

2. MODEL	2
2.1. GEOMETRIE	2
2.1.1. Základní informace	2
2.1.2. Detail nastavení geometrie	2
2.2. MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI	3
2.2.1. EN AW 7075	3
2.2.2. THUG ALLOY	4
2.3. SPOJENÍ	4
2.3.1. Kontakty	4
2.4. SÍŤ PRVKŮ	5
2.4.1. Globální síť	5
2.4.2. Kvalita sítě	6
3. EXPLICITNÍ ŘEŠIČ	7
3.1. NASTAVENÍ ŘEŠIČE	7
3.2. NASTAVENÍ ANALÝZY	8
3.3. OKRAJOVÉ PODMÍNKY	9
4. VÝSLEDKY	10
4.1. SOUHRN ENERGÍ	10
4.2. CELKOVÝ POSUV	10
4.3. POSUVY V OSE X	10
4.4. CELKOVÁ RYCHLOST	11
4.5. NAPĚTÍ VON-MISES	11
4.5.1. Nejvyšší napětí ve střele	11
4.5.2. Nejvyšší napětí v sabotu	11
4.6. ELASTICKÉ PŘETVOŘENÍ	12
4.7. PLASTICKÉ PŘETVOŘENÍ	13
4.7.1. Čas 0,6 ms	13
4.7.2. Čas 0,9 ms	14
4.7.3. Čas 1,5 ms	14

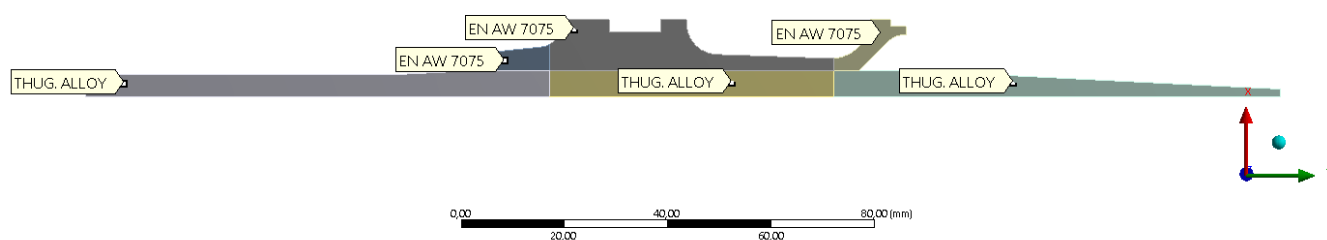
2. Model

2.1. Geometrie

2.1.1. Základní informace

Sabot i penetrátor jsou rozděleny na tři části, které byly spojeny funkcí Shared Topology v modelaři Space Claim. Materiálové vlastnosti společných prvků jsou zachovány.

Geometry
21.5.2019 23:29



Obr. 1 Sestava střely

2.1.2. Detail nastavení geometrie

Details of "Geometry"	
Definition	
Source	E:\Ansys\APFSDS_V1\APF...
Type	SpaceClaim
Length Unit	Meters
2D Behavior	Axisymmetric
Display Style	Body Color

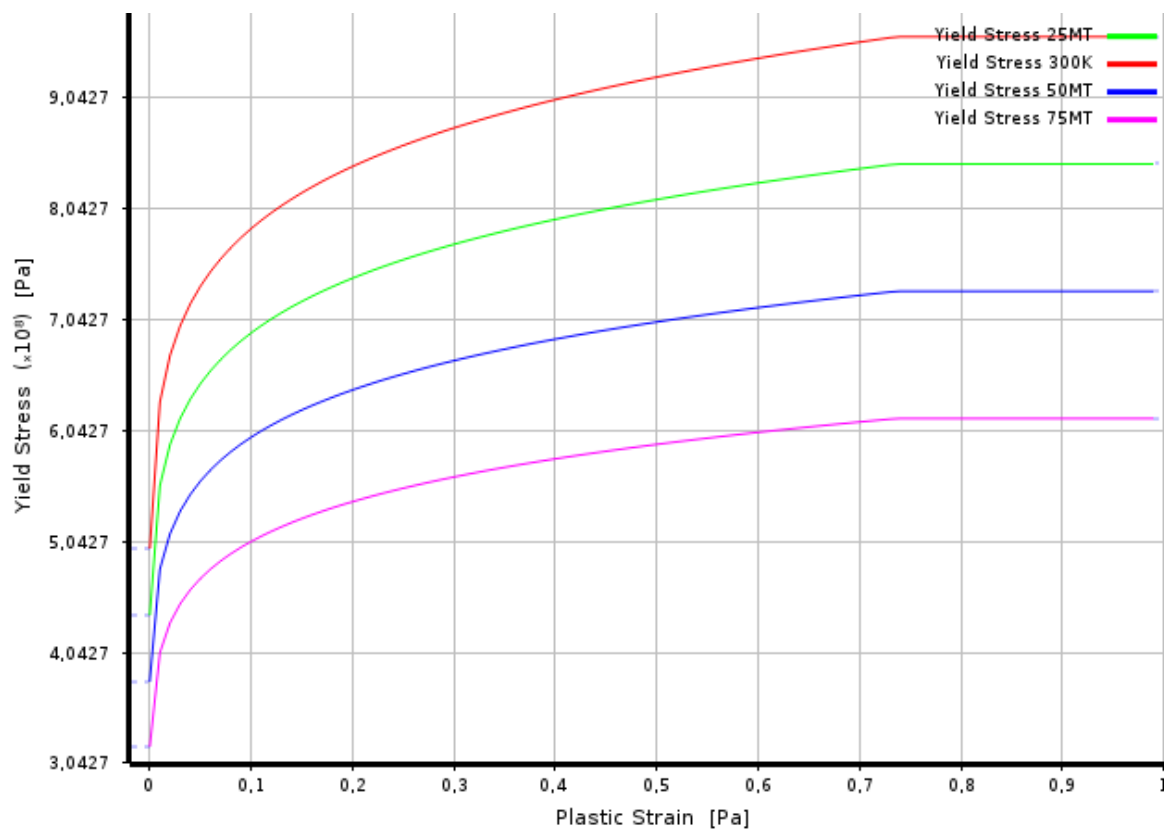
Obr. 2 Detail geometrie

2.2. Materiálové vlastnosti

2.2.1. EN AW 7075

A	B	C
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	2804	kg m ⁻³
Specific Heat, C _p	848	J kg ⁻¹ C ⁻¹
Steinberg Guinan Strength		
Initial Yield Stress Y	420	MPa
Maximum Yield Stress Y _{max}	810	MPa
Hardening Constant B	965	
Hardening Exponent n	0,1	
Derivative dG/dP G'P	1,741	
Derivative dG/dT G'T	-16,45	MPa C ⁻¹
Derivative dY/dP Y'P	0,02738	
Melting Temperature T _{melt}	946,85	C
Shear Modulus	26700	MPa
Shock EOS Linear		
Gruneisen Coefficient	2,2	
Parameter C1	5200	m s ⁻¹
Parameter S1	1,36	
Parameter Quadratic S2	0	s m ⁻¹

Obr. 3 Předdefinované materiálové vlastnosti



Obr. 4 Deformační zpevnění dle Steinberg Guinan

2.2.2. THUG ALLOY

A	B	C
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	17000	kg m ⁻³
Specific Heat, C _p	134	J kg ⁻¹ C ⁻¹
Johnson Cook Strength		
Strain Rate Correction	First-Order	
Initial Yield Stress	1,506E+09	Pa
Hardening Constant	1,77E+08	Pa
Hardening Exponent	0,12	
Strain Rate Constant	0,016	
Thermal Softening Exponent	1	
Melting Temperature	1449,9	C
Reference Strain Rate (/sec)	1	
Shear Modulus	1,6E+11	Pa
Shock EOS Linear		
Gruneisen Coefficient	1,54	
Parameter C1	4029	m s ⁻¹
Parameter S1	1,237	
Parameter Quadratic S2	0	s m ⁻¹

Obr. 5 Předdefinované materiálové vlastnosti

2.3. Spojení

2.3.1. Kontakty

Details of "Frictional - Multiple To Multiple"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	2 Edges
Target	2 Edges
Contact Bodies	Multiple
Target Bodies	Multiple
Shell Thickness Effect	No
Protected	No
Definition	
Type	Frictional
☐ Friction Coefficient	0,61
☐ Dynamic Coefficient	0,47
☐ Decay Constant	0,
Scope Mode	Manual
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Suppressed	No

Obr. 6 Součinitel tření pro definované plochy

Frictional - Multiple To Multiple

2.4.2019 17:15

 Frictional - Multiple To Multiple



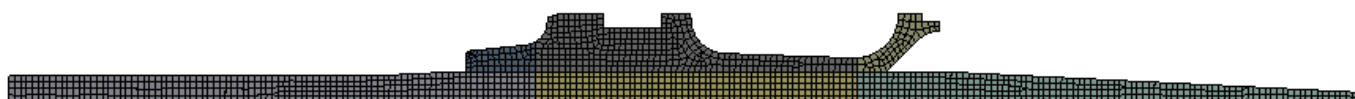
0,00 80,00 (mm)
40,00



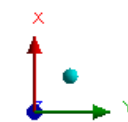
Obr. 7 Definované plochy

2.4. Sít' prvků

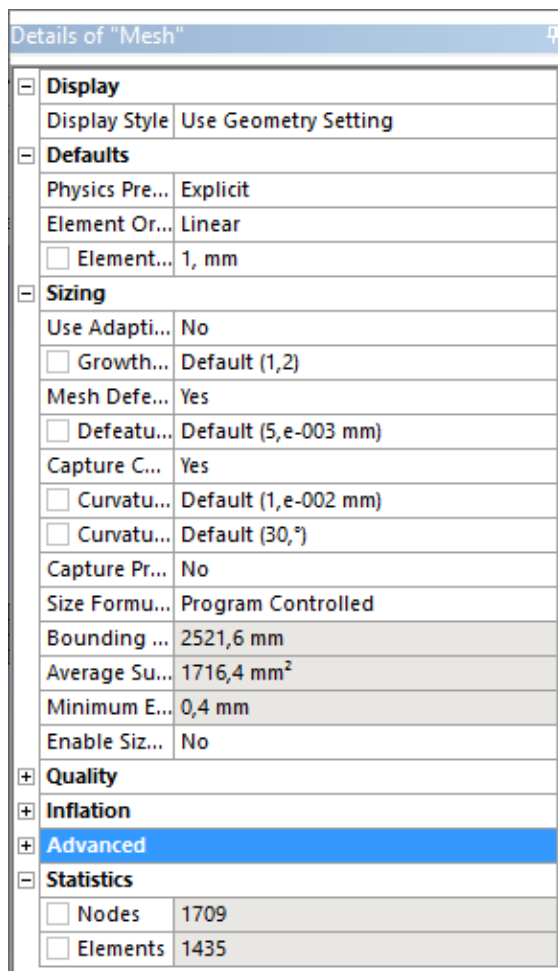
2.4.1. Globální sít'



0,00 35,00 70,00 (mm)
17,50 52,50



Obr. 8 Pohled na celkově zasiťovaný model



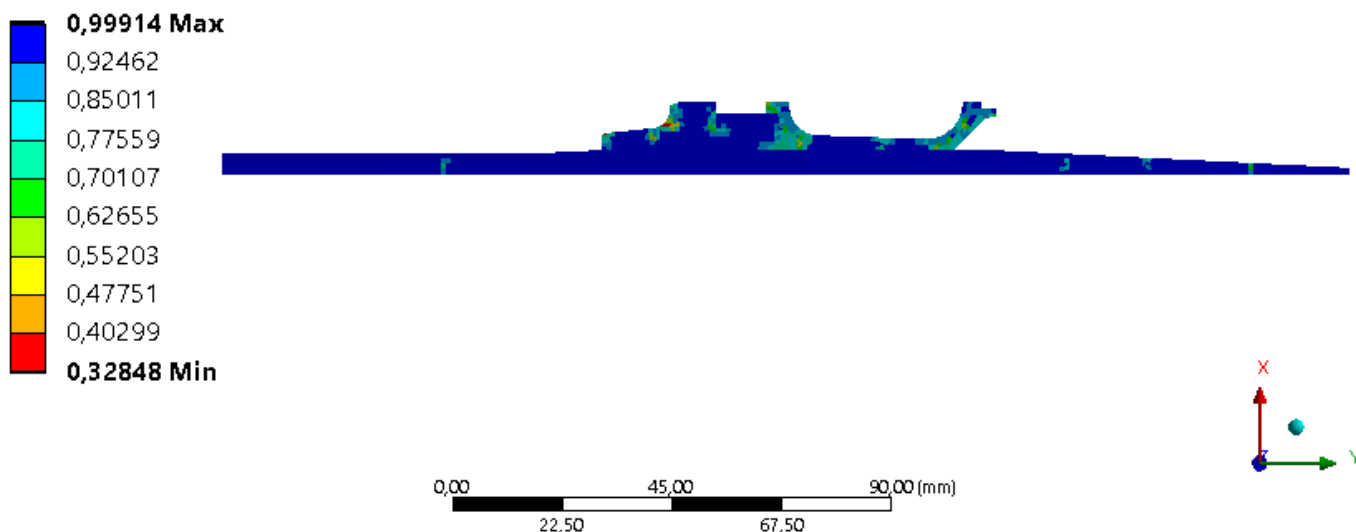
Obr. 9 Detailní nastavení sítě

2.4.2. Kvalita sítě

Mesh

Element Quality

2.4.2019 17:45

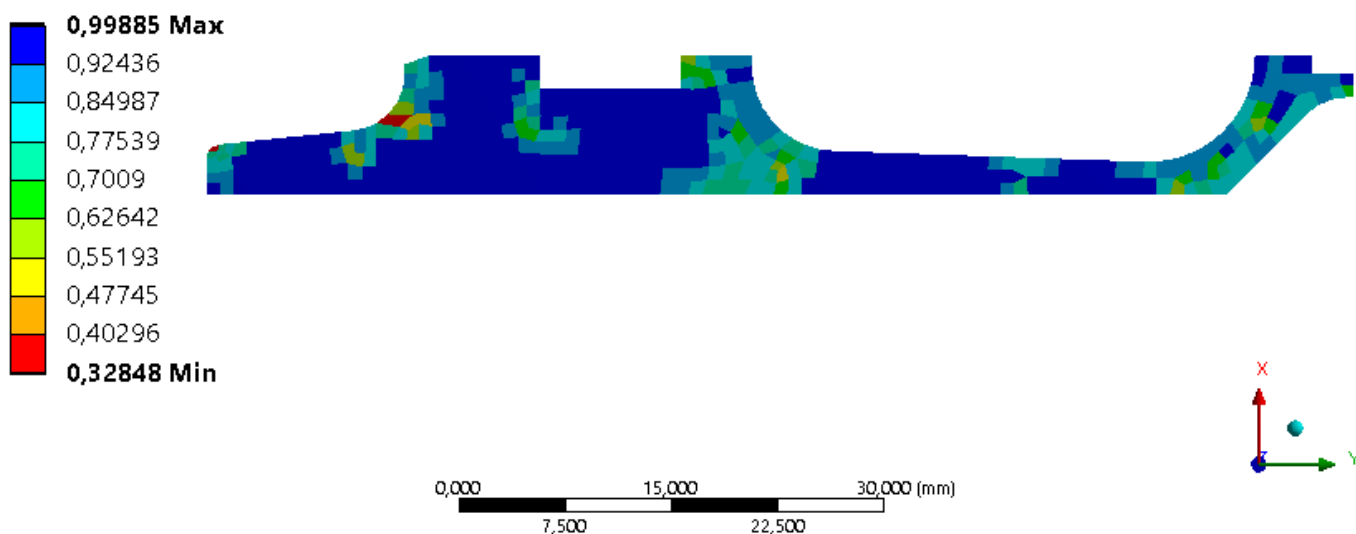


Obr. 10 Kvalita sítě na celkové střele

Mesh

Element Quality

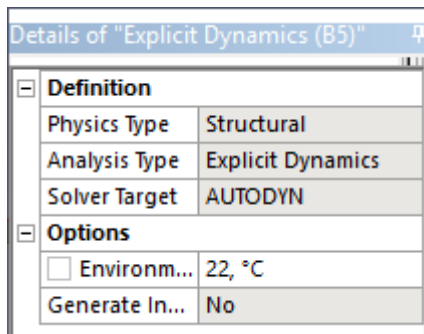
2.4.2019 17:45



Obr. 11 Kvalita sítě na sabotu (detail)

3. Explicitní řešič

3.1. Nastavení řešiče



Obr. 12 Nastavení řešiče, výchozí teplota

3.2. Nastavení analýzy

Details of "Analysis Settings"	
[-] Analysis Settings Preference	
Type	Program Controlled
[-] Step Controls	
Number Of Steps	1
Current Step Number	1
End Time	6,e-003
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
Maximum Energy Error	0,8
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0,9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
[+] Solver Controls	
[+] Euler Domain Controls	
[+] Damping Controls	
[-] Erosion Controls	
On Geometric Strain Limit	Yes
Geometric Strain Limit	1,5
On Material Failure	No
On Minimum Element Time Step	No
Retain Inertia of Eroded Material	Yes
[+] Output Controls	
[-] Analysis Data Management	
Solver Files Directory	E:\Ansys\APFSDS_V...
Scratch Solver Files Directory	

Obr. 13 Nastavení analýzy, čas, energetická chyba, vyloučení deformovaných prvků

3.3. Okrajové podmínky

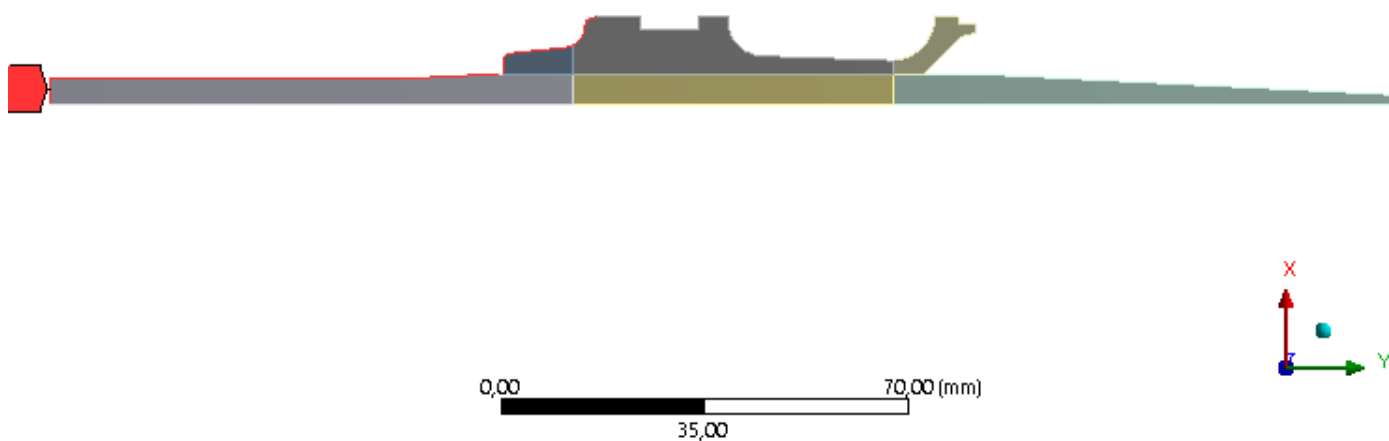
B: Střela, tlakový průběh, bez odporu

Pressure

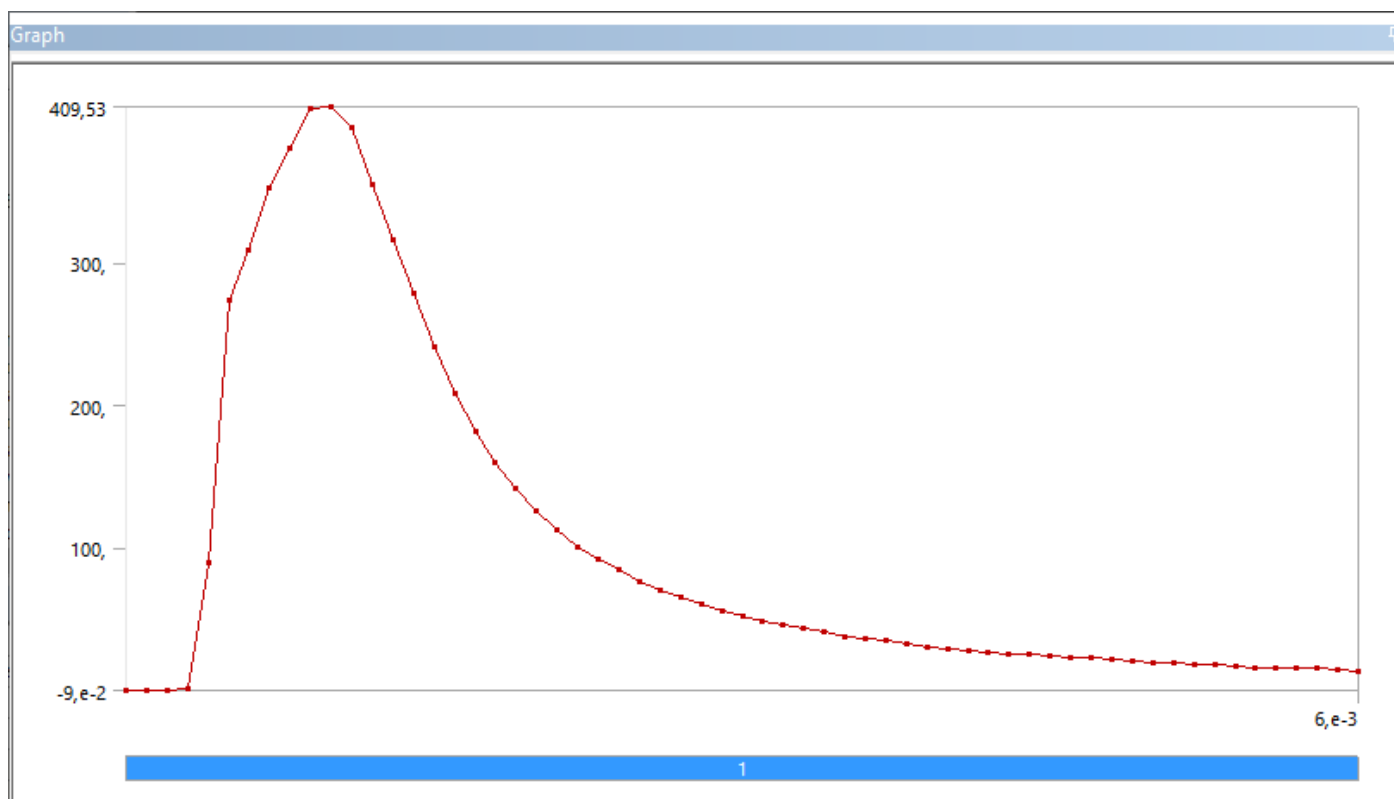
Time: 6,e-003 s

3.4.2019 0:09

Pressure: 13,83 MPa



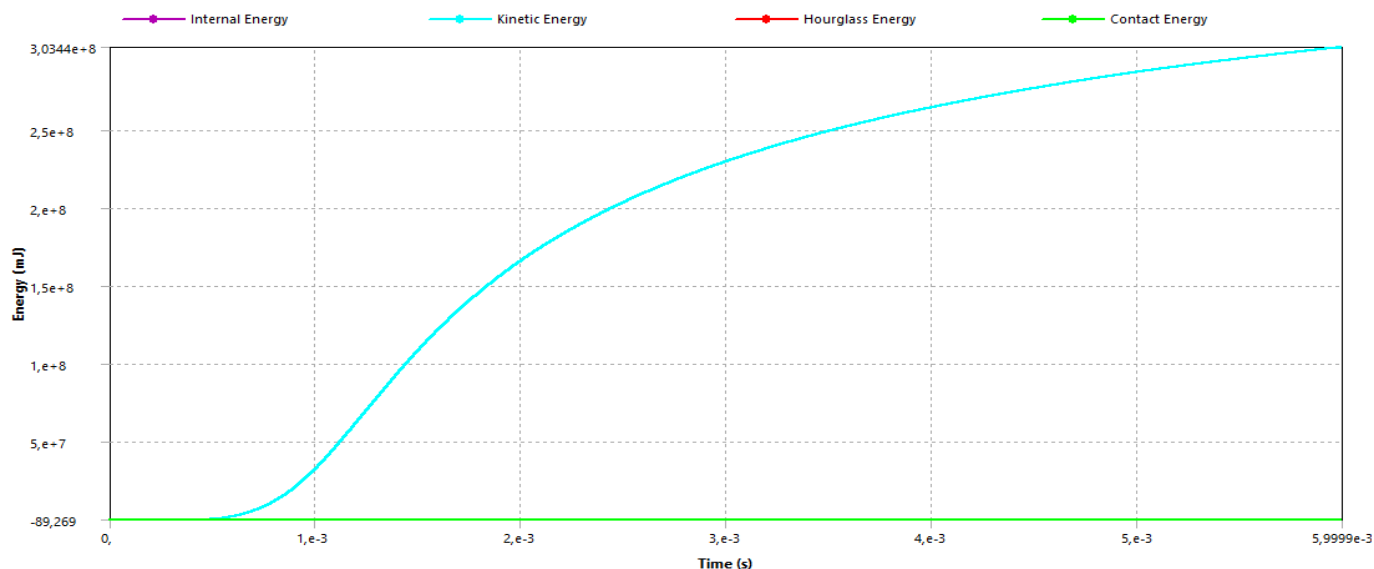
Obr. 14 Hrany zatížené tlakem



Obr. 15 Tlakový průběh

4. Výsledky

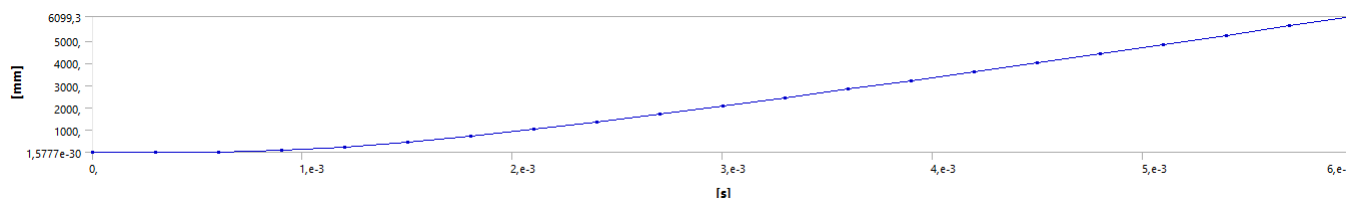
4.1. Souhrn energií



Obr. 16 Kinetická energie (modrá)

4.2. Celkový posuv

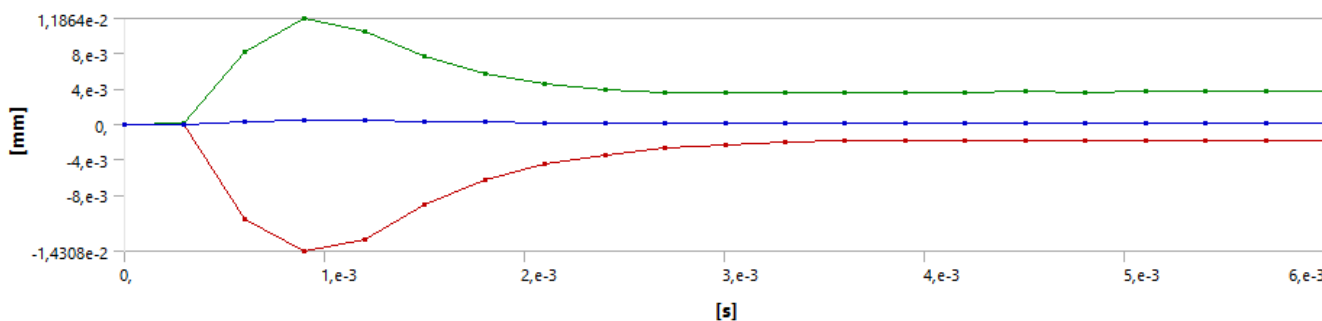
Střela za 0,6 ms urazí 6,099 m



Obr. 17 Posuv střely

4.3. Posuvy v ose X

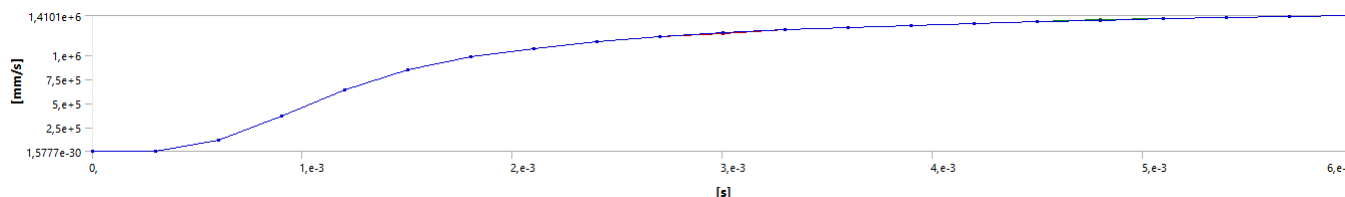
Výsledky poukazují na velmi malé vychýlení střely i bez použití vazby zamezující posuv v této ose.



Obr. 18 Posuv střely v ose X

4.4. Celková rychlost

Střela dosáhne rychlosti 1410 m/s na ústí hlavně.

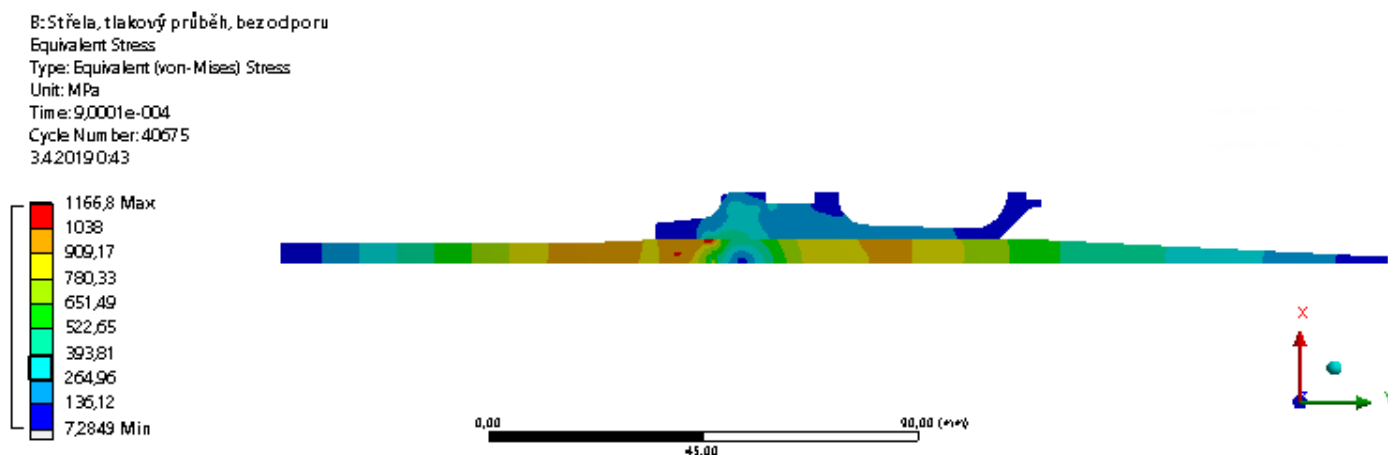


Obr. 19 Rychlost střely v závislosti na čase

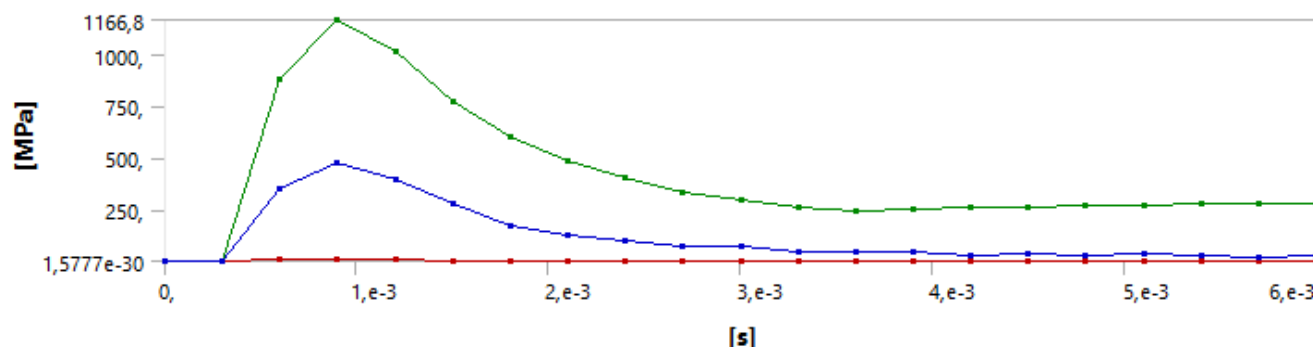
4.5. Napětí von-Mises

4.5.1. Nejvyšší napětí ve střele

Nejvyšší napětí je 1166 MPa, vyskytuje se v penetrátoru.



Obr. 20 Celková napjatost střely



Obr. 21 Průběh napětí v závislosti na čase

4.5.2. Nejvyšší napětí v sabotu

Největší napjatost sabotu je 557 MPa v místě začátku tuhého spojení s penetrátorem.

B: Střela, tlakový průběh, bez odporu

Equivalent Stress 2

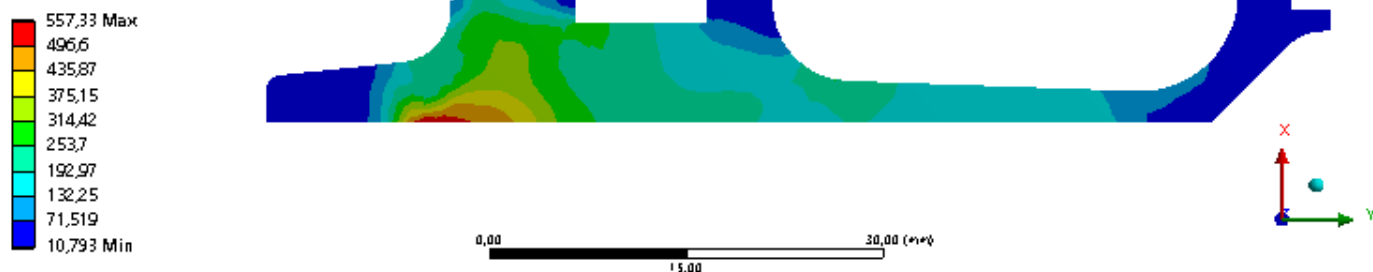
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

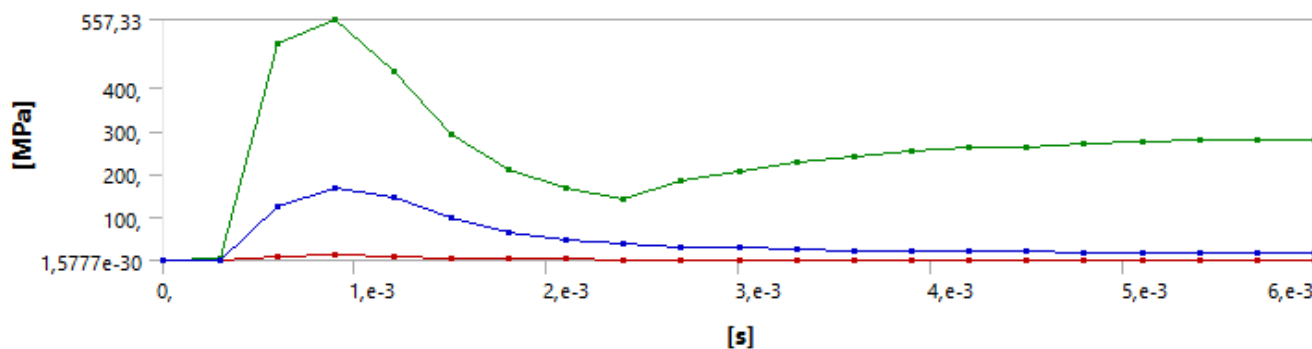
Time: 9,0001e-004

Cycle Number: 40675

3.4.2019 0:44



Obr. 22 Celková napjatost sabotu



Obr. 23 Průběh napětí v závislosti na čase

4.6. Elastické přetvoření

Největší přetvoření se vyskytuje v sabotu, v místě nejvyšší napjatosti.

B: Střela, tlakový průběh, bez odporu

Maximum Principal Elastic Strain

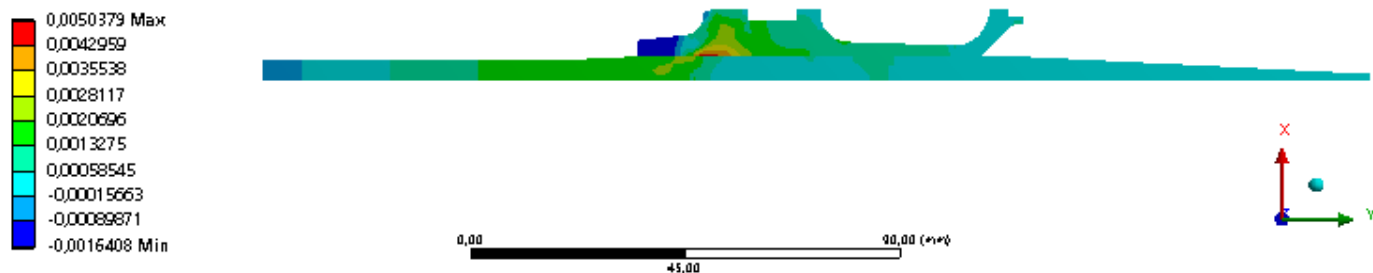
Type: Maximum Principal Elastic Strain

Unit: mm/mm

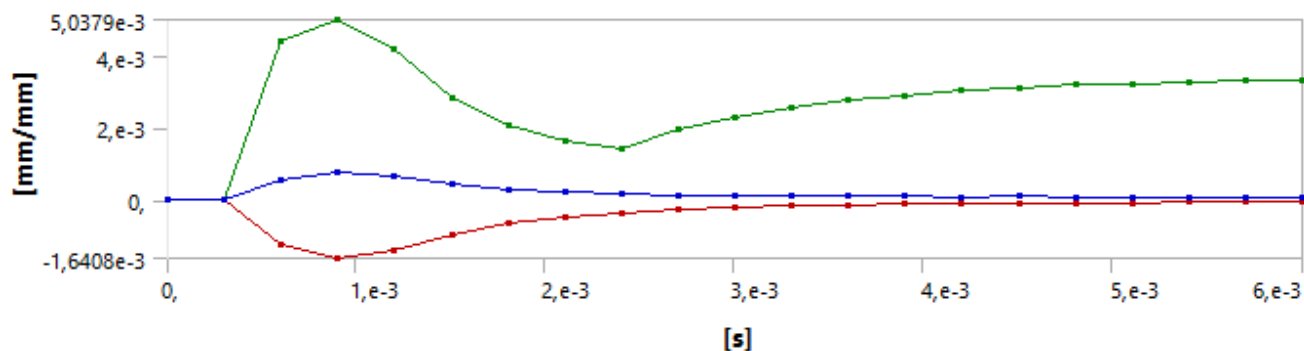
Time: 9,0001e-004

Cycle Number: 40675

3.4.2019 0:43



Obr. 24 Elastické přetvoření



Obr. 25 Průběh elastického přetvoření

4.7. Plastické přetvoření

Na následujících snímcích je patrný růst plastického přetvoření sabotu v závislosti na čase.

4.7.1. Čas 0,6 ms

B: Střela, tlakový průběh, bez odporu

Equivalent Plastic Strain

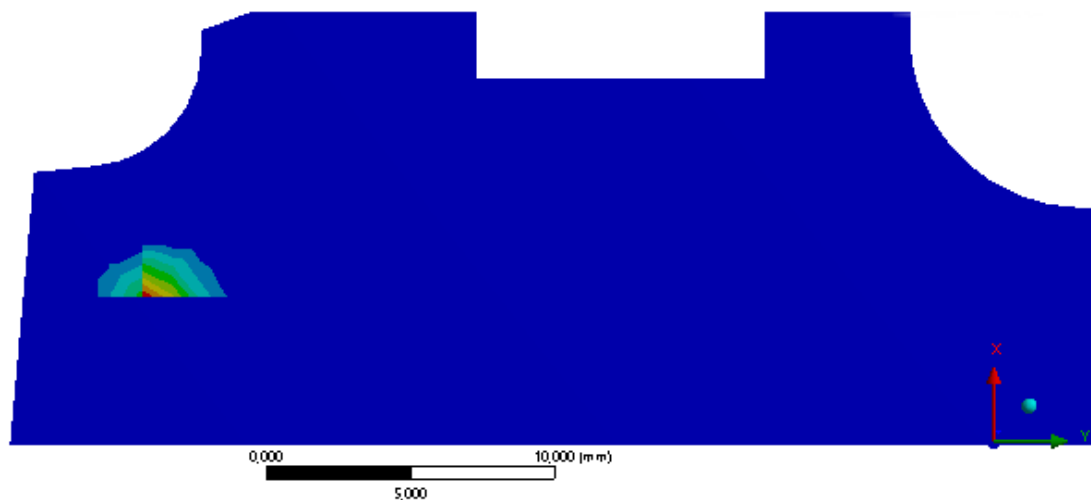
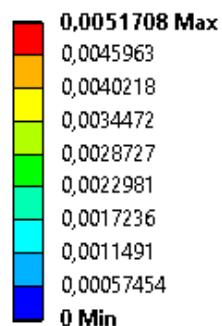
Type: Equivalent Plastic Strain

Unit: mm/mm

Time: 6,0002e-004

Cycle Number: 27049

3.4.2019 0:41



Obr. 26 Plasticita v čase 0,6 ms

4.7.2. Čas 0,9 ms

B: Střela, tlakový průběh, bez odporu

Equivalent Plastic Strain

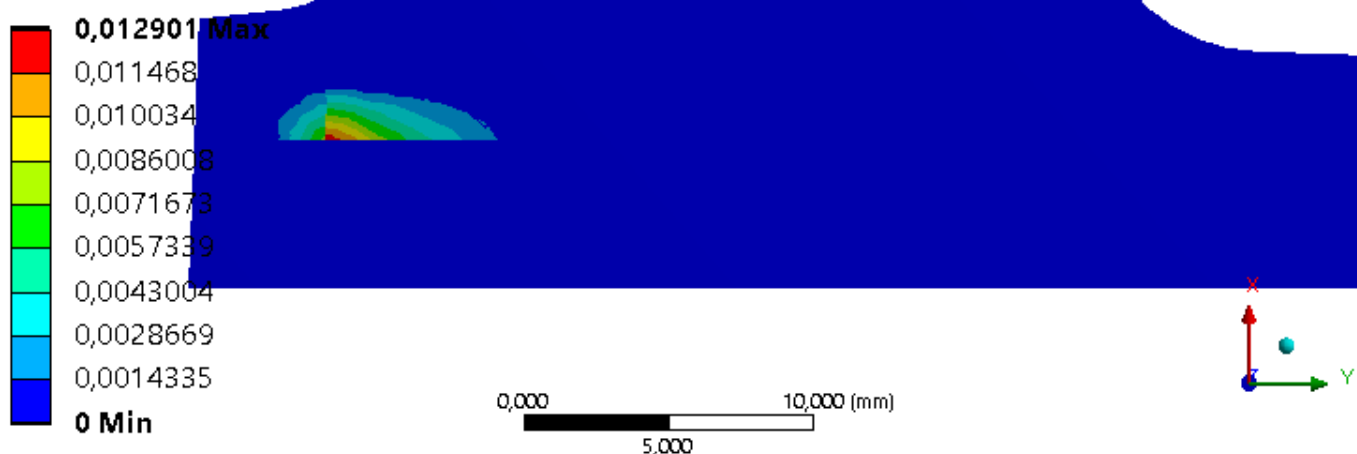
Type: Equivalent Plastic Strain

Unit: mm/mm

Time: 9,0001e-004

Cycle Number: 40675

3.4.2019 0:41



Obr. 27 Plasticita v čase 0,9 ms

4.7.3. Čas 1,5 ms

B: Střela, tlakový průběh, bez odporu

Equivalent Plastic Strain

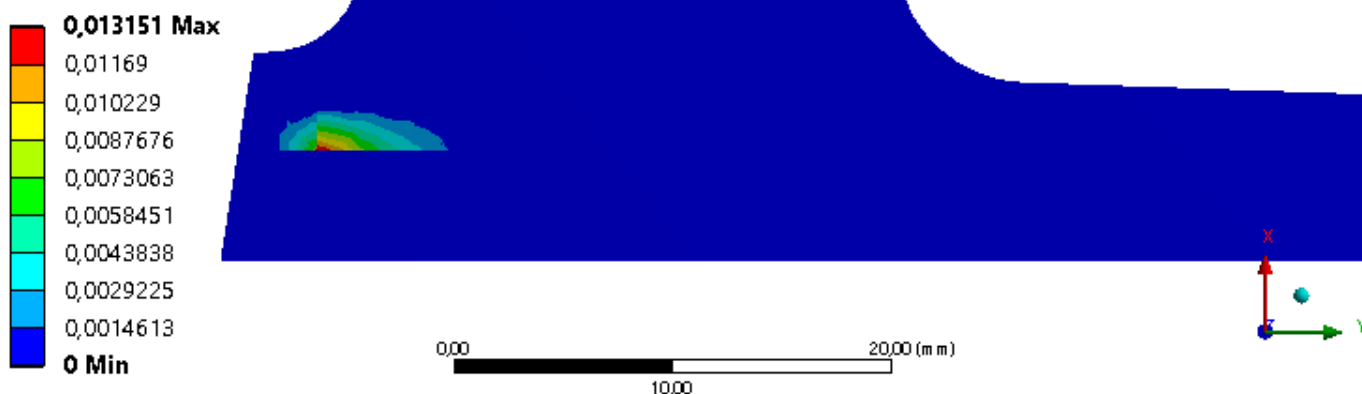
Type: Equivalent Plastic Strain

Unit: mm/mm

Time: 1,5e-003

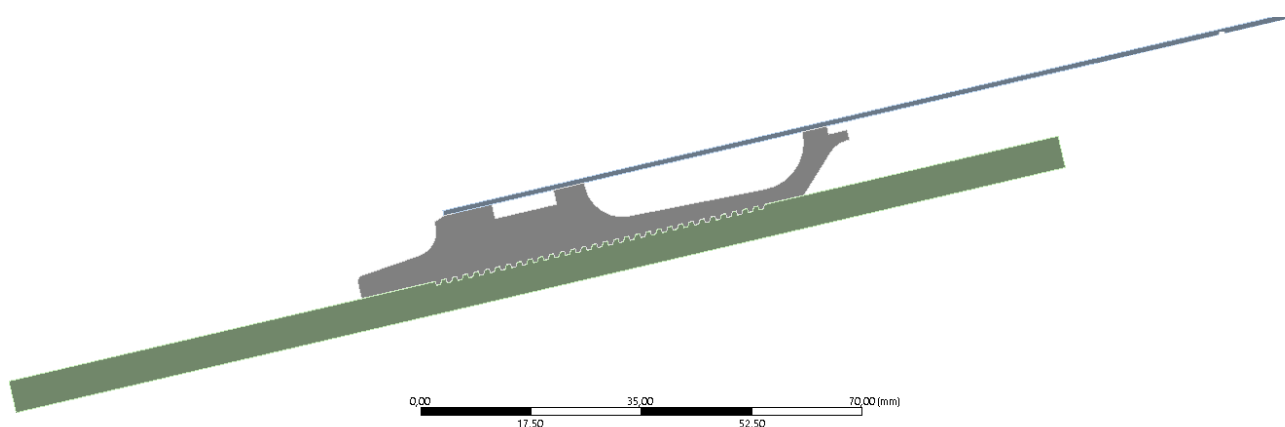
Cycle Number: 67915

3.4.2019 0:42



Obr. 28 Plasticita v čase 1,5 ms

VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA



PROJEKT:

Topologicky optimalizovaný sabot

TYP ANALÝZY:

Dynamická analýza, se třením

DATUM:

22.5.2019

OSTATNÍ:

Příloha 6

POČET STRAN:

17

AUTOR:

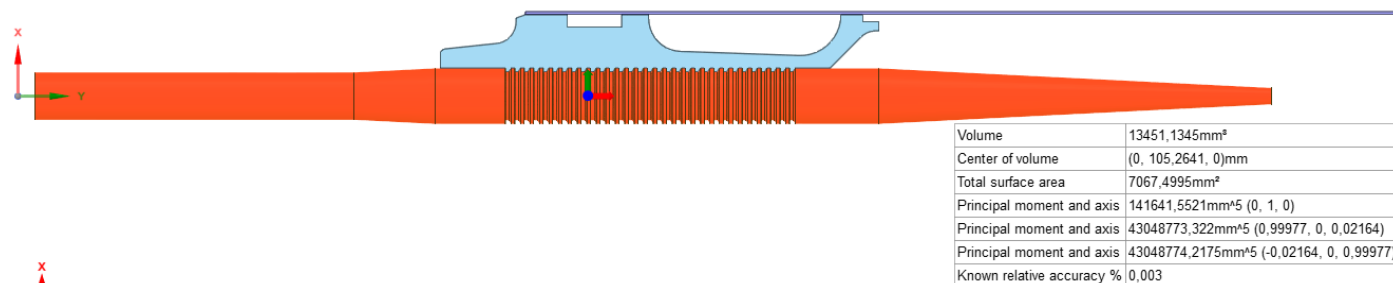
Jan Hajda

1. Obsah

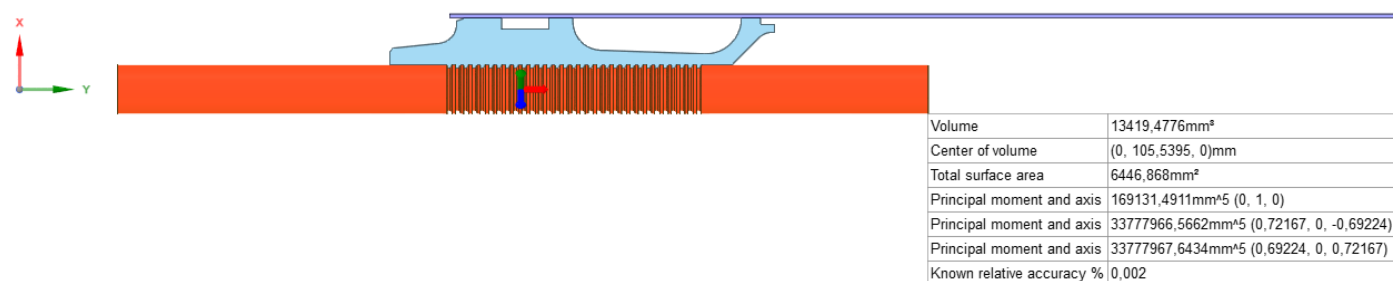
2. MODEL	2
2.1. ÚPRAVA PENETRÁTORU	2
2.2. GEOMETRIE	2
2.2.1. Základní informace	2
2.2.2. Detail nastavení geometrie	3
2.3. MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI	3
2.3.1. EN AW 7075	3
2.3.2. THUG ALLOY	4
2.1.1. STEEL V250	5
2.2. SPOJENÍ	5
2.2.1. Kontakty	6
2.3. SÍŤ PRVKŮ	6
2.3.1. Globální síť	6
2.3.2. Kvalita sítě	7
3. EXPLICITNÍ ŘEŠIČ	9
3.1. NASTAVENÍ ŘEŠIČE	9
3.2. NASTAVENÍ ANALÝZY	10
3.3. OKRAJOVÉ PODMÍNKY	11
3.3.1. Tlakové působení výmetné náplně	11
3.3.2. Odpor vzduchu	12
3.3.3. Zafixování hlavně	12
3.3.4. Gravitační konstanta	13
4. VÝSLEDKY	13
4.1. SOUHRN ENERGÍ	13
4.2. POSUV STŘELY	13
4.3. POSUV STŘELY V OSE X	14
4.4. RYCHLOST STŘELY	14
4.5. NAPĚTÍ VON-MISES	14
4.5.1. Nejvyšší napětí ve střele	14
4.5.2. Nejvyšší napětí v sabotu	15
4.6. ELASTICKÉ PŘETVOŘENÍ	16
4.7. PLASTICKÉ PŘETVOŘENÍ	16
4.7.1. Čas 0,6 ms	16
4.7.2. Čas 0,9 ms	17

2. Model

2.1. Úprava penetrátoru



Obr. 1 Původní geometrie střely

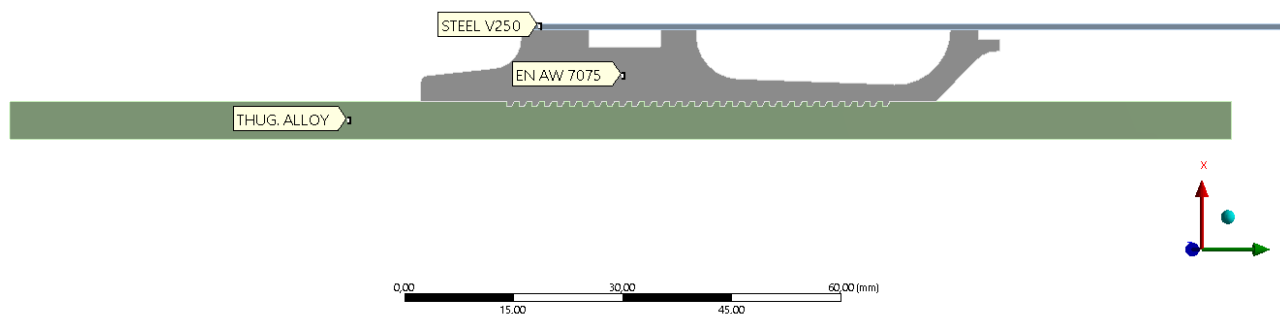


Obr. 2 Nová geometrie střely

2.2. Geometrie

2.2.1. Základní informace

Geometry
22.5.2019 8:41



Obr. 3 Sestava střely

2.2.2. Detail nastavení geometrie

Details of "Geometry"	
Definition	
Source	E:\Ansys\APFSDS_V4\APFSDS_V4.2_files\...
Type	SpaceClaim
Length Unit	Meters
2D Behavior	Axisymmetric
Display Style	Body Color

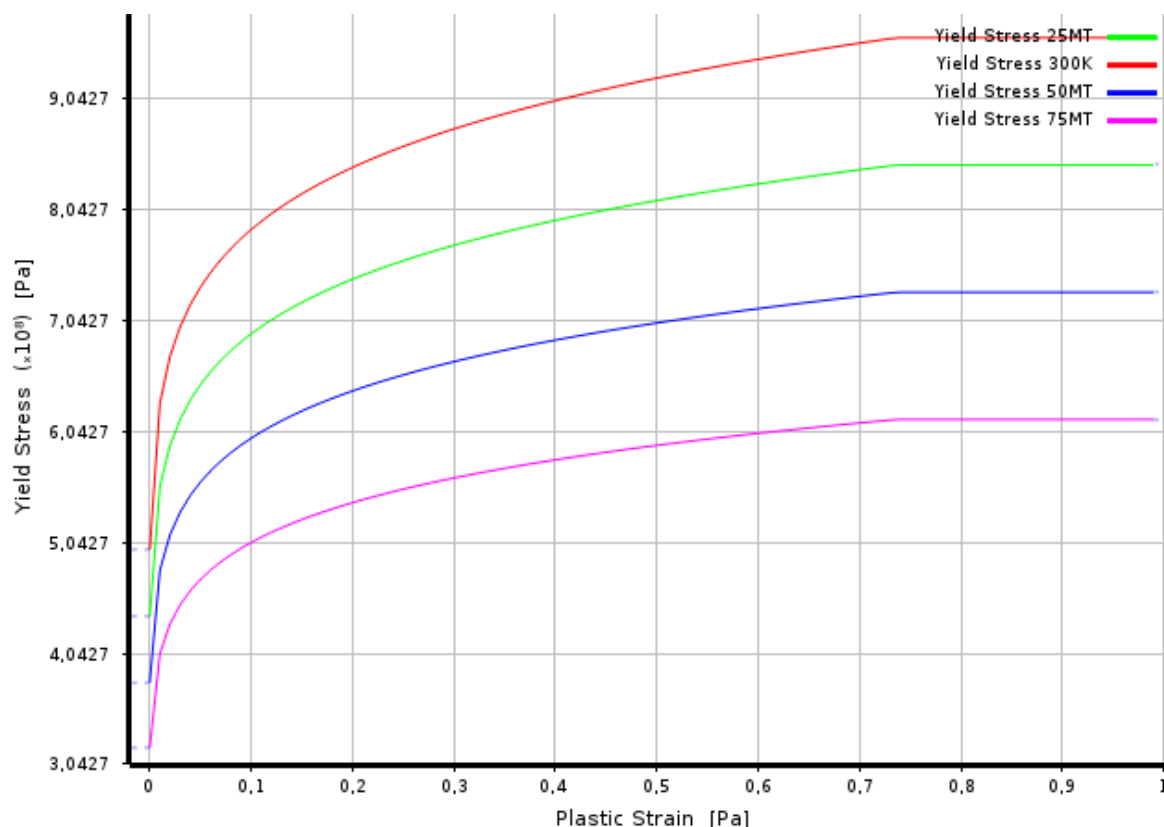
Obr. 4 Detail geometrie

2.3. Materiálové vlastnosti

2.3.1. EN AW 7075

A	B	C
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	2804	kg m ⁻³
Specific Heat, C _p	848	J kg ⁻¹ C ⁻¹
Steinberg Guinan Strength		
Initial Yield Stress Y	420	MPa
Maximum Yield Stress Y _{max}	810	MPa
Hardening Constant B	965	
Hardening Exponent n	0,1	
Derivative dG/dP G' _P	1,741	
Derivative dG/dT G' _T	-16,45	MPa C ⁻¹
Derivative dY/dP Y' _P	0,02738	
Melting Temperature T _{melt}	946,85	C
Shear Modulus	26700	MPa
Shock EOS Linear		
Gruneisen Coefficient	2,2	
Parameter C1	5200	m s ⁻¹
Parameter S1	1,36	
Parameter Quadratic S2	0	s m ⁻¹

Obr. 5 Předdefinované materiálové vlastnosti



Obr. 6 Deformační zpevnění dle Steinberg Guinan

2.3.2. THUG ALLOY

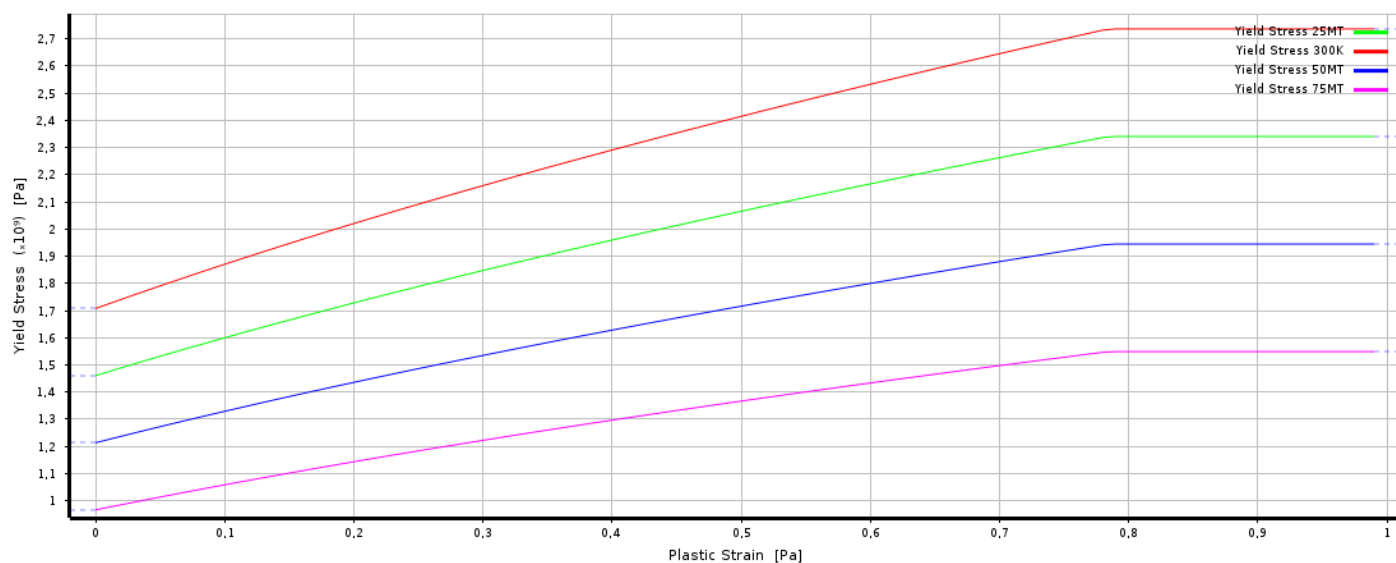
A	B	C
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	17000	kg m ⁻³
Specific Heat, C _p	134	J kg ⁻¹ C ⁻¹
Johnson Cook Strength		
Strain Rate Correction	First-Order	
Initial Yield Stress	1,506E+09	Pa
Hardening Constant	1,77E+08	Pa
Hardening Exponent	0,12	
Strain Rate Constant	0,016	
Thermal Softening Exponent	1	
Melting Temperature	1449,9	C
Reference Strain Rate (/sec)	1	
Shear Modulus	1,6E+11	Pa
Shock EOS Linear		
Gruneisen Coefficient	1,54	
Parameter C1	4029	m s ⁻¹
Parameter S1	1,237	
Parameter Quadratic S2	0	s m ⁻¹

Obr. 7 Předdefinované materiálové vlastnosti

2.1.1. STEEL V250

A	B	C
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	8129	kg m ⁻³
Specific Heat, C _p	408	J kg ⁻¹ C ⁻¹
Steinberg Guinan Strength		
Shear Modulus	7,18E+10	Pa
Shock EOS Linear		
Gruneisen Coefficient	1,6	
Parameter C1	3980	m s ⁻¹
Parameter S1	1,58	
Parameter Quadratic S2	0	s m ⁻¹

Obr. 8 Předdefinované materiálové vlastnosti

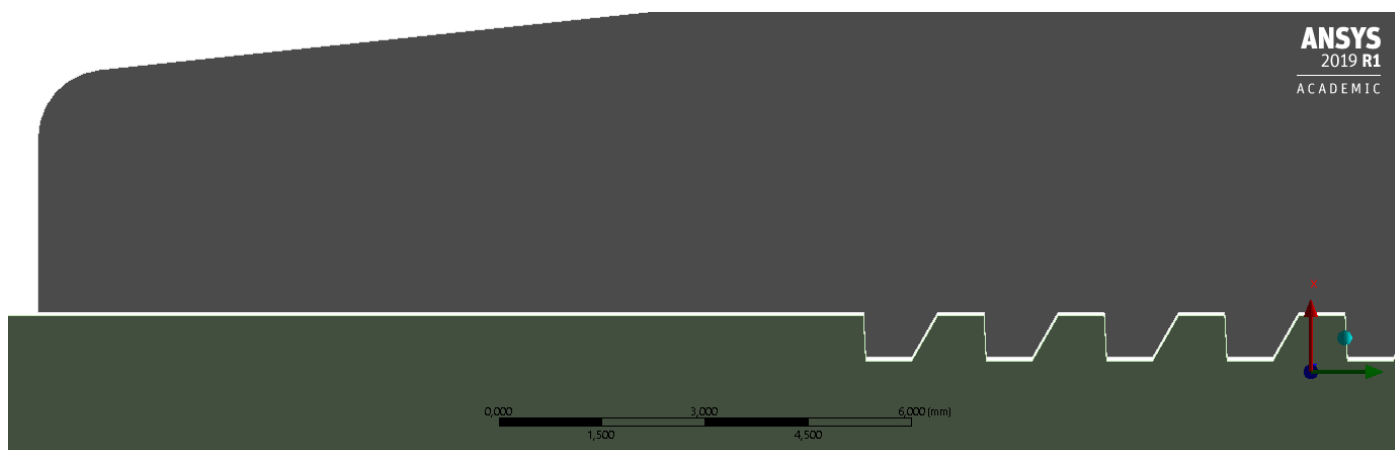


Obr. 9 Deformační zpevnění dle Steinberg Guinan

2.2. Spojení

Odsazení součástí umožnilo použít funkci Body Interaction. Tato funkce usnadnila výběr třecích ploch (výběr byl proveden automaticky).

- Vůle mezi hlavní a sabotem = 0,02 mm
- Vůle mezi penetrátorem a sabotem = 0,05 mm



Obr. 10 Vůle mezi součástmi

2.2.1. Kontakty

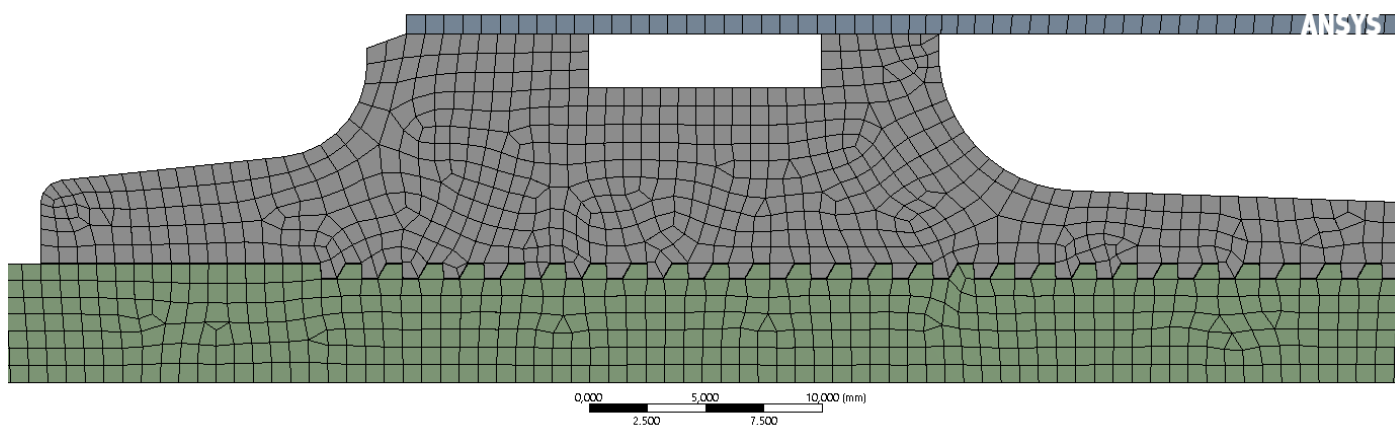
Součinitele tření voleny dle tabulek vykazovali příliš vysoké energetické ztráty. Byly proto voleny nové součinitele společně s kombinací odporu vzduchu. Hodnoty byly voleny experimentálně.

Details of "Body Interaction"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Frictional
Friction Coefficient	0,2
Dynamic Coefficient	0,15
Decay Constant	0,
Suppressed	No

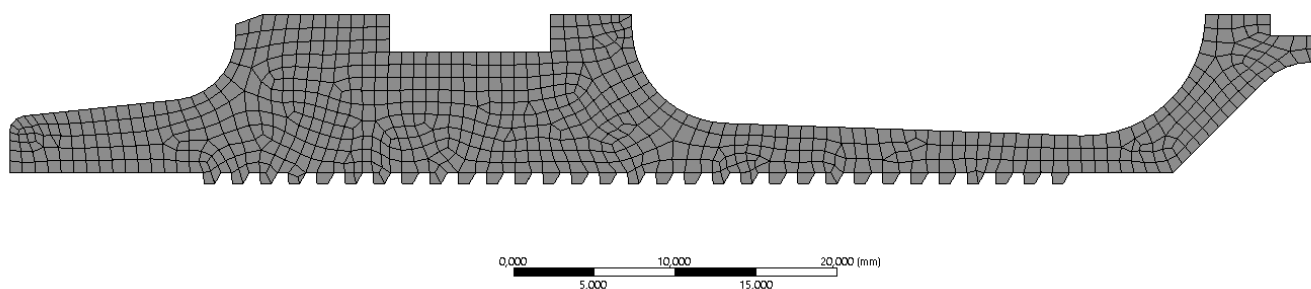
Obr. 11 Součinitel tření pro definované plochy

2.3. Síť prvků

2.3.1. Globální síť



Obr. 12 Pohled na celkově zasítovaný model



Obr. 13 Detailní pohled na sabot

Details of "Mesh"	
☒ Display	
Display Style	Use Geometry Setting
☒ Defaults	
Physics Preference	Explicit
Element Order	Linear
☐ Element Size	0,8 mm
☒ Sizing	
Use Adaptive Sizing	No
☐ Growth Rate	Default (1,2)
Mesh Defeaturing	Yes
☐ Defeature Size	Default (4,e-003 mm)
Capture Curvature	Yes
☐ Curvature Min Size	Default (8,e-003 mm)
☐ Curvature Normal Angle	Default (30,°)
Capture Proximity	No
Size Formulation (Beta)	Program Controlled
Bounding Box Diagonal	4573,1 mm
Average Surface Area	1630,1 mm ²
Minimum Edge Length	0,49315 mm
Enable Size Field (Beta)	No
☒ Quality	
☒ Inflation	
☒ Batch Connections (Beta)	
☒ Advanced	
☒ Statistics	
☐ Nodes	13795
☐ Elements	7781

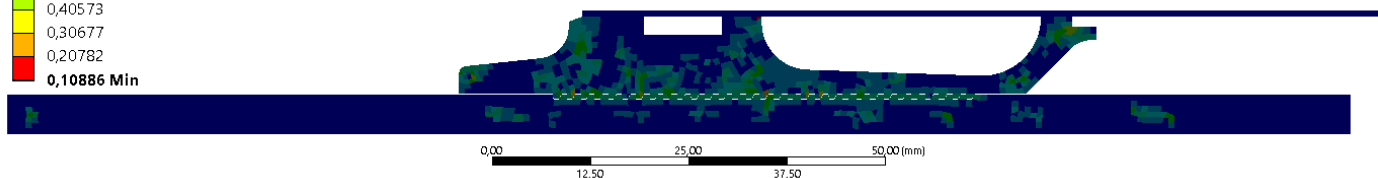
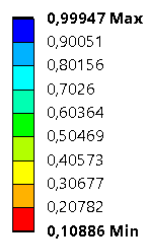
Obr. 14 Detailní nastavení sítě

2.3.2. Kvalita sítě

Síť byla upravena pomocí funkce Node Move, aby kvalita sítě byla vyšší nebo rovna hodnotě 0,5. V síti se nacházel pouze jeden špatný prvek, který je zvýrazněn na obrázku 12.

Mesh

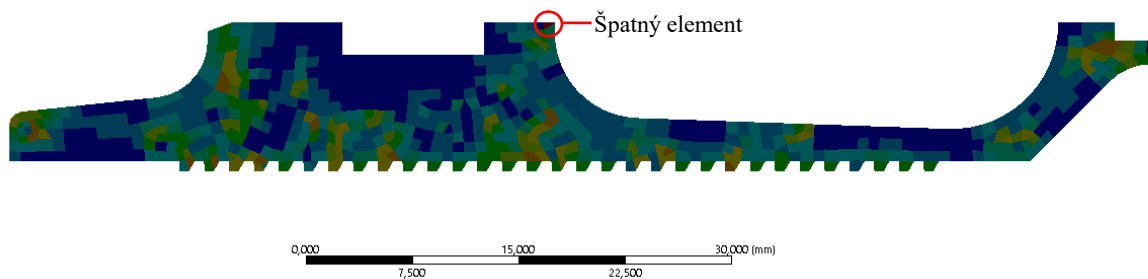
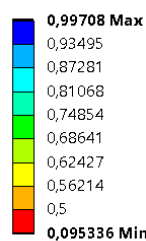
Element Quality
22.5.2019 9:21



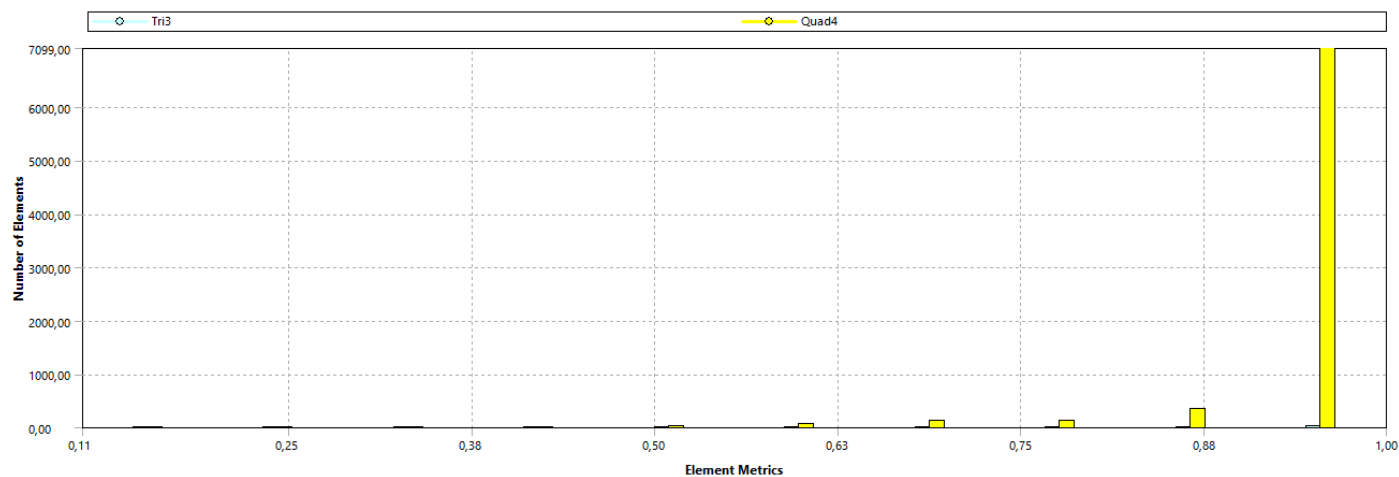
Obr. 15 Kvalita sítě na celkové střele

Mesh

Element Quality
22.5.2019 9:25



Obr. 16 Kvalita sítě na sabotu, detail



Obr. 17 Četnost kvality prvků

3. Explicitní řešič

3.1. Nastavení řešiče

Details of "Explicit Dynamics (D5)"	
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Explicit Dynamics
Solver Target	AUTODYN
Options	
☐ Environment Temperature	100, °C
Generate Input Only	No

Obr. 18 Nastavení řešiče, výchozí teplota

3.2. Nastavení analýzy

Details of "Analysis Settings"	
[-] Analysis Settings Preference	
Type	Program Controlled
[-] Step Controls	
Number Of Steps	1
Current Step Number	1
End Time	6,e-003
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
Maximum Energy Error	100,
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0,9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
[+] Solver Controls	
[+] Euler Domain Controls	
[+] Damping Controls	
[-] Erosion Controls	
On Geometric Strain Limit	Yes
Geometric Strain Limit	1,5
On Material Failure	Yes
On Minimum Element Time Step	No
Retain Inertia of Eroded Material	Yes
[+] Output Controls	
[-] Analysis Data Management	
Solver Files Directory	E:\Ansys\APFSDS_V4...
Scratch Solver Files Directory	

Obr. 19 Nastavení analýzy, čas, energetická chyba, vyloučení deformovaných prvků

3.3. Okrajové podmínky

3.3.1 Tlakové působení výmetné náplně

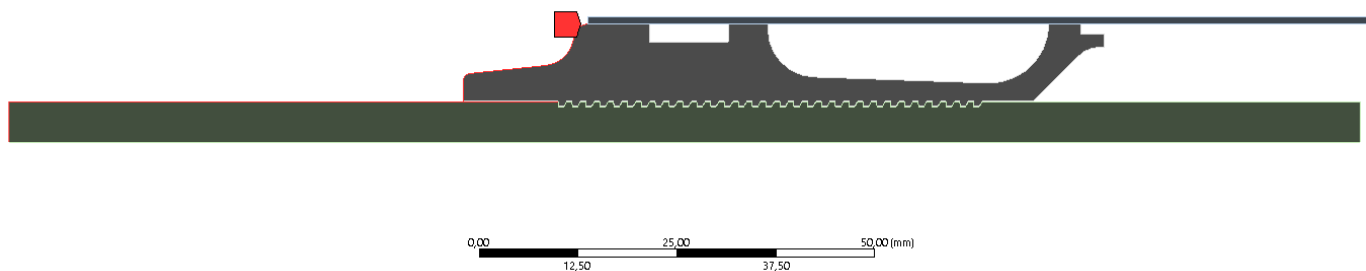
D: Finalní dynamika

Pressure

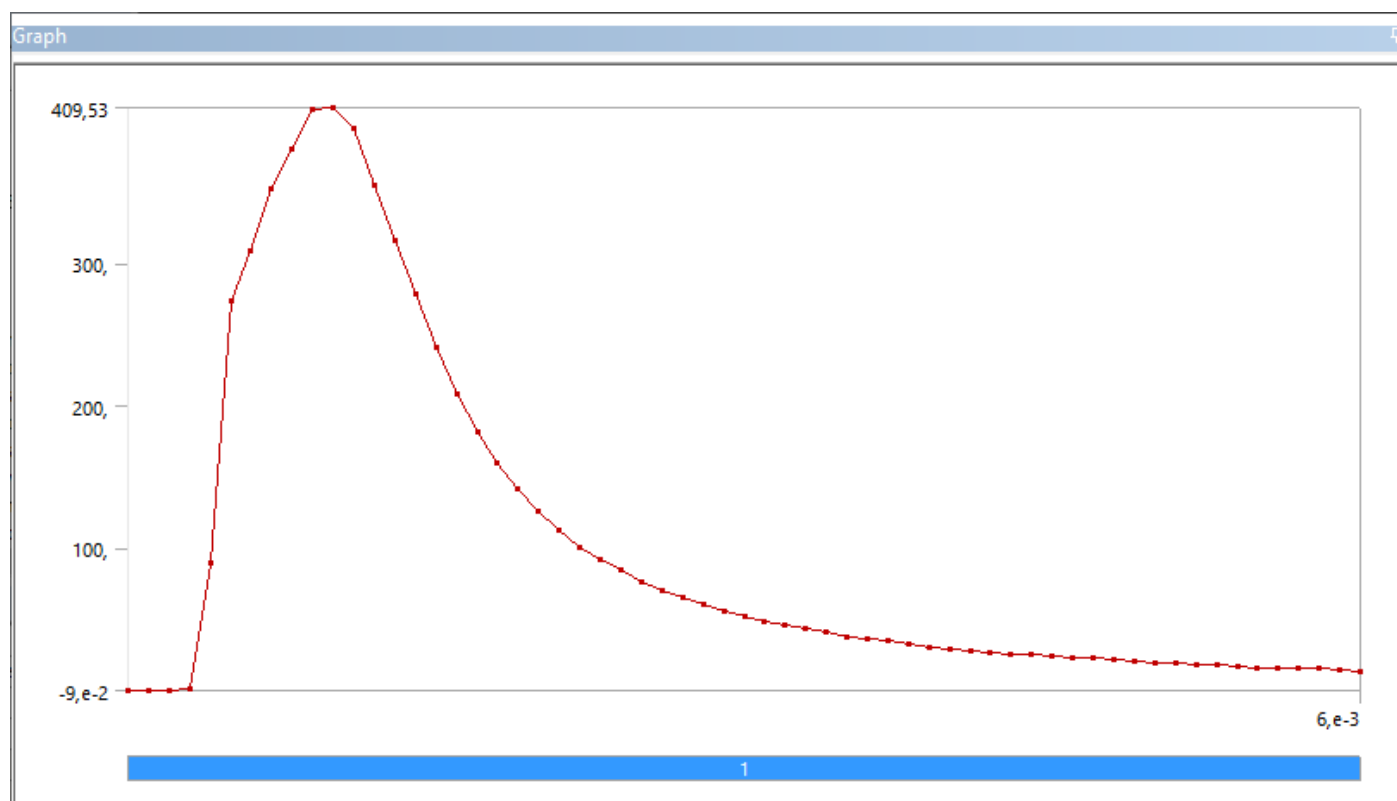
Time: 6,e-003 s

22.5.2019 9:38

Pressure: 13,83 MPa



Obr. 20 Hrany zatížené tlakem



Obr. 21 Tlakový průběh

3.3.2 Odpor vzduchu

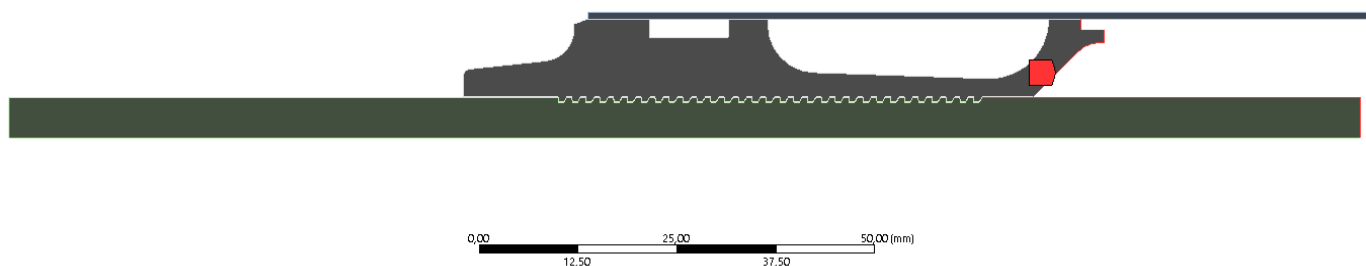
D: Finalní dynamika

Pressure 2

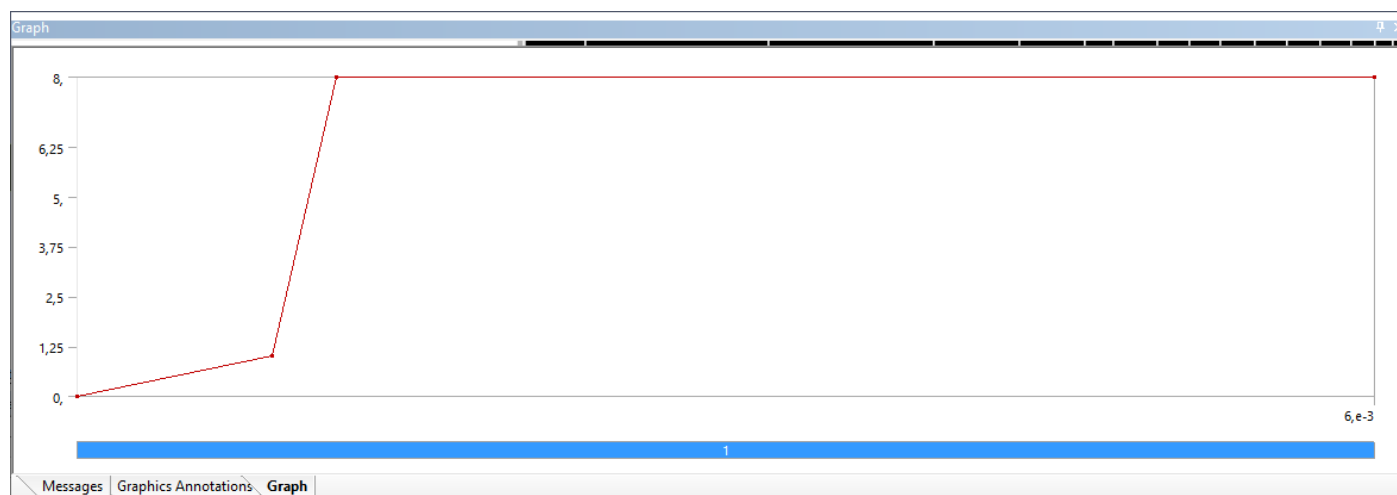
Time: 6,e-003 s

22.5.2019 11:23

Pressure 2: 8, MPa



Obr. 22 Místa namáhána odporem vzduchu



Obr. 23 Odpor vzduchu, graf

3.3.3 Zafixování hlavně

Byla použita fixní vazba aplikovaná na vnější plášť hlavně

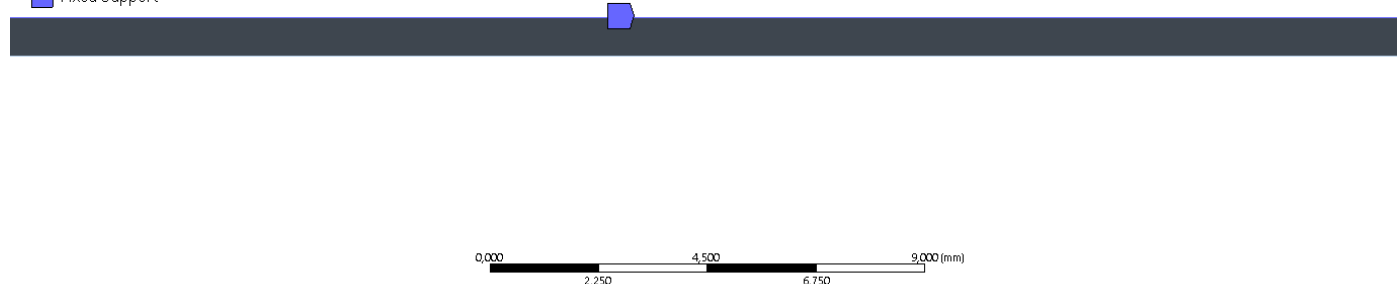
D: Finalní dynamika

Fixed Support

Time: 6,e-003 s

22.5.2019 11:29

Fixed Support



Obr. 24 Fixní vazba

3.3.4 Gravitační konstanta

Aby vzniklo tření dvojce sabot – hlaveň, bylo potřeba do výpočtu přidat gravitační zrychlení. U osově symetrické úlohy zrychlení lze nastavit pouze v ose Y, proto bylo aplikováno v podobě tlaku na plochu o adekvátní hodnotě.

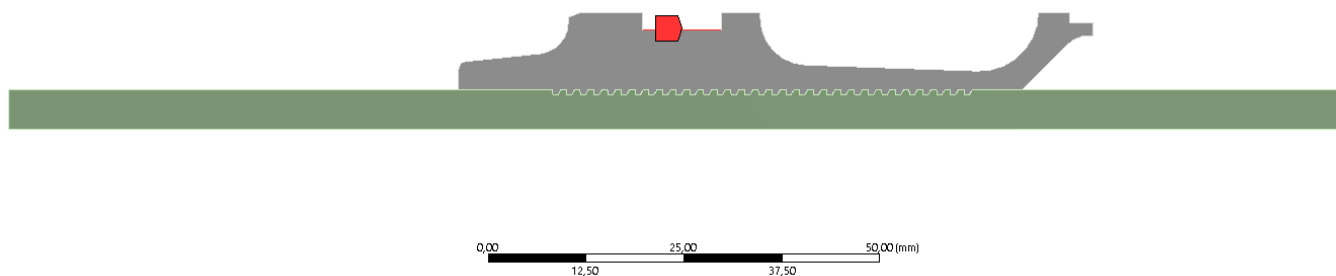
D: Finalní dynamika

Pressure 3

Time: 6,e-003 s

22.5.2019 11:34

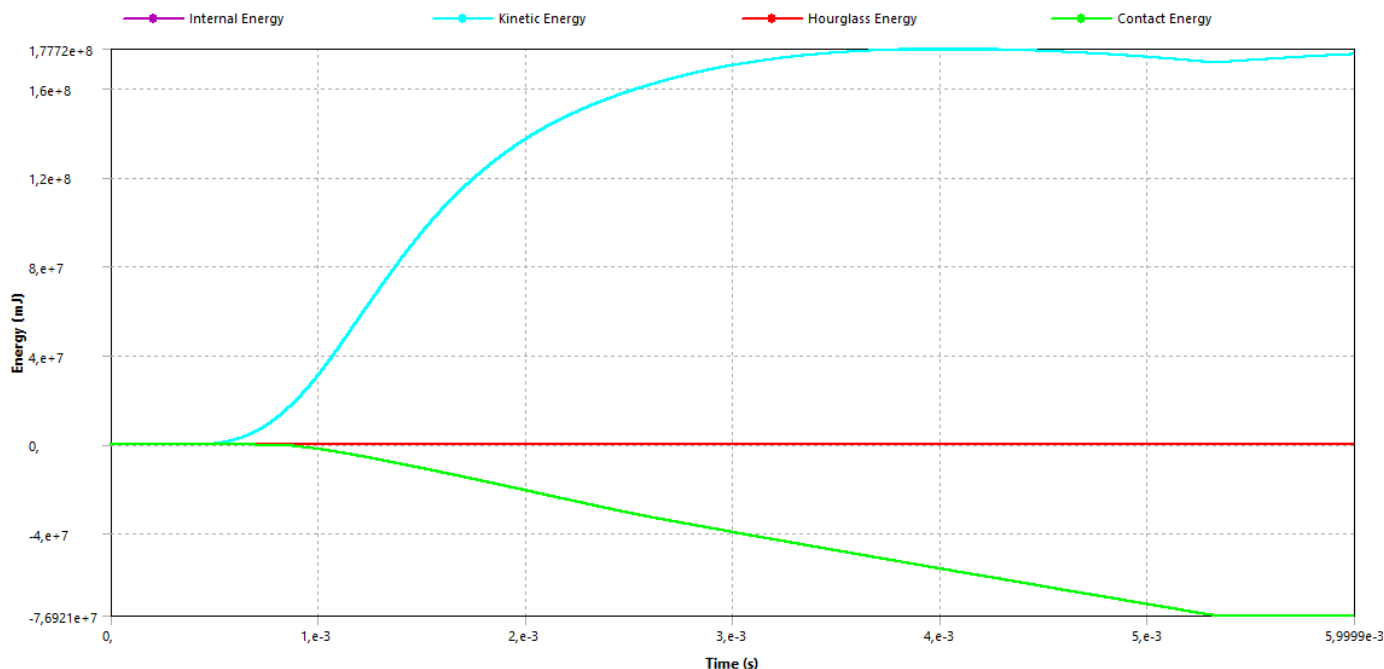
Pressure 3: 3,7e-003 MPa



Obr. 25 Gravitační zrychlení

4. Výsledky

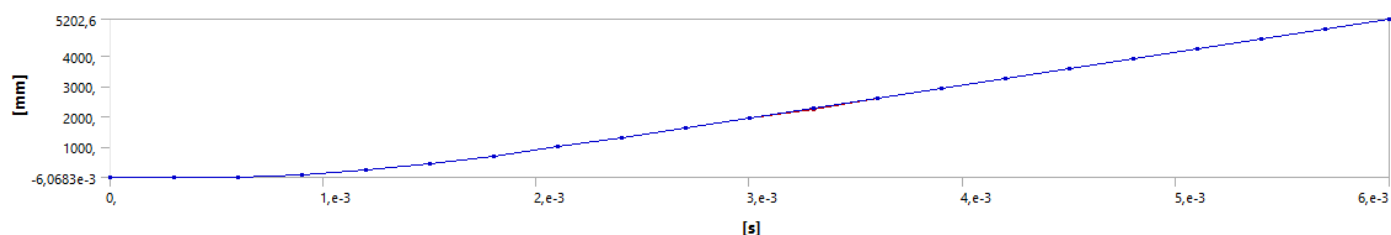
4.1. Souhrn energií



Obr. 26 Kinetická energie (modrá)

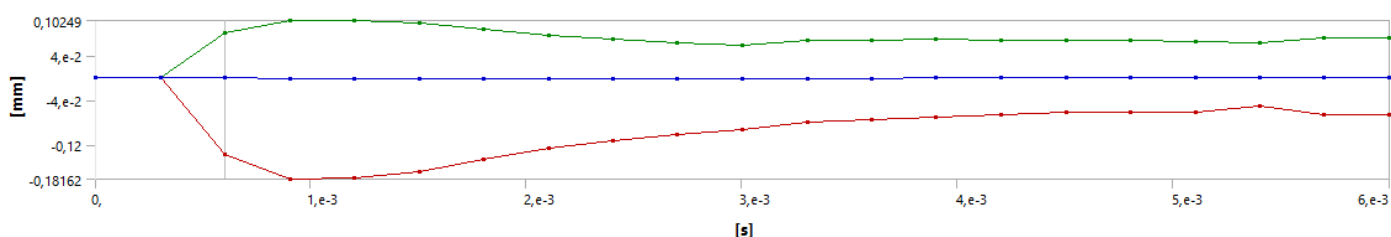
4.2. Posuv střely

Střela za 0,6 ms urazí 5,202 m.



Obr. 27 Posuv střely

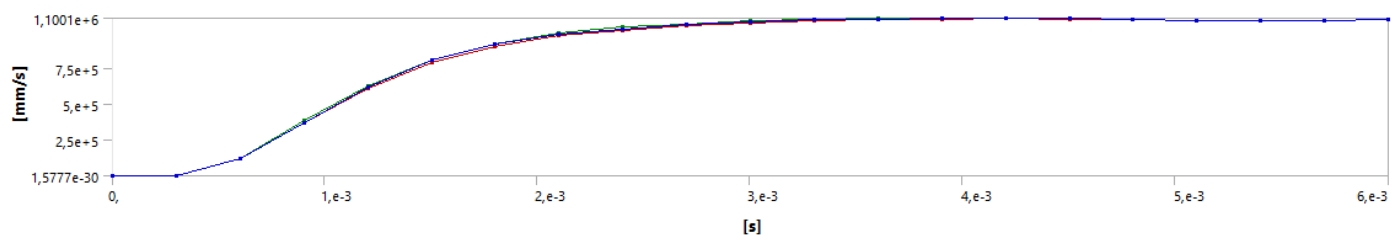
4.3. Posuv střely v ose X



Obr. 28 Posuv střely v ose X

4.4. Rychlost střely

Střela dosáhne rychlosti 1100 m/s na ústí hlavně.



Obr. 29 Rychlost střely v závislosti na čase

4.5. Napětí von-Mises

4.5.1. Nejvyšší napětí ve střele

Nejvyšší napětí je 1080 MPa, vyskytuje se v penetrátoru.

D: Finalní dynamika

Equivalent Stress 2

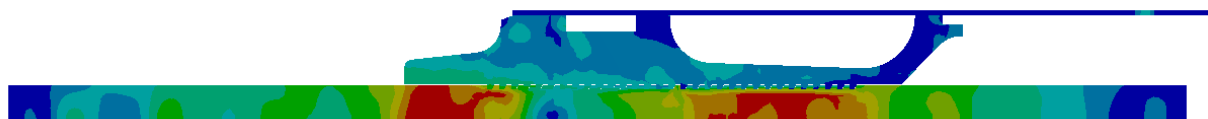
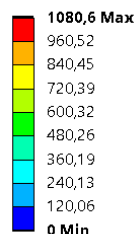
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

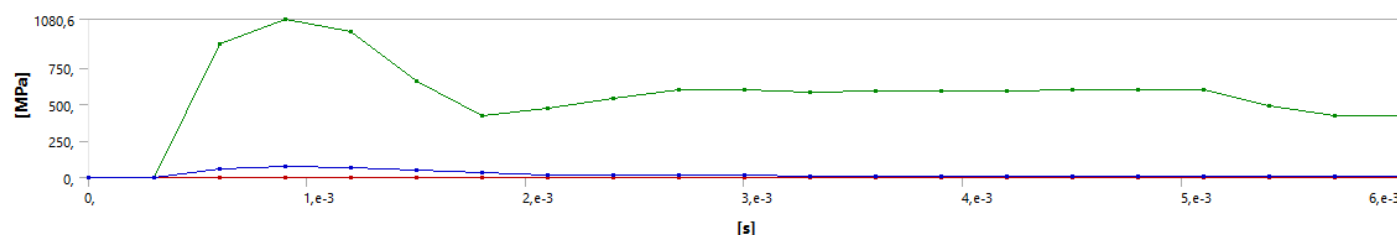
Time: 9,0001e-004

Cycle Number: 46646

22.5.2019 11:55



Obr. 30 Celková napjatost střely



Obr. 31 Průběh napětí v závislosti na čase

4.5.2. Nejvyšší napětí v sabotu

Největší napjatost sabotu je 578 MPa v místě prvního ozubu. Jedná se o děj v čase 0,6 ms. Největší napětí v čase 2,7 ms dosahující hodnoty 603 MPa nelze považovat za relevantní, protože se jedná o pik vyskytující se na hraně.

D: Finalní dynamika

Equivalent Stress

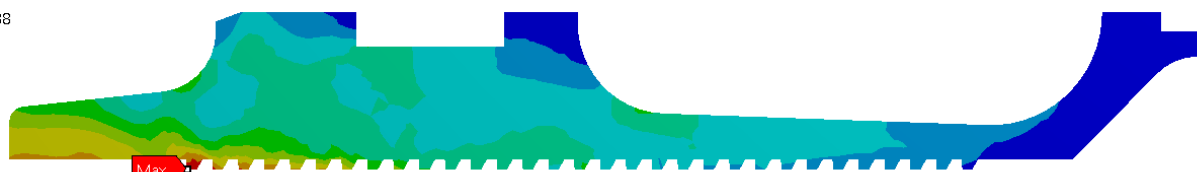
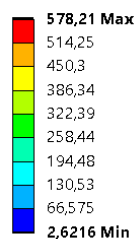
Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

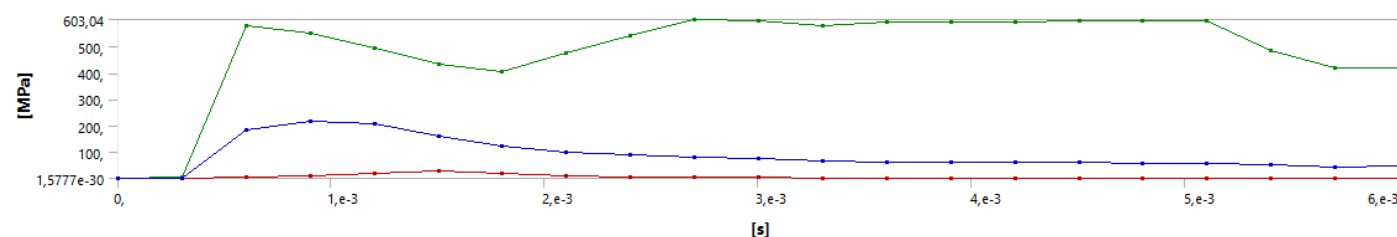
Time: 6,0002e-004

Cycle Number: 31088

22.5.2019 11:59



Obr. 32 Celková napjatost sabotu



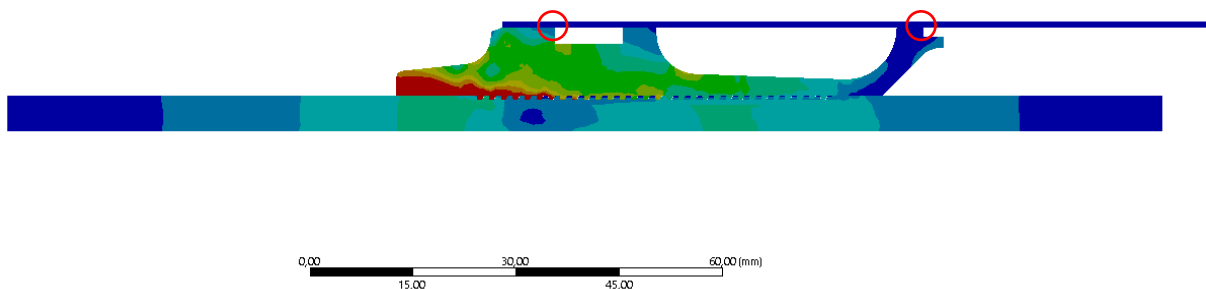
Obr. 33 Průběh napětí v závislosti na čase

4.6. Elastické přetvoření

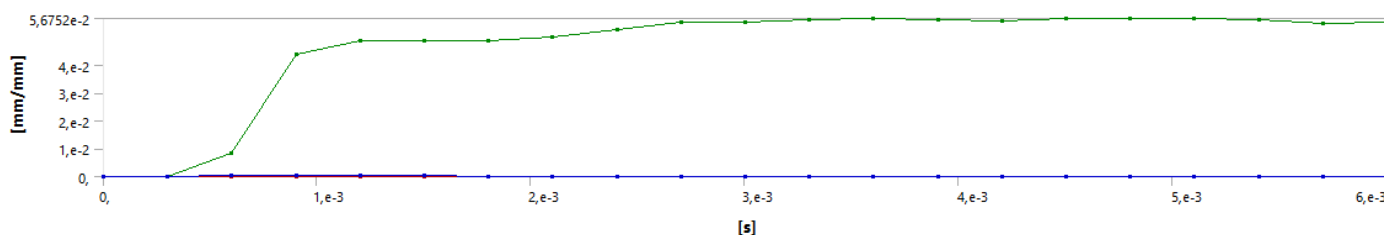
Elastické přetvoření v čase 0,6 ms poukazuje na velké přetvoření sabotu. Následné největší přetvoření vznikalo v oblastech vyznačených na obrázku 29. Jednalo se o sabot.

D: Finalní dynamika
Equivalent Elastic Strain
Type: Equivalent Elastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 6,0002e-004
Cycle Number: 31088
22.5.2019 12:06

0,0085345 Max
0,005
0,004375
0,00375
0,003125
0,0025
0,001875
0,00125
0,000625
0 Min



Obr. 34 Elastické přetvoření



Obr. 35 Průběh elastického přetvoření

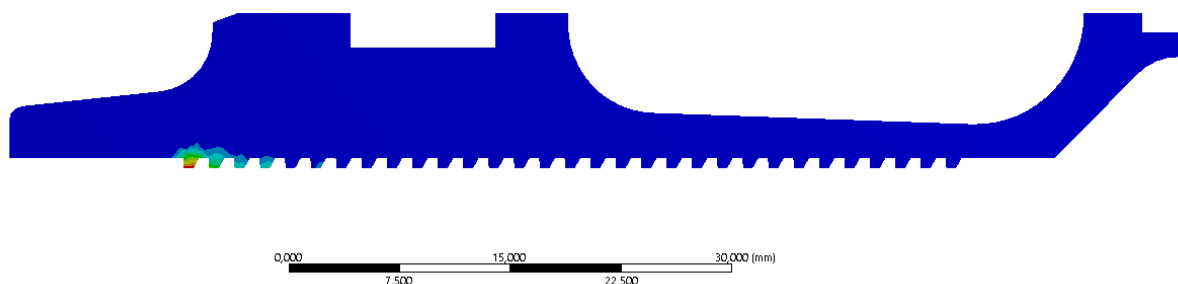
4.7. Plastické přetvoření

Na následujících snímcích je patrný růst plastického přetvoření sabotu v závislosti na čase. Plasticita se šířila prvními ozuby. Jiné části střely nebyly plasticky deformovány.

4.7.1. Čas 0,6 ms

D: Finalní dynamika
Equivalent Plastic Strain 2
Type: Equivalent Plastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 6,0002e-004
Cycle Number: 31088
22.5.2019 12:12

0,032848 Max
0,029198
0,025548
0,021899
0,018249
0,014599
0,010949
0,0072996
0,0036498
0 Min

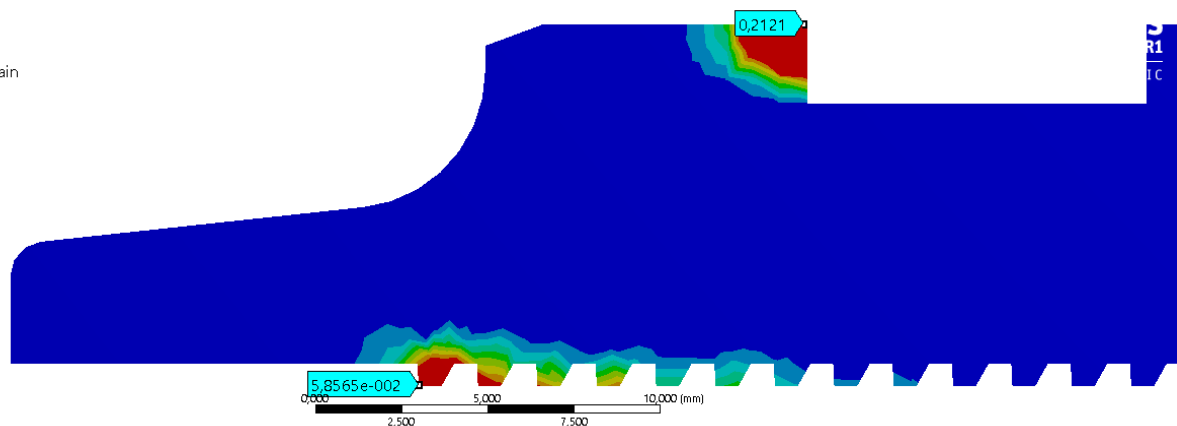
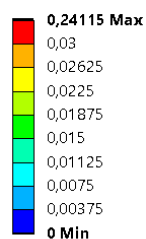


Obr. 36 Plasticita v čase 0,6 ms

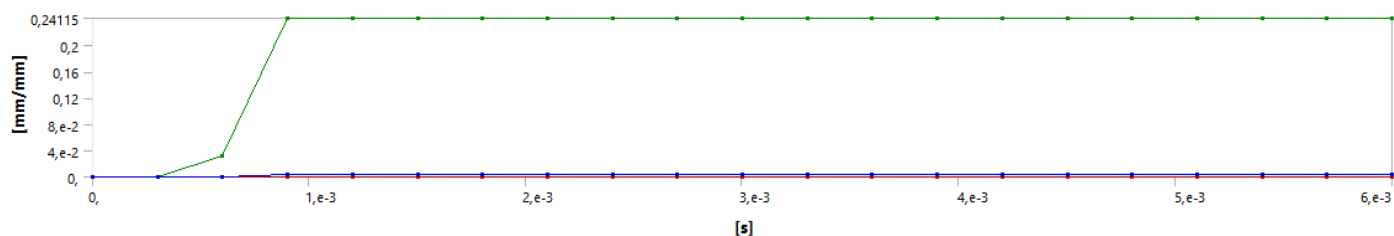
4.7.2. Čas 0,9 ms

D: Finalní dynamika

Equivalent Plastic Strain 2
Type: Equivalent Plastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 9,0001e-004
Cycle Number: 46646
22.5.2019 12:14



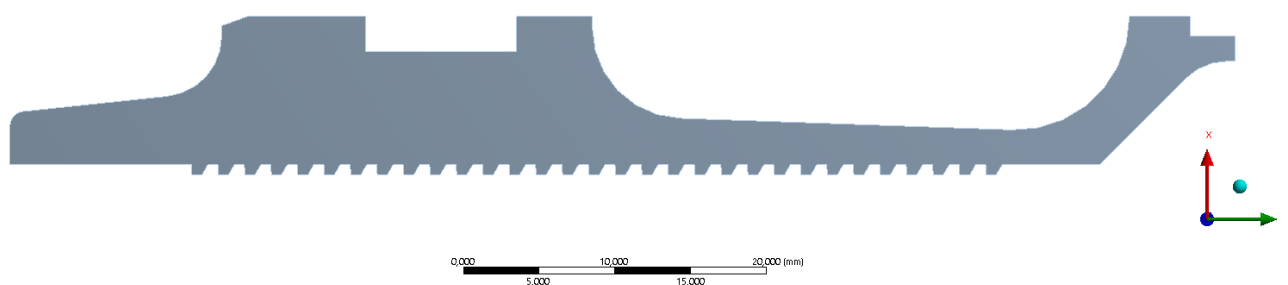
Obr. 37 Plasticita v čase 0,9 ms



Obr. 38 Plastické přetvoření v závislosti na čase

VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA

Model
23.5.2019 11:47



PROJEKT:

Topologicky optimalizovaný sabot

TYP ANALÝZY:

Topologická optimalizace

DATUM:

23.5.2019

OSTATNÍ:

Příloha 7

POČET STRAN:

23

AUTOR:

Jan Hajda

1. Obsah

2. MODEL	3
2.1. GEOMETRIE	3
2.1.1. Základní informace	3
2.1.2. Detail nastavení geometrie	3
2.2. MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI	4
2.2.1. EN AW 7075	4
2.1. SÍŤ PRVKŮ	5
2.1.1. Globální síť	5
2.1.2. Kvalita sítě	5
3. ZÁTĚŽNÉ STAVY	6
3.1. PYROSTATIKA	7
3.1.1. Posuvy v ose X	7
3.1.2. Posuvy v ose Y	8
3.1.3. Výsledek	8
3.2. ČASOVÝ OKAMŽIK 0,6 ms	9
3.2.1. Posuvy v ose X	9
3.2.2. Posuvy v ose Y	10
3.2.3. Výsledek	10
3.3. ČASOVÝ OKAMŽIK 0,9 ms	11
3.3.1. Posuvy v ose X	11
3.3.2. Posuvy v ose Y	12
3.3.3. Výsledek	12
3.4. ČASOVÝ OKAMŽIK 1,2 ms	13
3.4.1. Posuvy v ose X	13
3.4.2. Výsledek	14
3.5. ČASOVÝ OKAMŽIK 1,5 ms	14
3.5.1. Posuvy v ose X	14
3.5.2. Výsledek	15
3.6. ČASOVÝ OKAMŽIK 3 ms	16
3.6.1. Posuvy v ose X	16
3.6.2. Výsledek	17
4. TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE	17
4.1.1. Obálka	17
4.1.2. Optimalizační podmínka	18
4.1.3. Dodatečná omezující podmínka	18
5. VÝSLEDKY TOPOLOGICKÉ OPTIMALIZACE	19
5.1. TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE	19
5.2. VÝSLEDNÝ MODEL PRO VALIDACI	19
6. VERIFIKACE MODELU	19
6.1. SOUHRN ENERGIÍ	19
6.2. POSUV STŘELY	20
6.3. RYCHLOST STŘELY	20
6.4. PLASTICKÉ PŘETVOŘENÍ	21
7. DODATEK	21

VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA Dynamická analýza, se třením	Datum:	22.5.2019
--	--------	-----------

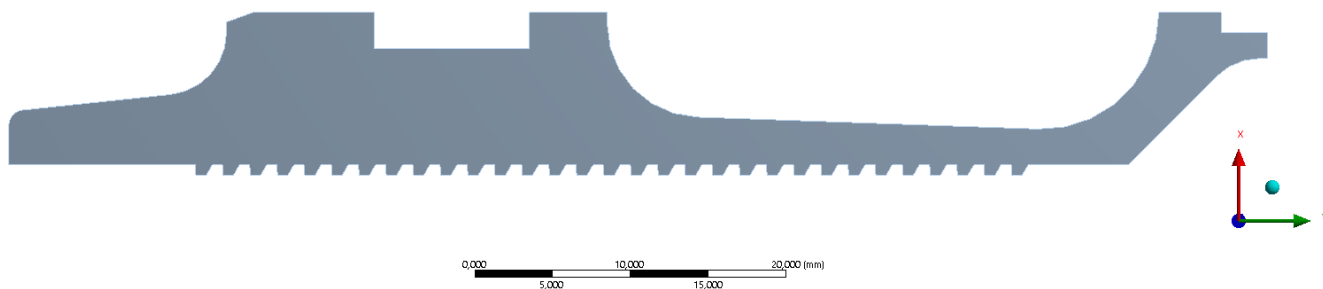
7.1.	GEOMETRIE.....	21
7.2.	MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI.....	21
7.3.	Síť.....	22
7.4.	OKRAJOVÉ PODMÍNKY	22
7.5.	CELKOVÝ POSUV	23

2. Model

2.1. Geometrie

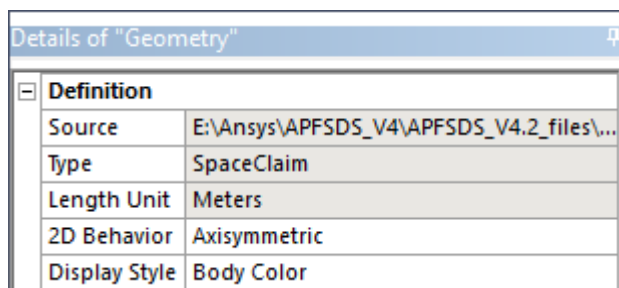
2.1.1. Základní informace

Model
23.5.2019 11:47



Obr. 1 Sabot

2.1.2. Detail nastavení geometrie



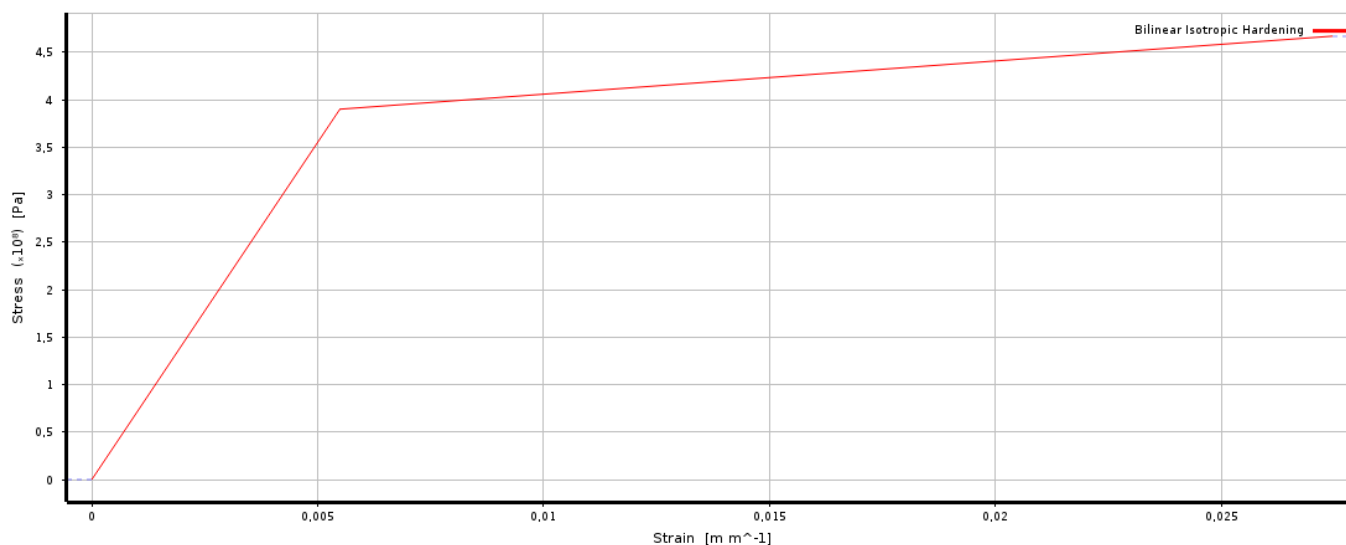
Obr. 2 Detail geometrie

2.2. Materiálové vlastnosti

2.2.1. EN AW 7075

A	B	C
Property	Value	Unit
 Material Field Variables	 Table	
 Density	2804	kg m ⁻³
 Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulus a... 	
Young's Modulus	71000	MPa
Poisson's Ratio	0,33	
Bulk Modulus	6,9608E+10	Pa
Shear Modulus	2,6692E+10	Pa
 Bilinear Isotropic Hardening		
Yield Strength	390	MPa
Tangent Modulus	3500	MPa

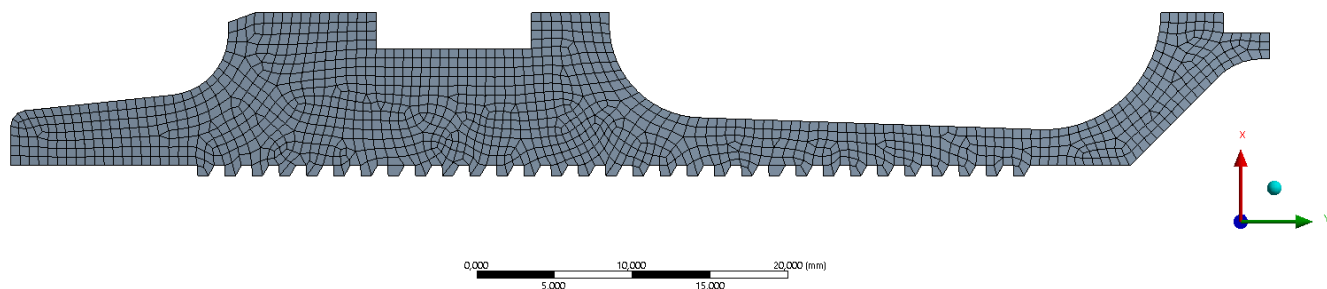
Obr. 3 Předdefinované materiálové vlastnosti



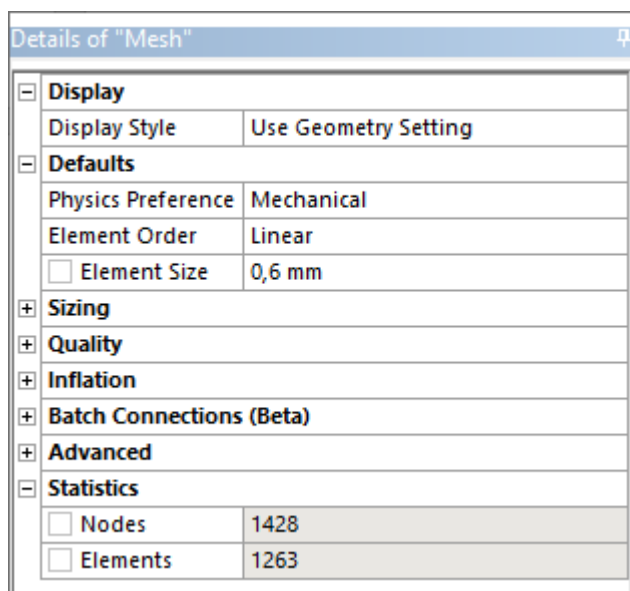
Obr. 4 Bilineární diagram

2.1. Sít' prvků

2.1.1. Globální sít'



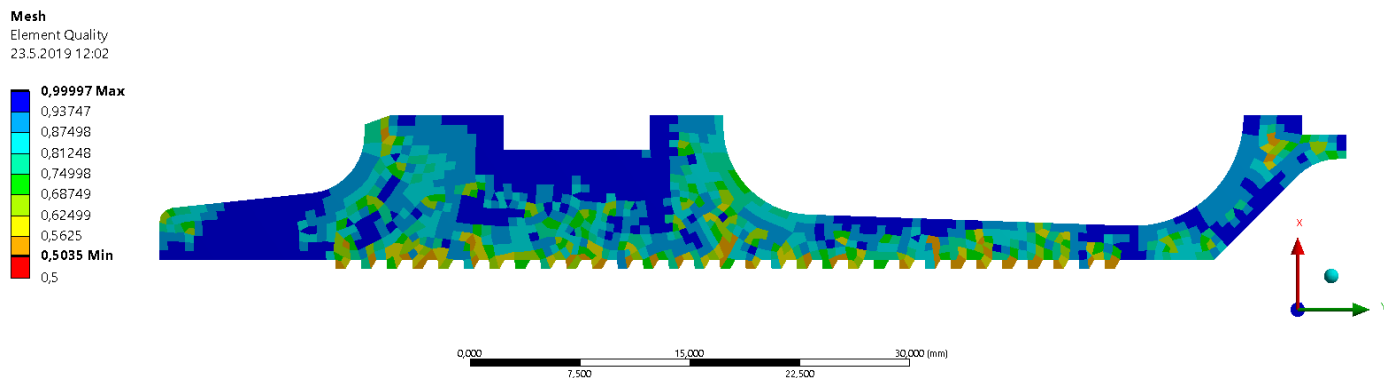
Obr. 5 Pohled na sít' modelu



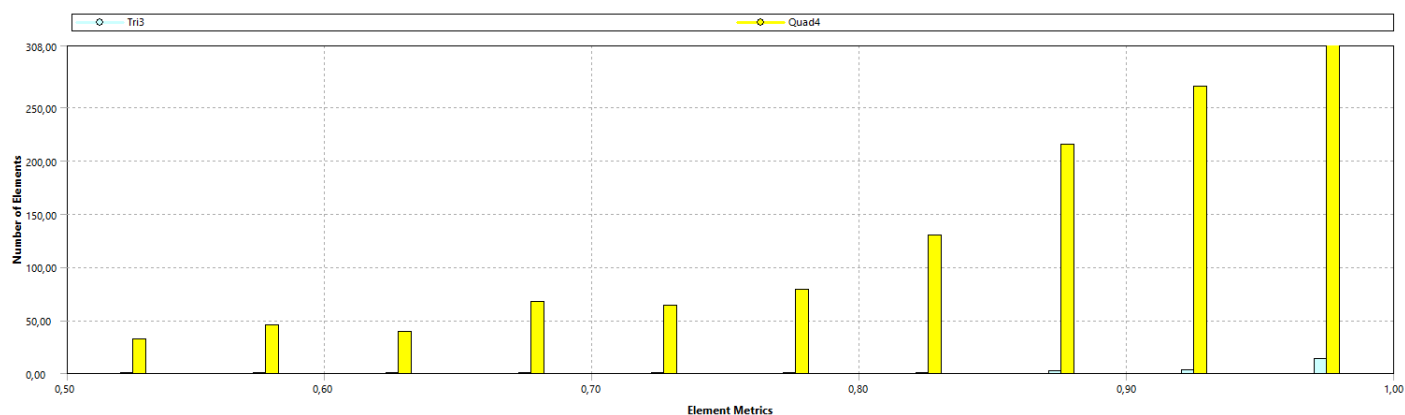
Obr. 6 Detailní nastavení sítě

2.1.2. Kvalita sítě

Sít' byla upravena pomocí funkce Node Move, aby kvalita sítě byla vyšší nebo rovna hodnotě 0,5.



Obr. 7 Kvalita síť



Obr. 8 Četnost kvality prvků

3. Zátěžné stavy

	A	B	C
1	Data Source ▼	Location	Identifier ▼
2	E:\Ansys\APFSDS_V4\pyrostatika\x-def.txt	...	File1
3	E:\Ansys\APFSDS_V4\pyrostatika\y-def.txt	...	File2

Obr. 9 Importované soubory

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Definition		
3	Dimension	2D ▼	
4	Start Import At Line	1	
5	Format Type	Delimited ▼	
6	Delimiter Type	Tab ▼	
7	Delimiter Character	Tab	
8	Length Unit	mm ▼	
9	Coordinate System Type	Cartesian ▼	
10	Material Field Data	☐	
11	Analytical Transformation		
12	X Coordinate	x	
13	Y Coordinate	y	

Obr. 10 Nastavení souboru

Table of File - E:\Ansys\APFSDS_V4\pyrostatika\X-def.txt : Delimiter - 'Tab'

	A	B	C	D	E
1	Column ▾	Data Type ▾	Data Unit ▾	Data Identifier ▾	Combined Identifier ▾
2	A	Not Used ▾			File1
3	B	X Coordinate ▾	mm		File1
4	C	Y Coordinate ▾	mm		File1
5	D	Not Used ▾			File1
6	E	Displacement ▾	mm ▾	dx	File1:dx

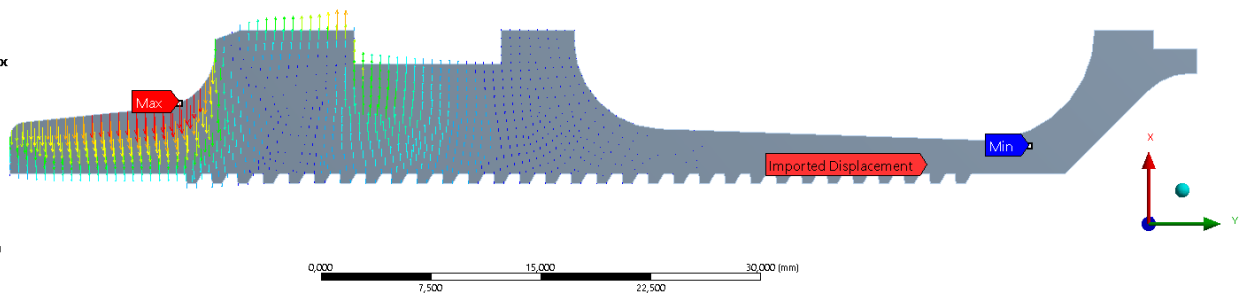
Obr. 11 Přřazení hodnot ze souboru

3.1. Pyrostatika

3.1.1. Posuvy v ose X

I: Pyrostatika - import
Imported Displacement
Time: 1, s
All
Unit: mm
23.5.2019 13:57

0,000164249 Max
0,000145999
0,000127749
0,000109499
9,12495e-5
7,29996e-5
5,47497e-5
3,64998e-5
1,82499e-5
2,76455e-13 Min



Obr. 12 Importované posuvy v ose X

Wed Mar 20, 2019 19:39:49

Using multiple cores: [Yes]
Number of cores requested: 8

Maximum source mesh bounding box length: 0.159 (m)
Maximum range used in sorting closest nodes: 0.00318 (m)

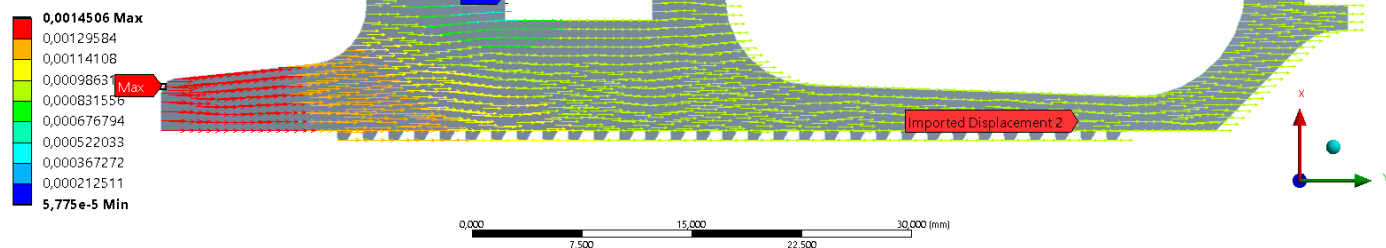
Number of source nodes: 5744
Number of target nodes: 1428

Number of nodes mapped : 1428
Number of nodes not mapped : 0
Number of nodes outside : 0

Percent nodes mapped: 100%
Weight calculation time: 0.157 (s)
Number of variables to interpolate: 1.
Interpolation time: 0. (s)

3.1.2. Posuvy v ose Y

I: Pyrostatika - import
Imported Displacement 2
Time: 1, s
All
Unit: mm
23.5.2019 13:57



Obr. 13 Importované posuvy v ose Y

Wed Mar 20, 2019 19:39:51

Using multiple cores: [Yes]
Number of cores requested: 8

Maximum source mesh bounding box length: 0.159 (m)
Maximum range used in sorting closest nodes: 0.00324 (m)

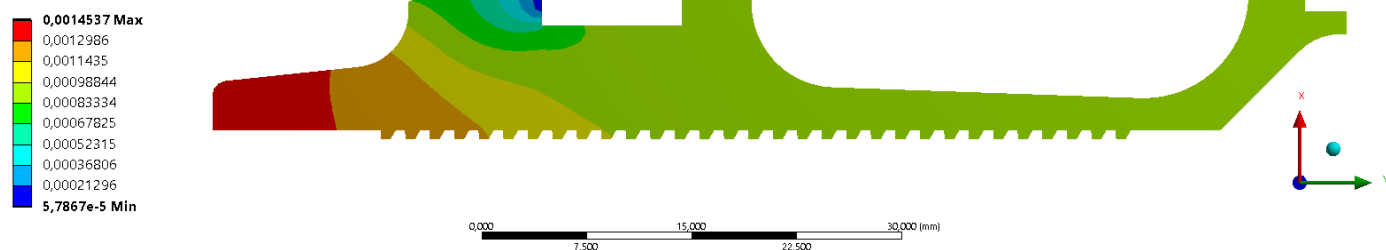
Number of source nodes: 5743
Number of target nodes: 1428

Number of nodes mapped : 1428
Number of nodes not mapped : 0
Number of nodes outside : 0

Percent nodes mapped: 100%
Weight calculation time: 0.159 (s)
Number of variables to interpolate: 1.
Interpolation time: 0. (s)

3.1.3. Výsledek

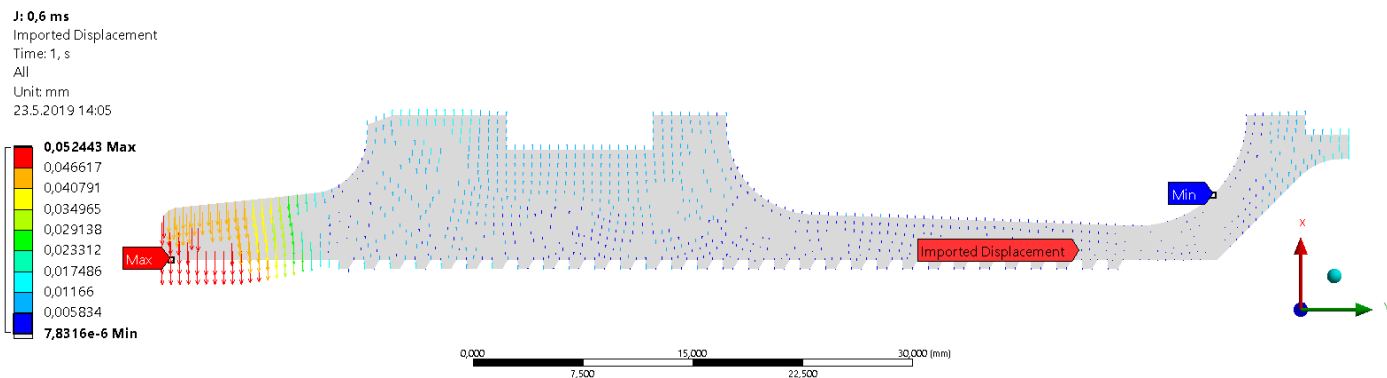
I: Pyrostatika - import
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
23.5.2019 14:17



Obr. 14 Výsledný posuv

3.2. Časový okamžik 0,6 ms

3.2.1. Posuvy v ose X



Obr. 15 Importované posuvy v ose X

Wed Mar 20, 2019 18:44:30

Using multiple cores: [Yes]

Number of cores requested: 8

Maximum source mesh bounding box length: 0.15619 (m)

Maximum range used in sorting closest nodes: 0.0002 (m)

Number of source nodes: 1426

Number of target nodes: 1428

Number of nodes mapped : 1127

Number of nodes not mapped : 301

Number of nodes outside : 0

Percent nodes mapped: 78%

Weight calculation time: 0.248 (s)

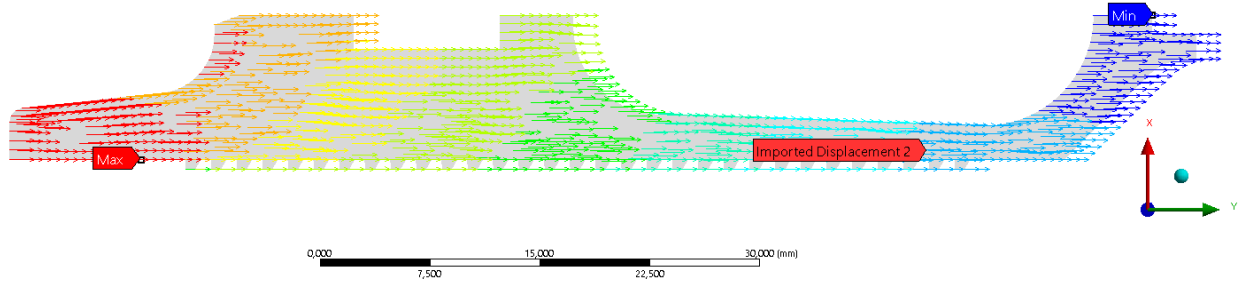
Number of variables to interpolate: 1.

Interpolation time: 1.e-003 (s)

3.2.2. Posuvy v ose Y

J: 0,6 ms
Imported Displacement 2
Time: 1, s
All
Unit: mm
23.5.2019 14:05

11,095 Max
11,077
11,059
11,041
11,023
11,005
10,987
10,969
10,951
10,933 Min



Obr. 16 Importované posuvy v ose Y

Wed Mar 20, 2019 18:44:42

Using multiple cores: [Yes]

Number of cores requested: 8

Maximum source mesh bounding box length: 0.15619 (m)

Maximum range used in sorting closest nodes: 0.0002 (m)

Number of source nodes: 1426

Number of target nodes: 1428

Number of nodes mapped : 1127

Number of nodes not mapped : 301

Number of nodes outside : 0

Percent nodes mapped: 78%

Weight calculation time: 0.24 (s)

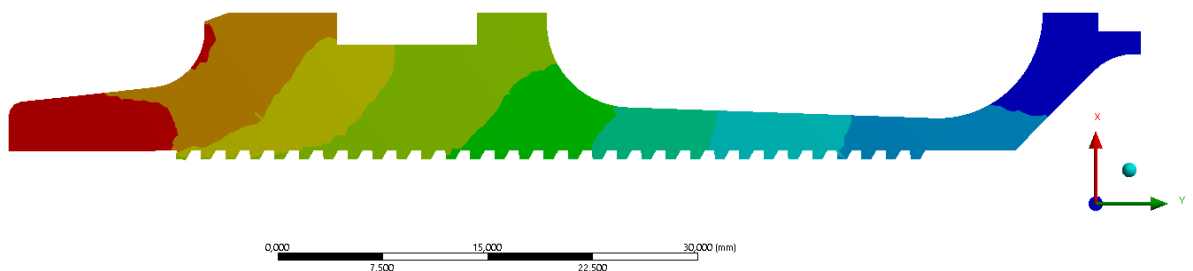
Number of variables to interpolate: 1.

Interpolation time: 1.e-003 (s)

3.2.3. Výsledek

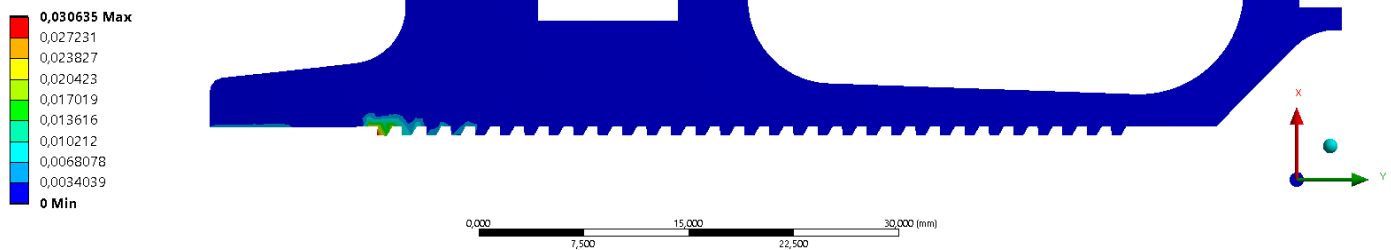
J: 0,6 ms
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
23.5.2019 14:17

11,095 Max
11,077
11,059
11,041
11,023
11,005
10,987
10,969
10,951
10,933 Min



Obr. 17 Výsledný posuv

J: 0,6 ms
Equivalent Plastic Strain
Type: Equivalent Plastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 1
23.5.2019 14:17

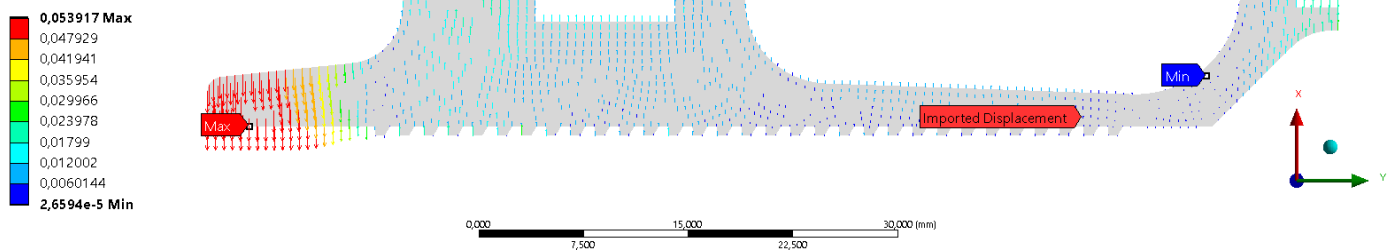


Obr. 18 Výsledná plasticita

3.3. Časový okamžik 0,9 ms

3.3.1. Posuvy v ose X

K: 0,9 ms
Imported Displacement
Time: 1, s
All
Unit: mm
23.5.2019 14:18



Obr. 19 Importované posuvy v ose X

Wed Mar 20, 2019 18:48:01

Using multiple cores: [Yes]
Number of cores requested: 8

Maximum source mesh bounding box length: 0.15619 (m)
Maximum range used in sorting closest nodes: 0.0002 (m)

Number of source nodes: 1426
Number of target nodes: 1428

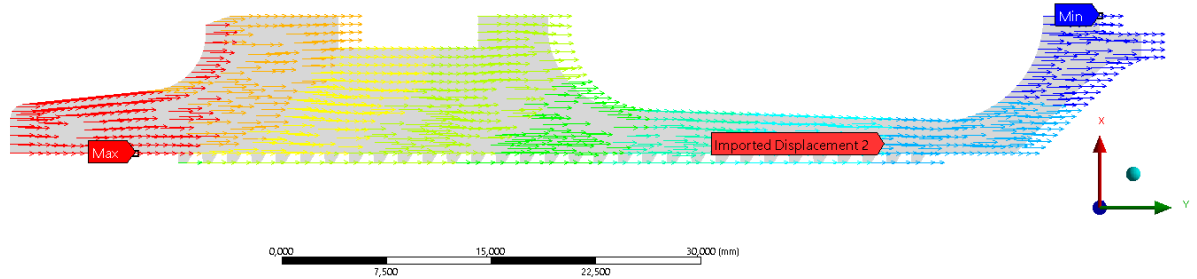
Number of nodes mapped : 1127
Number of nodes not mapped : 301
Number of nodes outside : 0

Percent nodes mapped: 78%
Weight calculation time: 0.234 (s)
Number of variables to interpolate: 1.
Interpolation time: 1.e-003 (s)

3.3.2. Posuvy v ose Y

K: 0,9 ms
Imported Displacement 2
Time: 1, s
All
Unit: mm
23.5.2019 14:19

79,053 Max
79,027
79,002
78,976
78,95
78,925
78,899
78,873
78,848
78,822 Min



Obr. 20 Importované posuvy v ose Y

Wed Mar 20, 2019 18:48:04

Using multiple cores: [Yes]
Number of cores requested: 8

Maximum source mesh bounding box length: 0.15619 (m)
Maximum range used in sorting closest nodes: 0.0002 (m)

Number of source nodes: 1426
Number of target nodes: 1428

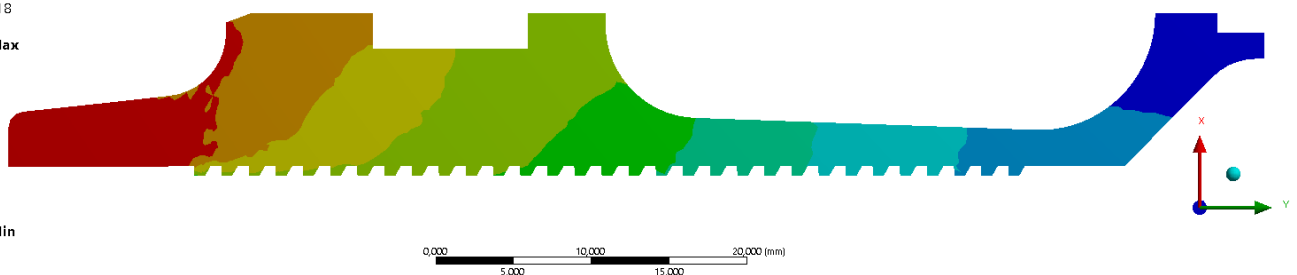
Number of nodes mapped : 1127
Number of nodes not mapped : 301
Number of nodes outside : 0

Percent nodes mapped: 78%
Weight calculation time: 0.216 (s)
Number of variables to interpolate: 1.
Interpolation time: 0. (s)

3.3.3. Výsledek

K: 0,9 ms
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
23.5.2019 14:18

79,053 Max
79,027
79,002
78,976
78,95
78,925
78,899
78,873
78,848
78,822 Min



Obr. 21 Výsledný posuv

K: 0,9 ms

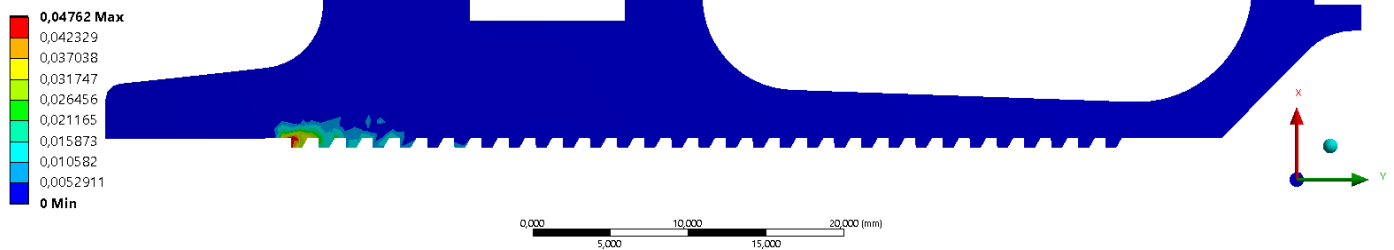
Equivalent Plastic Strain

Type: Equivalent Plastic Strain

Unit: mm/mm

Time: 1

23.5.2019 14:18



Obr. 22 Výsledná plasticita

3.4. Časový okamžik 1,2 ms

3.4.1. Posuvy v ose X

L: 1,2 ms

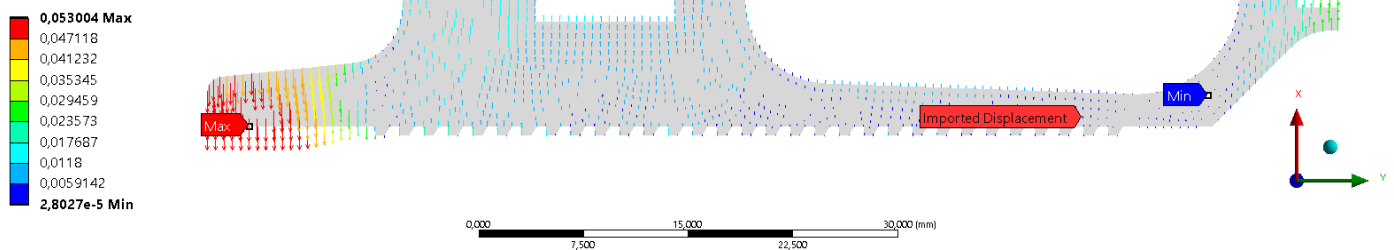
Imported Displacement

Time: 1, s

All

Unit: mm

23.5.2019 14:22



Obr. 23 Importované posuvy v ose X

Wed Mar 20, 2019 18:56:52

Using multiple cores: [Yes]

Number of cores requested: 8

Maximum source mesh bounding box length: 0.15619 (m)

Maximum range used in sorting closest nodes: 0.0002 (m)

Number of source nodes: 1426

Number of target nodes: 1428

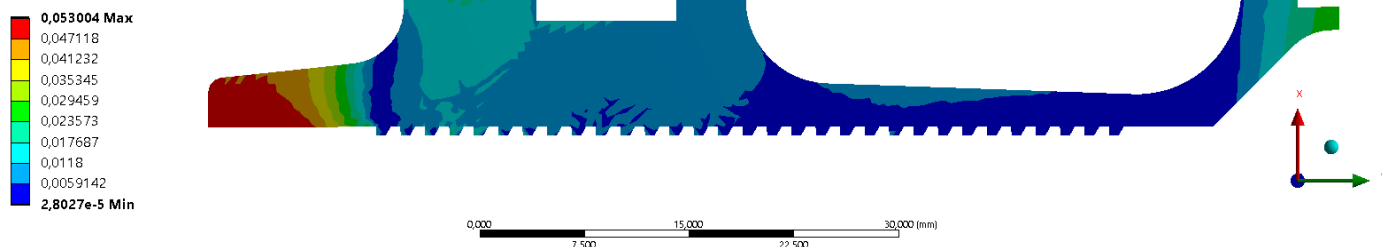
Number of nodes mapped : 1127

Number of nodes not mapped : 301

Number of nodes outside : 0

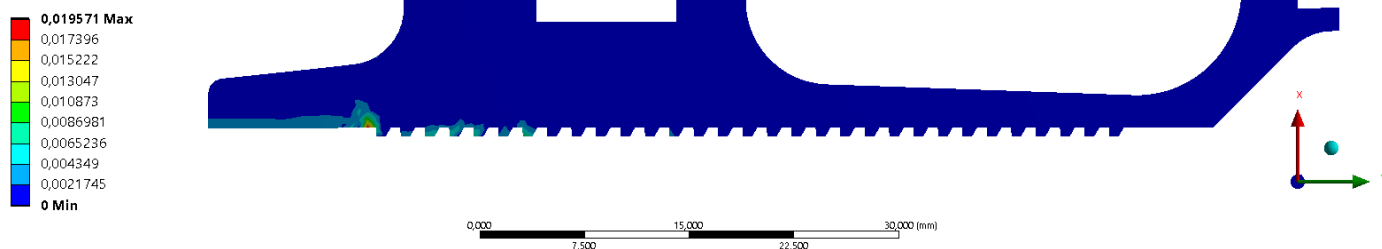
3.4.2. Výsledek

L: 1,2 ms
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
23.5.2019 14:22



Obr. 24 Výsledný posuv

L: 1,2 ms
Equivalent Plastic Strain
Type: Equivalent Plastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 1
23.5.2019 14:22

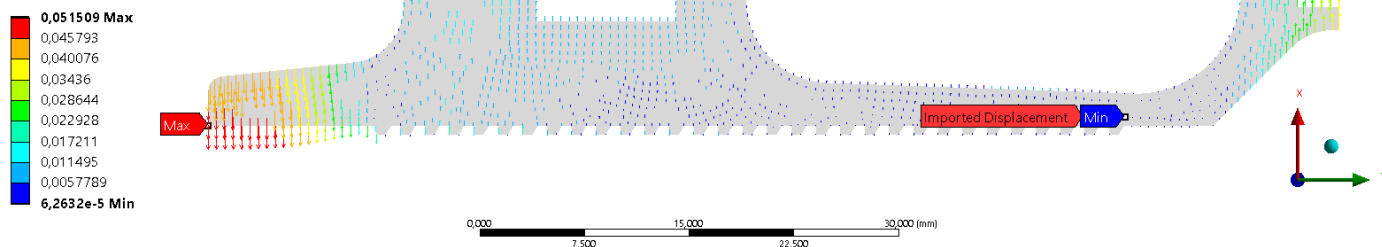


Obr. 25 Výsledná plasticita

3.5. Časový okamžik 1,5 ms

3.5.1. Posuvy v ose X

M: 1,5 ms
Imported Displacement
Time: 1, s
All
Unit: mm
23.5.2019 14:23



Obr. 26 Importované posuvy v ose X

Wed Mar 20, 2019 19:29:32

Using multiple cores: [Yes]
Number of cores requested: 8

Maximum source mesh bounding box length: 0.15619 (m)
Maximum range used in sorting closest nodes: 0.0002 (m)

Number of source nodes: 1426
Number of target nodes: 1428

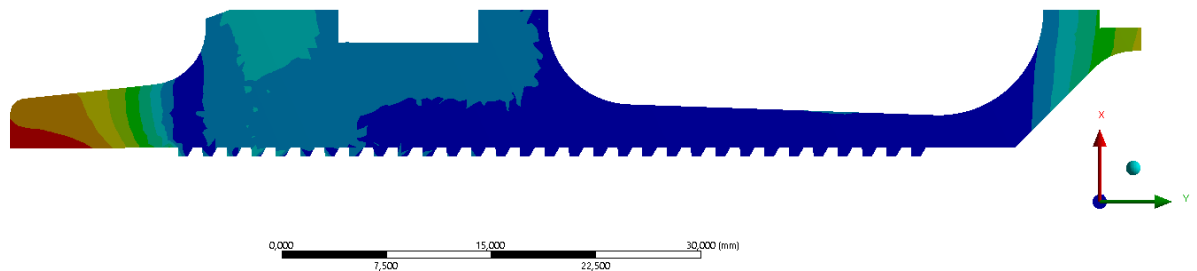
Number of nodes mapped : 1127
Number of nodes not mapped : 301
Number of nodes outside : 0

Percent nodes mapped: 78%
Weight calculation time: 0.265 (s)
Number of variables to interpolate: 1.
Interpolation time: 1.e-003 (s)

3.5.2. Výsledek

M: 1,5 ms
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
23.5.2019 14:23

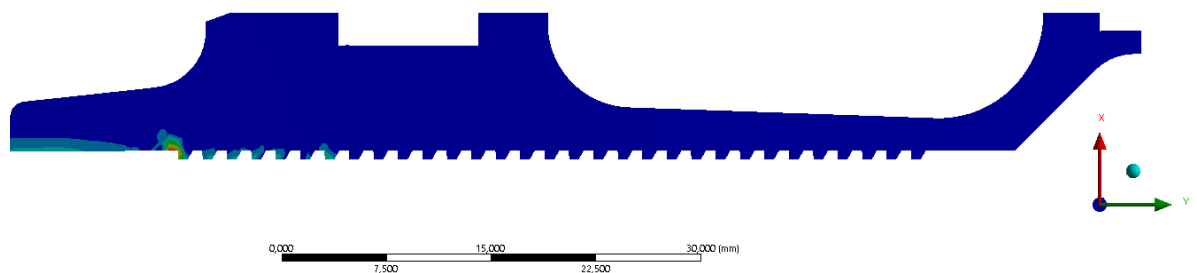
0,051509 Max
0,045793
0,040076
0,03436
0,028644
0,022928
0,017211
0,011495
0,0057789
6,2632e-5 Min



Obr. 27 Výsledný posuv

M: 1,5 ms
Equivalent Plastic Strain
Type: Equivalent Plastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 1
23.5.2019 14:23

0,014716 Max
0,013081
0,011446
0,0098108
0,0081756
0,0065405
0,0049054
0,0032703
0,0016351
0 Min



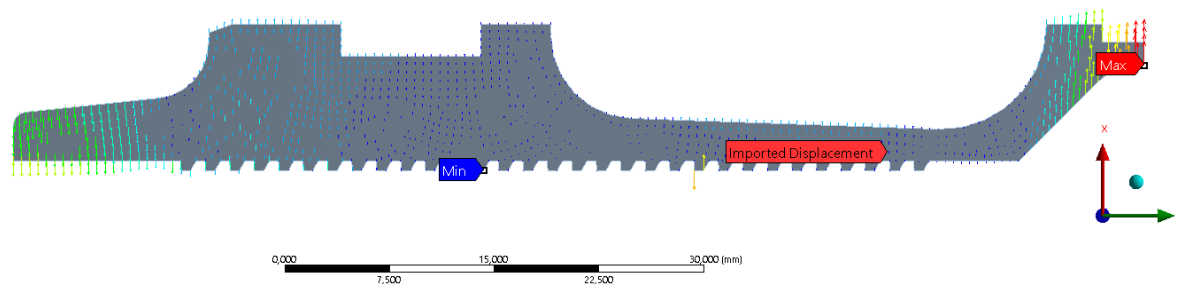
Obr. 28 Výsledná plasticita

3.6. Časový okamžik 3 ms

3.6.1. Posuvy v ose X

N: 3 ms
Imported Displacement
Time: 1, s
All
Unit: mm
23.5.2019 14:23

0,029076 Max
0,025845
0,022615
0,019384
0,016154
0,012923
0,0096926
0,006462
0,0032315
9,1249e-7 Min



Obr. 29 Importované posuvy v ose X

Wed Mar 20, 2019 19:38:46

Using multiple cores: [Yes]

Number of cores requested: 8

Maximum source mesh bounding box length: 0.15619 (m)

Maximum range used in sorting closest nodes: 0.0002 (m)

Number of source nodes: 1426

Number of target nodes: 1428

Number of nodes mapped : 1127

Number of nodes not mapped : 301

Number of nodes outside : 0

Percent nodes mapped: 78%

Weight calculation time: 0.295 (s)

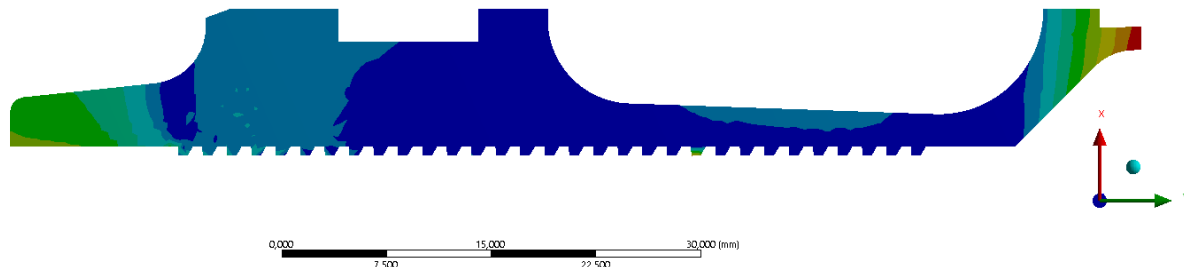
Number of variables to interpolate: 1.

Interpolation time: 1.e-003 (s)

3.6.2. Výsledek

N: 3 ms
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
23.5.2019 14:23

0,029076 Max
0,025845
0,022615
0,019384
0,016154
0,012923
0,0096926
0,006462
0,0032315
9,1249e-7 Min



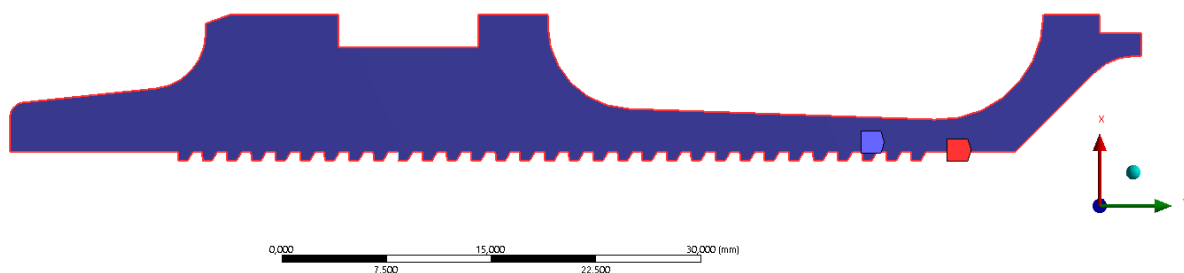
Obr. 30 Výsledný posuv

4. Topologická optimalizace

4.1.1. Obálka

O: Topology Optimization
Optimization Region
Iteration Number: N/A
23.5.2019 14:49

Design Region: Topology
Exclusion Region



Obr. 31 zvolená oblast

Details of "Optimization Region"	
[-] Design Region	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
[-] Exclusion Region	
Define By	Geometry Selection
Geometry	146 Edges
[-] Optimization Option	
Optimization Type	Topology Optimization - Density B...

Obr. 32 nastavení hranic optimalizace

4.1.2. Optimalizační podmínka

Details of "Response Constraint"	
Scope	
Scoping Method	Optimization Region
Optimization Region Selection	Optimization Region
Definition	
Type	Response Constraint
Response	Volume
Define By	Range
☐ Percent to Retain (Min)	40 %
☐ Percent to Retain (Max)	60 %
Suppressed	No

Obr. 33 Optimalizační podmínka

4.1.3. Dodatečná omezující podmínka

Minimální tloušťka stěny musí být 1,5 mm.

Details of "Manufacturing Constraint"	
Scope	
Scoping Method	Optimization Region
Optimization Region Selection	Optimization Region
Definition	
Type	Manufacturing Constr...
Subtype	Member Size
Suppressed	No
Member Size	
Minimum	Manual
☐ --Min Size	1,5 mm
Maximum	Program Controlled

Obr. 34 Nastavení minimální tloušťky stěny

5. Výsledky topologické optimalizace

5.1. Topologická optimalizace

M: Topology Optimization

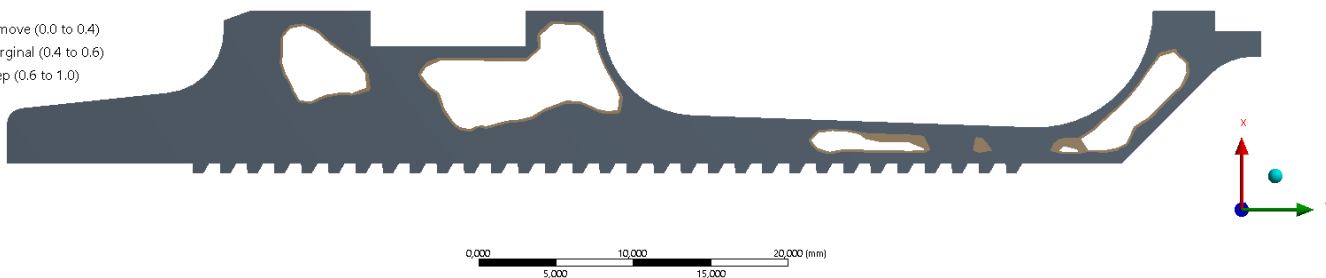
Topology Density

Type: Topology Density

Iteration Number: 10

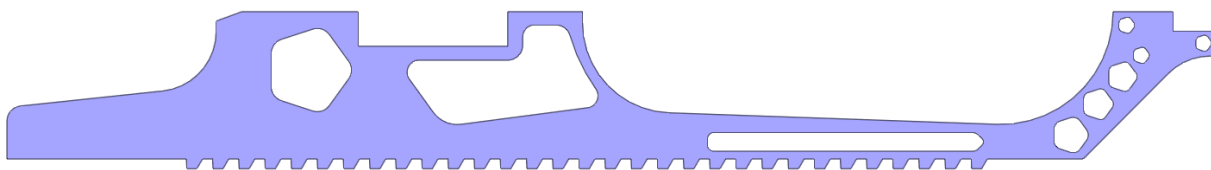
23.5.2019 14:57

Remove (0.0 to 0.4)
Marginal (0.4 to 0.6)
Keep (0.6 to 1.0)

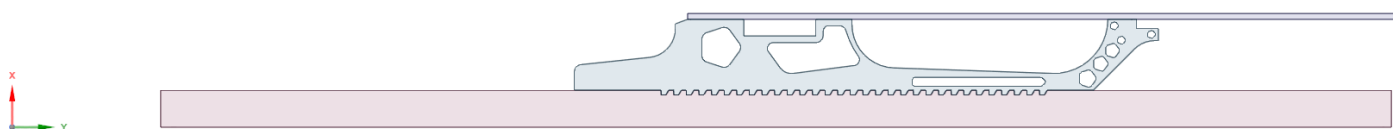


Obr. 35 Kinetická energie (modrá)

5.2. Výsledný model pro validaci



Obr. 36 Posuv střely



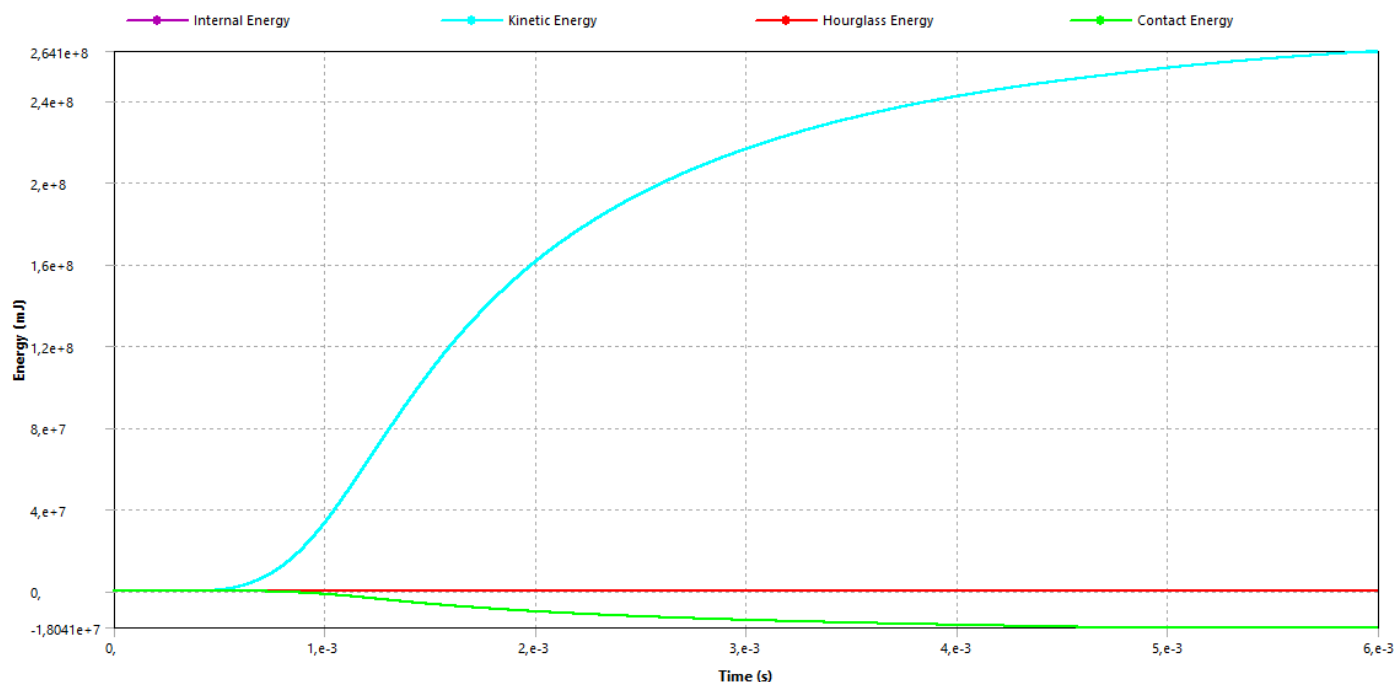
Obr. 37 kompletní geometrie

6. Verifikace modelu

Verifikace byla provedena v podobě dynamické analýzy, kde se nová geometrie vložila do stávající analýzy. Dynamická analýza a její nastavení je podrobně popsáno v příloze 6, zde budou vyobrazeny pouze výsledky.

6.1. Souhrn energií

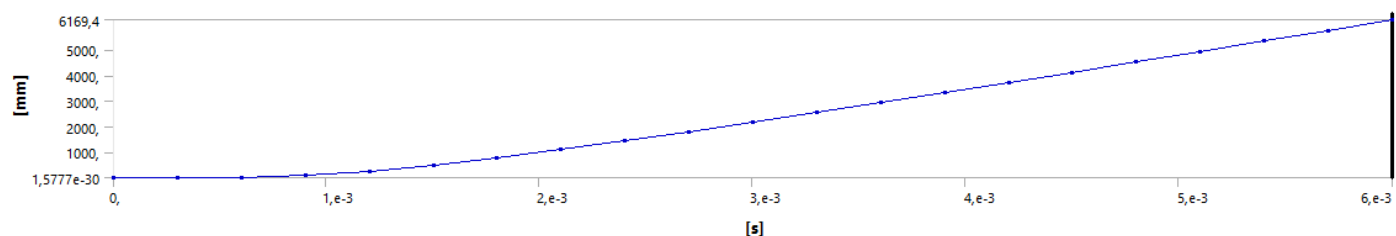
Z grafu je patrné, že při výstřelu nedošlo k poškození střely (Vnitřní energie = 0)



Obr. 38 souhrn energií

6.2. Posuv střely

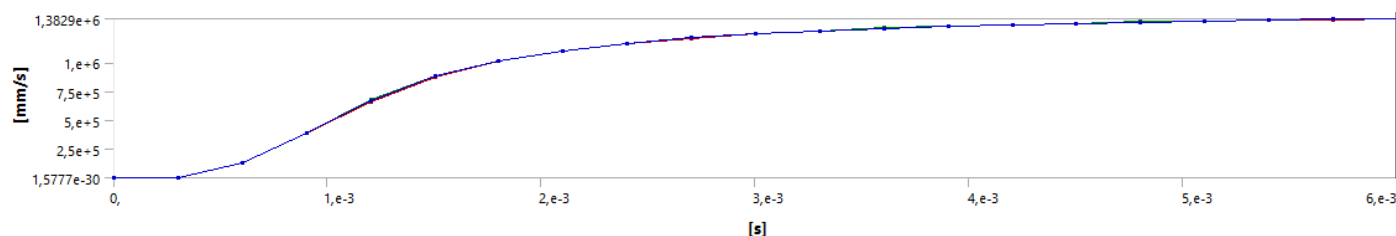
Střela urazila 6,2 m za 6 ms.



Obr. 39 posuv střely

6.3. Rychlost střely

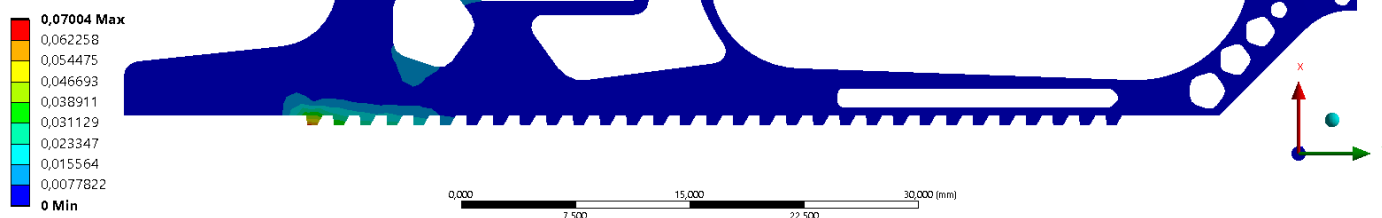
Rychlost střely na ústní hlavně je 1382 m/s.



Obr. 40 rychlost střely

6.4. Plastické přetvoření

P: Explicit Dynamics
Equivalent Plastic Strain
Type: Equivalent Plastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 6.e-003
Cycle Number: 1659351
23.5.2019 15:48



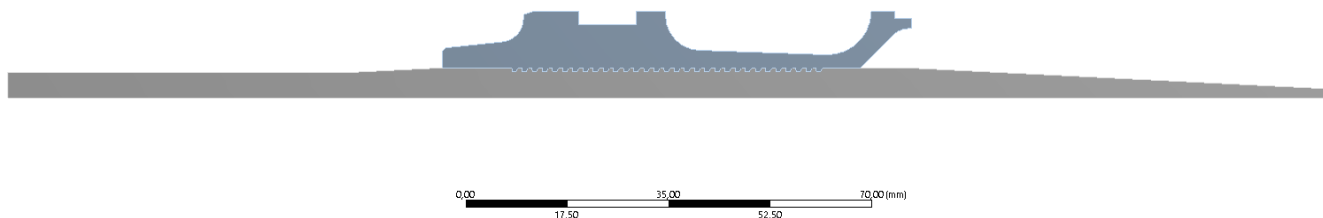
Obr. 41 Plastické přetvoření v čase 6 ms

7. Dodatek

Zde je popsáno nastavení pyrostatiky, jehož výsledky reprezentovali jeden zátěžný stav pro topologickou optimalizaci

7.1. Geometrie

Model
23.5.2019 15:31

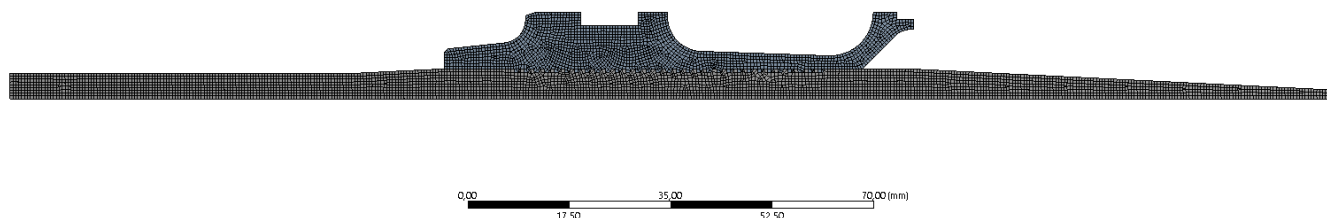


Obr. 42 geometrie střely

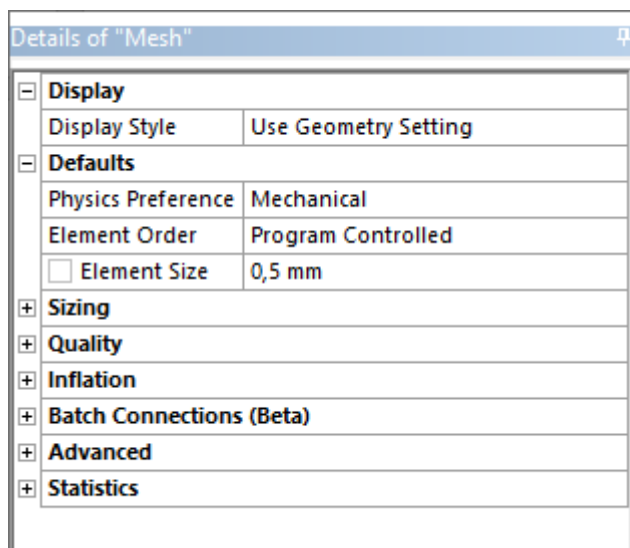
7.2. Materiálové vlastnosti

Jsou shodné s topologickou optimalizací, viz kapitola 2.2

7.3. Sít'



Obr. 43 síť střely

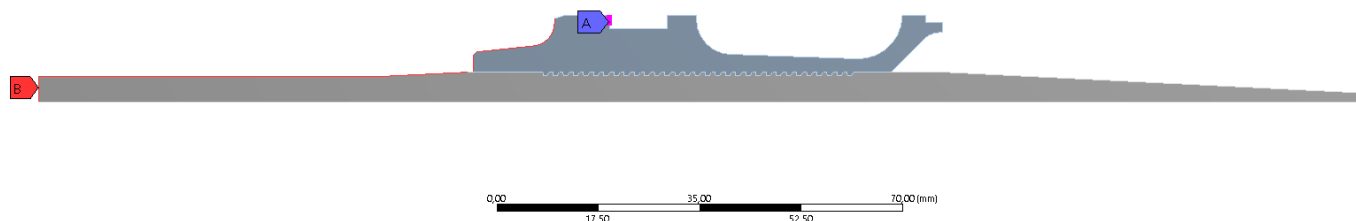


Obr. 44 Nastavení síť

7.4. Okrajové podmínky

E: Pyrostatika
Static Structural
Time: 1, s
23.5.2019 15:33

A Fixed Support
B Pressure: 4, MPa

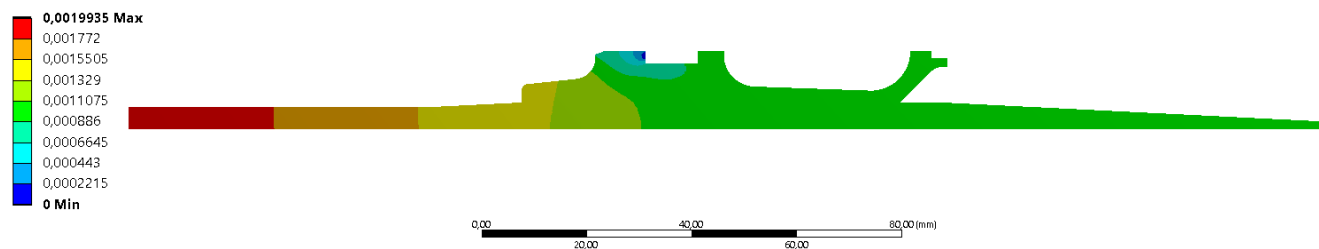


Obr. 45 Okrajové podmínky

7.5. Celkový posuv

E: Pyrostatika

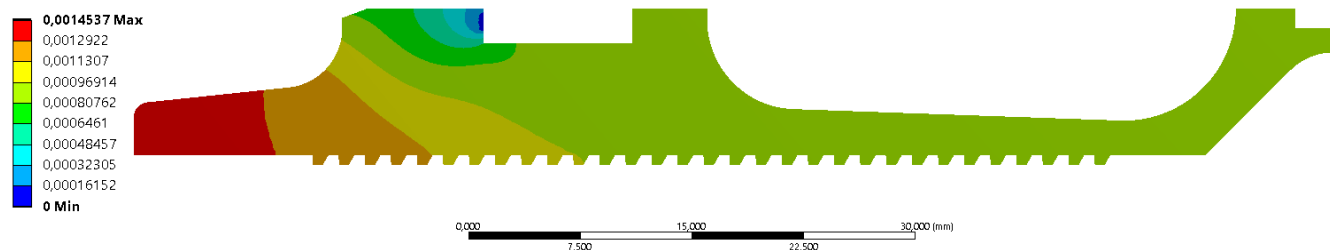
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
23.5.2019 15:35



Obr. 46 Celkový posuv

E: Pyrostatika

Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
23.5.2019 15:35

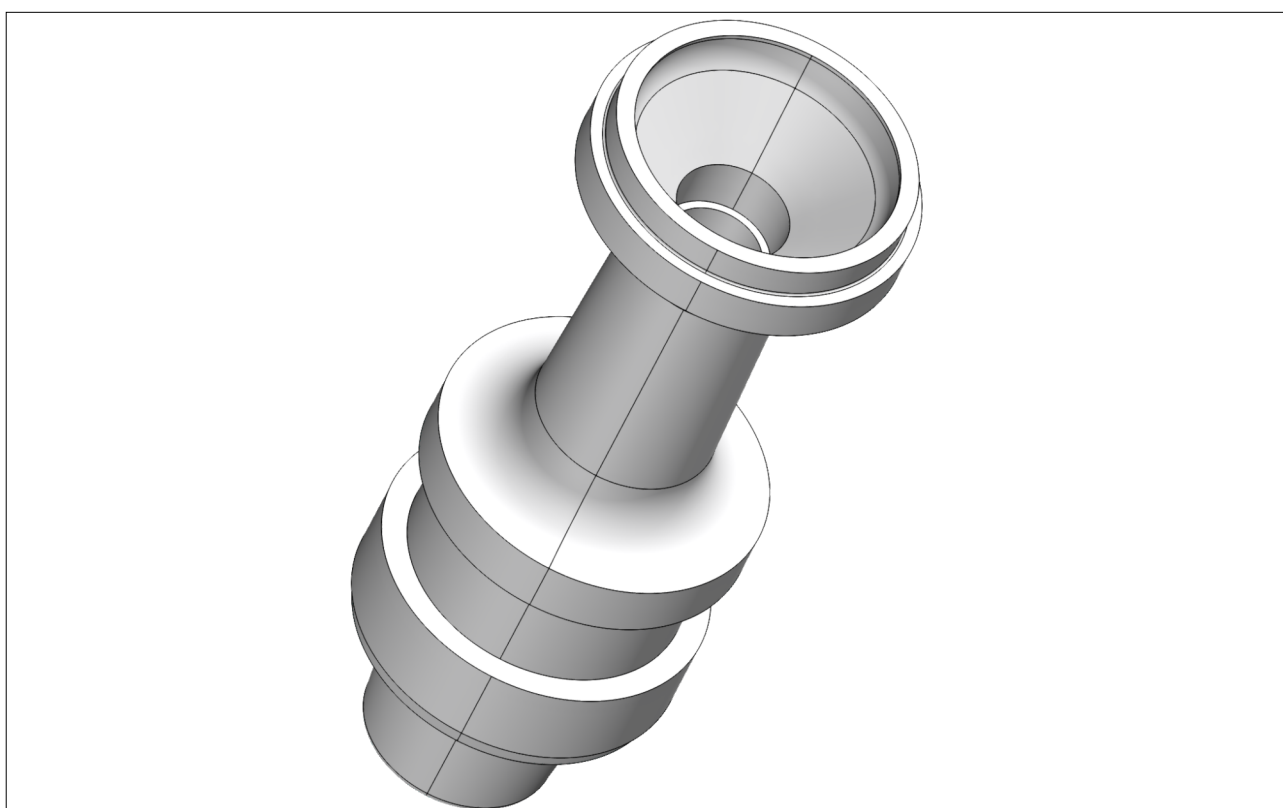


Obr. 47 Detail sabotu

Příloha 8

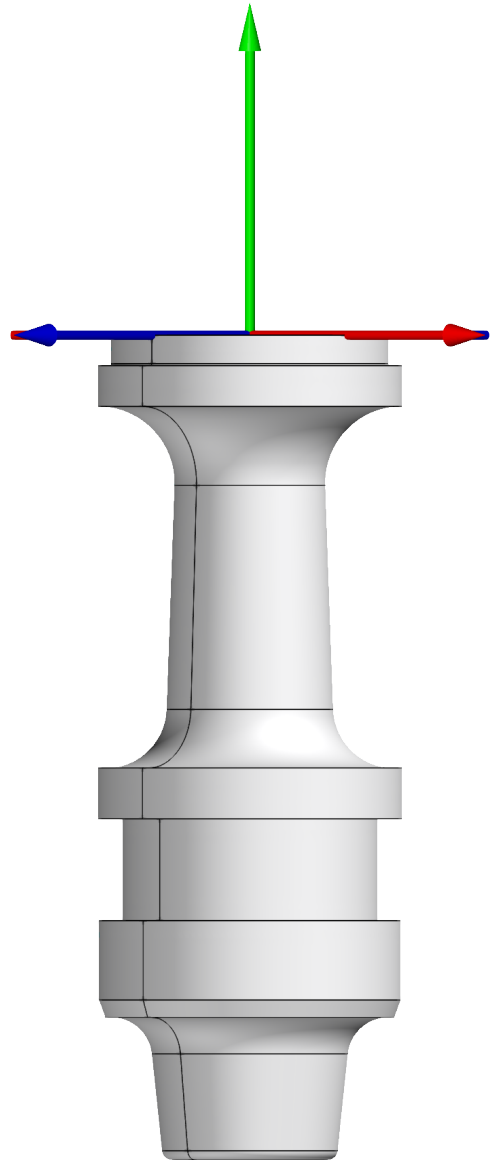
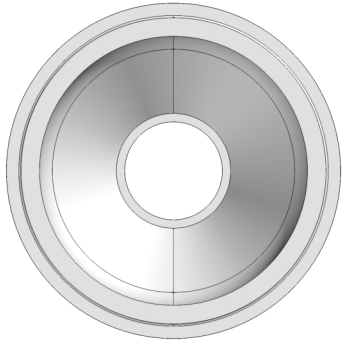
GOM ATOS TRIPLE SCAN Report
Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019



Part: Sabot, celek, po stavbě

Inspector: Jan Hajda

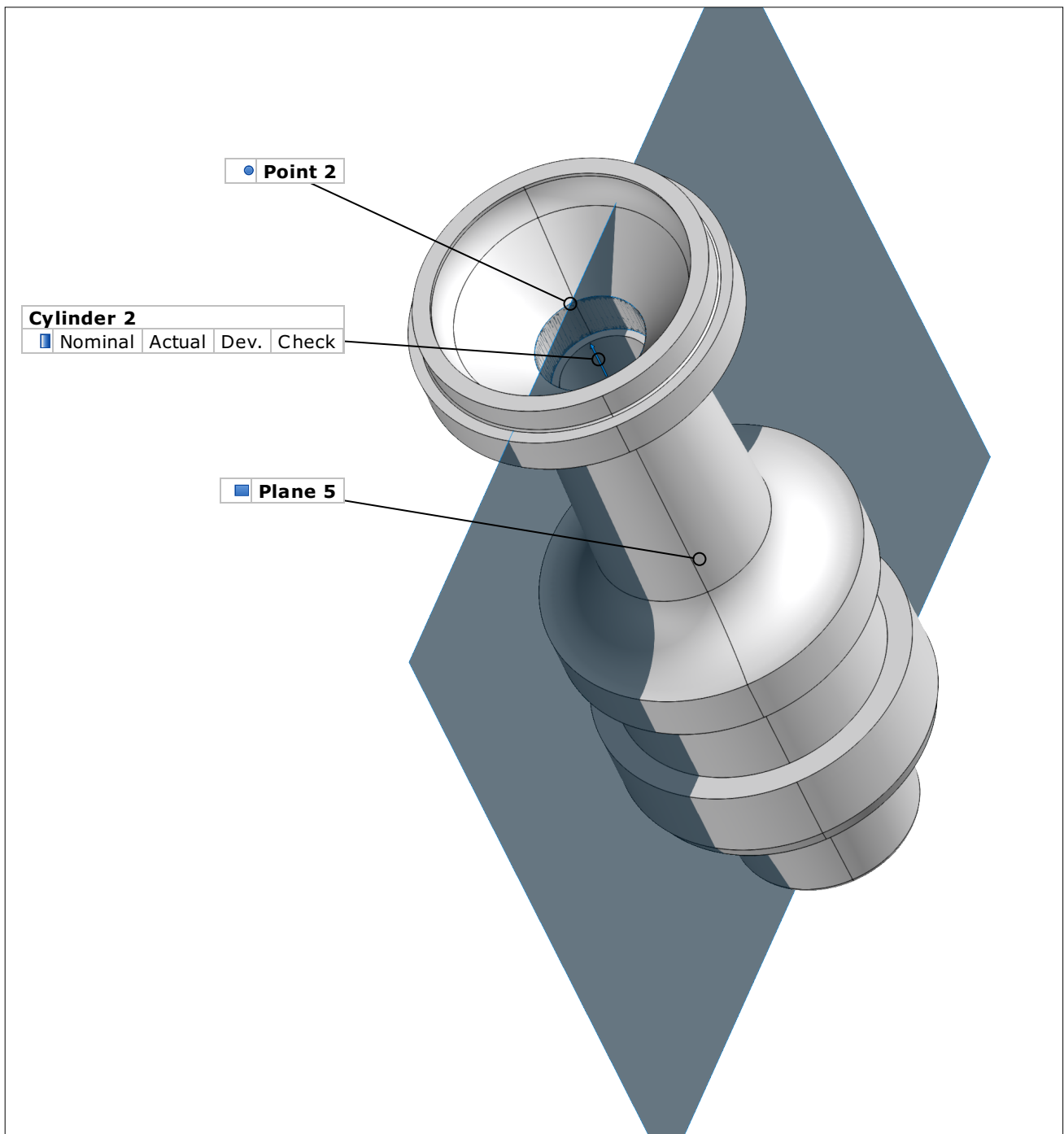


Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Brno, CZ
Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
Part no.: 2019-02-01_01
System: GOM Inspect 2018
Alignment:



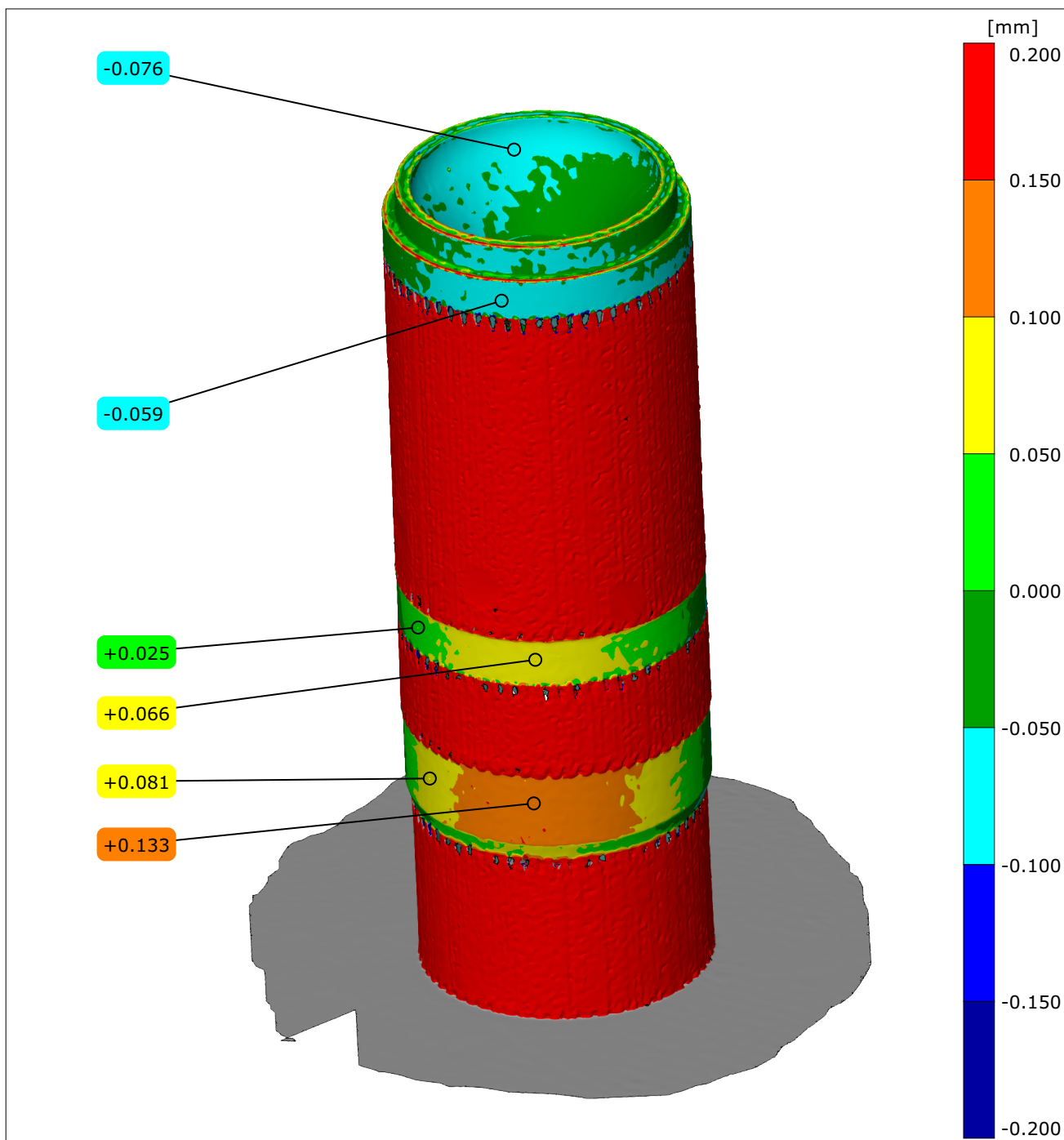


Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Brno, CZ
Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
Part no.: 2019-02-01_01
System: GOM Inspect 2018
Alignment: Plane-line-point



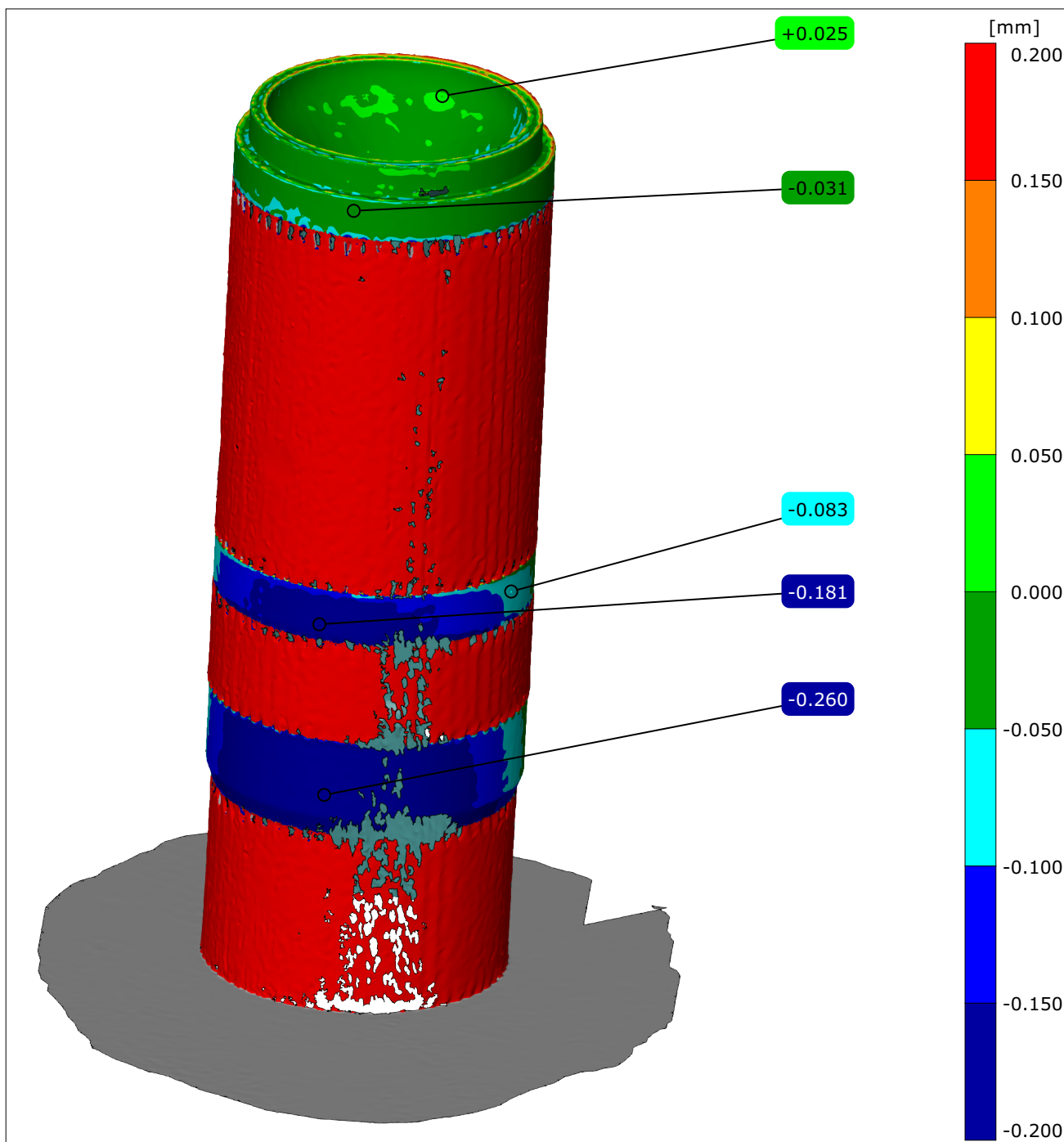


Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Brno, CZ
Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
Part no.: 2019-02-01_01
System: GOM Inspect 2018
Alignment: Plane-line-point



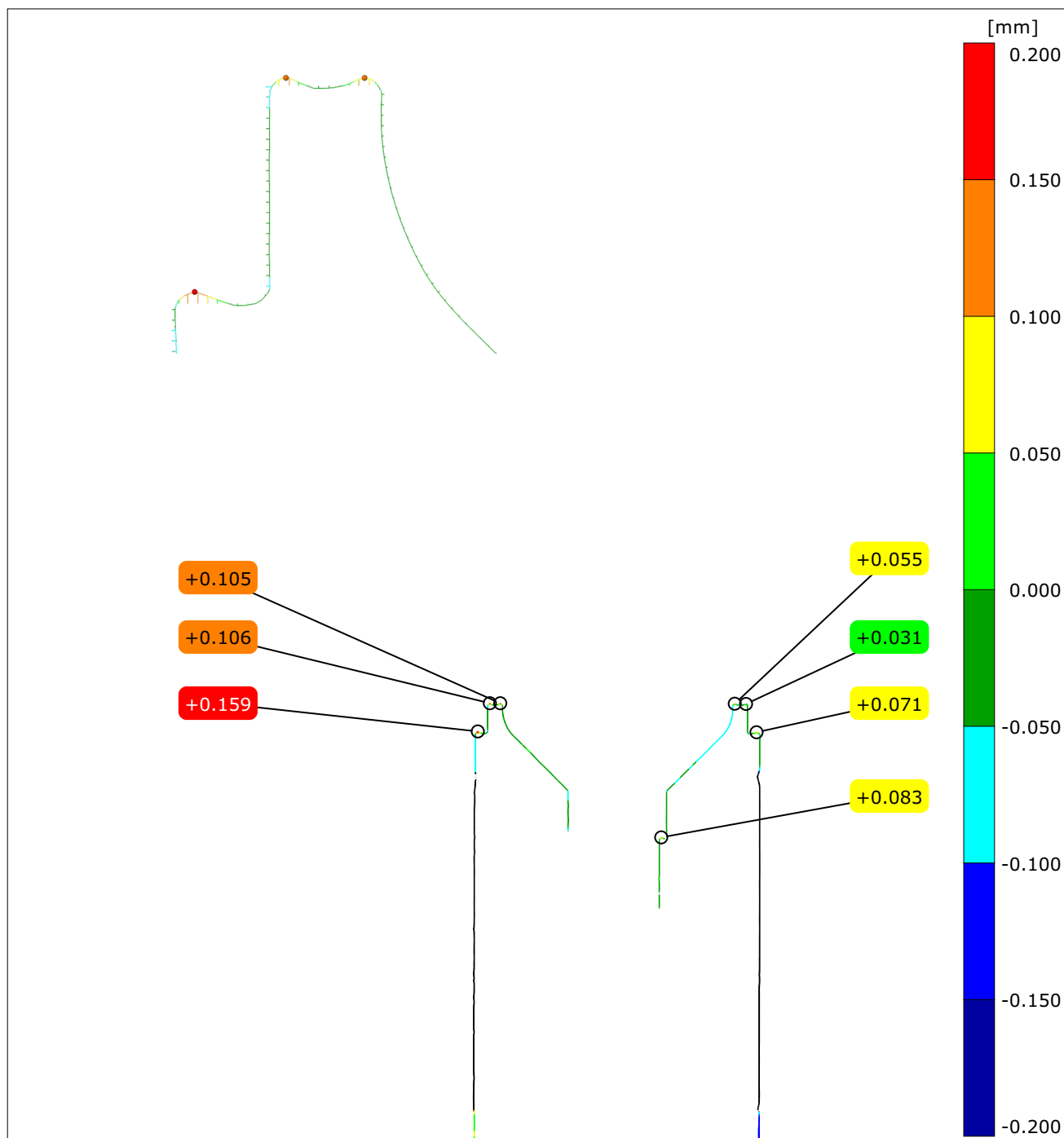


Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Brno, CZ
Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
Part no.: 2019-02-01_01
System: GOM Inspect 2018
Alignment: Plane-line-point





Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Brno, CZ
Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
Part no.: 2019-02-01_01
System: GOM Inspect 2018
Alignment: Plane-line-point



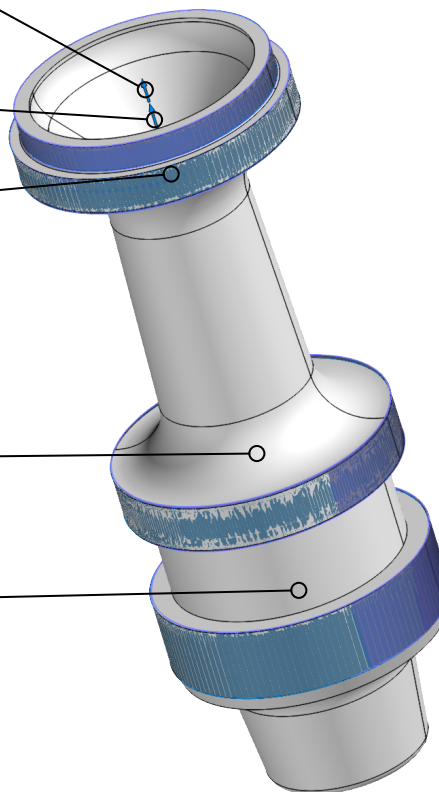
Cylinder 8				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+27.200	+27.141	-0.059	
⊂ Ø			0.060	

Cylinder 7				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.800	+29.710	-0.090	
⊂ Ø			0.089	

Cylinder 2				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+10.200	+10.269	+0.069	
⊂ Ø			0.092	

Cylinder 6				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.800	+29.706	-0.094	
⊂ Ø			0.194	

Cylinder 5				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.600	+29.502	-0.098	
⊂ Ø			0.083	



Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Brno, CZ
 Project: Inspekce sabotu

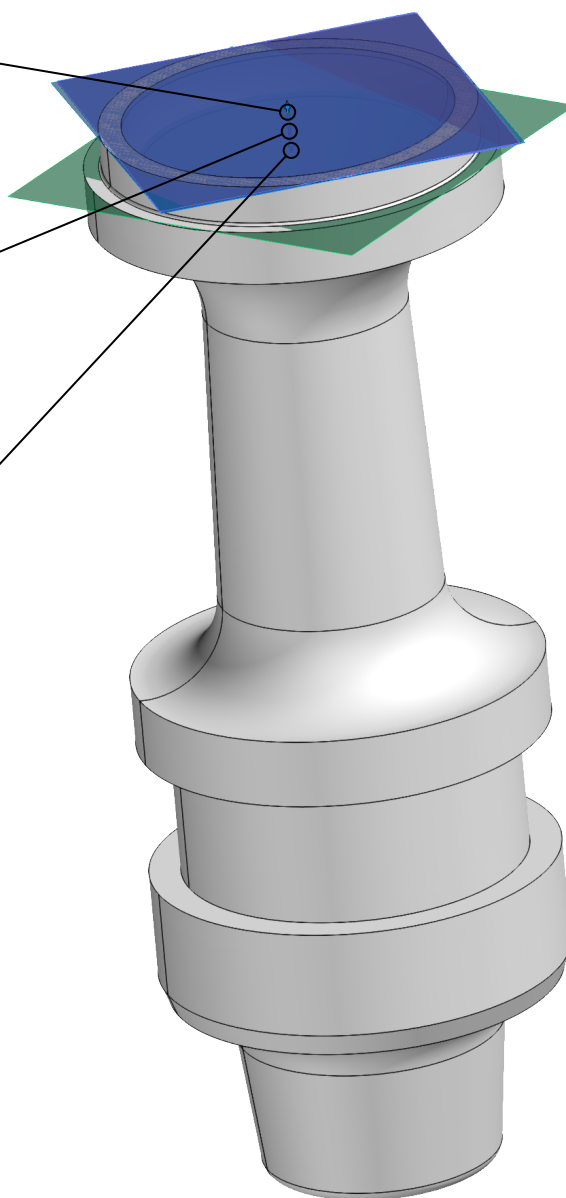
Date: 28.2.2019
 Part no.: 2019-02-01_01
 System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Plane-line-point



Plane 6				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
//	Plane 1		0.297	

Point 1↔Point 5				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
L	+3.000	+3.033	+0.033	

 Plane 1



Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Brno, CZ
 Project: Inspekce sabotu

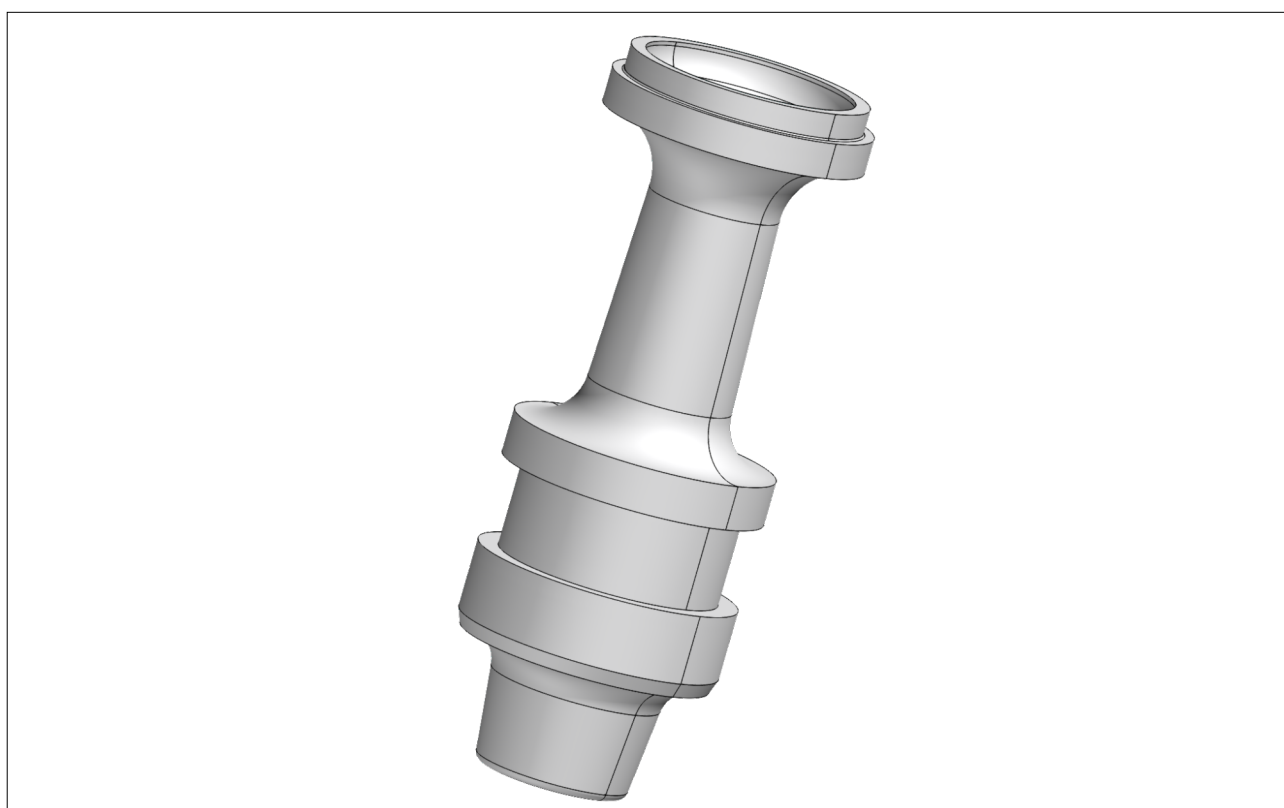
Date: 28.2.2019
 Part no.: 2019-02-01_01
 System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Plane-line-point



Příloha 9

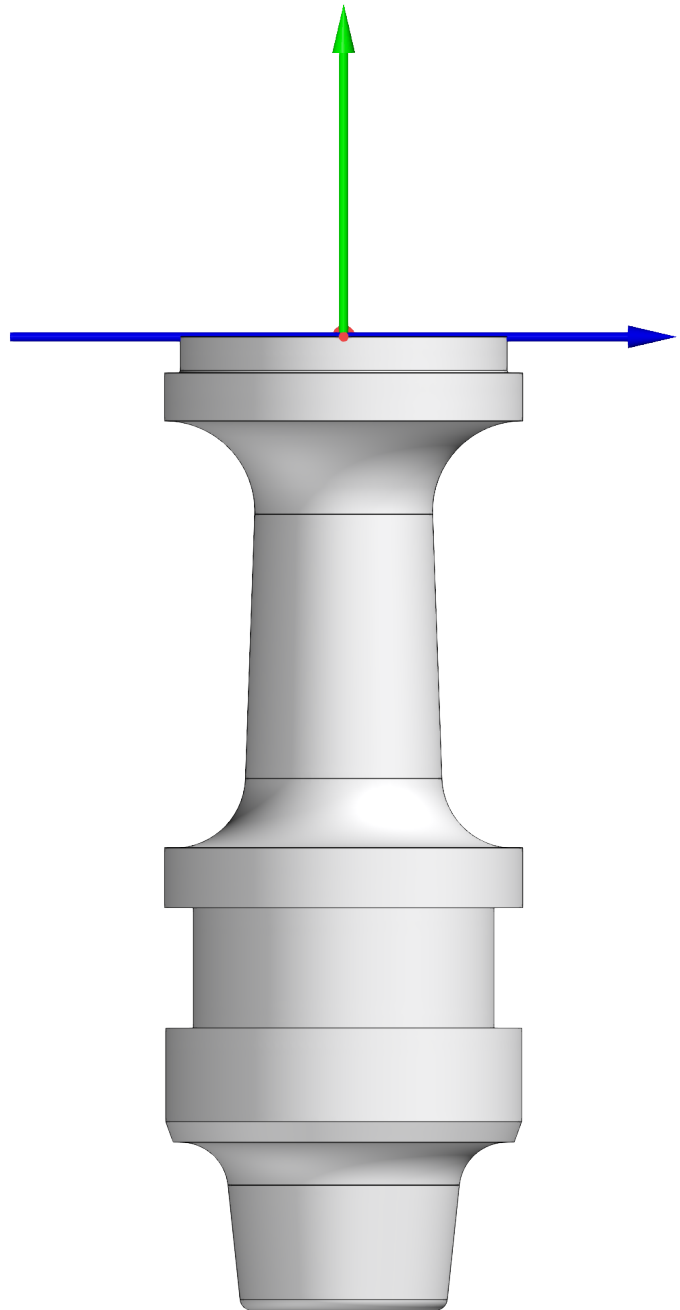
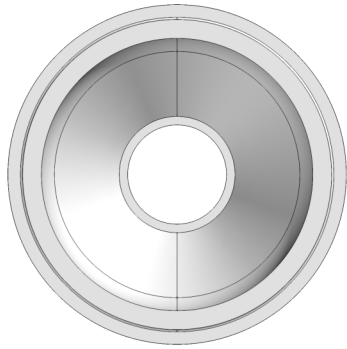
GOM ATOS TRIPLE SCAN Report
Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019



Part: Sabot, celek, bez podpor

Inspector: Jan Hajda

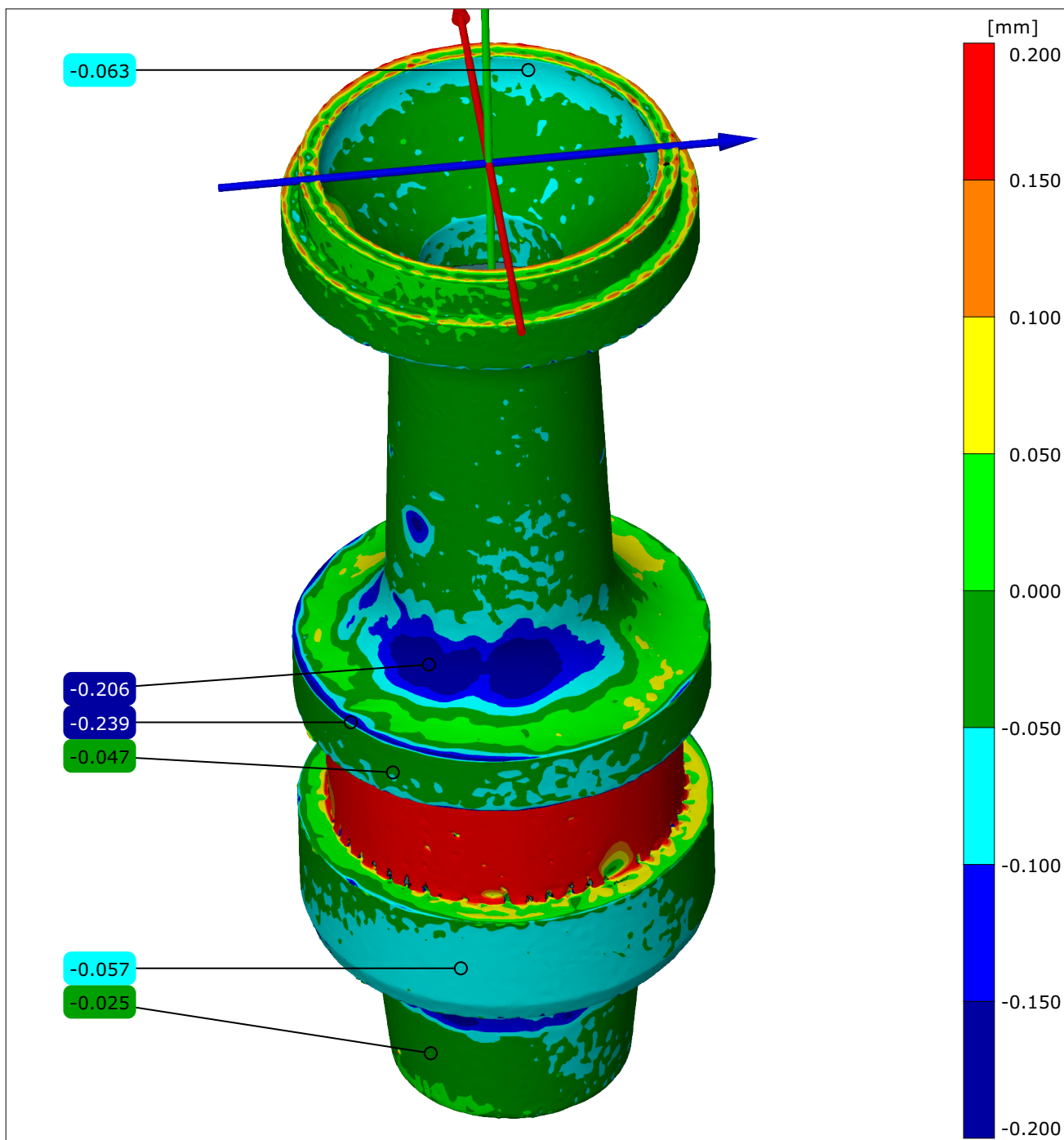


Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Brno, CZ
Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
Part no.: 2019-02-01_02
System: GOM Inspect 2018
Alignment:



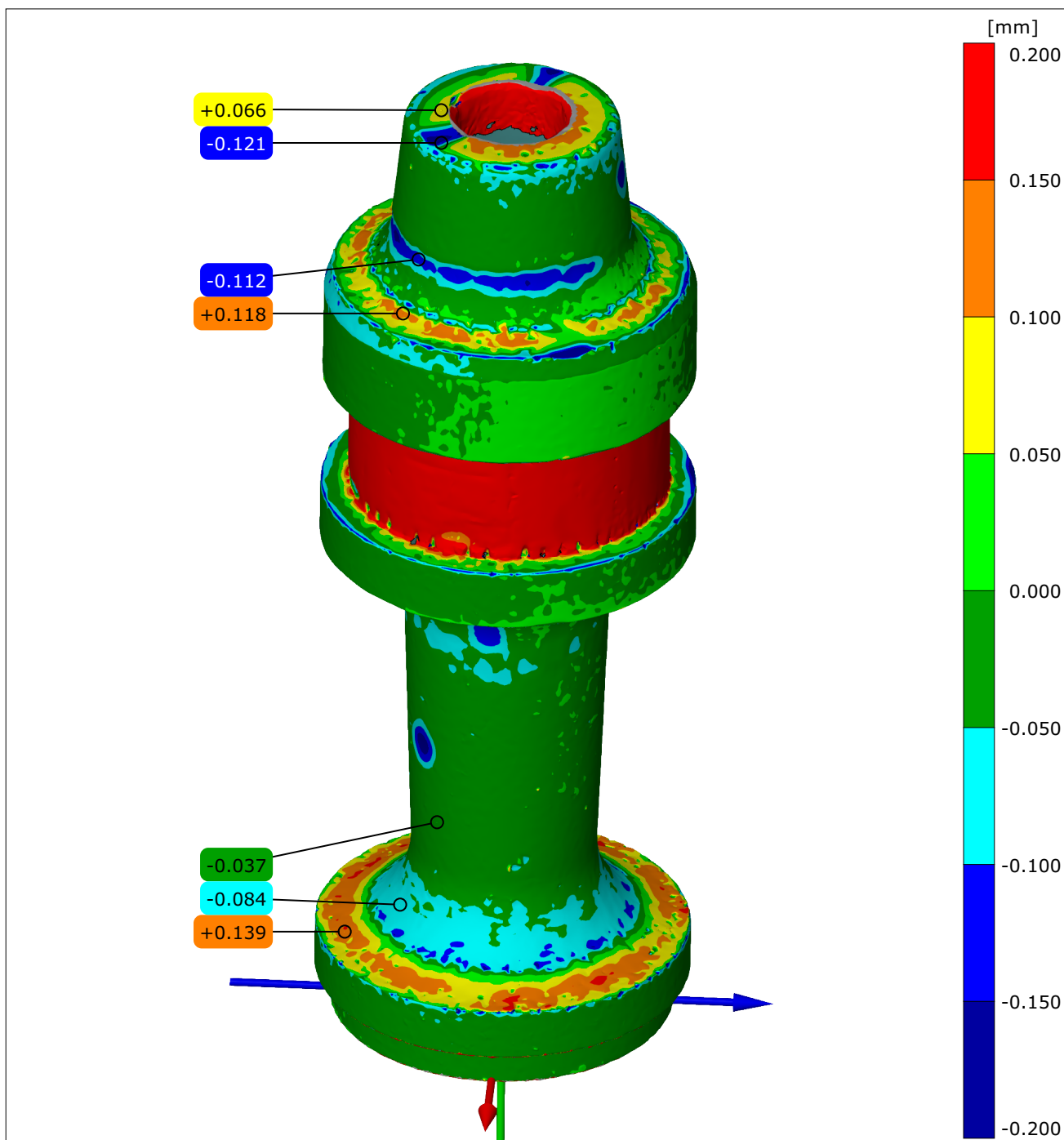


Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Brno, CZ
Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
Part no.: 2019-02-01_02
System: GOM Inspect 2018
Alignment: Prealignment



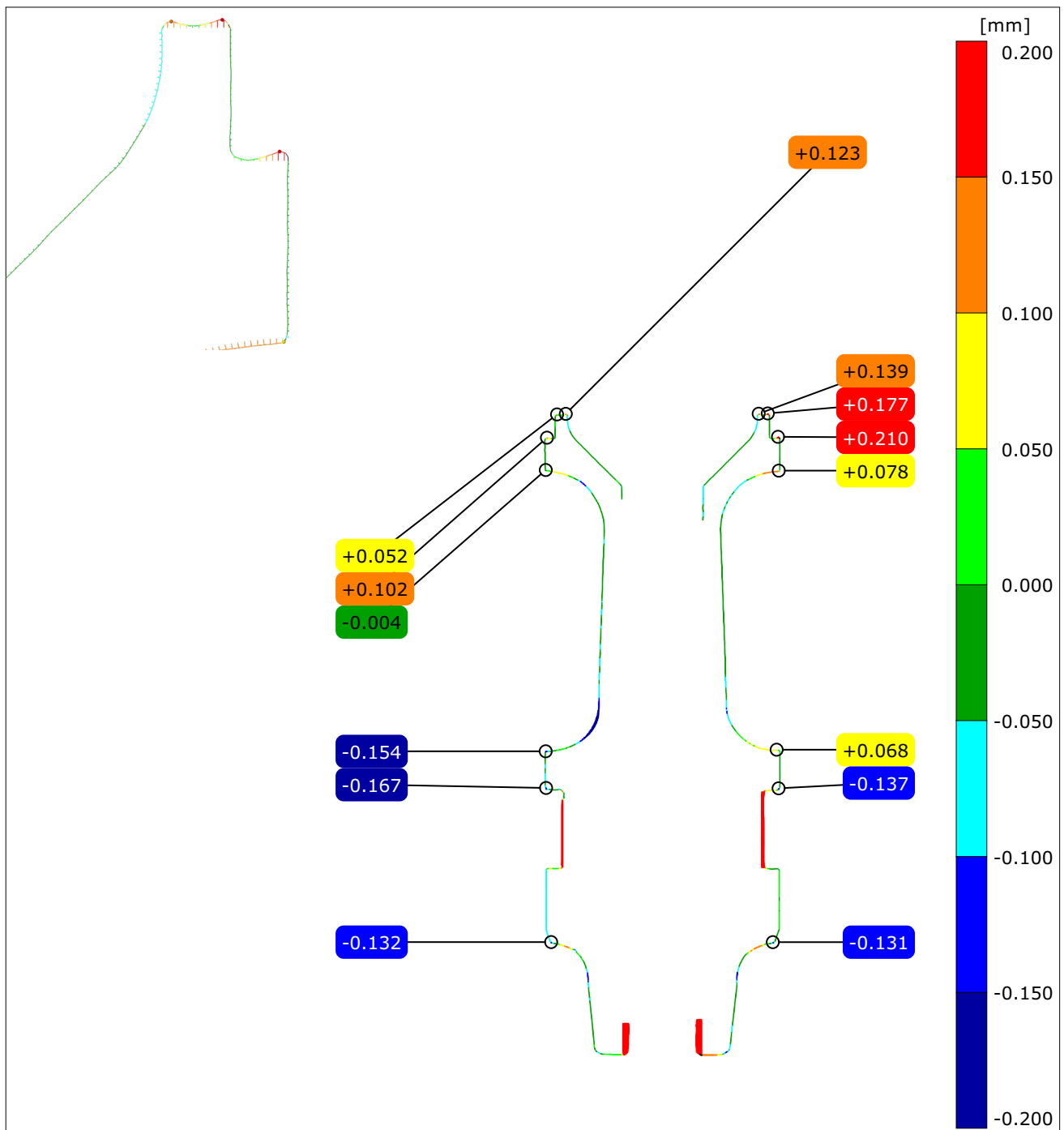


Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Brno, CZ
Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
Part no.: 2019-02-01_02
System: GOM Inspect 2018
Alignment: Prealignment





Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Brno, CZ
Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
Part no.: 2019-02-01_02
System: GOM Inspect 2018
Alignment: Prealignment



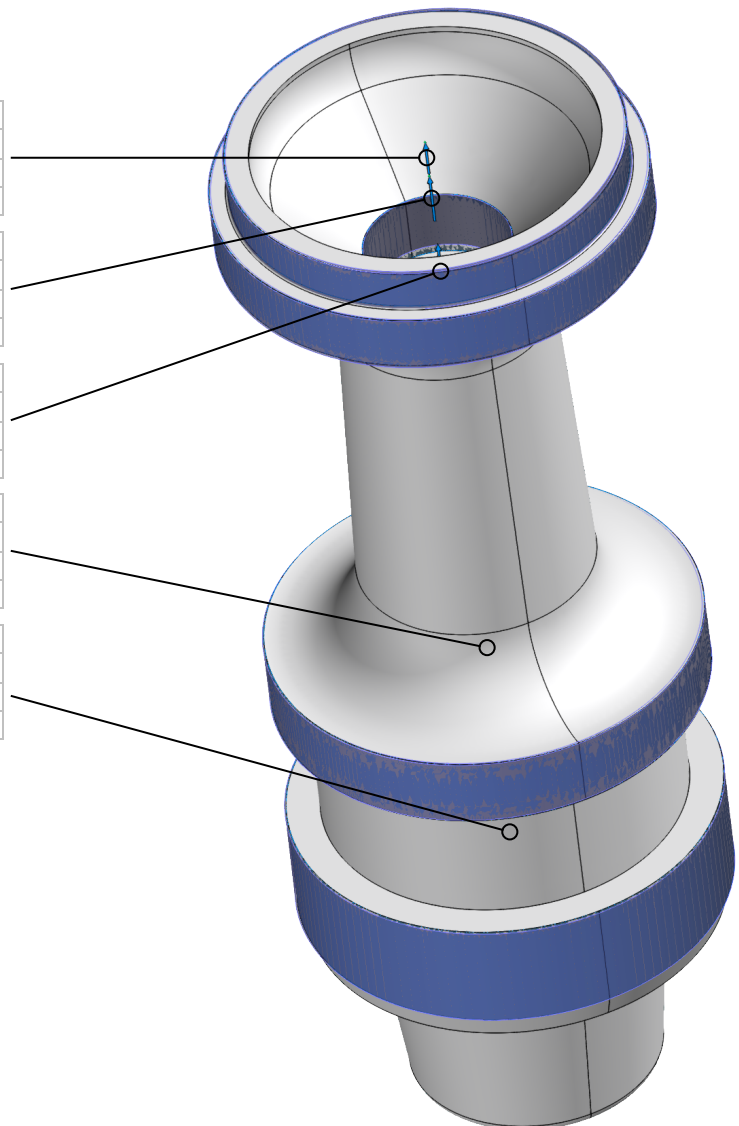
Cylinder 2				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+27.200	+27.179	-0.021	☒
∕ Ø			0.079	☒

Cylinder 3				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.800	+29.750	-0.050	☒
∕ Ø			0.089	☒

Cylinder 6				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+10.200	+10.288	+0.088	☒
∕ Ø			0.050	☒

Cylinder 4				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.800	+29.747	-0.053	☒
∕ Ø			0.079	☒

Cylinder 5				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.600	+29.541	-0.059	☒
∕ Ø			0.088	☒

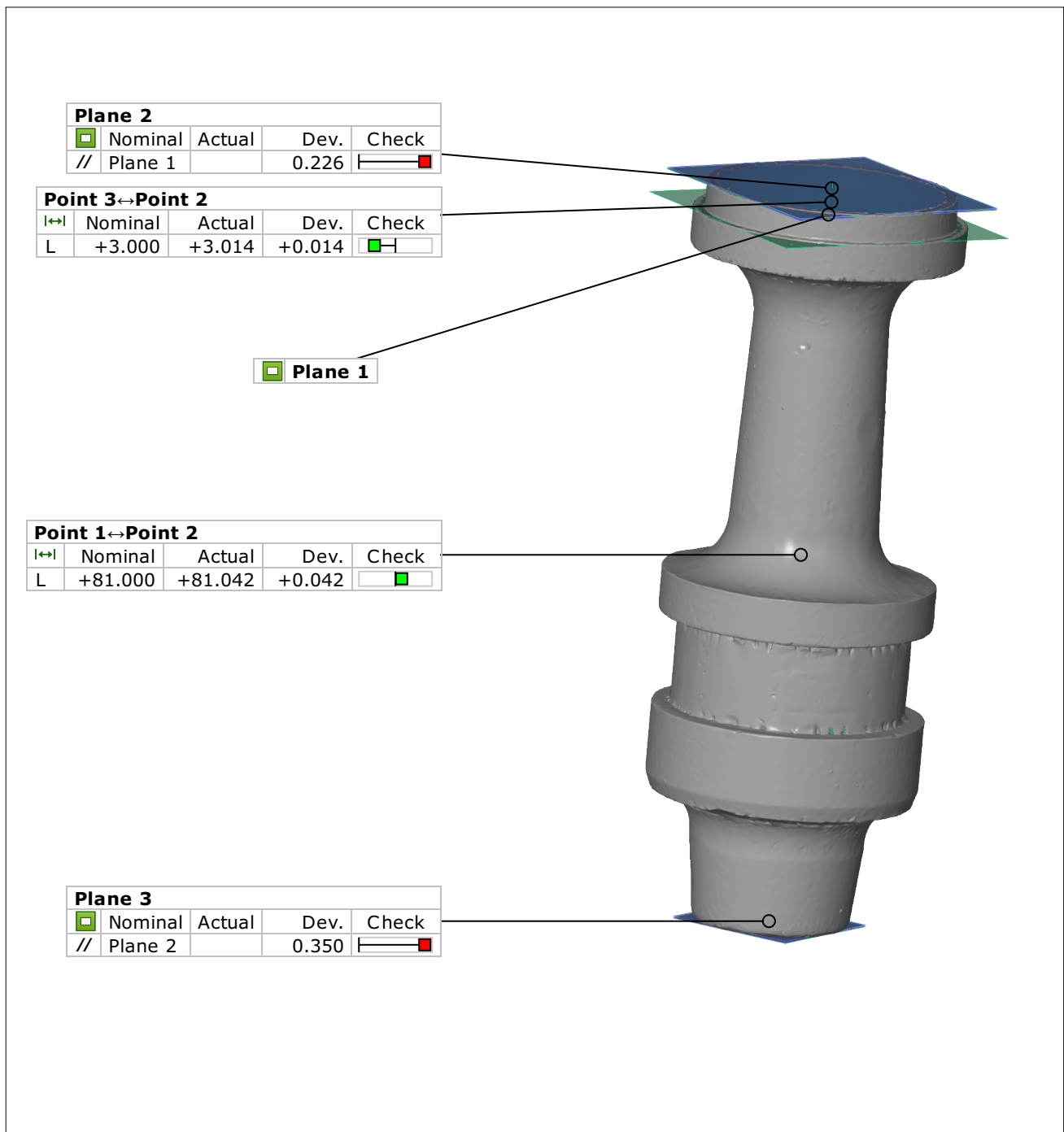


Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Brno, CZ
 Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
 Part no.: 2019-02-01_02
 System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Prealignment





Length unit: mm

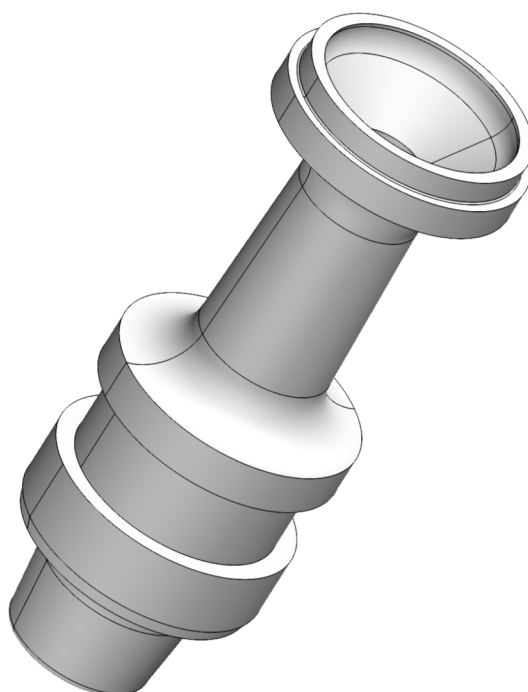
Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Brno, CZ
 Project: Inspekce sabotu

Date: 28.2.2019
 Part no.: 2019-02-01_02
 System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Prealignment

Příloha 10

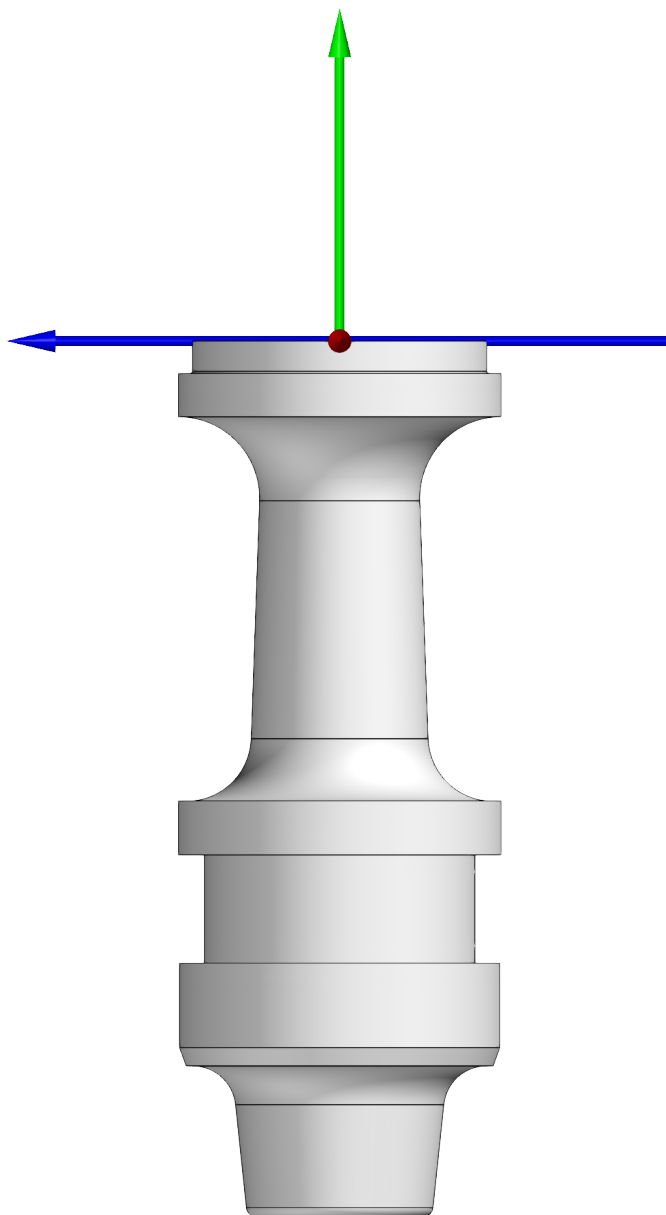
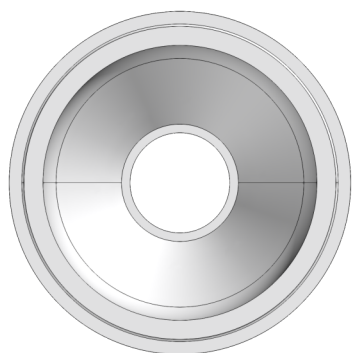
GOM ATOS Inspection Report

Date: 23.4.2019



Sabot, celek, po stavbě, odlehčeno

Inspector: Jan Hajda



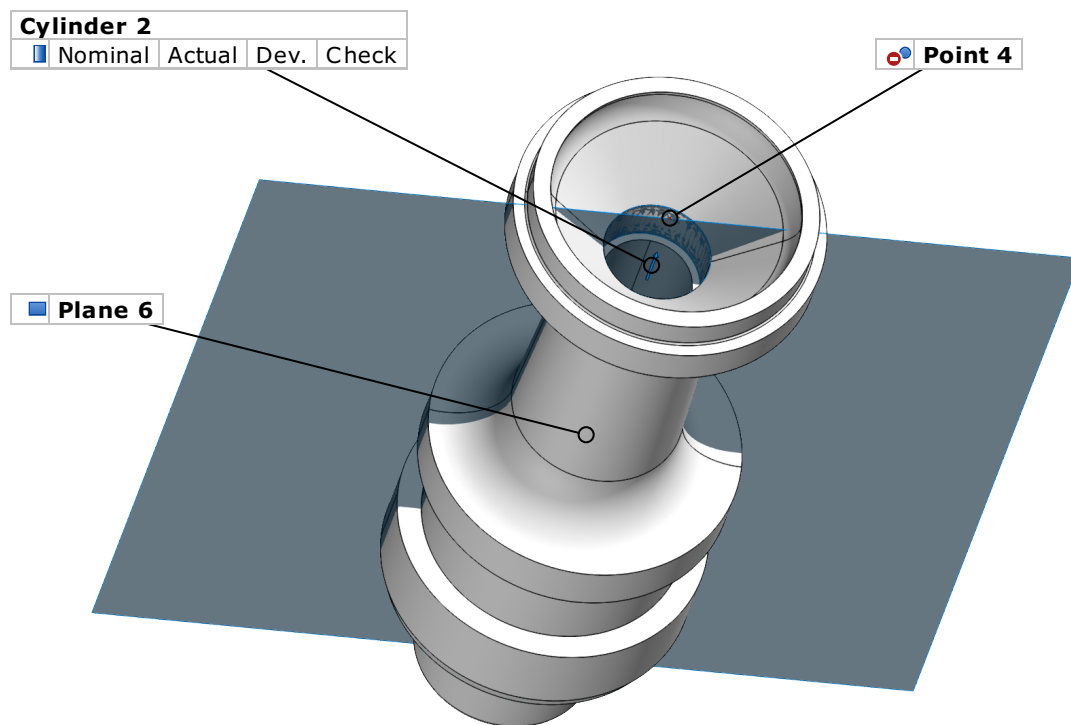
Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
Company: VUT
Department: UK
Location: Czech Republic
Date: 23.4.2019

Project: Inspekce sabotu
Part: Sabot, celek, po stavbě, odlehčeno
Part no.: 2019-04-02_01
Version:
Charge no.: ---

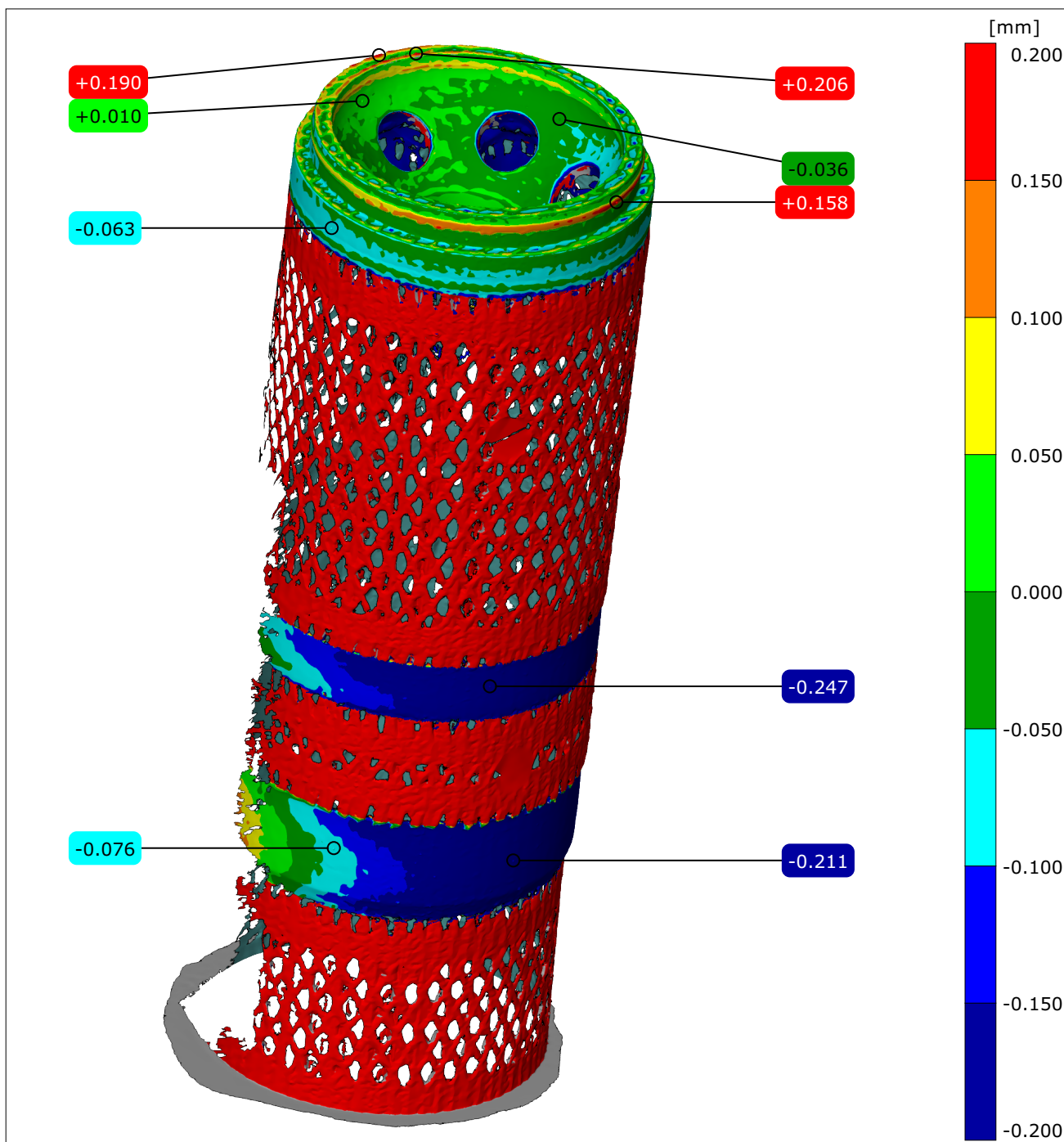
System: GOM Inspect 2018
Alignment:

www.3dlaboratory.cz



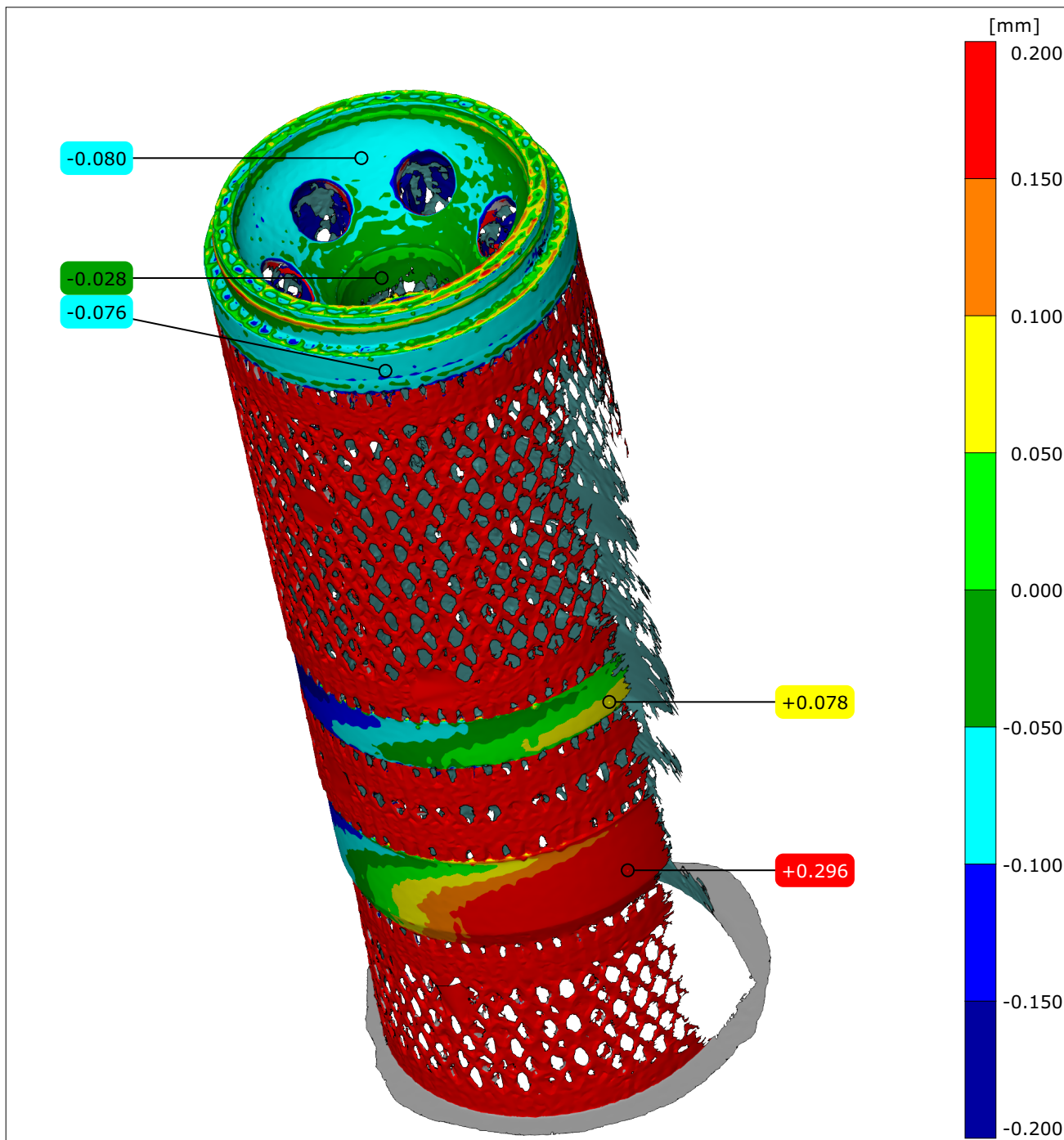
Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda Company: VUT Department: UK Location: Czech Republic Date: 23.4.2019	Project: Inspekce sabotu Part: Sabot, celek, po stavbě, odlehčeno Part no.: 2019-04-02_01 Version: Charge no.: ---
System: GOM Inspect 2018 Alignment: Plane-line-point	 NETME Centre Centre for Research and Development  www.3dlaboratory.cz



Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda Company: VUT Department: UK Location: Czech Republic Date: 23.4.2019	Project: Inspekce sabotu Part: Sabot, celek, po stavbě, odlehčeno Part no.: 2019-04-02_01 Version: Charge no.: ---
System: GOM Inspect 2018 Alignment: Plane-line-point	 NETME Centre Centre for Research and Development  www.3dlaboratory.cz



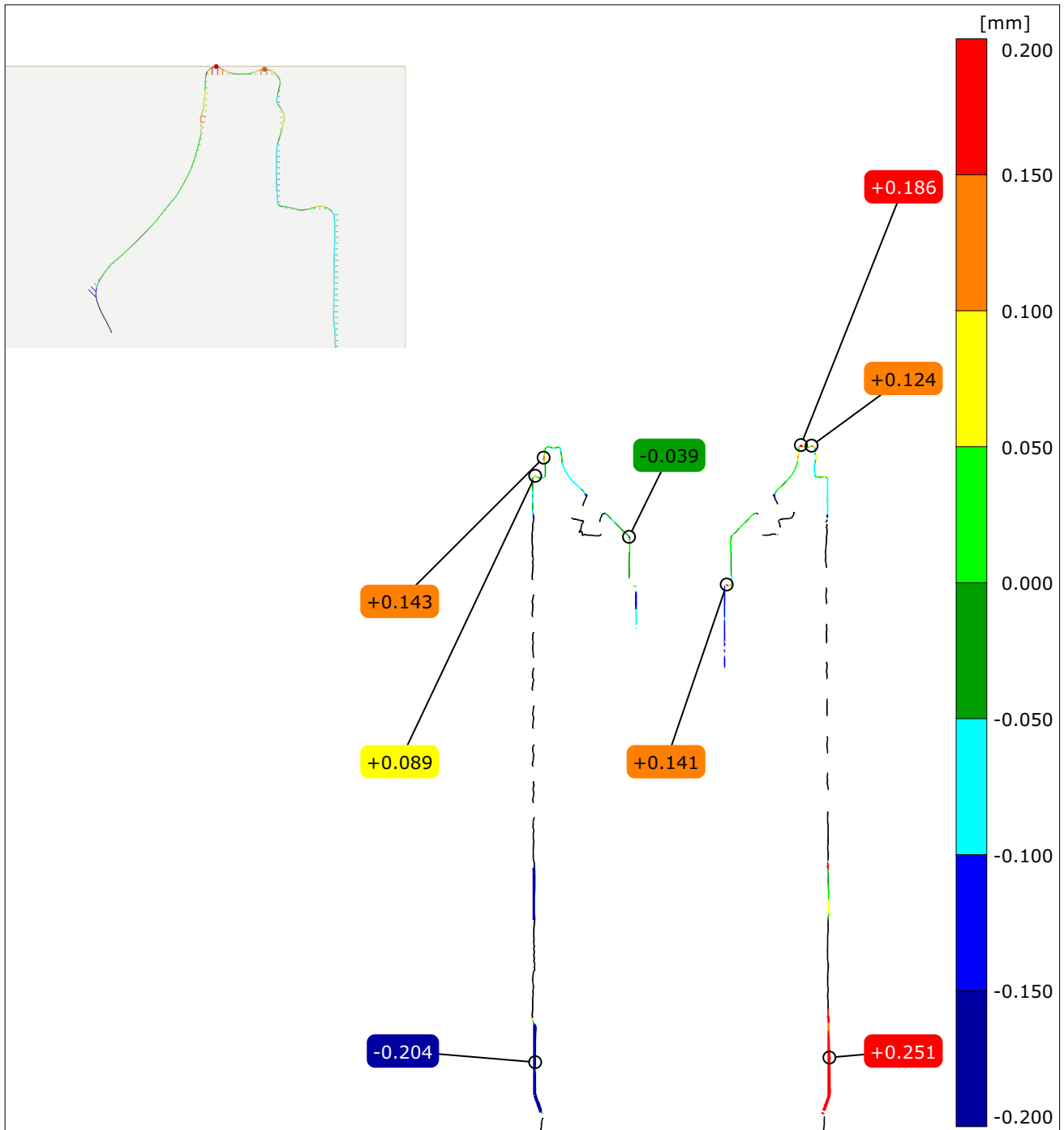
Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Czech Republic
 Date: 23.4.2019

Project: Inspekce sabotu
 Part: Sabot, celek, po stavbě, odlehčeno
 Part no.: 2019-04-02_01
 Version:
 Charge no.: ---

System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Plane-line-point



www.3dlaboratory.cz



Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Czech Republic
 Date: 23.4.2019

Project: Inspekce sabotu
 Part: Sabot, celek, po stavbě, odlehčeno
 Part no.: 2019-04-02_01
 Version:
 Charge no.: ---

System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Plane-line-point



www.3dlaboratory.cz

Cylinder 4				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+27.200	+27.196	-0.004	
⊗ Ø			0.259	

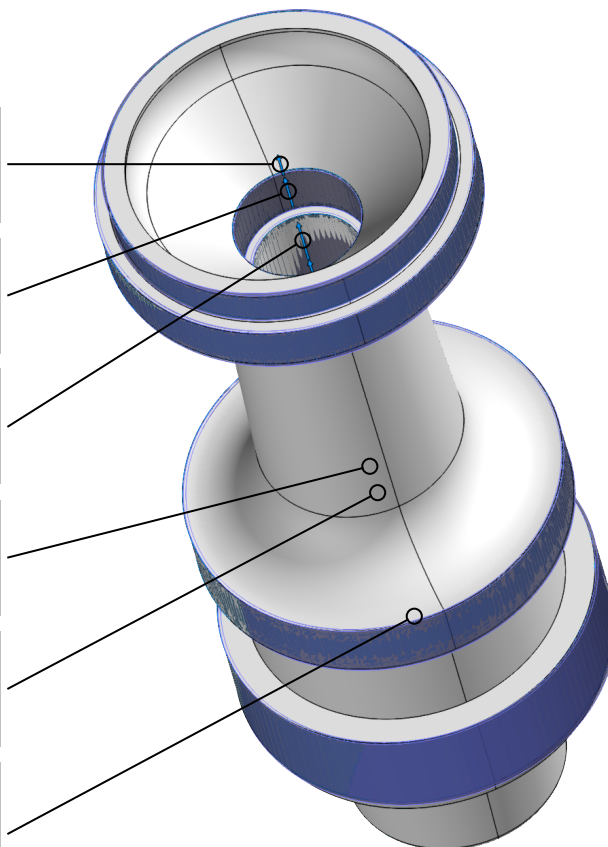
Cylinder 5				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.800	+29.672	-0.128	
⊗ Ø			0.193	

Cylinder 2				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+10.200	+10.226	+0.026	
⊗ Ø			0.103	

Cylinder 3				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+8.700	+8.923	+0.223	
⊗ Ø			0.100	

Cylinder 6				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.800	+29.605	-0.195	
⊗ Ø			0.104	

Cylinder 7				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.600	+29.613	+0.013	
⊗ Ø			0.151	



Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Czech Republic
 Date: 23.4.2019

Project: Inspekce sabotu
 Part: Sabot, celek, po stavbě, odlehčeno
 Part no.: 2019-04-02_01
 Version:
 Charge no.: ---

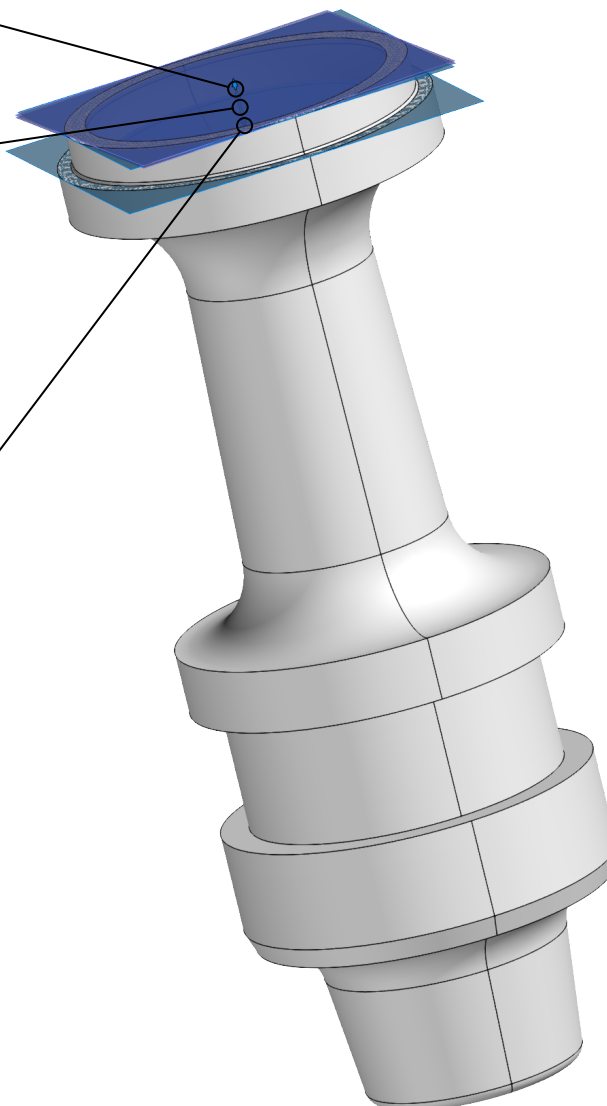
System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Plane-line-point


www.3dlaboratory.cz

Plane 7			
	Nominal	Actual	Dev. Check
//	Plane 4		0.350 

Point 1↔Point 6			
	Nominal	Actual	Dev. Check
L	+3.000	+2.998	-0.002 

 Plane 4



Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Czech Republic
 Date: 23.4.2019

Project: Inspekce sabotu
 Part: Sabot, celek, po stavbě, odlehčeno
 Part no.: 2019-04-02_01
 Version:
 Charge no.: ---

System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Plane-line-point

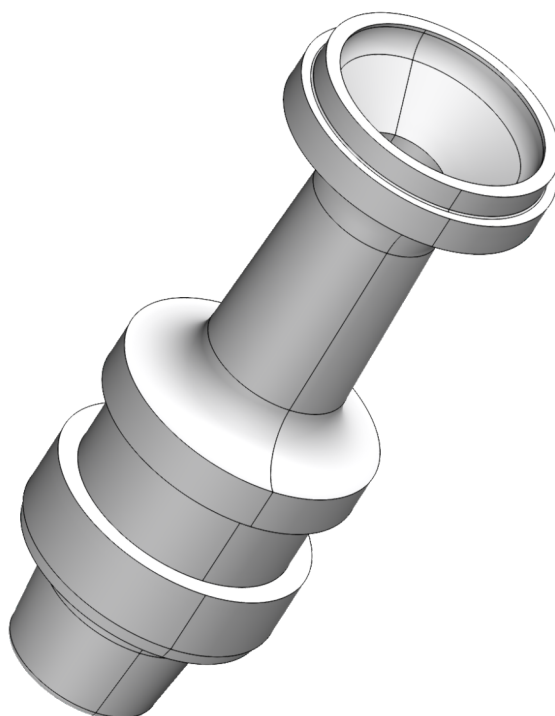


www.3dlaboratory.cz

Příloha 11

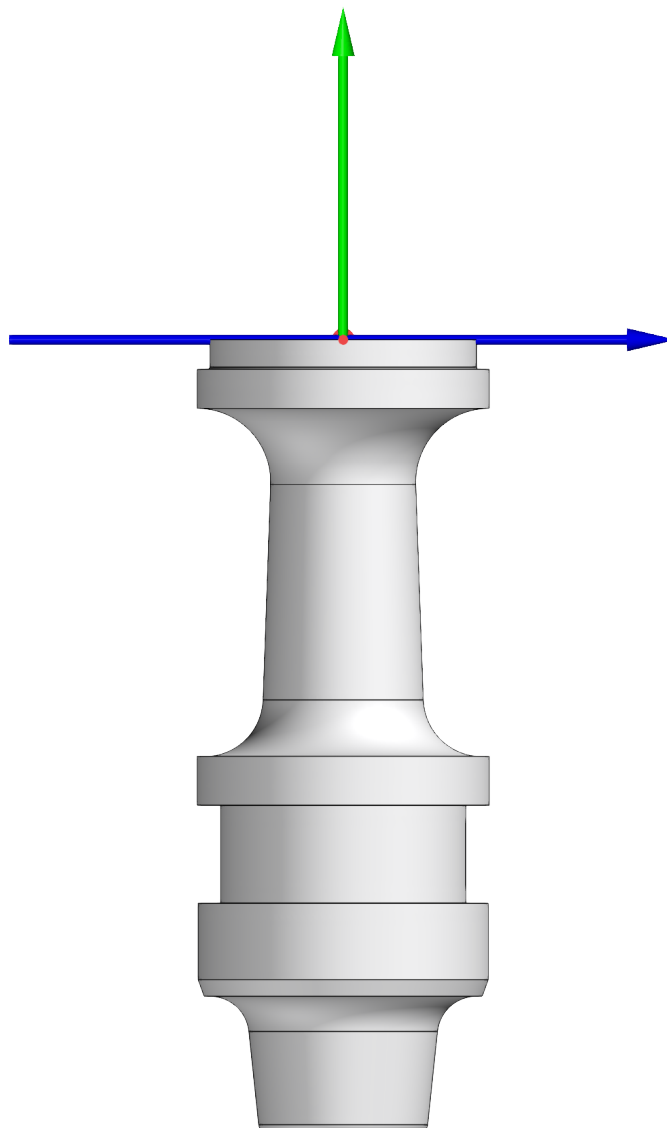
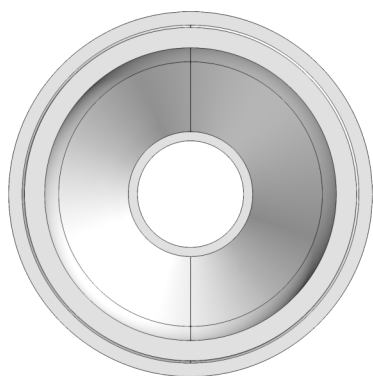
GOM ATOS Inspection Report

Date: 29.4.2019



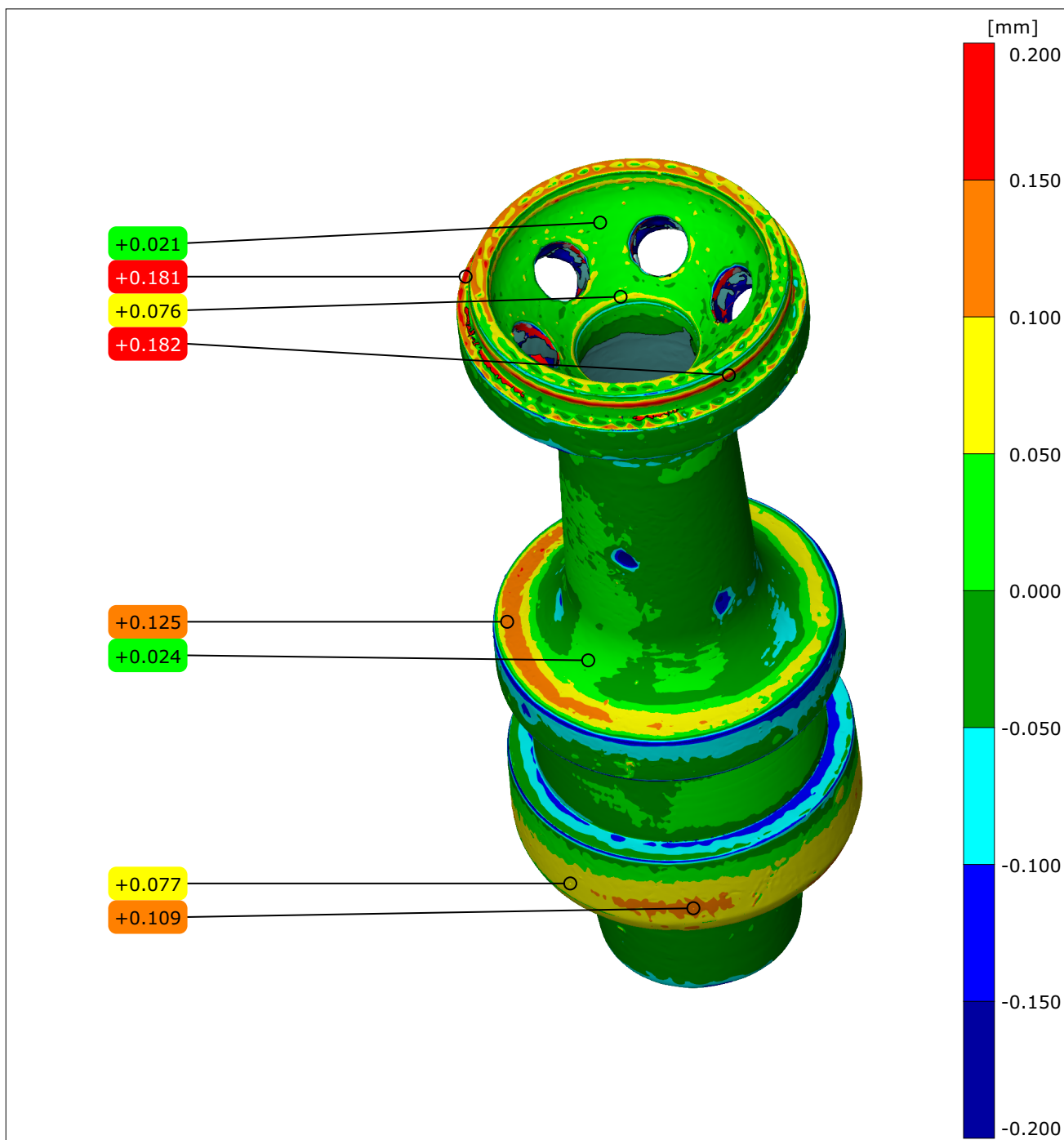
Sabot, celek, bez podpor, odlehčeno

Inspector: Jan Hajda



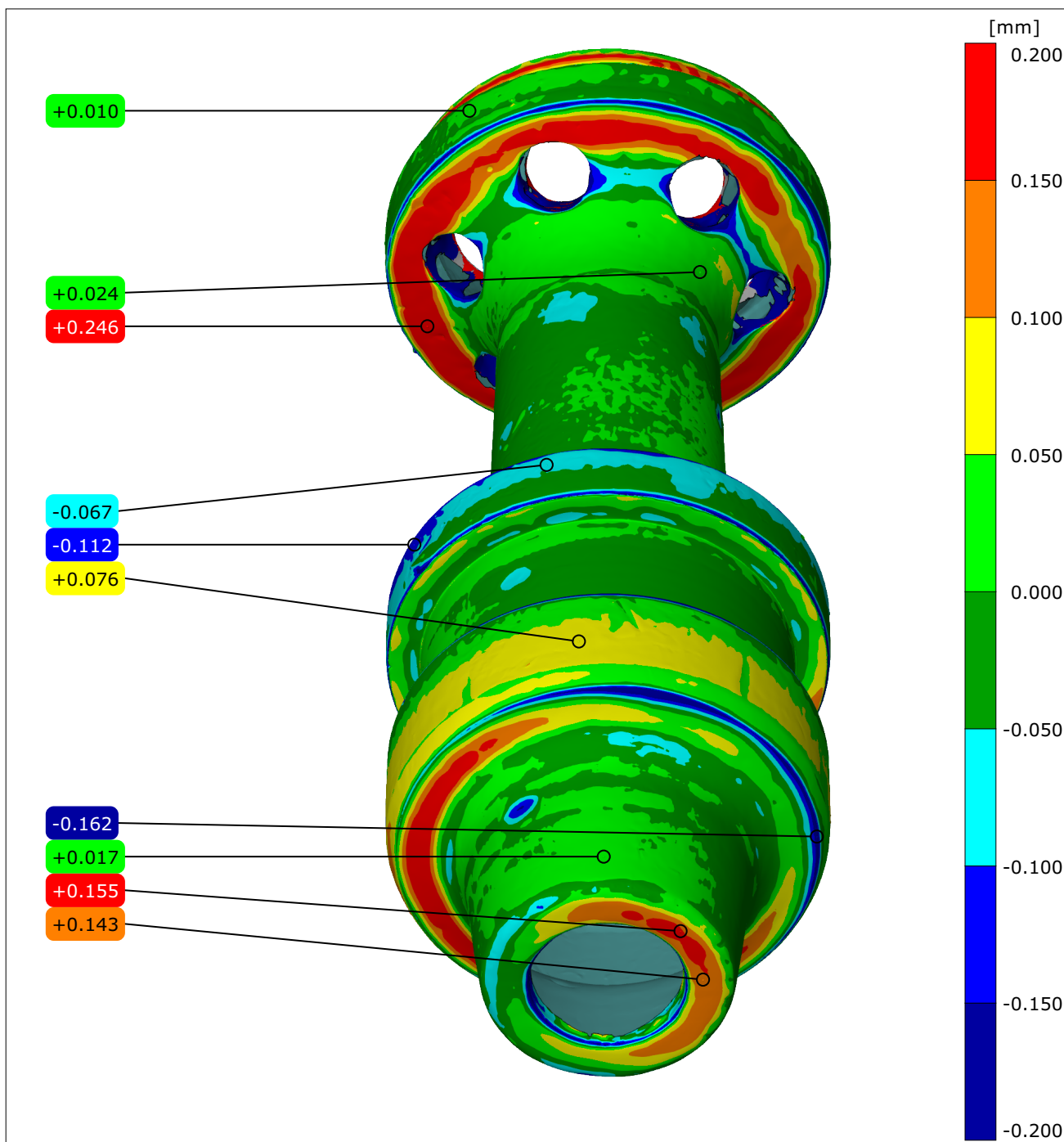
Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda Company: VUT Department: UK Location: Czech Republic Date: 29.4.2019	Project: Inspekce sabotu Part: Sabot, celek, bez podpor, odlehčen Part no.: 2019-04-02_02 Version: Charge no.: ---
System: GOM Inspect 2018 Alignment:	 NETME Centre Centre for Research and Development  www.3dlaboratory.cz



Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda Company: VUT Department: UK Location: Czech Republic Date: 29.4.2019	Project: Inspekce sabotu Part: Sabot, celek, bez podpor, odlehčeno Part no.: 2019-04-02_02 Version: Charge no.: ---
System: GOM Inspect 2018 Alignment: Prealignment	 NETME Centre Centre for Research and Development  3D laboratory www.3dlaboratory.cz



Length unit: mm

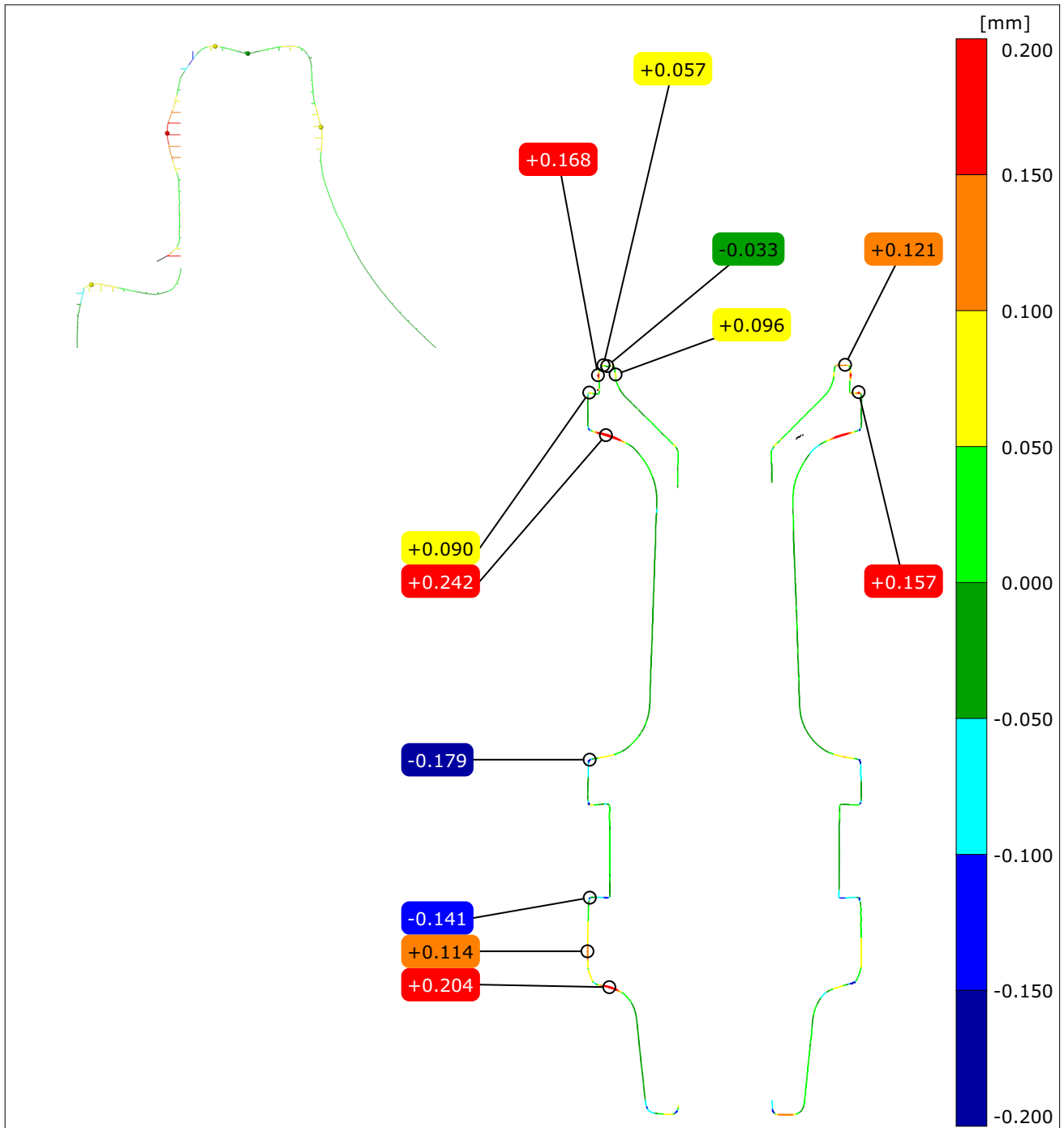
Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Czech Republic
 Date: 29.4.2019

Project: Inspekce sabotu
 Part: Sabot, celek, bez podpor, odlehčeno
 Part no.: 2019-04-02_02
 Version:
 Charge no.: ---

System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Prealignment



www.3dlaboratory.cz



Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Czech Republic
 Date: 29.4.2019

Project: Inspekce sabotu
 Part: Sabot, celek, bez podpor, odlehčeno
 Part no.: 2019-04-02_02
 Version:
 Charge no.: ---

System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Prealignment



www.3dlaboratory.cz

Cylinder 1				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+27.200	+27.319	+0.119	
⊂ Ø			0.273	

Cylinder 2				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.800	+29.773	-0.027	
⊂ Ø			0.167	

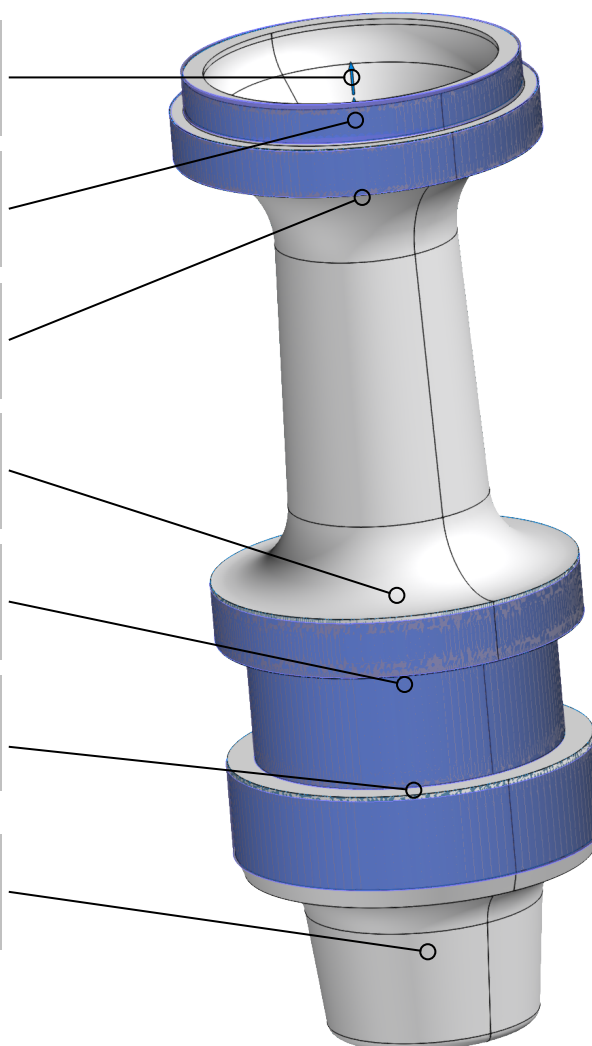
Cylinder 7				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+10.200	+10.184	-0.016	
⊂ Ø			0.107	

Cylinder 3				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.800	+29.688	-0.112	
⊂ Ø			0.203	

Cylinder 4				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+25.000	+24.979	-0.021	
⊂ Ø			0.121	

Cylinder 5				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+29.600	+29.691	+0.091	
⊂ Ø			0.193	

Cylinder 6				
	Nominal	Actual	Dev.	Check
Ø	+10.200	+10.330	+0.130	
⊂ Ø			0.223	



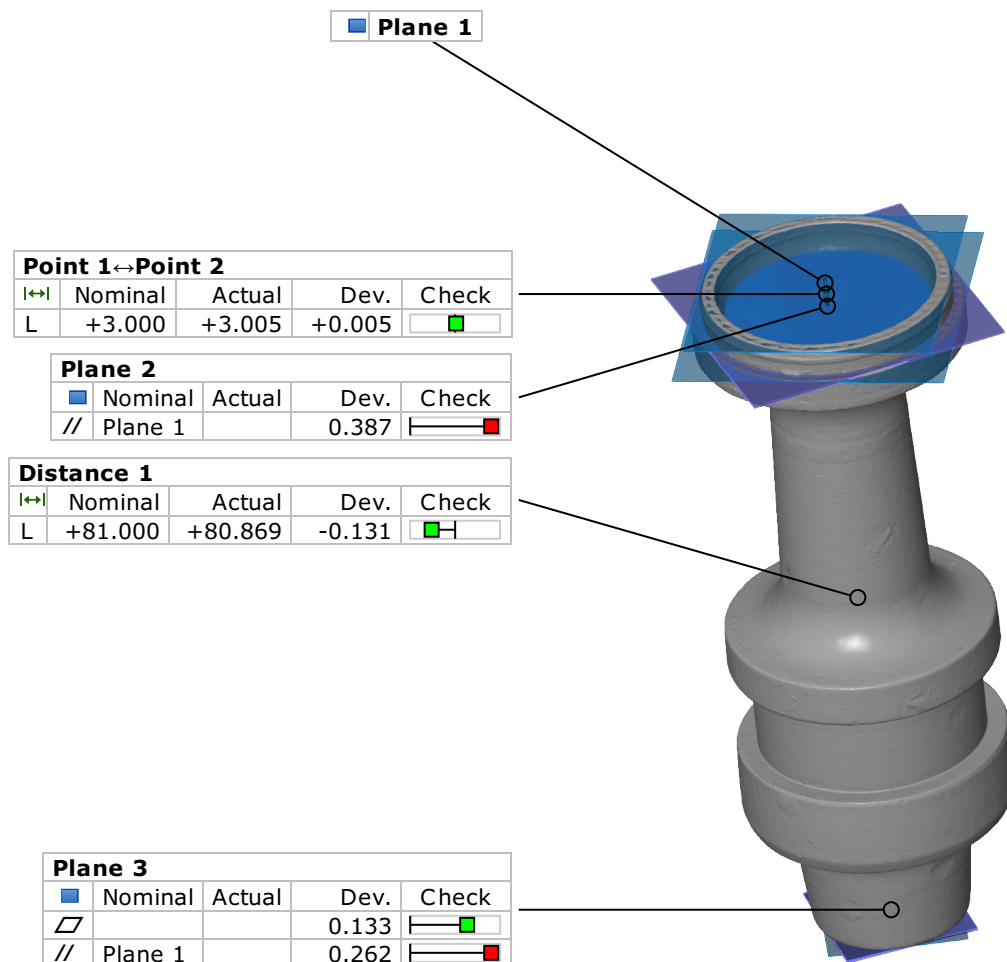
Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Czech Republic
 Date: 29.4.2019

Project: Inspekce sabotu
 Part: Sabot, celek, bez podpor, odlehčený
 Part no.: 2019-04-02_02
 Version:
 Charge no.: ---

System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Prealignment


www.3dlaboratory.cz



Length unit: mm

Inspector: Jan Hajda
 Company: VUT
 Department: UK
 Location: Czech Republic
 Date: 29.4.2019

Project: Inspekce sabotu
 Part: Sabot, celek, bez podpor, odlehčený
 Part no.: 2019-04-02_02
 Version:
 Charge no.: ---

System: GOM Inspect 2018
 Alignment: Prealignment



www.3dlaboratory.cz