

# ZKOUŠKA TAHEM HLINÍKOVÝCH FINSTOCKŮ

Porovnání zařízení

**Ing. Vít Žatka**

# 1. ÚVOD

Zkouška tahem patří k nejdůležitějším zkouškám popisující vlastnosti materiálů. Ve firmě ALINVEST Břidličná, a.s. jde o nejpoužívanější zkoušku pro stanovení parametrů vyráběného materiálu. Ročně se provede přes 150.000 těchto zkoušek.

Zkoušky se provádějí dle Zkušebních metod, které navazují na normy ČSN EN 10 002 a DIN 50 154.

V této práci se budu zabývat porovnáním zařízení a typů extenzometrů, na kterých budou zkoušeny finstockové materiály s jmenovitou tloušťkou 0,12 mm.

Vyhodnotíme optimální zařízení z pohledu přesnosti měření a pracnosti, a upozorníme na parametry zařízení, které mohou mít zásadní vliv na naměřené hodnoty.

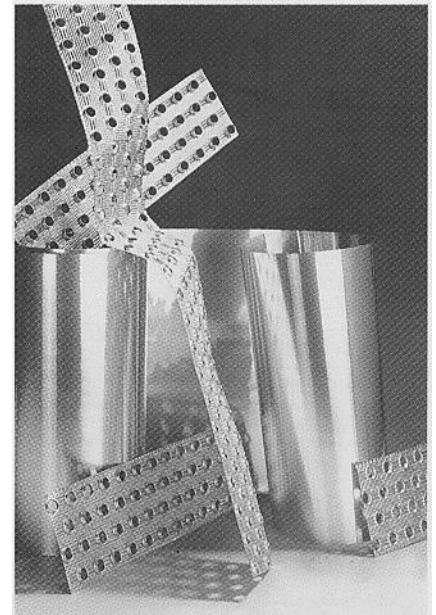
## **2. ZKOUŠENÝ MATERIÁL A POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ**

### **2.1 ZKOUŠENÝ MATERIÁL**

**FINSTOCK** - je pás z hliníku a hliníkových slitin v rozsahu tloušťky 0,060 - 0,35 mm.

#### **Použití**

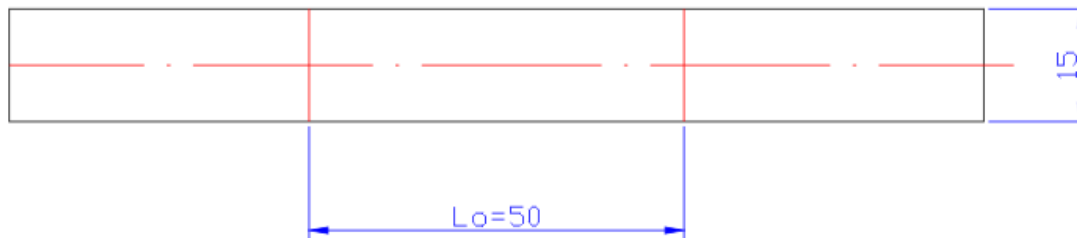
Obecně se používá pro:  
výrobu lamel v klimatizačních jednotkách, chladících systémech a topných radiátorech automobilů a jiných dopravních prostředků  
tepelné výměníky v stacionárních klimatizačních a chladírenských systémech



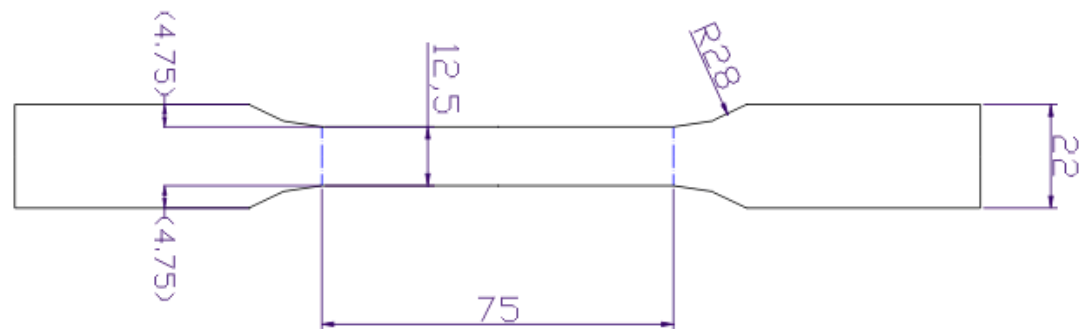
Zkoušen byl nový vývojový materiál s nízkou tažností u kterého dochází k přetržení blízko maximální síly, netvoří se krček a vznikl zde problém určení správné tažnosti a smluvní meze kluzu  $R_p 0,2$ .

## 2.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Materiál byl připravován stříháním na dvoubřítých nůžkách dle DIN 50 154. Jde o zkušební pásky s rovnoběžnými okraji se šířkou 15 mm a počáteční měřenou délkou 50 mm (obr. 2). Výjimkou byla zkouška na zařízení Instron 6025, kde byly zkoušky připraveny frézováním jako klasický plochý vzorek s hlavou (obr.3).



Obr.2: Stříhaný zkušební pásek



Obr.3: Frézovaná tyč

## 2.3 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

Tabulka 1: Použitá zařízení

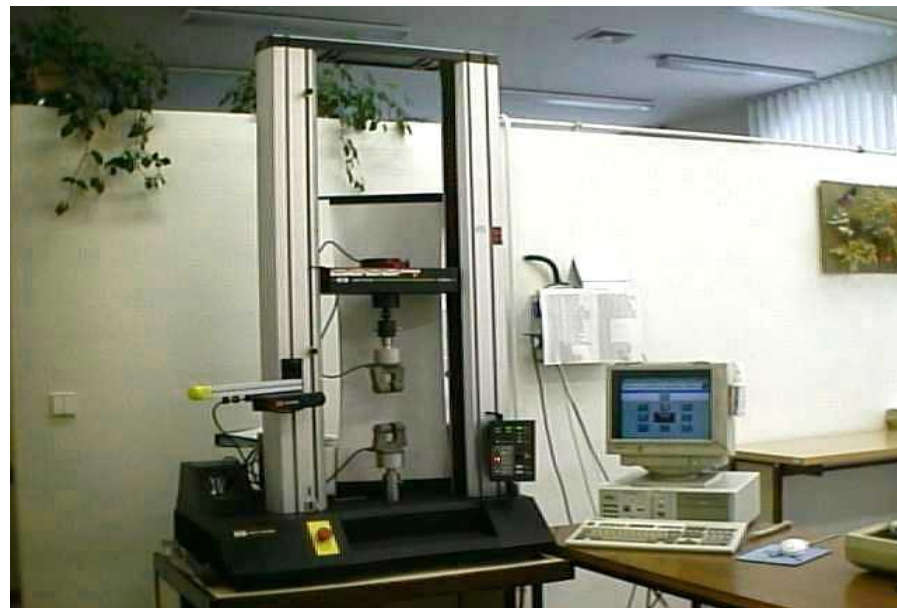
|                 |                                     |                                              |                                                 |                                                  |                                        |
|-----------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Typ             | INSTRON 5564                        | INSTRON 6025                                 | TIRA 2805                                       | MTS Insight 2                                    | ZWICK                                  |
| Výrobce         | INSTRON, Anglie                     | INSTRON, Anglie                              | TIRA, Německo                                   | MTS, USA                                         | Zwick/Roell, Německo                   |
| Datum výroby    | 1993                                | 1986                                         | 2001                                            | 2005                                             | 2004                                   |
| Umístění        | Laboratoř AIB                       | Laboratoř AIB                                | TEMPOS, Opava                                   | Laboratoř AIB                                    | Zwick Ulm                              |
| Siloměrná hlava | 1 kN, ověřená                       | 5 kN, ověřená                                | 5 kN, ověřená                                   | 1 kN, ověřená                                    | 2 kN, ověřená                          |
| Upínací čelisti | pneumatické                         | pneumatické                                  | mechanické                                      | pneumatické                                      | pneumatické                            |
| Měření tažnosti | z rámu, video extenzometr           | mechanický průtahoměr MFN-A                  | z rámu                                          | laserový extenzometr Messphysik                  | laserový extenzometr optiXtens         |
| Ovládání        | elektronické                        | elektronické                                 | elektronické                                    | elektronické                                     | elektronické                           |
| Vyhodnocení dat | SW Merlin Série IX v. 8.32          | SW TIRA test v. R2/97                        | SW TIRA test v. 2.0                             | SW TestWorks 4EM v. 4.08B                        | SW testXpert v.11.0                    |
| Poznámka        | nyní se zde zkouší fólie a finstoky | nejstarší zařízení, v r. 1998 rekonstruováno | zkoušky prováděny u dovozce TIRA - Tempos Opava | nové, během 2006 budou přesunuty zkoušky z I5564 | zkoušky prováděny u firmy Zwick v Ulmu |

Měření bylo prováděno i u firem Instron a Messphysik, ale z důvodů nedostatku dat zde nebudou uváděny.

Všechna zařízení vyhovují EN 10002, tj. siloměrné hlavy i extenzometry, jsou v třídě 1 a lepší.



Obr.4: MTS Insight 2



Obr.5: Instron 5564



Obr.6: Instron 6025

## **3. PODMÍNKY A VÝSLEDKY ZKOUŠEK**

### **3.1 Instron 5564**

#### **3.1.1 Měření prodloužení z rámu (5564 R)**

*Popis metody:* zkouška se provádí dle ZM[9]. Zkoušený materiál se upne mezi čelisti, které mají rozteč  $L_0$  a tažnost software vyhodnocuje pouze z posunu rámu o vzdálenost  $\Delta L$ .

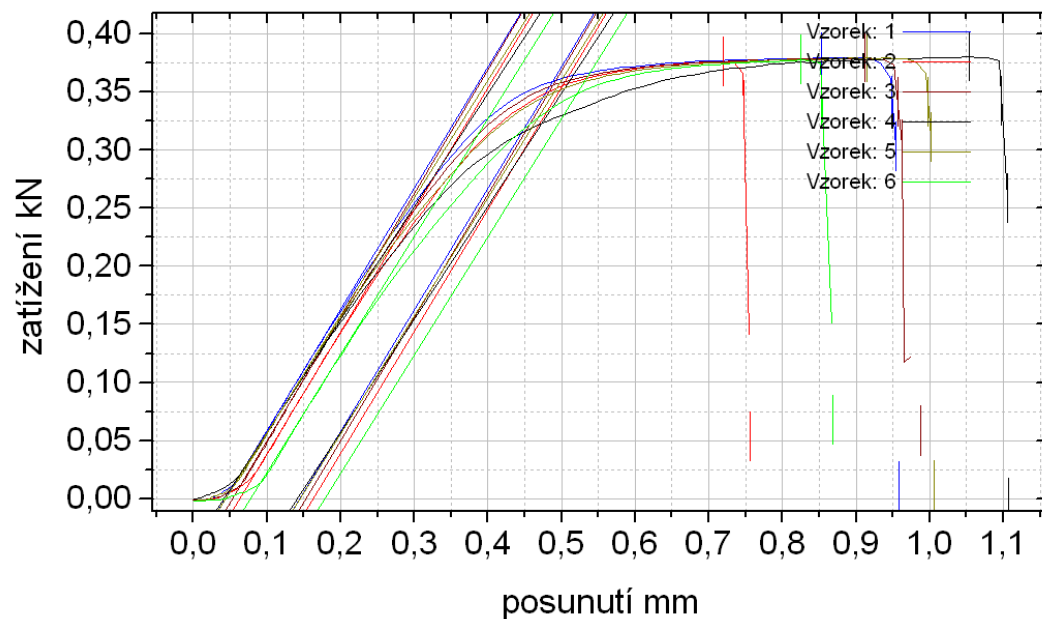
*Nastavení:* konstantní rychlost zkoušení v celém průběhu zkoušky 4 mm/min, vzdálenost mezi čelistmi 50 mm,  $L_0 = 50$  mm, pneumatické čelisti s vroubkovanými vložkami, délka uchycení ve vložce 25 mm, tlak v čelistech 6 atm., předpětí  $F_0 = 0$  N, ukončení zkoušky: nenastaveno, frekvence sběru dat: 25 bodů/s, teplota: 23° C.

Toto nastavení je nastavením původním, podle kterého se do současné doby zkoušky prováděly.

Tabulka 2: Výsledky zkoušek 5564 R

| č. měř. | F <sub>m</sub> [N] | R <sub>m</sub> [MPa] | R <sub>p0,2</sub> [MPa] | A <sub>50mm</sub> [%] | A <sub>t</sub> [%] | E [GPa] | a [mm] | b [mm] |
|---------|--------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|---------|--------|--------|
| 1       | 376                | 195,9                | 186,4                   | 0,7                   | 1,5                | 27,0    | 0,128  | 15,00  |
| 2       | 380                | 197,9                | 169,0                   | 1,7                   | 2,2                | 26,0    | 0,128  | 15,00  |
| 3       | 377                | 196,5                | 181,4                   | 0,9                   | 1,7                | 27,0    | 0,128  | 15,00  |
| 4       | 380                | 199,2                | 184,7                   | 1,3                   | 2,0                | 27,0    | 0,127  | 15,00  |
| 5       | 380                | 198,0                | 186,0                   | 1,7                   | 2,0                | 27,0    | 0,128  | 15,00  |
| 6       | 379                | 197,3                | 187,6                   | 1,0                   | 1,9                | 27,0    | 0,128  | 15,00  |
| Průměr  | 378,6              | 197,5                | 182,5                   | 1,2                   | 1,9                | 26,8    | 0,1    | 15,0   |
| S       | 1,61               | 1,17                 | 6,95                    | 0,42                  | 0,25               | 0,41    | 0,00   | 0,00   |
| RS      | 0,43%              | 0,59%                | 3,81%                   | 34,64%                | 13,19%             | 1,52%   | 0,32%  | 0,00%  |
| Min.    | 376,1              | 195,9                | 169                     | 0,7                   | 1,5                | 26      | 0,127  | 15     |
| Max.    | 380,1              | 199,2                | 187,6                   | 1,7                   | 2,2                | 27      | 0,128  | 15     |

Dávka ID: 9110



Obr. 7: Závislost F -  
ΔL 5564R



### 3.1.2 Měření prodloužení pomocí videoextenzometru (5564 V)

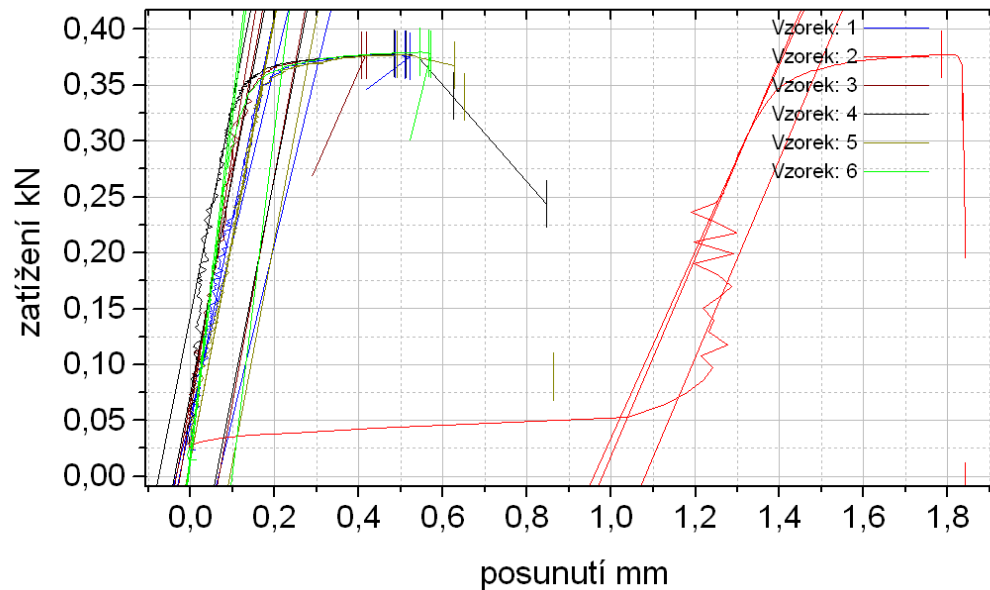
*Popis metody:* zkouška se provádí dle ZM[9]. Zkoušený materiál se upne mezi čelisti, měřicí vzdálenost  $L_0$  se označí ryskami a tažnost vyhodnocuje videokamera z posunu rysek o vzdálenost  $\Delta L$ . Použitý objektiv: TV Lens 8,5 mm 1:1,3.

*Nastavení:* konstantní rychlost zkoušení v celém průběhu zkoušky 4 mm/min, vzdálenost mezi čelistmi 80 mm,  $L_0 = 50$  mm (vzdálenost rysek), pneumatické čelisti s vroubkovanými vložkami, délka uchycení ve vložce 38 mm, tlak v čelistech 6 atm., předpětí  $F_0 = 15$  N, ukončení nenastaveno, frekvence sběru dat: 25 bodů/s, teplota: 23° C.

Tabulka 3: Výsledky zkoušek 5564 V

| č. měř. | Fm [N] | Rm [MPa] | Rp0,2 [MPa] | A50mm [%] | At [%] | E [GPa] | a [mm] | b [mm] |
|---------|--------|----------|-------------|-----------|--------|---------|--------|--------|
| 1       | 378    | 196,6    | 193,9       | 0,6       | 0,1    | 48,0    | 0,128  | 15,00  |
| 2       | 376    | 194,5    | 191,5       | 0,5       | 0,8    | 60,0    | 0,129  | 15,00  |
| 3       | 380    | 197,7    | 190,9       | 1,1       | 0,9    | 83,0    | 0,127  | 15,00  |
| 4       | 380    | 197,7    | 186,4       | 1,9       | 1,6    | 80,0    | 0,129  | 15,00  |
| 5       | 377    | 196,5    | 185,3       | 1,2       | 0,7    | 77,0    | 0,129  | 15,00  |
| 6       | 376    | 194,4    | 185,3       | 1,9       | 0,9    | 71,0    | 0,128  | 15,00  |
| Průměr  | 377,8  | 196,2    | 188,9       | 1,2       | 0,8    | 69,8    | 0,1    | 15,0   |
| S       | 1,83   | 1,47     | 3,69        | 0,61      | 0,48   | 13,44   | 0,00   | 0,00   |
| RS      | 0,49%  | 0,75%    | 1,95%       | 50,55%    | 57,63% | 19,24%  | 0,64%  | 0,00%  |
| Min.    | 376    | 194,4    | 185,3       | 0,5       | 0,1    | 48      | 0,127  | 15     |
| Max.    | 380    | 197,7    | 193,9       | 1,9       | 1,6    | 83      | 0,129  | 15     |

Dávka ID: m2v\_b



Obr. 8: Závislost F -  $\Delta L$  5564 V

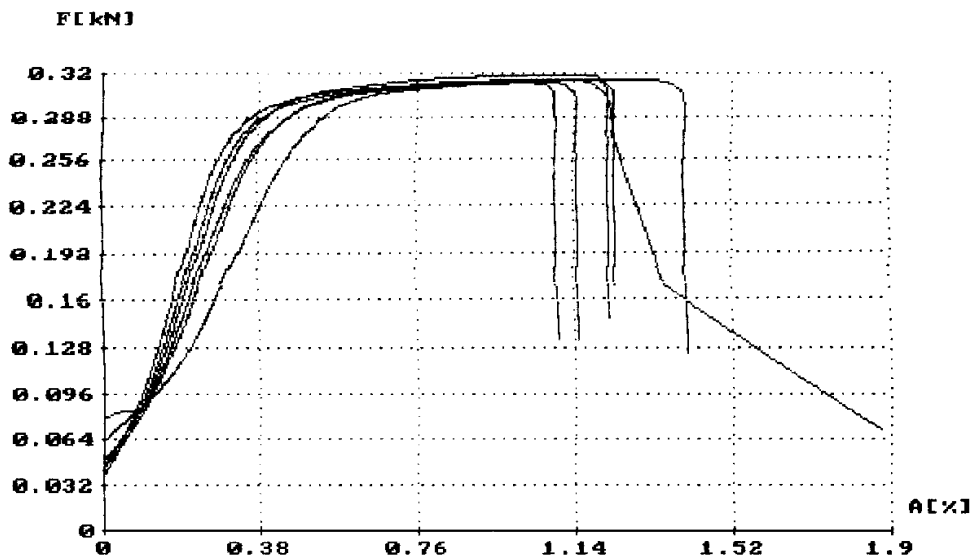
## 3.2 Zařízení Instron 6025 (6025)

*Popis metody:* Zkouška se provádí dle ZM[8]. Zde byl zkoušený materiál frézován na klasické zkoušky s hlavou. Prodloužení je měřeno pevným dvouramenným automatickým průtahoměrem, který má pevně nastavenou vzdálenost  $L_0$  a vyhodnocuje se posun ramínek průtahoměru o vzdálenost  $\Delta L$ .

*Nastavení:* konstantní rychlost zkoušení v celém průběhu zkoušky 4 mm/min, vzdálenost mezi čelistmi 100 mm,  $L_0 = 50$  mm, pneumatické čelisti s vroubkovanými vložkami, délka uchycení ve vložce 40 mm, tlak v čelistech 4 atm., předpětí  $F_0 = 20$  N, ukončení zkoušky při poklesu o 35% z  $F_{max}$ , frekvence sběru dat: 25 bodů/s, teplota: 23° C.

Tabulka 4: Výsledky zkoušek 6025

| č. měř. | F <sub>m</sub> [N] | R <sub>m</sub> [MPa] | R <sub>p0,2</sub> [MPa] | A <sub>50mm</sub> [%] | A <sub>t</sub> [%] | E [GPa] | a [mm] | b [mm] |
|---------|--------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|---------|--------|--------|
| 1       | 319                | 197,0                | 191,0                   | 0,8                   | 1,2                | 51,0    | 0,129  | 12,55  |
| 2       | 316                | 197,2                | 190,8                   | 0,9                   | 1,3                | 60,0    | 0,129  | 12,41  |
| 3       | 315                | 196,8                | 190,5                   | 0,9                   | 1,2                | 55,0    | 0,129  | 12,41  |
| 4       | 314                | 197,2                | 193,6                   | 0,6                   | 1,1                | 37,0    | 0,128  | 12,42  |
| 5       | 316                | 197,5                | 191,8                   | 1,0                   | 1,4                | 46,0    | 0,129  | 12,40  |
| 6       | 314                | 196,5                | 190,7                   | 0,7                   | 1,2                | 48,0    | 0,129  | 12,40  |
| Průměr  | 315,7              | 197,0                | 191,4                   | 0,8                   | 1,2                | 49,5    | 0,1    | 12,4   |
| S       | 1,86               | 0,35                 | 1,17                    | 0,15                  | 0,10               | 7,92    | 0,00   | 0,06   |
| RS      | 0,59%              | 0,18%                | 0,61%                   | 17,88%                | 8,37%              | 16,00%  | 0,32%  | 0,47%  |
| Min.    | 314                | 196,5                | 190,5                   | 0,6                   | 1,1                | 37      | 0,128  | 12,4   |
| Max.    | 319                | 197,5                | 193,6                   | 1                     | 1,4                | 60      | 0,129  | 12,55  |



Obr. 9: Závislost F -  
ΔL 6025

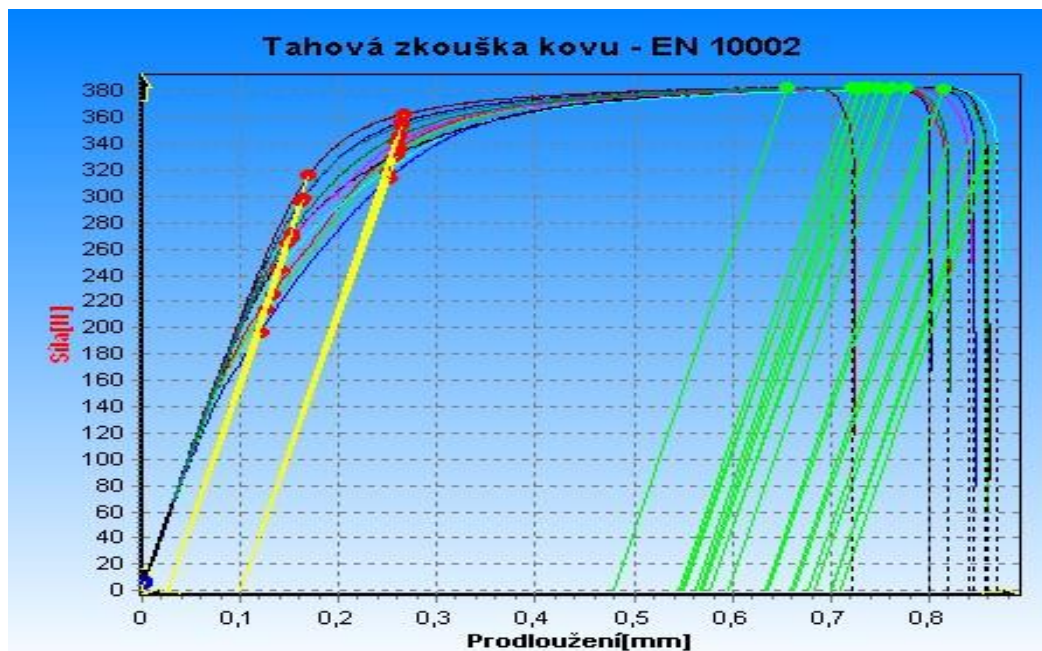
### 3.3 Zařízení Tira 2805 (TIRA)

*Popis metody:* Zkouška byla připravena dle ZM[9]. Zkoušený materiál se upne mezi čelisti, které mají rozteč  $L_0$  a tažnost software vyhodnocuje pouze z posunu rámu o vzdálenost  $\Delta L$ .

*Nastavení:* konstantní rychlost zkoušení v celém průběhu zkoušky 4 mm/min, vzdálenost mezi čelistmi 50 mm,  $L_0 = 50$  mm, mechanické čelisti, předpětí  $F_0 = 0$  N, ukončení zkoušky: pokles síly o 20 % z  $F_{max.}$ , frekvence sběru dat: 50 bodů/s, teplota: 21°C.

Tabulka 5: Výsledky zkoušek TIRA

| č. měř. | Fm [N] | Rm [MPa] | Rp0,2 [MPa] | A50mm [%] | At [%] | E [GPa] | a [mm] | b [mm] |
|---------|--------|----------|-------------|-----------|--------|---------|--------|--------|
| 1       | 383    | 199,4    | 175,3       | 1,3       | 1,6    | 55,0    | 0,128  | 15,00  |
| 2       | 383    | 199,5    | 163,7       | 1,4       | 1,7    | 54,0    | 0,128  | 15,00  |
| 3       | 382    | 199,1    | 166,4       | 1,4       | 1,7    | 56,0    | 0,127  | 15,00  |
| 4       | 383    | 199,5    | 188,8       | 1,1       | 1,4    | 57,0    | 0,128  | 15,00  |
| 5       | 383    | 199,3    | 180,6       | 1,3       | 1,6    | 56,0    | 0,128  | 15,00  |
| 6       | 383    | 199,7    | 184,4       | 1,4       | 1,7    | 56,0    | 0,128  | 15,00  |
| Průměr  | 382,8  | 199,4    | 176,5       | 1,3       | 1,6    | 55,7    | 0,1    | 15,0   |
| S       | 0,41   | 0,20     | 9,98        | 0,12      | 0,12   | 1,03    | 0,00   | 0,00   |
| RS      | 0,11%  | 0,10%    | 5,65%       | 8,88%     | 7,23%  | 1,86%   | 0,32%  | 0,00%  |
| Min.    | 382    | 199,1    | 163,7       | 1,1       | 1,4    | 54      | 0,127  | 15     |
| Max.    | 383    | 199,7    | 188,8       | 1,4       | 1,7    | 57      | 0,128  | 15     |

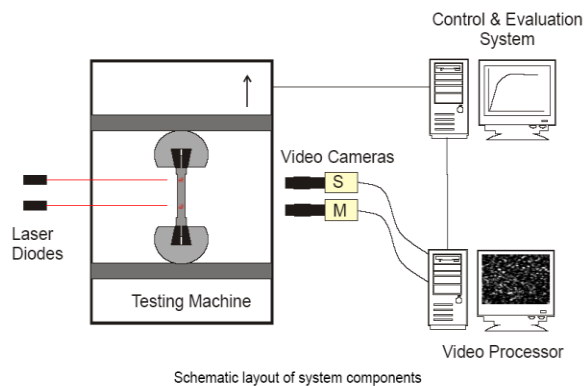


Obr. 10: Závislost F  
- ΔL TIRA

### 3.4 Zařízení MTS Insight 2 (MTS)

*Popis metody:* Zkouška byla připravena dle ZM[9]. Prodloužení bylo měřeno laserovým extenzometrem Messphysik. Schéma laserového extenzometru je patrné z *obr. 11*. Zařízení se skládá ze dvou videokamer a dvou zdrojů laserového paprsku. Každý z paprsků ozařuje povrch vzorku, který snímají objektivy a promítají se na monitor počítače. Na tomto snímaném povrchu jsou nalezeny charakteristické shluky drsnosti povrchu (speckle patterns), které jsou paprskem stále sledovány. Paprsky jsou nastaveny na vzdálenost  $L_0$  a vyhodnocuje se posun těchto shluků o vzdálenost  $\Delta L$  [12].

*Nastavení:* konstantní rychlost zkoušení v celém průběhu zkoušky 4 mm/min,  $L_0 = 50$  mm, pneumatické čelisti s drsným povrchem, předpětí  $F_0 = 0$  N, ukončení zkoušky při poklesu o 20% z  $F_{max}$ , frekvence sběru dat: 100 bodů/s, teplota: 23°C.

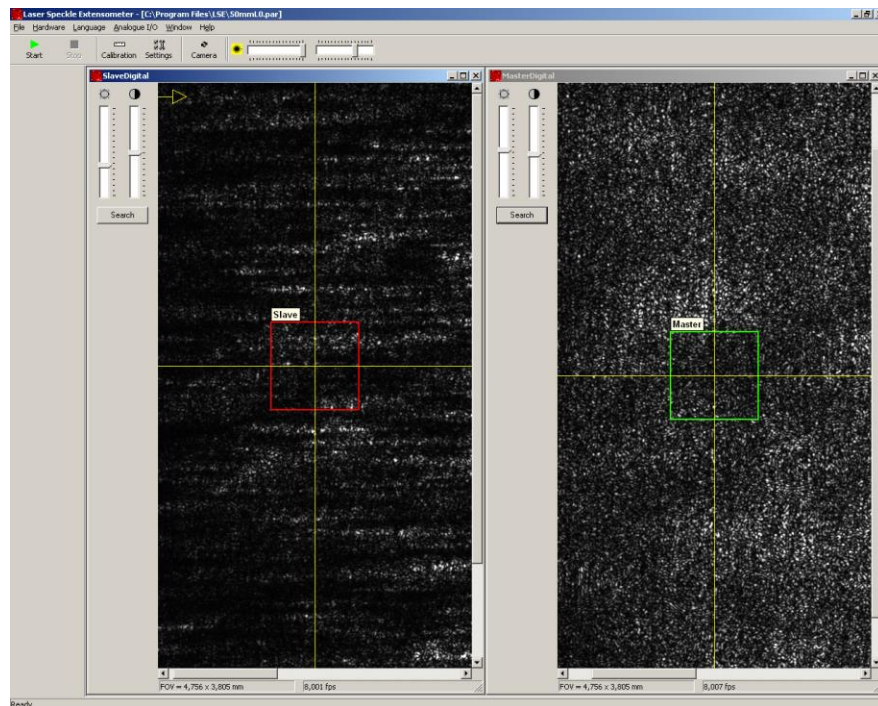


System Components

Measuring Principle

Obr. 11: Schéma laserového extenzometru

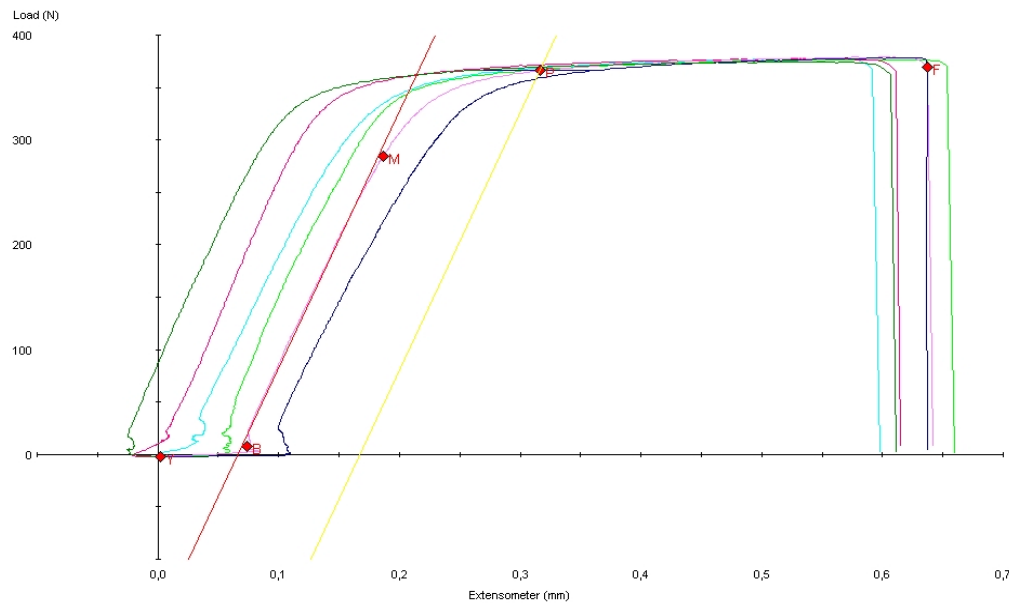
Obr. 12: Obrázek povrchu vzorku





Tabulka 6: Výsledky zkoušek MTS

| č. měř. | F <sub>m</sub> [N] | R <sub>m</sub> [MPa] | R <sub>p0,2</sub> [MPa] | A <sub>50mm</sub> [%] | A <sub>t</sub> [%] | E [GPa] | a [mm] | b [mm] |
|---------|--------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|---------|--------|--------|
| 1       | 376                | 196,2                | 189,6                   | 0,9                   | 1,2                | 69,0    | 0,128  | 15,00  |
| 2       | 378                | 196,8                | 189,8                   | 0,8                   | 1,1                | 62,0    | 0,128  | 15,00  |
| 3       | 374                | 195,0                | 188,0                   | 1,0                   | 1,3                | 70,0    | 0,128  | 15,00  |
| 4       | 378                | 195,1                | 188,8                   | 0,9                   | 1,2                | 68,0    | 0,129  | 15,00  |
| 5       | 379                | 195,9                | 189,1                   | 0,8                   | 1,1                | 63,0    | 0,129  | 15,00  |
| 6       | 378                | 197,1                | 189,7                   | 0,8                   | 1,1                | 60,0    | 0,128  | 15,00  |
| Průměr  | 377,2              | 196,0                | 189,2                   | 0,9                   | 1,2                | 65,3    | 0,1    | 15,0   |
| S       | 1,83               | 0,86                 | 0,69                    | 0,08                  | 0,08               | 4,18    | 0,00   | 0,00   |
| RS      | 0,49%              | 0,44%                | 0,36%                   | 9,42%                 | 7,00%              | 6,40%   | 0,40%  | 0,00%  |
| Min.    | 374                | 195                  | 188                     | 0,8                   | 1,1                | 60      | 0,128  | 15     |
| Max.    | 379                | 197,1                | 189,8                   | 1                     | 1,3                | 70      | 0,129  | 15     |

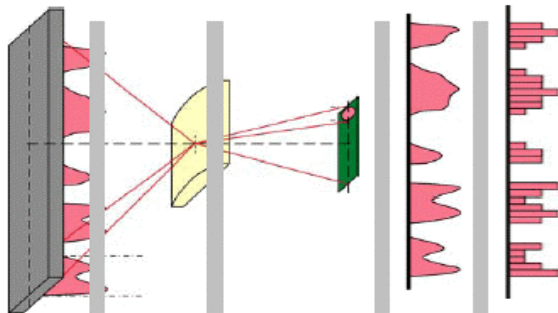


Obr. 13: Závislost F  
- ΔL MTS

### 3.5 Zařízení ZWICK (ZWICK)

*Popis metody:* Vzorky na zkoušku byly připraveny dle ZM[9]. Zkoušený materiál byl zkoušen dle metodiky Zwick. Prodloužení bylo měřeno laserovým extenzometrem Zwick. Systém měření je obdobný jako u extenzometru Messphysik s tím rozdílem, že snímaný povrch je převeden do dvojrozměrného signálu, kde je nalezen charakteristický vrchol (peak), který je sledován. Paprsky jsou nastaveny na vzdálenost  $L_0$  a vyhodnocuje se posun sledovaného vrchol o vzdálenost  $\Delta L$  [10, 11].

*Nastavení:* konstantní rychlost zkoušení v celém průběhu zkoušky 4 mm/min,  $L_0 = 50$  mm, pneumatické čelisti s keramickými vložkami, předpětí  $F_0 = 3$  N, ukončení automaticky dle [6]., frekvence sběru dat: 25 bodů/s, teplota: 22° C.



Obr. 14: Schéma konverze signálu

Obr. 15: Laserový extenzometr optiXtens

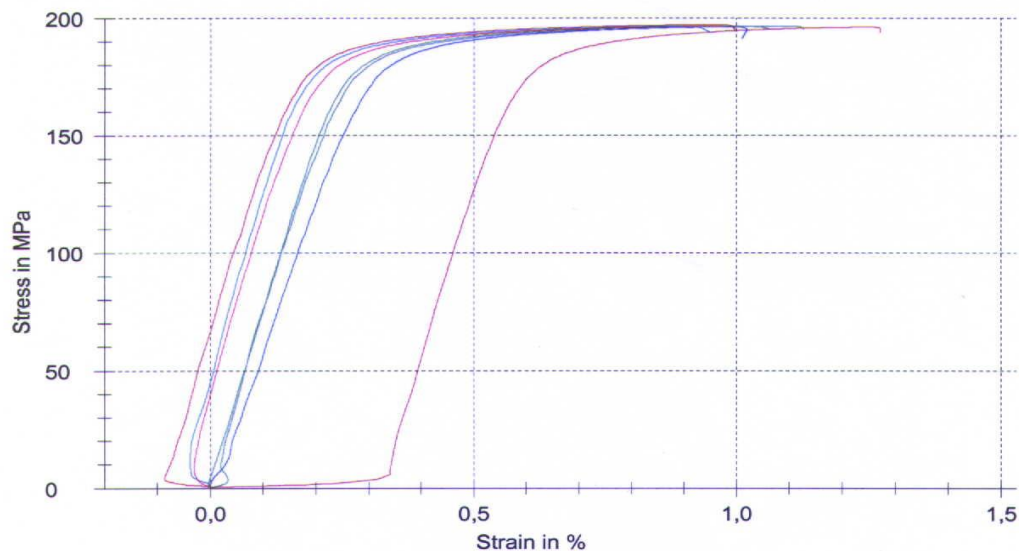


Tabulka 7: Výsledky zkoušek ZWICK

| č. měř. | Fm [N] | Rm [MPa] | Rp0,2 [MPa] | A50mm [%] | At [%] | E [GPa] | a [mm] | b [mm] |
|---------|--------|----------|-------------|-----------|--------|---------|--------|--------|
| 1       | 377    | 196,0    | 190,0       | 0,7       | 0,9    | 77,0    | 0,128  | 15,00  |
| 2       | 377    | 196,0    | 191,0       | 0,8       | 1,1    | 79,0    | 0,128  | 15,00  |
| 3       | 377    | 196,0    | 191,0       | 0,7       | 1,0    | 65,0    | 0,128  | 15,00  |
| 4       | 377    | 196,0    | 190,0       | 0,8       | 1,1    | 85,0    | 0,128  | 15,00  |
| 5       | 377    | 196,0    | 190,0       | 0,8       | 1,1    | 82,0    | 0,128  | 15,00  |
| 6       | 378    | 197,0    | 191,0       | 0,8       | 1,1    | 77,0    | 0,128  | 15,00  |
| Průměr  | 377,2  | 196,2    | 190,5       | 0,8       | 1,1    | 77,5    | 0,1    | 15,0   |
| S       | 0,41   | 0,41     | 0,55        | 0,05      | 0,07   | 6,86    | 0,00   | 0,00   |
| RS      | 0,11%  | 0,21%    | 0,29%       | 7,10%     | 6,84%  | 8,86%   | 0,00%  | 0,00%  |
| Min.    | 377    | 196      | 190         | 0,69      | 0,94   | 65      | 0,128  | 15     |
| Max.    | 378    | 197      | 191         | 0,8       | 1,13   | 85      | 0,128  | 15     |

**Series graph:**

Obr. 16: Závislost F -  
 $\Delta L$  ZWICK



## 4. HODNOCENÍ A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Soubory dat se hodnotily běžným statistickým hodnocením. Pro každou veličinu byl vypočítán aritmetický průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (1)$$

a určená směrodatná odchylka

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( x_i - \bar{x} \right)^2} \quad (2) \text{ popř. procentuální vyjádření směrodatné}$$

odchylky k průměru:

$$rs(x_i) = \frac{s(x_i)}{\bar{x}} \cdot 100 \text{ (}\%) \quad (3)$$

Na tomto základě byly určeny meze vyhovujících hodnot, kde průměrné hodnoty by měly ležet v intervalu  $\bar{x} \pm 2 \cdot s_{(n-1)}$  a individuální výsledky v pásmu  $\bar{x} \pm 3 \cdot s_{(n-1)}$ .

Průměry všech výsledků jsou vidět v tabulce 8. U měření metody 6025 byla síla přepočítána na šířku vzorku 15 mm z důvodu adekvátního porovnání dat, ostatní výsledky byly zachovány.

Konkrétní meze jsou uvedeny v tabulce 9. V tabulce 10 a 11 jsou celkové výsledky a meze u směrodatných odchylek.

Tabulka 8: Celkové výsledky (průměry zkoušek)

| č. měř. | Fm [N] | Rm [MPa] | Rp0,2 [MPa] | A50mm [%] | At [%] | E [GPa] | zařízení |
|---------|--------|----------|-------------|-----------|--------|---------|----------|
| 1       | 378,6  | 197,5    | 182,5       | 1,2       | 1,9    | 26,8    | 5564 R   |
| 2       | 377,8  | 196,2    | 188,9       | 1,2       | 0,8    | 69,8    | 5564 V   |
| 3       | 380,8  | 197,0    | 191,4       | 0,8       | 1,2    | 49,5    | 6025     |
| 4       | 382,8  | 199,4    | 176,5       | 1,3       | 1,6    | 55,7    | TIRA     |
| 5       | 377,2  | 196,0    | 189,2       | 0,9       | 1,2    | 65,3    | MTS      |
| 6       | 377,2  | 196,2    | 190,5       | 0,8       | 1,1    | 77,5    | ZWICK    |
| Průměr  | 379,1  | 197,1    | 186,5       | 1,0       | 1,3    | 57,4    |          |
| S       | 2,28   | 1,29     | 5,80        | 0,24      | 0,39   | 18,01   |          |
| RS      | 0,60%  | 0,65%    | 3,11%       | 23,17%    | 29,67% | 31,35%  |          |
| Min.    | 377,17 | 196,02   | 176,53      | 0,77      | 0,83   | 26,83   |          |
| Max.    | 382,83 | 199,42   | 191,40      | 1,32      | 1,88   | 77,50   |          |

Tabulka 9: Meze hodnot

| Hodnoty     | Fm [N] | Rm [MPa] | Rp0,2 [MPa] | A50mm [%] | At [%] | E [GPa] |
|-------------|--------|----------|-------------|-----------|--------|---------|
| $\phi + 3s$ | 385,91 | 200,92   | 203,89      | 1,75      | 2,45   | 111,47  |
| $\phi + 2s$ | 383,63 | 199,63   | 198,09      | 1,51      | 2,07   | 93,46   |
| $\phi$      | 379,1  | 197,1    | 186,5       | 1,0       | 1,3    | 57,4    |
| $\phi - 2s$ | 374,51 | 194,48   | 174,91      | 0,55      | 0,53   | 21,43   |
| $\phi - 3s$ | 372,22 | 193,19   | 169,11      | 0,31      | 0,14   | 3,42    |

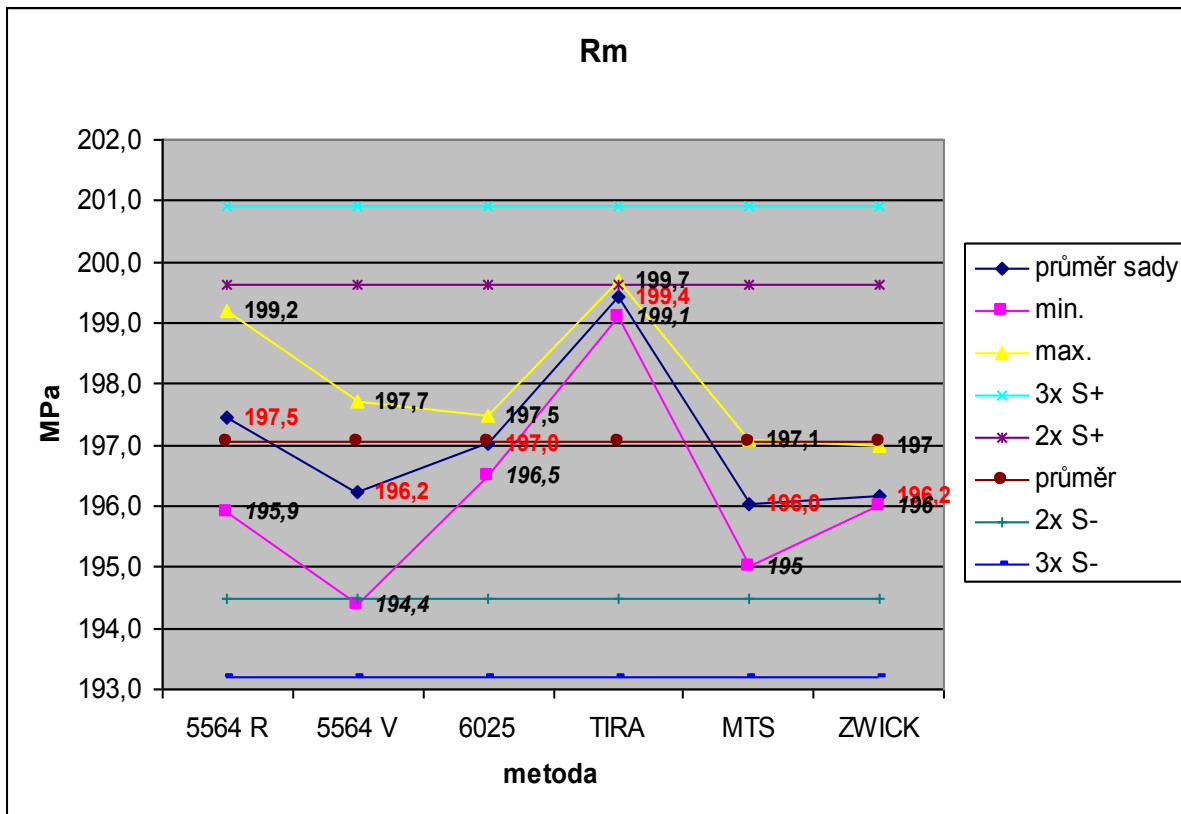
Tabulka 10: Směrodatné odchylky zkoušek

| č. měř. | Fm [N] | Rm [MPa] | Rp0,2 [MPa] | A50mm [%] | At [%] | E [GPa] | zařízení |
|---------|--------|----------|-------------|-----------|--------|---------|----------|
| 1       | 1,61   | 1,17     | 6,95        | 0,42      | 0,25   | 0,41    | 5564 R   |
| 2       | 1,83   | 1,47     | 3,69        | 0,61      | 0,48   | 13,44   | 5564 V   |
| 3       | 1,86   | 0,35     | 1,17        | 0,15      | 0,10   | 7,92    | 6025     |
| 4       | 0,41   | 0,20     | 9,98        | 0,12      | 0,12   | 1,03    | TIRA     |
| 5       | 1,83   | 0,86     | 0,69        | 0,08      | 0,08   | 4,18    | MTS      |
| 6       | 0,41   | 0,41     | 0,55        | 0,05      | 0,07   | 6,86    | ZWICK    |
| Průměr  | 1,3    | 0,7      | 3,8         | 0,2       | 0,2    | 5,6     |          |
| SD      | 0,72   | 0,51     | 3,88        | 0,22      | 0,16   | 4,86    |          |
| RSD     | 54,1%  | 68,2%    | 101,1%      | 94,1%     | 86,4%  | 86,2%   |          |
| Min.    | 0,41   | 0,20     | 0,55        | 0,05      | 0,07   | 0,41    |          |
| Max.    | 1,86   | 1,47     | 9,98        | 0,61      | 0,48   | 13,44   |          |

Tabulka 11: Meze SD

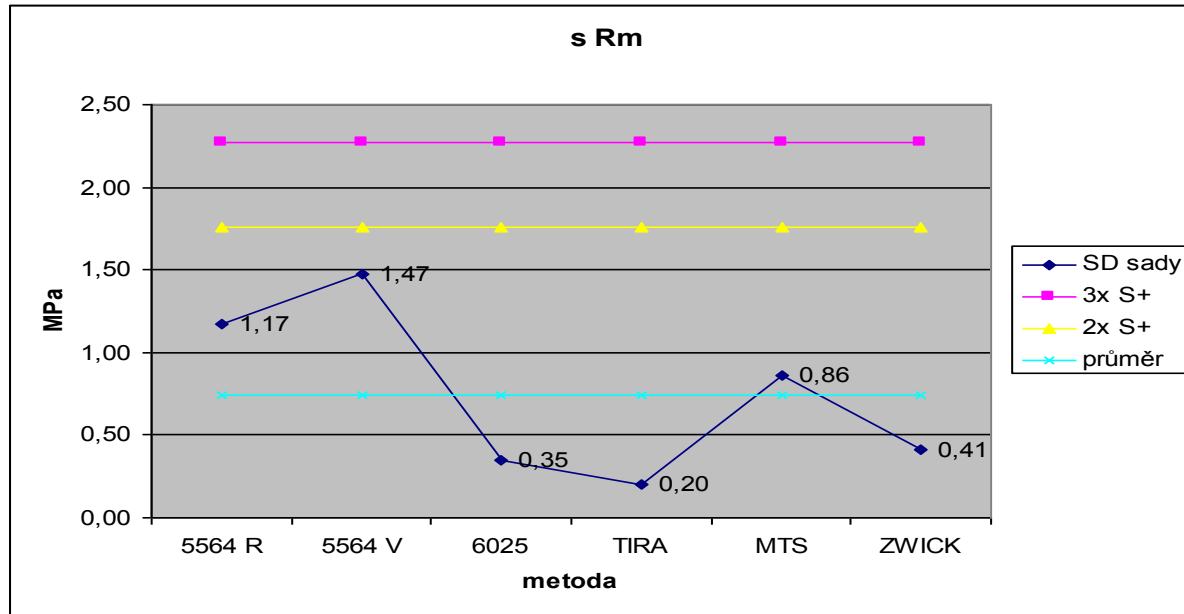
| Hodnoty     | Fm [N] | Rm [MPa] | Rp0,2 [MPa] | A50mm [%] | At [%] | E [GPa] |
|-------------|--------|----------|-------------|-----------|--------|---------|
| $\phi + 3s$ | 3,48   | 2,27     | 15,48       | 0,91      | 0,66   | 20,23   |
| $\phi + 2s$ | 2,76   | 1,76     | 11,60       | 0,69      | 0,50   | 15,36   |
| $\phi$      | 1,3    | 0,7      | 3,8         | 0,2       | 0,2    | 5,6     |

## 4.1 Pevnost v tahu Rm



Obr. 17: Graf průměru, max. a min. hodnoty Rm

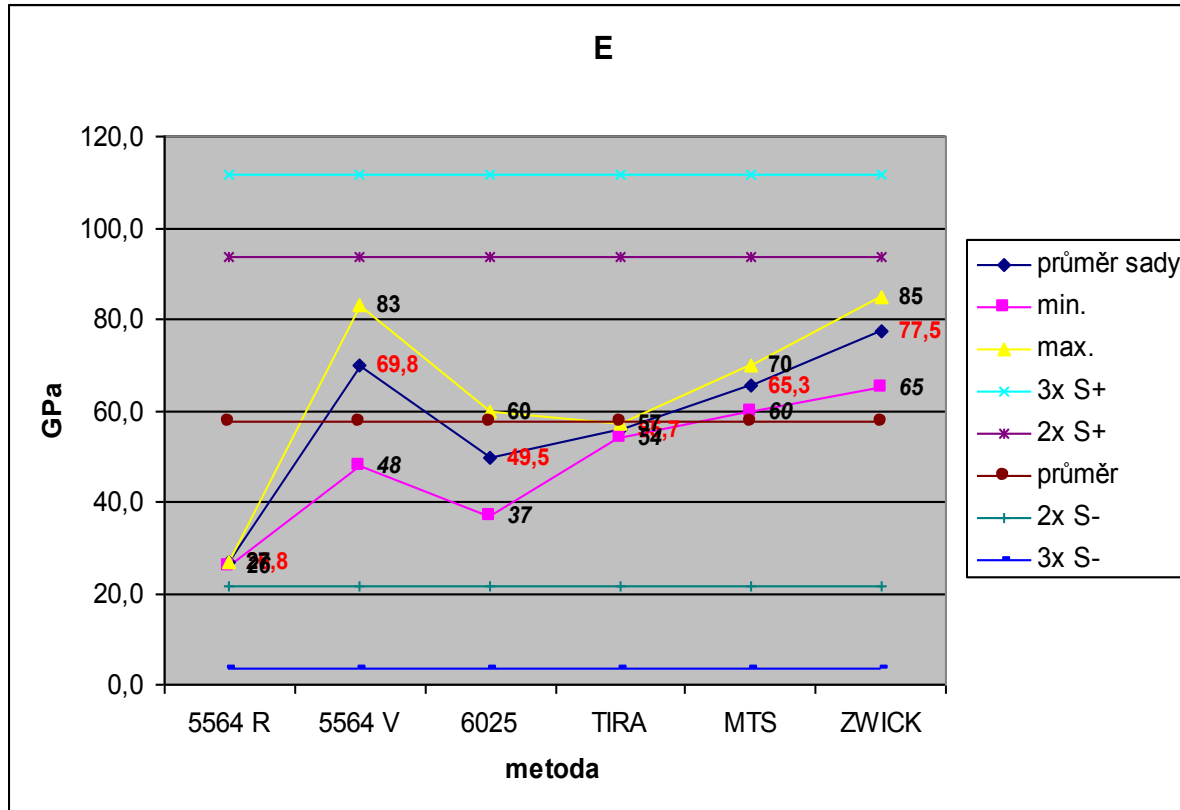




Obr. 18: Graf směrodatné odchyly Rm

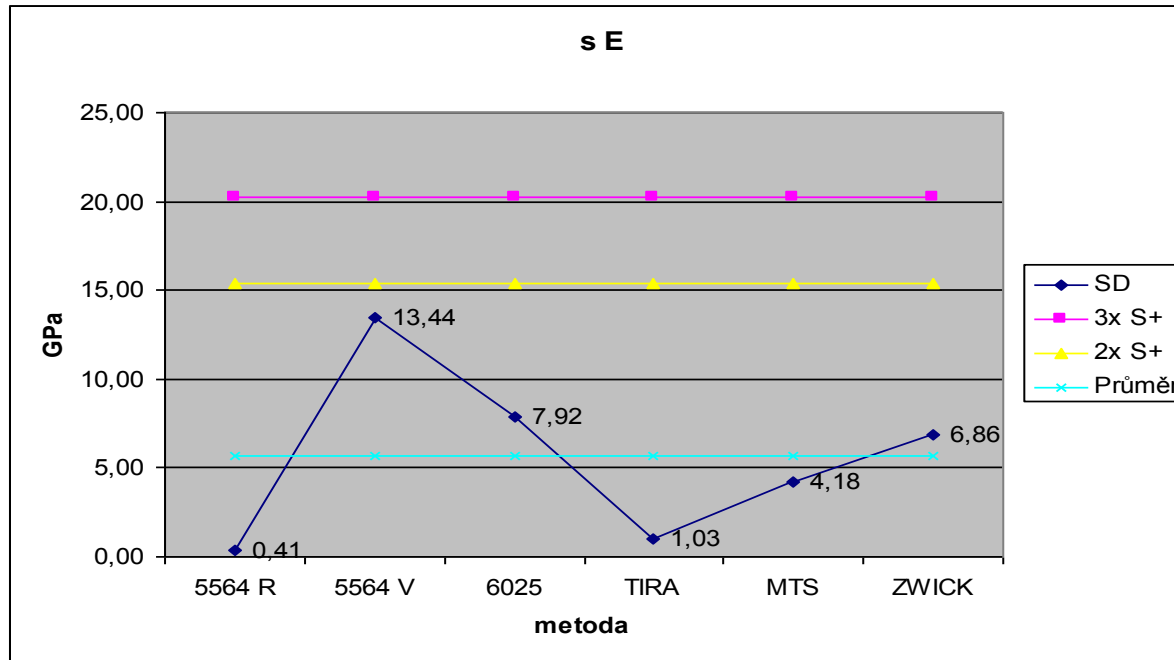
- všechny hodnoty i průměry leží ve stanovených mezích
- všechny směrodatné odchyly leží ve stanovených mezích
- největší rozptyl hodnot je u zařízení INSTRON 5564

## 4.2 Modul pružnosti E



Obr. 19: Graf průměru, max. a min. hodnoty E

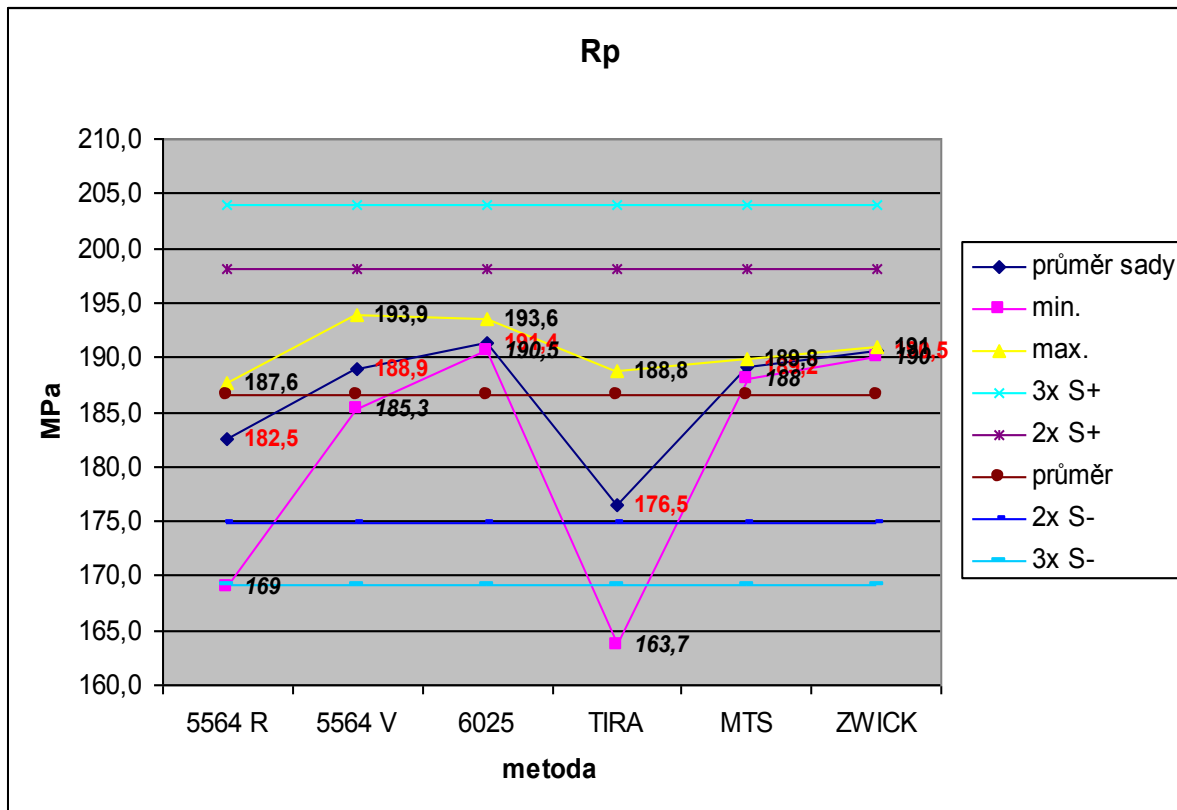
Teoretická hodnota modulu u hliníku je 70 GPa.



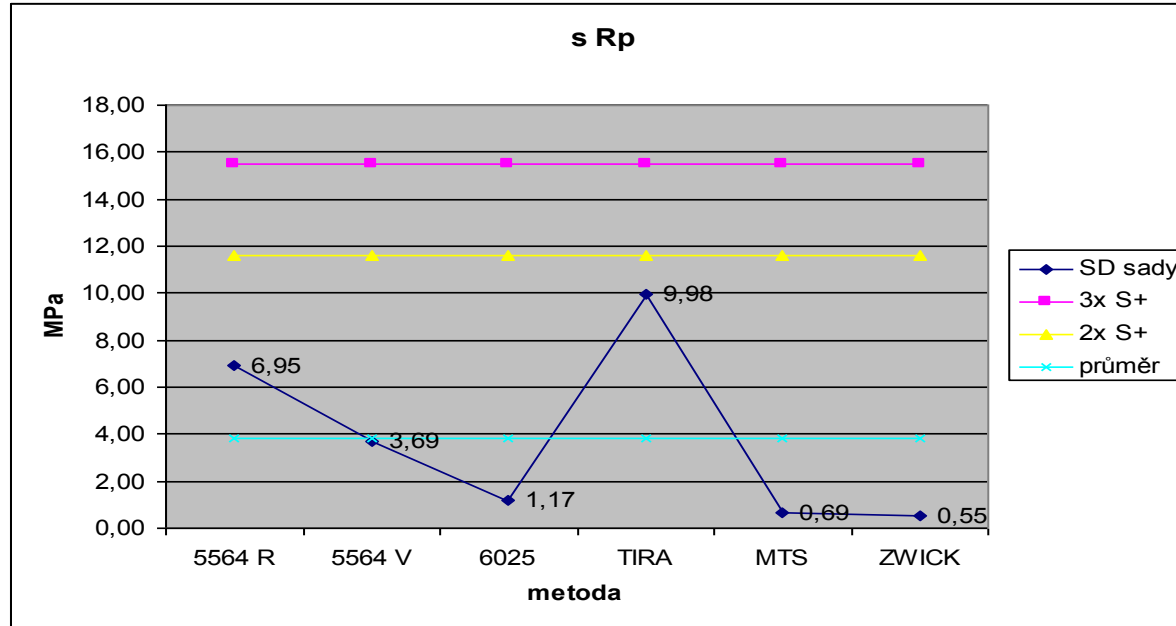
Obr. 20: Graf směrodatné odchyly E

- všechny hodnoty i průměry leží ve stanovených mezích
- všechny směrodatné odchyly leží ve stanovených mezích
- největší rozptyl hodnot je u zařízení INSTRON 5564 s videoextenzometrem
- nejbližší k teoretické hodnotě E jsou měření s extenzometrem

## 4.3 Smluvní mez kluzu Rp0,2



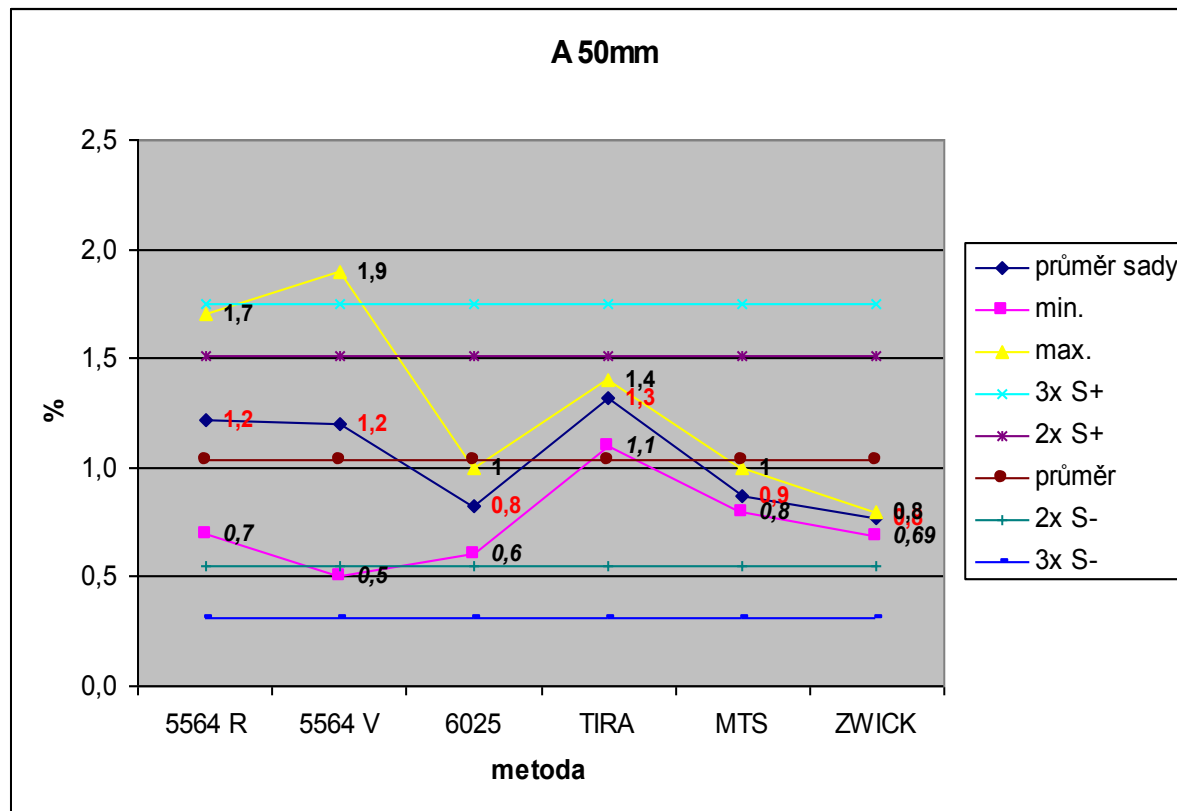
Obr. 21: Graf průměru, max. a min. hodnoty  $R_{p0,2}$



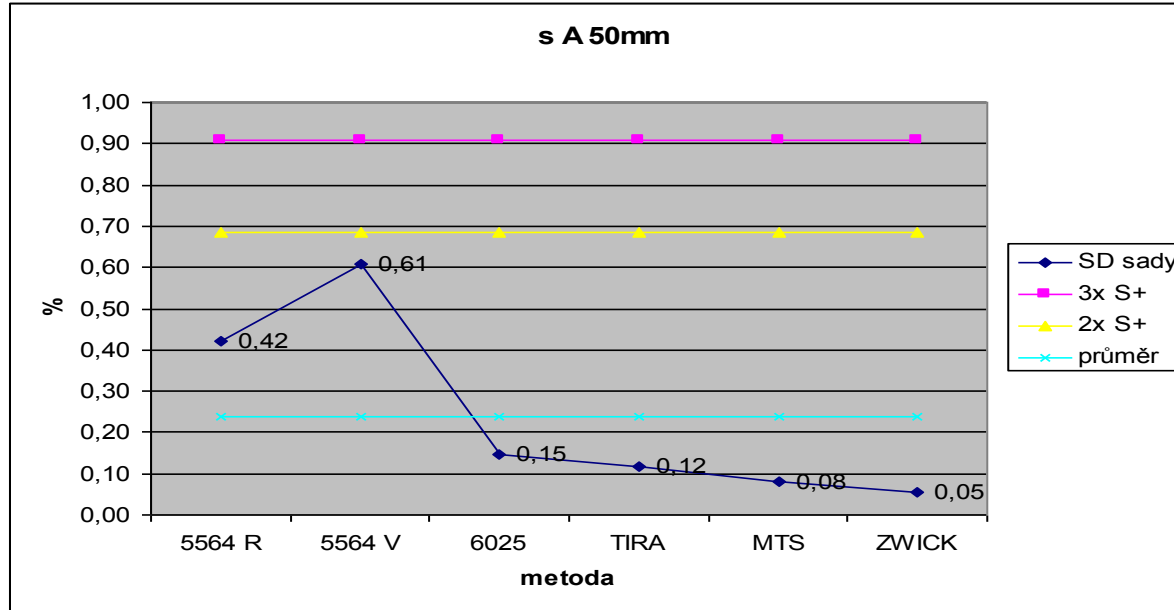
Obr. 22: Graf směrodatné odchylky Rp0,2

- všechny průměry leží ve stanovených mezích
- mimo interval leží individuální hodnota zařízení INSTRON 5564 R a TIRA 2805
- všechny směrodatné odchylky leží ve stanovených mezích
- největší rozptyl hodnot je u zařízení TIRA 2805

## 4.4 Tažnost A



Obr. 23: Graf průměru, max. a min. hodnoty A50 mm



Obr. 24: Graf směrodatné odchyly A50 mm

- všechny průměry leží ve stanovených mezích
- mimo interval leží individuální hodnota zařízení INSTRON 5564 s video-extenzometrem
- všechny směrodatné odchyly leží ve stanovených mezích
- největší rozptyl hodnot je u zařízení INSTRON 5564

## **5. PARAMETRY ZAŘÍZENÍ OVLIVŇUJÍCÍ** **VÝSLEDKY ZKOUŠEK**

### **5.1 Siloměrná hlava**

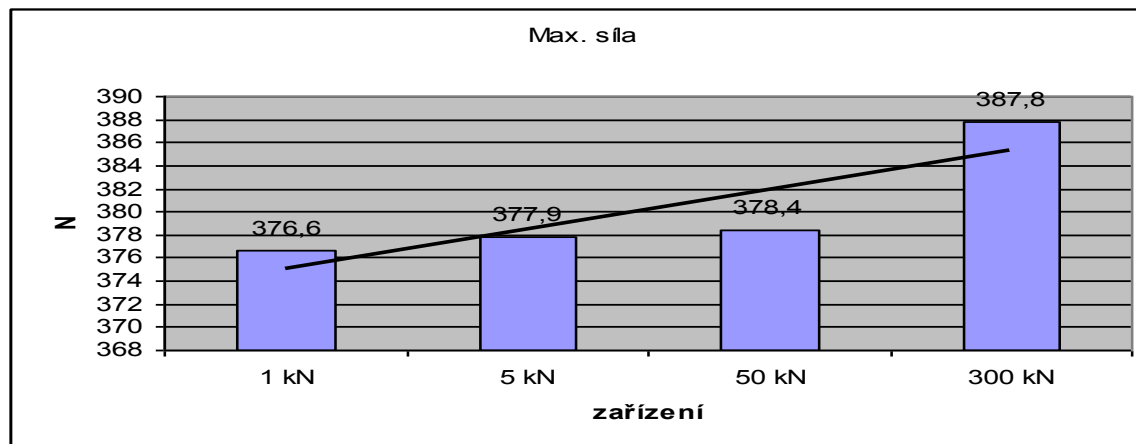
Vliv na sílu a následně na  $R_m$  a  $R_p$

#### **5.1.1 Třída přesnosti**

- musí být v třídě 1, v současné době obvykle třída 0,5

#### **5.1.2 Rozsah siloměrné hlavy**

- požadovaná přesnost obvykle zaručena od 0,4% do 100% rozsahu (Zwick od 0,2%), pod minimální hodnotou není zaručena přesnost, ČMI ověřuje od 1%
- u těchto materiálů max. 100 kN siloměrná hlava

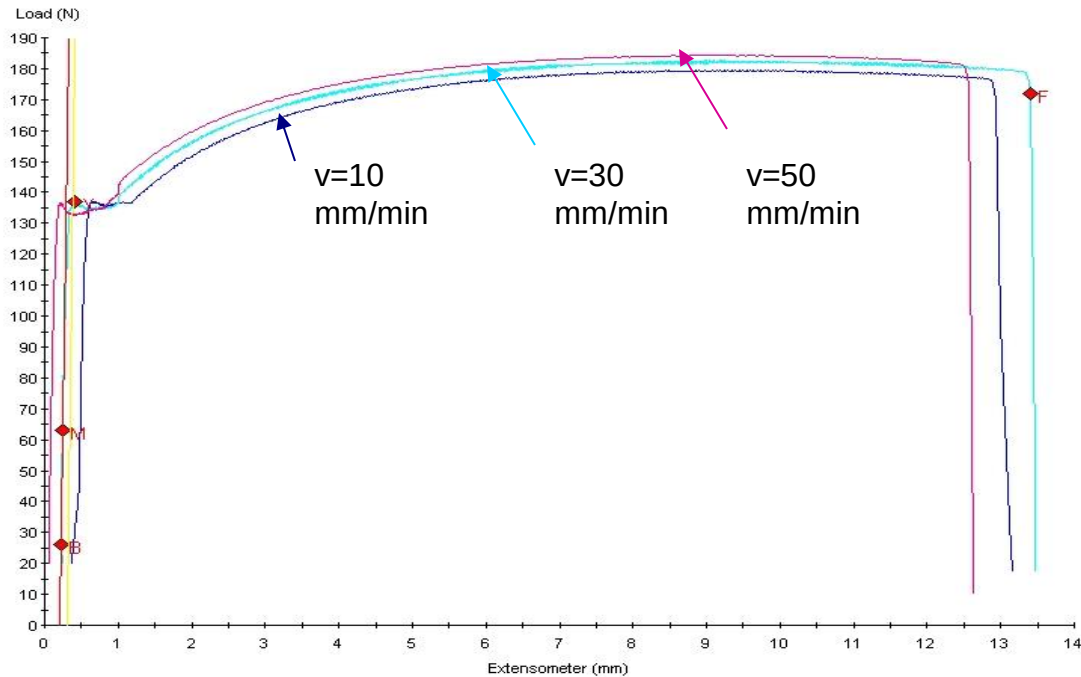


Obr. 25: Změna  $F_{max}$  u  
různého rozsahu  
siloměrných hlav (průměry  
z 10-ti měření)



## 5.2 Rychlost zkoušení

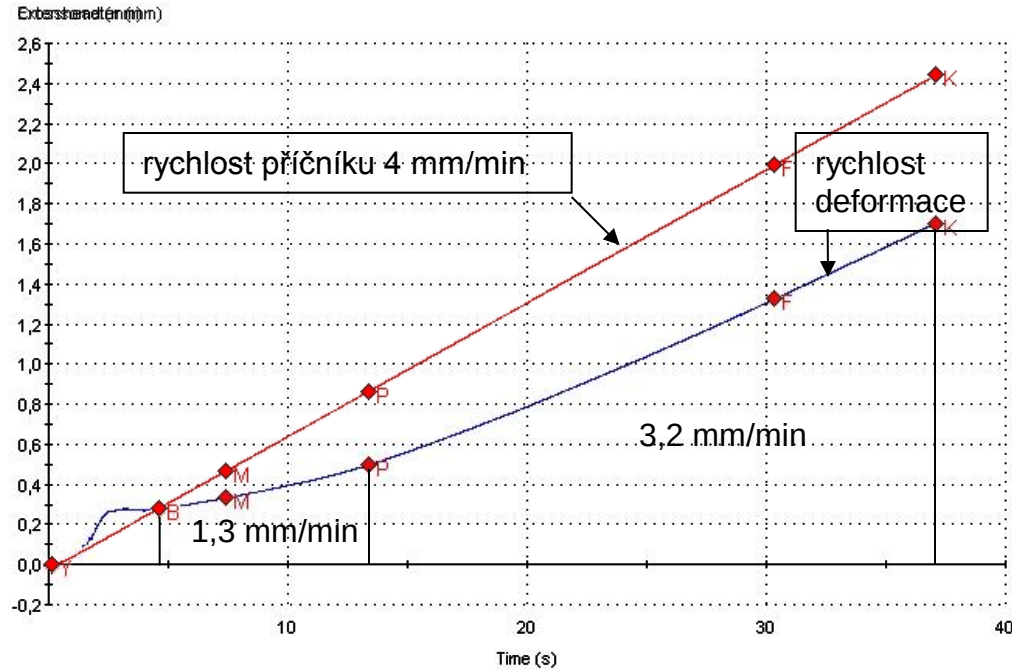
- vliv na sílu, následně  $R_m$  a  $R_p$
- čím vyšší rychlost tím vyšší hodnoty
- u těchto zkoušek po celou dobu zkoušky konstantní rychlost 4mm/min.



Obr. 26: Nárůst  $R_m$  u různých rychlostí zkoušení

## 5.3 Tuhost zařízení

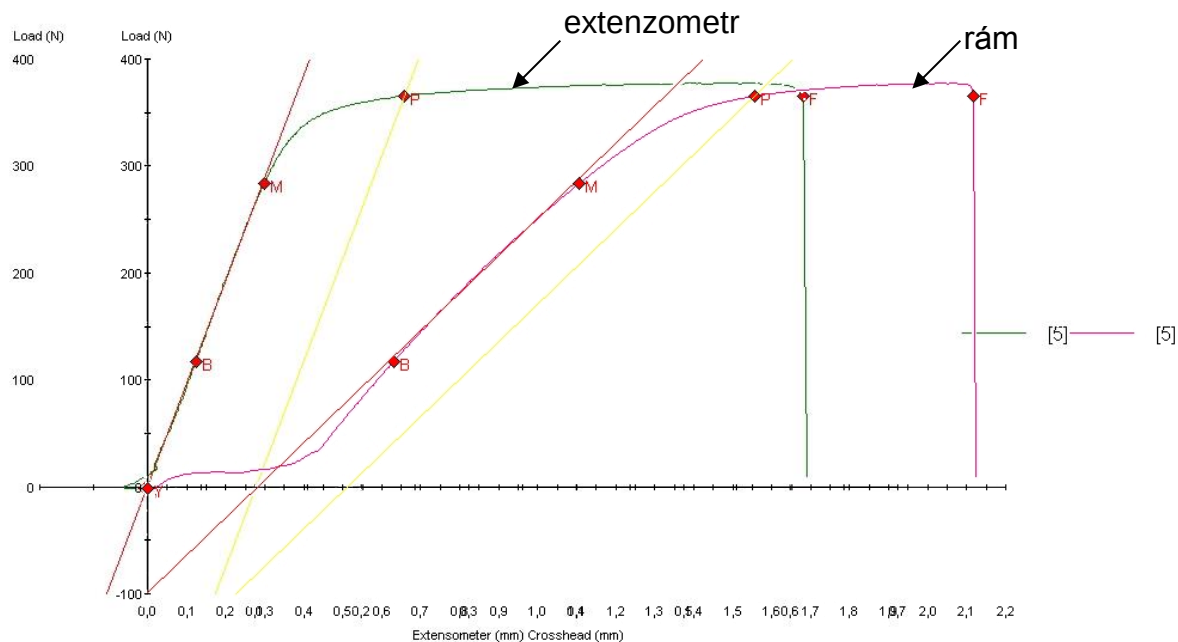
- vliv na Youngův modul pružnosti, následně  $R_p$  a  $A$
- rozdílná rychlost posuvu příčnicku a deformace materiálu (u SW Zwick možnost nastavení koeficientu)
- nejen tuhost rámu, ale i ostatních částí (hlava, spoje, čelisti)



Obr. 27: Rychlost posuvu a deformace

## Měření:

- s extenzometrem - měří jen deformaci materiálu, hodnota E blízka teoretické
- bez extenzometru - závisí na tuhosti: nižší tuhost, nižší hodnota E, Rp, ale vyšší A



Obr. 28: Vliv extenzometru na modul a odvozené veličiny

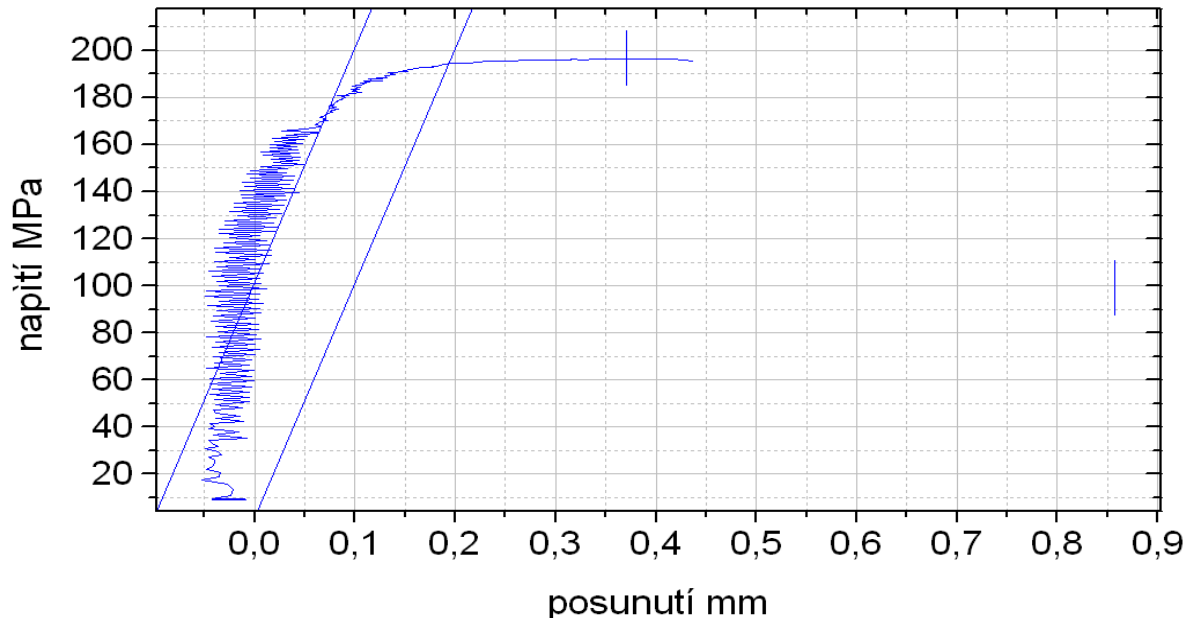
## 5.4 Použitý extenzometr

### 5.4.1 Mechanický

- + cena
- + vysoká přesnost (třída až 0,2)
- zatížení vzorku, nevhodný pro tenké materiály
- pro zkoušky za studena

### 5.4.2 Optický

- + cena
- + bezdotykový
- nutnost kreslení bodů či rysek (velká pracnost, zvláště fólie)
- nižší přesnost
- zvláště objektiv pro malé (FOV 50 mm) a velké tažnosti (FOV 200 mm)



Obr. 29: Objektiv s velkým zorným úhlem (200 mm) - nedostatečné rozlišení objektivu, skokové načítání dat

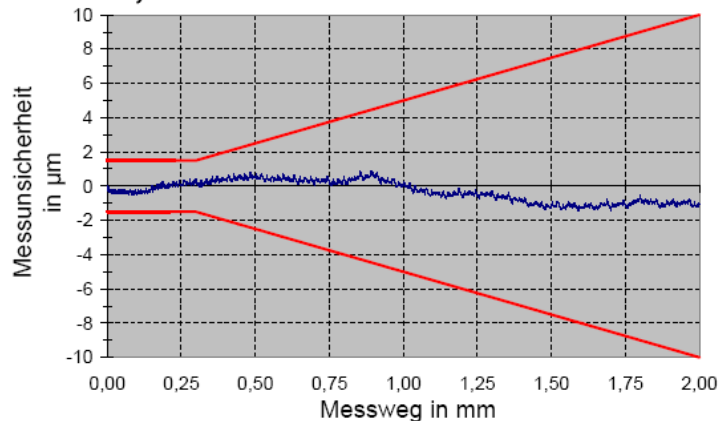
### 5.4.3 Laserový

- + bezdotykový
- + bez značení bodů na vzorcích
- + pro zkoušky za tepla
- + přesnost (třída 0,5)
- cena
- citlivý na chvění a vibrace

**Zwick / Roell**

**Zwick**  
Materialprüfung

**Der optiXtens erfüllt die Genauigkeiten der Klasse 0,5 nach ISO 9513**



Obr. 30: Přesnost  
laserového extenzometru  
Zwick

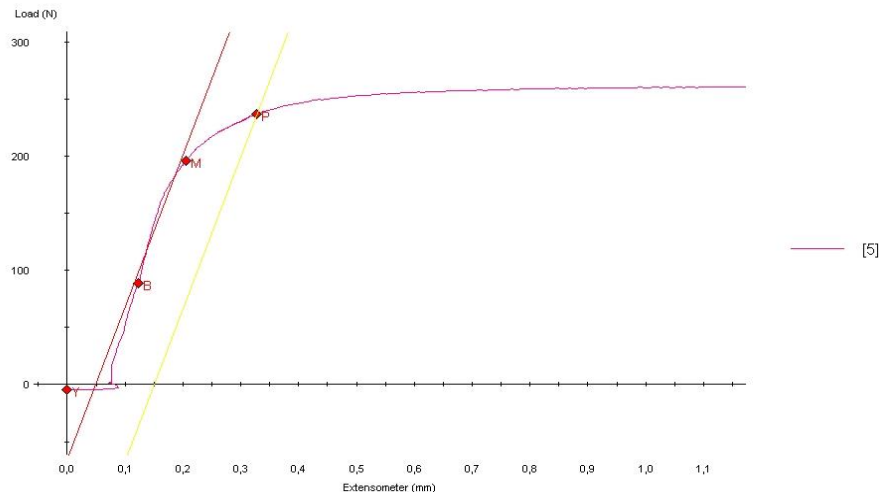
## 5.5 Software

### 5.5.1 Frekvence sběru dat

- obvykle 25 Hz, pro tento typ materiálu vhodnější 100 Hz (přesnější stanovení bodů pro modul)
- MTS až 1000 Hz siloměr, ale extenzometr jen 200 Hz

### 5.5.2 Analýza dat

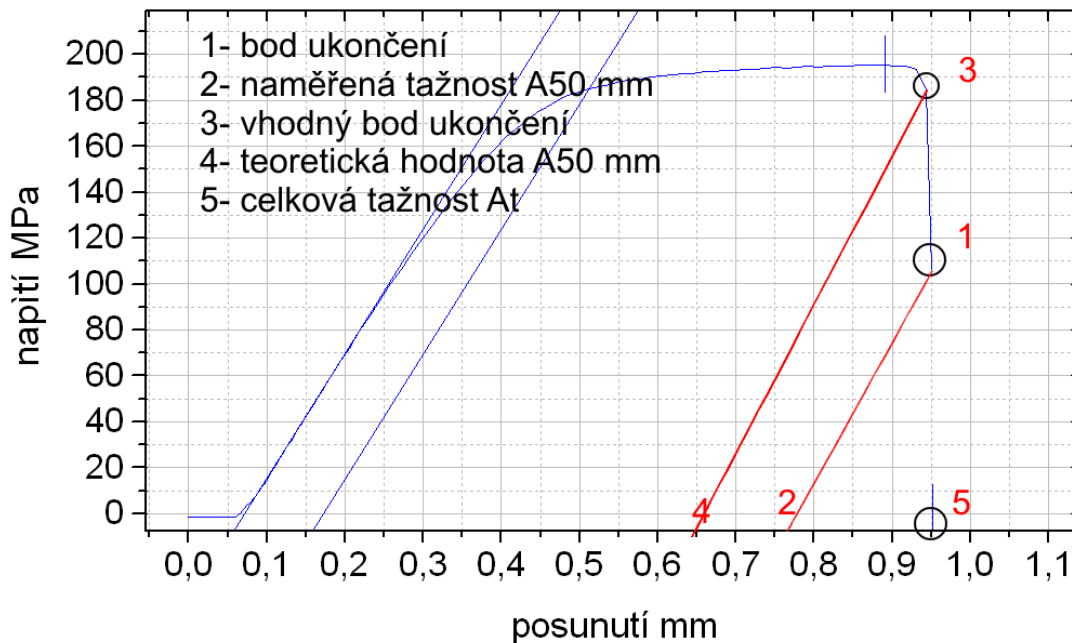
- možnost analýzy surových dat
- možnost hodnotit různé závislosti nejen F-L (F-T, F-v, T-v apod.)
- přepočty po chybně vložených údajích (rozměry vzorků apod.)
- správné určení směrnice, popř. možnost její opravy



Obr. 31: Nevhodně určený  
modul pružnosti

### 5.5.3 Místo ukončení zkoušky

- vliv na tažnost, zvláště u málo tažných materiálů
- lom a místo ukončení zkoušky definován v EN 10002-1
- umožňuje to testXpert od firmy Zwick, obvykle však pokles o procentuální hodnotu z  $F_{max}$  nebo pokles na danou hodnotu  $F$  (Merlin Serie IX firmy Instron - nepřesné)



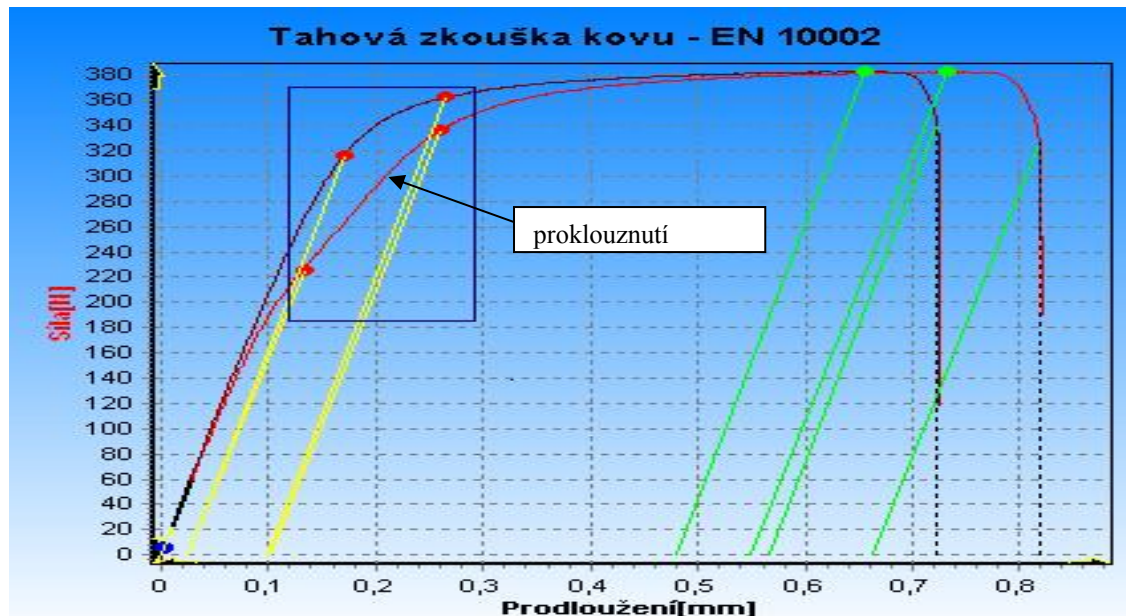
Obr. 32: Ukončení zkoušky

## 5.6 Upínací čelisti a síla upnutí

- u pásků bez hlavy vliv na všechny hodnoty ( $R_m$ ,  $R_p$ ,  $A$ )

### 5.6.1 Upínací čelisti

- mechanické čelisti - nevhodné - rozdílná síla při každém upnutí (nebezpečí prokluzu)
- hydraulické - nebyly testovány
- pneumatické čelisti - konstantní tlak upnutí u všech vzorků, dobrá regulace tlaku
- plochy upínacích čelistí - experimentálně stanovit vhodný povrch (rýhované či keramické)
- délka upnutí vzorku v čelistech (nedostatečná délka - prokluz)

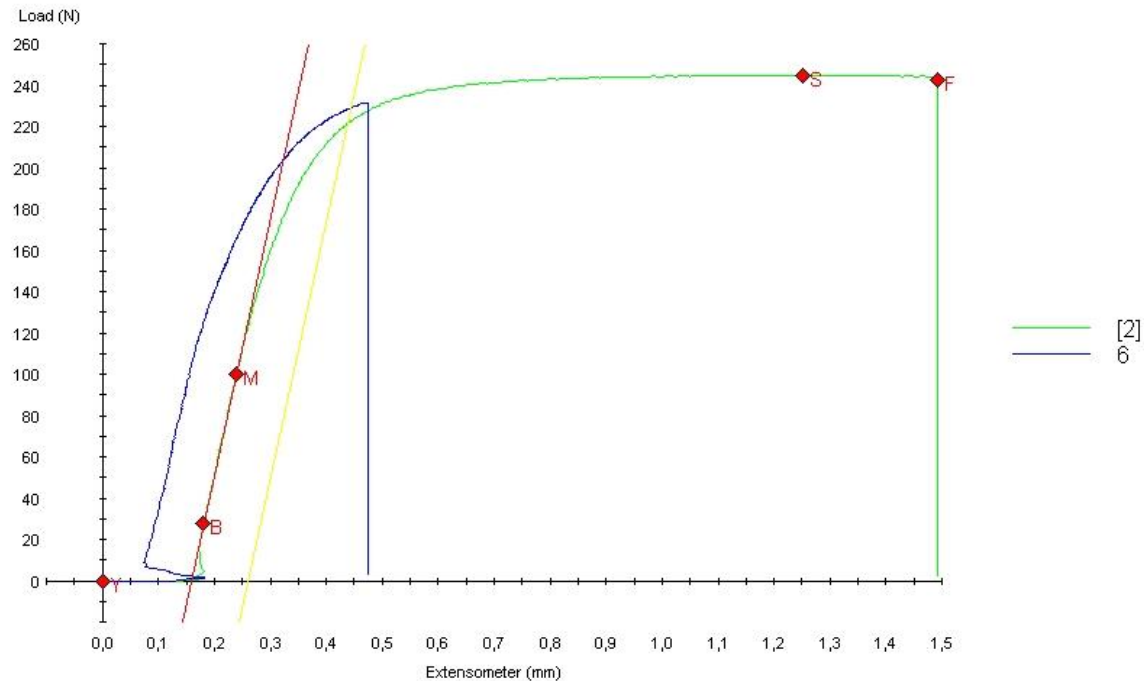


Obr. 33: Vliv proklouznutí v čelistech na  $R_{p0,2}$



## 5.6.2 Síla upnutí vzorku

- velký tlak - utržení v čelistech před dosažením max. síly a prodloužení
- nedostatečný tlak - proklouznutí, ovlivnění meze kluzu



Obr. 34: Přetržení vzorku v čelistech

### **5.6.3 Místo přetržení**

- vliv na tažnost (nižší hodnoty při přetržení vzorku mimo extenzometr)
- pokud hodnota tažnosti vyhovuje předepsané i při přetržení mimo extenzometr, nevylučuje se

#### Opatření:

- upínací délka  $L_c$  co nejbližší k měřené délce  $L_o$
- vhodně zvolený povrch čelistí a upínací tlak
- použití tvarovaných vzorků místo rovných pásků (v současné době není v AIB střížný přípravek k dispozici, frézování nevhodné - dochází k poškození povrchu od třísek)

## **6. ZÁVĚR**

Z provedených hodnocení klasickou statistikou a poznatků ze zkoušení vyplývá, že:

- v individuálních výsledcích nevyhovělo při určení smluvní meze kluzu zařízení INSTRON 5564 bez extenzometru a zařízení TIRA 2805
- v individuálních výsledcích nevyhovělo při určení tažnosti zařízení INSTRON 5564 s video-extenzometrem
- nejmenšího rozptylu hodnot v problematických parametrech smluvní meze kluzu a tažnosti dosáhly zařízení s laserovými extenzometry Zwick a MTS
- jako nejvhodnější pro zkoušení finstocků, popř. i fólií se ukázala siloměrná hlava do 1 kN
- jako nejvhodnější zařízení pro měření prodloužení s ohledem na přesnost a pracnost se ukázaly laserové extenzometry
- pro zkoušku finstocků jsou nejvhodnější pneumatické upínací čelisti s vroubkovanými vložkami a s možností plynulé regulace tlaku

## 7. POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY

### 7.1 Použité symboly

| Symbol                                 | V ý z n a m                                  | Použité jednotky          |
|----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|
| $\varepsilon$                          | poměrné prodloužení                          |                           |
| $\sigma$                               | napětí                                       | [N/mm <sup>2</sup> ; MPa] |
| A                                      | tažnost                                      | [%]                       |
| At                                     | celková tažnost                              | [%]                       |
| A <sub>5,65</sub> ; A <sub>11,3</sub>  | poměrná tažnost                              | [%]                       |
| A <sub>50mm</sub> ; A <sub>100mm</sub> | tažnost měřená na vzdálenosti L <sub>0</sub> | [%]                       |
| a                                      | tloušťka zkoušeného vzorku                   | [mm]                      |
| b                                      | šířka zkoušeného vzorku                      | [mm]                      |
| E                                      | Youngův modul pružnosti                      | [GPa]                     |
| F                                      | síla                                         | [N]                       |

|                    |                               |                           |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Fm, Fmax           | maximální síla                | [N]                       |
| L                  | délka                         | [mm]                      |
| Lo                 | počáteční délka               | [mm]                      |
| $\Delta L$         | prodloužení                   | [mm]                      |
| Rm                 | mez pevnosti v tahu           | [N/mm <sup>2</sup> ; MPa] |
| Rp <sub>0,2</sub>  | smluvní mez kluzu             | [N/mm <sup>2</sup> ; MPa] |
| ReH                | horní mez kluzu               | [N/mm <sup>2</sup> ; MPa] |
| So                 | počáteční plocha průřezu      | [mm <sup>2</sup> ]        |
| s, S               | směrodatná odchylka           |                           |
| rs, RS             | relativní směrodatná odchylka | [%]                       |
| $\bar{x}$ , $\phi$ | průměr                        |                           |

## 7.2 Použité zkratky

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| AIB | ALINVEST Břidličná, a.s.  |
| SW  | software                  |
| FOV | zorné pole (file of view) |
| ZM  | zkušební metoda           |

## **8. POUŽITÁ LITERATURA**

- [1] PLUHAŘ. J-KORITTA. J: Strojírenské materiály. SNTL/ALFA, 1977
- [2] JAKOB. M: Úplné hodnocení materiálů tahovou zkouškou. VŠB Ostrava 2005
- [3] BEROUNSKÝ. P: Přístupy k tvorbě norem základních mechanických a technologických zkoušek kovů. VŠB Ostrava, 2005
- [4] KRUPKA. K: Statistické řízení jakosti. TriloByte, 1997
- [5] KEYTE. R – MCENTEGGART. I: A tale of two tests, Materials World, December 1997
- [6] ČSN EN 10002-1: Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za okolní teploty. ČNI, 2002
- [7] DIN 50 154: Zkouška tahem bez měření jemného protažení fólií a pásů z hliníku k tváření o tloušťkách až do 0,179 mm. Deutsche normen, 1980
- [8] LYSÍKOVÁ M. Zkušební metoda ZM/SZL/680/5: Zkouška tahem, AIB, 1995, revize 8
- [9] LYSÍKOVÁ M. Zkušební metoda ZM/SZL/680/7: Zkouška tahem – fólie, AIB, 1995, revize 9
- [10] ZWICK/ROELL. Product Information: optiXtens - non-contact extensometer without measurement marks, Informační materiál Zwick/Roell
- [11] Günter Müller. optiXtens - Der erste normgerechte Längenänderungsaufnehmer zur berührungslosen Verformungsmessung ohne Markierung der Proben, Zwick/Roell Ulm, 2004
- [12] MESSPHYSIK. Laser speckle extensometer, informační materiál Messphysik
- [13] SČZL: Závěrečná zpráva o výsledcích mezilaboratorních porovnávacích zkoušek tahem za okolní teploty, listopad 2002

