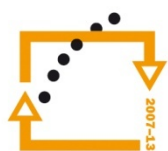




MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1

Šablona: Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT
Název: Kontrola a měření strojních součástí a jejich polotovarů
Téma: **Pevnostní zkouška statická na tah**

Autor: Ing. Smolek Jan

Číslo: VY_32_INOVACE_23-07

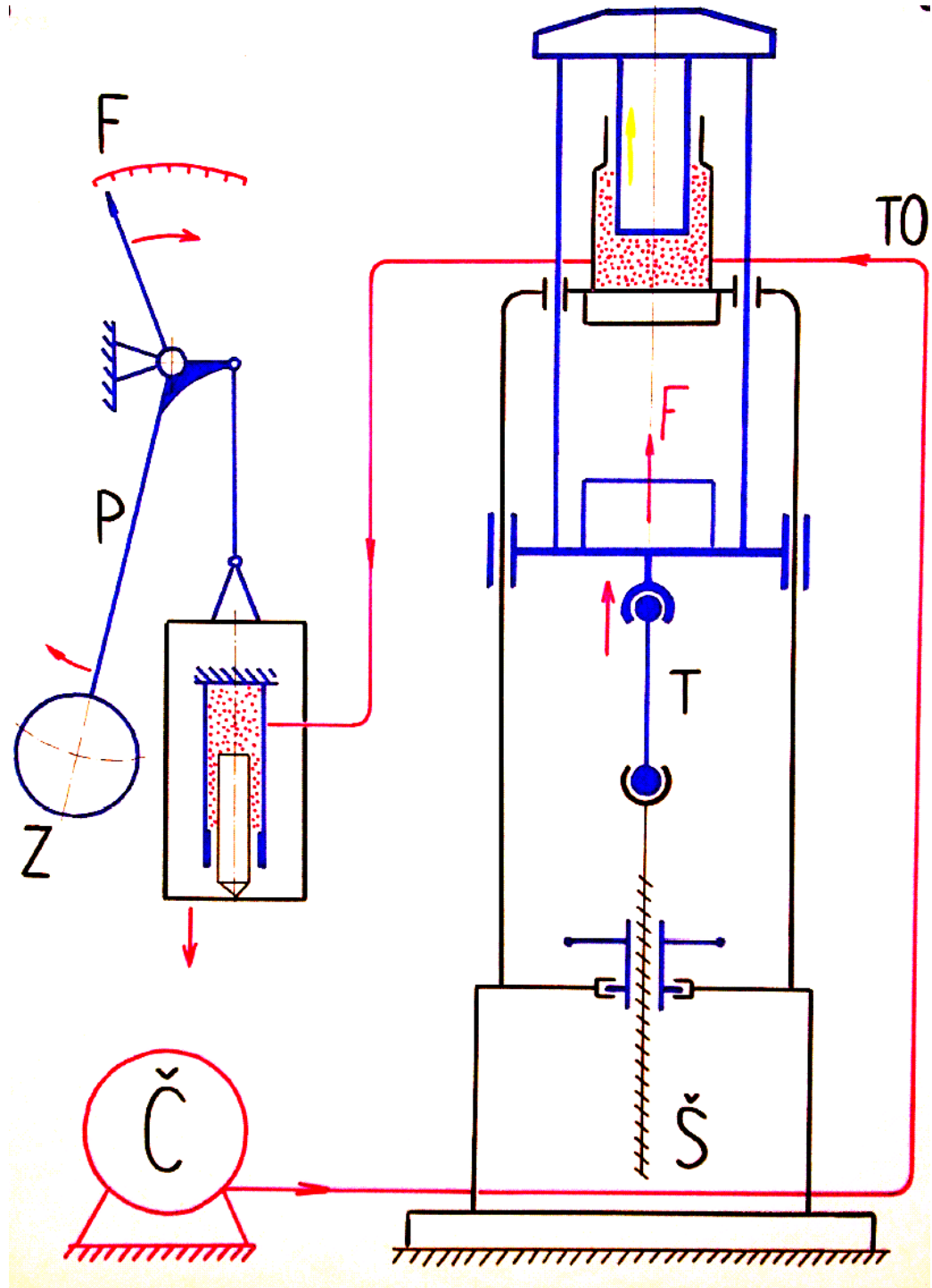
Anotace: Prezentace jako podpora k výkladu o statické zkoušce pevnosti materiálu v tahu, tj. metodě stanovení zásadních mechanických charakteristik materiálů užívaných ve strojírenství.

Problematika je zmiňována (nejen) ve Strojních a technologických laboratořích středních průmyslových škol. DUM je určen pro čtvrté ročníky všech oborů.

Materiál byl vytvořen v září 2012.

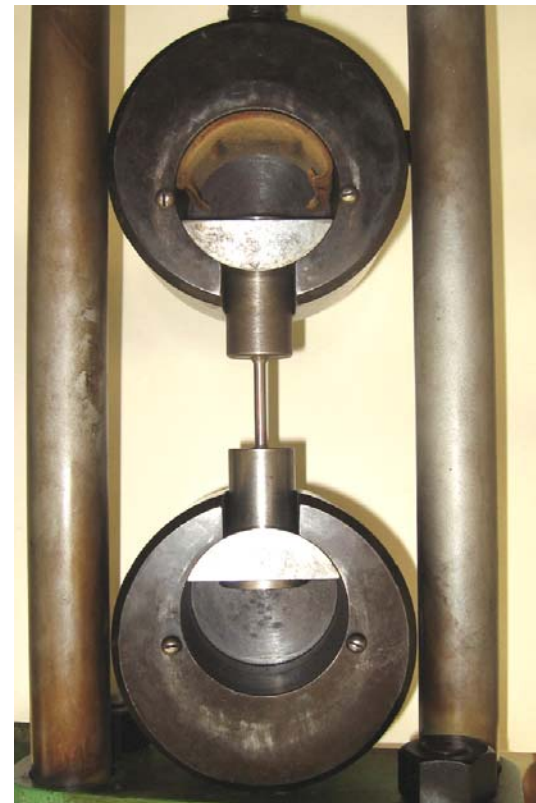
(ČSN 42 03 10)

- **Zkušební stroj;**
- **Výběr vzorku a tvary zkušebních tyčí:**
 - **Kruhová**
 - **S hlavou hladkou, s osazením, se závitem**
 - **Plochá;**
 - **Krátká a dlouhá;**
 - **pro litinu, ...**
- **Provedení zkoušky;**
- **Tahové diagramy;**
- **Určení hodnot L_U , S_U , R_m , R_e , A , Z ;**
- **Určení smluvní meze kluzu:**
 - **Graficky**
 - **Experimentálně (průtahoměry)**

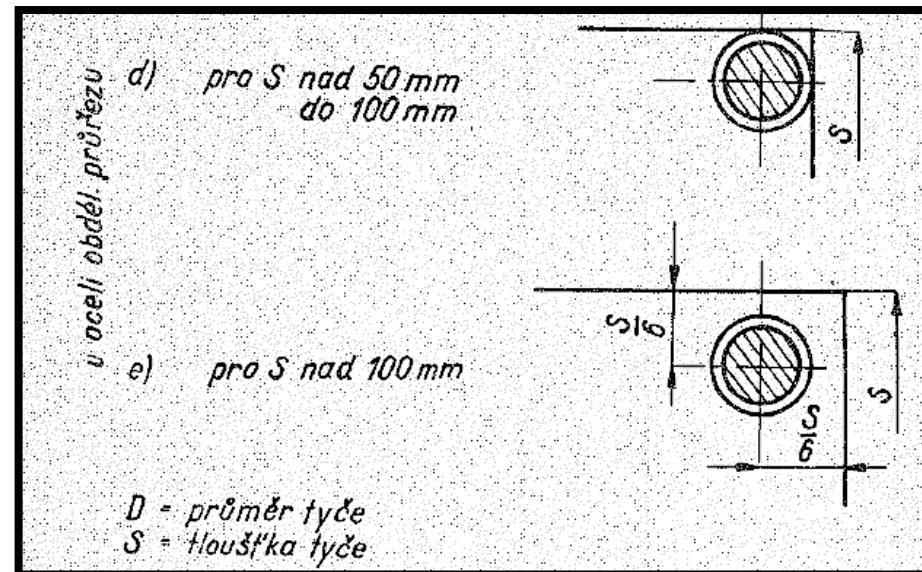
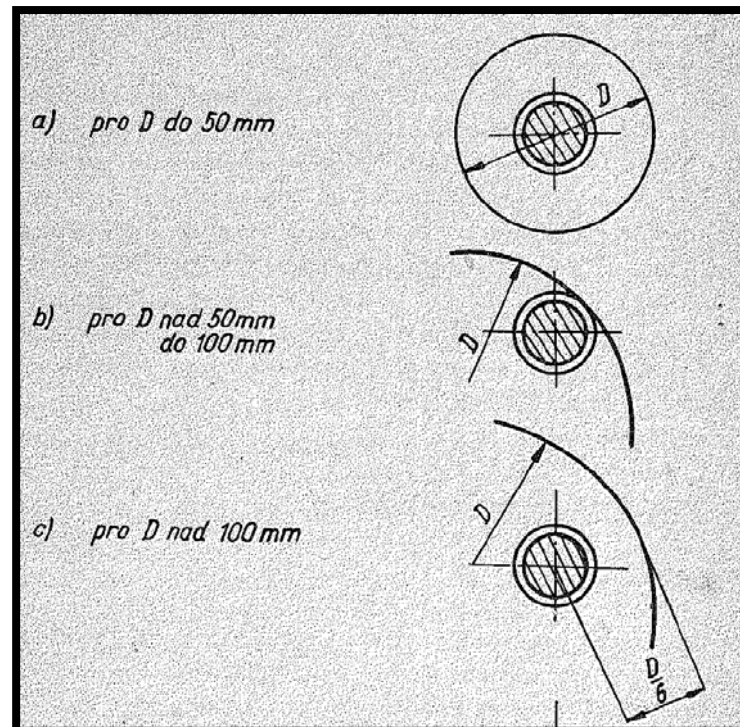
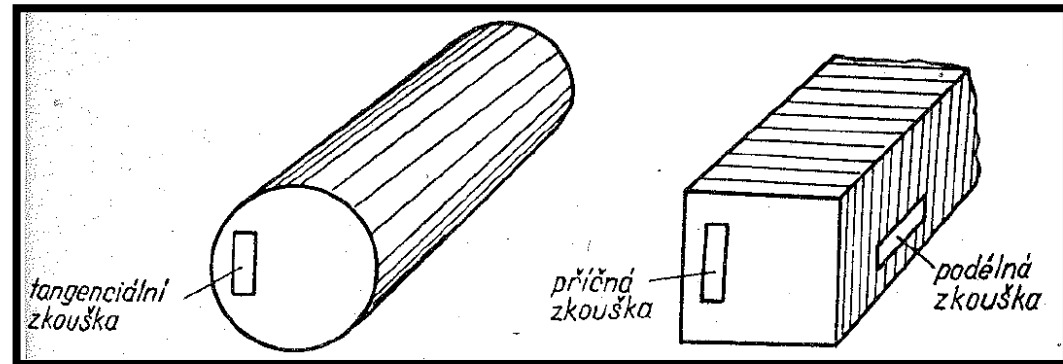


Univerzální trhací stroj

(typu Mohr Fedehaft (Mannheim))

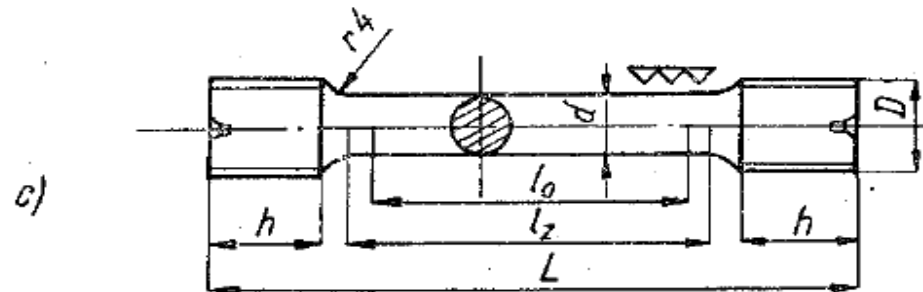
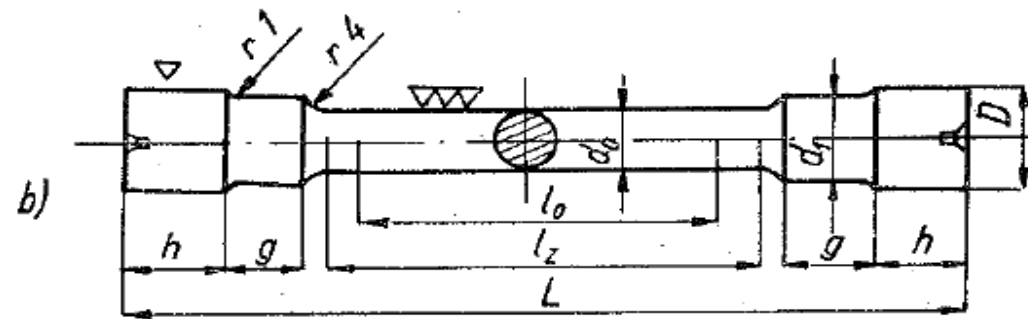
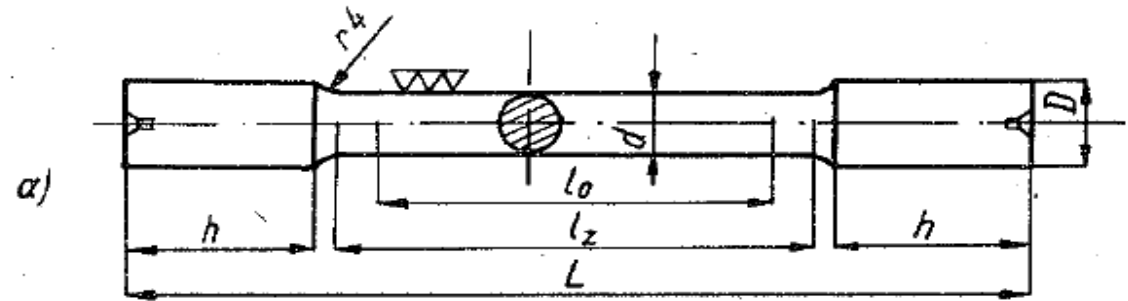
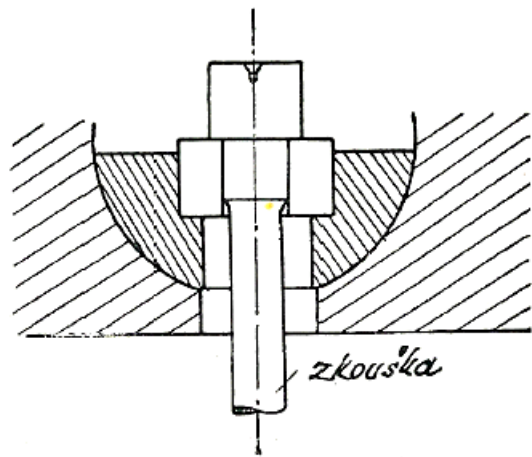


Výběr vzorku:

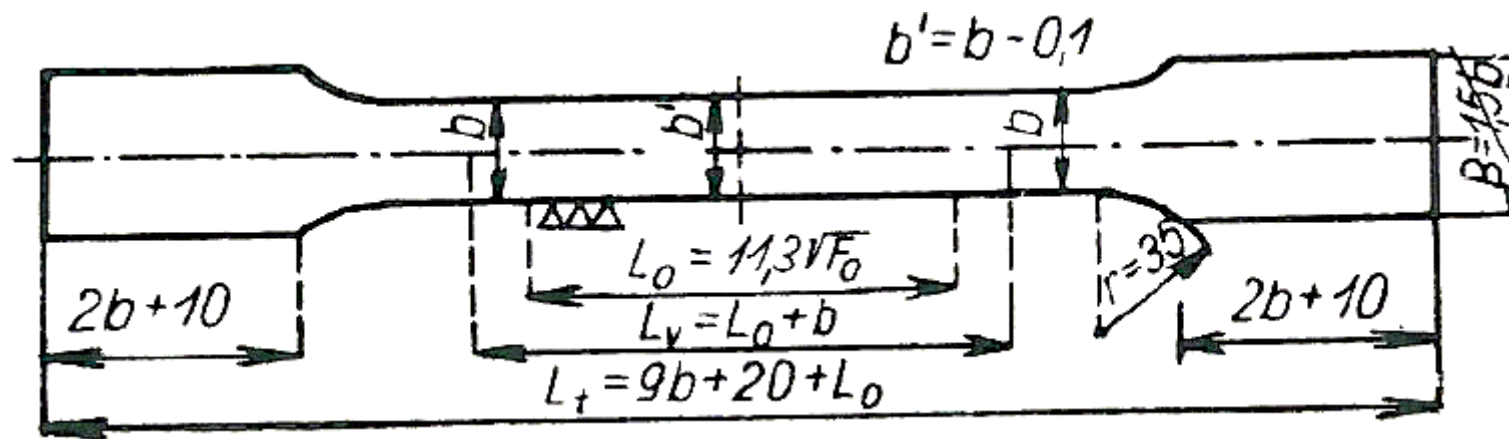
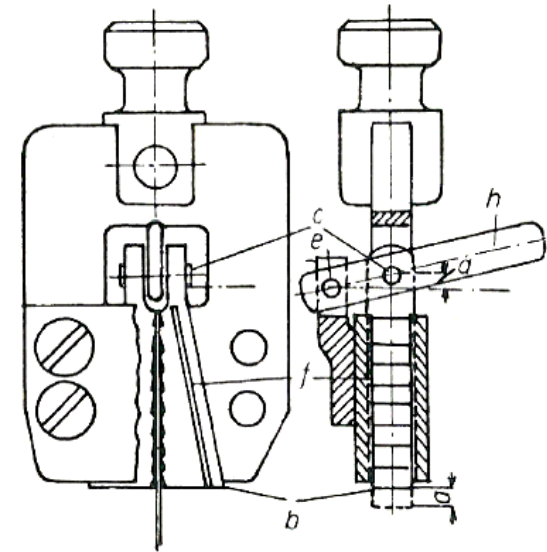
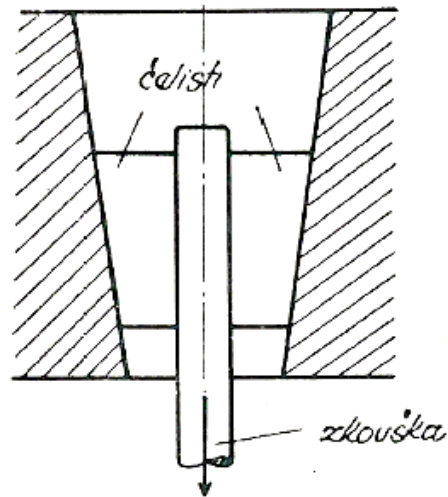


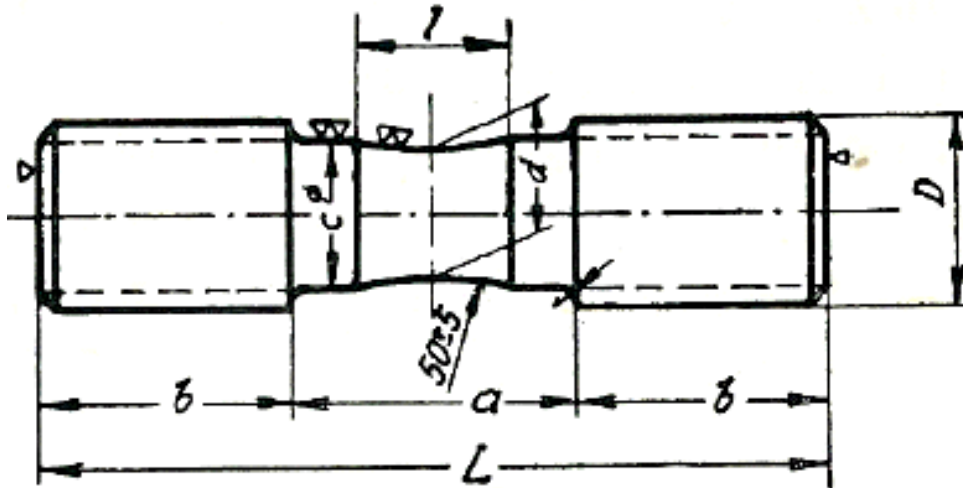
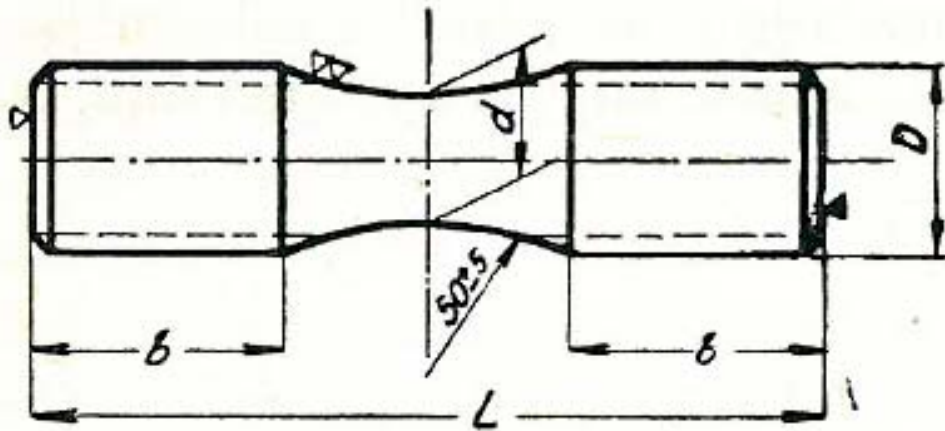
Zkušební tyče:

(s hlavou hladkou, s osazením, se závitem)

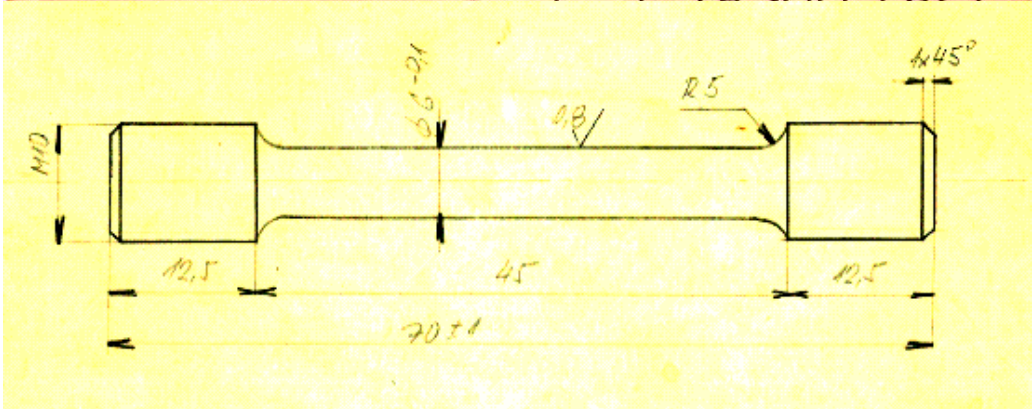
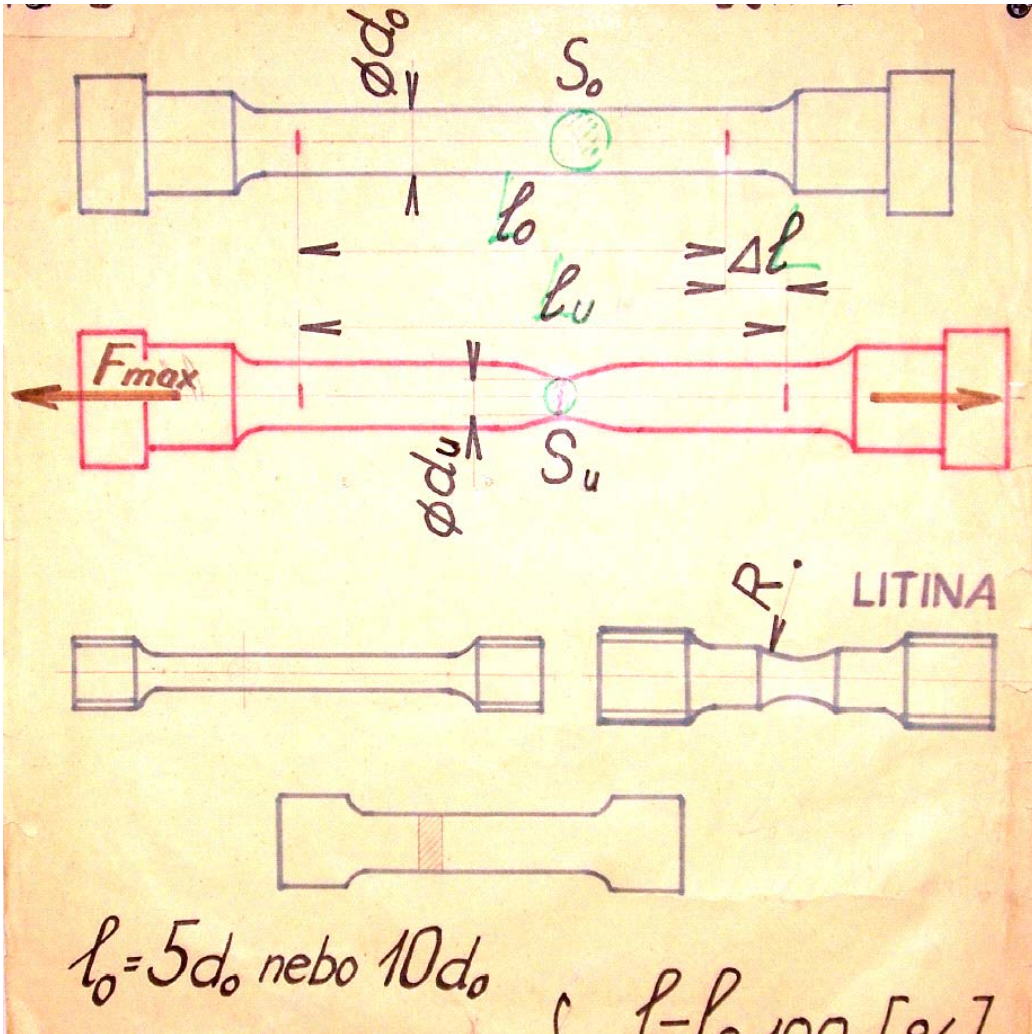


Zkušební tyče z plechu (ploché):





**Zkušební tyče
pro litinu:**



Kontrola rozměrů zkušebních tyčí:

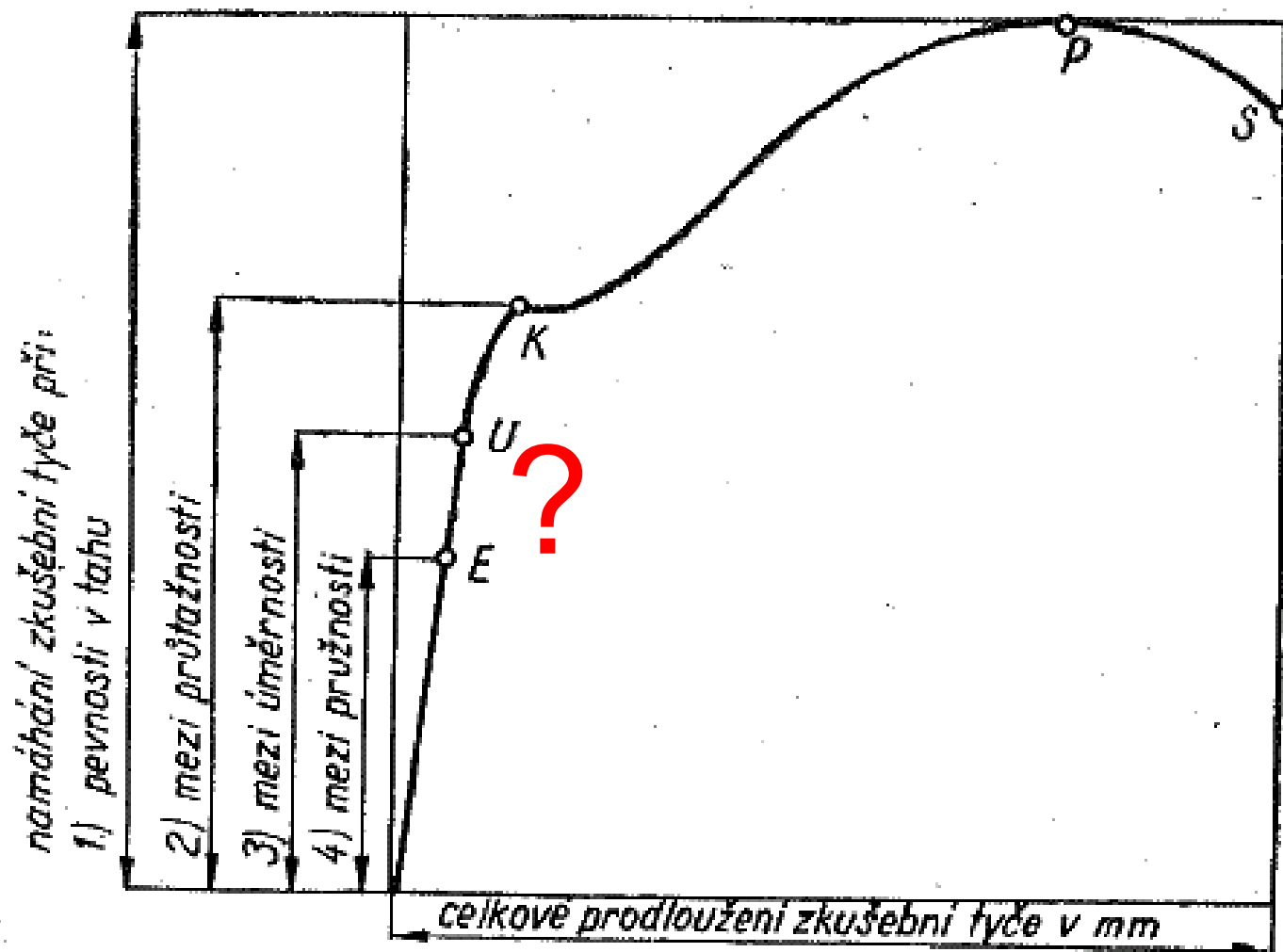
- Průměr, tyčinky před zkouškou d_0 (mikrometrem ve dvou vzájemně kolmých směrech);

Zkušební tyč		Závit *) D	Výška hlá- vy h min.	Krátká tyč			Dlouhá tyč		
jmeno- vitý prů- měr	dovole- né úchytky			měřená délka $l_0 = 5 d$	l_s	L min.	měřená délka $l_0 = 10 d$	l_s	L min.
6	$\pm 0,1$	M10	8	30	36	60	60	66	90
8	$\pm 0,2$	M12	10	40	48	75	80	88	115
10		M16	12	50	60	90	100	110	140
12	$\pm 0,3$	M18	15	60	72	110	120	132	170
16		M24	20	80	96	145	160	175	225
20		M30	24	100	120	175	200	220	275

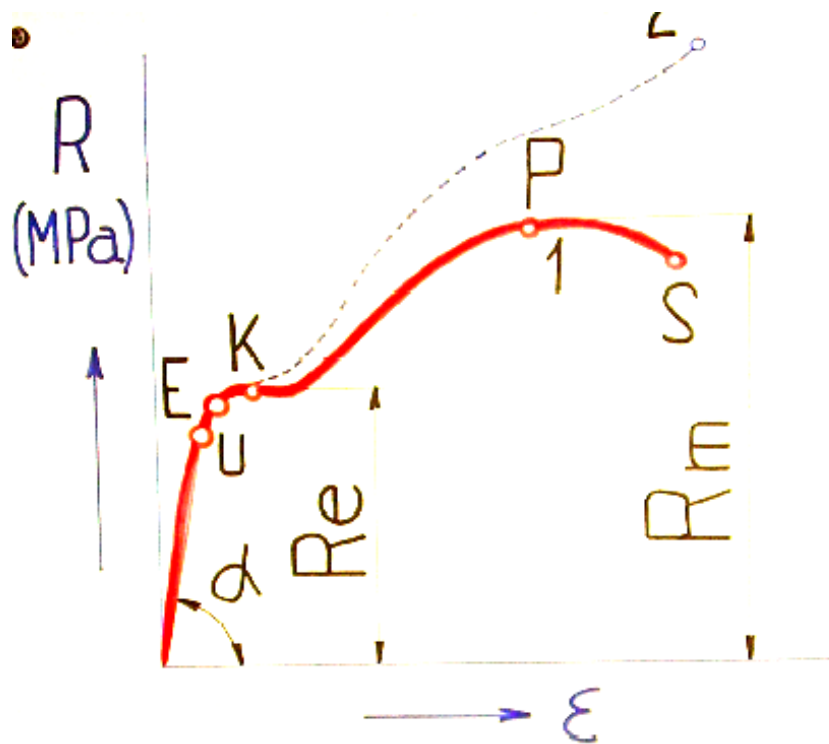
Provedení zkoušky:

- (Manipulace s trhacím strojem provádí vždy pouze vyučující);
- Zkouška se provádí obvykle za teploty místnosti $20^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$.
- Rychlost zatěžování do meze kluzu má být max. $1 \text{ kp/mm}^2/\text{sec}$.
- Po překročení meze kluzu nebo meze 0,2 nesmí rychlost zatěžování překročit 40% měřené délky za min. Změna rychlosti musí být naprosto plynulá, bez náhlých změn.
- Není-li určována mez kluzu nebo mez 0,2, může být rychlost zatěžování od počátku až do dosažení meze pevnosti 40% měřené délky za min.
- Zkušební rozsah použitého (t.j. maximální dovolená síla, kterou stroj smí vyvinout) musí být zaručeně větší než zatížení tyče na mezi pevnosti, avšak rozdíl nemá být příliš velký.

Tahový (pracovní) diagram:



Mez úměrnosti, Hookův zákon, modul pružnosti v tahu:



$$\frac{R}{\epsilon} = E$$

$$\epsilon = \frac{L_u - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

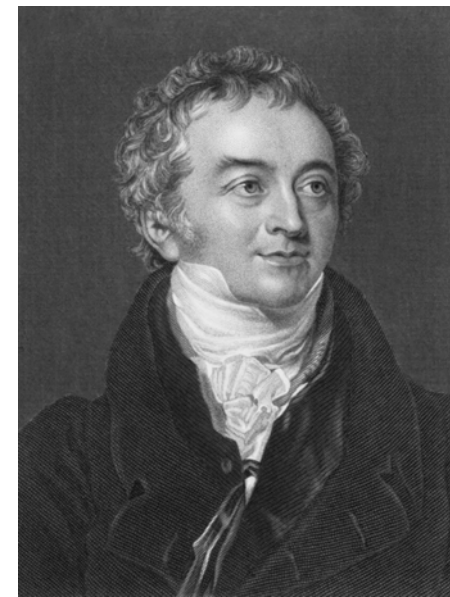
$$\frac{R}{E} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Hookův zákon, modul pružnosti v tahu:

"Ut tensio, sic vis."



Thomas Young (1773 – 1829)

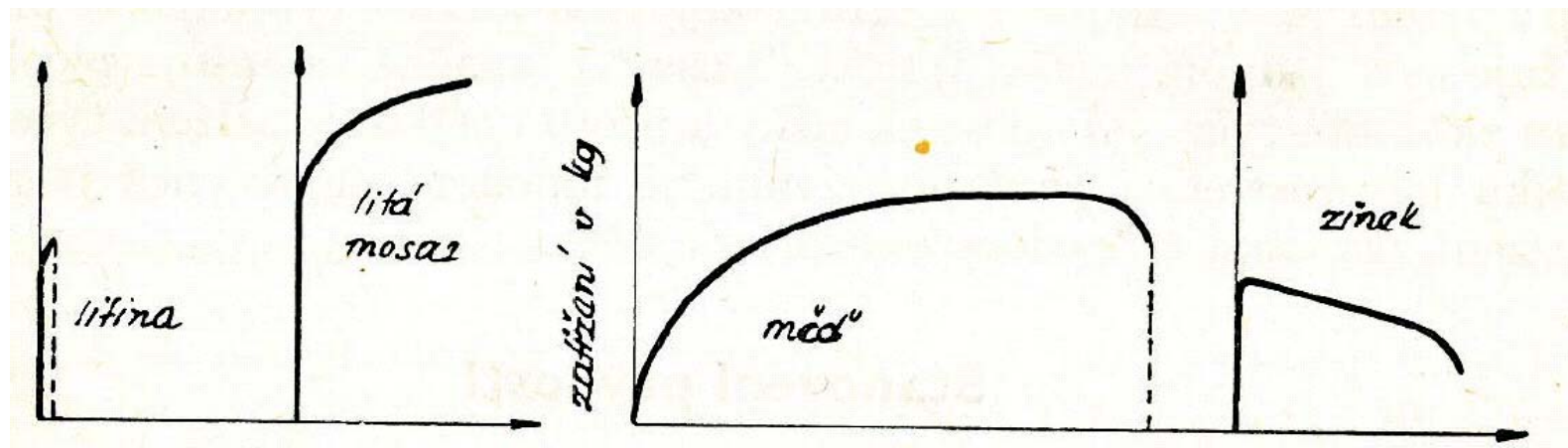
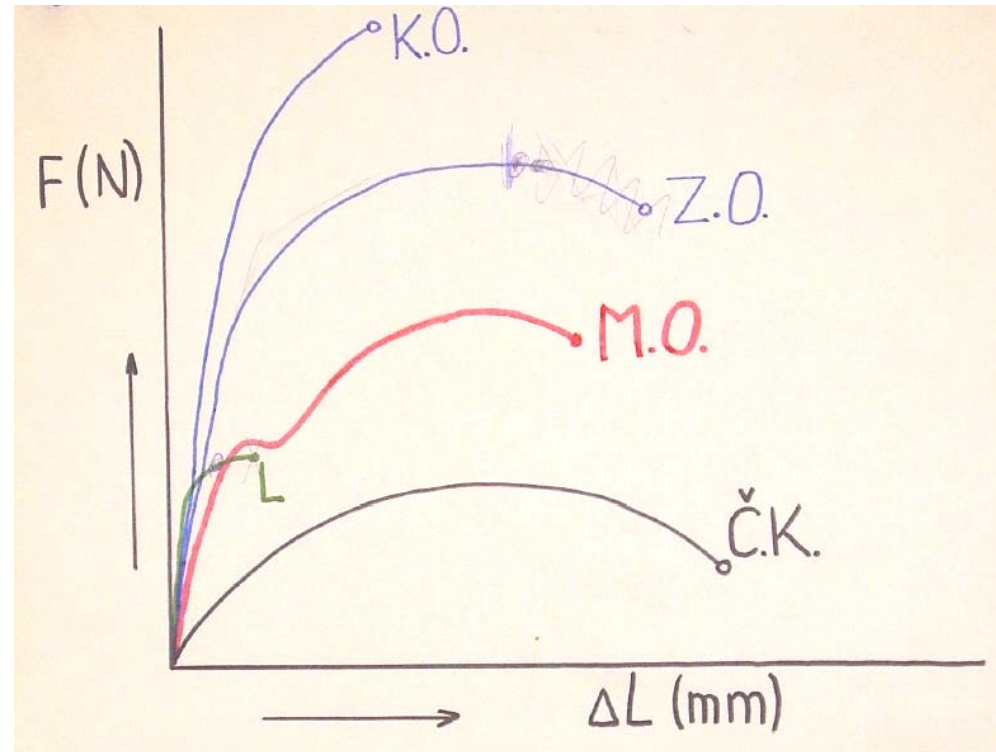


$$\text{○} = \frac{R}{\epsilon} = E$$

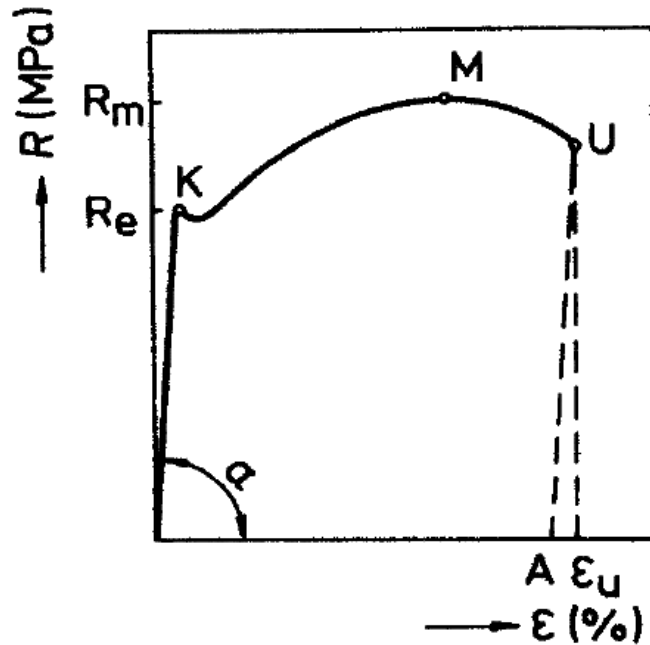
$$\epsilon = \frac{L_u - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\frac{R}{E} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Mez pevnosti (pevnost) R_m , σ_{pt} :



Mez pružnosti:



R_e – mez kluzu

R_p – smluvní mez kluzu – odpovídá trvalé deformaci 0,2% z délky L_0

R_a – mez úměrnosti

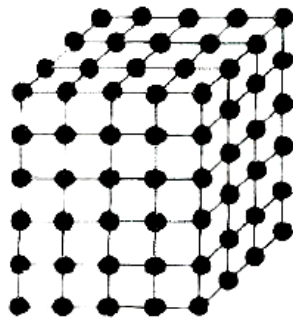
R_m – mez pevnosti

R_{he} – horní mez kluzu

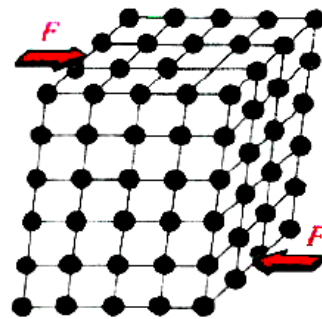
R_{de} – dolní mez kluzu

E – modul pružnosti

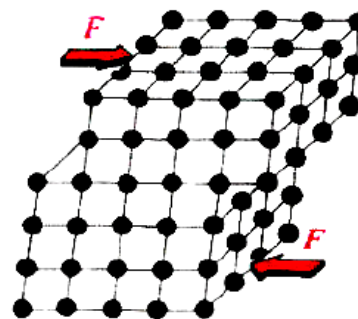
$$E = \operatorname{tg} \alpha$$



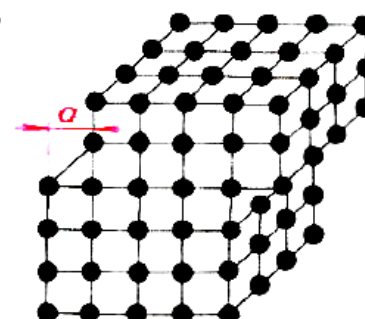
výchozí krystal



pružné deformace

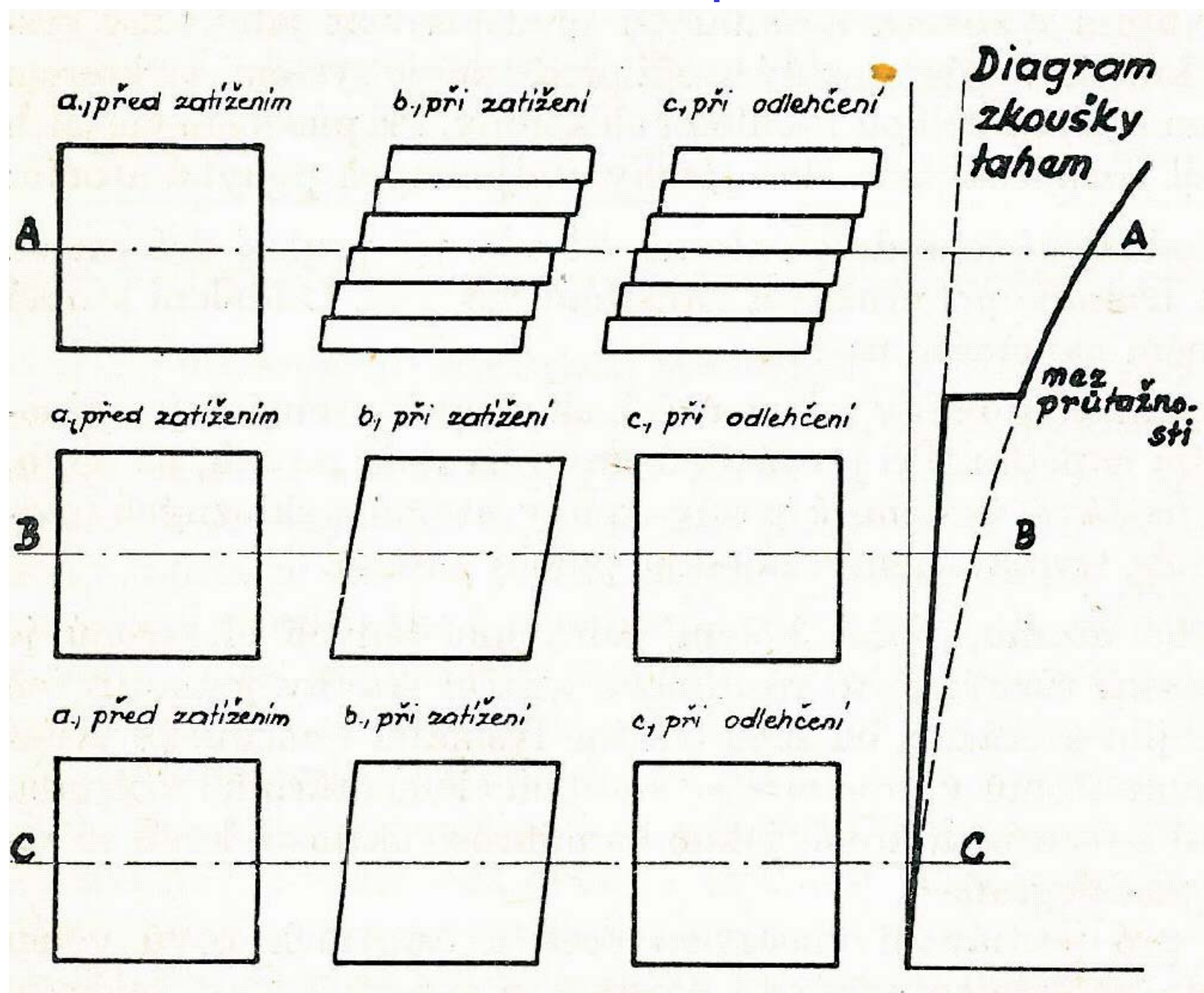


zvětšení pružné deformace v plastickou



po odlehčení zůstává deformace plastická (trvalá)

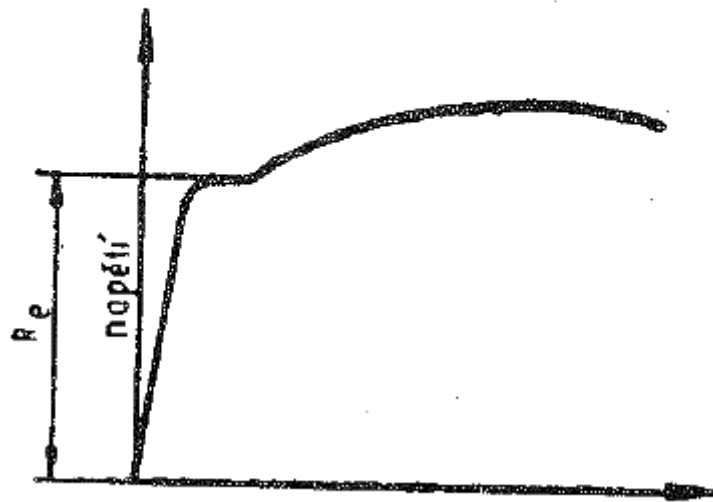
Deformace ocelí při zkoušce tahem:



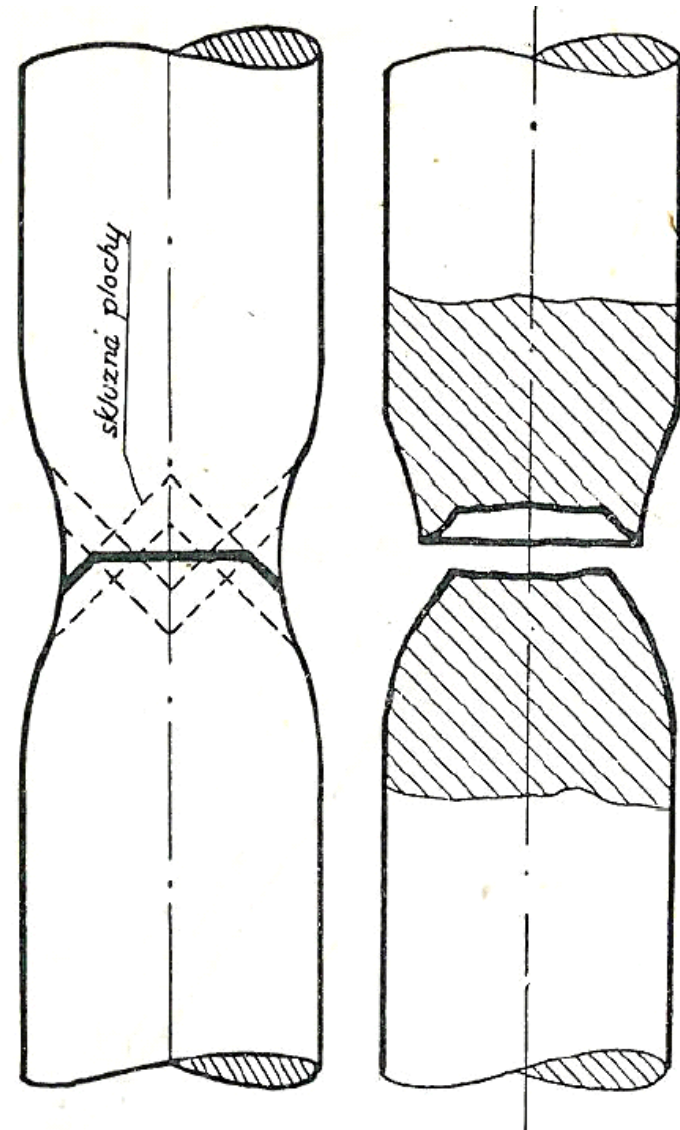
Mez kluzu výrazná (zjevná)

R_e, σ_k :

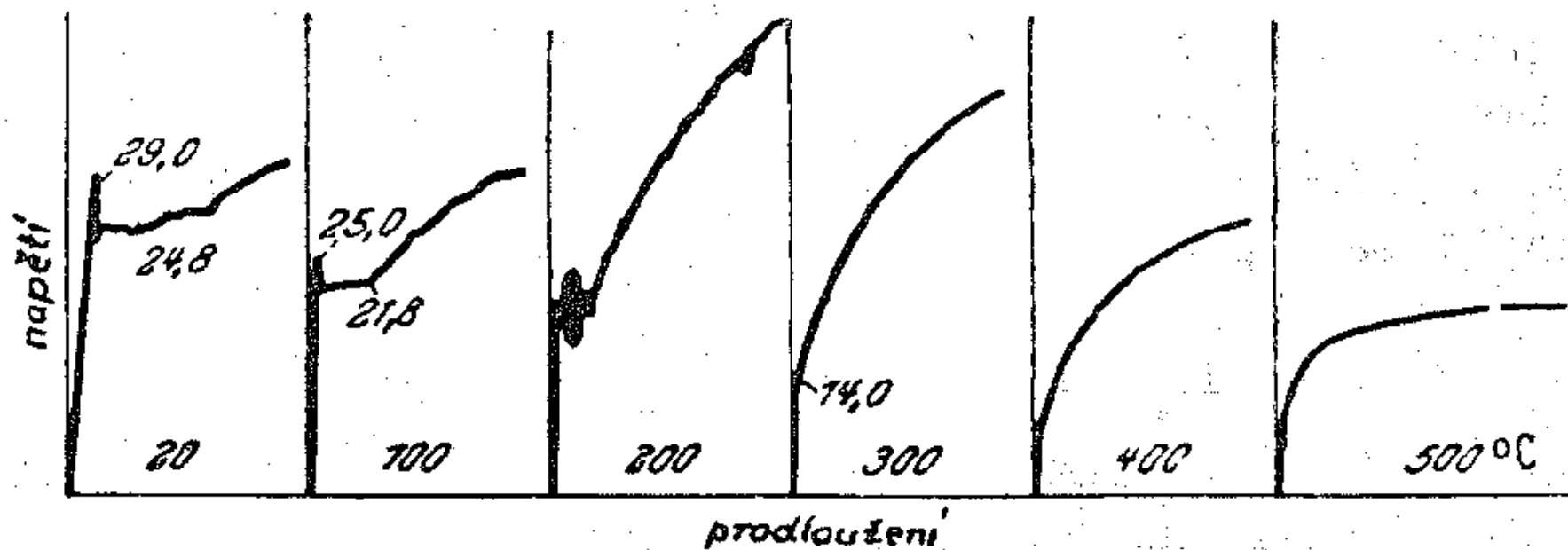
Napětí, při němž se zkušební tyč deformuje bez patrného zvětšování tahového zatížení (obr. 1)



Obr. 1



Vymizení meze kluzu u měkké oceli se vzrůstající teplotou:



Tahové diagramy za studena tažených ocelí:

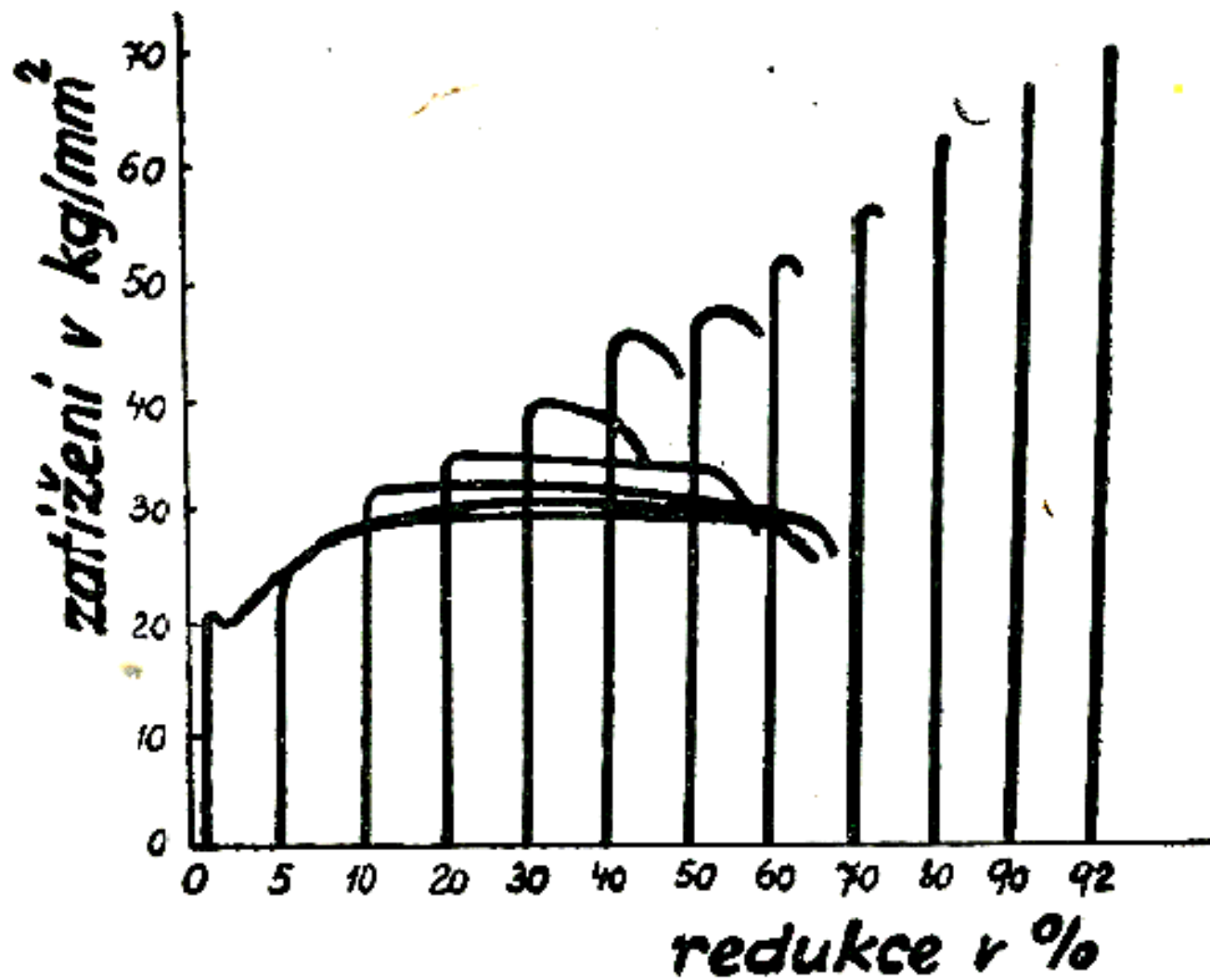
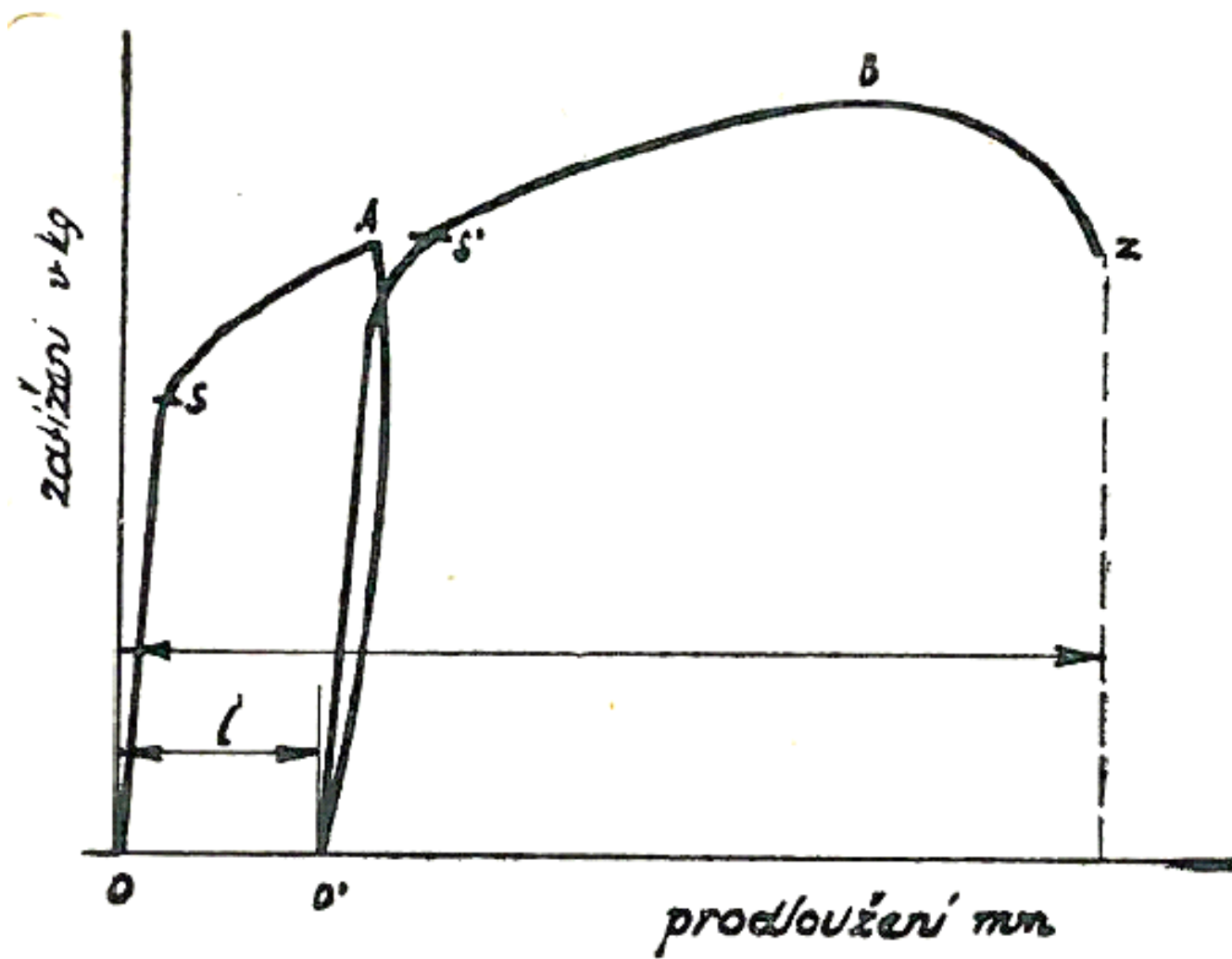


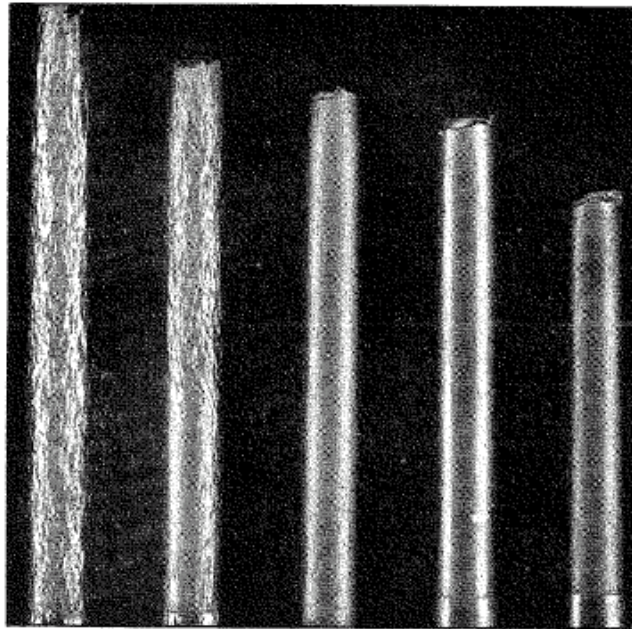
Diagram přerušené zkoušky:



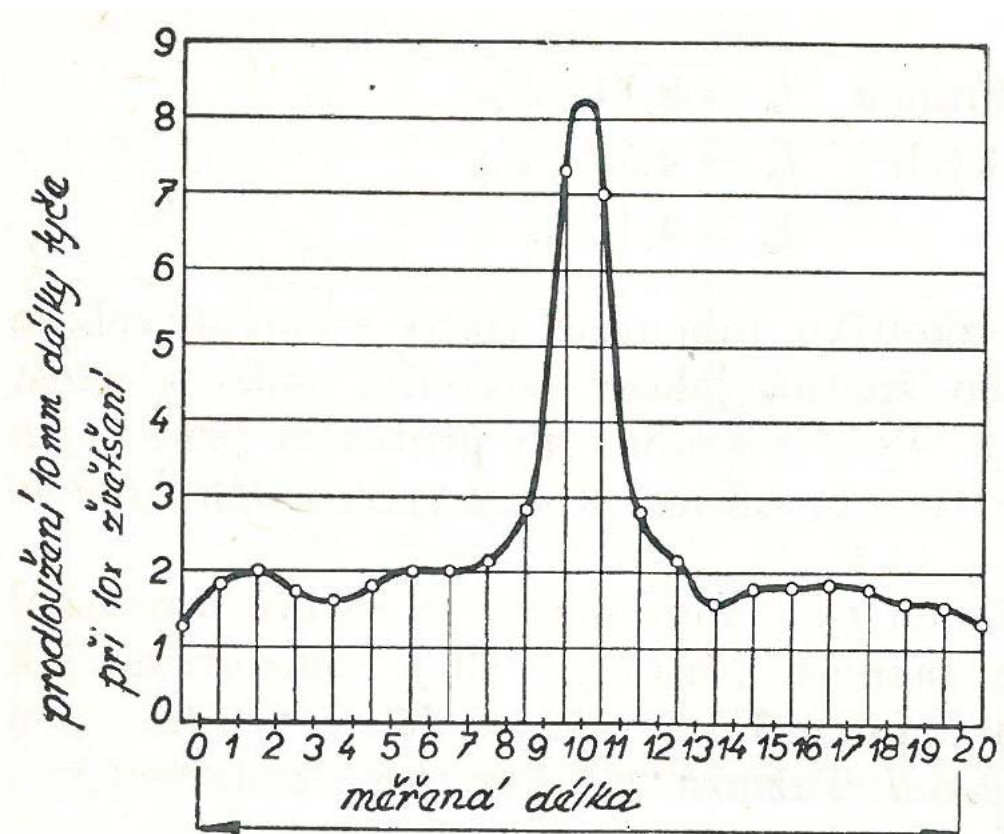
Tažnost A, δ :

- Poměr prodloužení měřené délky zkušební tyče po přetržení k počáteční měřené délce, vyjádřený v procentech.

$$A, \delta = [(L_u - L_0)/L_0] \cdot 100 \quad [\%]$$



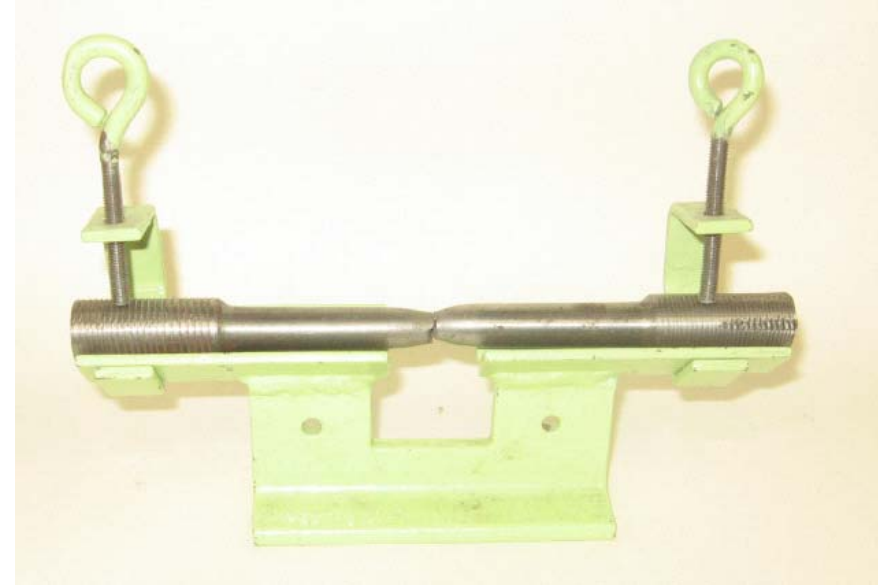
Tažnost A, δ :



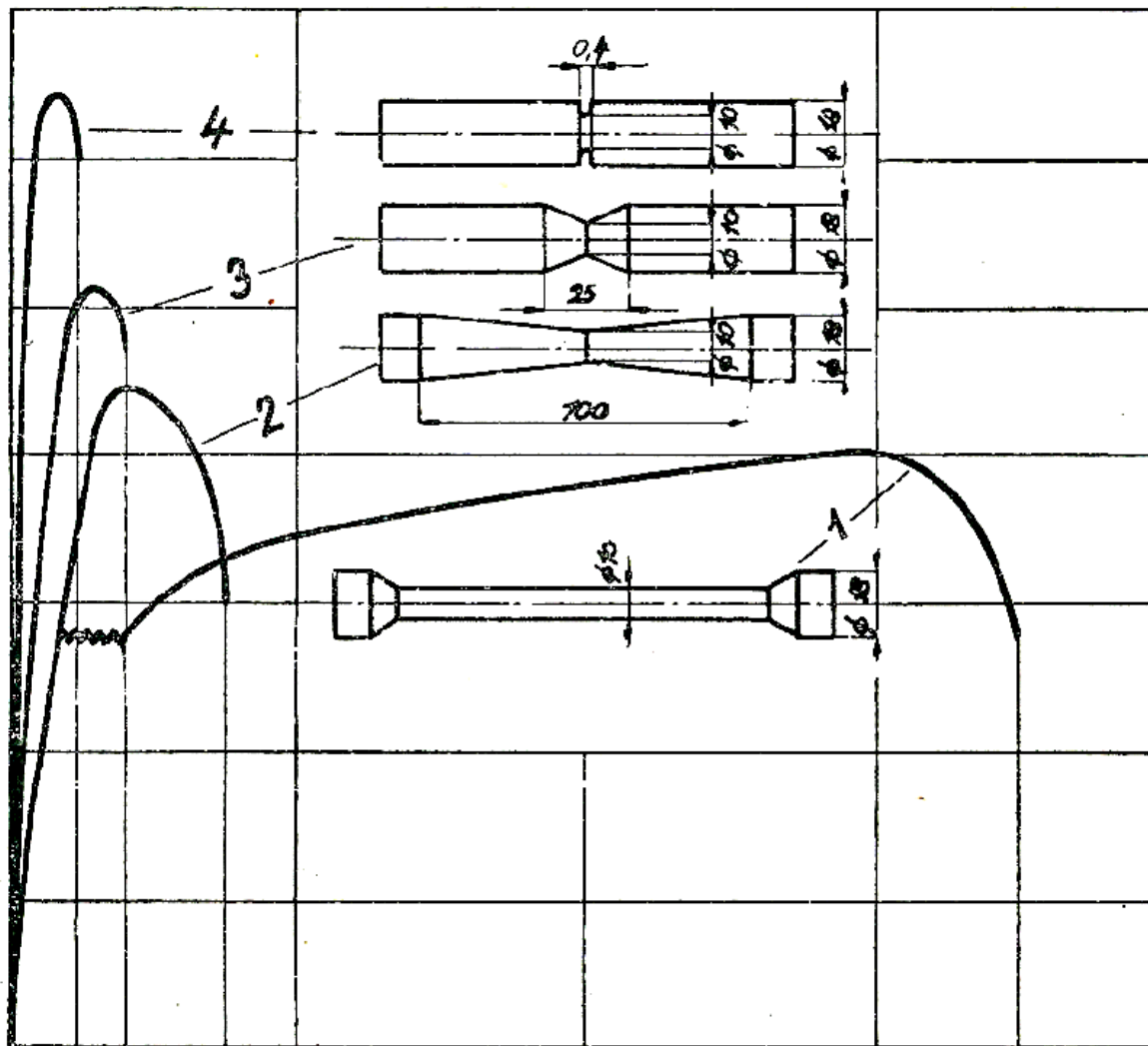
Příčné zúžení (kontrakce) Z, ψ :

Poměr rozdílu počáteční a nejmenší plochy příčného průřezu zkušební tyče po přetržení k počáteční ploše průřezu, vyjádřený v procentech.

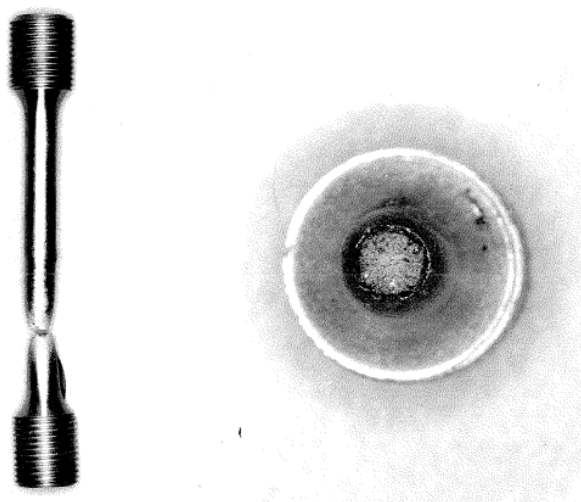
$$Z, \psi = [(S_0 - S_u) / S_0] \cdot 100 \quad [\%]$$



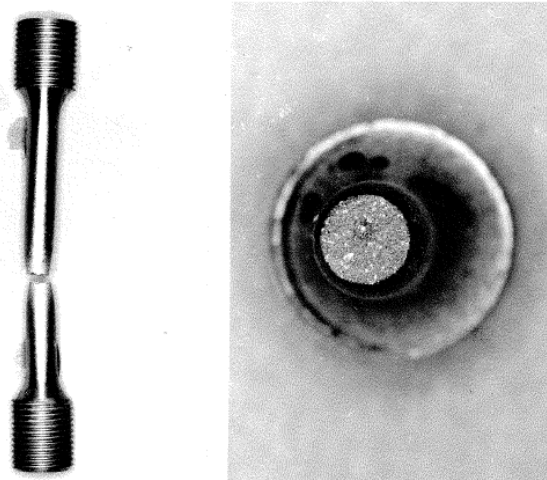
Vliv vrubu na prodloužení:



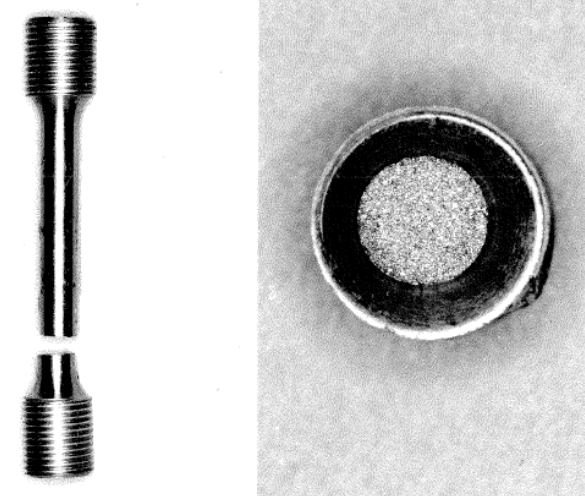
**Tvárný lom,
zúžení Z velké:**



**Semikřehký lom,
zúžení Z malé:**

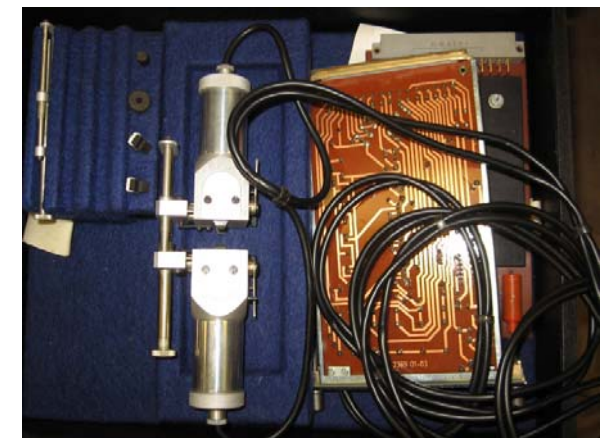
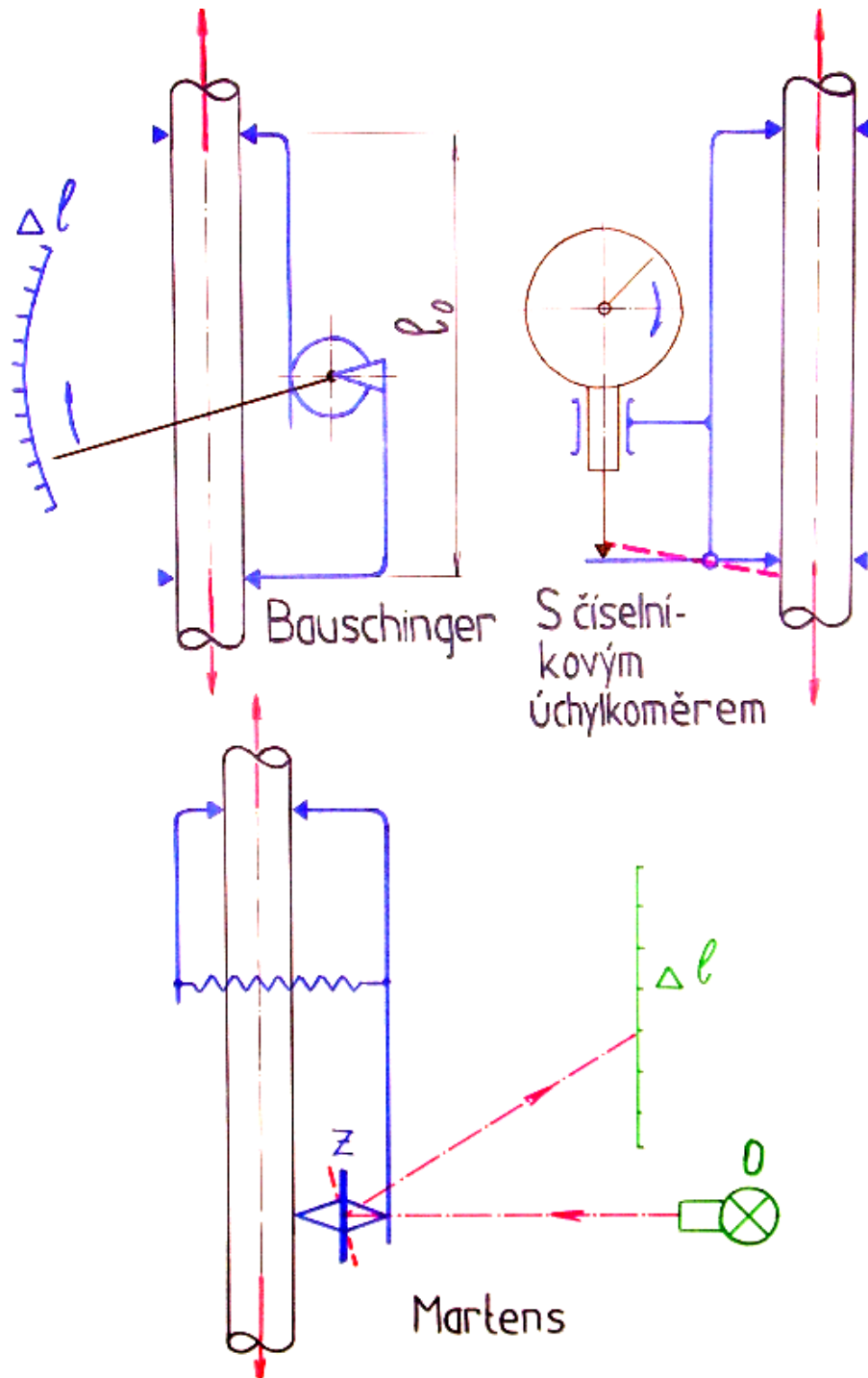


**Křehký lom,
zúžení Z ~ 0:**

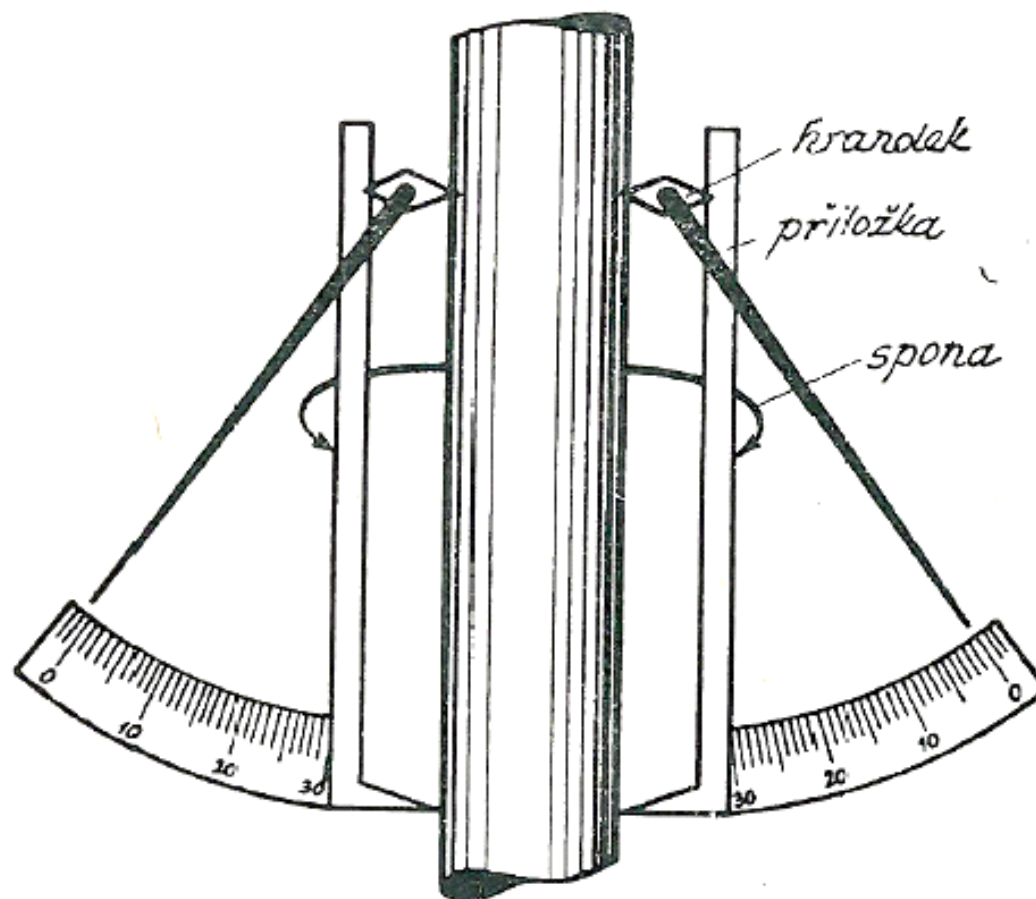
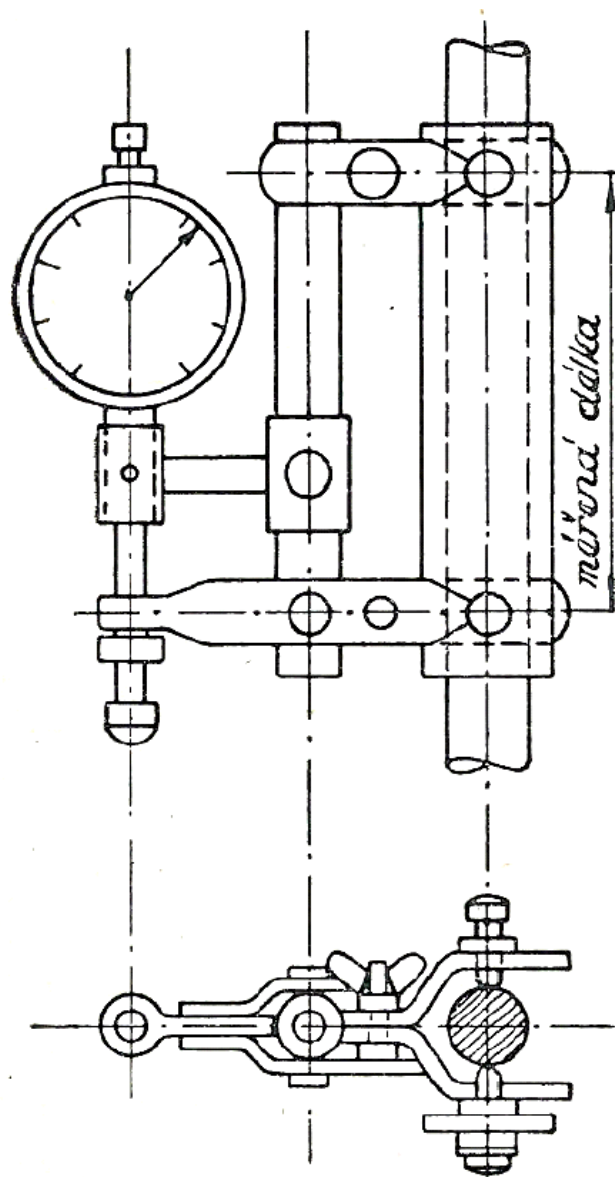


Lépe než z pracovního diagramu lze stanovit smluvní mez kluzu

Průtahoměry: (extenzometry)



Průtahoměr CIM 2 a Martens-Kenedy:



Přejímka:

- Pro přejímku obvykle stačí zjištění, že při zatížení dle mater. Listu nebylo dosaženo určitého protažení;

Např.: ČSN 41 67 20

Mechanické vlastnosti tyčové oceli Informativní hodnoty				
Označení materiálu a stavu	16 720.7			
Stav	zušlechtěný			
Průměr	mm	nad 16 do 40	nad 40 do 100	nad 100 do 250
Nejnižší mez kluzu σ_{Kt} nebo mez 0,2 $\sigma_{0,2}$	MPa	883	834	834
Pevnost v tahu σ_{pt}	MPa	1128	1128	1128
Nejnižší tažnost δ_5 podél	%	12	10	9
Nejnižší kontrakce Ψ	%	50	45	40
Fyzikální vlastnosti Informativní hodnoty				
Modul pružnosti v tahu $E \cdot 10^{-3}$	MPa	198		
Modul pružnosti ve smyku $G \cdot 10^{-3}$	MPa	78		
Teploty přeměn	°C	$A_{c1} \approx 690$	$A_{c3} \approx 790$	$M_s \approx 350$

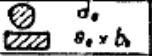
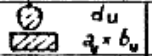
Na ověření smluvní meze kluzu se v praxi doporučuje tento postup:

- na zkušební tyči se naměřená délka l_0 označí značkami a tyč se zatíží napětím odpovídajícím zaručené minimální mezi kluzu (dle materiálových listů). Rychlost zatěžování nesmí překročit dovolenou hodnotu.

- toto napětí se udržuje cca 15 sekund.

- tyč se odlehčí a změří se vzdálenost značek, která nesmí být větší o víc jak 0,2% l_0 .

Záznam o zkoušce tahem:

PRO ZÁVOD _____		ZÁZNAM O ZKOUŠCE TAHEM						ZKOUŠKU PROVEDL: _____							
ÚKOL Č.: _____								ROZSAH: _____				KONTROLOVAL: _____			
ZKOUŠEBNÍ STROJ: _____		TEPLOTA: _____ °C						DATUM: _____							
POŘA. ČÍSLO:	ZNAČKA MATERIÁLU A ČÍSLO TAVBY	OZNAČENÍ ZKOUŠEBNÍ TYČE	ROZMĚRY ZKOUŠEBNÍ TYČE PŘED ZKOUŠKOU			ZATĚŽ. SÍLA		ROZMĚRY ZKOUŠ. TYČE PO ZKOUŠCE			VÝSLEDNĚ HODNOTY				POZNÁMKA
			L_0 mm	 d_0 $a_0 \times b_0$ mm	S_0 mm ²	$F_{e0.2}$ $F_{p0.2}$ kN	F_m	L_u mm	 d_u $a \times b_u$ mm	S_u mm ²	$R_{e0.2}$ $R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	A %	Z %	

- Výsledky měření se zapisují do záznamu o zkoušce tahem; do poznámky se uvádí vzhled a charakter lomové plochy případně zvláštní okolnosti, které ovlivnily průběh zkoušky.



Jiná měření a pozorování: 1) Kluzné (Lüdersovy) čáry.

- Objevují se na povrchu zkušební tyče na mezi kluzu. Povrch tyče musí být hladký (nebo lépe vyleštěný) a materiál dostatečně "měkký".
- Má-li zkušební tyč na svém povrchu okuje, tyto lavinovitě odpadávají.

Jiná měření a pozorování: 2) Bauschingerův jev.

- **Označení vlastnosti oceli, umožňující její zpevnění vytažením. Ocelová tyč namáhána tahem nad mez průtažnosti (kluzu), odlehčena a znovu zatížena, má vyšší mez průtažnosti (kluzu) než při prvním zatěžování.**
- **Bauschingerův jev se projeví na grafickém záznamu průběhu zkoušky na registračním papíru. Tyč se napne nad mez kluzu, zvolna se úplně odlehčí a opět napíná. Vhodno zvolit takový typ zkušebního stroje, který umožňuje úplné odlehčení upnuté tyče na nulu.**

Jiná měření a pozorování:

3) Přetvárná práce.

- **Na deformaci zkušební tyče při tahové zkoušce se spotřebuje práce, která je úměrná ploše omezené křivkou a vodorovnou osou na diagramu zatížení-deformace.**
- **Tato plocha se určí planimetrováním po skončení zkoušky. Velikost přetvárné práce vzrůstá s pevností a houževnatostí zkušebního materiálu.**

„Interaktivní prvky“:

- Překreslete si vyučujícím určená schémata atp.;
- V průběhu výkladu si poznamenávejte klíčové informace;
- Popište vlastními slovy jednotlivé snímky (vysvětlete funkci, atp.);
- Pokuste se nalézt v právě probrané prezentaci nepřesnosti, pro svůj názor formulujte argumenty;

Použitá literatura:

- **ANONYMUS. *Plakáty pro výuku předmětu Kontrola a měření.* SPŠS Sokolská 1. Brno, nedatováno.**
- **FRISCHHERZ A., SKOP P., KNOUREK J. *Technologie zpracování kovů.* Praha: Wahlberg, 1993. ISBN 80-901657-2-9.**
- **CHOCHOLA K., SLACH J., ŠULC J. *Laboratorní cvičení.* Praha: STNL 1961.**
- **MARTINÁK, M. *Kontrola a měření.* Praha: STNL 1989.**
- **ŠULC, J. *Technologická a strojnická měření.* Praha: STNL 1982.**
- **ŠULC, J., VYSLOUŽIL, Z. *Laboratorní cvičení technologická a strojní.* Praha: STNL 1970.**
- **VÁCLAVOVIČ A., *Měření a kontrola ve strojírenství.* Praha: SNTL, 1967.**
- **VYSLOŽIL Z., ZELKO J. *Meranie v strojárstve.* Bratislava: SVTL 1962.**
- **VYSLOUŽIL Z., KOVAL J. *Technologické a strojnické merania.* Bratislava: Alfa, 1978.**
- **WALLA V. *Zkoušení ocelí a ostatních kovů.* Praha: Práce 1952.**
- **+ Související normy;**