

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

# PŘEHLED ZKUŠEBNÍCH STROJŮ PRO MECHANICKÉ ZKOUŠKY MATERIÁLŮ A KONSTRUKCÍ NA FSI VUT V BRNĚ

SURVEY OF TESTING MACHINES FOR MECHANICAL TESTS OF MATERIALS AND  
CONSTRUCTIONS AT FSI VUT IN BRNO

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN ŠVEC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR LIŠKUTÍN

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství  
Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Martin Švec

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Materiálové inženýrství (3911R011)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Přehled zkušebních strojů pro mechanické zkoušky materiálů a konstrukcí na FSI VUT v Brně**

v anglickém jazyce:

### **Survey of Testing Machines for Mechanical Tests of Materials and Constructions at FSI VUT in Brno**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně je tvořena celou řadou ústavů, z nichž některé jsou dále členěny na profesní odbory. Vysoká samostatnost pracovišť, která zabezpečuje optimální efektivitu výuky i vědecké práce, má za následek nedostatečnou vzájemnou informovanost o přístrojovém vybavení jednotlivých pracovišť. Úkolem práce je zvýšení této informovanosti v rámci FSI VUT.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je vytvořit seznam zkušebních strojů pro mechanické zkoušky, dostupných na FSI. Přehled bude obsahovat především technické parametry strojů či přístrojů, místo, kde se zkušební stroje nacházejí a možný kontakt na osoby, které mají zařízení v kompetenci.

Seznam odborné literatury:

VELES, P.: Mechanické vlastnosti a zkúšanie kovov, SNTL 1989, Bratislava

PTÁČEK, L. a kol.: Nauka o materiálu I., CERM s.r.o. Brno, 2001, ISBN 80-7204-193-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Liškutín

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 13.11.2008

L.S.

---

prof. RNDr. Jaroslav Cihlář, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem práce je vytvořit seznam zkušebních strojů pro mechanické zkoušky, dostupných na FSI. Přehled bude obsahovat především technické parametry strojů či přístrojů, místo, kde se zkušební stroje nachází a možný kontakt na osoby, které mají zařízení v kompetenci. Úkolem práce je zvýšení informovanosti o přístrojové vybavenosti v rámci VUT FSI.

### **Klíčová slova**

Mechanické zkoušky, materiálové charakteristiky.

## **ABSTRACT**

The aim of the project is to create a list of test strojůpro mechanical tests, available on the FSI. List will include the technical parameters of machines or equipment, the place where the test machine is a possible contact persons who have the responsibility of equipment. The task of this work is to raise awareness of the instrumentation equipment within the FSI VUT

### **Key words**

Mechanical tests, the material characteristics.

## **Bibliografická citace**

ŠVEC, Martin. *Přehled zkušebních strojů pro mechanické zkoušky materiálů a konstrukcí na FSI VUT v Brně*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. s.42, \* Ing. Petr Liškuťín.



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Přehled zkušebních strojů pro mechanické zkoušky materiálů a konstrukcí na FSI VUT v Brně vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23.5.2009

.....

## **Poděkování**

Děkuji tímto panu Ing. Petru Liškutínovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# Obsah

<u>1 Úvod.....</u>	<u>2</u>
<u>2 CÍL PRÁCE .....</u>	<u>3</u>
<u>3 TEORETICKÁ ČÁST .....</u>	<u>4</u>
<u>3.1 Mechanické zkoušení kovů.....</u>	<u>4</u>
<u>3.2 Základní pojmy.....</u>	<u>4</u>
<u>3.2.1 Pružnost .....</u>	<u>4</u>
<u>3.2.2 Tvrdost .....</u>	<u>4</u>
<u>3.2.3 Plasticita.....</u>	<u>4</u>
<u>3.2.4 Houževnatost.....</u>	<u>4</u>
<u>3.3 Vnitřní stavba kovů .....</u>	<u>5</u>
<u>3.3.1 Charakteristické vlastnosti kovů.....</u>	<u>5</u>
<u>3.3.2 Chování materiálu za vnějšího zatížení.....</u>	<u>5</u>
<u>3.4 Metody měření materiálových charakteristik.....</u>	<u>6</u>
<u>3.4.1 Statické mechanické zkoušky.....</u>	<u>6</u>
<u>3.4.2 Dynamické mechanické zkoušky.....</u>	<u>13</u>
<u>4 PRAKTICKÁ ČÁST .....</u>	<u>15</u>
<u>4.1 Přehled ústavů.....</u>	<u>15</u>
<u>4.2 Přehled zkušebních strojů na VUT FSI v Brně.....</u>	<u>15</u>
<u>4.2.1 Stroje na mechanické zkoušky v tahu, tlaku, ohybu a krutu.....</u>	<u>15</u>
<u>4.2.2 Stroje na mechanické zkoušky únavy.....</u>	<u>27</u>
<u>4.2.3 Stroje na mechanické zkoušky kontaktní únavy.....</u>	<u>33</u>
<u>4.2.4 Stroje na mechanické zkoušky rázem v ohybu.....</u>	<u>35</u>
<u>5 ANALÝZA a ZHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH POZNATKŮ.....</u>	<u>37</u>
<u>5.1 Hydraulické stroje pro zkoušky tahem, tlakem, ohybem a krutem.....</u>	<u>37</u>
<u>5.1.1 Výhody .....</u>	<u>37</u>
<u>5.1.2 Nevýhody.....</u>	<u>37</u>
<u>5.2 Stroje na mechanické zkoušky nízkocyklovou a vysokocyklovou a kontaktní únavou.....</u>	<u>37</u>
<u>5.2.1 Výhody .....</u>	<u>37</u>
<u>5.2.2 Nevýhody.....</u>	<u>38</u>
<u>5.3 Stroje na mechanické zkoušky rázem v ohybu .....</u>	<u>38</u>
<u>5.2.1 Výhody .....</u>	<u>38</u>
<u>5.2.2 Nevýhody.....</u>	<u>38</u>
<u>6 ZÁVĚR.....</u>	<u>39</u>
<u>Literatura.....</u>	<u>40</u>
<u>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</u>	<u>42</u>

# 1 ÚVOD

Mechanické zkoušky nacházejí čím dál tím více své uplatnění v technické praxi. Testování mechanických vlastností materiálů hraje nezastupitelnou roli při kontrole technologie výroby, při kontrole jakosti a při přejímkách polotovarů či výrobků a také při vývoji nových materiálů. Existuje celá řada materiálových zkoušek. Některé mají uplatnění obecně pro testování jak křehkých tak houževnatých materiálů (tahová zkouška) a jiné se používají jen ve speciálních případech. Tyto tzv. technologické zkoušky se využívají pro posouzení vhodnosti materiálu k určitému speciálnímu způsobu zpracování (slévatelnost, svařitelnost)

K získání materiálových charakteristik při mechanickém zatěžování jsou používány různé metody. Každá z metod je samostatná a dává konkrétní výsledky. Teprve vyhodnocením a syntézou získaných parametrů získáváme objektivní hodnocení materiálů.

Výsledky mechanických zkoušek se používají k různým účelům. Uživatelé materiálu používají např. pevnost v tahu, nebo mez kluzu materiálu při pevnostních výpočtech konstrukcí, strojních zařízení apod. Výrobci materiálu používají mechanické charakteristiky pro testování svého výrobku. Kvalitní výsledky lze získat jedině za pomoci bezchybně pracujících zkušebních strojů a zařízení.

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem bakalářské práce je vytvořit seznam zkušebních strojů pro mechanické zkoušky, dostupných na FSI. Přehled bude obsahovat především technické parametry strojů či přístrojů, místo, kde se zkušební stroje nacházejí a možný kontakt na osoby, které mají zařízení v kompetenci.

## 3 TEORETICKÁ ČÁST

### 3.1 Mechanické zkoušení kovů

Mechanickým zkoušením kovů rozumíme určování jejich mechanických vlastností, tj. vlastností které umožňují mechanické namáhání, ať již při zpracování nebo při použití kovového výrobku. Pod pojmem mechanických vlastností zahrnujeme, pružnost, tvrdost, tvárnost, houževnatost. Tyto pojmy jsou jasně definovány.[1]

### 3.2 Základní pojmy

#### 3.2.1 Pružnost

Materiál považujeme za pružný, pokud se působením napětí deformuje a po odstranění tohoto napětí (zatěžující síly) vrátí do původního stavu. Nepružný materiál zůstane po odstranění napětí deformován.[7]

U kovů platí až po mez pružnosti úměrnost mezi napětím a deformací jím vyvolaným. Této skutečnosti si poprvé všiml anglický fyzik Robert Hooke r. 1676. Po něm je také nazvaný Hookův zákon, který patří k nejzákladnějším zákonům fyziky. Matematicky ho pak formuloval Thomas Young r. 1802. [7]

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (1)$$

kde

$\sigma$	napětí
$\varepsilon$	poměrné prodloužení
$E$	modul pružnosti

#### 3.2.2 Tvrdost

Pod tímto pojmem si lze představit odolnost materiálu proti porušení vnikajícím tělesem. Tvrdým materiálem se může rozumět materiál, který se obtížně obrábí.[1]

#### 3.2.3 Plasticita

Schopnost materiálu vlivem působení vnějších sil měnit v tuhém stavu bez porušení vzájemnou polohu částic. Jedná se o typickou vlastnost většiny kovů.[1]

#### 3.2.4 Houževnatost

Lze si jí představit jako práci potřebnou na rozdělení materiálu na dvě části. Křehké materiály potřebují nepatrnou práci. Křehkost je opakem houževnatosti.[1]

### 3.3 Vnitřní stavba kovů

Předpokladem správného porozumění mechanickým vlastnostem kovů je základní znalost jejich vnitřní stavby. [1]

Pro kovy je charakteristická kovová chemická vazba. Tento druh vazby dává kovům jejich typické fyzikální, mechanické a technologické vlastnosti: velkou tepelnou a elektrickou vodivost, plasticitu a houževnatost. Čisté kovy mají malou pevnost a velkou tvárnost, v technické praxi je kombinujeme, abychom dosáhli potřebných vlastností. Vznikají tak slitiny. [1]

#### 3.3.1 Charakteristické vlastnosti kovů

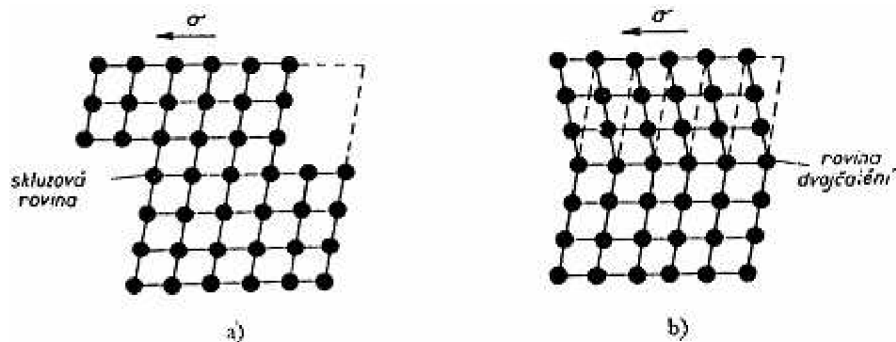
Význačnou vlastností kovů je jejich schopnost tvořit slitiny - směsi dvou nebo více kovů, popř. kovů a nekovů. Většinou se jedná o homogenní látky, které mají kovové vlastnosti. Pro účel technického použití mají slitiny většinou lepší chemické a fyzikální vlastnosti než čisté kovy z kterých jsou tvořeny (tvrdost, pevnost, tažnost).

Vnitřní struktura slitin je rozdílná. Rozhoduje o ní zejména vzájemná velikost atomů prvků. Prvky, které mají přibližně stejné velikosti atomů, tvoří krystalovou mřížku, v níž jsou atomy kovů navzájem zastupitelné (substituční slitiny). Pokud se atomy prvků výrazně od sebe odlišují, mohou vzniknout slitiny, kde v mezerách mřížky kovů s většími atomy jsou umístěny malé atomy druhého prvku. [6]

#### 3.3.2 Chování materiálu za vnějšího zatížení

Jedná se o vzájemný vztah vnějších a vnitřních sil - odezvou mohou být deformace až eventuálně lom (porušení).

Pružné deformace – jde ve své podstatě o vystoupení atomů z rovnovážných poloh a po odlehčení dochází k návratu do původního stavu.



Obr. 1 : Schéma a) skluzu a b) dvojčatění krystalů

Trvalé deformace – po odlehčení nevymizí – probíhá jedním ze dvou procesů: skluzem viz (Obr 1a) nebo dvojčatěním viz (Obr 1b).

- skluz – posun krystalografických rovin - dislokace
- dvojčatění – jde o posun více rovin tak, že každá rovina se přemístí o stejnou vzdálenost vůči sousedním rovinám.

### 3.4 Metody měření materiálových charakteristik

Metodu volíme podle toho jak bude materiál zatěžován. Provádíme tu mechanickou zkoušku kde získáme údaje nutné pro návrh tvaru, rozměrů a materiálů strojních součástí.

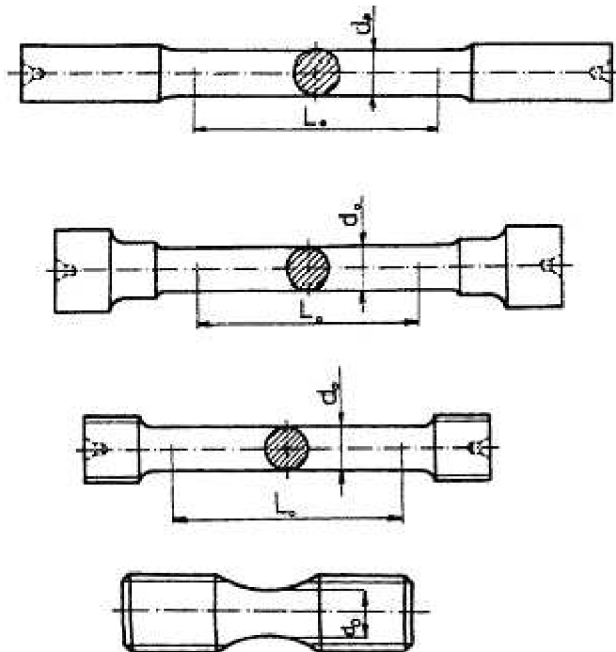
#### 3.4.1 Statické mechanické zkoušky

Tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál zatěžujeme pozvolna bez rázu, a to buď pouze jednou, nebo zatěžování několikrát opakujeme. Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevností. Podle způsobu působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu a krutu. Zkušební stroje jsou buď jednoúčelové (pro jeden druh zkoušek), nebo univerzální (pomocí vhodných přípravků lze provádět různé druhy zkoušek). Při všech statických zkouškách vzniká v zatížené součásti napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením sil vnějších.

##### 3.4.1.1 Zkoušky pevnosti v tahu

Zkouška tahem - ČSN EN 10002-1 (zkouška tahem kovových materiálů za normální teploty) a ČSN EN 10002-5 (zkouška kovových materiálů za zvýšené teploty)- jsou nejrozšířenější statické zkoušky. Jsou většinou potřeba u všech materiálů pro technické použití. Díky ní získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Tahová zkouška probíhá ve většině případů na zkušebních tyčích odpovídajících danému materiálu u kterého potřebujeme znát pevnostní charakteristiky. Tvary a rozměry tyčí jsou normalizovány (Obr 2).

Vlastní měřená délka  $l_0$  závisí na průřezu zkušební tyče a je při kruhovém průřezu u dlouhé tyče  $10 d_0$  a u tyče krátké  $5 d_0$  ( $d_0$ =průměr zkušební tyče). Trhací zkouškou zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a zúžení (kontrakci) zkoušeného materiálu. [2]



Obr.2 : Normalizované typy zkušebních tyčí [2]



**Pevnost v tahu** (mez pevnosti v tahu) je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly  $F$ , kterou snese zkušební tyč, a původního průřezu tyče  $S_0$ :

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} [MPa] \quad (2)$$

kde

$R_m$  mez pevnosti v tahu  
 $F_m$  zátěžná síla v tahu  
 $S_0$  obsah původního průřezu zkušební tyče

**Poměrné prodloužení**  $\varepsilon$  je dáno poměrem změny délky  $\Delta l$  k původní délce zkušební tyče  $l_0$ :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (3)$$

kde

$\varepsilon$  poměrné prodloužení zkušební tyče  
 $\Delta l$  změna délky zkušební tyče  
 $l_0$  původní délka zkušební tyče

**Tažnost**  $A$  ( $A_5$ ,  $A_{10}$ ) je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech původní délky:

$$A = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100[\%] \quad (4)$$

kde

$A$  tažnost  
 $L_u$  konečná délka zkušební tyče  
 $L_0$  původní délka zkušební tyče

**Kontrakce**  $Z$  je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení ( $S_0 - S$ ) k původnímu průřezu tyče  $S_0$ . Vyjadřujeme ji v procentech:

$$Z = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100[\%] \quad (5)$$

kde

$Z$  zúžení  
 $S_u$  konečný obsah průřezu zkušební tyče  
 $S_0$  původní obsah průřezu zkušební tyče

**Pevnost v kluzu** (mez kluzu v tahu) je napětí, při němž se zkušební tyč počne

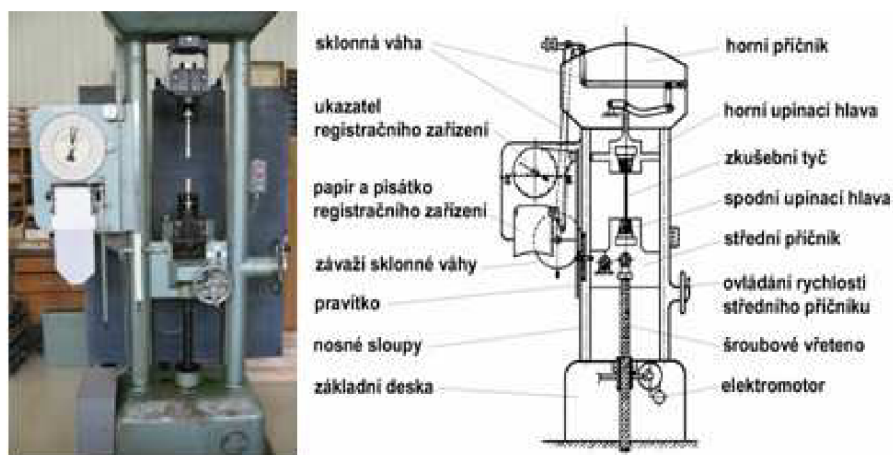
výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly. Stanovíme ji ze vztahu :

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} [MPa] \quad (6)$$

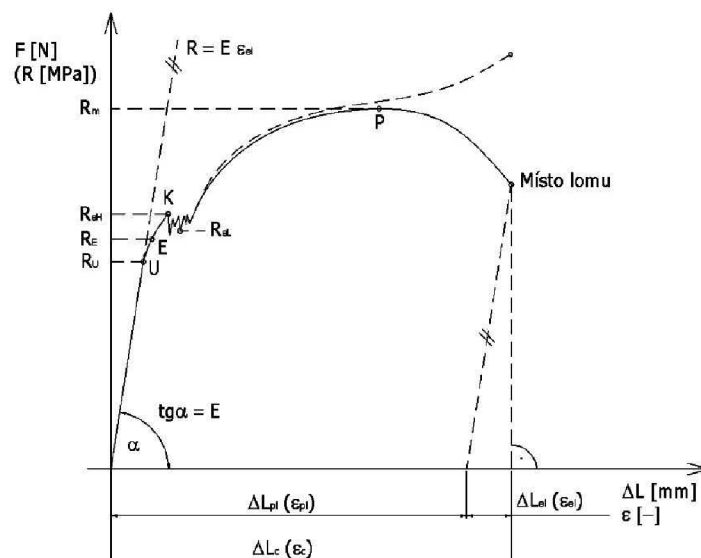
kde

- $R_e$  mez pevnosti v kluzu
- $F_e$  zatěžující síla
- $S_0$  původní obsah průřezu zkušební tyče

Trhací stroje (Obr.3) kreslí v průběhu trhací zkoušky na milimetrový papír, upnutý na buben registračního přístroje, pracovní diagram (Obr.4 ), udávající závislost poměrného prodloužení  $\epsilon$  na napětí  $\sigma$  (nebo změny délky  $\Delta l$  na zatěžující síle  $F$ ).



Obr.3 : Trhací stroj pro mechanické zkoušky v tahu [15]



Obr.4 : Pracovní diagram mechanické zkoušky v tahu

Z diagramu vidíme, že zpočátku je prodloužení tyče přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení, a to až do bodu  $U$ .

Napětí  $R_U$ , odpovídající bodu  $U$ , nazýváme mez úměrnosti a definujeme ji jako mezní napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (Hookův zákon).

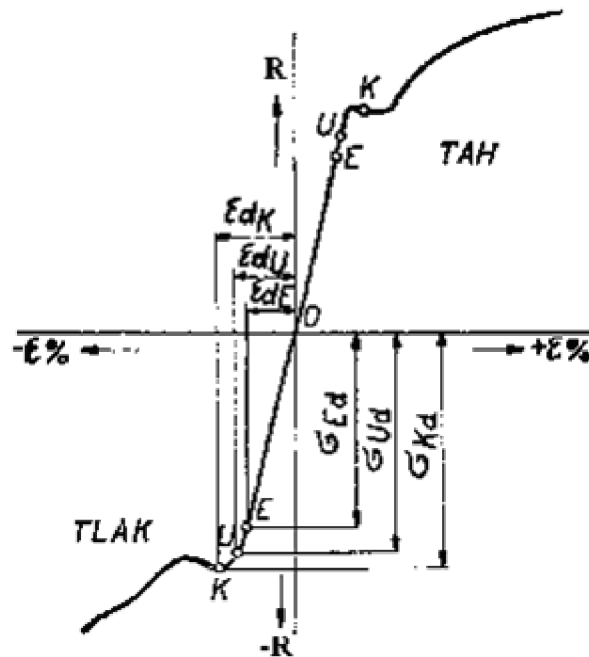
V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až po bod  $E$  je protažení pružné, tj. po odlehčení nabývá tyč původních rozměrů. Napětí  $R_E$  odpovídající bodu  $E$  je mez pružnosti a definujeme ji jako mezní napětí, které po odtížení (úplném odlehčení) nevyvolává trvalé deformace.

Zvětšujeme-li zatížení dále, nastává přetváření plastické (trvalé) a tyč po odlehčení již nenabude původní délky. Napětí odpovídající bodu  $K$  označujeme jako mez kluzu v tahu a definujeme je jako nejmenší napětí, při němž nastávají podstatné deformace, které někdy dočasně pokračují, aniž se zároveň zvyšuje napětí. [1]

### 3.4.1.2 Zkoušky pevnosti v tlaku

Provádí se hlavně u křehkých materiálů namáhaných na tlak –např. u litiny, ložiskových kovů, kompozice apod. a u stavebních materiálů (cihly, beton, kámen apod.) Pro houževnatý a tvárný materiál má tato zkouška jev velmi omezený význam, většinou se provádí jako zkouška technologická. U ocelí nebývá tato zkouška nutná, neboť hodnoty meze úměrnosti a meze kluzu v tahu i tlaku jsou přibližně stejné.

Při tlakové zkoušce působí síla v ose zkušební tělesa, ale má opačný smysl než při zkoušce tahové (Obr. 5). Diagram napětí houževnatého materiálu se podobá diagramu ze zkoušky tahem, pouze s tím rozdílem, že napětí a deformace má opačný smysl. Až po mez pružnosti je stlačení pružné a po odlehčení nabývá zkušební těleso své původní velikosti. Tyto pružné změny jsou obdobné jako u zkoušky tahem a měří se přesnými průtahoměry – tenzometry. [10]



Obr.5 : Pracovní diagram mechanické zkoušky v tlaku [10]

Zkušební tělesa jsou ve většině případů váleček o průměru  $\varnothing d=10$  až 30 mm. Výška válečku  $h$  se při hrubých zkouškách rovná průměru  $d$ , při přesných měřeních volíme výšku  $h=(2.5 \text{ až } 3)d$ . Zkušební tělesa z kamene, betonu, dřeva apod. mají tvar krychle.

**Pevnost v tlaku** (mez pevnosti v tlaku) je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly  $F$ , kterou snese zkušební váleček, a původního průřezu válce  $S_0$ :

$$R_{mt} = \frac{F_{mt}}{S_0} [MPa] \quad (7)$$

kde

$R_{mt}$  mez pevnosti v tlaku  
 $F_{mt}$  zatěžující síla v tlaku  
 $S_0$  původní obsah průřezu zkušební tělesa

**Pevnost v kluzu** (mez kluzu v tlaku):

$$R_{et} = \frac{F_{et}}{S_0} [MPa] \quad (8)$$

kde

$R_{et}$  mez kluzu v tlaku  
 $F_{et}$  zatěžující síla  
 $S_0$  původní obsah průřezu zkušební tělesa

**Mezní poměrné stlačení:**

$$A_t = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100 = \frac{h_0 - h_u}{h_0} \cdot 100 [\%] \quad (9)$$

kde

$A_t$  tažnost  
 $h_u$  výška zkušební tělesa po zkoušce  
 $h_0$  původní výška zkušební tělesa

**Mezní poměrné rozšíření:**

$$Z_t = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \frac{S_u - S_0}{S_0} \cdot 100 [\%] \quad (10)$$

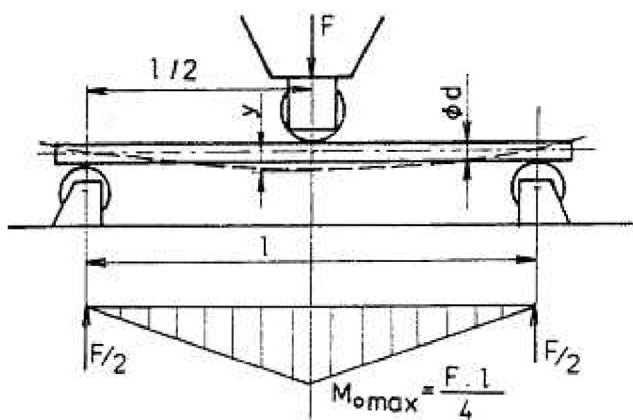
kde

$Z_t$  rozšíření  
 $S_u$  obsah zkušební vzorku po zkoušce  
 $S_0$  původní obsah zkušební tělesa

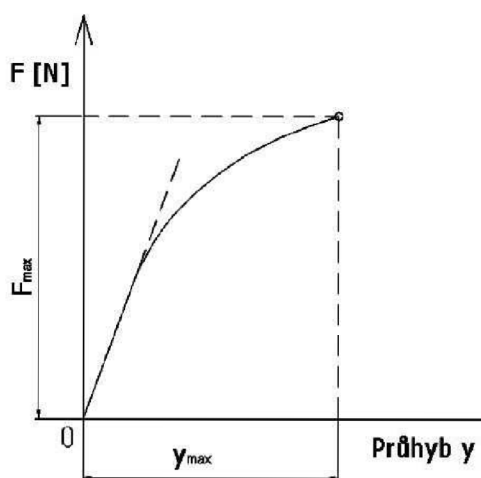
### 3.4.1.3 Zkoušky pevnosti v ohybu

Tuto zkoušku používáme u materiálů křehkých, hlavně u litých materiálů. U houževnatých, tvárných materiálů nemá význam, neboť k porušení zkušební tělesa ohybem nedojde – zde se uplatňuje hlavně jako zkouška technologická, případně jako zkouška ohybem u hotových součástí a u různých konstrukčních celků – mostů, jeřábů, křídel letadel apod. Při zkoušce ohybem se zjišťuje také největší průhyb v okamžiku porušení, který charakterizuje tvárnost (houževnatost) materiálu. Rozměry zkušebních tyčí, které mají obvykle kruhový průřez, jsou stanoveny normou ČSN 420361.

Obvyklé uspořádání zkoušky je na (Obr.6). Zkušební tyč je uložena na podpěrách a jejich vzdálenost závisí na průměru tyče  $d$ :  $l = 20d$ . Uprostřed tyče působí zatěžující síla. Napětí v průřezu je rozděleno nerovnoměrně, tj. od nulové hodnoty v neutrální ose roste do maxima v povrchových vláknech. Při postupně rostoucím zatížení odměřujeme průhyb tyče  $y_{max}$  až do okamžiku, kdy se tyč přelomí nebo se trvale prohne. Průběh je znázorněn na pracovním diagramu (Obr.7). [16]



Obr.6 : Schéma zatěžování při zkoušce ohybem[17]



Obr.7 : Průběh mechanické zkoušky v tlaku[17]

**Pevnost v ohybu** (mez pevnosti v ohybu)  $R_{mo}$ : je napětí, při němž se tyč přelomí

$$R_{mo} = \frac{M_{0\max}}{W_0} [MPa] \quad (11)$$

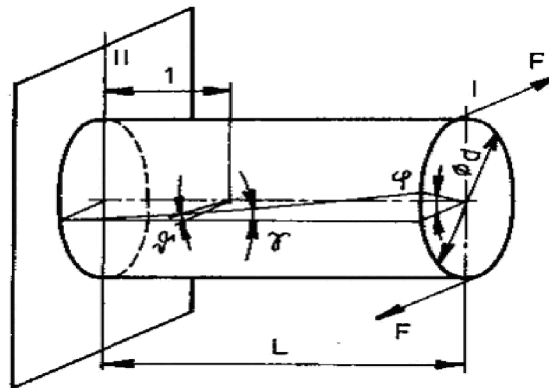
kde

- $R_{mo}$  mez pevnosti v ohybu
- $W_0$  průřezový modul v ohybu
- $M_{0\max}$  maximální ohybový moment

### 3.4.1.3 Zkoušky pevnosti v krutu

Touto zkouškou se hlavně zjišťuje jakost drátů za studena (ČSN EN 42 0421 - Zkouška drátu kroucením). Dále je možné využít tuto zkoušku při hledání vhodného materiálu pro hřídele a torzní tyče. Zkouškou za tepla se určuje kujnost oceli. Je vhodná i pro tuhé nekovové materiály (ČSN 64 0130). Zkouška se dělá většinou na válcových zkušebních tyčích, které se ve zkušebním stroji zatěžují až do porušení.

Způsob namáhání je zachycen na obr.8, kde je tyč na jednom konci vetknutá a na druhém konci je namáhána dvojicí sil. Měří se příslušný kroucí moment a zkroucení tyče na určité měřené délce. Touto zkouškou zjišťujeme:



Obr.8 Schéma zatěžování při zkoušce krutem [11]

**Poměrné zkroucení (zkrut):**

$$\vartheta = \frac{\varphi}{L} \quad (12)$$

kde

- $\vartheta$       mez pevnosti v ohybu
- $\varphi$       průřezový modul v ohybu
- $L$       maximální ohybový moment

**Maximální napětí v krutu**

$$R_{mk} = \frac{M_{k \max}}{W_k} [MPa] \quad (13)$$

kde

- $R_{mk}$       mez pevnosti v krutu
- $M_{k \max}$       průřezový modul v ohybu
- $W_k$       průřezový modul

**Maximální kroucí moment**

$$M_{k \max} = F_{\max} \cdot d [N \cdot m] \quad (14)$$

kde

- $M_{k \max}$       maximální moment v krutu
- $d$       délka zkušebního vzorku
- $F_{\max}$       maximální zátěžná síla

### 3.4.2 Dynamické mechanické zkoušky

V praxi je jen málo součástí, které jsou zatěžovány jen staticky, častěji se síly mění skokově nebo je změna cyklická. Při dynamickém namáhání dochází k náhlému porušení soudržnosti materiálu. Dynamické zkoušky by se zjednodušeně daly rozdělit na zkoušky cyklické, rázové, technologické.

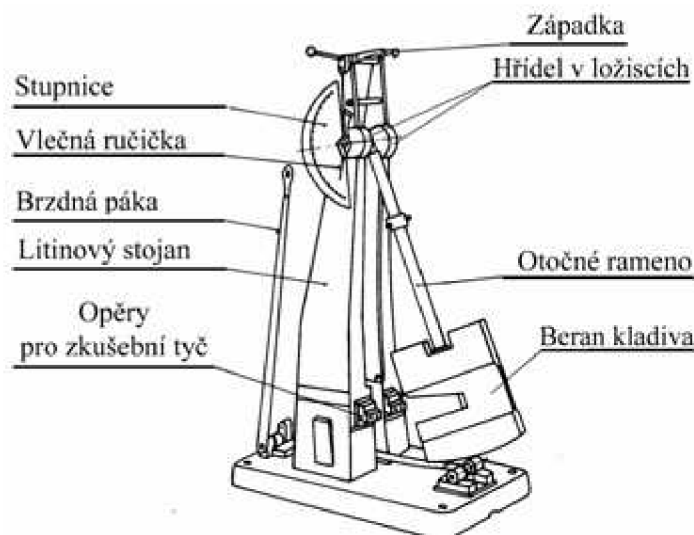
Dynamické zkoušky stavebních konstrukcí jsou prováděny za účelem kontroly dynamické funkce zkoušené konstrukce in situ a k prověření výsledků dynamických výpočtů. Pro vybuzení vynuceného kmitání nosných konstrukcí ve tvarech blízkých příslušným teoretickým vlastním tvarům kmitání používáme hydraulický budič kmitů. Odezva konstrukcí na vnášené dynamické zatěžování bývá sledována v podrobné síti měřicích bodů, ve kterých jsou monitorovány rychlosti kmitání nosné konstrukce ve zvolených směrech. [9]

#### 3.4.2.1 Zkoušky rázem v ohybu

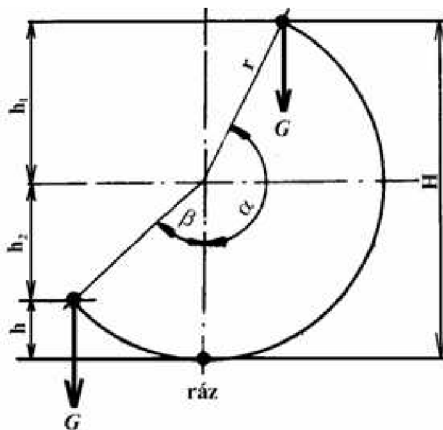
Dle ČSN EN 10045–1: Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho Část 1: Zkušební metoda (V a U vruby), ČSN EN 10045–2: Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho (Obr. 9)

Účelem dynamických zkoušek při rázovém namáhání je stanovení vlastností materiálu při působení dynamických sil. Zkoušky rázem v ohybu slouží k určení houževnatosti materiálu při rázovém namáhání. Měřítkem je práce v podobě energie spotřebované na porušení zkušebního tělesa. Účelem dynamických zkoušek při rázovém namáhání je stanovení vlastností materiálu při působení dynamických sil. Uskutečňují se buď v tahu, tlaku, ohybu a nebo kroucení. Nejvýznamnější je rázová zkouška v ohybu.

U zkoušky Charpyho kladivem (Obr.10) se spotřebovaná práce vztahuje na nejmenší průřez zkušební tyče (dle ČSN EN) v místě kde je vrub. Tato hodnota se nazývá nárazová práce dle normy (ČSN EN 10002)



Obr.9 : Charpyho kladivo pro zkoušky rázem v ohybu [17]



kde :

- H** je výchozí výška kladiva vzhledem ke zkušební tyči
- h** je konečná výška kladiva vzhledem ke zkušební tyči
- $\alpha$  je výchozí úhel kladiva
- $\beta$  je konečný úhel kladiva
- r** je poloměr kyvu břitu
- G** je tíha kladiva

Obr. 10 : Princip měření nárazové práce na Charpyho kyvadlovém kladivu [17]

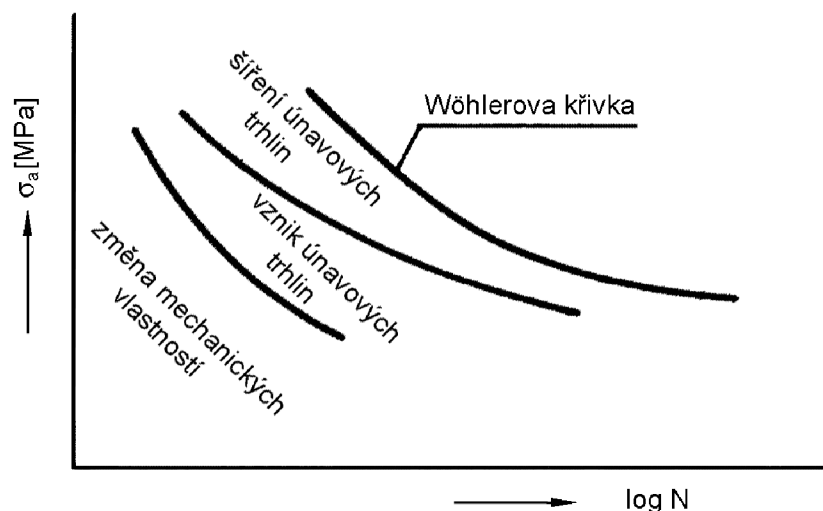
### 3.4.2.2 Zkoušky odolnosti materiálu z hlediska únavy

První popsané únavové lomy byly spojeny s vývojem konstrukcí, které obsahovaly součásti podrobené cyklickému namáhání (např. osy železničních vagónů, součásti parních strojů atd.) S ohledem na tyto provozní lomy byla snaha stanovit mechanické charakteristiky, které by umožnily výpočet cyklicky zatěžovaných součástí.

Pojmem únava označujeme problém vzniku a pomalý růst trhlin v materiálu (viz. Obr.11). Trhlina může v materiálu vzniknout a zvětšovat se i při napětích nižších než je mez kluzu nebo pevnost. Děje se to v případě kdy je zatěžování cyklické nebo pokud je materiál v korozním prostředí a následně korozi podlehne.

Existence únavy kovů je podmíněna a determinována cyklickou plastickou deformací. Na mezi únavy je bez ohledu na typ materiálu amplituda plastické deformace řádu  $10^{-5}$ ; jednosměrná, neopakovaná deformace tohoto řádu nevede prakticky k žádným makroskopickým změnám materiálu, ani ke změnám v jeho vlastnostech. Teprve mnohonásobné opakování plastické deformace, byť tak malé, že z hlediska běžného pojetí jde o zatěžování elastické, vede ke kumulativnímu poškozování, končícímu únavovým lomem. [ 18]

Zkoušky lze rozdělit do tří typu, a to zkoušky hydraulické, rezonanční a impulzivní.



Obr. 11: Stádia únavového procesu [18]



## **4 PRAKTICKÁ ČÁST**

### **4.1 Přehled ústavů**

Na úvod praktické části bych se rád věnoval smyslu této bakalářské práce. Jak už mi bylo původně zadáno, jedná se o přehled zkušebních strojů pro mechanické zkoušky materiálů a konstrukcí na FSI VUT v Brně.

Cílem této práce je vytvořit seznam zkušebních strojů pro mechanické zkoušky, dostupných na FSI. Přehled bude obsahovat hlavně technické parametry strojů či přístrojů, místo, kde se zkušební stroje nacházejí a možný kontakt na osoby, které mají zařízení v kompetenci. Hlavním úkolem této práce je zvýšení informovanosti o přístrojové vybavenosti v rámci VUT FSI.

Na celé Fakultě strojního inženýrství se nachází šestnáct ústavů. Z toho jsem okruh omezil jen na ty ústavy, kde je nejvyšší pravděpodobnost výskytu strojů pro mechanické zkoušky. Tím pádem jsem pro výzkum získal jedenáct ústavů, na které jsem se zaměřil. Ústav materiálových věd a inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Letecký ústav, Ústav strojírenské technologie, Ústav konstruování, Ústav fyzikálního inženýrství, Ústav metrologie a zkušebnictví, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, Energetický ústav, Ústav automobilního a dopravního inženýrství a Ústav procesního a ekologického inženýrství.

Výzkum probíhal v rámci každého ústavu individuálně, kontaktováním osoby jež má stroje v kompetenci, následnou konzultací o přístrojové vybavenosti a konečnou fotodokumentací. Na některých ústavech však přístrojovou vybavenosti pro mou práci nedisponují nebo se výzkumu nechtěli zúčastnit, takže jsem je do praktické části nezařadil.

### **4.2 Přehled zkušebních strojů na VUT FSI v Brně**

Na Fakultě strojního inženýrství se dá očekávat velké množství strojů na mechanické zkoušky materiálů a konstrukcí. Po konzultaci s vedoucím práce jsem zaměřil výzkum jen na ty pro tento účel nejvíce využívané. A to stroje na mechanické zkoušky v tahu, tlaku, ohybu a krutu, dále pak na stroje na mechanické zkoušky při cyklickém zatěžování a zkoušky rázem v ohybu. Z důvodu rozsahu bakalářské práce nebyli v práci uvedeny stroje pro zkoušky tvrdosti a povrchů.

#### **4.2.1 Stroje na mechanické zkoušky v tahu, tlaku, ohybu a krutu**

V této práci byly stroje na mechanické zkoušky v tahu, tlaku, ohybu a krutu zastoupeny s největší četností. Jednalo se jak o stroje jednoúčelové (pro jeden druh zkoušky), tak i stroje univerzální (různé metody zkoušek).

## Univerzální trhačí mechanický stroj ZDM 10 (Obr.11)

Technické parametry:

### ZDM 10

- maximální kapacita: 100 kN
- použitelné zatížení 20 kN, 50 kN, 100 kN
- grafický záznam: mechanicky na papír
- rozsah upínání: 700 mm
- pohyb: pomocí trapézového šroubu
- rychlost příčnicku: 5 – 30 mm/min
- systém měření síly: sklonová váha
- země původu: Německo

příslušenství :

- samostatné čelisti pro ploché, hladké či závitové tyče



Obr. 11: Univerzální trhačí mechanický stroj ZDM 10

odpovědná osoba: Ing. Josef Zapletal, B3/109

laboratoř: B3/109, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů

telefon: +420 54114 3466

## Univerzální trhačí mechanický stroj ZDM 5 (Obr. 12)

Technické parametry:

- maximální kapacita: 50 kN
- použitelné zatížení 10 kN, 25 kN, 50 kN
- grafický záznam: mechanicky na papír
- rozsah upínání: 700 mm
- pohyb: pomocí trapézového šroubu
- rychlost příčnicku: 5 – 30 mm/min
- systém měření síly: sklonová váha
- země původu: Německo

příslušenství :

- samostatné čelisti pro ploché, hladké či závitové tyče



Obr. 12: Univerzální trhačí mechanický stroj ZDM 5

odpovědná osoba: Ing. Josef Zapletal, B3/109

laboratoř: B3/109, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů

telefon: +420 54114 3466

## Univerzální trhací mechanický stroj ZDM 2,5 (Obr. 13)

Technické parametry:

- maximální kapacita: 25 kN
- použitelné zatížení 5 kN, 10 kN, 25kN
- grafický záznam: mechanicky na papír
- rozsah upínání: 700 mm
- pohyb: pomocí trapézového šroubu
- rychlost příčnicku: 5 – 30 mm/min
- systém měření síly: sklonová váha
- země původu: Německo

příslušenství :

- samostatné čelisti pro ploché, hladké či závitové tyče



Obr. 13: Univerzální trhací mechanický stroj ZDM 2,5

odpovědná osoba: Ing. Josef Zapletal, B3/109

laboratoř: B3/109, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů

telefon: +420 54114 3466

## Hydraulický univerzální trhací stroj ZD 20 (Obr. 14)

Technické parametry:

- maximální kapacita: 200 kN
- použitelné zatížení: 20 kN, 40 kN, 100 kN, 200 kN
- grafický záznam: F- dráha příčniku, mechanicky na papír (záznam je vztažen k tlaku oleje v prac. okruhu)
- rozsah upínání: dvouprostorové uspořádání – horní prostor: např. zkoušky tahem  
dolní prostor: např. 3 – 4 bodový ohyb
- pohyb: hydraulicky
- zdvih: max. 250 mm
- rok výroby: 1969
- země původu: Německo

použití: 3 bodové zkoušení lámavosti svaru



Obr. 14: Hydraulický univerzální trhací stroj ZD 20

odpovědná osoba: Ing. Josef Zapletal, B3/109  
laboratoř: B3/109, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů  
telefon: +420 54114 3466

## Hydraulický univerzální trhací stroj HECKERT EU40 1982 (Obr. 15)

Technické parametry:

- maximální kapacita: 400 kN
- použitelné zatížení: 20 kN, 40 kN, 100 kN, 200 kN, 400 kN
- grafický záznam: F – dráha příčnicku, elektronicky – jde nastavit zvětšení osy x – dráhy příčnicku 1, 2, 4, 10, 20
- rozsah upínání: 600 mm
- pohyb: hydraulicky
- rok výroby: 1982
- země původu: Německo

příslušenství :

- speciální upínače pro tah řetězů, lan a dalších spojovacích prvků



Obr. 15: Hydraulický univerzální trhací stroj HECKERT EU40

odpovědná osoba: Ing. Josef Zapletal, B3/109

laboratoř: B3/109, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů

telefon: +420 54114 3466



## Mechanický zkušební stroj ZD 40 (Obr. 16)

Technické parametry:

- maximální kapacita: 400 kN
- grafický záznam: elektronicky na počítači
- rozsah upínání: dvouprostorové uspořádání – horní prostor: např. zkoušky tahem  
dolní prostor: např. 3 – 4 bodový ohyb
- pohyb: hydraulicky
- země původu: Německo

příslušenství :

- délkový snímač polohy s rozlišením 0.01 mm
- snímač síly s řídicí jednotkou EDC 60 ( třída přesnosti 1 =  $\pm 1\%$ )
- software M – TEST v.1.7 – vyhodnocení zkoušek (tah / tlak. a ohyb)



Obr. 16: Mechanický zkušební stroj ZD 40

odpovědná osoba: : Ing. Kamil Podaný, Ph.D, A1/1630

laboratoř: C1/206, Ústav strojírenské technologie – Odbor technologie tváření kovů a plastů  
telefon: +420 54114 2637

### Elektromechanický univerzální zkušební stroj ZWICK 1486/0 (Obr. 17)

Technické parametry:

- maximální kapacita: 100 kN
- použitelné zatížení: 2 kN, 5 kN, 10 kN, 20 kN, 50 kN, 100 kN
- grafický záznam: F – siloměrná tenzometrická hlava, mechanicky na papír nebo x – y zapisovač
- rozsah upínání: 1200 mm
- pohyb: dvojicí trapézových šroubů
- rychlost příčniku: 0,025 – 500 mm/min (podle elektrického voliče a nebo podle zařazeného stupně – až 12 stupňů)
- rok výroby: 1986
- země původu: Německo



Obr. 17: Elektromechanický univerzální zkušební stroj ZWICK 1486/0

Technické parametry pícky HERAEUS (Obr.18)

- výška: 380 mm
- průměr: 80 mm (vnitřní)
- táhla: žárupevná táhla a upínače
- pracovní teplota: 20 – 1000 °C, testy za zvýšených teplot, možnost až pěti termočlánků (Ni – Cr)

použití:

tah/tlak/ohyb, 3 – 4 bodový ohyb, zkoušky tahem za zvýšených a snížených teplot



příslušenství :

- diferenciální pákový extenzometr (indukční - měření polohy příčnicku) – 1- 20 mm zesílení citlivosti,
- diferenciální indukční extenzometr – pro snímání deformace ze vzorku v pícce – 0,05 – 1 mm zesílení,
- kryostat (Obr. 19) - kryogenní chlazení pomocí tekutého dusíku ( -196 °C), páry uchováváme v Dewarově nádobě obr., ochlazovače pro válcová zkušební tělesa



Obr. 18: Vysokoteplotní otvírací 3 zónová pírka HERAEUS



## Obr. 19: Kryostat

odpovědná osoba: Ing. Josef Zapletal, B3/109

laboratoř: B3/109, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů

telefon: +420 54114 3466

**Elektrický univerzální zkušební stroj TIRA TEST 2300 (Obr. 20)**

Technické parametry:

- maximální kapacita: 100 kN
- použitelné zatížení: siloměrných hlav – 1 kN, 10 kN, 100 kN
- grafický záznam: řízen a kontrolován PC
- rozsah upínání: dvouprostorové uspořádání – horní prostor: např. zkoušky tahem  
dolní prostor: např. 3 – 4 bodový ohyb
- pohyb příčnicku: optický inkrementální snímač – snímání polohy, tenzometrický extenzometr MINI MFA 2 – měření deformace s rozsahem  $L_0 = 30$  mm a 50 mm, zdvihem  $\Delta L = 2$  mm a citlivostí 1  $\mu\text{m}$
- rychlost příčnicku: 0,025 – 500 mm/min (podle elektrického voliče a nebo podle zařazeného stupně – až 12 stupňů)
- země původu: Německo

použití : základní mechanické zkoušky jako jsou například zkoušky tahem ohyb při pokojové, snížené a nebo zvýšené teplotě

příslušenství :

- ovládací software LabTest v.3 – zpracovává výsledky měření
- vysokoteplotní 3 zónová pírka (Obr. 21) – zkoušky za zvýšených teplot
- upínače a samosvorné čelisti M6 – M18: upínání hladkých, plochých a válcových zkušebních tyčí



Obr. 20: Elektrický univerzální zkušební stroj TIRA TEST 2300

Technické parametry vysokoteplotní pícky:

- výška: 280 mm
- průměr: 70 mm (vnitřní)
- táhla: naimonil (žárupevná táhla a upínače)
- pracovní teplota: 20 – 1000 °C, řídí termočlánek (Ni – Cr)

příslušenství :

- regulátor EURO THERM 847 – řídí (Ni-Cr) termočlánek v peci 20 – 1000 °C
- diferenciální indukční snímač DDA50 – měření deformace  $L_0 = 20 - 100$  mm,  $\Delta L = 50$  mm



Obr. 21 Vysokoteplotní pícka

odpovědná osoba: Ing. Josef Zapletal, B3/109

laboratoř: B3/109, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů

telefon: +420 54114 3466

## ZWICK Z 020-TND (Obr. 22)

Technické parametry:

- maximální kapacita: 20 kN
- použitelné zatížení: siloměrné hlavy - 100 N, 2.5 kN, 20 kN
- grafický záznam: řízen a kontrolován PC, synchronizovaný záznam zkušební křivky na kameru
- rozsah upínání: 800 mm, dvouprostorové uspořádání
- pohyb příčnicku: hydraulicky
- rychlost torzní hlavy: max 750 mm . min<sup>-1</sup>
- země původu: Německo

příslušenství :

- snímač MULTISENS – snímá prodloužení s přesností 0.1  $\mu\text{m}$  a následně vyhodnocuje na PC
- torzní hlava – krouťící moment 20 N.m
- teplotní komora: - 60°C až + 250°C
- upínací čelisti a hlavy pro torzní zkoušky
- mikroprůtahoměr: měření podélného přetvoření max. 2mm

použití: tahové zkoušky, biomechanické zkoušky



Obr. 22: ZWICK Z 020-TND

odpovědná osoba: Ing. Tomáš Návrat, Ph.D., A2/609  
laboratoř: B1/105, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky,  
telefon: +420 54114 2861

#### 4.2.2 Stroje na mechanické zkoušky únavy

##### INSTRON FAST TRACK 8801 (Obr. 23)

Technické parametry:

- maximální kapacita: 100 kN
- použitelné zatížení: siloměrné hlavy - 100 N, 2.5 kN, 20 kN
- grafický záznam: na počítači pomocí speciálního programu
- rozsah upínání: 1260 mm, celkový zdvih 75 mm
- pohyb příčnicku: hydraulicky
- zatěžování: hydraulicky

příslušenství :

- dynamický extenzometr: pro přímé řízení a kontrolu deformace zkušebního vzorku ( $l_0$ ) 12.5 mm, 25 mm a 50 mm.  $\Delta l = 5$  mm, citlivost  $0.5 \mu m$
- digitální měřící a servoregulační elektronika: pro měření a řízení síly, polohy pístnice a snímač deformace. Obnovovací frekvence smyčky min. 5kHz, rozlišovací schopnost min 16 bitů.
- torzní hlava – kroučící moment 20 N.m
- teplotní komora: - 60°C až + 250°C
- upínací čelisti a hlavy pro torzní zkoušky
- mikroprůtahoměr: měření podélného přetvoření max. 2mm
- země původu: Anglie
- rok výroby: 2006

použití: tahové testy, nízkocyklové, vysokocyklové a speciální únavové zkoušky kovových materiálů.





Obr. 23: INSTRON FAST TRACK 8801

odpovědná osoba: Ing. Josef Zapletal, B3/109

laboratoř: B3/109, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů

telefon: +420 54114 346

**Vysokofrekvenční rezonanční pulzátor Amsler 10 HFP 1478 (Obr. 24)**

Technické parametry:

- rozsah teplot zkoušek: - 190 až + 800 °C
- max. statická síla  $\pm 100$  kN
- max. dynamická síla  $\pm 50$  kN
- rychlost zatěžování: 21 kN/s
- max. amplituda dynamického protažení vzorku 1, 25 mm
- pracovní frekvence 50 – 300 Hz
- grafický záznam: na počítači pomocí speciálního programu
- rozsah upínání: max. 540 mm
- pohyb příčnicku: hydraulicky
- výška: 3210 mm
- země původu: Německo

použití : pro únavové zkoušky kovových materiálů ve vysokocyklové oblasti. Umožňuje stanovit Wöhlerovi křivky při zatěžování symetrickým cyklem tah – tlak.

příslušenství :

- potenciometry: slouží ke korekci frekvence a váhy příslušenství, které se dává na spodní část upínací čelisti. Mění amplitudu napětí pro lepší citlivost automatického provozu



Obr. 24: Rezonanční pulzátor Amsler 10 HFP 1478

odpovědná osoba: Ing. Josef Zapletal, B3/109  
laboratoř: B3/109, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů  
telefon: +420 54114 3466

### Rezonanční zkušební stroj RUMUL CRACKTRONIC 8204 (Obr. 25)

Technické parametry:

- dynamický ohybový moment: 7.00 kN.cm ( $\pm 3.5$  kN.cm)
- statický ohybový moment: 3.5 kN.cm
- úhel oscilace:  $2^\circ$  ( $\pm 1^\circ$ )
- max. rozměr vzorku: 10 x 15 mm
- vzdálenost mezi uchycením: 20 mm
- generace ohybového momentu: kulové šroubové vřeteno (moment lze měnit ručně)

rozměry:

- stroj: 220 x 370 x 160 mm
- váha: 30 kp
- řídicí panel: 500 x 360 x 330 mm
- váha 25 kp

použití:

- únavové testy /S / N – schémata
- únavový růst trhlin /da / dN –křivek



Obr. 25: 7,0 kN.cm rezonanční zkušební stroj RUMUL CRACKTRONIC 8204

odpovědná osoba: doc. Ing. Pavel Mazal, CSc., A2/420  
laboratoř: P1/110, Ústav konstruování  
telefon: +420 54114 3229

## Rezonanční zkušební stroj RUMUL CRACKTRONIC 8204 (Obr. 26)

Technické parametry:

- dynamický ohybový moment: 160 N.m ( $\pm 80$  N.m)
- statický ohybový moment: max. 100 N.m
- max. moment: 160 N.m
- úhel oscilace:  $2^\circ$  ( $\pm 1^\circ$ )
- max. rozměr vzorku: 24 x 12 mm
- generace ohybového momentu: kulové šroubové vřeteno (moment lze měnit ručně)

rozměry:

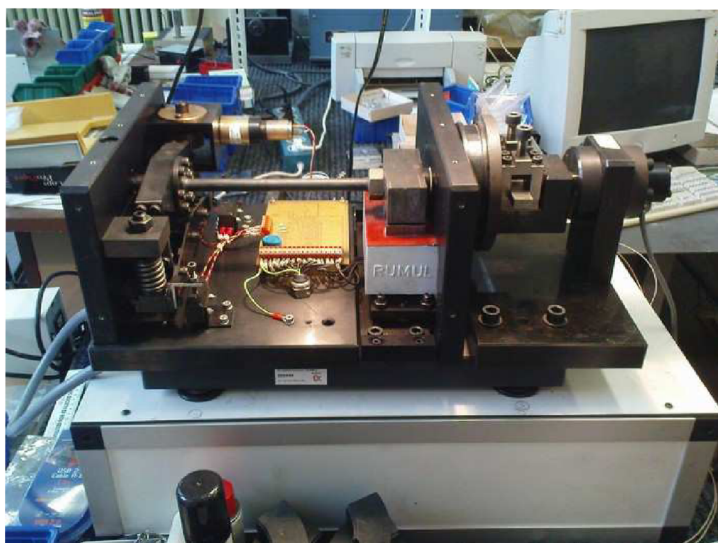
- stroj: 600 x 350 x 230 mm
- váha: 60 kg
- řídicí panel: 500 x 360 x 330 mm
- váha 25 kg

použití:

- únavové testy /S / N – schémata
- únavový růst trhlin /da / dN -křivek

seznam doplňkových modulů (volitelné):

- čistého ohybu 70 N.m
- čistého ohybu 160 N.m
- zatížení krutem 160 N.m
- zatížení napětím (CT – vzor)





Obr. 26: 160 N.m rezonanční zkušební stroj RUMUL CRACKTRONIC 8204

odpovědná osoba: doc. Ing. Pavel Mazal, CSc., A2/420

laboratoř: P1/110, Ústav konstruování

telefon: +420 54114 322

### MZGS-100 (Obr. 27)

Technické parametry:

- statický ohybový moment: max. 60 N.m
- max. moment: 80 N.m
- rozsah kombinací momentů (krouticí/ ohybový):  $\alpha = \arctg M_s/M_g$ : 0 až  $\pi/2$
- pracovní frekvence: 29 Hz
- stabilizace pracovní frekvence: <1 %
- země původu: Polsko

použití:

- zkoušky pevnosti materiálu vystavených kombinovanému cyklickému namáhání v ohybu a krutu



Obr.27: 60 N.m únavový stroj MZGS-100

odpovědná osoba: prof. RNDr. Jaroslav Pokluda, CSc., A5/507  
laboratoř: A2/1.patro, Ústav fyzikálního inženýrství,  
telefon: +420 54114 2827

**MZGS-200L (Obr. 28)**

Technické parametry:

- statický ohybový moment: max. 20 N.m
- max. moment: 20 N.m
- rozsah kombinací momentů (kroucí/ ohybový):  $\alpha = \arctg M_s/M_g$ : 0 až  $\pi/2$
- pracovní frekvence: 50 Hz
- stabilizace pracovní frekvence: <1 %
- země původu: Polsko

použití:

- k testování materiálu konstrukcí zatěžovaných v kombinaci ohybového a kroucího momentu



Obr. 28: 20 N.m únavový stroj MZGS-200L

odpovědná osoba: prof. RNDr. Jaroslav Pokluda, CSc., A5/507  
laboratoř: A2/1.patro, Ústav fyzikálního inženýrství,  
telefon: +420 54114 2827

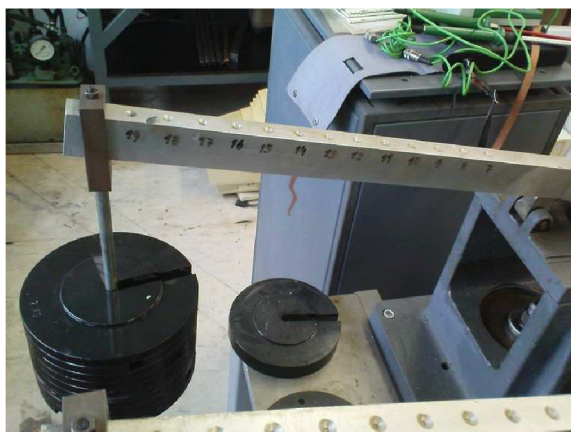
### 4.2.3 Stroje na mechanické zkoušky kontaktní únavy

#### AX - MAT (Obr. 29)

Jedná se o upravený čtyř kuličkový zkušební stroj, který je schopen zkoušet různé kombinace kroužků axiálních ložisek, kuliček i zkušebních kroužků. Polovina uzlu je tvořena kroužkem axiálního ložiska (u realizovaných AXMATových zkoušek je to ložisko 51102), kuličkami ( $\varnothing 3,175$ , 21ks) a kroužkem zkoušeného materiálu. Kombinací závaží (viz. Obr. 30) a jejich umístění na páce lze dosáhnout toho, že kontaktní napětí zde může ležet v rozpětí 2000 až 6000 MPa[3]



Obr. 29: AX - MAT



Obr. 30: Rameno AX – MATu pro volbu zatížení

odpovědná osoba: Ing. Jiří Dvořáček, A2/404  
laboratoř: P1/112, Ústav konstruování  
telefon: +420 54114 3260

### R-MAT2 (Obr. 31)

Jedná se o přístroj na modelové zkoušky kontaktní únavy, který byl sestrojen na VÚVL a rekonstruován na Ústavu konstruování VUT FSI Brno. Zkušební zařízení pracuje na následujícím principu, kdy mezi dvěma kotouči, které mají stejné obvodové zaoblení se odvaluje cylindrický zkušební vzorek. Vzorek je mezi kotouči zároveň stlačován určitým zatížením (viz. Obr. 32). Soustava pracuje jako třecí převod do rychla, protože je poháněn přítlačný kotouč pevného vřeteníku. Geometrie stykových ploch vzorku a kotoučů je zvolena tak, aby bylo dosaženo kruhové stykové plochy při výpočtu dle Hertze. Pohyblivý vřeteník s druhým přítlačným kotoučem je přítlačován na vzorek závažím pomocí lankového převodu.

Vzorek je umístěn ve výkyvné vidlici, na které je zároveň upevněn piezoelektrický snímač vibrací. Ten při vzniku pittingu na vzorku nebo na kotouči vydává signál k zastavení stroje. [3]





Obr. 32: Detail uložení vzorku

odpovědná osoba: Ing. Jiří Dvořáček, A2/404

laboratoř: P1/112, Ústav konstruování

telefon: +420 54114 3260

#### 4.2.4 Stroje na mechanické zkoušky rázem v ohybu

##### Instrumentované Charpyho kladivo PSW 300 E MFL (Obr. 33)

Technické parametry:

- max. nárazová práce: 300 J
- rychlost dopadu: při 300 J – 5,42 m. s<sup>-1</sup>
- zdvih beranu: hydraulicky
- určení nárazové práce: elektronicky

příslušenství:

- instrumentovaný břit s tenzometry – snímá průběh síly na čase
- indukční snímač polohy beranu- snímá polohu beranu v závislosti na čase

použití:

- k testování lomových charakteristik materiálu



Obr. 33: Kladivo PSW 300 E MFL

Obr. 34 Beran s indukčními snímači polohy

odpovědná osoba: Ing. Karel Němec, Ph. D., A3/205

laboratoř: A3/311, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů

telefon: +42054114 3145

### Charpyho kladivo PSd 300/150 (Obr. 35)

Technické parametry:

- délka: 1,9 m
- výška: 0,75 m
- šířka: 2,05 m
- váha: 700 kg
- max. úhel: 160 °C
- nastavitelná nárazová práce: 60 až 300 J nebo 30 až 150 J
- délka ramena kladiva: 790 mm
- rychlost při dopadu: při nárazové práci 300 J - 5,5 m·s<sup>-1</sup>
- zdvih beranu: hydraulicky
- určení nárazové práce: elektronicky

použití:

- k testování lomových charakteristik materiálu



odpovědná osoba: Ing. Karel Němec, Ph. D., A3/205  
laboratoř: A3/311, Ústav materiálových věd a inženýrství, Odbor kovových materiálů  
telefon: +42054114 3145

## **5 ANALÝZA A ZHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH POZNATKŮ**

Na začátku bakalářské práce jsem si nebyl jistý jak toto téma pojmout. Fakulta je velká a ústavů je mnoho. Snažil jsem se držet smyslu mé práce. A to zmapovat na fakultě strojního inženýrství všechny dostupné stroje na mechanické zkoušky materiálů a konstrukcí. Jak už to ve velkých komplexech bývá, nachází se na fakultě spousta strojů pro mechanické zkoušky o kterých ví jen pár osob, které s daným zařízením pracuje. Když jsem se zamýšlel nad tím co bych od takové práce očekával já, došlo mi že by přece bylo k užítku, kdyby existoval nějaký seznam či katalog ať už v tištěné nebo elektrické podobě, kam by bylo možné nahlédnout. Například když bych dělal specifický test a hledal bych ten nejvhodnější stoj pro danou zkoušku. Myslím si, že by bylo dobré vědět kde a u koho je možné stroj najít. Dalším pozitivním faktorem může být předávání zkušeností dalším osobám, které budou mít možnost se zařízením pracovat. V analýze jsem si dovilil pár názorů k vybavení laboratoří stroji na mechanické zkoušky materiálů.

### ***5.1 Hydraulické stroje pro zkoušky tahem, tlakem, ohybem a krutem***

#### **5.1.1 Výhody**

Ve větší míře jsou stroje vybaveny připojením k počítači, což usnadňuje, zpřehledňuje a hlavně zefektivňuje průběh zkoušky.

#### **5.1.2 Nevýhody**

Na fakultě je stále několik starých strojů, které spíše slouží k výuce a instruktáži mechanických zkoušek. U těchto strojů je většinou složitější měření daných vlastností při zkoušce a v dnešní době je tento způsob měření neefektivní. Např. stroje ZDM 10; 5; 2,5 nesplňují podmínky meze kluzu podle normy ČSN EN 10002 – 1.

### ***5.2 Stroje na mechanické zkoušky nízkocyklovou a vysokocyklovou a kontaktní únavou***

#### **5.2.1 Výhody**

Jednoduchá manipulace a měření daných veličin. Široká škála možností testování vzorku.

### **5.2.2 Nevýhody**

Jedinou nevýhodou, kterou jsem zaznamenal u těchto strojů může být vyhodnocování výsledků měření. Např. u zkušebních strojů AX – MAT a R – MAT2 je potřeba využití specifických tabulek.

## **5.3 Stroje na mechanické zkoušky rázem v ohybu**

### **5.2.1 Výhody**

Rychlá a velmi přená metoda měření nárazové práce. Vše je zaznamenáváno na počítač a dále elektronicky vyhodnocováno.

### **5.2.2 Nevýhody**

Snad jediná nevýhoda je, že jsem při své práci jiná kladiva na mechanické zkoušky rázem v ohybu na FSI nenašel.



## 6 ZÁVĚR

Vytvoření seznamu zkušebních strojů pro mechanické zkoušky dostupných na FSI proběhl úspěšně

Bylo dost pravděpodobné, že to bude zajímavý úkol, protože bylo vždy nutné zkontaktovat kompetentní osobu. Najít vhodný čas pro konzultaci a dokumentaci daného stroje. V průběhu práce jsem se setkal jak s pozitivním tak negativním přístupem, ale to jsem očekával. Zajímavé bylo, že na počátku výzkumu jsem si říkal jaké kvantum strojů a zařízení bude bakalářská práce obsahovat. Jak už jsem uváděl v úvodu praktické části postupem času jsem zjišťoval, že na ústavech kde bych očekával nějaký stroj na mechanické zkoušky, žádný takový nemají.

Myslím si, ale že vybavenost fakulty je více než dostačující a byl jsem překvapený, že zde jsou i tak kvalitní stroje jako například INSTRON 8801.

Proto bych chtěl poděkovat všem, kteří si našli čas a poskytli potřebné informace a rady k tématu mé bakalářské práce.

## LITERATURA

- [1] VELES, P. : Mechanické vlastnosti a skúšanie kovou. Praha, SNTL 1985
- [2] HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH, Jan. *Strojírenská technologie 1. Díl 1, Nauka o materiálu [Hluchý, Miroslav, 3.]*. 3. přeprac. vyd. Praha : Scientia, 2002. 266 s. ISBN 80-7183-262-6.
- [3] KEJDA, Petr. *Výzkum faktorů ovlivňujících trvanlivost valivých kontaktů*. [s.l.], 2003. 27 s. Vedoucí dizertační práce Doc. Ing. Dušan Kolář, CSc. Dostupný z WWW: <[http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz\\_soubor.php?id=485](http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=485)>.
- [4] ČSN EN 10002 - 1 Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za okolní teploty (vydána 1.2.2002)
- [5] ČSN EN 10002 - 5 Kovové materiály – Zkouška tahem – Část 5: Zkouška tahem za zvýšené teploty (vydána 1.7.1998)
- [6] Ptáček, L. a kolektiv: *Nauka o materiálu I*, Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2001, ISBN 80-7204-193-2
- [7] JAREŠ V.: Základní zkoušky kovů a jejich teorie, Praha 1966

## World Wide Web

- [8] TEMPOS. *Http://www.tempos.cz* [online]. c2002-2007 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <[http://www.tempos.cz/detail\\_view\\_cs.php?lng=cs&id=4](http://www.tempos.cz/detail_view_cs.php?lng=cs&id=4)>.
- [9] INSET. *Http://www.inset.com* [online]. 2003 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.inset.com/dynamika-konstrukci.php>>.
- [10] ATEAM. *Http://www.ateam.zcu.cz* [online]. 2004 [cit. 2009-05-19]. Dostupný z WWW: <[www.ateam.zcu.cz/mechanicke\\_vlastnosti.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/mechanicke_vlastnosti.pdf)>.
- [11] Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. *http://www.vscht.cz* [online]. 2002 [cit. 2009-05-23]. Dostupný z WWW: <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_mechanicke\\_zkouseni/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_mechanicke_zkouseni/teorie.htm)>.
- [12] Jihočeská univerzita. *eamos.pf.jcu.cz* [online]. 2002-2009 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW:

<amos.pf.jcu.cz/amos/kat\_tech/externi/kat\_tech\_2146/2.1.1\_staticka\_zkouska\_tahem.doc>.

[13] *Http://www.kmpkm.po.opole.pl* [online]. 2007 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.kmpkm.po.opole.pl/img/laboratory/ach01.jpg>>.

[14] *Http://www.kmpkm.po.opole.pl* [online]. 2007 [cit. 2009-05-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.kmpkm.po.opole.pl/img/laboratory/ach04.jpg>>. mzgs200

[15] Zkouška tahem [online]. 2006 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/zmv/ZKOUSKA%20TAHEM.doc>>

[16] Zkoušení materiálů a výrobků [online]. 2006 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/zmv/Index.html>>

[17] Zkouška rázem v ohybu [online]. 2006 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/zmv/ZKOUSKA%20RAZEM%20V%20OHYBU.doc>>

[18] Únava kovových materiálů [online]. 2006 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/ukm/Unava%20kovovych%20materialu.doc>>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<b>Značka</b>	<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>
$A$	Tažnost	[%]
$E$	Modul pružnosti v tahu	N/mm <sup>2</sup> =MPa
$F_m$	Maximální síla	N
$K$	Nárazová práce	J
$L_u$	Délka vzorku po zkoušce	[mm]
$\Delta L$	Prodloužení	[mm]
$L_0$	Počáteční paralelní délka vzorku	[mm]
$M_o$	Ohybový moment	N/mm
$R_{mt}$	Mez pevnosti v tlaku	[Mpa]
$R_{et}$	Mez kluzu v tlaku	[Mpa]
$R_{mo}$	Mez pevnosti v ohybu	[Mpa]
$R_m$	* Smluvní mez pevnosti	[Mpa]
$S_u$	Průřez vzorku po zkoušce	[mm <sup>2</sup> ]
$S_0$	Počáteční průřez vzorku	[mm <sup>2</sup> ]
$\varnothing d$	Průměr	[mm]
$h$	Výška	[mm]
$l$	Délka	[mm]
$\Delta l$	Změna délky	[mm]
$l_0$	Původní délka	[mm]
$y$	Průhyb	[mm]
$\varepsilon$	Poměrné prodloužení	[-]
$\sigma_{Pt}$	Pevnost v tahu	N/mm <sup>2</sup> =MPa
$\sigma_{Kt}$	Pevnost kluzu v tahu	N/mm <sup>2</sup> =MPa
$\sigma_{Po}$	Pevnost v ohybu	N/mm <sup>2</sup> =MPa
$\sigma_E$	Mez pružnosti	N/mm <sup>2</sup> =MPa
$\sigma_d$	Pevnost v tlaku	N/mm <sup>2</sup> =MPa

