



Česká metrologická společnost, z.s.

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

Metodika provozního měření

MPM 2.4.1/02/18

**METODIKA MĚŘENÍ TRHACÍMI STROJI VE
STROJÍRENSTVÍ**

Praha

Říjen 2018

Vzorový metodický postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2018
Číslo úkolu: VII/3/18

Zadavatel: Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

Řešitel: Česká metrologická společnost, z.s.

© ÚNMZ, ČMS

Neprodejné: Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

1 Předmět metodiky

Tento metodický postup popisuje základní metody testování materiálu prováděných na trhacích strojích. Nejdůležitější a nejvíce využívá je zkouška tahem za okolní teploty. Zkoušek, pro které lze využít trhací zkušební stroj, je ale mnohem více. Zkoušky dělíme do dvou hlavních kategorií.

a) Zkoušky statické

mezi které řadíme již zmíněné zkoušky tahem a tlakem, ale také ohybem, stříhem a krutem. Síla během zkoušky konstantně narůstá až do porušení testovaného dílu, nebo do dosažení předem nastavených parametrů testu, anebo do dosažení limitů testovacího stroje.

b) Zkoušky dynamické

mezi které řadíme zkoušky rázové a únavové. Síla působí opakovaně, nebo rázově.

Zkouška tahem je nejčastěji prováděná zkouška spolu se zkouškami měření tvrdosti a vrubové houževnatosti. Zkoušku tahem používáme k zjištění základní mechanických vlastností materiálu, kterými jsou mez pevnosti R_m , mez kluzu R_e , modul pružnosti E , tažnost A a kontrakce Z .

Jmenované zkoušky patří pouze mezi ty základní. Rozsah zkoušek, které lze provádět na trhacích strojích je skutečně široký. Zkoušet je možné prakticky cokoli od kovových materiálů po kompozity, od plných materiálů po složité profily či hotové výrobky, od svarů po vícečlenné spoje atd.

2 Související normy a metrologické předpisy

Výběr norem pro zkoušku tahem:

ČSN EN ISO 6892-1	Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty	[L1]
ČSN EN ISO 6892-2	Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 2: Zkušební metoda za zvýšené teploty	[L2]
ASTM A370 - 14	Kovové materiály – zkouška tahem Zkušební metoda za pokojové teploty	[L3]
ASTM E21	Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 2: Zkušební metoda za zvýšené teplot	[L4]

Výběr norem pro zkoušku tlakem:

ČSN EN 24506	Tvrdokovy. Zkouška tlakem (ISO 4506:1979)	[L5]
ČSN EN ISO 604	Plasty - Stanovení tlakových vlastností	[L6]

Výběr z norem zkoušek prováděných na trhacím stroji:

ČSN EN ISO 7438	Kovové materiály - Zkouška ohybem	[L7]
ČSN EN ISO 9017	Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkouška rozlomením	[L8]
ČSN EN 28749	Spojovací součásti. Kolíky a rýhované kolíky. Zkouška stříhem (ISO 8749:1986)	[L9]
ČSN EN ISO 8495	Kovové materiály - Trubky - Zkouška rozšiřováním prstence	[L10]
ČSN ISO 10113	Kovové materiály - Plechy a pásy - Stanovení součinitele plastické anizotropie	[L11]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření na trhacích strojích je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s metodickým postupem upraveným na konkrétní podmínky daného pracoviště provádějícího měření a případnými (interními) souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o interním zaškolení, o absolvování odborného kurzu, v krajním případě certifikátem odborné způsobilosti. Úroveň školení závisí na zařazení pracovníka a důležitosti prováděné měřicí operace.

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2).

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

5.1 Trhací stroj

Trhací stroje jsou jedno nebo více sloupové. Kapacita zařízení je různá od několika kilogramů po desítky tun. Stroje jsou převážně jednoosé, ale existují i víceosé varianty pro komplexnější zatěžování testovaného dílu. Síla je zaznamenávána pomocí siloměru, který musí být v pravidelných intervalech kalibrován.

5.2 Pomocná měřicí zařízení

Průtahoměry

Průtahoměr je zařízení měřící deformaci zkoušeného dílu během probíhajícího testu. Nejčastěji měříme prodloužení a kontrakci. Díky průtahoměrům můžeme také přesněji

měřit mez kluzu a modul pružnosti. Průtahoměry se dělí podle způsobu měření deformace na mechanické, laserové a optické a podle možnosti aplikace pro různé typy prostředí (pokojová teplota, zvýšená teplota, chemicky upravené prostředí aj.). Rozdíly jsou také v přesnosti a v rozsahu deformací, které je průtahoměr schopen zaznamenat. Volba konkrétního typu průtahoměru má zásadní vliv na celkovou využitelnost zkušebního stroje i na jeho celkovou cenu.

Pece, klimatické komory

Speciální pece používáme pro zkoušky za zvýšené teploty. Klimatické komory pak využíváme v případech, kdy je potřeba testovat materiál ve specifických atmosférách (korozní prostředí, sirná atmosféra aj.) případně za snížených teplot.

Posuvná měřítka

Posuvná měřítka používáme před a po zkoušce k proměření testovaného dílu.

6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření.

Teplota - s rostoucí teplotou materiálu se mění mechanické vlastnosti materiálu.

7 Meze použití zkoušky.

Využití trhacích strojů je velice široké. Bez nadsázky se dá říci, že jde o nejuniverzálnější zkušební zařízení pro testování mechanických vlastností. Meze použití zkušebního zařízení vyplývají pouze z limitů a rozsahu výbavy daného trhacího stroje.

Na jaké meze můžeme narazit:

- materiál je příliš pevný a kapacita stroje není dostačující,
- materiál je příliš tvárný a rozsah pracovního prostoru není dostačující,
- stroj nemá dostatečnou kapacitu na přetržení vzorku,
- součást je komplikovaná (prostorově složitá, křehká, atd.) a není ji proto možné upnout do čelistí zkušebního stroje,
- nerealizovatelný požadavek na specifický způsob zatížení testovaného kusu (mimo osu zatěžování, aj.).

8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

Aby byla zaručena správnost naměřených hodnot je nutné každou nezávislou část systému pravidelně kontrolovat. Pravidelně kontrolujeme a kalibrujeme správnou funkčnost siloměru, průtahoměru, pece (kalibrace termočlánků), případně klimatické komory.

Na výsledku zkoušky se výrazně podílí i počáteční proměření vzorku. Proto je třeba pravidelně kalibrovat i posuvná měřítka, stejně tak jako moderní optické systémy pro automatické proměřování a zakládání vzorků.

Zkoušené těleso zbavíme všech nečistot. Je-li to potřeba, vzorek nesmyvatelně označíme (např.: počáteční měřenou délkou L_0). Zkoušené těleso upneme. Při upínání dáváme pozor, aby nedošlo k poškození vzorku v místě uchycení (Příliš velká síla na upnutí). Příliš malá upínací síla může naopak vést k prokluzování vzorku během zkoušky. Zkušební těleso musí být upnuté tak, aby testovací síla působila v ose vzorku.

Měřidlo nebo zkušební zařízení, které vykazuje nedostatky, nelze dále k měření používat

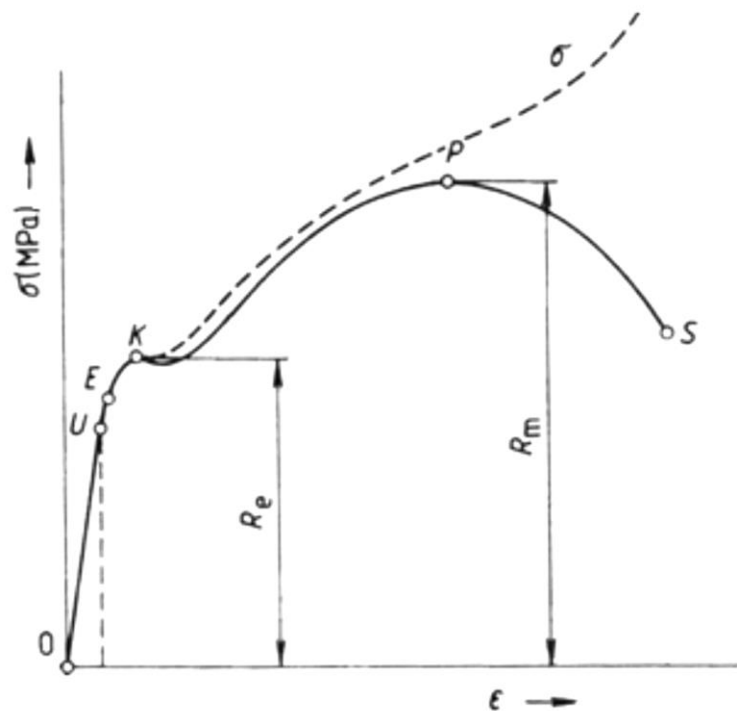
9 Postup měření

Zkouška tahem za pokojové teploty

Zkušební těleso je zatěžováno tahovou silou obvykle do porušení. Není-li uvedeno jinak, probíhá zkouška v rozmezí teplot 10°C až 35°C.

Zkušební tělesa

Zkušební těleso volíme podle množství dostupného materiálu a podle tvaru a rozměrů testovaného dílu. Typy zkušebních těles a jejich použití uvádí norma pro zkoušku tahem [L1]. Material pro výrobu zkušebních těles odebíráme s ohledem na zachování materiálových vlastností. Pozor je třeba dávat zejména na tepelné ovlivnění materiálu (řezání plamenem aj.). Těleso upínáme do stroje tak, aby zatížení působilo pouze v ose zkušební tělesa.



Obr. č. 1: Smluvní a skutečný diagram tahového napětí

Plná čára – **smluvní diagram**. Křivka závislosti síly na neměnném počátečním průřezu S_0 . Ve strojírenství používáme téměř výhradně diagram smluvní.

Čárkovaná čára – **skutečný diagram**. Křivka závislosti síly na skutečném aktuálním průřezu během zkoušky. Ve strojírenství používáme téměř výhradně diagram smluvní.

U – Mez úměrnosti.

V tomto bodě končí lineární část grafu. Deformace materiálu je zcela vratná – materiál je pružný.

E – Mez pružnosti.

Deformace již není lineární. Do tohoto bodu je deformace stále zcela vratná – materiál je pružný. Z bezpečnostních důvodů se strojní součásti dimenzují tak, aby pracovaly pouze v oblasti pružných (neboli vratných) deformací. Z tohoto pohledu nás zajímá především tzv. modul pružnosti E , který je závislý na konkrétním materiálu. (Př.: $E(\text{ocel}) = 2,10 \cdot 10^5$, $E(\text{olovo}) = 0,16 \cdot 10^5$)

$$E = \text{tga} = \sigma_E / \epsilon_E \text{ [MPa]}$$

$$\text{Hookův zákon: } \sigma = E \cdot \epsilon \text{ [MPa]}$$

K – Mez kluzu.

Objevují se první trvalé (plastické) deformace. Deformace se zvětšuje, aniž by docházelo ke zvyšování napětí. Mez kluzu může být výrazná (určujeme dolní a horní mez kluzu), nebo nevýrazná (křehké materiály).

Smluvní mez kluzu R_p je stanovována na materiálech s nevýraznou mezí kluzu (napětí se zvyšuje nebo zůstává konstantní). R_p stanovujeme pomocí přímky rovnoběžné s lineární částí diagramu. Přímka je od lineární části grafu ve vzdálenosti odpovídající předepsané hodnotě plastické deformace (nejčastěji 0,2 % původní délky). Bod reprezentující smluvní mez kluzu leží na průsečíku rovnoběžky s křivkou smluvního napětí.

P – Mez pevnosti.

Bod reprezentující maximální napětí dosažené během zkoušky.

Napětí na mezi pevnosti $R_m = F_m / S_0$ [MPa]

Další měřené veličiny:**A – Tažnost**

Prodloužení zkušební tělesa na předem stanovené počáteční délce L_0

$$A = ((l-l_0)/l_0) * 100 [\%]$$

Z - Kontrakce.

Zúžení průřezu zkušební tělesa na předem stanoveném počátečním průřezu S_0

$$Z = [(S_0-S)/S_0] * 100 [\%]$$

Tažnost a kontrakce je doměřována ručně po provedení zkoušky na zkušebních těles vyjmutých z trhacího stroje. Měření tažnosti i kontrakce může být prováděno také automaticky během zkoušky (mechanickými a optickými průtahoměry).

Vhodnou zkušební rychlost zatěžování zkušební tělesa volíme dle příslušné normy [L1], případně [L3].

10 Stanovení nejistoty měření při (příklad)

Odhad nejistoty měření se provádí v souladu s aktuálně platnou normou.

ČSN EN ISO 6892-1, **Příloha K** (informativní): Odhad nejistoty měření, str. 64. resp.

ČSN EN ISO 6892-2, Příloha B (informativní): Nejistota měření, str. 20, resp.

ČSN EN ISO 6892-3, Příloha C (informativní): Nejistota měření, str. 23.

Nejistotu nelze stanovit absolutně, protože vyjádření nejistoty je ovlivněno jak materiálově nezávislymi, tak materiálově závislymi příspěvky.

Nejistota výsledků stanovených tahovou zkouškou obsahuje složky vztažené k použitému zařízení. Různé zkušební výsledky mají odlišné příspěvky nejistoty, které závisí na způsobu jejich stanovení. Tabulka tab. 1 indikuje příspěvky nejistoty dané zařízením, které se bere v úvahu u běžně stanovovaných vlastností tahovou zkouškou.

Nejistoty zkušebních výsledků uvedené v tabulce se získají z ověřovacích listů přístrojů používaných ke stanovení zkušebních výsledků.

Parametr	Zkušební výsledky					
	R_{eH}	R_{eL}	R_m	R_p	A	Z
Zatížení F	×	×	×	×	-	-
Prodloužení měřené průtahoměrem ΔL	-	-	-	×	×	-
Měřená délka L	-	-	-	×	×	-
S_0	×	×	×	×	-	×
S_u	-	-	-	-	-	×
Poznámka × významné - bezvýznamné						

Tab. č. 1: Příspěvky nejistot ke zkušebním výsledkům tahové zkoušky.

Při odhadu nejistoty smluvní meze kluzu R_p není vhodné jednoduše aplikovat sumarizaci složek standardních nejistot, která vychází z klasifikace měřících přístrojů. Je nutno prozkoumat závislost zatížení - prodloužení měřené průtahoměrem v bodě, kde se indikace zatížení v pásmu měření nejistoty prodloužení průtahoměrem nemění, je nejistota indikace zatížení způsobená přístrojem při měření prodloužení nevýznamná.

U zkoušek tahem hraje roli při stanovení nejistoty měření i deformační rychlost zkoušky. Závislost rychlosti deformace je charakteristikou materiálu, ale ne vždy známou, proto často nelze vliv deformační rychlosti zahrnout. I proto mluvíme o odhadu nejistoty měření a nikoli o jejím stanovení. Další charakteristikou materiálu je i teplotní závislost pevnostních charakteristik, na níž lze vztáhnout stejný přístup jako k závislosti na deformační rychlosti.

Přehled použitých vztahů pro určení mechanických vlastností:

Napětové meze R (R_{eh} , R_{el} , R_m , $R_{p0,2}$) vyjádřené vztahem:

$$R = F / S_0 \quad (MPa)$$

kde F je síla na dané mezi a S_0 je počáteční průřez zkušební tyče.

Kontrakce Z vyjádřená vztahem

$$Z = 100 \cdot (S_0 - S_u) / S_0 \quad (\%)$$

kde S_u je plocha měřená po zkoušce v místě přetržení a S_0 je počáteční měřená plocha.

Tažnost A vyjádřená vztahem

$$A = 100 \cdot (L - L_0) / L_0 \quad (\%)$$

kde L je délka měřená po zkoušce a L_0 je počáteční měřená délka.

11 Záznamy o měření

Pokud má organizace stanoveny konkrétní záznamy o měření, využijí se. Úroveň záznamu je dána důležitostí měřicí operace a jeho rozsah stanoví odpovědný pracovník subjektu (technolog, metrolog atd.).

Tyto záznamy mohou obsahovat například:

- a) identifikace pracoviště provádějícího měření,
- b) pořadové číslo záznamu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) informace o měřidle,
- d) veličiny ovlivňující měření v okamžiku měření a způsob jejich kompenzace,
- e) název výrobní operace,
- f) datum měření, (případně i čas),
- g) označení použité metodiky měření (v našem případě např. MPM 2.4.1/02/18)
- h) měřidla použitá při měření,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s danou technologickou tolerancí,
- k) jméno pracovníka, provádějícího měření, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko pracoviště.

12 Péče o metodický postup

Originál metodického postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu).

Změny, popř. revize metodického postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele nebo metrolog organizace.

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle

interních předpisů o řízení dokumentů.

14.1 Rozdělovník

Metodický postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

14.2 Úprava a schválení

Metodický postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

14.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

Upozornění

Tento metodický postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky.