



**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 2.3.2/01/18**

**METODIKA MĚŘENÍ TVRDOMĚRY ROCKWELL,  
VICKERS A BRINELL**

**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

Tvrdotost je jedna z nejzákladnějších a nejčastěji měřených mechanických vlastností. Tvrdotost lze definovat jako odpor, který klade povrch materiálu proti vniknutí cizího tělesa. Z hodnot tvrdosti materiálu lze odvozovat jeho další materiálové (technologické) vlastnosti jako například pevnost, otěruvzdornost, obrobiteľnosť a další. Na hodnotu tvrdosti má vliv chemické složení materiálu (chemické složení ZM, legury), tepelné a chemicko-tepelné zpracování a v neposlední řadě také mechanické tváření.

Testování tvrdosti se řadí do kategorie nedestruktivních zkoušek. V praxi to znamená, že lze zkoušet funkční součásti, bez vlivu na jejich následnou funkci. Zkoušky tvrdosti lze, jako jedny z mála mechanických zkoušek, provádět v provozu, mimo zkušební laboratoř. K tomuto účelu slouží přenosné tvrdoměry. Hodnoty tvrdosti naměřené přenosnými tvrdoměry nedosahují takové přesnosti jako hodnoty naměřené v laboratorních podmínkách na statických strojích.

Mezi nejzákladnější a také v praxi nejčastěji používané metody měření patří zkoušky tvrdosti podle Rockwella, Vickerse a Brinella.

## 2 Související normy a metrologické předpisy

### Brinell

ČSN EN ISO 6506-1	Kovové materiály. Zkouška tvrdosti podle Brinella - Část 1: Zkušební metoda.	[L1]
ČSN EN ISO 6506-2	Kovové materiály. Zkouška tvrdosti podle Brinella - Část 2: Ověřování a kalibrace zkušebních strojů.	[L2]
ČSN EN ISO 6506-3	Kovové materiály. Zkoušení tvrdosti podle Brinella - Část 3: Kalibrace referenčních destiček.	[L3]
ASTM E10	Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.	[L4]

### Rockwell

ČSN EN ISO 6508-1	Kovové materiály. Zkouška tvrdosti podle Rockwella - Část 1: Zkušební metoda	[L5]
ČSN EN ISO 6508-2	Kovové materiály. Zkouška tvrdosti podle Rockwella - Část 2: Ověřování a kalibrace zkušebních strojů a vnikacích těles	[L6]
ČSN EN ISO 6508-3	Kovové materiály. Zkouška tvrdosti podle Rockwella - Část 3: Kalibrace referenčních destiček	[L7]

ČSN ISO 3738-1	Tvrdoměry – zkouška tvrdosti podle Rockwella (stupnice A) - Část 1: Zkušební metoda	[L8]
ČSN EN ISO 3738-2	Tvrdoměry – zkouška tvrdosti podle Rockwella (stupnice A) - Část 2: Příprava a kalibrace zkušebních destiček	[L9] [L10]
ASTM E18	Standard Test Method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials.	[L11]
ASTM E1842	Standard Test Method for Macro-Rockwell Hardness Testing of Metallic Materials.	[L12]
ASTM D785	Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastic and Electrical Insulating Materials.	[L13]
<b>Vickers</b>		[L13]
ČSN EN ISO 6507-1	Kovové materiály. Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 1: Zkušební metoda.	[L14]
ČSN EN ISO 6507-2	Kovové materiály. Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 2: Ověřování a kalibrace zkušebních strojů.	[L15]
ČSN EN ISO 6507-3	Kovové materiály. Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 3: Kalibrace referenčních destiček.	[L16]
ČSN EN 23878	Tvrdoměry. Zkouška tvrdosti podle Vickerse (ISO 3878:1983).	[L17]
ISO 3878:1983	Hardmetals - Vickers hardness test.	[L18]
ASTM E92	Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.	

### **3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření**

Kvalifikace pracovníků provádějících měření tvrdosti metodami Rockwell, Vickers a Brinell 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

### Brinell

- Zkušební stroj, který je schopen vyvinout předem stanované zkušební zatížení, nebo zatížení v rozsahu od 9,807 N do 29,42 kN,
- vnikací těleso, vyleštěná kulička z karbidu wolframu,
- systém pro měření průměru vtisku (nejčastěji součástí zkušebního stroje),
- kalibrované tvrdoměrné referenční destičky/etalony o různých tvrdostech tak, aby byla pokryta celá škála tvrdostí, které lze v rámci daného měřicího systému měřit.

### Rockwell

- Zkušební stroj schopný zatížení pro měření požadovaných stupnic tvrdosti,
- kuželové diamantové vnikací těleso s kulovým zakončením. Vnitřní úhel 120°, hrot o poloměru křivosti 0,2 mm. (kužel, kulička),
- vnikací těleso s kuličkou z kompozitu karbidu wolframu o průměru 1,5875 mm nebo 3,175 mm,
- systém pro měření průměru vtisku (nejčastěji součástí zkušebního stroje),
- kalibrované tvrdoměrné referenční destičky/etalony o různých tvrdostech tak, aby byla pokryta celá škála tvrdostí, které lze v rámci daného měřicího systému měřit.

### Vickers

- Zkušební stroj schopný zatížení pro měření požadovaných stupnic tvrdosti,
- vnikací těleso, diamantový pravidelný čtyřboký jehlan o čtvercové základně,
- systém pro měření průměru vtisku (nejčastěji součástí zkušebního stroje),
- kalibrované tvrdoměrné referenční destičky/etalony o různých tvrdostech tak, aby byla pokryta celá škála tvrdostí, které lze v rámci daného měřicího systému měřit.

## 6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření.

Viz následující článek (blízká či společná problematika).

Teplota prostředí a materiálu je uváděna u jednotlivých měřicích operacích.

## 7 Meze použití testovací metody.

Je důležité zvolit správnou metodu měření tvrdosti. Metodu dle Rockwella používáme pro měření kalených a zušlechtěných materiálů. Metoda dle Vickerse je nejuniverzálnější metoda vhodná jak pro měkké, tak pro tvrdé materiály. Metoda dle Brinella se uplatní zejména při měření tvrdosti zušlechtěných materiálů. Velikost zatížení a případný typ

vnikacího tělesa je stanovena dle předpokládané tvrdosti testovaného materiálu. Velikost zatížení a typ vnikacího tělesa uvádí příslušná norma.

Aby bylo možné relevantně změřit hodnotu tvrdosti, je nutné znát jistá omezení, která se týkají zejména kvality/stavu povrchu měřeného dílu, tvaru povrchu (**rovný či zakřivený povrch**), rovinnosti testovaného vzorku, tloušťky měřeného dílu, umístění vtisku, samotná hodnota tvrdosti měřeného dílu a homogenita testovaného materiálu.

Kvalita povrchu je důležitá z pohledu odečítání parametrů provedeného vtisku. Je-li povrch nekvalitní, není provedený vtisk čitelný a nelze ho tedy správně odečíst. Zhoršující se **kvalita povrchu** zvyšuje nepřesnost měření tvrdosti.

Většina metod neumožňuje měřit tvrdost na plochách, které jsou zakřivené. Vtisk provedený do zakřiveného povrchu není symetrický. Odečtené parametry vtisku jsou v tomto případě zkreslené a výsledek je nepřesný. Měříme-li tvrdost na **vypuklé válcové nebo kulové ploše**, musí se použít **korekce** (Rockwell). Na přesnost měření tvrdosti má bezesporu nejvýraznější vliv kvalita provedeného vtisku.

Provádíme-li **měření tvrdosti v laboratorních podmínkách** a na předem připravených vzorcích, je velice důležité pohlídat si **rovinnost protilehlých ploch** (plocha, na které je prováděno měření X protilehlá stejná plocha). Není-li dodržena rovinnost v požadované toleranci, vniká hrot/kulička do povrchu **pod úhlem jiným než 90°** a takto vzniklý vtisk je deformovaný. **Čím výraznější je nerovinnost, tím vyšší je nejistota měření.** Vnikací těleso musí povrch zkoušeného dílu penetrovat v úhlu 90°.

V případě, že měříme tvrdost na dílech **o malé tloušťce**, musíme být velice obezřetní. Normy uvádějí, do jaké tloušťky dílu lze tvrdost měřit. Příliš malá tloušťka materiálu by mohla vyústit v nepravidelné provedení vtisku, nebo dokonce k proniknutí vnikacího tělesa skrz testovaný díl.

Při volbě umístění vtisku musíme brát v úvahu, že při provedení vtisku **dojde k lokální deformaci materiálu v blízkém okolí** provedení vtisku. Mechanické hodnoty v blízkém okolí vtisků jsou rozdílné od hodnoty v místech zkouškou neovlivněných. Vtisky by se také **neměly umisťovat příliš blízko hranám/okrajům**, ani jiným povrchovým nečelistvostem.

Překážkou pro měření tvrdosti může být **samotná hodnota tvrdosti testovaného materiálu**. Problémy mohou nastat v případě, že je materiál příliš měkký (tzv. bláto), nebo naopak příliš tvrdý. Je-li materiál příliš měkký, dochází k boření vtisků. Je-li materiál příliš tvrdý, **nemusí být vtisky vůbec čitelné**. V obou případech je třeba využít speciálních tvrdoměrů určených pro tyto extrémní případy.

**Homogenita testovaného materiálu** má vliv na vypovídající vlastnosti provedeného

měření. Některé materiály nebo součásti vykazují v různých místech různé hodnoty tvrdosti. Tato nehomogenita může být cílená nebo neúmyslná. Rozdílné hodnoty tvrdosti testovaného dílu může vyvolat tepelné nebo chemicko-tepelné zpracování, mechanické tváření, nebo rozdílné chemické složení.

Jednotlivé metody měření tvrdosti je možné mezi sebou převádět. Převedené hodnoty tvrdosti nejsou tak přesné jako hodnoty danou metodou přímo naměřené. Z toho důvodu nelze použít převedené hodnoty například jako důvod reklamace.

## 8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

Aby se zaručil správný chod zkušebního stroje je nutné tvrdoměr před použitím zkontrolovat.

### Kontrolujeme:

- plynulost pohybu vnikacího tělesa,
- vnikací těleso je řádně upevněno,
- vnikací těleso není poškozeno a je zbaveno veškerých nečistot,
- provedení ověřovacího měření tvrdosti tvrdoměrné referenční destičky s hodnotou certifikované tvrdosti co nejpodobnější předpokládané tvrdosti následně měřeného dílu.

Před měřením zabavíme pracovní plochu všech nečistot. Taktéž z testovaného dílu odstraníme všechny nečistoty včetně otřepů a mastných skvrn. Zkontrolujeme, zda je zkušební kus dokonale usazen na zkušební stole a zda je zkoušená plocha v **poloze kolmé ke směru vtlačování vnikacího tělesa**.

Měřidlo, které vykazuje nedostatky, nelze dále k měření používat

## 9 Postup měření

### Vickers

Vnikací těleso je diamantový pravidelný čtyřboký jehlan.

Jehlan je zatlačován do povrchu zkoušeného tělesa. Měříme délku úhlopříčky vtisku, který zůstane v povrchu, po odlehčení zkušebního zatížení vznikne. Hodnota tvrdosti se vyhodnocuje z průměrné délky  $d = (d_1 + d_2)/2$  uhlopříček vtisku, který v případě ideálního homogenního a izotropního materiálu má tvar čtverce, jako podíl působícího zatížení a plochy povrchu vtisku, tedy  $HV = 0,189 F / d^2$ , V praxi se hodnota tvrdosti odečítá

z tabulek podle průměrné délky úhlopříčky čtverce vtisku.

$$HV = \text{Zkušební zatížení (kgf)} / \text{plocha povrchu vtisku (mm}^2\text{)}$$

$HV$  – Značka tvrdosti

Příklad označení tvrdosti podle Vickerse:

640  $HV$  30 / 20

640 – Hodnota tvrdosti podle Vickerse

$HV$  – Značka tvrdosti

30 – Přibližná hodnota použitého ekvivalentu zkušebnímu zatížení

20 – doba zkušebnímu zatížení

Zkoušku obvykle provádíme v rozmezí teplot 10°C až 35°C (tzv. okolí teplota). Diamantový jehlan je vtlačován v kolmém směru do povrchu zkoušeného tělesa silou  $F$ . Dokonale očištěné zkušební těleso musí být umístěné na tuhé podložce prosté cizích látek (okuje, prach, oleje, aj.). Během zkoušky nesmí dojít k posunu zkoušeného tělesa. Tvrdost podle Vickerse se běžně měří při zatížení 30 kp (294 N), které působí konstantní, tvrdoměrem udržovanou silou po dobu 10 – 15 s. Zkušební stroj musí být během zkoušky chráněn před otřesy a vibracemi. Před zkouškou je nutné opracovat mechanicky měřené místo (broušením, mnohdy i leštěním), geometrie vtisku je proměřována pod mikroskopem.

Minimální vzdálenost mezi středem vtisku a okrajem zkušebnímu tělesa je **2,5násobek** průměrné délky úhlopříčky vtisku v případě oceli, mědi a slitin mědi a nejméně **3násobek** v případě lehkých kovů, olova a cínu a jejich slitin. Vzdálenost mezi středy dvou sousedních vtisků nesmí být menší než **3násobek** průměrné délky úhlopříčky vtisku v případě oceli, mědi a slitin mědi a nejméně **6násobek** v případě lehkých kovů, olova a cínu a jejich slitin.

Tloušťka zkoušeného tělesa nebo povrchové vrstvy musí být alespoň **1,5násobek** délky úhlopříčky vtisku. Není-li tato podmínka dodržena, může dojít k průniku vnikacího tělesa skrz zkoušenou vrstvu a tedy k ovlivnění naměřených výsledků.

Přesný postup měření tvrdosti podle Vickerse je uveden v normě [L13]

## Brinell

Vnikací těleso je vyleštěná kulička z karbidu wolframu.

Kulička je v kolmém směru vtlačována silou  $F$  do povrchu zkoušeného dílu. Po odlehčení zůstane na povrchu vtisk o průměru  $d$ . Tvrdosti podle Brinella je přímo úměrná hodnotě získané dělením zkušebnímu zatížení plochou zaobleného povrchu vtisku. Tvrdost podle Brinella značíme HBW a vypočteme ji dle následujícího vzorce:



$$HBW = 0,102 \times \frac{2F}{\pi D^2 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{d^2}{D^2}} \right)}$$

HBW – tvrdost podle Brinella

0,102 – konstanta

$D$  – průměr kuličky

$F$  – zkušební zatížení

$d$  – střední průměr vtisku;  $d = (d_1 + d_2)/2$

$d_1, d_2$  – měřené průměry vtisku jejich vzájemná orientace je pootočená o  $90^\circ$

$h$  – hloubka vtisku

Příklad označení tvrdosti dle Brinella:

600 HBW 1/30/20

600 – hodnota tvrdosti podle Brinella

HBW – značka tvrdosti

1 – průměr kuličky v mm

30 – velikost zatížení v kgf (30 kgf = 294,2 N)

20 – doba zkušebního zatížení (20 s)

Zkoušku provádíme při okolní teplotě ( $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ). Zkušební zatížení volíme pokud možno takové, aby průměr vtisku  $d$  ležel mezi hodnotami  $0,24D$  a  $0,6D$ . Vnikací těleso je přivedeno do styku se zkoušeným povrchem. Zatížení probíhá v kolmém směru ke zkoušenému povrchu. Rychlost zatěžování a výdrž na požadovaných zatíženích je uvedena v normě [L1]. Zkušební stroj musí být během zkoušky chráněn před otřesy a vibracemi.

Vzdálenost mezi středy jednotlivých vtisků nesmí být menší než 3násobek středního průměru vtisku. vzdálenost vtisku od okraje zkoušeného dílu nesmí být menší než 2,5násobek středního průměru vtisku. Měření vtisku provádím opticky manuálně nebo automatických měřicím systémem. Přesný postup měření tvrdosti podle Brinella je uveden v normě [L1]

Zkouška tvrdosti podle Brinella je použitelná pro relativně široký okruh materiálů. Aplikovaná síla působící na vnikací tělísko, v případě Brinellovy zkoušky tvrdosti ve tvaru kuličky, vytvoří v měřeném materiálu relativně rozměrný vtisk ve tvaru kulového vrchlíku, což má za následek změření průměrných vlastností v relativně velkém objemu materiálu. Oproti tomu však není tato metoda schopná zachytit gradient tvrdosti v nehomogenních strukturách a ani ji není možné použít v případech zkoušení malých tenkostěnných součástí. Normované postupy určují použitelnost metody pro součásti, kde tloušťka zkoušeného vzorku musí být minimálně 10násobkem hloubky vtisku.

## Rockwell

Vnikací těleso je diamantový kužel (vnitřní úhel  $120^\circ$  a poloměr křivosti hrotu 0,2 mm), nebo kuličkou z karbidu wolframu o průměru 1,5875 mm nebo 3,175 mm.

Měření tvrdosti se liší od principu metod Brinella a Vickerse, po vtisku vnikacího tělíska se neměří rozměry vtisku na povrch vzorku, ale hloubka vtažení indentoru do materiálu, která se stanovuje jako rozdíl mezi polohou indentoru při působení malé předběžné zátěžné síly a jeho polohou při odlehčení na hodnotu před-zatížení po aplikaci hlavní zátěžné síly po určitou dobu. Hodnota tvrdosti podle Rockwella je odvozena ze vzorce o dvou konstantách (N, S) a rozdílu hloubek vtisku.

Tvrdost podle Rockwella =  $N - (h/S)$

N, S – konstanty

$h$  – rozdíl hloubky vtisku před a po aplikaci předepsaného přídavného zatížení

Příklad označení tvrdosti dle Rockwella:

70HR30TW

70 – Hodnota tvrdosti podle Rockwella

HR – Značka tvrdosti podle Rockwella

30T – značka stupnice podle Rockwella

W – označení typu použité kuličky (W = kompozit karbidu wolframu)

Zkouška se běžně provádí při teplotách  $10^\circ\text{C}$  až  $35^\circ\text{C}$ . Vnikací těleso je přivedeno do styku se zkoušeným povrchem. Zatížení probíhá v kolmém směru ke zkoušenému povrchu. V první fázi zatěžujeme do předběžného zkušebního zatížení  $F_0$ . Po dosažení předběžného zatížení je změřena hloubka vtisku (manuálně nebo automaticky). Následuje zatížení přídavnou silou  $F_1$  a celkové zatížení se tak z  $F_0$  zvyšuje na hodnotu  $F$ . Rychlost zatěžování a výdrž na požadovaných zatíženích je uvedena v normě [L5]. Zkušební stroj musí být během zkoušky chráněn před otřesy a vibracemi.

Vzdálenost mezi středy dvou sousedících vtisků musí přesáhnout minimální vzdálenost 3násobku průměru vtisku. Vzdálenost od středu vtisku na okraj zkoušeného povrchu musí být alespoň 2,5násobku průměru vtisku. Přesný postup měření tvrdosti podle Rockwella je uveden v normě [L5]

Pro tuto zkoušku existuje několik stupnic, které představují kombinace různých indentorů a různých velikostí zatížení, což dovoluje měřit tvrdost prakticky všech kovových slitin a dokonce i některých polymerů. Vnikacím tělískem může být buď kulička z tvrzené oceli nebo diamantový hrot ve tvaru kužele s vrcholovým úhlem  $120^\circ$ , který se používá pro tvrdší materiály.

Podle velikosti předzatížení a silových rozsahů hlavní zátěžné síly existují dva typy zkoušek tvrdosti podle Rockwella:

- Rockwell, předzatížení 10kp, hlavní zatížení 60, 100 a 150 kp,
- Super-Rockwell (superficial, povrchový), předzatížení 3 kp , hlavní zatížení (15, 30 a 45) kp.

Super-Rockwell se používá pro tenké vzorky, tenké vrstvy, povlaky a povrchové úpravy, např. nitridované povrchy. Při udávání hodnot tvrdosti podle Rockwella je nutno udávat jak číslo tvrdosti, tak použitou stupnici, např. 90HRB značí tvrdost 90 podle Rockwella při použití stupnice B, 55 HR30W značí povrchovou tvrdost 55 zjištěnou použitím stupnice W.

Označení stupnice	Vnikací tělísko – indentor	Hlavní zatížení [kp]	Použití vhodné pro
A	Diamantový kužel	60	Slituté karbidy, tenké ocelové plechy, mělce cementované oceli
B	Kulička průměru 1,588 mm (1/16 <sup>“</sup> )	100	Slitiny Cu a Al, měkké oceli, tvárná litina
C	Diamantový kužel	150	Ocel, tvrdé litiny, temp.perlit.litina, hluboce cementované oceli, titan aj. o HRB nad 100
D	Diamantový kužel	100	Tenké ocelové plechy, středně cementované oceli, temperovanou perlitickou litinu
E	Kulička průměru 3,175 mm (1/8 <sup>“</sup> )	100	Litinu, slitiny Al a Mg, ložiskové materiály
F	Kulička průměru 1,588 mm (1/16 <sup>“</sup> )	60	Žíhané slitiny Cu, tenké plechy z měkkých kovů
G	Kulička průměru 1,588 mm (1/16 <sup>“</sup> )	150	Temperovanou litinu, P-bronzy, slitiny Be-Cu,
H	Kulička průměru 1,588 mm (1/8 <sup>“</sup> )	60	Al, Sn, Pb
K	Kulička průměru 1,588 mm (1/8 <sup>“</sup> )	150	Ložiskové kovy a velmi tenké nebo měkké materiály (použij menší kuličku a vyšší zatížení, které do not produce anvil effect )
L	Kulička průměru 6,35 mm (1/4 <sup>“</sup> )	60	- „ -
M	Kulička průměru 6,35 mm (1/4 <sup>“</sup> )	100	- „ -
P	Kulička průměru 6,35 mm (1/4 <sup>“</sup> )	150	- „ -

R	Kulička průměru 12,7 mm (1/2 <sup>“</sup> )	60	- „ -
S	Kulička průměru 12,7 mm (1/2 <sup>“</sup> )	100	- „ -
V	Kulička průměru 12,7 mm (1/2 <sup>“</sup> )	150	- „ -

**Tab. č. 1:** *Stupnice tvrdosti podle Rockwella ( podle ASTM 18 )*

Označení stupnice	Vnikací tělísko – indentor	Hlavní zatížení [kp]
15N	Diamantový kužel	15
30N	Diamantový kužel	30
45N	Diamantový kužel	45
15T	Kulička průměru 1,588 mm (1/16 <sup>“</sup> )	15
30T	Kulička průměru 1,588 mm (1/16 <sup>“</sup> )	30
45T	Kulička průměru 1,588 mm (1/16 <sup>“</sup> )	45
15W	Kulička průměru 1,588 mm (1/8 <sup>“</sup> )	15
30W	Kulička průměru 1,588 mm (1/8 <sup>“</sup> )	30
45W	Kulička průměru 1,588 mm (1/8 <sup>“</sup> )	45

**Tab. č. 2:** *Stupnice tvrdosti při měření metodou Super-Rockwell*

## 10 Stanovení nejistoty měření (příklad)

Zkouška tvrdosti se provádí na zkušebních strojích k tomu určených dle Příručky kvality pro Mechanickou zkušebnu (PK-MEZ) nebo jiného interního předpisu. Odhad nejistoty měření se provádí v souladu s aktuálně platnou normou. Nejistotu nelze stanovit absolutně, protože vyjádření nejistoty je ovlivněno jak materiálově nezávislými, tak materiálově závislými příspěvky.

Nejistota výsledků stanovených zkouškou tvrdosti obsahuje složky vztažené k použitému zařízení. Různé zkušební výsledky mají odlišné příspěvky nejistoty, které závisí na způsobu jejich stanovení.

### Odhad nejistoty stanovení tvrdosti dle Vickerse

Hodnotu tvrdosti je možno obecně vyjádřit vztahem  $H = f(\varepsilon, k, L, P, \Phi, M, \mu, \nu)$ ,

kde znamená:

- $\varepsilon$  elastické vlastnosti materiálu zkoušeného vzorku, především charakterizované modulem pružnosti v tahu  $E$ . Tyto vlastnosti jsou důležité při odrazových a

- vtiskových metodách,
- k* tvárné (plastické) vlastnosti materiálu zkoušeného vzorku. Jsou nejdůležitější u vtiskových, příp. vrypových metod, kdy je materiál v místě vtisku plasticky deformován a zpevňován,
- L* rozměry zkoušeného tělesa, umístění vtisku na vzorku,
- P* velikost zatížení na vnikací těleso tvrdoměru,
- $\phi$  tvar vlastního vnikacího tělesa tvrdoměru,
- M* mechanické vlastnosti vnikacího tělesa tvrdoměru,
- $\mu$  velikost tření mezi vnikajícím tělískem tvrdoměru a materiálem zkoušeného vzorku,
- v* rychlost vnikání zkušebního tělíska tvrdoměru do materiálu zkoušeného vzorku.

### Obecný popis procesu měření

Při zkoušce tvrdosti podle Vickerse se do zkoušeného vzorku zvolenou silou  $F$  kolmo k měřenému povrchu vtlačuje pravidelný čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu stran  $136^\circ$ . Po odlehčení se měří s co největší přesností délka obou úhlopříček vtisku (s použitím mikroskopu), které vnikací tělísko na povrchu zkoušeného předmětu zanechalo. Průměr je výsledkem obou hodnot, které se nesmí lišit o více než 5 %. Tvrdost podle Vickerse je vyjádřena jako poměr zkušební zatížení k ploše povrchu vtisku, jež se uvažuje jako pravidelný čtyřboký jehlan se čtvercovou základnou s vrcholovým úhlem rovnajícím se úhlu stran vnikacího tělesa.

$$HV = F / S = F / (d^2 / 2 \cos 22^\circ) = 1,8544 F / d^2$$

kde:

$F$  je zatížení působící na jehlan (kp),

$S$  je povrch vtisku,

$d$  je průměrná hodnota délky úhlopříček vtisku.

V praxi se běžně používají tabulky hodnot tvrdosti (pro jednotlivé zátěžné síly) v závislosti na délce měřené úhlopříčky.

Přesnost zkoušky závisí:

- na přesnosti, s jakou je vyrobeno diamantové vnikací těleso (úhel musí být dodržen v toleranci  $136^\circ \pm 0,5^\circ$ ),
- na přesnosti, s jakou jsou změřeny rozměry vtisku.

Číselné vyjádření nejistoty měření odvozené z přesnosti tvrdoměru stroje a z podmínek uvedených v normě je limitní pro každý prezentovaný výsledek. Pro jednotlivé případy se nejistota měření vypočte z konkrétních hodnot získaných při dané zkoušce. Obdobně je nutno zohlednit při výpočtu nejistoty přesnost použitého zkušebního zařízení.

Vstupní data pro stanovení nejistoty měření:

- přesnost zkušebního stroje z aktuálních ověřovacích listů,
- přesnost stanovení síly  $F$ ,

- přesnost měření úhlopříček vtisku,
- vliv teploty na měřené hodnoty tvrdosti je možno v rozmezí normálních teplot zanedbat.

Veličina $x_i$	odhad $x_i$	Standardní nejistota $u(x_i)$	Koeficient citlivosti $c_i$	Příspěvek standardní nejistoty $u_i(y)$
přesnost zatížení (kp)	$F \pm 0,1 \%$	0,0577	$1,8544 \cdot d^{-2}$	$0,107 \cdot d^{-2}$
přesnost měření délky	$d \pm 0,1 \%$	0,0577	$-3,7088 \cdot F \cdot d^{-3}$	$-0,214 \cdot F \cdot d^{-3}$
rychlost zatěžování	viz text			
teplota	viz text			
korelace l				0,00333

**Tab. č. 3:** Vlivy na nejistoty měření – Vickers

Síla  $F$  a délka měřené úhlopříčky  $d$  jsou korelované veličiny. Proto je jako další příspěvek k nejistotě měření nutné uvažovat kovarianci vztahující se k odhadům hodnot síly a délky měřených úhlopříček. Jako korelační koeficient volíme  $r = 1$ . Standardní nejistotu měření potom vypočteme ze vztahu D.3 dokumentu EA 4/02.

Koeficienty citlivosti budou tedy vyjádřeny vztahy

$$c_F = \delta HV / \delta F = 1,8544 \cdot d^{-2}$$

$$c_d = \delta HV / \delta d = -2 \cdot 1,8544 \cdot F \cdot d^{-3}$$

a odpovídající příspěvky k nejistotě odhadu výstupní veličiny:

$$u_F(HV) = c_F \cdot u_F = 1,8544 \cdot d^{-2} \cdot 0,0577 = 0,107 \cdot d^{-2}$$

$$u_d(HV) = c_d \cdot u_d = -2 \cdot 1,8544 \cdot F \cdot d^{-3} \cdot 0,0577 = 0,214 \cdot F \cdot d^{-3}$$

$$u_{F,d}(HV) = 0,0577 \cdot 0,0577 \cdot r(F, d) = 0,00333$$

Standardní nejistota potom bude:

$$\begin{aligned} u^2(HV) &= u_F^2(HV) + u_d^2(HV) + 2 \cdot c_F \cdot c_d \cdot u_{F,d}(HV) = \\ &= (0,107 \cdot d^{-2})^2 + (0,214 \cdot F \cdot d^{-3})^2 + 2 \cdot (1,8544 \cdot d^{-2}) \cdot (-2 \cdot 1,8544 \cdot F \cdot d^{-3}) \cdot 0,00333 \end{aligned}$$

Tento vztah je možno vyčíslit pro konkrétní zvolené zatížení a změřenou velikost délky úhlopříčky vtisku. Rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty  $u(HV)$  a

koeficientu rozšíření  $k = 2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 %.

### **Odhad nejistoty stanovení tvrdosti dle Brinella**

Nejistotu měření tvrdosti dle Brinella řeší článek 8 ČSN EN ISO 6506-1 a Příloha C. Hodnocení nejistoty se doporučuje provést dle JCGM 100: Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement BIPM/IEC/FCC/ILAC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 2008.

Pro stanovení nejistoty existují dvě možnosti:

1. Vyhodnocení všech významných zdrojů, které se vyskytují v průběhu kalibrace, viz směrnice EURAMET/cg-16/v.01: Guidelines on the estimation of uncertainty in hardness measurement, 2007

2. Vyhodnocení z nepřímé kalibrace využitím referenční tvrdoměrné destičky, viz Příloha C uvedené normy.

Všechny zjištěné příspěvky k nejistotě měření není vždy možné vyjádřit číselně, v takovém případě je možné odhad standardní nejistoty typu A stanovit statistickou analýzou opakovaných vtisků do zkušebního tělesa.

Analýza stanovení nejistoty je užitečným nástrojem ke stanovení zdrojů chyb. Příloha C dává návod k odhadu nejistot, ale odvozené hodnoty jsou pouze informativní, pokud to zákazník výslovně nepožaduje uvést v protokolu. Když se v protokolu uvádí naměřený výsledek, je doporučeno specifikovat také metodu odhadu nejistoty

V příloze C jsou uvedeny postupy výpočtu nejistoty bez nebo s uvažováním systematické odchylky (chyby) stroje.

### **Odhad nejistoty stanovení tvrdosti dle Rockwella**

Obecný popis procesu měření:

Při zkoušce tvrdosti podle Rockwella se do zkoušeného vzorku zvolenou silou  $F$  kolmo k měřenému povrchu vtlačuje vnikací tělíčko (kulička nebo kužel). Po odlehčení se automaticky měří hloubka vtisku. Výsledek se zobrazí na displeji tvrdoměru. Pokud je zkouška provedena v souladu s příslušnou normou, potom jediným vlivem na přesnost ledku je přesnost vlastního tvrdoměru uvedená na ověřovacím listu.

## **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 2.3.3/01/18)
- 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.

### 13.1 Rozdělovník

Metodický postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdržel útvar	Jméno	Podpis	Datum



### 13.2 Úprava a schválení

Metodický postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

### 13.3 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.