



Česká metrologická společnost

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

Kalibrační postup

KP 2.3.2/04/15

TVRDOMĚRNÉ DESTIČKY ROCKWELL

Praha

Říjen 2015

Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie

Číslo úkolu: VII/1/15

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

Řešitel: Česká metrologická společnost

© ÚNMZ, ČMS

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

1 Předmět kalibrace

Kalibrační postup popisuje práce spojené s kalibracemi tvrdoměrných destiček metodou Rockwell stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T.

Princip měření:

Vnikací těleso daného tvaru a materiálu (diamantový kužel nebo kulička) je zatlačováno do měřeného materiálu statickou silou ve dvou úrovních zkušebního zatížení, předběžného a celkového. Měří se trvalá hloubka vtisku, která se dosadí do příslušného vztahu a vypočte se tvrdost podle Rockwella měřené stupnice.

Tvrdoměrná destička slouží v oboru měření tvrdosti k přenosu míry ze státního etalonu (etalon nejvyššího řádu v zemi) na nižší etalonážní řády.

Tvrdoměrná destička musí splňovat následující podmínky:

- Musí mít tloušťku nejméně 6 mm,
- musí být odmagnetována,
- odchylka povrchové rovinnosti horních a spodních ploch musí být $\leq 0,01$ mm,
- odchylka rovnoběžnosti horních a spodních ploch musí být $\leq 0,02$ mm na 50 mm,
- drsnost povrchu na mezní vlnové délce 0,8 mm nesmí na měrné ploše přesáhnout 3 μm charakteristiky Ra,
- drsnost povrchu na mezní vlnové délce 0,8 mm nesmí na opěrné ploše přesáhnout 8 μm charakteristiky Ra,
- měrná a opěrná plocha musí být bez vrubů, škrábanců, koroze, atd.,
- měrná a opěrná plocha musí být před měřením řádně očištěna od konzervačních prostředků,
- z tvrdoměrné destičky nesmí být následně odstraněn materiál - její tloušťka musí být v průběhu kalibrace vyznačena s přesností 0,1 mm, nebo měrná plocha musí být opatřena identifikační značkou.

Tvrdoměrné destičky se nemohou používat, jestliže:

- Na opěrné ploše jsou vtisky,
- jsou zkorodované,
- měrná plocha je přebroušena,
- na měřeném povrchu je tolik vtisků, že nelze dodržet vzdálenosti mezi dvěma vtisky, respektive vzdálenosti mezi vtisky od kroje tvrdoměrné destičky.

2 Související normy a metrologické předpisy

EA – 4/02:2013	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[1]
ČSN EN ISO 6508-1	Kovové materiály – zkouška tvrdosti podle Rockwella – Část 1: Zkušební metoda (stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)	[2]
ČSN EN ISO 6508-2	ČSN EN ISO 6508-2 Kovové materiály – zkouška tvrdosti podle Rockwella – Část 2: Ověřování a kalibrace zkušebních zařízení (stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)	[3]
ČSN EN ISO 6508-3	ČSN EN ISO 6508-3 Kovové materiály – zkouška tvrdosti podle Rockwella – Část 3: Kalibrace referenčních destiček (stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)	[4]
ASTM E 18	ASTM E 18 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of metallic Materials	[5]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základních a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM) termínů v metrologii	[6]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení.	[7]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[8]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci tvrdoměrných destiček metodou Rockwell je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem upraveným na konkrétní podmínky kalibrační laboratoře nebo obdobného pracoviště provádějícího kalibrace měřidel a souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o odborné způsobilosti, osobním certifikátem apod.

4 Názvosloví, definice

4.1 Definice tvrdosti

Tvrdomost je definována jako odolnost povrchových částí hmoty proti místnímu porušení nehomogenním vnikáním cizího tělesa, nebo odolnost proti oddělování částí povrchu nebo úseku hmoty.

4.2 Použitá označení

α	úhel diamantového kužele
r	poloměr zaoblení vrcholu v μm
F_0	předběžné zatížení v N
F_1	přídavné zatížení v N
F	celkové zatížení v N
h_0	hloubka vtisku působením předběžného zatížení před přidáním přídavného

	zatížení v μm
h_l	hloubka vtisku působením celkového zatížení v μm
h	trvalá hloubka vtisku po odlehčení přidavného zatížení v μm
h_i	trvalá hloubka vtisku po odlehčení přidavného zatížení v μm i-tého vtisku na destičce
\bar{h}	aritmetický průměr hodnoty trvalé hloubky vtisku v μm
H_i	hodnota tvrdosti v místě i-tého vtisku na destičce
H	hodnota tvrdosti kalibrované tvrdoměrné destičky
R	nehomogenita tvrdosti
U	rozšířená nejistota
u_i	nejistota i – tého vlivu
s	směrodatná odchylka
b	bias (chyba tvrdoměru)
H_p	hodnota tvrdosti primární destičky

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

Tvrdoměr Rockwell – musí splňovat požadavky normy ČSN EN ISO 6508-2 s přihlédnutím k odchylkám, které se vztahují k tvrdoměrům sloužící ke kalibraci tvrdoměrných destiček:

Dovolená mezní odchylka předběžného zatížení (před aplikací a po odstranění celkového zatížení) může být maximálně v rozmezí $\pm 0,2$ %. Dovolená mezní odchylka celkového zatížení musí být maximálně v rozmezí $\pm 0,1$ %.

Dovolené hodnoty bias a spolehlivosti jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1

Stupnice tvrdosti podle Rockwella	Rozsah tvrdosti podle referenční destičky	Dovolený bias v jednotkách Rockwella	Dovolená spolehlivost tvrdoměru ^{a)}
A	20 HRA až ≤ 75 HRA > 75 HRA až ≤ 88 HRA	± 2 HRA $\pm 1,5$ HRA	$\leq 0,02 (100 - \bar{H})$ nebo 0,8 jednotky Rockwella ^{b)}
B	20 HRB až ≤ 45 HRB > 45 HRB až ≤ 80 HRB > 80 HRB až ≤ 100 HRB	± 4 HRB ± 3 HRB ± 2 HRB	$\leq 0,04 (130 - \bar{H})$ nebo 1,2 jednotky Rockwella ^{b)}
C	20 HRC až ≤ 70 HRC	$\pm 1,5$ HRC	$\leq 0,02 (100 - \bar{H})$ nebo 0,8 jednotky Rockwella ^{b)}
D	40 HRD až ≤ 70 HRD > 70 HRD až ≤ 77 HRD	± 2 HRD $\pm 1,5$ HRD	$\leq 0,02 (100 - \bar{H})$ nebo 0,8 jednotky Rockwella ^{b)}
E	70 HRE až ≤ 90 HRE > 90 HRE až ≤ 100 HRE	$\pm 2,5$ HRE ± 2 HRE	$\leq 0,04 (130 - \bar{H})$ nebo 1,2 jednotky Rockwella ^{b)}

Stupnice tvrdosti podle Rockwella	Rozsah tvrdosti podle referenční destičky	Dovolený bias v jednotkách Rockwella	Dovolená spolehlivost tvrdoměru ^{a)}
F	60 HRF až ≤ 90 HRF > 90 HRF až ≤ 100 HRF	±3 HRF ±2 HRF	≤ 0,04 (130 - \bar{H}) nebo 1,2 jednotky Rockwella ^{b)}
G	30 HRG až ≤ 50 HRG > 50 HRG až ≤ 75 HRG > 75 HRG až ≤ 94 HRG	±6 HRG ±4,5 HRG ±3 HRG	≤ 0,04 (130 - \bar{H}) nebo 1,2 jednotky Rockwella ^{b)}
H	80 HRH až ≤ 100 HRH	±2 HRH	≤ 0,04 (130 - \bar{H}) nebo 1,2 jednotky Rockwella ^{b)}
K	40 HRK až ≤ 60 HRK > 60 HRK až ≤ 80 HRK > 80 HRK až ≤ 100 HRK	±4 HRK ±3 HRK ±2 HRK	≤ 0,04 (130 - \bar{H}) nebo 1,2 jednotky Rockwella ^{b)}
N	Všechny rozsahy	±2 HRN	≤ 0,04 (100 - \bar{H}) nebo 1,2 jednotky Rockwella ^{b)}
K	Všechny rozsahy	± 3 HRT	≤ 0,06 (100 - \bar{H}) nebo 2,4 jednotky Rockwella ^{b)}
^{b)} která je větší			
^{a)} kde \bar{H} je průměrná hodnota tvrdosti			
Bias = chyba podle normy ČSN EN ISO 6508-2:2005			

1) vnikací tělesa Rockwell musí splňovat následující požadavky:

Tabulka 2

Diamantová vnikání tělesa	Parametry vnikacích těles
Střední vrcholový úhel α	120° ± 0,10°
Střední poloměr zaoblení r	200µm ± 5µm
Kvalita povrchu	Vyleštěn
Uhel mezi osou kužele a osou držáku	±0,3°
Funkční zkouška	±0,4 HR
Kuličky	Parametry kuliček
Průměr 1,5875 mm	±0,002 mm
Průměr 3,175 mm	±0,003 mm

- 2) sady tvrdoměrných destiček pro každou stupnici tvrdosti - vždy měkká, střední a tvrdá,
- 3) teploměr,
- 4) technický líh na čištění tvrdoměrných destiček,
- 5) vhodné utěrky,
- 6) lihové fixy na označení měřených vtisků apod.

Poznámka: Všechna použitá měřidla a pomocná měřicí zařízení musí být navázán na etalon vhodného rozsahu a přesnosti a musí mít platnou kalibraci.

6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace tvrdoměrných destiček se musí provádět při teplotě prostředí $(23 \pm 5)^\circ \text{C}$.

7 Rozsah kalibrace

Rozsahy měření, použitá zatížení a typy použitého vnikacího tělesa jsou uvedené v tabulkách č. 3, 4 a 5.

Tabulka 3

Stupnice tvrdosti	A	B	C	D	E
Symbol tvrdosti	HRA	HRBS (W)	HRC	HRD	HRES (W)
typ vnikacího tělesa	diamantový kužel	ocelová kul. 1,5875 mm	diamantový kužel	diamantový kužel	ocelová kul. 3,175 mm
F_0	98,07 N	98,07 N	98,07 N	98,07 N	98,07 N
F_1	490,3 N	882,6 N	1,373 kN	882,6 N	882,6 N
F	588,4 N	980,7 N	1,471 kN	980,7 N	980,7 N
Oblast použití	1÷100 HRA	1÷110 HRBS (W)	1÷80 HRC	1÷90 HRD	1÷110 HRES (W)

Tabulka 4

Stupnice tvrdosti	F	G	H	K	15N
Symbol tvrdosti	HRFS (W)	HRGS (W)	HRHS (W)	HRKS (W)	HR15N
typ vnikacího tělesa	kulička 1,5875 mm	kulička 1,5875 mm	kulička 3,175 mm	kulička 1,5875 mm	diamantový kužel
F_0	98,07 N	98,07 N	98,07 N	98,07 N	29,42 N
F_1	490,3 N	1,373 kN	490,3 N	1,373 kN	117,7 N
F	588,4 N	1,471 kN	588,4 N	1,471 kN	147,1 N
Oblast použití	1÷110 HRFS (W)	1÷100 HRGS (W)	1÷110 HRHS (W)	1÷110 HRKS (W)	1÷100 HR15N

Tabulka 5

Stupnice tvrdosti	30N	45N	15T	30T	45T
Symbol tvrdosti	HR30N	HR45N	HR15TS (W)	HR30TS (W)	HR45TS (W)
Typ vnikacího tělesa	diamantový kužel	diamantový kužel	kulička 1,5875 mm	kulička 1,5875 mm	kulička 1,5875 mm
<i>F₀</i>	29,42 N	29,42 N	29,42 N	29,42 N	29,42 N
<i>F₁</i>	264,8 N	411,9 N	117,7 N	264,8 N	411,9 N
<i>F</i>	294,2 N	441,3 N	147,1 N	294,2 N	441,3 N
Oblast použití	1÷100 HR30N	1÷90 HR45N	1÷100 HR15TS (W)	1÷90 HR30TS (W)	1÷80 HR45TS (W)

U stupnic, kde se jako vnikací těleso používá kulička, znamená písmeno S ocelovou kuličku a písmeno W tvrdokovovou kuličku. Předpokládá se, že od začátku platnosti revidovaných norem ČSN EN ISO 6508-1, 2, 3 z roku 2015 se budou používat pro stupnice s kuličkami výhradně kuličky tvrdokovové. Platnost se předpokládá na konci roku 2015.

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Provede se kontrola výrobce a výrobního čísla tvrdoměrné destičky podle objednávky zákazníka. Další postupy kontroly dodávky jsou popsány v interních dokumentech organizace

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Vizuálně se prohlédne tvrdoměrná destička, jestli není zkorodované, jestli na ní nejsou nějaká mechanická poškození, jestli nejsou na opěrné straně vtisky nebo není spotřebovaná z více jak 50 % - nelze dodržet vzdálenosti mezi vtisky, respektive vzdálenosti vtisků od okraje tvrdoměrné destičky. Jestli není viditelně přebroušena měřená nebo opěrná plocha.

Měřidlo, které nevyhovělo při vnější prohlídce a konstrukčnímu provedení dle výrobce, se vyřadí z dalších zkoušek.

8.3 Příprava měřidla

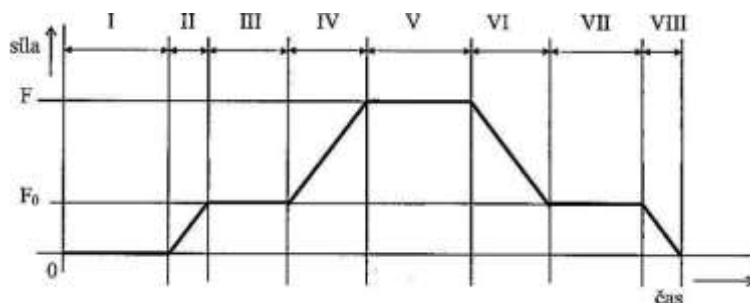
Před kalibrací se musí tvrdoměrná destička zbavit veškerých nečistot a různých nálepek, nejčastěji papírových štítků s evidenčním číslem apod. Použije se k tomu technický líc nebo podobná čisticidla, která rozpouštějí mastnotu.

9 Postup kalibrace

9.1 Princip kalibrace

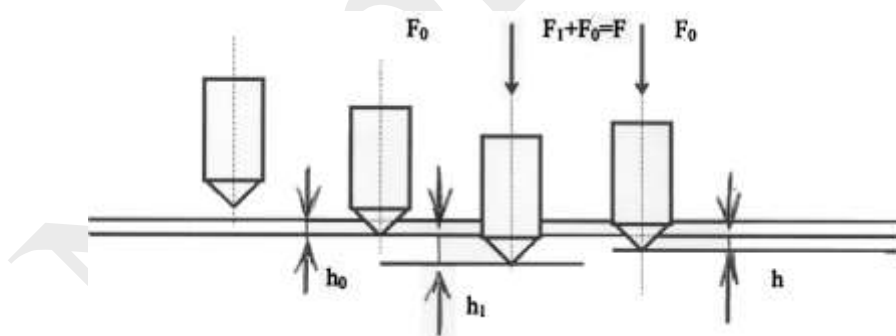
Zkouška spočívá ve vtlačování vnikacího tělesa do povrchu zkoušené tvrdoměrné destičky při působení dvou rozdílných zatížení – předběžného a celkového – za určitých podmínek – obrázek 1. Měří se trvalá hloubka vtisku viz. obrázek 2.

Obrázek 1



- I přísuv vnikacího tělesa ke kalibrované ploše
- II doba náběhu předběžného zatížení
- III doba působení předběžného zatížení
- IV doba náběhu zatížení z předběžného na celkové zatížení
- V doba působení celkového zatížení
- VI snížení zatížení z celkového na předběžné
- VII doba působení předběžného zatížení
- VIII úplné odlehčení

Obrázek 2

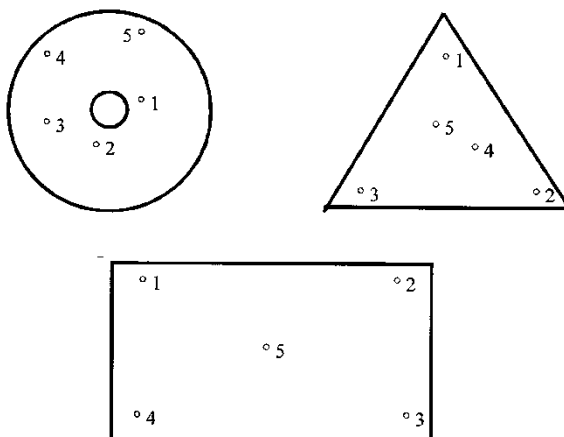


9.2 Vlastní pracovní postup

1. Před měřením se musí provést nejméně 10 vtisků na tvrdoměrnou destičku, která je u každého. Tím se přístroj a hydraulika zahřeje do provozní teploty,
2. pro ustavení kalibrované destičky na stolku tvrdoměru se musí provést ještě 1 až 2 vtisky, které se do výsledné hodnoty nebudou započítávat,
3. na destičce se provede nejméně 5 vtisků rozmístěných podle obrázku 3. Vzdálenost mezi středy dvou sousedních vtisků musí být alespoň čtyřnásobek průměru vtisku

(ale nejméně 2mm). Vzdálenost středu každého vtisku od okraje tvrdoměrné destičky musí být alespoň 2,5 násobek průměru vtisku (ale nejméně 1mm),

Obrázek 3



4. rychlost přibližování vnikacího tělesa k měrné ploše nesmí přesáhnout 1 mm/s,
5. vnikací těleso se přivede do kontaktu s povrchem tvrdoměrné destičky za působení předběžného zatížení F_0 bez rázů a chvění a bez kolísání zkušebního zatížení. Doba působení předběžného zatížení F_0 nesmí překročit (3 ± 1) s,
6. při působení předběžného zatížení se provede první čtení hloubky vtisku, nebo se vynuluje měřicí zařízení,
7. bez rázů, chvění nebo kolísání zkušebního zařízení se zvýší zkušební zatížení z F_0 na F v době ne menší než 1 s a ne větší než 8 s u stupnic tvrdosti A, ..., K. U stupnic tvrdosti N a T musí být přídavná síla aplikována do 4 s,
8. nechá se působit celkové zatížení F - doba působení $(5 + 1)$ s
9. zkušební zatížení se odlehčí a nechá se působit pouze předběžné zatížení,
10. druhé odečtení hloubky vtisku se musí provést při předběžném zatížení za (4 ± 1) s,
11. rozdíl hodnot naměřených při prvním předběžným zatížením a druhým předběžným zatížením je trvalá hloubka vtisku. Tato hodnota se dosadí do níže uvedených vztahů a vypočte se hodnota tvrdosti tvrdoměrné destičky.

10 Vyhodnocení kalibrace

1. Aritmetický průměr tvrdostí zjištěných jednotlivými vtisky je pak hodnotou tvrdosti tvrdoměrné destičky,
2. vypočte se nehomogenita tvrdosti a jeho hodnota se porovná s hodnotou dovolené nehomogenity tvrdosti – pokud hodnota nehomogenity tvrdosti

destičky je menší nebo rovna dovolené nehomogenitě, destička vyhovuje a je možné ji používat jako etalonovou tvrdoměrnou destičku,

3. na tvrdoměrnou destičku se vyznačí kalibrační značka a konečné dvojčíslí roku, ve kterém byla kalibrace provedena (při kalibraci nové tvrdoměrné destičky se na ni vyznačí použitá stupnice).
4. vypočte se nejistota kalibrace tvrdoměrné destičky,
5. vystaví se kalibrační list.

10.1 Výpočet tvrdosti

$$\begin{array}{lll}
 \text{HRA} = 100 - h/2 & \text{HRBS (W)} = 130 - h/2 & \text{HRGS (W)} = 130 - h/2 \\
 \text{HRC} = 100 - h/2 & \text{HRES (W)} = 130 - h/2 & \text{HRHS (W)} = 130 - h/2 \\
 \text{HRDS (W)} = 100 - h/2 & \text{HRFS (W)} = 130 - h/2 & \text{HRKS (W)} = 130 - h/2
 \end{array} \quad (1)$$

Z rovnic vyplývá, že změně hloubky vtisku o 2 μm odpovídá změna tvrdosti o 1 jednotku Rockwella.

$$\begin{array}{ll}
 \text{HR15N} = 100 - h & \text{HR15TS (W)} = 100 - h \\
 \text{HR30N} = 100 - h & \text{HR30TS (W)} = 100 - h \\
 \text{HR45N} = 100 - h & \text{HR45TS (W)} = 100 - h
 \end{array} \quad (2)$$

Z rovnic vyplývá, že změně hloubky vtisku o 1 μm odpovídá změna tvrdosti o 1 jednotku Rockwella.

Trvalá hloubka vtisku se musí do vztahů dosazovat v μm.

10.2 Výpočet nehomogenity tvrdosti

Nehomogenita tvrdosti se vypočte ze vztahu:

$$R = h_{max} - h_{min} \quad (3)$$

Kde je: h_{max} největší hloubka vtisku
 h_{min} nejmenší hloubka vtisku

a je vyjádřena v procentech průměrné hloubky vtisku h

$$R = \frac{h_{max} - h_{min}}{h} \cdot 100 \quad (4)$$

Tabulka 6
dovolené nehomogenity tvrdoměrných destiček

Stupnice	Maximální dovolená hodnota R ^{a)}
A	1,5 % \bar{h} nebo 0,4 HRA
B	2,0 % \bar{h} nebo 1,0 HRBS (W)
C	1,0 % \bar{h} nebo 0,4 HRC
D	1,0 % \bar{h} nebo 0,4 HRD
E	2,0 % \bar{h} nebo 1,0 HRES (W)
F	2,0 % \bar{h} nebo 1,0 HRFS (W)

G	2,0 % \bar{h} nebo 1,0 HRGS (W)
H	2,0 % \bar{h} nebo 1,0 HRHS (W)
K	2,0 % \bar{h} nebo 1,0 HRKS (W)
N	2,0 % \bar{h} nebo 0,6 HRN
T	3,0 % \bar{h} nebo 1,2 HRTS (W)
a) Použije se větší z těchto dvou hodnot	

Tabulka 7

Mezní hodnoty tvrdosti, které rozhodují, zda použít pro hodnocení dovolené nehomogenity tvrdosti procentuální hodnotu nebo hodnotu v jednotkách tvrdosti, jsou následující:

Stupnice	Hranice
A	tvrdost $\leq 73,34$ HRA $\Rightarrow 1,5\%$ tvrdost $> 73,34$ HRA $\Rightarrow 0,4$ HRA
B	tvrdost $\leq 80,00$ HRBS (W) $\Rightarrow 2,0\%$ tvrdost $> 80,00$ HRBS (W) $\Rightarrow 1,0$ HRBS (W)
C	tvrdost $\leq 60,00$ HRC $\Rightarrow 1,0\%$ tvrdost $> 60,00$ HRC $\Rightarrow 0,4$ HRC
D	tvrdost $\leq 60,00$ HRD $\Rightarrow 1,0\%$ tvrdost $> 60,00$ HRD $\Rightarrow 0,4$ HRD
E	tvrdost $\leq 80,00$ HRES (W) $\Rightarrow 2,0\%$ tvrdost $> 80,00$ HRES (W) $\Rightarrow 1,0$ HRES (W)
F	tvrdost $\leq 80,00$ HRFS (W) $\Rightarrow 2,0\%$ tvrdost $> 80,00$ HRFS (W) $\Rightarrow 1,0$ HRFS (W)
G	tvrdost $\leq 80,00$ HRGS (W) $\Rightarrow 2,0\%$ tvrdost $> 80,00$ HRGS (W) $\Rightarrow 1,0$ HRGS (W)
H	tvrdost $\leq 80,00$ HRHS (W) $\Rightarrow 2,0\%$ tvrdost $> 80,00$ HRHS (W) $\Rightarrow 1,0$ HRHS (W)
K	tvrdost $\leq 80,00$ HRKS (W) $\Rightarrow 2,0\%$ tvrdost $> 80,00$ HRKS (W) $\Rightarrow 1,0$ HRKS (W)
N	tvrdost $\leq 70,00$ HRN $\Rightarrow 2,0\%$ tvrdost $> 70,00$ HRN $\Rightarrow 0,6$ HRN
T	tvrdost $\leq 60,00$ HRTS (W) $\Rightarrow 3,0\%$ tvrdost $> 60,00$ HRTS (W) $\Rightarrow 1,2$ HRTS (W)

Podle revidované normy ČSN EN ISO 6508-3, která by měla začít platit do konce roku 2015, bude dovolená nehomogenity stanovovány podle postupu uvedeného níže.

$$R = H_{max} - H_{min} \quad (5)$$

Kde je: H_{max} největší naměřená tvrdost
 H_{min} nejmenší naměřená tvrdost

Tabulka 8

Tabulka dovolených maximálních nehomogenit tvrdoměrných destiček

Stupnice	Maximální dovolená hodnota R ^{a)}
A	0,015(100 - \bar{H}) nebo 0,4 HRA
B	0,020(130 - \bar{H}) nebo 1,0 HRBS (W)
C	0,010(100 - \bar{H}) nebo 0,4 HRC
D	0,010(100 - \bar{H}) nebo 0,4 HRD
E	0,020(130 - \bar{H}) nebo 1,0 HRES (W)
F	0,020(130 - \bar{H}) nebo 1,0 HRFS (W)
G	0,020(130 - \bar{H}) nebo 1,0 HRGS (W)
H	0,020(130 - \bar{H}) nebo 1,0 HRHS (W)
K	0,020(130 - \bar{H}) nebo 1,0 HRKS (W)
N	0,020(100 - \bar{H}) nebo 0,6 HRN
T	0,038(100 - \bar{H}) nebo 1,2 HRTS (W)
^{a)} musí se použít větší ze dvou hodnot	

11 Kalibrační list

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025 a jejího článku 5.10 – Uvádění výsledků. Nejčastěji se výsledky kalibrace tvrdoměrné destičky uvádějí do kalibračních listů.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- Název a adresu kalibrační laboratoře,
- pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrované tvrdoměrné destičky,
- datum přijetí tvrdoměrné destičky ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 2.3.2/04/15),
- podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (teplota okolního prostředí),
- měřidla použitá při kalibraci, s čísly jejich kalibračních listů,
- obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci), s čísly jejich kalibračních listů,
- výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- jméno pracovníka, který měřidlo kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede přidělenou kalibrační značku, číslo laboratoře a odkaz na osvědčení o akreditaci. Součástí kalibračního listu je též prohlášení, že uvedené výsledky se týkají pouze kalibrovaného předmětu a kalibrační list nesmí být bez předběžného písemného souhlasu kalibrační laboratoře publikován jinak než celý.

Pokud provádí kalibrační, resp. metrologická laboratoř kalibraci pro vlastní organizaci, může být kalibrační list zjednodušen, případně vůbec nevystavován (výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v kalibrační kartě měřidla nebo na vhodném nosiči, popř. v elektronické paměti). V tomto případě je vhodné, aby kalibrační laboratoř zpracovala záznam o měření (s uvedenými měřenými hodnotami) a archivovat jej.

11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. Výsledky kalibrace se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty zanášet do kalibrační karty měřidla nebo ukládat do vhodné elektronické paměti.

11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedení kalibrace může kalibrační laboratoř označit tvrdoměrnou destičku kalibrační značkou. Kalibrační značka se na tvrdoměrné destičky vyznačuje na měrné ploše mechanicky (gravírování) popř. kalibračním štítkem nejčastěji s uvedením čísla kalibračního listu, datem provedení kalibrace, případně s logem laboratoře. Pokud to není výslovně uvedeno v některém interním podnikovém metrologickém předpisu nebo kupní smlouvě se zákazníkem, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na svém kalibračním štítku datum příští kalibrace, protože stanovení kalibrační lhůty měřidla je právem a povinností uživatele. U tvrdoměrných destiček se papírové štítky nepoužívají. Problematické je jejich nalepení. Na zpětnou plochu se to nesmí, protože by mohlo dojít ke zkreslení výsledků. Na měrnou plochu se štítek nalepit může, ale zmenší se plocha k měření. Jediným místem je bok destičky.

12 Péče o kalibrační postup

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

Změny, popř. revize kalibračního postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře 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

Kalibrační postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Kalibrační postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

Nejistota měření je parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině.

Jako měřená veličina je při kalibraci označována jako výstupní veličina Y , závislá na určitém počtu vstupních veličin X_i dle funkční závislosti:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

Tato funkce reprezentuje postup měření a metodu stanovení a popisuje, jak jsou hodnoty výstupní veličiny Y stanovovány z hodnot vstupních veličin X_i .

14.1 Základní rozdělení nejistot

Nejistoty měření se rozdělují na dvě základní skupiny:

Nejistota typu A – je založena na stanovení nejistoty statistickou analýzou série pozorování.

Nejistota typu B – je založena na stanovení nejistoty jiným způsobem než statistickým vyhodnocením série pozorování. V tomto případě vychází stanovení standardní nejistoty z nějaké jiné odborné znalosti.

Stanovení nejistoty typu A

Postup stanovení nejistoty typu A lze použít tehdy, pokud bylo za stejných podmínek provedeno několik nezávislých měření. Nejistota typu A se pak vypočte ze vztahu:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{6}$$

Kde je:

n	počet měření
x_i	i -té měření
\bar{x}	je průměrná hodnota z naměřených hodnot.

Stanovení nejistoty typu B

Postup pro stanovení nejistoty typu B je založen na stanovení nejistoty vztahující se k odhadu x_i vstupní veličiny X_i jiným způsobem než statistickou analýzou série pozorování. Příslušná standardní nejistota je určena odborným úsudkem na základě všech dostupných informací o možné variabilitě veličiny X_i . Nejistoty náležící do této kategorie mohou být odvozeny na základě:

- údajů z dříve provedených měření,
- zkušenosti s chováním a vlastnostmi příslušných materiálů a zařízení nebo jejich obecné znalosti,
- údajů výrobce,
- údajů uváděných v kalibračních listech nebo jiných certifikátech,
- nejistot referenčních údajů převzatých z příruček.

14.2 Nejistoty při kalibraci tvrdoměrných destiček

$$U_c = 2\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \quad (7)$$

Kde u_1 nejistota primární tvrdoměrné destičky pro $k = 1$ – použije se pro nepřímou kalibraci tvrdoměru

u_2 nejistota měření na tvrdoměru primární destičku – v případě, že tvrdoměr je kalibrován nepřímou metodou od kalibrační akreditované laboratoře, může se měření primární destičky vynechat a jako hodnotu nejistoty se použije nejistota v kalibračním listě tvrdoměru pro $k = 1$. Protože se používají k nepřímé kalibraci tři sady tvrdoměrných desítek (měkká, středně tvrdá a tvrdá) použije se hodnota nejistoty od destičky, jejíž hodnota se co nejvíce přibližuje předpokládané tvrdosti kalibrované tvrdoměrné destičky.

u_3 rozlišovací schopnost měřicího zařízení.

u_4 nejistota časového driftu primární destičky - zpravidla je hodnota 0, protože hodnota tvrdosti mezi rekalibracemi tvrdoměrné destičky se považuje za stálá.

u_5 nejistota vlivem nehomogenity kalibrované tvrdoměrné destičky.

Tabulka 9

Veličina X_i	Odhad x_i	Nejistota $u(x_i)$	Typ rozdělení	Koeficient citlivosti c_i	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
X_1 [HBW]	x_1	u_1	Normální	1	$u_1(y)$
X_2 [HBW]	x_2	u_2	Normální	1	$u_2(y)$
X_3 [μm]	x_3	u_3	Rovnoměrné	HR/h	$u_3(y)$
X_4 [HBW]	x_4	u_4	Trojúhelníkové	1	$u_4(y)$
X_5 [HBW]	x_5	u_5	Normální	1	$u_5(y)$
Standardní nejistota u					u_c
Rozšířená standardní nejistota U pro $k = 2$					U_c

14.3 Příklad výpočtu

Tvrdomost primární tvrdoměrné destičky – 51,15 HRC

Nejistota primární tvrdoměrné destičky – 0,19 HRC pro $k = 1$ z kalibračního listu

Chyba rozlišovací schopnosti měřicího zařízení $\delta = 0,1 \mu\text{m}$ z dokumentace

Nejistota driftu $u_4 = 0$

Tabulka 10

Stanovení nejistoty u_2 – měření tvrdoměru primární destičkou

Pořadové číslo měření	Naměřená hloubka vtisku h [μm]	Vypočtená hodnota tvrdosti HRC [HR]
1	97,051	51,47
2	96,788	51,61
3	96,100	51,95
4	86,076	51,96
5	96,360	51,82
Průměrná hodnota H_p	96,470	51,76
Směrodatná odchylka s_2		0,19

(8)

$$u_2 = \frac{t \cdot s_2}{\sqrt{n}} = \frac{1,14 \cdot 0,19}{\sqrt{5}} = 0,097$$

Koeficient t pro 5 měření $t = 1,14$

Tabulka 11

Stanovení nejistoty u_5 – měření kalibrované destičky

Pořadové číslo měření	Naměřený hloubka vtisku h [μm]	Vypočtená hodnota tvrdosti HRC [HR]
1	106,391	46,80
2	106,478	46,76
3	106,845	46,58
4	106,654	46,67
5	106,533	46,73
Průměrná hodnota H_d		46,71
Směrodatná odchylka s_5		0,08

(9)

$$u_5 = \frac{t \cdot s_5}{\sqrt{n}} = \frac{1,14 \cdot 0,08}{\sqrt{5}} = 0,041$$

Koeficient t pro 5 měření $t = 1,14$

Stanovení nejistoty u_3 – nejistota měřicího zařízení

(10)

$$u_3 = \frac{\delta}{2\sqrt{3}} = \frac{0,1}{2\sqrt{3}} = 0,029$$

Stanovení koeficientu citlivosti pro nejistotu u_3

(11)

$$c_3 = HR/h$$

Kde $HR = 71,76$ HRC; $h = 96,47$ μm

Tabulka 12

Veličina X_i	Odhad x_i	Nejistota $u(x_i)$	Typ rozdělení	Koeficient citlivosti c_i	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
H_1 [HRC]	51,76	0,190 HRC	Normální	1	0,190 HRC
H_2 [HRC]	51,76	0,097 HRC	Normální	1	0,097 HRC
l [μm]	0	0,029 μm	Rovnoměrné	0,744	0,021 HRC
D [HRC]	0	0 HRC	Trojúhelníkové	1	0 HRC
H_5 [HRC]	46,0	0,041 HRC	Normální	1	0,041 HRC
Standardní nejistota u					0,22 HRC
Rozšířená standardní nejistota U pro $k = 2$					0,44 HRC

$$\text{Bias } b = H_p - H_1 = 51,76 - 51,15 = 0,61 \text{ HRC}$$

(12)

14.3 Zápis výsledku

Pokud hodnota Bias leží v intervalu uvedeného v tabulce 1, pak hodnota rozšířené nejistoty je:

$$(H - b) \pm U \quad (13)$$

$$H = (46,10 \pm 0,44) \text{ HRC}$$

Pokud hodnota Bias leží mimo interval v tabulce 1, pak hodnota rozšířené nejistoty je:

$$H \pm (U + |b|) \quad (14)$$

$$H = (46,71 \pm 1,05) \text{ HRC}$$

Protože bias je podle tabulky 1 v maximálním dovoleném intervalu, pak kalibrace tvrdoměrné destičky má hodnotu podle (13).

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2$, který při normálním rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %. Standardní nejistota byla určena v souladu s dokumentem EA - 4/02.

15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 čl. 5.4. Validační zpráva je uložena v archivu sekretariátu ČMS.

Upozornění

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky. V případě, že střediskem provádějícím kalibraci je akreditovaná kalibrační laboratoř, měl by být kalibrační postup navíc upraven podle příslušných předpisů (zejména MPA a EA).