



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 2.3.2/05/15

TVRDOMĚRNÉ DESTIČKY VICKERS

Nepronásklejně

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 Vickers.

Princip měření:

Vnikací těleso daného tvaru a materiálu (diamantový pravidelný čtyřboký jehlan) je zatlačováno do měřeného materiálu statickou silou. Měří se úhlopříčka vytvořeného vtisku, která se dosadí do příslušného vztahu a vypočte se tvrdost podle Vickerse.

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 5 mm,
- musí být odmagnetována,
- odchylka povrchové rovinnosti horních a spodních ploch nesmí přesáhnout 0,005 mm,
- odchylka rovnoběžnosti horních a spodních ploch nesmí převýšit 0,010 mm na 50 mm,
- drsnost povrchu na mezní vlnové délce 0,8 mm nesmí na měrné ploše přesáhnout 0,05 μm charakteristiky Ra,
- drsnost povrchu na mezní vlnové délce 0,8 mm nesmí na opěrné ploše přesáhnout 0,8 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 0,01 mm, nebo měrná plocha musí být opatřena identifikační značkou.

Tvrdoměrné destičky se nemohou používat, jestliže:

- Na opěrné ploše jsou vtisky,
- jsou zkorodované,
- měrná plocha nebo opěrná je přebroušena,
- na měrné ploše se nemohou provést další vtisky, protože nelze dodržet předepsané vzdálenosti mezi vtisky, respektive vzdálenosti vtisků od kraje destičky. Viz. bod 9.2.

2 Související normy a metrologické předpisy

EA – 4/02:2013	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[1]
ČSN EN ISO 6507-1	Kovové materiály – zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 1: Zkušební metoda	[2]
ČSN EN ISO 6507-2	Kovové materiály – zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 2: Ověřování a kalibrace zkušebních zařízení	[3]
ČSN EN ISO 6507-3	Kovové materiály – zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 3: Kalibrace referenčních destiček	[4]
ASTM E 384	Standard Test Methods for Knoop and Vickers Hardness of metallic Materials	[5]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základních a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[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 Vickers 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	vrcholový úhel protilehlých stěn jehlanu vnikacího tělesa
F	zkušební zatížení v N
d	délka úhlopříčky vtisku (aritmetický průměr délek úhlopříček d_1 a d_2 téhož vtisku)
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
H_p	hodnota tvrdosti primární destičky

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

- 1) Tvrdoměr Vickers – musí splňovat požadavky normy ČSN EN ISO 6507-2 s přihlédnutím k odchylkám, které se vztahují k tvrdoměrům sloužící ke kalibraci tvrdoměrných destiček,
Dovolená mezní odchylka celkového zatížení musí být podle tabulky.

Tabulka 1

Rozsah zkušebního zatížení F N	Tolerance %
Oblast běžné zkoušky tvrdosti a oblast nízkého zatížení	$\pm 0,1$
Oblast mikrotvrdosti	$\pm 0,5$

- 2) Vnikací tělesa Vickers musí splňovat následující požadavky:

Tabulka 2

Diamantová vnikací tělesa	Parametry vnikacích těles
vrcholový úhel protilehlých stěn α	$136^\circ \pm 0,1^\circ$
Kvalita povrchu	Vyleštění
Úhel mezi osou kužele a osou držáku	$\pm 0,3^\circ$
Úhel čtyřúhelníku vzniklým protnutí stěn s rovinou kolmou k ose jehlanu	$90^\circ \pm 0,2^\circ$

Tabulka 3

Rozsahy zkušebního zatížení F [N]	Maximální přípustná délka stříšky* a [mm]
$F \geq 49,03$	0,001
$1,961 \leq F < 49,03$	0,0005
$0,09807 \leq F < 1,961$	0,00025

* stříška je spojnice protilehlých stěn na vrcholu vnikacího tělesa

- 3) sady tvrdoměrných destiček pro každou stupnici tvrdosti – vždy měkké, středně tvrdé a tvrdé,
- 4) teploměr,
- 5) technický líh na čištění tvrdoměrných destiček,
- 6) vhodné utěrky,
- 7) lihové fixy na označení měřených vtisků apod.

Poznámka: Všechna použitá měřidla a pomocná měřicí zařízení musí být navázány 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 jsou uvedené v tabulkách č. 4, 5, 6.

Tabulka 4

Zkouška tvrdosti podle Vickerse – oblast makrotvrdomosti

Symbol tvrdosti	Zkušební zatížení F [N]	Rozsah
HV 5	49,03	(20 ÷ 3000) HV
HV 10	98,07	
HV 20	196,1	
HV 30	294,2	
HV 50	490,3	
HV 100	980,7	

Tabulka 5

Zkouška tvrdosti podle Vickerse – oblast malých zatížení

Symbol tvrdosti	Zkušební zatížení F [N]	Rozsah
HV 0,2	1,961	(20 ÷ 3000) HV
HV 0,3	2,942	
HV 0,5	4,903	
HV 1	9,807	
HV 2	19,61	
HV 3	29,42	

Tabulka 6

Zkouška tvrdosti podle Vickerse – oblast mikrotvrdomosti

Symbol tvrdosti	Zkušební zatížení F [N]	Rozsah
HV 0,01	0,09807	(20 ÷ 3000) HV
HV 0,015	0,1471	
HV 0,2	0,1961	
HV 0,025	0,2452	
HV 0,05	0,4903	
HV 0,1	0,9807	

Tvrdomost podle Vickerse se označuje symbolem HV. Tomuto symbolu předchází hodnota tvrdosti a za ním následuje číslo charakterizující použitou stupnici.

8 Kontrola dodávky a příprava kalibrace

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 zkorodovaná, jestli na ní nejsou nějaká mechanická poškození, jestli nejsou na opěrné straně vtisky nebo není spotřebovaná z více jak 50 % - nelze dodržet předepsané vzdálenosti mezi vtisky, respektive mezi vtisky a okraji destičky. Jestli je viditelně přebroušena měrná nebo opěrná plocha.

Tvrdoměrná destička, která nevyhověla při vnější prohlídce, se vyřadí z dalších zkoušek.

8.3 Příprava měřidla

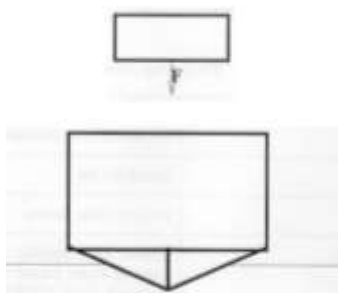
Před kalibrací se musí tvrdoměrná destička zbavit veškerých nečistot a různých nejčastěji papírových štítků s evidenčním číslem apod. Použije se k tomu technický líh nebo podobná čisticíidla, která rozpouštějí mastnotu.

9 Postup kalibrace

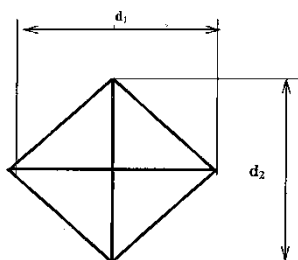
9.1 Princip kalibrace

Zkouška spočívá ve vtlačování diamantového vnikacího tělesa ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu daného vrcholového úhlu mezi protilehlými stěnami do povrchu tvrdoměrné destičky při působení zkušebního zatížení za určitých podmínek - viz obrázek 3. Měří se úhlopříčka vtisku, který zůstane po odlehčení - viz obrázky 1, 2.

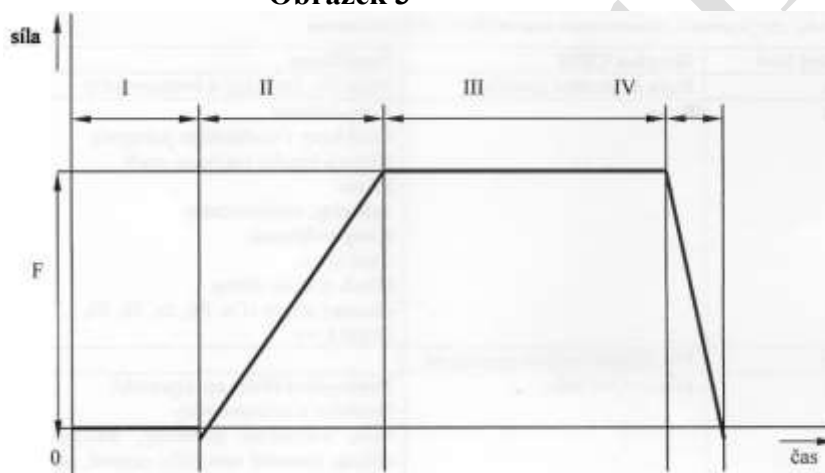
Obrázek 1



Obrázek 2



Obrázek 3



- I přisuv vnikacího tělesa ke měřenému tělesu
- II doba náběhu požadovaného zkušebního zatížením
- III doba působení zkušebním zatížení
- IV úplné odlehčení

9.2 Vlastní pracovní postup

- Před měřením se musí provést nejméně 10 vtisků na tvrdoměrnou destičku, která je u každého etalonového tvrdoměru. Tím se přístroj a hydraulika zahřeje do provozní teploty.
- Na destičce se provede nejméně 5 vtisků rozmístěných podle obrázku 4. Vzdálenost středu každého vtisku od okraje tvrdoměrné destičky musí být nejméně 2,5 násobek průměrné hodnoty úhlopříček vtisku d v případě oceli, mědi a slitin mědi, nejméně 3 násobek v případě lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin. Vzdálenost středů dvou sousedních vtisků musí být nejméně 3 násobek průměrné hodnoty úhlopříček vtisku v případě oceli, mědi a slitin mědi a nejméně 6 násobek v případě lehkých kovů, olova, cínu a jejich slitin.

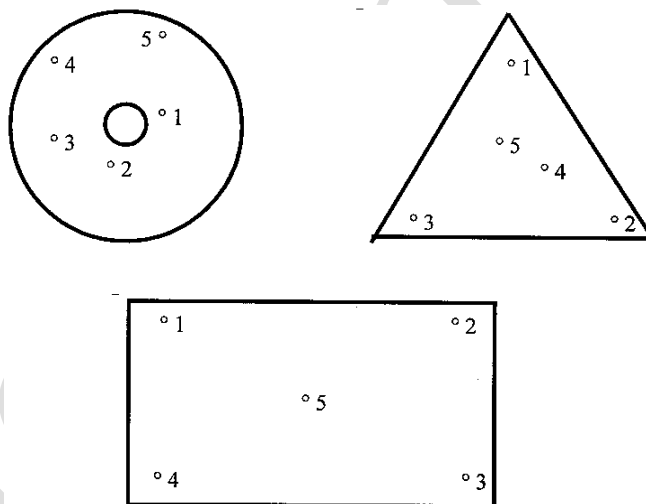
3. Rychlost přibližování vnikacího tělesa k měrné ploše a rychlost zatěžování zkušebním zatížením směřujícím kolmo k jeho povrchu, bez rázů a chvění až do jeho dané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7

Rozsahy zkušebního zatížení [N]	Rychlost přibližování vnikacího tělesa [s]	Doba dosažení zkušebního zatížení [s]
$F < 1,961$	$0,05 \div 0,20$	≤ 10
$1,961 \leq F < 49,03$	$0,05 \div 0,20$	≤ 10
$F \geq 49,03$	$0,05 \div 1,00$	$6 \div 8$

4. Doba působení plného zkušebního zatížení musí být v rozmezí 13 s až 15 s.

Obrázek 4



10 Vyhodnocení kalibrace

- Hodnota tvrdosti zjištěná jednotlivým vtiskem se stanovuje ze změřených úhlopříček vtisku. Do výpočtu podle článku 10.1 se dosazuje aritmetický průměr d úhlopříček vtisku (k vyhodnocení tvrdosti se mohou použít tabulky).
- aritmetický průměr tvrdostí zjištěných jednotlivými vtisky je pak hodnotou tvrdosti tvrdoměrné destičky,
- vypočte se nehomogenita tvrdosti a její 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,

4. 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).
5. vypočte se nejistota kalibrace tvrdoměrné destičky,
6. vystaví se kalibrační list.

10.1 Výpočet tvrdosti

Tvrdot podle Vickerse je vyjádřena jako poměr zkušebního zatížení k povrchu vtisku, jenž se uvažuje jako pravidelný čtyřboký jehlan se čtvercovou základnou a s vrcholovým úhlem rovnajícím se úhlu vnikacího tělesa.

$$HV = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \cdot \frac{F[\text{N}]}{d^2[\text{mm}^2]} \quad (1)$$

Pozn.: Konstanta

$$0,102 = \frac{1}{g} = \frac{1}{9,80665} \quad (2)$$

Délka úhlopříčky se musí do vztahu dosazovat v mm.

10.2 Výpočet homogenity tvrdosti

Nehomogenita tvrdosti v % se vypočte ze vztahu:

$$R = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{\bar{d}} \cdot 100 \quad (3)$$

Kde je:

d_{\max} aritmetický průměr úhlopříček největšího vtisku
 d_{\min} aritmetický průměr úhlopříček nejmenšího vtisku
 \bar{d} průměrná hodnota úhlopříčky vypočtená ze všech vtisků

Tabulka 8

Tabulka dovolených nehomogenit tvrdoměrných destiček

Tvrdot destičky	Maximální dovolená hodnota nehomogenity v % \bar{d}		
	HV 0,2 až < HV 5	HV 5 až HV 100	< HV 0,2
$\leq 225 \text{ HV}^{2)}$	3,0	2,0	4,0 nebo 0,001mm ¹⁾
$> 225 \text{ HV}$	2,0	1,0	

1) Je používána větší hodnota

2) U hodnot tvrdosti < 150 HV, musí být maximální nehomogenita 8 % nebo 0,001 mm

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 v kalibračním listě.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- a) Název a adresu kalibrační laboratoře,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- d) název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrované tvrdoměrné destičky,
- e) datum přijetí tvrdoměrné destičky ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 2.3.2/05/15),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (teplota okolního prostředí),
- h) měřidla použitá při kalibraci s čísly jejich kalibračních listů,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci) s čísly jejich kalibračních listů,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) 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:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

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 výroby,
- údajů uváděných v kalibračních listech nebo jiných certifikátech,
- nejistot referenčních údajů převzatých z příruček.

14.2. Nejistoty při kalibraci tvrdoměrných destiček

$$U_c = 2\sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \tag{5}$$

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 jeho hodnota 0, protože mezi dvěma rekalibracemi primární destičky se hodnota její tvrdosti považuje 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	$2(HV/d)$	$u_3(y)$
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 – 330 HV30

Nejistota primární tvrdoměrné destičky – 1 HV30 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 úhlopříčka vtisku [mm]	Vypočtená hodnota tvrdosti HV30 [H]
1	0,41435	324
2	0,41235	327
3	0,41202	327
4	0,41237	327
5	0,41229	327
Průměrná hodnota H_p	0,41267	327
Směrodatná odchylka s_2		1,49

(6)

$$u_2 = \frac{t \cdot s_2}{\sqrt{n}} = \frac{1,14 \cdot 1,490}{\sqrt{5}} = 0,75$$

Koeficient t pro 5 měření $t = 1,14$

Tabulka 11

Stanovení nejistoty u_5 – měření kalibrované destičky vliv nehomogenity

Pořadové číslo měření	Naměřený průměr vtisku [mm]	Vypočtená hodnota tvrdosti HBW10/3000 [H]
1	0,13592	301
2	0,13563	302
3	0,13554	302
4	0,13613	300
5	0,13603	300
Průměrná hodnota H		301
Směrodatná odchylka s_5		1,14

(7)

$$u_5 = \frac{t \cdot s_5}{\sqrt{n}} = \frac{1,14 \cdot 1,14}{\sqrt{5}} = 0,58$$

Koeficient t pro 5 měření $t = 1,14$

Stanovení nejistoty u_3 – nejistota měřicího zařízení

(8)

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

Stanovení koeficientu citlivosti pro nejistotu u_3

(9)

$$c_3 = 2(HV/d)$$

Kde $H = 327$ HV30; $d = 0,41267$ mm

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 [HV30]	330	1,0 HV30	Normální	1	1,00 HV30
H_2 [HV30]	330	0,75 HV30	Normální	1	0,75 HV30
l [μ m]	0	0,029 μ m	Rovnoměrné	1584,8	0,05 HV30
D [HV30]	0	0 HV30	Trojúhelníkové	1	0 HV30
H_5 [HV30]	303	0,39 HV30	Normální	1	0,58 HV30
Standardní nejistota u					1,38 HV30
Rozšířená standardní nejistota U pro $k = 2$					2,76 HV30

14.4 Zápis výsledku

$$H = (301 \pm 2,8) \text{ HV30}$$

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 článek 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).