



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 1.1.7/01/14

ULTRAZVUKOVÉ DÁLKOMĚRY

Praha

Říjen 2014

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

Číslo úkolu: VII/1/14

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

Řešitel: Česká metrologická společnost

Zpracoval: Ing. Richard Silovský

© ÚNMZ, ČMS

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

1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup se vztahuje ke kalibraci ultrazvukových dálkoměrů pro měření v souladu s návodem výrobce daného ultrazvukového dálkoměru.

Kalibrace popsaná v tomto kalibračním postupu se týká jak prvotní kalibrace, popř. vstupní kontroly ultrazvukových dálkoměrů v dané organizaci (dále jen PK), tak i rekalkibrace během používání (dále jen RK).

1. Související normy a metrologické předpisy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[1]
Příslušenství přístroje	Návod na obsluhu přístroje a technické parametry	[2]
EA 4/02 M:2013	Vyjádření nejistoty měření při kalibraci	[3]
EA 4/07	Návaznost měřicího a zkušebního zařízení na státní etalony	[4]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[5]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[6]
Nařízení vlády č. 464/2005 Sb.	Příloha č. 10 - Specifické technické požadavky pro ztělesněné míry – Hmotné délkové měřky	[7]
ČSN 25 1105	Meračské pásma. Základné ustanovenia	[8]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci ultrazvukových dálkoměrů je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem upraveným na konkrétní podmínky kalibrační laboratoře nebo obdobného pracoviště provádějícího kontroly 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

Termíny, definice a názvosloví jsou obsahem příslušných norem, které jsou uvedeny v článku č. 2.

Ultrazvukový dálkoměr je určen pro rychlé a snadné měření (odhadování) vzdáleností, ploch a objemů s dobrým stupněm přesnosti. Tento nástroj je určen výhradně k použití v interiérech, jeho měřicí rozsah je (0,6 až 12) m, některá do 20 m. Pro velmi přesné a konzistentní měření nebo měření v exteriéru doporučujeme použít jiné nástroje s laserovým odměřováním.



Obrázek č. 1 a č. 2: Typy ultrazvukových dálkoměrů

Chyba měření (přístroje) - je algebraický rozdíl mezi indikovanou hodnotou a pravou (skutečnou) hodnotou měřené veličiny.

Největší dovolená chyba (MPE) – je největší chyba měření dovolená výrobcem měřidla, popřípadě (u opotřebených měřidel) stanovená uživatelem měřidla.

Další pojmy a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), a v publikacích zaměřených na metrologickou terminologii.

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

- Měřické pásmo (ocelové), s rozsahem do 20 m, třída přesnosti I (NV č. 464/2005 Sb.),
- kalibrační zařízení, stativ na uchycení ultrazvukového dálkoměru s libelou,
- vlasový vlhkoměr, závaží 5 kg pro napnutí etalonového pásma,
- dotykový tělískový teploměr hodnota dílku stupnice 0,1 °C nebo 0,2 °C,
- čisticí prostředky (čistý lékařský benzín, miska, vlasový štětec, lněná utěrka, jelenice),

Poznámka:

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

6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace ultrazvukových dálkoměrů se provádí za těchto referenčních podmínek:

- Teplota prostředí: $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$,
- Změna teploty vzduchu: max. $1 \text{ }^\circ\text{C} / \text{h}$,
- Relativní vlhkost vzduchu: max. 80 % *RH*, nekorozní prostředí (dle ČSN 25 5103).

Proměnlivý tlak a vlhkost vzduchu může ovlivnit kalibraci.

Před vlastní kalibrací mají být kalibrované měřidlo a přístroj použitý ke kalibraci umístěny v místnosti, kde se kalibrace provádí. Kalibrace nesmí být zahájena dříve, než měřidla dosáhnou uvedené teploty. Teplota prostředí se zaznamená před zahájením kalibrace a kontroluje v průběhu kalibrace i po jejím skončení. Vlhkost vzduchu se měří před zahájením kalibrace a je určena požadavkem ČSN 25 5103 na nekorozivní prostředí.

7 Rozsah kalibrace

- Kontrola dodávky při vstupní kontrole (viz čl. 8.1),
- předběžná kontrola a případná úprava (viz čl. 8.2),
- měření metrologických parametrů (viz čl. 9),
- vyhodnocení kalibrace (čl. 10).

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Převzetí ultrazvukového dálkoměru k prvotní kalibraci nebo k rekalibraci stvrzuje pracovník kalibrační laboratoře svým podpisem na kopii objednávky nebo na formuláři k tomu určeném. Při přebírání ultrazvukového dálkoměru se překontroluje, zda typ, evidenční číslo, výrobní číslo a příslušenství ultrazvukového dálkoměru (náhradní baterie, seřizovací prvky) odpovídají údajům na objednávce nebo na dodacím listu, dodaném podkladu (evidenční karta, výpis z počítačové evidence měřidel). (RK)

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Při předběžné kontrole měřidla se provede:

- sejmutí značek, kterými bylo měřidlo opatřeno při předchozí kalibraci (pouze RK),
- zjištění, zda nemá ultrazvukový dálkoměr viditelné závady znemožňující kalibraci, (nečitelné označení),
- případná oprava lehce poškozených částí ultrazvukového dálkoměru, výměna baterie,
- celkové očištění ultrazvukového dálkoměru v technickém benzínu,
- vytření dálkoměru do sucha.

Mají-li poškození takový charakter, že je nelze odstranit uvedeným způsobem, předepíše se ultrazvukový dálkoměr k celkové opravě nebo k vyřazení.

8.3 Příprava měřidla

Kalibrovaný ultrazvukový dálkoměr se upne v základní poloze na kalibračním zařízení, kterým může být univerzální délkoměr, nebo speciální kalibrátory sestavený ze stativu, libelou pro nastavení vodorovné polohy a měřickým pásmem propojeného se stativem s možností odečtu etalonové dráhy.

9 Postup kalibrace

9.1 Zařízení na kalibrace ultrazvukových dálkoměrů

Vhodný prostor ke kalibraci ultrazvukových dálkoměrů musí odpovídat minimálně rozsahu kalibrovaného ultrazvukového dálkoměru zpravidla 12 m nebo pro některé do 20 m. V prostoru kalibrace je nutné zamezení volné cirkulaci vzduchu. Proměnlivý tlak a vlhkost vzduchu může ovlivnit měření. Při kalibraci na dlouhé vzdálenosti mezi 12 m až 15 m by měla být relativní vlhkost vyšší než 50 %. Různé zvuky taktéž mohou mařit měření. Měřicí pole musí být volné: v pracovním úhlu kalibrace $\pm 5^\circ$ nesmí být žádné objekty nebo předměty (např.: vaše paže; překážky, otvory, měkké stěny).



Obrázek č. 3: Praktická aplikace měření ultrazvukovým dálkoměrem

Se vzrůstající kalibrovanou vzdáleností je potřeba mít adekvátní odrazovou plochu. U přístrojů s pasivním odrazem (tj. bez elektronického odražeče) je třeba mít cílovou plochu určitých, dosti značných rozměrů (\varnothing cca 30 cm při měřené vzdálenosti 3 m, \varnothing cca 1 m při vzdálenosti 10 m), odrazná plocha musí být rovná, v prostoru šíření ultrazvukových vln (tj. kužel s vrcholem u měřicího přístroje a se základnou na odrazné ploše) nesmí být žádné překážky, zaměření musí být kolmé.

Kalibrace ultrazvukového dálkoměru lze provádět v hale kalibrační laboratoře umístěním ultrazvukového dálkoměru na stativ s možností uchycení. Uchycení musí mít možnost vyrovnání s pomocnou libelou vůči podlaze ve vodorovné poloze a kolmo k odrazové stěně. Stativ je pevně propojený s odměřovacím systémem v tomto případě stáčecím

měřickým pásmem s požadavky na přesnost pásmových měrek (podle NV č. 464/2005 Sb.) pro 1. třídu přesnosti.

Etalonové pásmo se napne na kalibrační stolicí předepsanou silou 5 kg závažím pro vyvolání síly o velikosti cca 50 N.

Upevněním ultrazvukového dálkoměru na stativ a jeho prvotní nastavení se provádí s ohledem na připočtení délky těla přístroje, pokud tomu není jinak dle konkrétního typu přístroje a tím i návodu k obsluze. Délka těla ultrazvukového dálkoměru se automaticky připočítává. Počátek měření se nastavuje od spodní části ultrazvukového dálkoměru.



Obrázek č. 4: Popis ultrazvukového dálkoměru

9.2 Zjištění chyby ultrazvukového dálkoměru

Přesnost odměřovacího systému ultrazvukového dálkoměru je daná výrobcem měřidla, rozlišení je 0,01 m. Měřické pásmo v 1. třídě přesnosti je vhodné k použití jako Etalon délky. Etalonové pásmo se napne na kalibrační stolicí předepsanou silou. Pro ocelová pásma je předepsána (podle NV č. 464/2005 Sb.) síla přibližně 50 N. Tato síla se vyvodí zpravidla přes kladku závažím 5 kg, které se pomocí upínky zavěsí na pásmo. Pokud je na pásmu výrobcem uvedena jiná zatěžovací síla, doporučuje se ji respektovat. ČSN 25 1105 předepisovala napínací sílu až 150 N, což nelze obecně doporučit.

Ultrazvukový dálkoměr kalibrujeme porovnáním s etalonem délky (např. měřického pásma) v několika měřících bodech. Měřící body volíme tak, aby vypovídaly o stavu celého rozsahu ultrazvukového dálkoměru. Při volbě bodu se bere zřetel nad únosnou pracností měření. Ultrazvukový dálkoměr se kalibruje minimálně na každém celém metru.

Důležité: při měření na dlouhé vzdálenosti od 12 m až 20 m by měla být relativní vlhkost vyšší než 50% a minimální rozměr odrazové plochy 3 m x 3 m.

Kalibrace ultrazvukového dálkoměru a odečítání měřené chyby se provádí ve čtyřech až sedmi měřeních ve zvolené vzdálenosti. Z měření se určí střední hodnota měřené délky ultrazvukového dálkoměru, směrodatná odchylka a nejistota kalibrace vzorku podle vztahu pro vícenásobná měření. Nejistota ze statistiky měřených hodnot:

$$u_A = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

Kromě výpočtu nejistoty kalibrace z opakovaných měření, slouží směrodatná odchylka také k hodnocení kvality kalibrace.

Jmen.hodn. m	Měř.bod 1 m	Měř.bod 2 m	Měř.bod 3 m	Měř.bod 4 m	Měř.bod 5 m	Měř.bod 6 m	Měř.bod 7 m
0,6	0,60	0,59	0,58	0,63	0,61	0,61	0,62
1	1,02	1,03	1,02	1,01	1,00	0,97	0,98
5	4,98	4,97	5,01	5,02	5,00	5,01	5,03
10	10,02	9,97	9,96	10,02	9,95	9,98	10,02
12	12,03	11,98	11,95	11,98	11,97	12,03	12,05

Jmenovitá hodnota m	Střední naměřená hodnota m	Rozšířená nejistota měření etalonu U_E mm	Směrodatná odchylka s ze sedmi měření m
0,6	0,61	±0,2	0,02
1	1,00	±0,3	0,03
5	5,00	±0,9	0,02
10	9,99	±1,7	0,03
12	12,01	±2,0	0,04

10 Vyhodnocení kalibrace

10.1 Postup vyhodnocení

Měřené hodnoty, resp. úchyly od jmenovité hodnoty se zanesou do záznamu o kalibraci, resp. do kalibračního listu. Zjištěné úchyly zvětšené o rozšířenou nejistotu měření U se porovnají s celkovými dovolenými chybami. Dovolené chyby návodu výrobce MPE ±0,5 % MH - měřené hodnoty.

Hodnota etalonu ± nejistota $E \pm U_E$ m	Střední měřená hodnota ± nejistota ze 7 měření $X \pm U_X$ (m)	Chyba měřidla ± nejistota měření $(X-E) \pm \sqrt{(UX^2 + UE^2)}$ m	Chyba dovolená výrobce MPE = ±(0,5 % MH) m
0,6 ± 0,001	0,61 ± 0,17	+0,01 ± 0,27	±0,03
1,0 ± 0,001	1,00 ± 0,20	0,00 ± 0,27	±0,05
5,0 ± 0,001	5,00 ± 0,19	0,00 ± 0,30	±0,25
10,0 ± 0,002	9,99 ± 0,23	-0,01 ± 0,38	±0,50
12,0 ± 0,002	12,01 ± 0,26	+0,01 ± 0,42	±0,60

10.2 Postup v případě neshody

V případě, že ultrazvukový dálkoměr nevyhoví včetně rozšířené nejistoty měření požadavkům normy, předpisu výrobce nebo požadavku zákazníka, označí kalibrační laboratoř měřidlo jako nevyhovující a předá zadavateli kalibrace odděleně od vyhovujících měřidel.

11 Kalibrační list

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025 a jejího článku 5.10 – Uvádění výsledků. Jednou z forem je kalibrační list. Pokud nelze s ohledem na nejistotu měření jednoznačně prohlásit shodu nebo neshodu se specifikací, je nejlepší formou uvádění výsledků kalibrační tabulka a (nebo) kalibrační graf.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat minimálně následující údaje:

- název a adresu kalibrační laboratoře,
- pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- jméno a adresu zadavatele, resp. zákazníka,
- název a identifikační číslo kalibrovaného měřidla, popřípadě jméno výrobce,
- datum přijetí ultrazvukového dálkoměru ke kalibraci, datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 1.1.7/01/14),
- podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňující veličiny apod.),
- měřidla použitá při kalibraci,
- obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci),
- výsledky měření a s nimi spjatou 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 a odkaz na 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. I v tomto případě však musí kalibrační laboratoř zpracovat 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 5 roků nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. Doporučuje se archivovat záznamy a kalibrační listy chronologicky. 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 kalibrované měřidlo kalibrační značkou, popř. kalibračním štítkem. Pokud to není výslovně uvedeno v některém podnikovém metrologickém předpisu, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na kalibrační štítek datum příští kalibrace.

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)

Předmětem kalibrace je ultrazvukový dálkoměr pro měření vzdáleností pomocí ultrazvuku v místnostech k tomu určených. Pro rozsahy dálkoměrů dle výrobce zpravidla do 12 m (20 m) měřené délky.

Kalibrace ultrazvukového dálkoměru lze provádět v hale kalibrační laboratoře umístěním ultrazvukového dálkoměru na stativ s možností uchycení. Uchycení musí mít možnost vyrovnání s pomocnou libelou vůči podlaze ve vodorovné poloze a kolmo k odrazové stěně. Stativ je pevně propojený s odměrovacím systémem v tomto případě stáčecím měřickým pásmem s požadavky na přesnost pásmových měrek (podle NV č. 464/2005 Sb.) pro 1. třídu přesnosti. Etalonové pásmo se napne na kalibrační stolicí předepsanou silou.

Upevněním ultrazvukového dálkoměru na stativ a jeho nastavení se provádí s ohledem na připočtení délky těla přístroje, pokud tomu není jinak dle konkrétního typu přístroje a tím i návodu k obsluze. Délka těla ultrazvukového dálkoměru se automaticky připočítává. Počátek měření od spodní části ultrazvukového dálkoměru.

Vzorec pro výpočet nejistoty z opakovaných měření:

$$u_A = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

Pokud je průměrná hodnota nebo směrodatná odchylka založena na velmi malém počtu opakovaných měření pro $n \leq 9$, mohou být odhadované hodnoty směrodatné odchylky chybné a možná příliš malé. Z tohoto důvodu se používá koeficient „bezpečnosti“ h . Pro menší počet měření platí:

$$u_A = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \cdot h$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1

Vzorec pro výpočet na známé identifikovatelné zdroje:

$$u_B(x) = \sqrt{\sum_{j=1}^n A_j^2 u_B^2(z_j)}$$

Kombinovaná standardní nejistota:

$$u_c(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)}$$

Výchozí rovnice pro úchylku indikace délky ultrazvukového dálkoměru má tento zjednodušený tvar:

$$l_x = l_e + l_s + l_{d0} + l_e + \Delta t \cdot \alpha \cdot L$$

kde:

- l_x Měřená délka kalibrovaného ultrazvukového dálkoměru,
- l_s Základní chyba čtení ultrazvukového dálkoměru, s dělením 0,01 m, nahrazeno u_A
- l_e Chyba etalonového měřického pásma,
- l_{d0} Nastavení počátku měření,
- Δt odchylka od normální teploty,
- α součinitel délkové roztažnosti.

Veličina		Meze nejistot	Typ rozdělení	Dílčí nejistota	Koefic. citlivosti	Příspěvek k nejistotě
Nejistota z opakovaných měření $u_A = 0,13 \text{ mm}$; 7 měření	u_A	0,13 m	normální $k = 1$	0,13 μm	1	0,13 m
Etalonové měřítko, délka $L = 20 \text{ m}$, Mezní chyba $\pm 3 \text{ mm}$	l_e	0,003 m	rovnoměr. $\sqrt{3}$	0,0017 m	1	0,0017 m
Nastavení počátku úseku - odhad mezní chyby 0,01 m	l_{a0}	0,01 m	normální $k = 2$	0,005 m	1	0,005 m
Teplotní rozdíl mezi měřickým pásmem a kalibrovaným ultrazvukovým dálkoměrem – odhad 0,5 °C	Δt	0,5 °C	rovnoměr. $\sqrt{3}$	0,29 °C	$\alpha = 11,5 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ $L = 20 \text{ m}$	0,066 m
Vliv rozdílu teplotní roztažnosti měřického pásma, délka 20 m, $\alpha = 11,5 \pm 1 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ teplota okolí (20 \pm 2) °C	α	11,5 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	rovnoměr. $\sqrt{3}$	6,64 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	$\Delta t = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ $L = 20 \text{ m}$	0,266 m
Výsledná chyba měření ultrazvukového dálkoměru pro měřenou délku 20 m	l_x	Nejistota kalibrace u pro $k = 1$				0,304 m
		Rozšířená nejistota kalibrace U pro $k = 2$, pokryje 95 % pravděpodobnost				0,61 m
		Uvádění nejistoty k výsledku kalibrace				$\pm 0,61 \text{ m}$

15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17 025:2005 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).