

# KALIBRAČNÍ LABORATOŘE ELEKTRICKÝCH VELIČIN, DÉLEK A TEPLoty

**M/32/99**

**Zpracovatel:**

**Ing. Antonín Chybík**

**září 1999**

## OBSAH

- I. Úvod
- II. Kalibrace prováděné ve vybraných laboratořích
  - II.1 Kalibrace měřidel elektrických veličin
  - II.2 Kalibrace měřidel délky
  - II.3 Kalibrace měřidel teploty
  - II.4 Poznámky ke sběru a zpracování dat prováděných v kalibrační laboratoři
- III. Projektování kalibračních laboratoří
  - III.1 Dokumentace projektu kalibrační laboratoře
  - III.2 Rozvržení a základní vlastnosti kalibrační laboratoře - všeobecně
  - III.3 Budovy pro kalibraci
  - III.4 Výběr místa pro laboratoře
  - III.5 Požadavky na konstrukci a stavební řešení budov kalibračních laboratoří
  - III.6 Požadavky na pomocná pracoviště
- IV. Požadavky na etalony použité pro kalibraci
  - IV.1 Kalibrace měřidel elektrických veličin
  - IV.2 Kalibrace měřidel délky
  - IV.3 Kalibrace měřidel teploty
- V. Doporučované vybavení kalibračních laboratoří
  - V.1 Vybavení kalibrační laboratoře elektrických veličin
  - V.2 Vybavení kalibrační laboratoře délek
  - V.3 Vybavení kalibrační laboratoře teplot
- VI. Závěr

## I. ÚVOD

Účelem této práce je zpracování požadavků souvisejících s přípravou stavby nových kalibračních laboratoří nebo s rekonstrukcí laboratoří stávajících. Snaží se odpovědět na některé otázky, které vyvstanou v případě, že je zvažován projekt laboratoře určitého oboru měření. Práce má poskytnout odpovědným pracovníkům metrologie a zainteresovaným projektantům či konstruktérům informace, týkající se požadavků na umístění, konstrukci a vybavení kalibrační laboratoře v oborech měření elektrických veličin, délek a teplot.

Pracovníkům metrologie jsou poskytovány informace jako doporučení v takovém rozsahu, jaký potřebují při specifikování svých požadavků projektantům a konstruktérům, aby mohla být zabezpečena správná činnost projektovaných laboratoří.

Je třeba si uvědomit, že projekt a konstrukce kalibrační laboratoře je stejně důležitý jako výběr a funkce přístrojového vybavení v ní používaného. Přístrojové vybavení nakonec zastará v důsledku technického vývoje. Opotřebuje se také dlouhodobým používáním. Ale samotná laboratoř může být v provozu po řadu generací přístrojového vybavení. Čas a úsilí vložené do stavebního projektu laboratoře by měl odpovídat jejímu významu a trvalému vlivu na kvalitu práce v ní prováděné.

Práce se zabývá nejen stanovením požadavků kladených na umístění či konstrukci kalibračních laboratoří, ale snaží se také najít způsob jejich zabezpečení.

Po přehledu kalibrací prováděných ve vybraných kalibračních laboratořích je věnován prostor vlastnostem společným všem uvedeným laboratořím, načež jsou uváděny požadavky na speciální vlastnosti jednotlivých laboratoří.

Ve čtvrté kapitole se autor věnuje požadavkům kladeným na etalony použité pro kalibraci elektrických veličin, délky a teploty.

Poněkud rozsáhlá pátá kapitola je věnována konkrétnímu doporučovanému etalonovému vybavení kalibračních laboratoří uvedených oborů měření.

Práce poskytuje technická hlediska a základy projektu prostorů, v nichž je prováděna kalibrace daných oborů měření, zabývá se etalonovým vybavením příslušných laboratoří, ale do značné míry pojednává také o problematice pomocných technických prostorů.

## II. KALIBRACE PROVÁDĚNÉ VE VYBRANÝCH LABORATOŘÍCH

V uvažovaných kalibračních laboratořích se provádějí nejčastěji kalibrace měřidel následujících měřících veličin, obvyklých rozsahů a dovolených chyb:

### II. 1 Kalibrace měřidel elektrických veličin

- stejnosměrné elektrické napětí v rozsahu 1  $\mu\text{V}$  až 1 kV dovolené chyby  $\pm 0,001\%$  až  $\pm 10\%$
- střídavé nízkofrekvenční elektrické napětí v rozsahu 1  $\mu\text{V}$  až 1 kV v kmitočtovém pásmu 10 Hz až 1 MHz dovolené chyby  $\pm 0,005\%$  až  $\pm 10\%$
- vysokofrekvenční elektrické napětí v rozsahu 1  $\mu\text{V}$  až 100 V v kmitočtovém pásmu 1 MHz až 1000 MHz dovolené chyby  $\pm 0,5\%$  až  $\pm 10\%$

- stejnosměrný elektrický proud v rozsahu 1 nA až 1000 A dovolené chyby  $\pm 0,002\%$  až  $\pm 5\%$
- střídavý nízkofrekvenční elektrický proud v rozsahu 1 mA až 1000 A v kmitočtovém pásmu 10 Hz až 200 kHz dovolené chyby  $\pm 0,01\%$  až  $\pm 5\%$
- nízkofrekvenční elektrický výkon v rozsahu 1 mW až 1 kW v kmitočtovém pásmu 10 Hz až 20 kHz dovolené chyby  $\pm 0,05\%$  až  $\pm 5\%$
- vysokofrekvenční elektrický výkon v rozsahu 1 nW až 1 kW v kmitočtovém pásmu 10 Hz až 18 GHz dovolené chyby  $\pm 0,5\%$  až  $\pm 10\%$
- stejnosměrný elektrický odpor v rozsahu  $10^{-4}$  až  $10^{15}$  dovolené chyby  $\pm 0,001\%$  až  $\pm 10\%$
- elektrická kapacita v rozsahu 1 pF až 1 mF v kmitočtovém pásmu 10 Hz až 10 MHz dovolené chyby  $\pm 0,002\%$  až  $\pm 5\%$
- elektrická indukčnost v rozsahu 1  $\mu$ H až 1 kH v kmitočtovém pásmu do 10 kHz dovolené chyby  $\pm 0,02\%$  až  $\pm 5\%$
- fázový úhel v pásmu 0 až  $360^{\circ}$  v kmitočtovém pásmu 10 Hz až 10 MHz dovolené chyby  $\pm 0,01^{\circ}$  až  $\pm 5^{\circ}$

## II. 2 Kalibrace měřidel délky

- koncové měřky v rozsahu 1 mm až 1000 mm 2 řád až 5 řád
- pevná měřidla v rozsahu 1 mm až 100 mm dovolené chyby  $\pm 1\mu\text{m}$  až  $\pm 1\text{ mm}$
- stavitelná měřidla v rozsahu 1  $\mu\text{m}$  až 1 m dovolené chyby  $\pm 1\mu\text{m}$  až  $\pm 1\text{ mm}$
- výškoměry, délkoměry, laserové interferometry, od 1  $\mu\text{m}$  výše
- měřicí pásma do 30 m
- měřicí mikroskopy, třísouřadnicové měřicí stroje
- rovinný úhel  $0^{\circ}$  až  $360^{\circ}$  dovolené chyby  $\pm 5''$  až  $\pm 1^{\circ}$

Kalibrační prostory, v nichž jsou prováděna přesná měření, především kalibrace koncových měrek, je třeba umístit v budově bez vnějších otřesů, nejlépe v suterénu nebo přízemí. Nemá do nich vnikat přímé sluneční světlo. Je nutné je orientovat na sever. Laboratoř umístěná v přízemí má mít okna, zabezpečující osvětlení, které umožní kontrolu povrchu koncových měrek. Laboratoř v suterénu musí mít umělé osvětlení o hodnotě minimálně 800 lux.

Na částečné odstranění vlivu tělesné teploty pozorovatele na měrku se používá kryt, např. z determálního skla nebo plexisklo, umístěné mezi pozorovatelem a pozorovaným objektem. Je bezpodmínečně zapotřebí, aby při zkoušení měrek do jmenovité délky 100 mm používal pozorovatel látkové nebo kožené rukavice a kleště, resp. pinzety. Při měření měrek jmenovité hodnoty nad 100 mm se doporučuje používat hrubší kožené rukavice.

Většina elektronických měřicích přístrojů používaných v kalibrační laboratoři délek (délkoměry, souřadnicové měřicí stroje, měřicí mikroskopy) je vybavena programem pro korigování známých systematických chyb, tedy i teploty.

V některých případech se stanovuje maximální rozdíl teploty mezi etalonem a kalibrovaným měřidlem. Např. u koncových měřek je maximální přípustný rozdíl stanoven na  $0,2^{\circ}\text{C}$ , u třmenových mikrometrů na  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

### II. 3 Kalibrace měřidel teploty

- skleněné teploměry v rozsahu  $-80^{\circ}\text{C}$  až  $+600^{\circ}\text{C}$  dovolené chyby  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$  až  $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- odporové teploměry v rozsahu  $-200^{\circ}\text{C}$  až  $+600^{\circ}\text{C}$  dovolené chyby  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$  až  $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- termočlánky v rozsahu  $-200^{\circ}\text{C}$  až  $+1800^{\circ}\text{C}$  dovolené chyby  $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$  až  $\pm 12^{\circ}\text{C}$
- pyrometry v rozsahu  $30^{\circ}\text{C}$  až  $2300^{\circ}\text{C}$  dovolené chyby  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  až  $\pm 30^{\circ}\text{C}$

Pozn. V přehledu jsou uváděny typické, nejčastěji se vyskytující rozsahy měření.

Vzhledem ke zvláštnostem vyskytujícím se při kalibraci měřidel teploty je vhodné uvést na tomto místě několik údajů o možnosti použití různých lázní, nádob a pecí.

Kalibrace teploměrů a přístrojů pro měření teploty nižší přesnosti než mají primární etalony se obecně provádí metodou porovnávání ve vhodném prostředí. Následující seznam udává nejběžnější druhy používaných lázní nebo uzavřeného prostředí.

a) mezi  $0,5\text{ K}$  až  $273,15\text{ K}$

Jestliže je přesnost významným faktorem, pak vzájemné porovnání odporových teploměrů o nízkých teplotách musí být provedeno ve speciálně konstruovaných kryostattech. Použitým chladivem je většinou kapalné helium nebo kapalný dusík. Mimořádně důležitým požadavkem je zamezit přenosu tepla kolem přívodů teploměru a stanovit efekt samoohřevu, tj. nárůst teploty způsobené průchodem snímacího proudu přes odporový prvek.

b) mezi  $-80^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$

Pro kalibraci kapalinových teploměrů a termočlánků o nízké teplotě lze použít jednoduchou lázeň, kterou je aceton v Dewarově nádobě chlazený přidáním pevného kyslíčnicku uhličitého. Nejistota, dokonce i při míchání směsi, je asi  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Je rovněž možné koupit lázně chlazené kapalným nebo studeným plynným dusíkem.

c) mezi  $0^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$

Vodní lázně vhodné pro kalibraci termočlánků, kapalinových a odporových teploměrů jsou v tomto rozsahu poměrně dobře zavedeny. Cirkulace vody je dostatečná pro snížení teplotních gradientů v rozmezí několika centimetrů na hodnotu menší než  $\pm 0,001^{\circ}\text{C}$ .

d) mezi  $80^{\circ}\text{C}$  a  $600^{\circ}\text{C}$

Při vyšších teplotách jsou k dispozici lázně, které jako cirkulační kapalinu používají olej nebo roztavené soli. Zatímco činnost těchto lázní je velmi jednoduchá, je nutné

zvážit bezpečnostní hledisko jejich použití a toto hledisko by se mělo odrazit při jejich umístění. Stálost teploty v pracovním objemu lázně je asi  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ .

Z bezpečnostních důvodů byly vyvinuty fluidní práškové lázně jako další možnost. Naplněné čistým hliníkovým práškem mohou pracovat v rozsahu od pokojové teploty až do  $1000^{\circ}\text{C}$ . Mají dvě hlavní nevýhody: prášek má tendenci uniknout z lázně při vířivém proudění plynu a může se ukládat v určité vzdálenosti na zařízení. Moderní lázně jsou navrženy tak, aby se problémy vyřešily. Také prostorové a přechodné gradienty v lázni samotné jsou vysoké. Aby došlo ke snížení těchto vlivů, měly by být teploměry umístěny na jímkách v kovovém kvádru zavěšeném v lázni. V závislosti na tepelné kapacitě a vodivosti tohoto kvádru lze tímto způsobem získat v rozsahu kolem  $500^{\circ}\text{C}$  reprodukovatelnost měření asi  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

e) od  $400^{\circ}\text{C}$  do  $1800^{\circ}\text{C}$

Vzájemné porovnání termočlánků o vysokých teplotách se provádí v trubkových elektrických pecích. Hlavní problém, který souvisí s jejich konstrukcí, je snížení teplotního gradientu podél jejich délky. Toto je zvláště výrazné při nižších teplotách, kdy převládajícím mechanismem je přenos tepla vedením spíše než zářením. Gradienty lze snížit umístěním kovového obkládacího válce (např. niklového pro teploty do  $1200^{\circ}\text{C}$ ) do střední trubky pece, která je většinou vyrobena z hliníku. Další možností je umístit koncové ohříváče směrem ke koncům této střední trubky a jejich teploty regulovat tak, aby se minimalizoval gradient. Avšak tento systém je poměrně nákladný a je často pro provoz těžkopádný. Při nejvyšších teplotách je výběr ohřívacího prvku omezený náklady a rostoucí křehkostí vhodných kovových drátů.

f) od  $700^{\circ}\text{C}$  do  $2650^{\circ}\text{C}$

Většinu běžných pyrometrů s mizejícím vláknem lze kalibrovat jednoduše pozorováním etalonové žárovky s vláknem v daném rozsahu teplot. Ostatní žárovky lze kalibrovat metodou porovnání s podobnou etalonovou žárovkou pomocí nastavení neznámé žárovky tak, aby vydávala spektrální záření (asi na  $655\text{ nm}$ ) rovné záření z etalonové žárovky. Komparátorem, který je pro porovnání potřebný, může být jakýkoliv pyrometr s toto efektivní vlnovou délkou a s rozlišením dostatečným pro dosažení potřebné přesnosti. Černá tělesa lze kalibrovat stejným způsobem. Tato tělesa lze pak použít pro kalibraci radiačních pyrometrů s širokopásmovými charakteristikami nebo pyrometry pracující při vlnových délkách podstatně odlišných od  $655\text{ nm}$ .

Prostory pro teplotní kalibraci různých druhů teploměrů vyžadují různé podmínky okolního prostředí a proto by měly být navzájem odděleny.

Kryogenická měření je vhodné provádět v suterénu. Optická měření musí být prováděna v prostorech, kde je prakticky vyloučena vibrace.

Pece, solné lázně, kryostaty s kapalným kyslíkem se instalují do dobře větraných místností. Výpary z těchto lázní nesmí mít možnost ovlivňovat činnost elektrických obvodů, např. malé tepelné elektromotorické síly a nízkoodporové spínače potřebné pro měření termočlánků a odporových teploměrů.

Pro výrobu drceného čistého ledu pro referenční přechody termočlánku, pro články trojného bodu vody atd. se používá destilovaná nebo deionizovaná voda.

Zdroje použité vody mají být fitrovány, neměly by obsahovat organické nebo anorganické částice, které by mohly ucpat jemné trubky a měly by mít teplotu stabilizovanou v poměrně úzkém rozsahu, nejlépe 18 °C až 24 °C.

## **II. 4 Poznámka ke sběru a zpracování dat prováděných v kalibračních laboratořích**

Ke sběru dat a jejich následnému zpracování se v kalibračních laboratořích obvykle používají osobní počítače. To má celou řadu výhod. Výsledky kalibračních měření mohou mít větší reprodukovatelnost a mohou být přesnější. Korekce na ovlivňující veličiny lze provádět bezprostředně a obvykle automaticky. Nároky na čas zkušných zaměstnanců se tak mohou významně snížit. Na druhé straně je třeba, aby byl používán vhodný a vyzkoušený software, neboť případné malé systematické chyby jsou často nezjistitelné. Výsledky získané ze systému ovládaného počítačem by se měly porovnávat s výsledky získanými konvenčními metodami. To platí především při provádění prvních zkoušení. Zavedení počítačů umožňuje, aby pomocné zkoušky hodnot byly prováděny v mnohem větším rozsahu, než by to bylo možné při běžných metodách střádání dat.

Jestliže se má k měřicímu zařízení připojit počítač, pak je třeba, aby byly oba prvky vybaveny odpovídající verzí rozhraní IEC-625 (IEEE-488). Tato skutečnost zajistí, že měřicí systémy bude možné rychle nastavit nebo modifikovat a zároveň se tím sníží pravděpodobnost chyb způsobených neslučitelností přístrojů.

## **III. PROJEKTOVÁNÍ KALIBRAČNÍCH LABORATOŘÍ**

### **III. 1 Dokumentace projektu kalibrační laboratoře**

Při projektování nebo úpravě kalibrační laboratoře se setkáváme s následujícími problémy:

- Odpovědný pracovník kalibrační laboratoře, který stanovuje požadavky na vybavení, není seznámen s projektem, jeho termíny, časovými studiemi a dalšími hledisky nezbytnými pro vytvoření správného rozvržení nebo projektu laboratoře.
- Pracovníci firem, které vypracovávají projekt, nejsou seznámeni nebo mají malou zkušenost se specifickými požadavky kalibračních laboratoří na prostředí a konstrukci.
- Pracovníci stavebních firem a subdodavatelé firem nejsou seznámeni nebo mají malou zkušenost se specifickými požadavky kalibračních laboratoří na prostředí a konstrukci.

Často se stává, že při dokončení projektu laboratoře se zjistí vážný konstrukční nedostatek. Lze proto doporučit, aby zadavatel projektu nebo budoucí uživatel laboratoře v součinnosti s projektantem zpracoval postupové přejímkové zkoušky stavby nebo úpravy budoucí nebo stávající kalibrační laboratoře. Tím, že se provede zápis každého speciálního požadavku a příslušná projekční a stavební firma se seznámí s tím, jak budou tyto specifikace zkoušeny, se výrazně zlepší šance na úspěšný konstrukční projekt laboratoře. Například vytápění, ventilace a klimatizace by měly být zkoušeny tak, aby se zajistila správná činnost nezávislá na změnách teploty vnějšího vzduchu a vlhkosti v průběhu ročních období.

Před zahájením prací na konstrukčním projektu laboratoře je třeba, aby uživatel ve spolupráci s ostatními zainteresovanými osobami definoval požadavky na budoucí vybavení. Proto je zapotřebí provést velmi podrobnou celkovou analýzu, jejímž výsledkem může být i zpracování projekční příručky. Poté následuje zpracování projekčních návodů. Tyto mohou být rozděleny do specifických funkčních oblastí a mají sloužit jako pomoc při rozboru jednotlivých částí projektu pro projektanta laboratoře. Cílem této části je pomoci odpovědnému zaměstnanci nebo jiné osobě při započítání tvorby projektu.

Před započítáním projekčních prací musí být definovány a vyjasněny všechny požadavky na zaměstnance, zařízení a vnitřní vybavení kalibrační laboratoře.

Následovně by se měly stanovit požadavky na každý pracovní prostor nebo místnost objektu kalibrační laboratoře. Tyto je vhodné zpracovat v tabulkové formě. V takové tabulce bude definována velikost každé místnosti, počet zaměstnanců (potřebné pro stanovení tepelného zatížení), vnitřní vybavení a prostorové využití, případně další údaje důležité pro provoz laboratoře.

Jakmile je stanoveno, co se bude v daném prostoru z hlediska rozměrů nacházet, lze vytvořit prostorové rozložení. Když je proveden rozbor jednotlivých prostorů a jejich náčrt, pak lze realizovat rovněž rozvržení vnitřního vybavení. Je třeba si uvědomit, že místnosti (prostory a umístění) by měly přispívat k systematické pracovní činnosti, zajišťovat organizaci bezpečnosti a majetku, a že některé funkce by neměly být v blízkosti kalibračních oblastí, poněvadž mohou ovlivnit výsledky měření.

Je-li dokončeno rozvržení laboratoře a je proveden rozvrh umístění lze definovat jednotlivé strukturální, mechanické, elektrické a instalační specifikace. Při jejich zpracování se vychází z přístrojového a vnitřního vybavení laboratoře a z příslušného počtu zaměstnanců, kteří budou vybavení používat. Nesmí se zapomenout na zařízení zákazníka, které bude do laboratoří dodáváno. Důležitá je definování velikosti energetických zdrojů. Jeho pozdější rozšíření může být nákladné. Je třeba si uvědomit, že jednotlivé požadavky budou vycházet z použitých etalonů a dalších měřidel, zákaznickova zařízení a ze stupně přesnosti prováděných kalibrací.

Po dokončení výše uvedených specifikací je třeba zvážit ty, které musí být překontrolovány, aby se zajistila shoda s konstrukcí, a také způsob, jakým bude provedena přejímková zkouška. U některých zkoušek bude nutné, aby byly provedeny v určitém časovém období, tedy při teplotě a vlhkosti v kalibračních prostorech v průběhu změn ročních období.

Lze doporučit, aby přejímkové zkoušky provedla třetí strana, tedy nikoliv stavitel. V průběhu stavebního procesu je třeba provést některé kontroly konstrukčních specifikací.

### **III. 2 Rozvržení a základní vlastnosti kalibrační laboratoře - všeobecně**

V této kapitole jsou specifikovány potřeby a zamýšlené rozvržení malých a středních kalibračních laboratoří. Přestože se tato práce zabývá jen třemi oblastmi měření, pro přehlednost jsou uvedeny i další oblasti, kterými se metrologické laboratoře zabývají. Tyto lze rozdělit do následujících skupin:

- délka, úhel, drsnost povrchu, odchyly tvaru a polohy
- síla a tvrdost
- tlak
- teplota a vlhkost
- elektrická měření



- frekvence a čas
- měření plynů (objemu a hmotnosti)
- hmotnost
- objem a průtok kapalin
- fotometrie
- fyzikálně-chemická měření (hustota, viskozita, refraktometrie, pHmetrie, kondukto-  
metrie)
- veličiny atomové a jaderné fyziky
- akustika, mechanické vibrace

Poslední dvě oblasti se doporučuje umístit v samostatných nezávislých budovách, jejichž projekt musí být takový, aby zahrnoval všechny potřeby pro kalibraci a dozor, které vyžadují zdravotnické orgány a v případě akustiky také potřeby související s konstrukcí budovy a zkoušením materiálů.

Plocha podlahy potřebné pro kalibrační laboratoř závisí samozřejmě na rozsahu a objemu práce, kterou bude třeba provádět. Je základním požadavkem, aby byla k dispozici odpovídající plocha, protože přeplnění může mít negativní vliv na činnost a přesnost požadovaných činností. V podstatě by se měla v nové laboratoři provést taková opatření, aby bylo možné celé zařízení a poskytované služby v budoucnu rozšířit.

Obecně lze potřebné místnosti rozdělit do čtyř kategorií:

- Laboratoře, které obsahují experimentální zařízení a v nichž se mají příslušná měření provádět.
- Kanceláře, v nichž se vyhodnocují a kontrolují výsledky měření a v nichž probíhá všeobecná organizace daných činností.
- Místnosti pro sklad, pro zařízení, které se právě nepoužívá, a pro výměnu součástí a položek.
- Další pomocné obsahující např. stroj na výrobu ledu, pomocné generátory atd.

Dobrou zkušeností je definovat funkce jednotlivých místností a příslušných prostor a zavést postupy, které pomohou zachovat oddělení těchto prostor. Dobrá organizace významně sníží možnost chyb a úrazů.

Všechny místnosti, v nichž pracují zaměstnanci na základě oprávnění, musí být navrženy s ohledem na dva základní faktory - vzhledem k funkci dané místnosti a s ohledem na pohodlí a efektivní činnost příslušných zaměstnanců. Tyto podmínky samozřejmě vyžadují v některých aspektech příležitostné kompromisy. Například místnosti v suterénu tvoří často ideální metrologické laboratoře. Teplota okolního prostředí je stabilní, tyto místnosti jsou bez vibrací a mnoho dalších dobrých vlastností. Ale pro mnoho zaměstnanců je dlouhodobá činnost pod úrovní přízemí nepříjemná a skličující.

Obecně vyžadují hlavní prostory pro teplotní kalibrace různé podmínky okolního prostředí a měly by proto být vzájemně odděleny.

Zaměstnanci, kteří vykonávají rutinní kalibrace, většinou dávají přednost práci ve větších místnostech, kde je větší možnost vzájemné komunikace s ostatními.

Místnosti v suterénu by měly být přednostně používány k účelům vyžadujícím nízké hladiny vibrací.

Pro kryogenní měření je nutný vhodný přístup k velkým nádobám určeným ke skladování kapalného plynu.

Samostatné místnosti jsou nutné pro pyrometrické kalibrace, protože pro některé zkoušky je nutné pološero a osvětlení místnosti by se mělo vždy snížit.

Optická měření je třeba provádět v bezvibračním prostředí.

Pece, solné lázně, kryostaty s kapalným kyslíkem je třeba instalovat v dobře větraných místnostech s omezeným přístupem. To je velmi důležité, protože výpary z těchto lázní by mohly negativně ovlivňovat činnost elektrických obvodů. V těchto místnostech a na jejich vstupních dveřích by měly být jasně vyvěšeny varující upozornění, aby byla z důvodů bezpečnosti danému prostředí věnována odpovídající pozornost.

### **Osvětlení a malování**

S výjimkou místností určených pro pyrometrická měření by měly být všechny ostatní prostory dobře osvětlené a vyzdobené světlými barvami. Do pracovních laboratoří by nemělo mít přístup přímé sluneční světlo, protože může vyvolat velké teplotní gradienty. To často znamená, že by okna měla být opatřena nastavitelnými žaluziemi nebo roletami. Pro odečítání kapalinových teploměrů v lázních a pro inspekční prostory je třeba instalovat další stropní osvětlení (bodové nebo zaostřené). Ostatní osvětlení by mělo být rozptýlené, aby se zamezilo vzniku lesků nebo odrazů od elektronických přístrojů s číslicovými displeji. Zářivkové trubice poskytují chladnější a přijatelnější osvětlení než klasické žárovky.

### **Teplota a vlhkost prostředí kalibrační laboratoře**

Charakter činností kalibračních laboratoří vyžaduje, aby teplota okolního prostředí byla dostatečně stabilní. Její změny musí být omezeny. Většina měřicích zařízení je v určitém rozsahu citlivá na teplotu a kalibrace by při nestabilní teplotě mohly vykazovat i značné chyby. Druhým důvodem je pohodlí zaměstnanců.

Nominální teplotu a její přípustné odchylky stanovují příslušné kalibrační postupy. U přesných měření by měla být teplota okolního prostředí stabilizována v rozmezí 18<sup>0</sup>C až 25<sup>0</sup>C v určitém rozsahu v závislosti na vnějším podnebí. Krátkodobé změny v průběhu pracovního dne by neměly ve většině případů překročit 1<sup>0</sup>C až 2<sup>0</sup>C. Některé položky, např. nízkoteplotní teploměry a etalonové články, by neměly být skladovány při teplotách vyšších než 25<sup>0</sup>C.

Prostředí převážné části kalibračních laboratoří je regulované. Značí to, že je regulovaná též jeho teplota. Mediem použitým k její regulaci je cirkulující vzduch. Tento však má malou tepelnou kapacitu a špatnou tepelnou vodivost. Navíc velké rychlosti vzduchu jsou pro zaměstnance nepříjemné a mají za následek cirkulaci značného množství prachu a nečistoty.

Ke zlepšení stability teploty prostředí je zapotřebí, aby se v laboratoři nenacházela tělesa o teplotách, které se nepříznivě odlišují od požadovaných teplot. Například potrubí s horkou vodou by mělo být tepelně izolováno a velkoplošná okna by měla být buď dvojitá nebo stíněná. Měly by se minimalizovat překážky proudění vzduchu, zejména v blízkosti citlivého zařízení. Jestliže má daná místnost několik vnějších stěn nebo povrchů, pak by tyto měly být tepelně izolovány.

Avšak nějaký čerstvý vzduch by se měl pro pohodlí zaměstnanců do místnosti dostat a to prostřednictvím klimatizace. Tento vzduch by měl tvořit asi 20% cirkulovaného vzduchu.

Také vlhkost by měla být regulovaná. Nemá být příliš nízká, ale ani tak vysoká, aby způsobovala kondenzaci na nějakém povrchu, zejména pak na elektrickém zařízení. Nejčastěji se doporučuje vlhkost v rozmezí 30% až 60%.

## Možnosti rozvržení metrologických činností v centrální laboratoři organizace.

Základní organizační rozvržení metrologických činností v centrální laboratoři, s níž je spojeno též zkoušení výrobků, může být následující:

### A. Oblast metrologických služeb

- hmotnost a objem
- strojírenská metrologie: délka a úhel, síla a tvrdost, tlak, kinematika
- termodynamika: teplota, vlhkost, metrologie plynů, hustota a viskozita, referenční materiály
- elektrické veličiny: stejnosměrné etalony, AC/DC přenos, veličiny RLC, vysokofrekvenční veličiny, elektrická energie, frekvence a čas, fotometrie

### B. Zkoušení výrobků

- mechanické zkoušky
- fyzikálně-chemické zkoušky
- elektrické zkoušky

Při projektování je zvykem nakreslit náčrt udávající rozložení činností v jednotlivých místnostech kalibrační laboratoře. Vypracování takového náčrtu předchází analýza druhu a rozsahu každé z metrologických činností, případně dalších zkušebních činností, které má daná organizace zajišťovat. Je třeba vzít v úvahu, že některé činnosti, které např. souvisejí se silou, tvrdostí a tlakem lze provozovat v laboratořích pro mechanické zkoušení materiálů, ale lze je také připojit k laboratoři zabývající se měřeními hmotnosti. (Protože etalony hmotnosti se při těchto kalibracích používají jako výchozí). Laboratoř provádějící kalibraci elektrických měřidel může přirozeně zahrnovat fotometrii a měření frekvence. Potřeba kalibračních činností v oblasti vysokofrekvenčních elektrických měření musí být pečlivě zvážena. Kalibrační zařízení je většinou velmi nákladné a je v podstatě přizpůsobeno určitému zařízení uživatele, a to z hlediska konektorů, frekvenčních pásem atd. Tyto problémy je třeba zvážit ihned v počátečním stadiu, protože například instalování stíněné klece v budovách, které pro tento účel nebyly projektovány, může být obtížné nebo dokonce nevhodné.

Kalibrace teploměrů zahrnuje v současné době značné množství elektrických měření a lze je tedy přiřadit k elektrickým laboratořím, pokud se neočekává, že další činnosti jako měření plynů a kalorimetrie neopravňují vytvoření zvláštní laboratoře termodynamiky.

Kalibraci měřidel času a frekvence lze snadno instalovat do vhodně klimatizované místnosti. Zajištění návaznosti v oboru měření frekvence lze provést různými způsoby a toto šíření s budovou nijak nesouvisí.

Kalibrace viskozimetrů, hustoměrů a příslušných referenčních materiálů vyžaduje kvalitní termostatické lázně a velmi přesná měření teploty.

Dá-li se předpokládat, že v metrologických laboratořích budou kromě kalibrací prováděny též další činnosti související s průmyslovou činností organizace, je třeba vytvořit zvláštní pracoviště pro strojírenskou metrologii, která budou sdružovat rozměrovou metrologii, měření síly, tvrdosti a tlaku.

Chystá-li se nějakým způsobem připojení zkoušení materiálů a průmyslových výrobků k metrologickým činnostem, pak může být vhodné rozdělit mechanické pracoviště do dvou částí: jednu zabývající se hmotností a objemem a druhou pro strojírenskou metrologii včetně délky, síly tvrdosti a tlaku. Protože hlavní jádro tepelných měření a měření vlhkosti bude v tomto případě spočívat v oblasti fyzikální chemie, může být také vhodné vytvořit pracoviště termodynamiky, které by zahrnovalo fyzikálně-chemická měření.

Na závěr této části lze shrnout, že metrologické činnosti lze rozložit minimálně do dvou druhů hlavních laboratoří. Ty, které provádějí mechanická měření a ty, které se zabývají měřením elektrických veličin. Každá z nich má své zvláštní požadavky na konstrukci a řešení příslušných prostor.

### III. 3 BUDOVY PRO KALIBRACI

V závislosti na předpokládaných potřebách lze uvažovat různá rozložení budov. Ovlivňujícím hlediskem bude, zda se jedná o nové budovy, které se mají postavit, nebo o budovy staré, které je třeba přestavět.

Je zřejmé, že druhá uvedená možnost je pro elektrickou a tepelnou metrologii a zkušební činnost proveditelná za předpokladu, že je k dispozici dostatek prostoru. Mechanická metrologie a zkoušení bude vyžadovat vhodný prostor v přízemí. Etalony délky a hmotnosti by měly být přednostně umístěny v suchých prostorách pod úrovní nebo alespoň částečně pod úrovní přízemí.

Pokud je to zapotřebí má být k dispozici strojní hala pro velké hmotnosti, sílu, tlak a další mechanická metrologická zařízení. Pro zkoušení kovů a znečišťujících materiálů lze použít samostatnou část této strojní haly. V určité části strojní haly musí být vjezd pro nákladní auta a auta speciálně vybavená pro určitou oblast kalibrací. Kalibrace těžkých závaží a vykládání těžkého zboží může vyžadovat instalaci výtahu nebo posuvného jeřábu nebo použití vysokozdvíhových vozíků.

Vibrace nebo nárazy vyvolané místně nebo pocházející od okolí nesmějí ovlivnit měření v místnostech délkových a hmotnostních etalonů.

Všechny tyto předpoklady a skutečnost, že přebudování starých budov je často mnohem nákladnější než stavba budov nových, by měly projektové orgány přimět k serióznímu zvážení potřeb, vzájemné souvislosti činností a možného nutného budoucího rozšíření předtím, než se započne s přestavbou starých budov, a to zejména z hlediska mechanické metrologie a příslušných činností.

### III. 4 VÝBĚR MÍSTA PRO LABORATOŘE

Místo pro laboratoř by mělo být zvoleno tak, aby bylo daleko od frekventovaných silnic, od těžkého průmyslu, od vysokonapěťových vedení a od výkonných rádiových nebo televizních vysílačů. Navíc by půdní základna měla umožňovat konstrukci základů zcela nebo alespoň částečně pod úrovní přízemí. Existují však místa, kde by toto mohlo být z hlediska vysoké hladiny spodní vody obtížné. V těchto případech lze pomocí rozsáhlého půdního náspu kolem budovy vytvořit umělé základy.

Pokud se týká vlastní kalibrační laboratoře uvnitř budovy sloužící i k jiným účelům, je třeba se vyhnout jejímu umístění těsně u vnější stěny, zvláště je-li stěna otevřena na

jih. Protože slunce u nás svítí na tuto stěnu po většinu dne, je laboratoř vystavena slunečnímu ohřevu. I když jsou dvojitá okna u modulárních laboratořích přijatelná a dokonce žádoucí z pohledu estetiky a bezpečnosti, je u laboratořích u vnějších stěn nejlepší konstrukce bez oken.

Za normálních okolností by kalibrační laboratoř měla být umístěna v přízemí s betonovou podlahou. Je třeba se vyhnout umístění ve vyšších patrech budovy nebo nad mezipatry, která jsou vystavena pohybům konstrukce a nelze tam zajistit izolaci proti vibracím.

V místě vibrací země je často nutné hledat pro laboratoř zvláštní místo s nízkými vibracemi.

### **III. 5 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI A STAVEBNÍ ŘEŠENÍ BUDOV KALIBRAČNÍCH LABORATOŘÍ**

Některé budovy kalibračních laboratořích byly postaveny podle návrhů, které umožňují zabezpečit tepelnou izolaci pro poměrně rozsáhlé laboratorní místnosti.

Z hlediska nákladů by bylo nejvýhodnější použít běžně dostupné rozměrové moduly a materiály. Zvláštní pozornost je třeba věnovat uspořádání se dvěma stěnami, izolaci a speciální klimatizaci některých laboratorních místností. To je možné zabezpečit správným uspořádáním a přitom použít vybrané moduly.

Velmi dobré prostředí lze získat v kalibračních laboratořích s modulární konstrukcí (místnost v místnosti). Tím vzniká určitá bariéra, která izoluje laboratoř od vnějšího světa.

Každá laboratoř by měla být dostatečně velká, aby bylo možné provést v budoucnu její případné rozšíření. Náklady na rozšíření již existující laboratoře jsou obvykle na čtvereční metr mnohem větší než počáteční náklady na záložní prostor.

Pokud se týká vnitřního dislokačního plánu laboratoře, ten vychází z jejího zaměření a finančních zdrojů, které jsou pro realizaci laboratoře k dispozici.

Pro kalibrace měřidel jednotlivých oborů měření se používají oddělené místnosti. Tyto mohou být dále děleny v závislosti na druhu měřidel v nich kalibrovaných. Místnosti určené pro kalibraci velkého počtu různých přístrojů mohou být velké a může v nich být instalováno více pracovních stolů.

Budova, v níž má být umístěna kalibrační laboratoř by měla mít pevnou a solidní konstrukci.

Určitou pozornost je třeba věnovat výběru materiálů použitých na stavbu budovy. Hlavní kalibrační laboratoře obsahuje zesílenou betonovou strukturu se stěnami postavenými nejlépe z cihel vysoké jakosti např. Porotherm nebo, pokud tyto cihly nejsou k dispozici, z dutých betonových tvárnic. Zesílené betonové zdi nebo části zdí musí být opatřeny proti různým vlivům (vibracím, obtížím při upevňování zařízení na stěny, malé tepelné izolaci atd.).

Dělicí vnitřní zdi se obvykle staví z cihel. Tyto umožňují provádět, pokud je to zapotřebí, případné dodatečné úpravy. Tam, kde je vyžadován čistý a velmi rovný povrch stěn, se stěny opatřují vhodnou úpravou povrchu. V suchém prostředí dostačuje omítka a vhodný nátěr, ve vlhkých laboratořích nebo v místech s vysokou vlhkostí je vhodné použít nátěr odolný proti houbám.

Bariéra proti vlhkosti může být vytvořena plastickými tabulemi umístěnými ve stěnách nebo laminovanými plastickými obklady na povrchu vnitřních omítek.

Výška modulu betonové struktury bývá přednostně volena 7 metrů tak. To proto, aby poloviční výškový modul byl vhodný jak pro kanceláře tak pro malé laboratoře. Délka budovy nebo každého křídla budovy nemá být větší než 6 nebo 7 modulů, a to z hlediska struktury a z důvodů lepší komunikace.

Nedoporučuje se instalovat příliš velká okna ani volit jejich větší počet (2 okna na celý modul se skleněnými panely o šířce asi 100 cm). Vnitřní výška místnosti musí být obecně alespoň 320 cm tak, aby umožňovala vytvoření falešného stropu pro instalaci klimatizace v některých místnostech..

Náležitou pozornost je třeba věnovat šířce chodeb a dveří. Chodby by měly být široké minimálně 2,3 m, aby jimi mohlo být bez problémů dopravováno i rozměrnější zařízení v obalech. Schodiště a dveře mají být tak velké, aby umožňovaly bezproblémové instalování měřicího zařízení a nábytku a v případě potřeby umožňovaly s ním pohybovat. Lze doporučit šířku jednoduchých dveří pro kanceláře 80 cm, 100 cm pro laboratoře a 2 x 80 (nebo 100) cm šířku dvojitých dveří v laboratořích.

Počet dveří do laboratoře je třeba volit minimální, musí však být v souladu s předpisy požární bezpečnosti. Styčná místa mezi dveřmi a dveřními rámy by měla být vybavena těsněním pro dosažení potřebné těsnosti.

O významu dvojitých dveří (vzduchový uzávěr), která byla dříve považována za nutnost, se nyní diskutuje. Tento vzduchový uzávěr zabraňoval úniku klimatizovaného vzduchu při otevření dveří a vniknutí prachu do laboratoře. Přetlak vzduchu v laboratoři minimalizuje tento problém.

Rozhodne-li se v projektu o instalaci dvojitých dveří, měly by být jejich rozměry takové, aby umožňovaly volný průchod pro obsluhu a zařízení (například vozíky tlačené obsluhou). To se též vztahuje na vzdálenost obou dveří - první musí být možné zavřít předtím, než jsou druhé otevřeny. Jinak je vzduchový uzávěr neúčinný. Tato vzdálenost musí být tedy minimálně 1 metr.

Častým problémem, který se vyskytuje při projektování kalibračních laboratoří, je volba podlahové krytiny, Obvykle končí kompromisem.

Podlahová krytina by měla být odolná vůči zatížení a vůči opotřebování, tvrdá, neměla by umožňovat ukládání prachu a být náchylná k oděrkám, neměla by vytvářet statickou elektřinu, neměla by být kluzká, když je mokrá, měla by se snadno čistit, být odolná vůči ohni a pokud je to možné, vkusná. Vysokojakostní kameninové aglomeráty odolné vůči zatížení nebo keramické dlaždice lze použít na chodby nebo do vlhkých laboratoří. Avšak pro většinu dalších laboratoří je nutné nalézt tvrdé plastické obklady, které jsou odolné vůči statické elektřině.

V nedaleké minulosti se velmi často používaly tak zvané vinyl-azbestové dlaždice. Byly považovány za vyhovující svému účelu. Měly však jednu nevýhodu. Pokud nebyly umístěny na přesně rovném povrchu, snadno se rozbily.

Pokud se týká čehokoliv, co obsahuje azbest. Ve většině zemí se použití takových materiálů zakazuje, neboť azbest je považován za karcinogenní materiál.

Vezmeme-li do úvahy značné množství různých dodavatelů, je vhodné požádat o radu projektanta, jehož předem seznámíme s výše uvedenými požadavky.

Bez ohledu na cokoliv jiného je třeba vzít do úvahy, že podlahy kalibračních laboratoří musí být bezvadné, odolná vůči zatížení a dlaždice nebo jejich povrch musí být dostatečně tvrdý, aby vydržel bez protlačení nebo porušení bodová zatížení vyvolaná hmotností alespoň 100 kg působící na plochu o velikosti pouze jeden centimetr čtvereční.

Podlahy v dílnách a strojních halách, v nichž by byly použity plastické nebo keramické dlaždice, by nebyly dostatečně odolné, a proto se takové podlahy opatřují buď betonovým povrchem obsahujícím barvící a plastické materiály nebo se pouze natírají plastickým nátěrem (epoxidem) odolným vůči opotřebování.

Pokud se kalibrace těžších a rozměrnějších zařízení neprovádí v přízemí budovy, nýbrž v některém z jejích etáží, je třeba, aby byla budova vybavena výtahem. Je samozřejmé, že všude, kde je to možné, je kalibrace takových zařízení prováděna v přízemí.

Klimatizace kalibračních laboratoří spočívá v zajištění především stálé teploty, dostatečně nízké vlhkosti vzduchu, čistotě prostředí, případně přetlaku vzduchu v prostoru laboratoře. Požadavky na klimatizaci mohou být u různých kalibračních laboratoří rozdílné a obecně budou záviset na tom, jaké činnosti v nich budou prováděny, jaké etalony používány a jaké nejlepší nejistoty v nich má být trvale dosahováno.

Požadavky na teplotu vyžadují dosažení nejen stanovené teploty, ale též její dobrou stabilitu. Standardní teplota v oboru měření délek a teploty je 20°C, u elektrických veličin je to 23°C. Přísnější podmínky než na odchylku od stanovené standardní teploty jsou ve všech oborech měření kladeny na kolísání teploty prostředí. Konstantní teplotu lze dosáhnout vhodným umístěním budovy, vhodným stavebním projektem či stavebními úpravami nebo instalací teplotní klimatizace.

Příslušné místnosti je třeba dobře izolovat ode zdí, majících odlišnou teplotu, například postavením dalších zdí, čímž se mezi stěnami vytvoří volný prostor. Je třeba upozornit, že použití teplotně výhodné polyuretanové pěnové izolace se z důvodů požární bezpečnosti nedoporučuje.

Přístupu přímých slunečních paprsků se většina laboratoří brání již při jejich projekci vhodnou orientací nebo rozličnými úpravami.

Vysoce účinné klimatizace bývá dosaženo v kalibračních laboratořích s centrální klimatizací se samostatným servomechanickým regulačním ovládním v každé místnosti. Takové provedení může mít oprávnění tam, kde několik sousedních místností má mít regulovanou teplotu, která se má udržovat na stejné průměrné hodnotě.

Často se však setkáváme s tím, že je klimatizována nejen potřebná část kalibrační laboratoře, ale zbytečně velká, značná část jiných prostor, nemajících s potřebami klimatizace nic společného. Příkladem je centrální klimatizace několikapatrové výrobní budovy, v níž je kalibrační laboratoř umístěna. Centrální klimatizace by měla sloužit především pro pohodlí zaměstnanců, zatímco konkrétní zkušenosti s některými nesprávně projektovanými a nedostatečně udržovanými centrálními klimatizacemi svědčí o pravém opaku. Mezi zápory lze počítat příliš velké proudění studeného vzduchu při režimu chlazení, zbytečně nevhodné pracovní podmínky v době, kdy pracovník provádí jiné práce než vlastní měření, nadměrně hlasité syčení vzduchu vystupujícího z klimatizačních jednotek, problematické udržování vlhkosti prostředí, především v zimních mrazivých měsících, stejně jako nepřijatelné rozdíly teploty mezi jednotlivými pracovišti, což bývá při dobrém projektu způsobeno nesprávně či nedostatečně prováděnou údržbou. Centrálně lze samozřejmě klimatizovat, ale musí se

jednat o projektově dobrou, bezvadně udržovanou, účelovou klimatizaci nezbytně nutných prostorů.

V opačném případě je výhodnější instalace místní klimatizace v jednotlivých místnostech, kde je jí zapotřebí. Jedná se o případy, kdy je objem činností vázaných na vysokou přesnost omezený.

Dobrého stavu lze docílit, je-li několik zkušebních místností vybaveno nezávislými klimatizačními jednotkami, které lze ovládat s velkou přesností. Pro tyto jednotky musí být v blízkosti každé zkušební místnosti vyhrazený vhodný prostor.

Z hlediska maximální účinnosti je třeba velkou pozornost věnovat umístění vstupních a výstupních kanálů. Proto je třeba dodavateli instalujícímu toto zařízení dodat plány se všemi podrobnostmi jednotlivých místností. Nejlepších výsledků lze dosáhnout tehdy, jsou-li podlahy i stropy konstruovány tak, aby umožňovaly vzdušnou cirkulaci. Takové uspořádání, které vyžaduje další podlahu, je výhodné například pro délková měření vysoké přesnosti, vyžadující nízké teplotní gradienty a používající zvláštní antivibrační podpěry pro instalace různých měřicích zařízení.

Pokud se jedná o vlhkost, je největším problémem nebezpečí kondenzace, které má za následek korozi mechanických zařízení, nižší izolaci nebo vznik poruchy elektronického zařízení. Relativní vlhkost se mění především v závislosti na teplotě. Proto by měla klimatizace v prostorách kalibrační laboratoře, kde je instalována, pracovat bez přerušování. Relativní vlhkost nemá být příliš velká ani příliš malá. Malá relativní vlhkost je nejen škodlivá lidskému organismu, ale podstatně zvyšuje nebezpečí elektrostatického výboje, což může mít za následek poškození nebo i zničení měřicího zařízení.

Ústřední vytápění a klimatizace má být umístěno mimo prostor kalibrační laboratoře ve zvláštní budově.

Vodovodní a kanalizační trubky musí mít v rozsahu budovy pouze vertikální rozvodné vedení. Rozvody pro klimatizaci a elektřinu jsou rozmístěny v každém poschodí horizontálně s odpovídajícími rozvodnými a kontrolními panely v blízkosti schodiště.

Veškerá osvětlení mají být z důvodu účinnosti a tepelných ztrát zajišťována pomocí zářivek.

### **III. 6 POŽADAVKY NA POMOCNÁ PRACOVISTĚ**

Při projektování kalibrační laboratoře je třeba věnovat náležitou pozornost nejen vlastním laboratořím, v nichž jsou příslušná měření prováděna, ale též pomocným pracovištím.

Pomocná pracoviště kalibračních laboratoří lze rozdělit na:

- Pomocné technické prostory
- Pomocné prostory pro logistiku
- Pomocné prostory pro administrativu

#### **III. 6.1 Pomocné technické prostory**

Požadavky na technické prostory mají svoje oprávnění, neboť tento druh prostor zabezpečuje funkce nezbytné pro každodenní provoz laboratoře.



Do technických prostor lze zařadit

- místnosti pro čištění
- prostory pro servis zařízení (opravy)
- místnosti pro zdroje
- místnosti pro instalační vedení

### III. 6. 1. 1 Místnosti pro čištění

Pro čištění kalibrovaných i jiných zařízení je zapotřebí mít k dispozici samostatnou speciálně vybavenou místnost. Požadavky na ni vyplývají z druhu čištěných, případně omývaných zařízení. Prostor pro čištění a omývání by měl být umístěn mimo prostory, v nichž je prováděna kalibrace a to tak, aby případné výpary nezasahovaly do kalibračních prostor. Velikost místnosti pro čištění závisí na vybavení v ní umístěném. Lze doporučit, aby do této místnosti byl nainstalován dřez z nerezavějící oceli s přívodem teplé a studené vody a odvodňovací kanál. Teplota v této místnosti se může pohybovat v rozmezí od 18 °C do 28 °C.

Místnost pro čištění by měla mít následující vybavení:

- Přívod elektrického napájení 220 V/50 Hz jednofázový, minimálně 15A, 3x380V/50Hz minimálně 25A. Tyto okruhy by neměly být připojeny k žádnému jinému energetickému rozvodu v kalibračních prostorách.
- Filtrovaný stlačený vzduch regulovatelný
- Přívod a odvod čisté horké a studené vody.
- Odsávací větrání. Prostor pro čištění vyžaduje, aby byl vybaven odsávacím větrákem a větracím otvorem s rychlostí odsávání čelního prostoru minimálně 4 m<sup>3</sup> za minutu. Je-li v této místnosti instalována sušicí pec vyžaduje ventilátor s minimální výměnou vzduchu 6 m<sup>3</sup> za minutu. Je třeba uvažovat, že teplota pece se bude pohybovat i přes 70°C. Lze doporučit použít pro odsávání přídavný odsávací větrák. Odmašťovač a regenerace rozpouštědla vyžadují také odtok z nerezavějící oceli s tlumičem pro nastavení rychlosti a studenou vodu o teplotě cca 7°C pro chlazení.
- Vnitřní vybavení: průmyslový dřez, pracovní stůl s horní deskou z nerezavějící oceli a se zahnutými okraji, které ústí do dřezu, ukládací skříňku pro čisticí prostředky, plechovky na odpadky, bezpečnostní značky, hasicí přístroj, uložení pro příruční náradí, stolička, doplňkové osvětlení.
- Náradí/zařízení: Vakuový čistič dílenského typu, ultrazvukový čistič, myčka zkušebního zařízení, sušicí pec, mechanické náradí, vybavení pro ochranu zaměstnanců, příruční náradí.

### III. 6. 1. 2 Prostory pro servis zařízení (opravy)

Kalibrované i jiné zařízení používané v kalibrační laboratoři podléhá pravidelné prověrce, aby se zjistilo, zda na něm není třeba provést nějakou údržbu či nastavení. Zařízení může být poškozeno následkem neopatrného zacházení s ním nebo vlivem nevhodného prostředí, v němž bylo používáno, skladováno nebo opravováno. Z této kontroly nebo následné kalibrace může vyplynout, že zařízení nepotřebuje žádné nastavení nebo čištění. Velmi často však vyplyne z výše uvedeného opak. Zařízení vyžaduje nejen očištění, ale též nastavení a menší nebo větší opravu. Někdy je třeba nahradit součástku, provést odstranění rozsáhlé vnitřní závady, odpájet, spájet, od-

stranit prach. Je vidět, že servis zařízení může pokrývat celou řadu úkonů počínaje od vizuální prohlídky až po kompletní rozložení související s nahrazením některých součástí, případně opravy obvodu.

Na základě dlouholetých zkušeností lze dokladovat, že kalibrační laboratoře, které jsou schopny provádět alespoň drobné či střední opravy kalibrovaných zařízení (nastavení v to počítaje) jsou zákazníky daleko více ceněny a navštěvovány než laboratoře, které tyto činnosti neprovádějí. Zákazník obvykle bez problémů zaplatí i dvojnásobek ceny, pokud je mu vráceno zařízení ve vyhovujícím stavu. Je to logické, neboť v případě, že je mu vráceno měřicí zařízení neshodné nebo jinak vadné, musí se postarat a zaplatit opravu a zajistit následnou kalibraci, kterou musí opět platit.

Provádí-li kalibrační laboratoř nastavování či opravy, musí být náležitě vybavena. Druh a rozsah vybavení bude záviset na povaze provozovaného servisu, jeho objemu, počtu zaměstnanců a zařízení, které bude pro tyto účely potřebné.

Provádí-li kalibrační laboratoř údržbu zařízení ve větším rozsahu, je třeba, aby opravy zařízení byly prováděny v samostatné místnosti oddělené od kalibrační laboratoře, ale v její blízkosti. Důvodem používání samostatné místnosti je skutečnost, že při opravách je používáno nářadí, příslušenství a materiály, které generují prachové částice a dým, což by mohlo zhoršit čistotu laboratoře a mohlo by někdy až zničit pečlivě upravené povrchy rozměrových etalonů nebo kalibrovaných zařízení. Je proto velmi důležité, aby i v prostorách pro servis zařízení byla udržována velmi důkladná čistota, aby se tak minimalizovalo znečištění zařízení.

Je pochopitelné, že prostředí servisních místností musí být kontrolováno. To proto, aby bylo možné provádět nastavování a kontrolu zařízení o dostatečné přesnosti.

Při pájení, výrobě nebo úpravě tištěných spojů či elektrických nebo elektronických opravách je třeba používat odsávací zařízení, případně tuto činnost provádět v odsávací digestoři. Pro větrací jednotky a vzduchové filtry je třeba používat vzduch o nízkém tlaku.

Manipuluje-li se s elektronickými součástkami, je nutné je chránit před elektrostatickým výbojem. To vyžaduje instalaci a používání vhodných podlahovin a vhodně upravených stolů.

Pokud se týká podlahovin, je třeba upozornit na následující. V prostorách, kde je vysoké nebezpečí poškození elektronických součástek, je nutné použít podlahovinu rozptylující statickou elektřinu. Tato podlahovina však nesmí být použita v prostorách, kde je elektricky napájené zařízení při provádění oprav nebo nastavování odkryto. Pro ochranu zaměstnanců před vlivem vysokého napětí by se měla raději použít vhodná vysoce dielektrická podlahovina než podlahovina rozptylující statickou elektřinu.

Pracovní stoly používané pro manipulaci se součástkami citlivými na elektrostatický výboj by měly mít pracovní povrchy chráněné před elektrostatickým výbojem.

Prostory pro opravy a údržbu vyžadují rozsáhlé vybavení. Mezi něj lze, v závislosti na prováděných činnostech, zařadit:

- sušičky a myčky zařízení
- ultrazvukové čističe
- ukládací police
- ukládací skříňky pro hořlavé materiály
- plechovky pro odpad hořlavých materiálů
- posuvné nebo přenosné krabice s nářadím
- místa pro pájení
- odsávací kryty
- stlačený vzduch, zdroj dusíku nebo vakuový zdroj

- náramkové, nožní nebo kotníkové pásky pro ochranu před elektrostatickým výbojem
- přenosné nebo pevně instalované hasící přístroje
- ochranné brýle nebo čelní kryt
- vylepené instrukce první pomoci
- dřevěná tyč nebo nevodivé lano
- označené střídavé a stejnosměrné vývody
- bezpečnostní značky a instrukce pro zaměstnance, kteří pracují s vysokým napětím, vysokými tlaky, vysokými nebo nízkými teplotami
- výstražné značky upozorňující na umístění blokovacích ventilů pro tlakové zdroje
- nouzová světla
- vypínač nouzového světla
- lékárnička první pomoci
- vybavení pro ochranu zaměstnanců (zástěry, rukavice, mechanické ochranné prostředky a ušní chrániče)

Doporučované parametry prostředí prostorů pro servis zařízení

- teplota  $(23 \pm 4) ^\circ\text{C}$
- vlhkost (30 až 60) %
- vibrace menší než 0,01g při 200 Hz
- hluk menší než 45 dB
- osvětlení minimálně 100 lux + místní potřeby
- stínění 100  $\mu\text{V/m}$
- bezprašné prostředí

### III. 6.1.3 Prostory pro mechaniku a zdroje

Tyto místnosti nebo samostatné bloky by měly být tepelně a vibračně izolovány od prostor, v nichž je prováděna kalibrace. Jejich součástí bývá obvykle:

- chladicí věž pro systém chlazení vody
- nádrže a čerpadla pro kalibraci proudění kapaliny, hořlavé látky jsou většinou umístěny v podzemních nádržích
- nádrže se stlačeným plynem, regulátory a rozdělovače pro tlakové kalibrace průtoku plynu, teplotní kalibrace a čišťovací zařízení
- rozvodné krabice elektrického zdroje
- napěťové regulátory
- nouzové generátory
- uložení stěračů prachu, košťat a prostředků pro čištění laboratoře
- sanitární dřez s horkou a studenou vodou se závitem pro vodní hadici
- vzduchové kompresory
- vakuová čerpadla
- hasící přístroje a systémy požární ochrany
- motorový generátor 400 Hz
- úložný prostor pro tiskoviny a pro technické příručky k mechanickému zařízení
- vedení vzduchu systému vytápění, ventilace a klimatizace
- ohříváče vody systému vytápění, ventilace a klimatizace
- kontrolní panel bezpečnostního systému

- panel požárního poplašného systému
- plynové láhve pro protipožární ochranu
- ohřívač horké vody
- vodní nádrže
- bezpečnostní značky
- uložení hořlavých a nebezpečných materiálů
- skupina filtrů elektrického zdroje
- automatické vypnutí systému vytápění, ventilace a klimatizace a systém spuštění pro případ výpadku zdroje nebo fáze

Při projekci těchto prostor je třeba vzít v úvahu případné budoucí rozšíření budovy nebo jejího vybavení. Týká se to především podzemních nádrží a bloku kondenzoru, jejichž přemístění je velmi nákladné. Kondenzory nebo bloky vodních věží mají být umístěny v blízkosti místnosti obsahující vzduchové vedení, aby mohlo mít potrubí minimální délku. Tyto místnosti mají být projektovány tak, aby se do nich dostal vidlicový zvedák pro přemístění a instalaci těžkých zařízení.

Systém vytápění, ventilace a klimatizace je dobré umístit do středu místnosti a zbývajících zařízení rozmísťovat podél stěn. To umožňuje snadný přístup pro údržbu kritických součástí systému ovládajícího prostředí.

Mechanické zařízení umístěné v těchto prostorách by mělo být voleno tak, aby hladina hluku byla co nejnižší.

Je třeba zabezpečit odvody a sběrné nádrže pro odvádění čistících tekutin a odtoky od zařízení, které v těchto místnostech pracuje (chladicí závitové odkapávací sběrnice systému vytápění, ventilace a klimatizace).

Stroje používané v těchto místnostech by měly být voleny a používány tak, aby se do kalibračních prostor nepřenášely vibrace. Často se používají izolační bloky.

V místech, kudy procházejí stěnou kalibračních prostor vzduchová vedení potrubí a další obvody, musí být použity pro zamezení hluku a vibrační pružné spoje.

Aby se zabránilo přenosu vibrační a přenosu tepla z pomocných prostor do prostor kalibračních, umísťují se v pomocných prostorách stroje produkující teplo, hluk nebo vibrace, co možná nejdále od stěny kalibračních prostor.

Uvnitř těchto prostor by mělo být instalováno uzemnění zdroje budovy a také signální tyče, aby bylo možné provádět pravidelné kontroly elektrického uzemnění.

Instalované zdrojové panely je třeba jasně a čitelně označit tak, aby postupem času označení nevybledlo. To se týká též vypínačů nouzových zdrojů, které mají být označeny pomocí snadno přístupných bezpečnostních značek.

Elektrické přívody zařízení umístěného v těchto místnostech by neměly být připojeny na stejné přívody jako zbývajících část dané budovy.

Podlahové desky, stěny a střecha musí být izolovány od podlah, stěn a střechy kalibračních prostor.

Přestože není třeba upravovat vnitřní stěny pomocných prostor, lze doporučit, aby v nich byla instalována izolace a parotěsné zářádky, aby se tak zajistila zvuková izolace a celková kontrola laboratorního prostředí budovy.

### III. 6. 2 Pomocné prostory pro logistiku

Nejpodstatnějšími faktory při stanovování projektu prostor pro laboratorní logistickou je velikost pracovního zatížení, rozsah fyzického pracovního zatížení, schválené pracovní zatížení nebo jeho rozšíření. Počáteční požadavky na potřebnou plochu a po-

čet organizačních pracovníků se dá odhadnout podle množství zařízení, které se bude denně přijímat, zpracovávat a ukládat. Při určování umístění a rozvržení prostor pro logistiku je třeba brát do úvahy lidské zdroje a jejich činnosti.

Pomocné prostory pro logistiku je výhodné umístit v blízkosti prostor pro kalibraci a opravy. To proto, aby se snížila vzdálenost, přes kterou bude třeba přepravovat často i velmi choulostivá zařízení. Do prostor pro uložení zařízení nesmí mít přístup návštěvníci.

V prostorách pro logistiku jsou prováděny následující činnosti:

- nákup
- balení
- přeprava
- příjem
- ukládání/skladování
- datový vstup
- servis pro zákazníky
- dozory
- odvolání
- kontrola uložení opravovaných částí

Typické prostory pro nevyřízené položky a pro uložení dělů ukládání zařízení a materiálu do následujících prostor:

- očekávaná práce
- dokončovací práce (výstup)
- ukládání nepoužívaného zařízení
- ukládání do pevných přepravních obalů
- pomůcky pro balení

Určitou pozornost je třeba věnovat ukládacím policím. Tam, kde je vyžadována přísná čistota, je třeba použít uzavřené, ale dražší police. V opačném případě lze ukládat zařízení před jeho kalibraci a po ní do lacinějších polic otevřených. Policové jednotky by měly být podloženy materiálem, odolným vůči elektrostatickému výboji neprodukcujícím žádný prach. Je to proto, aby se citlivé zařízení chránilo před stykem kov - kov. Z hlediska trvanlivosti a jednoduchosti čištění lze doporučit gumové podložky nebo průmyslově vyráběné vinylové podložky používané v letectví. V policích by se mělo zařízení ukládat v jedné vrstvě.

K přejímání zařízení předávaných zákazníkem ke kalibraci a k jeho vracení po provedené kalibraci se osvědčilo instalování a používání zvláštního pultu vyrobeného na zakázku podle potřeb kalibrační laboratoře. Tento může oddělovat prostor pro ukládání zařízení od prostoru určeného pro styk se zákazníkem.

Pro balicí prostor lze doporučit používání průmyslového pracovního stolu. Tento nebo některý jiný může být vybaven zásuvkami pro ukládání nářadí, ale také štítků, visáčků, lepicích pásek, pomůcek pro stříhání, značkovacích razítek a pod.

Lze doporučit, aby laboratoře mající velký počet nakupovaných položek, měly k dispozici vhodnou skříň, v níž by tyto byly ukládány.

Protože množství vykonávané práce souvisí s počtem zaměstnanců, je obecným pravidlem mít pro každou osobu pracující v těchto prostorách samostatný stůl a samostatnou nastavitelnou ergonometrickou otočnou židli na kolečkách. (Pojízdná židle chrání podlahovou krytinu).

Podle potřeby lze na stoly umístit doplňkové stolní lampy, aby zajišťovaly doplňkové osvětlení, snížily namáhání očí a zvýšily bezpečnost.

### III. 6.3 Pomocné prostory pro administrativu

Pod uvedeným názvem budeme mít na mysli:

- kanceláře, v nichž se vyhodnocují a kontrolují výsledky měření a v nichž probíhá všeobecná organizace daných činností.
- prostory typicky administrativní

Požadavky na kancelářské prostory jsou určovány následujícími faktory:

- organizační struktura laboratoře
- plánované pracovní popisy a funkce zaměstnanců, kteří potřebují pro svou činnost kancelářské prostory
- počet pracovníků potřebujících kancelářský prostor
- technické požadavky z hlediska čistoty a hromadění prachu v kalibračních prostorech.

Klíčovými faktory pro stanovení rozložení a požadavků na umístění jsou funkční vztahy mezi kancelářskými a administrativními funkcemi na jedné straně a zbývajících laboratorními činnostmi. K určení různých umístění pro kancelářské a administrativní funkce je třeba připojit podrobný rozpis toku pracovních činností.

Mezi typické laboratorní funkce vyžadující kancelářský a administrativní prostor může u velkých laboratoří patřit:

- vedoucí laboratoře
- zástupce vedoucího laboratoře
- manažer jakosti laboratoře
- technický vedoucí laboratoře
- sekretářka
- účetní, fakturant
- vedoucí jednotlivých odborných skupin laboratoře
- pomocní administrativní pracovníci

Je pochopitelné, že u středních a především malých laboratoří vykonává jeden pracovník několik funkcí.

Pokud jsou uvažovány velké kalibrační laboratoře, bývá zvykem, že každý pracovník vykonávající některou z výše uvedených funkcí (nebo skupina pracovníků stejné odbornosti) pracují v samostatných oddělených místnostech. Při kritickém nedostatku místností je třeba, aby alespoň vedoucí kalibrační laboratoře mohl pracovat v místnosti samostatné. Jeho prostor bývá umístěn v blízkosti hlavního vstupu do laboratoře, aby mohl provádět kontrolu přístupu návštěv do budovy a aby mohl návštěvy přijímat. Tento přístup zvyšuje fyzickou bezpečnost a zamezuje přístupu návštěv bez vhodného doprovodu do nebezpečných prostor.

Dobrou zkušeností je definovat funkce jednotlivých místností a příslušných prostor a zavést postupy, které pomohou zachovat oddělení těchto prostor. Dobrá organizace významně sníží možnost chyb a úrazů.

Všechny místnosti, v nichž pracují zaměstnanci na základě oprávnění, musí být navrženy s ohledem na dva základní faktory - vzhledem k funkci dané místnosti a s ohledem na pohodlí a efektivní činnost příslušných pracovníků. Tyto podmínky samozřejmě vyžadují v některých aspektech příležitostné kompromisy. Například místnosti v suterénu tvoří často ideální metrologické laboratoře. Teplota okolního prostředí je stabilní, tyto místnosti jsou bez vibrací a mnoho jiných faktorů, jako např. hladinu osvětlení, lze snadno kontrolovat. Avšak mnoho pracovníků shledává dlouhodobou činnost pod úrovní přízemí za skličující.

#### **IV. POŽADAVKY NA ETALONY POUŽITÉ PRO KALIBRACI**

**Při kalibraci měřidel je třeba dodržet následující požadavky:**

1. Etalon použitý ke kalibraci měřidla musí mít zaručenou metrologickou návaznost na národní nebo mezinárodní etalony
2. Největší dovolená absolutní základní chyba použitých etalonů musí být v každém zkoušeném bodě minimálně tři až pětkrát menší než je největší dovolená absolutní základní chyba zkoušeného měřidla. Nižší číslo platí v případě, že je zavedena korekce k údajům etalonu. Ve výjimečných případech lze číslo 3 snížit na hodnotu 2,5 případně 2. V těchto výjimečných případech je však nutno příslušně zvýšit počet opakování prováděných měření. Uvedený požadavek je obecný. Příslušné normy nebo instrukce jednotlivých oborů měření jej obvykle zpřesňují.
3. Použitý etalon musí mít takovou rozlišovací schopnost stupnice (nebo takový počet číslic), aby umožňoval provádět odečítání údajů s rozlišitelností minimálně 0,1 dovolené základní chyby zkoušeného měřidla.
4. Krátkodobá stabilita použitého etalonu musí být taková, aby během dvou minut nepřesáhla 0,1 dovolené základní chyby zkoušeného měřidla.
5. Chyba měření podmíněná charakteristikami napájecích zdrojů stejnosměrného a střídavého napětí (proudu) nesmí být větší než 0,1 dovolené chyby zkoušeného měřidla.

#### **IV. 1 KALIBRACE MĚŘIDEL ELEKTRICKÝCH VELIČIN**

##### **IV. 1. 2 TECHNICKÉ POŽADAVKY KLADENÉ NA SEKUNDÁRNÍ ETALONY VYBRANÝCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN**

###### **IV. 1. 2. 1 Sekundární etalony stejnosměrného elektrického napětí**

Sekundární etalony stejnosměrného elektrického napětí se člení do 4 řádů. Jako sekundární etalony 1,2,3 nebo 4. řádu lze použít etalonové kalibrátory a voltmetry v rozsahu do 1000 V. Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 1. řádu nesmí být větší než 0,0005 %. Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 2. řádu nesmí být větší než 0,001 % až 0,005%.

Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 3. řádu nesmí být větší než 0,01 % až 0,05%.

Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 4. řádu nesmí být větší než 0,1 % až 0,5%.

#### **IV. 1. 2. 2 Sekundární etalony stejnosměrného elektrického proudu**

Sekundární etalony stejnosměrného elektrického proudu se člení do 2 řádů.

Jako sekundární etalony 1. nebo 2. řádu lze použít etalonové kalibrátory a ampérmetry v rozsahu do 100 A nebo etalonové mnoha hodnotové míry stejnosměrného elektrického proudu v rozsahu do 20 A..

Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 1. řádu nesmí být větší než 0,1 % a třídy přesnosti 0,05 až 0,1.

Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 2. řádu nesmí být větší než 0,2 % a třídy přesnosti 0,1 až 0,2.

#### **IV. 1. 2. 3 Sekundární etalony střídavého elektrického napětí**

Sekundární etalony střídavého elektrického napětí se člení do 3 řádů.

Jako sekundární etalony 1, 2 nebo 3 řádu lze použít kalibrátory a voltmetry v rozsahu do 1000 V ve frekvenčním rozsahu 40 Hz až 40 kHz.

Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 1. řádu nesmí být větší než 0,01 % až 0,05%.

Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 2. řádu nesmí být větší než 0,1 % až 0,2%.

Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 3. řádu nesmí být větší než 0,5 % až 1%.

#### **IV. 1. 2. 4 Sekundární etalony střídavého elektrického proudu**

Sekundární etalony střídavého elektrického proudu se člení do 2 řádů.

Jako sekundární etalony 1. nebo 2. řádu lze použít etalonové kalibrátory a ampérmetry v rozsahu do 20 A pracující ve frekvenčním rozsahu 40 Hz až 5 kHz

Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 1. řádu nesmí být větší než 0,05 % a třídy přesnosti 0,05 až 0,1.

Největší dovolená meze chyb sekundárních etalonů 2. řádu nesmí být větší než 0,1 % a třídy přesnosti 0,1 až 0,2.

#### **IV. 1. 2. 5 Sekundární etalony elektrického odporu**

Sekundární etalony elektrického odporu se člení do 3. řádů.

Sekundární etalony 1. řádu

Jako sekundární etalony elektrického odporu 1. řádu se používají jednohodnotové etalony elektrického odporu s jmenovitými hodnotami odporu od  $10^{-4}$  do  $10^9 \Omega$ , třídy přesnosti od 0,0005 do 0,01.

Relativní mezní chyby určení hodnot elektrického odporu sekundárních etalonů 1. řádu  $\delta$  a relativní největší dovolené chyby těchto etalonů způsobené časovou nestálostí jejich hodnot za rok  $\nu$  jsou následující:



Jmenovitá hodnota el. odporu [ $\Omega$ ]	$\delta \times 10^6$	$v \times 10^6$
1	0,5	1,5
$10^{-1}, 10$	1,0	3,0
$10^{-3}, 10^{-2}, 10^2, 10^4, 10^5$	2,0	6,0
$10^{-4}, 10^6, 10^7, 10^8$	4,0	10,0
$10^9$	5,0	10,0

#### Sekundární etalony 2. řádu

Jako sekundární etalony elektrického odporu 2. řádu se používají jednohodnotové a vícehodnotové etalony elektrického odporu s jmenovitými hodnotami odporu od  $10^{-4}$  do  $10^{10} \Omega$ , třídy přesnosti od 0,001 do 0,05 a jednohodnotové etalony elektrického odporu na střídavý proud s jmenovitými hodnotami odporu od  $10^{-1}$  do  $10^6 \Omega$ . Relativní mezní chyby určení hodnot elektrického odporu sekundárních etalonů 2. řádu  $\delta$  a relativní největší dovolené chyby těchto etalonů způsobené časovou nestálostí jejich hodnot za rok  $v$  jsou následující:

Jmenovitá hodnota el. odporu [ $\Omega$ ]	$\delta \times 10^5$	$v \times 10^5$
1	0,1	0,3
$10^{-1}, 10$	0,2	0,6
$10^{-3}, 10^{-2}, 10^2, 10^4, 10^5$	0,4	0,8
$10^{-4}, 10^6, 10^7, 10^8$	1,0	2,0
$10^9$	od 1,0 do 10,0	od 3 do 30

#### Sekundární etalony 3. řádu

Jako sekundární etalony elektrického odporu 3. řádu se používají jednohodnotové a vícehodnotové etalony elektrického odporu, etalonové odpory sekundárních etalonů elektrického odporu 3. řádu  $\delta$  při pravděpodobnosti  $P=95\%$  musí být v rozsahu od 0,001% do 1% v závislosti na druhu použitého elektrického proudu, hodnot etalonů a použité frekvenci.

Největší dovolené chyby způsobené časovou nestálostí hodnot sekundárních etalonů elektrického odporu 3. řádu jsou v rozsahu od 0,002% do 5% v závislosti na druhu použitého proudu a hodnot etalonů

### IV. 1. 2. 6 Sekundární etalony elektrické kapacity

Sekundární etalony elektrické kapacity se člení do 3. řádů

#### Sekundární etalony 1. řádu

Jako sekundární etalony elektrické kapacity 1. řádu se používají kondenzátory s pevnou hodnotou kapacity v rozsahu od  $10^{-3}$  pF až  $10^7$  pF.

Relativní mezní chyba určení hodnot elektrické kapacity sekundárních etalonů 1. řádu musí být v mezích od  $3 \cdot 10^{-5}$  do  $5 \cdot 10^{-4}$ .

Největší relativní dovolené chyby způsobené časovou nestálostí hodnot etalonů 1. řádu za rok nesmí překročit  $5 \cdot 10^{-5}$  pro hodnoty kapacit od 1 pF až  $10^5$  pF a  $1 \cdot 10^{-4}$  pro hodnoty kapacity pod 1 pF a nad  $10^5$  pF.

### Sekundární etalony 2. řádu

Jako sekundární etalony elektrické kapacity 2. řádu se používají kondenzátory s pevnou hodnotou kapacity v rozsahu od  $10^{-3}$  pF až  $10^7$  pF.

Relativní mezní chyba určení hodnot elektrické kapacity sekundárních etalonů 2. řádu musí být v mezích od  $1 \cdot 10^{-4}$  do  $1 \cdot 10^{-3}$ .

Největší relativní dovolené chyby způsobené časovou nestálostí hodnot etalonů 2. řádu za rok nesmí překročit  $2 \cdot 10^{-4}$  pro hodnoty kapacit od 1 pF až  $10^5$  pF a  $1 \cdot 10^{-4}$  pro hodnoty kapacity pod 1 pF a nad  $10^5$  pF.

### Sekundární etalony 3. řádu

Jako sekundární etalony elektrické kapacity 1. řádu se používají kondenzátory s pevnou hodnotou kapacity v rozsahu od  $10^{-3}$  pF až  $10^{11}$  pF.

Relativní mezní chyba určení hodnot elektrické kapacity sekundárních etalonů 3. řádu musí být v mezích od  $3 \cdot 10^{-4}$  do  $1 \cdot 10^{-2}$ .

Největší relativní dovolené chyby způsobené časovou nestálostí hodnot etalonů 3. řádu za rok nesmí překročit  $5 \cdot 10^{-4}$  pro hodnoty kapacit od 1 pF až  $2 \cdot 10^4$  pF a  $1 \cdot 10^{-3}$  pro hodnoty kapacity pod 1 pF a nad  $2 \cdot 10^4$  pF.

Kondenzátory 1. až 3. řádu se zařazují podle přesnosti do tříd přesnosti následovně:

Třída přesnosti kondenzátoru	Největší dovolená chyba správnosti [%] ±	Dovolená změna na 1°C vztahovaná na jmen. hodn. [%] ±	Dovolená roční změna konden. [%] ±
0,01	0,01	0,001	0,003
0,02	0,02	0,002	0,007
0,05	0,05	0,005	0,02
0,1	0,1	0,01	0,03
0,2	0,2	0,02	0,07
0,5	0,5	0,05	0,2

Charakteristické znaky kondenzátoru: chyba správnosti, teplotní a frekvenční závislost, hodnota izolačního odporu a časová stálost kapacity.

Třídy přesnosti jsou: 0,01 - 0,02 - 0,05 - 0,1 - 0,2 a 0,5.

Kondenzátory 1. řádu jsou třídy přesnosti 0,01 pro rozsah kapacity od 10 pF do  $10^6$  pF a třídy přesnosti 0,02 pro rozsah kapacity pod 10 pF a nad  $10^6$  pF.

Kondenzátory 2. řádu jsou třídy přesnosti 0,05 a přesnější pro rozsah kapacity od 10 pF do  $10^6$  pF a třídy přesnosti 0,1 pro rozsah kapacity pod 10 pF a nad  $10^6$  pF.

Kondenzátory 3. řádu jsou třídy přesnosti 0,2 a přesnější pro rozsah kapacity od 10 pF do  $10^6$  pF a třídy přesnosti 0,5 pro rozsah kapacity pod 10 pF a nad  $10^6$  pF.

## IV. 1. 2. 1 Sekundární etalony indukčnosti

Sekundární etalony indukčnosti se člení do 3. řádů.

Sekundární etalony indukčnosti 1. až 3. řádu se zařadí podle přesnosti do tříd přesnosti následovně:

Třída přesnosti	Největší dovolená chyba správnosti [%]		Dovolená změna L na 1°C vztažená na jmen. hodn. [%]		Dovolená roční změna indukčn. [%]	
		±		±		±
0,01	0,01		0,001		0,01	
0,02	0,02		0,002		0,01	
0,05	0,05		0,005		0,03	
0,1	0,1		0,01		0,03	
0,2	0,2		0,02		0,1	
0,5	0,5		0,02		0,1	
1	1		0,05		0,1	

Charakteristické znaky indukčnosti pro její zařazení do třídy přesnosti jsou: chyba správnosti, teplotní a frekvenční závislost, časová stálost indukčnosti a vlastní kapacita.

Třídy přesnosti jsou: 0,01 - 0,02 - 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5 a 1.

Sekundární etalony indukčnosti 1. řádu jsou etalony třídy přesnosti 0,01 a 0,02 pro rozsah indukčnosti od 100  $\mu$ H do 1H a třídy přesnosti 0,05 pro rozsah indukčnosti pod 100  $\mu$ H a nad 1 H.

Sekundární etalony indukčnosti 2. řádu jsou etalony třídy přesnosti 0,1 a přesnější pro rozsah indukčnosti od 100  $\mu$ H do 1H a třídy přesnosti 0,2 pro rozsah indukčnosti pod 100  $\mu$ H a nad 1 H.

Sekundární etalony indukčnosti 3. řádu jsou etalony třídy přesnosti 0,5 pro rozsah indukčnosti od 100  $\mu$ H do 1H a třídy přesnosti 1 pro rozsah indukčnosti pod 100  $\mu$ H a nad 1 H.

#### IV. 1. 3 Metrologické parametry sekundárních etalonů používaných při kalibraci vybraných elektrických veličin

Pro kalibraci měřidel vybraných elektrických veličin jsou používány sekundární etalony následujících základních metrologických parametrů:

##### IV. 1. 3. 1 Kalibrace stejnosměrných analogových voltmetrů a ampérmetrů:

- stejnosměrné analogové voltmetry a ampérmetry třídy přesnosti 0,05% až 0,5%
- stejnosměrné digitální voltmetry a ampérmetry dovolené základní chyby 0,005% až 0,1%
- stejnosměrné kalibrátory dovolené základní chyby 0,005% až 0,1%
- stejnosměrné kompenzátory třídy přesnosti 0,005% až 0,02%
- děliče stejnosměrného napětí s dovolenou základní chybou 0,005% až 0,02%
- bočníky s dovolenou základní chybou 0,005% až 0,02%

- etalony stejnosměrného odporu třídy přesnosti 0,005% až 0,05%
- zařízení na zkoušení a kalibrování elektrických měřicích přístrojů dovolené základní chyby 0,005% až 0,05%

#### **IV. 1. 3. 2 Kalibrace střídavých analogových voltmetrů, ampérmetrů a wattmetrů:**

- střídavé analogové voltmetry, ampérmetry a wattmetry, frekvenční rozsah 30 Hz až 500 Hz třídy přesnosti 0,05% až 0,5%
- střídavé digitální voltmetry, ampérmetry a wattmetry na měření efektivní hodnoty, frekvenční rozsah 30 Hz až 500 Hz, dovolené základní chyby 0,01% až 0,5%
- střídavé kalibrátory, frekvenční rozsah min. 30 Hz až 500 Hz, dovolené základní chyby 0,005% až 0,5%
- kompenzátory stejnosměrného a střídavého proudu dovolené základní chyby 0,02% až 0,1%
- indukční (transformátorové) děliče napětí dovolené základní chyby 0,005% až 0,02%
- převodníky výkonu střídavého proudu na stejnosměrné napětí (stejnosměrný proud) dovolené základní chyby 0,02% až 0,5%
- zařízení na zkoušení a kalibrování elektrických měřicích přístrojů dovolené základní chyby 0,03% až 1,5%

#### **IV. 1. 3. 3 Kalibrace digitálních multimetrů:**

- Kalibrátor stejnosměrného napětí s napětovým rozsahem 0 až 1100 V s dovolenou základní chybou 0,001%
- Kalibrátor stejnosměrného proudu s proudovým rozsahem 0 až 20 A s dovolenou základní chybou 0,01%
- Kalibrátor střídavého napětí s napětovým rozsahem 0 až 1100 V, frekvenčním rozsahem 10 Hz až 1 MHz s dovolenou základní chybou 0,01%
- Kalibrátor střídavého proudu s proudovým rozsahem 0 až 20 A, frekvenčním rozsahem 10 Hz až 10 kHz s dovolenou základní chybou 0,015%
- Kalibrátor stejnosměrného odporu s odporovým rozsahem 10Ω až 100 MΩ s dovolenou základní chybou 0,001%
- Stabilizovaný zdroj stejnosměrného a střídavého napětí a proudu s plynulou regulací lepší než 0,1 z hodnoty jednotky posledního měřicího místa zkoušeného multimetru a s časovou stálostí napětí nebo proudu, které po dobu dvou minut nepřesáhne 0,1 hodnoty meze chyby údaje zkoušeného multimetru.
- Zdroje střídavého napětí a proudu musí mít minimální činitel nelineárního zkreslení. jeho maximální hodnota nemá přesáhnout 0,05% až 1% v závislosti na frekvenci.
- Jako stejnosměrný zdroj se může použít i zdroj s usměrňovačem, pokud amplituda jeho pulsací nepřevyšuje 0,1 z hodnoty meze chyby údaje zkoušeného multimetru.
- Stejnosměrný digitální multimetr s napětovými, proudovými a frekvenčními rozsahy, dovolenou chybou a rozlišitelností odpovídajícími požadavkům bodu 3.1.

- Kalibrátor stejnosměrného odporu nebo sada odporových etalonů nebo odporová dekáda rozsahu 10  $\Omega$  až 100 M $\Omega$ , dovolené chyby 0,001% a horší v závislosti na kalibrované hodnotě.
- V závislosti na dovolené chybě, napětovém, proudovém a frekvenčním rozsahu kalibrovaného multimetru lze použít etalony větší dovolené chyby a menších rozsahů, než je uvedeno výše.

#### **IV. 1. 3. 4 Kalibrace nízkofrekvenčního generátoru**

- Nízkofrekvenční milivoltmetr frekvenční rozsah 20 Hz až 50 kHz, napětový rozsah 0 až 10 V, vysokoohmový vstup, dovolené chyby minimálně 3 krát menší než dovolená chyba výstupního napětí zkoušeného generátoru
- Čítač frekvenční rozsah 20 Hz až 50 kHz, vysokoohmový vstup
- Měřič nelineárního zkreslení nebo nízkofrekvenční analyzátor

#### **IV. 1. 3. 5 Kalibrace generátorů nemodulovaného vysokofrekvenčního napětí**

- Měřič vysokofrekvenčního výkonu s termoelektrickou sondou, napětový rozsah 1 mW až 300 mW frekvenční rozsah 0 až 4,2 GHz, charakteristická impedance 50  $\Omega$ , 60  $\Omega$ , 75  $\Omega$ , dovolená chyba 0,5% až 5% podle měřené hodnoty a frekvenčního rozsahu
- Měřič vysokofrekvenčního výkonu s diodovou sondou, napětový rozsah do 5 V, frekvenční rozsah 100 kHz až 6 GHz, charakteristická impedance 50  $\Omega$ , 60  $\Omega$ , 75 $\Omega$ , dovolená chyba 10 %,
- Měřicí přijímač, napětový rozsah 1  $\mu$ V až 10 V, frekvenční rozsah 9 kHz až 1300 MHz, charakteristická impedance 50  $\Omega$ , 60  $\Omega$ , 75  $\Omega$ , dovolená chyba 1 dB $\mu$ V
- Vysokofrekvenční vektorvoltmetr, napětový rozsah 10  $\mu$ V až 1 V, frekvenční rozsah 1 MHz až 1000 MHz, dovolená chyba max. 15%
- Čítač, frekvenční rozsah 0 až 1000 MHz
- Proměnný zeslabovač 0 až 120 dB, frekvenční rozsah 0 až 2 GHz, charakteristická impedance 50  $\Omega$ , 60  $\Omega$ , 75  $\Omega$ .

#### **IV. 1. 3. 6 Kalibrace osciloskopu**

- Generátor časových značek 5 ns až 10 s, dovolená chyba 10<sup>-5</sup>
- Generátor impulzů 0 až 100 ns,  $t_r = 20, 700$  a 900 ps
- Analyzátor průběhů 0 až 12,5 GHz

## IV.2 KALIBRACE MĚŘIDEL DÉLKY

### IV.2.1 TECHNICKÉ POŽADAVKY KLADE NÉ NA SEKUNDÁRNÍ ETALONY DÉLKY

Sekundární etalony délky se člení do pěti řádů.

#### Sekundární etalony 1. řádu

Jako sekundární etalony 1. řádu se používají čárkové míry a koncové měrky v rozsahu do 1 m, měřicí pásma do 10 m, etalonážní zařízení s laserinterferometrem a interferenční zařízení na měření koncových měrek.

Mezní chyby sekundárních etalonů 1. řádu vyhotovených ve formě čárkových mír musí být v mezích  $\pm(0,1+0,2.L) \mu\text{m}$ . Mezní chyby etalonů vyhotovených jako měřicí pásma do 10 m musí být v mezích  $\pm(1+1.L) \mu\text{m}$ . Mezní chyby etalonů vyhotovených ve formě koncových měrek musí být v mezích  $\pm(0,02+0,2.L) \mu\text{m}$

Etalonážní zařízení s laserinterferometrem a interferenční komparátory zařazené do 1. řádu musí při ověřování etalonů 2. řádu stanovit jejich délku L v m s mezní chybou tak, aby ověřované etalony vyhověly hranicím mezní chyby následovně:

- pro čárkové míry  $\pm(0,2+0,5.L) \mu\text{m}$
- pro pásma  $\pm(2+2.L) \mu\text{m}$
- pro koncové měrky  $\pm(0,05+0,5.L) \mu\text{m}$

#### Sekundární etalony 2. řádu

Jako sekundární etalony 2. řádu se používají čárkové míry v rozsahu do 1 m, měřicí pásma v rozsahu do 20 m, koncové měrky v rozsahu do 1 m a etalonážní zařízení s laserinterferometrem.

Mezní chyby sekundárních etalonů 2. řádu vyhotovených ve formě čárkových mír musí být v mezích  $\pm(0,2+0,5.L) \mu\text{m}$ . Mezní chyby etalonů vyhotovených jako měřicí pásma do 20 m musí být v mezích  $\pm(2+2.L) \mu\text{m}$ . Mezní chyby etalonů vyhotovených ve formě koncových měrek musí být v mezích  $\pm(0,05+0,5.L) \mu\text{m}$

Etalonážní zařízení s laserinterferometrem zařazené do 2. řádu musí při ověřování etalonů 3. řádu stanovit jejich délku L v m s mezní chybou tak, aby ověřované etalony vyhověly hranicím mezní chyby následovně:

- pro čárkové míry  $\pm(1+5.L) \mu\text{m}$
- pro pásma  $\pm(5+3.L) \mu\text{m}$

#### Sekundární etalony 3. řádu

Jako sekundární etalony 3. řádu se používají čárkové míry v rozsahu do 2 m, měřicí pásma v rozsahu do 30 m a koncové měrky v rozsahu do 1000 mm.

Mezní chyby sekundárních etalonů 3. řádu vyhotovených ve formě čárkových mír musí být v mezích  $\pm(1+5.L) \mu\text{m}$ . Mezní chyby etalonů vyhotovených jako měřicí pásma do 30 m musí být v mezích  $\pm(5+3.L) \mu\text{m}$ . Mezní chyby etalonů vyhotovených ve formě koncových měrek musí být v mezích  $\pm(0,1+1.L) \mu\text{m}$

#### Sekundární etalony 4. řádu

Jako sekundární etalony 4. řádu se používají čárkové míry v rozsahu do 2 m, měřicí pásma v rozsahu do 30 m, koncové měrky v rozsahu do 1000 mm a etalonové měřicí přístroje do 6 m.

Mezní chyby sekundárních etalonů 4. řádu vyhotovených ve formě čárkových mír musí být v mezích  $\pm(10+20.L) \mu\text{m}$ . Mezní chyby etalonů vyhotovených jako měřicí

pásma do 30 m musí být v mezích  $\pm(10+10.L)$   $\mu\text{m}$ . Mezní chyby etalonů vyhotovených ve formě koncových měrek musí být v mezích  $\pm(0,2+2.L)$   $\mu\text{m}$ . Mezní chyby etalonových měřicích přístrojů do 6 m musí být v mezích  $\pm(0,2+2.L)$   $\mu\text{m}$ .

#### Sekundární etalony 5. řádu

Jako sekundární etalony 5. řádu se používají koncové měrky v rozsahu do 1000 mm. Mezní chyby sekundárních etalonů 5. řádu být v mezích  $\pm(0,5+5.L)$   $\mu\text{m}$ .

Nejčastějším etalonem používaným v kalibrační laboratoři délky jsou koncové měrky. Z toho důvodu budou poněkud obsírněji popsány.

Koncová měrka je měrka vyhotovená ve tvaru hranolu pravoúhlého průřezu s dvěma rovinnými navzájem rovnoběžnými měřicími plochami, které mají schopnost vzájemně přilnout k měřicím plochám jiných měrek nebo k rovinným pomocným destičkám.

Pro měrky stanovuje ČSN 25 3309 čtyři třídy přesnosti, které se v technické dokumentaci označují tečkou za číslem normy a číslicemi 00, 0, 1, a 2.

Odchylka jmenovité hodnoty měrek při teplotě 20<sup>0</sup>C a odchylky rovinnosti a rovnoběžnosti měřicích ploch nesmí převyšovat hodnoty uvedené v následující tabulce:

Jmenovitá délka L [mm]	Třída přesnosti							
	00		0		1		2	
	Dovol. odchyl. $\pm$	Chyba rovin.a rovň. rovň.	Dovol. odchyl. $\pm$	Chyba rovin.a rovň. rovň.	Dovol. odchyl. $\pm$	Chyba rovin.a rovň. rovň.	Dovol. odchyl. $\pm$	Chyba rovin.a rovň. rovň.
přes do	Dovolené chyby v $\mu$							
do10 vč.	0,06	0,05	0,12	0,10	0,20	0,16	0,45	0,30
10 až 25	0,07	0,05	0,14	0,10	0,30	0,16	0,60	0,30
25 až 50	0,10	0,06	0,20	0,10	0,40	0,18	0,80	0,30
50 až 75	0,12	0,06	0,25	0,12	0,50	0,18	1,00	0,35
75 až 100	0,14	0,07	0,30	0,12	0,60	0,20	1,20	0,35
100 až 150	0,20	0,08	0,40	0,14	0,80	0,20	1,60	0,40
150 až 200	0,25	0,09	0,50	0,16	1,00	0,25	2,00	0,40
200 až 250	0,30	0,10	0,60	0,16	1,20	0,25	2,40	0,45
250 až 300	0,35	0,10	0,70	0,18	1,40	0,25	2,80	0,50
300 až 400	0,45	0,12	0,90	0,20	1,80	0,30	3,60	0,50
400 až 500	0,50	0,14	1,10	0,25	2,20	0,35	4,40	0,60
600 vč.	0,60	0,16	1,30	0,25	2,60	0,40	5,00	0,70
700 vč.	0,70	0,18	1,50	0,30	3,00	0,45	6,00	0,70
800 vč.	0,80	0,20	1,70	0,30	3,40	0,50	6,50	0,80
900 vč.	0,90	0,20	1,90	0,35	3,80	0,50	7,50	0,90
1000 vč.	1,00	0,25	2,00	0,40	4,20	0,60	8,00	1,00

Přilnavost měřicích ploch měrek musí odpovídat následujícím požadavkům:

Třída přesnosti	Přilnavost měrek na rovinnou skleněnou nebo křemennou destičku	Dovolená odchylka rovinnosti použité destičky nejmenšího průměru 60 mm v $\mu\text{m}$
00 a 0	Bez interferenčních proužků a odstínů při pozorování v bílém světle	0,03
1	Bez interferenčních proužků, připouštějí se odstíny v podobě světlých skvrn pozorovaných v bílém světle	0,1
2	Bez interferenčních proužků, připouštějí se odstíny v podobě žlutých až hnědých skvrn pozorovaných v bílém světle	0,1

Teplotní součinitel délkové roztažnosti měrek z oceli při teplotě od (10 do 30) °C musí být v mezích  $(11,5 \pm 1,0) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . U měrek vyrobených z jiných materiálů uvádí výrobce hodnotu jejich teplotního součinitele délkové roztažnosti v příslušné technické dokumentaci.

Změna délky měrek v důsledku nestálosti materiálu nesmí přesahovat v průběhu jednoho roku následující hodnoty:

Třída přesnosti	Dovolená změna délky v průběhu jednoho roku ( $\mu\text{m}$ )
00	$0,02 + 0,2 L$
0	$0,02 + 0,5 L$
1, 2	$0,05 + 1,0 L$

kde L je délka v metrech

Drsnost povrchu měřicích ploch měrek třídy 00 musí být menší než  $0,05 \mu\text{m}$  pro mezní délku  $0,08 \text{ mm}$ . Pro měrky ostatních tříd přesnosti musí být menší než  $0,063 \mu\text{m}$  pro mezní délku  $0,08 \text{ mm}$ .

## IV. 3 KALIBRACE MĚŘIDEL TEPLoty

### IV.3.1 TECHNICKÉ POŽADAVKY KLADENÉ NA SEKUNDÁRNÍ ETALONY TEPLoty

Sekundární etalony měřidel teploty se člení do dvou řádů

- Sekundární etalony 1. řádu:

1. Platinové odporové teploměry v rozsahu (-196 až 156 / 232) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_C$  v intervalu (0,001 až 0,01) °C, pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$



2. Platinové odporové snímače teploty v rozsahu (-39/ 0 až 660) °C, s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (0,001 až 0,01) °C, pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
3. Skleněné teploměry s rozsahem (-55 až 100) °C s dělením 1/100 nebo 2/100, s nulovým bodem, pro plný ponor a s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  (0,001 až 0,01) °C, pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
4. Skleněné teploměry s celkovým rozsahem (-55 až 360) °C, s dělením 0,1 °C, nulovým bodem, pro plný ponor a největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  (0,02 až 0,2) °C, pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
5. Skleněné teploměry s celkovým rozsahem (0 až 600) °C, s dělením 1 °C, nulovým bodem, pro plný ponor a největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  1 °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
6. Termočlánky typu S (PtRh10-Pt) v rozsahu (0 až 1100) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  (0,2 až 0,4) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
7. Termočlánky typu B (PtRh30-PtRh6) v rozsahu (660 až 1768) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c = (0,3 \text{ až } 3)$  °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
8. Pyrometr celkového záření v rozsahu (300 až 1300) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (4 až 10) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
9. Monochromatický pyrometr v rozsahu (800 až 2300) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (3 až 7) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
10. Sada teplotních žárovek s celkovým rozsahem (800 až 2300) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (3 až 6) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$

- Sekundární etalony 2. řádu:

1. Platinové odporové teploměry v rozsahu (-196 až 156) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (0,01 až 0,04) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
2. Platinové odporové teploměry v rozsahu (-70 až 660) °C, s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (0,01 až 0,05) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
3. Skleněné teploměry s celkovým rozsahem (-55 / -80 / až 360 / 600) °C, s nulovým bodem a pro plný ponor s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (0,01 až 0,4 / 2 /) °C pro koeficient rozšířené  $k_U = 2$
4. Termočlánky z obecných kovů v rozsahu (-196 až 50) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (0,2 až 0,5) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
5. Termočlánky typu S (PtRh10-Pt) v rozsahu (0 až 1200) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (0,6 až 1,5) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
6. Termočlánky typu B (PtRh30-PtRh6) v rozsahu (660 až 1800) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (1 až 8) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
7. Pyrometr celkového záření v rozsahu (30 až 1300) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (6 až 15) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$
8. Monochromatický pyrometr v rozsahu (800 až 2300) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (7 až 11) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$

9. Sada teplotních žárovek s celkovým rozsahem (800 až 2300) °C s největší hodnotou rozšířené nejistoty  $U_c$  v intervalu (4,5 až 9) °C pro koeficient rozšíření  $k_U = 2$

- Při kalibraci měřidel teploty je používáno další následující zařízení:

1. Kapalinový kryostat s rozsahem teplot (-180 až 0) °C umožňující zkoušení snímačů teploty s kombinovanou standardní nejistotou vyvolanou vlivem teplotního pole a stability teploty  $U \leq 0,5 U_{\min}$  použitého etalonu.

2. Kapalinový termostat s rozsahem teplot (0 až 250) °C umožňující zkoušení snímačů teploty s kombinovanou standardní nejistotou vyvolanou vlivem teplotního pole a stability teploty  $U \leq 0,5 U_{\min}$  použitého etalonu.

3. Kapalinový termostat se solnou náplní nebo fluidní termostat s rozsahem teplot (100 až 900) °C dle druhu náplně umožňující zkoušení snímačů teploty s kombinovanou standardní nejistotou vyvolanou vlivem teplotního pole a stability teploty  $U \leq 0,5 U_{\min}$  použitého etalonu.

4. Trubková porovnávací elektrická pec se zařízením pro plynulou regulaci teploty umožňující zkoušení snímačů teploty s kombinovanou standardní nejistotou vyvolanou vlivem teplotního pole a stability teploty  $U \leq 0,5 U_{\min}$  použitého etalonu.

5. Vertikální trubková elektrická pec se zařízením pro plynulou regulaci teploty používaná při metodě malého množství s kombinovanou standardní nejistotou vyvolanou vlivem teplotního pole a stability teploty  $U \leq 0,5 U_{\min}$  použitého etalonu.

6. Termostat srovnávacích spojů termoelektrických snímačů teploty nebo Dewarova nádoba s měřením teploty srovnávacích spojů s kombinovanou standardní nejistotou vyvolanou vlivem teplotního pole a stability teploty a měření teploty  $U \leq 0,2 U_{\min}$  použitého etalonu.

7. Trojný bod vody nebo galia

8. Zařízení na měření termoelektrického napětí s přepínačem měřicích míst s kombinovanou standardní nejistotou  $U \leq 0,2 U_{\min}$  použitého etalonu teploty.

9. Zařízení na měření odporu snímačů teploty s přepínačem měřicích míst s kombinovanou standardní nejistotou  $U \leq 0,1 U_{\min}$  použitého etalonu.

10. Přístroj na měření izolačního odporu s minimálním rozsahem 100 M $\Omega$  a s maximálním stejnosměrným zkušebním napětím 100 V resp 10V.

## V. DOPORUČOVANÉ VYBAVENÍ KALIBRAČNÍCH LABORATOŘÍ

Cílem této části není vyjmenovat všechny možné etalony a další měřicí zařízení, které lze v kalibračních laboratořích používat, ale uvést některé z vhodných etalo-

nů, s nimiž jsou již v kalibračních laboratořích dobré zkušenosti nebo o nichž jsou k dispozici vesměs kladné reference.

## V. 1 Vybavení kalibrační laboratoře elektrických veličin

### Etalony odporu a kapacity MEATEST

Etalony odporu a kapacity MEATEST jsou určeny ke kalibraci měřičů RLC, multimetrů a k zabezpečení metrologické návaznosti měření. Nízká časová konstanta etalonů umožňuje jejich použití v širokém kmitočtovém pásmu. Jednotlivé etalony jsou dodávány s kalibračními daty pro DC a AC při 1 kHz. V případě AC aplikací je udávána typická kmitočtová závislost hlavní i vedlejší složky v kmitočtovém rozsahu 100 Hz až 20 kHz.

#### Etalony odporu

Typ	Nominální hodnota	Tolerance nom. hodnoty ± [%]	DC nejistota kalibrace ± [%]	Teplotní koeficient ± [ppm/°C]	Výkonová ztráta [W]
RPT-0.001	1 mΩ	0,100 až 1,0	0,030	10	10
RP-0.1	100 mΩ	0,030 až 1,0	0,020	5	3
RP-1.0	1Ω	0,020 až 0,1	0,010	5	3
RP-10	10 Ω	0,005 až 0,1	0,003	1	0,3 až 1
RP-100	100 Ω	0,002 až 0,1	0,001	1	0,3 až 1
RP-1k	1 kΩ	0,002 až 0,1	0,001	1	0,3 až 1
RP-10k	10 kΩ	0,002 až 0,1	0,001	1	0,3 až 1
RP-100k	100 kΩ	0,002 až 0,1	0,001	1	0,3 až 1
RP-1M	1 MΩ	0,010 až 1.0	0,002	1	0,3 až 1

Frekvenční rozsah DC až 20 kHz

Připojení čtyřpárové (tří-, čtyř-, pěti-svorkové)

Typ svorek: přístrojové svorky s BNC konektory

### **Etalony kapacity**

Typ	Nominální hodnota	Tolerance nom. hodnoty ± [%]	AC nejistota kalibrace ± [%]	Teplotní koeficient ± [ppm/°C]	Ztrátový činitel
CP-1	1 000 pF	0,05	0,01	15	≤0,0002
CP-10	10 000 pF	0,05	0,01	15	≤0,0002
CP-100	100 000 pF	0,05	0,01	15	≤0,0002

Frekvenční rozsah 100 Hz až 20 kHz

Připojení čtyřpárové (tří-, čtyř-, pěti-svorkové)

Typ svorek: přístrojové svorky s BNC konektory

### **Sada etalonů typ MTE-1 MEATEST**

Speciální sada etalonů v transportním kufríku ve složení RP-10, RP-100, RP-1k, RP-10k, RP-100k, CP-10. Sada je určena především pro kalibraci multifunkčních RLCG mostů.

### **AC/DC etalony odporu TINSLEY**

Typ	Hodnota [Ω]	Nepřesnost ± [%]	Stabilita ± [ppm/rok]	Tepl. souč. od. [ppm/°C]	Frekvence [kHz]
5685A	1, 10, 25, a 100	0,002	2	typicky 2	0 až 10
5685B	1000, 10000	0,002	2	typicky 2	0 až 10

### **DC etalony odporu TINSLEY**

Typ	Hodnota [Ω]	Nepřesnost ± [%]	Stabilita ± [%/rok]	Tepl. souč. odporu [ppm/°C]
5615	100 k	0,005	0,005	10
5615	1 M, 10 M	0,005	0,005	20
5686	0,1	0,002		10
5686	0,01	0,01		10
5686	0,001	0,02		50

### Etalony kapacity Quad Tech (dříve General Radio Company)

Typ	Hodnota [pF]	Nepřesnost ± [%]	Stabilita ± [ppm/rok]	Tepl. souč. kap. [ppm/°C]
1404-A	1000	0,001	20	2 ± 2
1404-B	100	0,001	20	2 ± 2
1404-C	10	0,001	20	5 ± 2
1409-F	0,001 uF	0,05	100	+35 ± 10
1409-L	0,01 uF	0,05	100	+35 ± 10
1409-T	0,1 uF	0,05	100	+35 ± 10
1409-Y	1 uF	0,05	100	+35 ± 10

Přesnost nastavení ± 0,02%.

Frekvenční rozsah 10 Hz až 100 kHz.

Dvou a čtyřvodičové připojení.

### Etalony indukčnosti Quad Tech (dříve General Radio Company)

Typ	Hodnota [mH]	Přesnost ± [%]	Stabilita ± [%/rok]	Tepl. souč. ind. [ppm/°C]
1482-B	0,1	0,25	0,01	30
1482-E	1	0,1	0,01	30
1482-H	10	0,1	0,01	30
1482-L	100	0,1	0,01	30
1482-P	1 H	0,1	0,01	30
1482-T	10 H	0,1	0,01	30

Rezonanční frekvence 900 kHz až 5 kHz podle jmenovité hodnoty

### Odporový most model 6010B Measurements International

Velmi zajímavý, vysoce přesný a extrémně citlivý, plně automatizovaný most pro měření odporu s rozsahy 0,001 Ω až 10 kΩ

Jeho přesnost může dosáhnout až ± 0,1 ppm z měřené hodnoty, linearita 0,01 ppm z rozsahu, rozlišení 0,001 ppm, testovací proud 10 uA až 150 mA

## Most pro měření vysokých odporů model 6000A Measurements International

Vysoce přesný a extrémně citlivý plně automatizovaný most pro měření vysokých odporů s rozsahy 100Ω až 1 GΩ.

Jeho přesnost může dosáhnout až  $\pm 0,1$  ppm z měřené hodnoty, linearita 0,01 ppm z rozsahu, rozlišení 0,001 ppm.

## Kalibrátory

### **Multifunkční kalibrátor typ M-130 MEATEST**

Kalibrátor vhodný pro kalibraci multimetrů, analogových měřidel, panelových měřidel, klešťových ampérmetrů, procesních kalibrátorů, wattmetrů, elektroměrů, osciloskopů, čítačů, XY zapisovačů, datalogerů.

Funkce	Rozsah	Dovolená chyba $\pm$ [% z hodnoty + % z rozsahu]	
stejnoseměrné napětí	10 $\mu$ V až 20 mV	0,05 + 0,03 + 10 $\mu$ V	
	20 mV až 200 mV	0,03 + 0,02	
	200 mV až 2V	0,005 + 0,003	
	2 V až 20 V	0,004 + 0,001	
	20 V až 260 V	0,003 + 0,002	
	260 V až 1000 V	0,04 + 0,01	
stejnoseměrný proud	1 $\mu$ A až 200 $\mu$ A	0,05 + 0,02	
	200 $\mu$ A až 2 mA	0,02 + 0,05	
	2 mA až 20 mA	0,02 + 0,005	
	20 mA až 200 mA	0,02 + 0,005	
	200 mA až 2 A	0,05 + 0,03	
	2A až 10 A	0,05 + 0,03	
10 A až 20 A	0,08		
střídavé napětí		40 Hz až 10 kHz	10 kHz až 20 kHz
	100 $\mu$ V až 20 mV	0,15 + 0,10 + 30 $\mu$ V	0,20 + 0,10 + 30 $\mu$ V
	20 mV až 200 mV	0,10 + 0,05 + 30 $\mu$ V	0,15 + 0,05 + 30 $\mu$ V
	200 mV až 2 V	0,03 + 0,02	0,05 + 0,05
	2 V až 20 V	0,03 + 0,02	0,10 + 0,03
	20 V až 250 V	0,03 + 0,02	-
	250 V až 1000 V	0,03 + 0,02	-

střídavý proud	1 $\mu$ A až 200 $\mu$ A	40 Hz až 1 kHz 0,20 + 0,10 + 100 nA	1 kHz až 2 kHz 0,30 + 0,10 + 200 nA
	200 $\mu$ A až 2 mA	0,1 + 0,02	0,20 + 0,05 + 300 $\mu$ A
	2 mA až 20 mA	0,1 + 0,01	0,20 + 0,05 + 300 $\mu$ A
	20 mA až 200 mA	0,1 + 0,01	0,20 + 0,05
	200 mA až 2 A	0,05 + 0,05	-
	2 A až 10 A	0,1 + 0,1	-
	10 A až 20 A	0,2 + 0,0	-
odpor	10 $\Omega$ až 100 $\Omega$	chyba z hodnoty [ $\pm$ %] 0,03 + 10 m $\Omega$	rozsah proudu 1 mA až 40 mA
	100 $\Omega$ až 400 $\Omega$	0,03	400 $\mu$ A až 20 mA
	400 $\Omega$ až 2 k $\Omega$	0,03	100 $\mu$ A až 4 mA
	2 k $\Omega$ až 10 k $\Omega$	0,03	20 $\mu$ A až 1 mA
	10 k $\Omega$ až 40 k $\Omega$	0,03	4 $\mu$ A až 200 $\mu$ A
	40 k $\Omega$ až 200k $\Omega$	0,05	1 $\mu$ A až 40 $\mu$ A
	200 k $\Omega$ až 1 M $\Omega$	0,2	0,2 $\mu$ A až 10 $\mu$ A
	1 M $\Omega$ až 10 M $\Omega$	0,5	400 nA až 4 $\mu$ A
kapacita	900 pF až 2,5 nF	chyba z hodnoty [ $\pm$ %] 0,5 + 15 pF	max. kmitočet 1000 Hz
	2,5 nF až 10 nF	0,5	1000 Hz
	10 nF až 50 nF	0,5	1000 Hz
	50 nF až 250 nF	0,5	1000 Hz
	250 nF až 1 $\mu$ F	0,5	1000 Hz
	1 $\mu$ F až 3,5 $\mu$ F	1	500 Hz
	3,5 $\mu$ F až 5 $\mu$ F	1	300 Hz
	5 $\mu$ F až 10 $\mu$ F	1,5	300 Hz
kmitočet SYM, POS, NEG	rozsah	chyba z hodnoty [ $\pm$ %]	amplituda
	0,5 Hz až 10 kHz	0,01%	1 mV až 10 V
kmitočet HSO (TTL úroveň)	rozsah	chyba z hodnoty [ $\pm$ %]	strmost hrany
	0,5 až 10 MHz	0,01	$\leq$ 10 ns
výkon, energie			
napětí	rozsah	chyba z hodnoty [ $\pm$ %]	
	9 V až 250 V	0,03 + 0,02	

proud	90 mA až 2 A	0,05 + 0,10	
	2A až 10 A	0,10 + 0,10	
PF	rozsah	mezní chyba účinníku	
		40 až 50 Hz	50 až 400 Hz
	0 až 0,75	± 0,0018	± 0,0009
	0,8 až 0,95	± 0,0011	± 0,0006
	0,95 až 1,0	± 0,0008	± 0,0004

### Třífázový kalibrátor výkonu a energie typ M-103 MEATEST

Třífázový kalibrátor M-103 je určen především jako technická podpora systémů jakosti v organizacích připravovaných pro certifikaci podle norem řady ISO 9000 v oblasti zajištění jednotnosti měření.

Kalibrátor je vhodný ke kalibraci wattmetrů, elektroměrů, voltmetrů, ampérmetrů, měřičů fáze a účinníku, převodníků výkonu, napětí, proudu, kmitočtu, fáze a účinníku, analyzátorů sítě.

Základními funkcemi kalibrátoru jsou generování kalibrovaného střídavého napětí s rozsahem od 6V do 240V a střídavého proudu s rozsahem od 100mA do 10A. Napětí je generováno na třech výstupech s pevným fázovým posuvem 120°. Fázový posuv proudových výstupů lze nastavovat individuálně pro každý výstup v rozsahu od 0 do 360°.

Další funkcí kalibrátoru je generování přesné energetické dávky.

Zatížitelnost napěťového výstupu 30mA dovozuje kalibrovat i klasické ručkové wattmetry.

#### Technické parametry

Funkce	Rozsah	Dovolená chyba	
		[%] z hodnoty + [%] z rozsahu	
střídavé napětí	6 V až 80 V	0,03 + 0,02	
	80 V až 240 V	0,03 + 0,02	

Nastavitelnost napětí 5 desetinných míst. Kmitočtový rozsah 40 Hz až 400 Hz. Nelineární zkreslení max. 0,1 %. Výstupní proud min. 30 mA. Přípustná kapacitní zátěž max. 5 nF.

Posun jednotlivých fází 120°.



střídavý	100 mA až 1 A	0,03 + 0,02
proud	1 A až 5 A	0,04 + 0,03
	5 A až 10 A	0,04 + 0,03

Nastavitelnost proudu 5 desetinných míst. Kmitočtový rozsah 40 Hz až 400 Hz. Nelineární zkreslení max. 0,2 %. Výstupní napětí min. 2,5 V. Posun jednotlivých fází volitelný 0 až 360°.

#### Kmitočet

Mezní chyba kmitočtu  $\pm 0,01$  %

Rozsah nastavení kmitočtu 40 Hz až 400 Hz

Nastavitelnost kmitočtu 3 desetinná místa.

#### Fáze

Mezní chyba fáze  $\pm 0,1^{\circ}$  pro  $U \geq 30$  V,  $I \geq 300$  mA a kmitočet 50 Hz až 200 Hz.  
 $\pm 0,2^{\circ}$  v ostatních případech

Rozsah nastavení fáze 0 až 360° .

Nastavitelnost fáze 1°.

#### Účinitk

Mezní chyba účinitku:

$\cos(\varphi + 0,1) - \cos \varphi$  pro  $U \geq 30$  V,  $I \geq 300$  mA,  $f = 50$  Hz až 200 Hz.

$\cos(\varphi + 0,2) - \cos \varphi$  v ostatních případech.

Rozsah nastavení účinitku -1.00 až 1.00 LEAD nebo LAG.

Nastavitelnost účinitku 0.01

#### Střídavý výkon

Rozsah nastavení výkonu 0,6 až 2400 VA v každé fázi. Nastavitelnost výkonu 5 desetinných míst. Mezní chyba je závislá na hodnotách napětí, proudu a účinitku. Největší přesnost je  $\pm 0,08$ .

#### Střídavá energie

Mezní chyba je závislá na hodnotách napětí, proudu, fáze a času. Největší přesnost je  $\pm 0,08$  %.

### **Kalibrátor výkonu a energie typ M-102 S MEATEST**

Kalibrátor M-102S je zdroj kalibrovaného střídavého napětí a proudu s definovaným fázovým posuvem. Výstupní hodnotu napětí lze nastavit ve čtyřech rozsazích, výstupní proud ve třech rozsazích s rozlišitelností na čtyři desetinná místa. Kmitočtový rozsah činí 40 Hz až 400 Hz s možností nastavení 10 diskretních kmitočtů. Kalibrátor má velmi dobrou časovou stabilitu amplitudy a nízký činitel nelineárního zkreslení u střídavých signálů, který umožňuje použití při kalibraci měřidel, indiku-

jících jak střední, tak efektivní resp. špičkovou hodnotu amplitudy signálu. Kalibrátor je vhodný zejména ke kalibracím analogových a digitálních wattmetrů, elektroměrů a měřičů účinníku. Je standardně vybaven normalizovanou sběrnicí IEC - 625.

#### Technické parametry

Funkce	Rozsah napětí [V]	Dovolená chyba		Proudová zatižitelnost [mA <sub>ef</sub> ]
		[%] z hodnoty	+ [%] z rozsahu	
Střídavé napětí	10	0,06	+ 0,04	100
	100	0,06	+ 0,04	100
	250	0,06	+ 0,04	50
	750	0,06	+ 0,04	20

Funkce	Rozsah proudu [A]	Dovolená chyba		Napět'ová zatižitelnost [V <sub>ef</sub> ]
		[%] z hodnoty	+ [%] z rozsahu	
Střídavý proud	0,1	0,05	+ 0,05	3
	1	0,05	+ 0,05	3
	10	0,05	+ 0,05	1

#### Účinník

Rozsah nastavení 0,00 až 1,00 s krokem 0,05

Frekvenční rozsah 40 Hz až 400 Hz

Dovolená chyby je závislá na hodnotě účinníku a kmitočtu. Pohybuje se od  $\pm 0,001$  do  $\pm 0,005$ .

#### Výkon

Rozsah nastavení výkonu od 1 do 7500 VA

Nejistota výkonu  $\pm 0,14$  až  $\pm 5$  % v závislosti na účinníku.

#### Energie

Rozsah nastavení energie od 0 do 14922 kWh

Nejistota energie  $\pm 17$  % až  $\pm 5$  % v závislosti na účinníku.

### **Kalibrátor impedance typ M-500B MEATEST**

Kalibrátor impedance M-500B je přístroj určený ke kalibraci a nastavování měřičů RLC. Pro vyloučení vlivu přírodních kabelů a vlastního pozadí kontrolovaného měřiče RLC je kalibrátor vybaven referenčními polohami svorek nakrátko a naprázdno. Kalibrátor lze ke kontrolovanému měřiči připojit čtyřvodičově nebo v omezeném rozsahu hodnot dvousvorkově. Velkoplošný displej LCD umožňuje zobrazit všechny potřebné informace a nastavení impedančního kalibrátoru. Kalibrační data jsou uchována v interní paměti EEPROM a jejich přepis při kalibraci se provádí přímo z klávesnice přístroje. Všechny funkce přístroje lze ovládat po sběrnici GPIB. Všechny funkce přístroje lze ovládat po sběrnici GPIB.

Technické parametry

Funkce	Rozsah [dekadické hodnoty]	Dovolená chyba [%]z hodn. + [%] z rozs.	Teplotní součinitel [ppm/°C]
Odpor	0,1 až 10 M $\Omega$	0,005 až 0,1	2 až 50
Kapacita	10 pF až 10 $\mu$ F	0,01 až 0,1	20 až 200
Indukčnost	0,001 H až 10 H	0,1 až 0,5	20 až 200
Kmitočet	100 Hz až 20 kHz		

### **Kalibrátor proudu typ M-150S MEATEST**

Zdroj velmi stabilního stejnosměrného a střídavého proudu v rozsahu 9 A až 100 A. Výstupní hodnotu lze nastavit s rozlišitelností na 4 1/2 místa. Kmitočtový rozsah 40 Hz až 60 Hz umožňuje nastavit tři diskrétní kmitočty. Kalibrátor má velmi dobrou časovou stabilitu amplitudy, kmitočtu a nízký činitel nelineárního zkreslení u střídavých proudů, který umožňuje použití při kalibraci měřidel indikujících jak střední tak efektivní hodnotu signálu. Kalibrátor je vhodný zejména ke kalibracím analogových a digitálních ampérmetrů metodou přímého měření nebo metodou porovnání s etalonovým ampérmetrem.

Nejistota kalibrace při jmenovité hodnotě rozsahu DC i AC proud  $\pm 0,2$  %.

Přesnost kmitočtu  $\pm 0,01$  %

Nelineární zkreslení do 0,1 %

Maximální výstupní napětí 1 V

### **Multifunkční transfer standard model 4950 WAWETEK**

Jedná se o přístroj umožňující automatickou kalibraci převážné většiny funkcí a rozsahů multifunkčních kalibrátorů fy WAWETEK - Datron a většiny modelů firmy Fluke. V manuálním režimu (či po napsání příslušného software) mohou být tímto modelem kalibrovány i kalibrátory ostatních výrobců.

Kalibrace je možné provádět jak ve vlastní kalibrační laboratoři, tak přímo na místě u zákazníka.

Veličina	Rozsah	Nejmenší nejistota v rozsahu
DC napětí	100 mV až 1000 mV	± 2,1ppm
AC napětí	1 mV až 1000 V, 10 Hz až 1 MHz	± 26 ppm
DC proud	100 $\mu$ A až 10 A	± 13 ppm
AC proud	100 $\mu$ A až 10 A, 10 Hz až 30 kHz	± 85 ppm
Odpor	1 $\Omega$ až 100 M $\Omega$	± 4,5 ppm

### **Napěťový standard model 4910 WAWETEK ( nahrazen modelem 7000)**

Vysoce přesná stejnosměrná elektronická reference pro napětí 10 V, 1 V a 1,018 V. Tento model představuje poslední vývoj dosažený v současné době v polovodičových referenčních zdrojích stejnosměrného napětí. Díky speciálnímu designu referenčních obvodů umožňuje vypustit vnitřní baterie pro zálohování napájení termostatů Zenerových referencí. Konstrukce je plně modulární a obsahuje i vysoce citlivý měřicí systém a přepínací systém, umožňující automatizované porovnání jednotlivých napěťových modulů mezi sebou i kalibraci externích referencí.

### **Napěťový standard model 4920 WAWETEK**

Vysoce přesná střídavá elektronická reference umožňující nahradit AC/DC thermal transfer standard systémovým přístrojem, umožňujícím dosažení většího dynamického rozsahu, rychlejší odezvy, větší odolnosti proti rušení i přetížení a zejména umožňující automatizovat přenos jednotky AC napětí či proudu.

### **Multifunkční kalibrátory řady 4800 WAWETEK**

Představují dvě úrovně velmi přesných kalibrátorů základních elektrických veličin (DCV, ACV, DCI, ACI, R). Slouží k plně automatické, poloautomatické i manuální kalibraci zejména elektronických multimetrů. Vyrábí se ve dvou modelech a to

4800A, použitelný pro kalibraci 6 1/2, omezeně 7 1/2 místných multimetrů a model 4808, což je velmi přesný kalibrátor pro kalibraci až 8 1/2 místných multimetrů.

### **Multifunkční kalibrátor typ 4808 WAWETEK**

#### Technické parametry

Stejnoseměrné napětí s rozsahy 100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, 1000 V. Krátkodobá stabilita stejnosměrného výstupního napětí po dobu 24 hodin se pohybuje od (1 ppm z výstupu + 1  $\mu$ V) po (1 ppm z výstupu + 300  $\mu$ V) podle rozsahu. Relativní roční nejistota stejnosměrného výstupního napětí se pohybuje od (7 ppm z výstupu + 1  $\mu$ V) po (9,5 ppm z výstupu + 500  $\mu$ V) podle rozsahu.

Střídavé napětí s napěťovými rozsahy 100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, 1000 V pracující v kmitočtovém pásmu 10 Hz až 1 MHz. Krátkodobá stabilita střídavého výstupního napětí po dobu 24 hodin se pohybuje od (40 ppm z rozsahu + 5  $\mu$ V) po (700 ppm z rozsahu + 15 mV) podle rozsahu a frekvence. Relativní roční nejistota střídavého výstupního napětí se pohybuje od (70 ppm z rozsahu + 9  $\mu$ V) po (0,95 % z rozsahu + 130 mV) podle rozsahu a frekvence.

Stejnoseměrný proud s rozsahy 100  $\mu$ A, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A. Krátkodobá stabilita stejnosměrného výstupního proudu po dobu 24 hodin se pohybuje od (7 ppm z rozsahu + 2 nA) po (15 ppm z rozsahu + 200  $\mu$ A) podle rozsahu. Relativní roční nejistota stejnosměrného výstupního proudu se pohybuje od (58 ppm z rozsahu + 20 nA) po (160 ppm z rozsahu + 500  $\mu$ A) podle rozsahu.

Střídavý proud s proudovými rozsahy 100  $\mu$ A, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 10 A pracující v kmitočtovém pásmu 10 Hz až 20 kHz. Krátkodobá stabilita střídavého výstupního proudu po dobu 24 hodin se pohybuje od (30 ppm z rozsahu + 20 nA) po (0,2 % z rozsahu + 3 mA) podle rozsahu a frekvence. Relativní roční nejistota střídavého výstupního proudu se pohybuje od (100 ppm + 100 nA) po (0,72% + 32 mA).

Odpor s rozsahy 10  $\Omega$ , 100  $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 1 M $\Omega$ , 10 M $\Omega$ , 100 M $\Omega$

Krátkodobá stabilita odporu po dobu 24 hodin se pohybuje od 2,5 ppm do 30 ppm z výstupu podle rozsahu. Relativní roční nejistota odporu se pohybuje od 15 ppm do 150 ppm z výstupu podle nastaveného rozsahu.

Uvedený kalibrátor lze doplnit proudovým zesilovačem option 60 Wawetek s následujícími technickými parametry:

Funkce	Rozsah (A)	Frekvence (Hz)	Stabilita $\pm$ [ppm z výstupu + ppm z rozsahu]	Roční nejistota
DC proud	0 až 11,00000	-	30 + 25	150 + 25
AC proud	0,9 až 11,00000	10 až 1 k	150 + 55	300 + 60

### Univerzální kalibrační systém typ 9100 Wawetek

Model 9100 Wawetek je typickým představitelem multifunkčního kalibračního systému vhodného k zajištění metrologické návaznosti velmi široké škály přístrojového vybavení ve firmách, které mají nebo usilují o certifikaci systému jakosti podle ISO 9000.

Kromě možnosti kalibrace ručních multimetrů (do 4 1/2 místných) na běžných elektrických veličinách (DCV, ACV, DCI, ACI, R) slouží též ke kalibraci panelových analogových přístrojů, zapisovačů, datalogerů, osciloskopů, wattmetrů, čítačů, klešťových ampérmetrů, teploměrů (simulací signálu odporového teploměru nebo termočlánku), měřičů vodivosti, kapacity, měřičů izolačního odporu i testerů propojení. Mimo již zmíněné též umožňuje kalibraci logických úrovní, střídy, šířky pulzů a harmonického zkreslení (či harmonických analyzátorů).

#### Technické parametry

Funkce	Rozsah	Rozlišení	Nejlepší nejistota
DC napětí	0 až ± 1050 V	1 μV	± 0,004 %
AC napětí	0 až 1050 V	1 μV	± 0,025 %
	10 Hz až 100 kHz		
DC proud	0 až ± 20 A	1 nA	± 0,01 %
AC proud	0 až 20 A	1 nA	± 0,045 %
	10 Hz až 30 kHz		
Odpor	0 až 400 MΩ	100 μΩ	± 0,01 %
Vodivost	2,5 nS až 2,5 mS	0,1 pS	± 0,04 %
Kapacita	500 pF až 40 mF	0,1 pF	± 0,2 %
Frekvence			
normal	0,5 Hz až 10 MHz	1 mHz	± 0,0025 %
s option100	0,5 Hz až 100 MHz	1 mHz	± 0,25 ppm
Fáze	± 180	0,01	± 0,15
Šířka pulzu	0,30 μs do 1999,9 m	0,1 μs	± 0,0025 %
Teplota			
Termočlánky typu B, C, E, J, K, L, N, R, S, T			
	-250 °C až +2320 °C	0,1 °C	± 0,15 °C
RTD typu Pt385, Pt392, odpor při 0 °C 10 Ω až 2 kΩ			
	-200 °C až +850 °C	0,01 °C	± 0,05 °C
Kalibrace osciloskopů			
Amplituda napětí, pulzy, značky			

### Kalibrátor osciloskopů model 9500 WAWETEK

Uvedený kalibrátor umožňuje automatickou či poloautomatickou kalibraci osciloskopů s šířkou pásma DC až 3,2 GHz, včetně moderních digitálních osciloskopů. V plném vybavení měřicími hlavicemi umožňuje kalibrovat až čtyřkanálové osciloskopy bez nutnosti zásahu obsluhy v průběhu kalibrace.

Kalibrace se provádí po krocích, přičemž se měří časová základna, horizontální a vertikální zesilovače, šířka pásma vstupních obvodů, odezva na rychlé náběžné hrany pulzních signálů, linearita a správnost A/D převodu u digitálních osciloskopů a další parametry.

Veličina	Specifikace	Frekvence	Nepřesnost
DC napětí	5mV až 200V na 1 M $\Omega$ 5mV až 5V na 50 $\Omega$		$\pm 0,025\%$
Pravouhlé	40 $\mu$ V až 200V pk-pk na 1 M $\Omega$ 40 $\mu$ V až 5V pk-pk na 50 $\Omega$	10Hz až 100kHz	$\pm 0,025\%$
Nízké pulzy	5mV až 3V pk-pk na 50 $\Omega$	10Hz až 1MHz	
Vysoké pulzy	1V až 200V pk-pk na 1M $\Omega$ 1V až 5V pk-pk na 50 $\Omega$	10Hz až 100kHz	
Časové značky	Pravouhlé, pulzní, úzké, trojúhelník	0,5ns do 50s	$\pm 10\text{ppm}$
Sinus amplituda	5mV až 5V pk-pk	0,1Hz až 1,1GHz	
Proud	1mA až 100mA DC nebo 1mA až 100mA pk-pk pravouhlé		

### Měřič fáze model SD 1000 AVPower

Jedná se o přesný fázoměr s univerzálním použitím. Díky netradičnímu řešení, kdy pro přesné zjištění průchodů nulou používá rychlou Fourierovu analýzu, dosahuje velké přesnosti i při měření signálů s větším šumem. Díky plně izolovaným vstupům a řadě příslušenství umožňuje měření fáze v téměř libovolných obvodech.

Veličina	Rozsah	Frekvence	Nepřesnost
Fáze	$\pm 180^{\circ}$ nebo $0,00^{\circ}$ až $+360,0^{\circ}$	0,1Hz až 99Hz 100Hz až 999Hz 1kHz až 99kHz 100kHz do 700kHz	$\pm 0,02^{\circ} \pm 1\text{digit}$ $\pm 0,03^{\circ} \pm 0,005^{\circ}/\text{kHz} \pm 1\text{dig}$ $\pm 0,04^{\circ} \pm 0,005^{\circ}/\text{kHz} \pm 1\text{dig}$ $\pm 0,25^{\circ} \pm 0,003^{\circ}/\text{kHz} \pm 1\text{dig}$
Frekvence	0,1Hz až 700kHz		$\pm 0,1\%$

Rozlišení  $0,01^0$ , reprodukovatelnost  $\pm 0,01^0$ , vstupní napětí 1mV až 350V rms

### **Měřič vysokofrekvenčního výkonu typ NRS fy Rohde Schwarz**

Měřič vysokofrekvenčního výkonu s termoelektrickou sondou 1 mW až 300 mW, 0 až 4,2 GHz, 50  $\Omega$ , dovolená maximální chyba při odečítání na digitálním voltmetru připojeném na výstupu pro zapisovač 1,2% z hodnoty

### **Proměnný zeslabovač typ DPU fy Rohde Schwarz**

Proměnný vysokofrekvenční zeslabovač 0 až 120 dB, 50  $\Omega$  60  $\Omega$ , 75  $\Omega$ , 0 až 2 GHz

### **Výkonový zeslabovač typ RBU fy Rohde Schwarz**

Výkonový vysokofrekvenční zeslabovač 0 až 1 GHz, 50  $\Omega$ , 60  $\Omega$ , 75  $\Omega$ , 0 až 1 GHz

### **Měřič vysokofrekvenčního výkonu typ NRV 5 fy Rohde Schwarz**

Měřič vysokofrekvenčního výkonu s diodovou sondou, 100 kHz až 6 GHz, 50  $\Omega$ , dovolená maximální chyba 1 dB $\mu$ V

### **Měřicí přijímač typ ESH 3 fy Rohde Schwarz**

Měřicí přijímač 1  $\mu$ V až 7 V, 9 kHz až 30 MHz, 50 ohm, dovolená chyba 1 dB $\mu$ V

### **Měřicí přijímač typ ESVP fy Rohde Schwarz**

Měřicí přijímač 1  $\mu$ V až 7V, 20 MHz až 1300 MHz, 50  $\Omega$ , dovolená chyba 1dB $\mu$ V

### **Vysokofrekvenční vektorvoltmetr typ ZPU fy Rohde Schwarz**

Vysokofrekvenční vektorvoltmetr 10  $\mu$ V až 1 V, 1 MHz až 1000 MHz, dovolená chyba z rozsahu 15%



## V. 2 Vybavení kalibrační laboratoře délky

### Koncové měrky

#### Sady koncových měrek SOMET

Jsou vyráběny podle ČSN 25 3310 Základní měrky. Sady. Označují se číslem ČSN 25 3310 a za číslem normy doplňkovou číslicí značící třídu přesnosti, např.

Sada S 21 ČSN 25 3310.0

Jsou dodávány v třídách přesnosti 0, 1 a 2 buďto jako sady rozšířené (S11 příp. S12) nebo základní (S21 příp. S22). S11 a S21 označuje sadu tisícínovou, S12 a S22 sadu setinovou.

Jejich základní metrologické vlastnosti odpovídají technickým požadavkům uvedeným v článku IV. 2. 1 této práce.

### Výškoměry

#### Výškoměr typ TVA300T TRIMOS

Měřicí rozsah	0 - 300 mm
Rozsah použití	0 - 400 mm
Rozlišení	0,001 mm
Kolmost na rozsahu	0,01 mm
Přesnost na rozsahu	$\pm /3 + (Lmm/300)/\mu m$
Opakovatelnost	$\pm 1$ digit

#### Výškoměr typ TVA600T TRIMOS

Měřicí rozsah	0 - 600 mm
Rozsah použití	0 - 700 mm
Rozlišení	0,001 mm
Kolmost na rozsahu	0,01 mm
Přesnost na rozsahu	$\pm /3 + (Lmm/300)/\mu m$
Opakovatelnost	$\pm 1$ digit

#### Výškoměr typ TVA1000T TRIMOS

Měřicí rozsah	0 - 1000 mm
Rozsah použití	0 - 1100 mm
Rozlišení	0,001 mm

Kolmost na rozsahu	0,012 mm
Přesnost na rozsahu	$\pm /3 + (Lmm/300)/\mu m$
Opakovatelnost	$\pm 1$ digit

#### **Výškoměr typ V600 (bez vzduchu), V 600C (se vzduchem) TRIMOS**

Měřicí rozsah	0 - 600 mm
Rozlišení	0,01/0,001 mm
Kolmost	0,01 mm
Přesnost	$\pm 0,007$ mm
Opakovatelnost	$\pm 0,002$ mm
Rychlost posuvu	1,5 m/sec
Měřicí síla	0,5 - 2 N (nastavitelná)
Výstup dat	Přímý RS 232

#### **Výškoměr typ V1000 (bez vzduchu), V1000C) se vzduchem TRIMOS**

Měřicí rozsah	0 - 1000 mm
Rozlišení	0,01/0,001 mm
Kolmost	0,012 mm
Přesnost	$\pm 0,011$ mm
Opakovatelnost	$\pm 0,002$ mm
Rychlost posuvu	1,5 m/sec
Měřicí síla	0,5 - 2 N (nastavitelná)
Výstup dat	Přímý RS 232

Pro pohodlné nastavení konstanty snímače jsou výše uvedené výškoměry dodávány s nastavovacími normály

#### **Výškoměr Z-CAL150 SYLVAC**

Měřicí rozsah	0 - 150 mm
Rozlišení	0,01/0,001 mm
Přesnost	$\pm 0,004$ mm
Opakovatelnost	$\pm 0,002$ mm
Rychlost posuvu	0,15 m/sec
Měřicí síla	0,3 N
Výstup dat	Přímý RS 232

### Výškoměr Z-CAL300 SYLVAC

Měřicí rozsah	0 - 300 mm
Rozlišení	0,01/0,001 mm
Přesnost	$\pm 0,006$ mm
Opakovatelnost	$\pm 0,002$ mm
Rychlost posuvu	0,15 m/sec
Měřicí síla	0,3 N
Výstup dat	Přímý RS 232

### **Délkoměry**

#### Délkoměr typ TULM TRIMOS

Celkový rozsah měření	0 - 450 mm (se standardním dotykem) 0 - 500 mm (dle použitého příslušenství)
Rozsah stupnice	210 mm
Přesnost na celé stupnici	$\pm (0,3 + 2Lm)$ $\mu\text{m}$ tzn. na 100 mm 0,5 $\mu\text{m}$
Opakovatelnost	$\pm 0,2$ $\mu\text{m} (\pm 2s)$
Měřicí síla	1 až 12 N

#### Délkoměr typ TELMA 500, TELMA 1000, TELMA 1500 TRIMOS

Kontrolní a nastavovací přístroje s měřicími rozsahy 550 mm, 1050 mm a 1550 mm.

Rozlišení	0,001 mm
Přesnost	$\pm /3 + (L/250)/ \mu\text{m}$
Opakovatelnost	$\pm 1$ digit
Měřicí síla	přibližně 1N
Výstup dat	RS 232

#### Mini délkoměr typ THV TRIMOS

Měřicí rozsah	0 - 100 mm
Rozlišení	0,0001/0,00002 mm
Přesnost	na 50 mm stupnici $\pm 0,5$ $\mu\text{m}$
Výstup	RS 232

## Snímače

### Kapacitní snímače typ P5, P10, P25, P50 Sylvac

Technická data	Snímač P5	Snímač P10	Snímač 25	Snímač 50
Měřicí rozsah	5 mm	10 mm	25 mm	50 mm
Přesnost na rozsahu	$\pm 2 \mu\text{m}$	$\pm 1 \mu\text{m}$	$\pm 1,5 \mu\text{m}$	$\pm 4 \mu\text{m}$
Měřicí síla	0,45-0,65 N	0,6-0,9 N	0,6-1,2 N	0,6-1,4 N
Opakovatelnost	$\pm 0,2 \mu\text{m}$	$\pm 0,1 \mu\text{m}$	$\pm 0,1 \mu\text{m}$	$\pm 0,2 \mu\text{m}$
Drift nulového bodu	----	0,0001 mm/°C	----	----

### **V. 3 Vybavení kalibrační laboratoře teploty**

#### Multifunkční kalibrátor typ M-130 MEATEST

Kalibrátor umožňuje simulovat všechny běžné platinové a niklové odporové snímače a termočláňkové snímače typu R, S, B, J, T, E, K, N. Kompenzace studeného konce termočláňků se provádí zadáním jeho teploty z klávesnice kalibrátoru.

Rozsahy a mezní chyby simulace odporových a termočláňkových snímačů

RTD rozsah [°C]	-200 až +850			
mezní chyba [°C]	$\pm 0,04$ až $\pm 0,5$			
R rozsah [°C]	-50 až 0	0 až 400	400 až 1000	1000 až 1770
mezní chyba [°C]	$\pm 4,3$	$\pm 3,0$	$\pm 1,7$	$\pm 3,6$
S rozsah [°C]	-50 až 0	0 až 250	250 až 1400	1400 až 1770
mezní chyba [°C]	$\pm 3,9$	$\pm 2,9$	$\pm 1,9$	$\pm 2,4$
B rozsah [°C]	400 až 800	800 až 1000	1000 až 1500	1500 až 1820
mezní chyba [°C]	$\pm 4,0$	$\pm 2,3$	$\pm 2,0$	$\pm 1,9$
J rozsah [°C]	-210 až -100	-100 až 150	150 až 700	700 až 1200
mezní chyba [°C]	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	$\pm 0,9$	$\pm 1,1$
T rozsah [°C]	-200 až -100	-100 až 0	0 až 100	100 až 400
mezní chyba [°C]	$\pm 0,9$	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$
E rozsah [°C]	-250 až -100	-100 až 280	280 až 600	600 až 1000
mezní chyba [°C]	$\pm 1,9$	$\pm 0,4$	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$
K rozsah [°C]	-200 až -100	-100 až 480	480 až 1000	1000 až 1372
mezní chyba [°C]	$\pm 1,2$	$\pm 0,6$	$\pm 1,3$	$\pm 1,7$
N rozsah [°C]	-200 až -100	-100 až 0	0 až 580	580 až 1300
mezní chyba [°C]	$\pm 1,2$	$\pm 0,7$	$\pm 0,5$	$\pm 1,3$

### Univerzální kalibrační systém typ 9100 Wawetek

Kalibrační systém vhodný pro kalibraci odporových teploměrů a termočlánků

Technické parametry:

Funkce	Typ	Rozsah	Rozlišení	Nejlepší nejistota
Odporový teploměr	Pt 385 10 $\Omega$ až 2 k $\Omega$	-200 °C až +850 °C	0,01 °C	$\pm 0,05$ °C
	Pt 392 10 $\Omega$ až 2 k $\Omega$	-200 °C až + 630 °C	0,01 °C	$\pm 0,05$ °C
Termočlánky	B	+ 500 °C až + 1820 °C	0,1 °C	$\pm 0,30$ °C
	C	0 °C až +2320 °C	0,1 °C	$\pm 0,25$ °C
	E	-250 °C až +1000 °C	0,1 °C	$\pm 0,15$ °C
	J	-210 °C až +1200 °C	0,1 °C	$\pm 0,17$ °C
	K	-250 °C až +1372 °C	0,1 °C	$\pm 0,17$ °C
	L	-200 °C až +900 °C	0,1 °C	$\pm 0,17$ °C
	N	-200 °C až +1300 °C	0,1 °C	$\pm 0,20$ °C
	R	0 °C až +1767 °C	0,1 °C	$\pm 0,25$ °C
	S	0 °C až +1767 °C	0,1 °C	$\pm 0,32$ °C
T	-250 °C až + 400 °C	0,1 °C	$\pm 0,15$ °C	

Uvedená nejistota platí pro 180 dní.

### Platinové odporové teploměry Tinsley

Model	$R_{t_0}$	Teplotní rozsah	Základní nepřesnost
5187SA	25 $\Omega \pm 0,5 \Omega$	-198 °C až 660 °C	$\pm 0,001$ °C
5187L	25 $\Omega \pm 0,5 \Omega$	13,8K až 303K	$\pm 2$ mK

### Platinové odporové teploměry Hart Scientific

Model	$R_{t_0}$	Rozsah teploty	Citlivost	Drift
5681	25 $\Omega$	-189 °C až 661 °C	0,1 $\Omega/K$	$\leq 0,002$ °C/100hod
5684	0,25 $\Omega$	0 °C až 1070 °C	0,001 $\Omega/^\circ C$	$\leq 0,003$ °C/100hod
5685	2,5 $\Omega$	0 °C až 1070 °C	0,01 $\Omega/^\circ C$	$\leq 0,003$ °C/100hod

### Platinové odporové teploměry Rosemount

Model	$R_{tp}$	Rozsah teploty	Stabilita
162CE	25,5 $\Omega$	-200 °C do 661 °C	lepší než $\pm 0,010$ °C/rok
162D	25,5 $\Omega$	-260 °C do 250 °C	lepší než $\pm 0,01$ °C /rok
162K	0,25 $\Omega$	0 °C do 1100 °C	lepší než $\pm 0,01$ °C /100hodin

### Platinové odporové teploměry Netsuschin

Model	$R_{tp}$	Rozsah teploty	Citlivost	Reprodukovatelnost
5660	3 $\Omega \pm 0,5 \Omega$	0 °C až 1000 °C	0,01 $\Omega/K$	$\pm 0,01$ °C
5661	5 $\Omega \pm 0,5 \Omega$	0 °C až 1000 °C	0,02 $\Omega/K$	$\pm 0,01$ °C

### Platinové odporové teploměry Chino

Model	$R_{to}$	Rozsah teploty	Citlivost	Reprodukovatelnost
5602	25,5 $\Omega$	-189 °C až 962 °C	0,1 $\Omega/K$	$\pm 1$ mK
5603	2,5 $\Omega$	-189 °C až 1065 °C	0,01 $\Omega/K$	$\pm 1$ mK
5604	0,25 $\Omega$	-189 °C až 1065 °C	0,001 $\Omega/K$	$\pm 1$ mK

## VI. ZÁVĚR

Řešený úkol má především pomoci široké metrologické veřejnosti jako pomůcka při návrhu vhodné metrologické laboratoře, především při výběru potřebného metrologického vybavení. Tři zde popsané obory měření jsou v dnešní době nejvýznamnější obory měření, ve kterých probíhá nejvíce kalibrací pracovních měřidel. V současné době probíhající vzestupná tendence rozšiřování průmyslové výroby vytváří oprávněný předpoklad praktického využití tohoto úkolu. Takto provedený rozbor by bylo třeba provést i v ostatních oborech měření.