

FAKULTA  
ELEKTROTECHNICKÁ  
ZÁPADOČESKÉ  
UNIVERZITY  
V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

*Katedra technologií a měření*

# KET/MET

## 7. přednáška

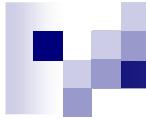
**Měřicí metody (pokračování),  
Principy etalonáže,  
Etalonáž a měření délky**

## 9.2 Metody měření

- absolutní metody –
- z definice měřené veličiny
  
- srovnávací metody –
- srovnání jednotky, která je funkcí základní jednotky, s jinou jednotkou;
  
- dále se dělí:

## 1) podle funkce použitých měřicích přístrojů

- *výchylkové srovnávací metody* –
  - hodnota měřené veličiny je určena výchylkou měřicího přístroje,
  - chyba údaje má přímý vliv na přesnost měření
- 
- *nulové srovnávací metody* –
  - měřicí přístroj použit jen jako nulový indikátor, resp. indikátor vyvážení;
  - přesnost měření je ovlivněna jen citlivostí a stálostí nulové polohy indikátoru



## 2) podle techniky měření

- *přímé srovnávací metody* –

srovnávání ve stejném zapojení (např. kontrola ss V-metru nižší třídy etalonovým V-metrem vyšší třídy přesnosti)

- *substituční srovnávací metody* –

např. měření  $R$ :

etalon  $R$  je proměnný a nastavuje se tak, aby při sér.zapojení byly stejné úbytky  $U$ ,

při paralel.zapojení by byly stejné  $I$ ;

chyba metody je nulová



- *rozdílové srovnávací metody* –
- srovnávání veličiny téhož druhu založené na jejich rozdílu, patří sem i kompenzační metody
  
- *koencidenční metody* –
- využívá se např. při měření času

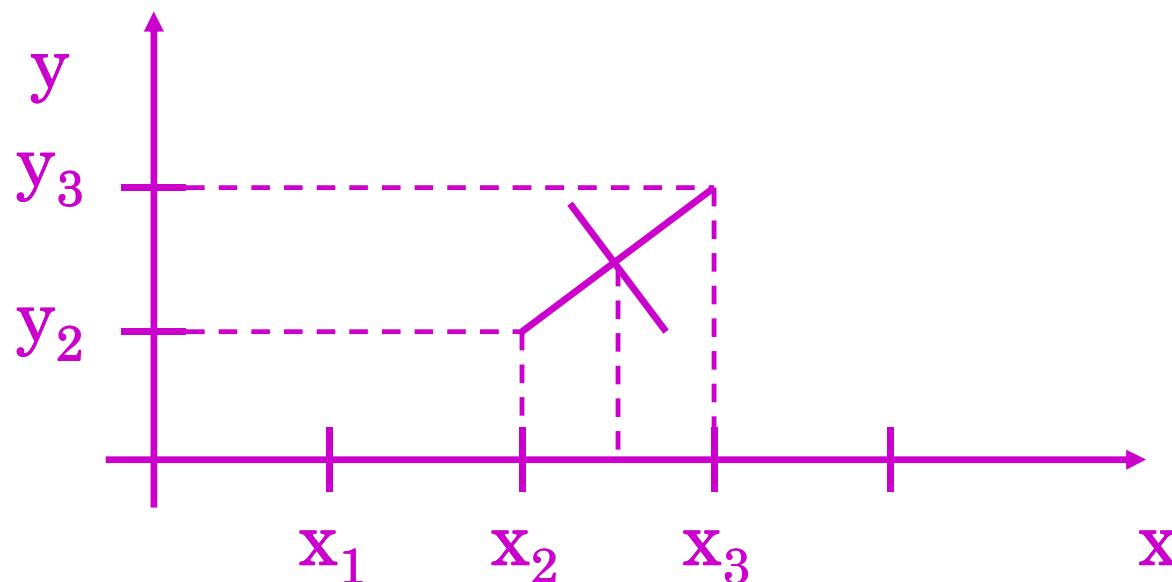
## 9.2.1 Porovnání metod měření

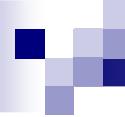
- mezi nejpřesnější - kompenzační metody, (účinek kompenzující a měřené veličiny je současný, zatímco u jiné metody je v časové souslednosti), popř. komparační
- mezi srovnávacími metodami jsou velmi přesné nulové metody (substituční, rozdílové)
- pro méně přesná měření se používají jiné metody, např. výchylková

## 9.2.2 Některé speciální metody

- interpolacní metoda –

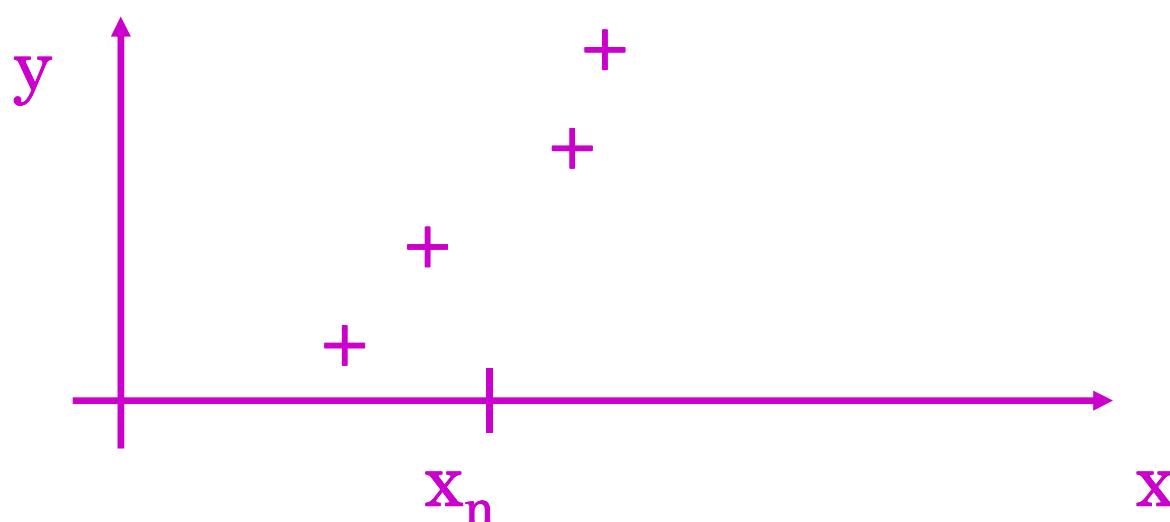
chceme-li určit nějakou hodnotu, ale nemůžeme ji přesně změřit, naměříme nejbližší hodnotu před a za touto očekávanou hodnotou a provedeme interpolaci





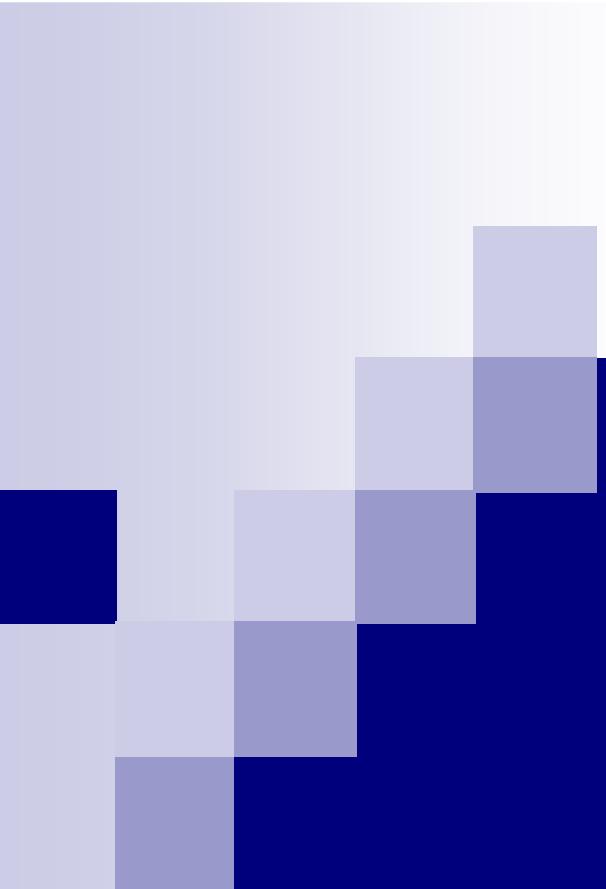
- extrapolační metoda –

používá se u extrémně vysokých nebo nízkých hodnot  
(známe více hodnot před nebo za očekávanou hodnotou a jejich funkční závislost)

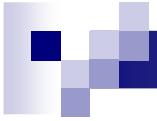




- Sekvenční (postupná) metoda –
- měření na sebe těsně navazují, konečný bod měření jednoho je zároveň výchozím bodem následujícího měření,
- předem neznáme počet kroků

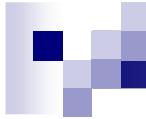


# 10 Principles etalonáže



## 10.1 Základní pojmy o etalonech

- **Etalon** = realizace jednotky příslušné veličiny
- realizována s nejvyšší přesností na dané úrovni,
- primární etalon 0. třídy,
- nižší etalony 1. a 2.třídy



## 10.1.1 Rozdělení etalonů z hlediska jejich významu

- mezinárodní etalon
- uznaný mezinárodní dohodou, aby sloužil v mezinárodním měřítku jako základ pro přenos hodnot na jiné etalony příslušné veličiny
- Obvykle etalon 0.řádu
- (umístěn v BIML nebo jiné laboratoři, popř. jako světový skupinový...)

- **státní** (národní) **etalon** (obvykle umístěn v ČMI)
- etalon uznaný oficiálním rozhodnutím státu, slouží v dané zemi jako základ přenosu hodnot na jiné etalony příslušné veličiny
- **referenční etalon**
- etalon nejvyšší metrologické úrovni dostupný v daném místě nebo organizaci, od něho jsou odvozována tam prováděná měření
- **etalon přenosu** =
- etalon používaný jako prostředek při vzájemném porovnávání etalonu

- cestovní etalon =
  - etalon určený pro přenos jednotky mezi jednotlivými lokalitami, často ve speciálním uspořádání
- 
- Hlavní etalon podniku =
  - etalon určený k navazování pracovních etalonů a sám je navázán na ČMI nebo oblastní inspektorát
- 
- pracovní etalon =
  - etalon většinou navázaný na referenční (podnikový) etalon,
  - běžně se používá ke kalibraci látkových měrek, měřidel nebo referenčních materiálů;

- certifikovaný referenční materiál CRM =
- materiál vybavený certifikátem, u něhož jedna nebo více hodnot jeho vlastností je certifikována postupem, který zajišťuje návaznost na přesnou realizaci dané jednotky, u níž jsou hodnoty vlastností vyjádřeny, a pro kterou je ke každé certifikované hodnotě připojený údaj o nejistotě ve stanovené úrovni spolehlivosti

## 10.1.2 Rozdělení etalonů z hlediska přesnosti

- primární etalon
- nejvyšší kvalita (etalon 0.řádu)
- označený a uznávaný jako etalon, který má nejvyšší metrologickou kvalitu v daném oboru a jeho hodnota je přejímána bez odkazu na jiné etalony stejné veličiny
- sekundární etalon
- hodnota se porovnává s primárním etalonem téže veličiny (sekundární etalony některých veličin mají více řadů)

Primární etalon	Etalon mezinárodní	BIML (většinou)
Primární etalon	etalon státní (národní)	služba legální metrologie pro kontrolu sekund. etalonu nižších řádů

sekundární etalon  
vyšší přesnosti  
  
(řád označen **nižší**  
arabskou číslicí)

Etalon  
referenční

služby legální  
metrologie pro  
kontrolu sekund.  
etalonů vyšších  
řádů, podniky pro  
kalibraci prac.  
měřidel

sekundární etalon  
nižší přesnosti  
  
(řád značen **vyšší**  
arabskou číslicí)

Etalon  
pracovní

kalibrace  
pracovních  
měřidel

## 10.1.3 Rozdělení etalonů z hlediska uspořádání

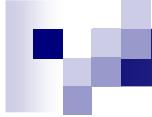
- skupinový etalon –  
je-li horší časová stálost; většinou 5 - 45 etalonů;  
hodnota dána aritmetickým průměrem hodnot  
jednotlivých etalonů (použití u tlaku, el. odporu, el.  
napětí)
- samostatný etalon –  
stálý etalon nebo při jednoduché etalonáži bez  
významných změn prostředí

- na příslušném stupni není jediný etalon, ale zpravidla několik kromě základního i jeho kopie:
- u mezinárodních etalonů se nazývají svědecké kopie
- u regionálních etalonů se nazývají pracovní etalony

## 10.1.4 Terminologie

- kalibrace
- soubor úkonů, kterými se za specifických podmínek stanovuje vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřidlem, a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony
- (kalibrují se etalony, pracovní měřidla nestanovená, CRM)
  
- ověření
- zjištění přesnosti přístrojů, které se používají v obchodním styku (stát kontroluje finanční toky - kontrola přesnosti stanoveného měřidla; viz vyhlášky...)

- metrologická spolehlivost etalonu
- schopnost zachovávat po stanovenou dobu při definovaném provozním režimu základní požadované metrologické charakteristiky
- interval kalibrace etalonu
- maximální perioda mezi dvěma následujícími metrologickými kontrolami etalonu, která je stanovena na základě doporučení výrobce měřidla, důležitosti a způsobu jeho používání
- přetížitelnost etalonu
- přípustná hodnota veličiny, která může přesáhnout mez měřicího rozsahu



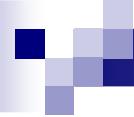
- požadavky na měření

- kvalitní etalon
  - minimální úrovně chyb, které jsou zanášeny do měření ostatními měřicími přístroji
  - vhodná měřicí metoda
  - optimální podmínky měření (většinou referenční)
  - vlastní měření provádět co nejpečlivěji
- 
- pozn. dokumenty etalonu:
  - kalibrační list, osvědčení o schválení typu, kalibrační značka

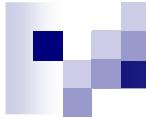
## 10.2 Přehled státních etalonů – cca 50 ks

### skupiny etalonů

- elektrické veličiny
- vf elektrické veličiny
- čas a frekvence
- hmotnost a přidružené veličiny
- teplota
- průtok



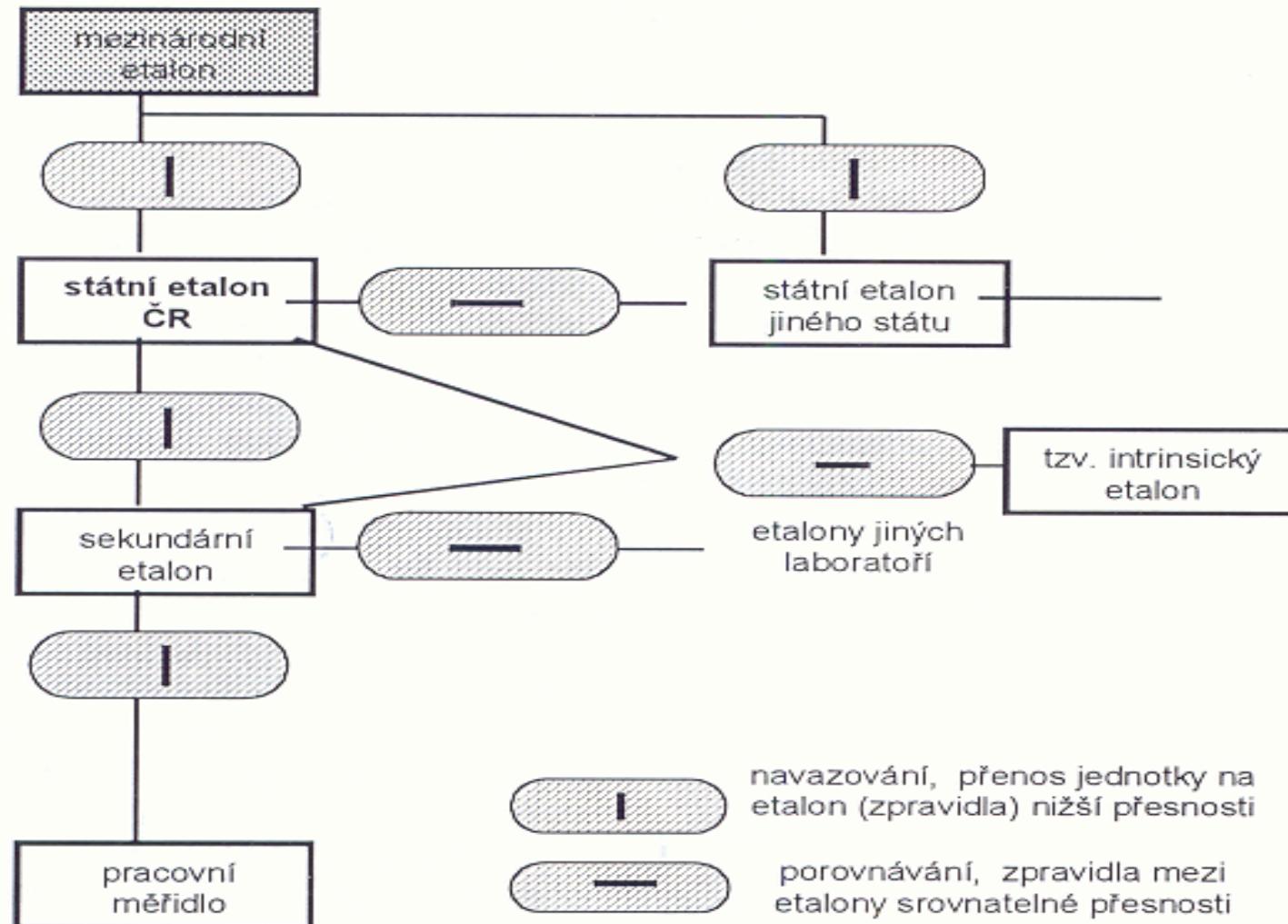
- veličiny akustiky, ultrazvuku a vibrací: etalon akustického tlaku a zrychlení
- veličiny radiometrie a fotometrie: etalon svítivosti, světelného toku, lesku, ...
- metrologie v chemii
- ionizující záření a radioaktivita
- 
- délka a drsnost
- síla a moment síly
- tvrdost



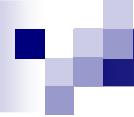
## 10.3 Návaznost etalonů a měřidel

- návaznost
- vlastnost výsledku měření daná schopností prokázat vztah k příslušným etalonům, od nejbližšího vyššího až po státní, a to pomocí nepřerušeného řetězce porovnávání
- vypracovává se zvláště pro každou fyzikální nebo technickou veličinu
- ukazuje, jak je zajištěna návaznost měřidel jednotlivých veličin na primární etalony

# Metrologická návaznost etalonů



Obr. 2 Schéma metrologické návaznosti



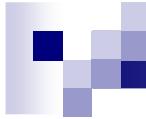
- pracovní měřidla jsou navázána přes etalony (pracovní, hlavní, sekundární, primární) až na státní etalon
- pokud se zpracovává návaznost měřidel, skládá se z grafické a textové části

### grafická část (viz obr.)

- tvoří ji 3 ohrazená pole
  - a) pole primárních etalonů (etalony 0.řádu)
  - b) pole sekundárních etalonů (nižších a vyšších řadů)
  - c) pole pracovních měřidel

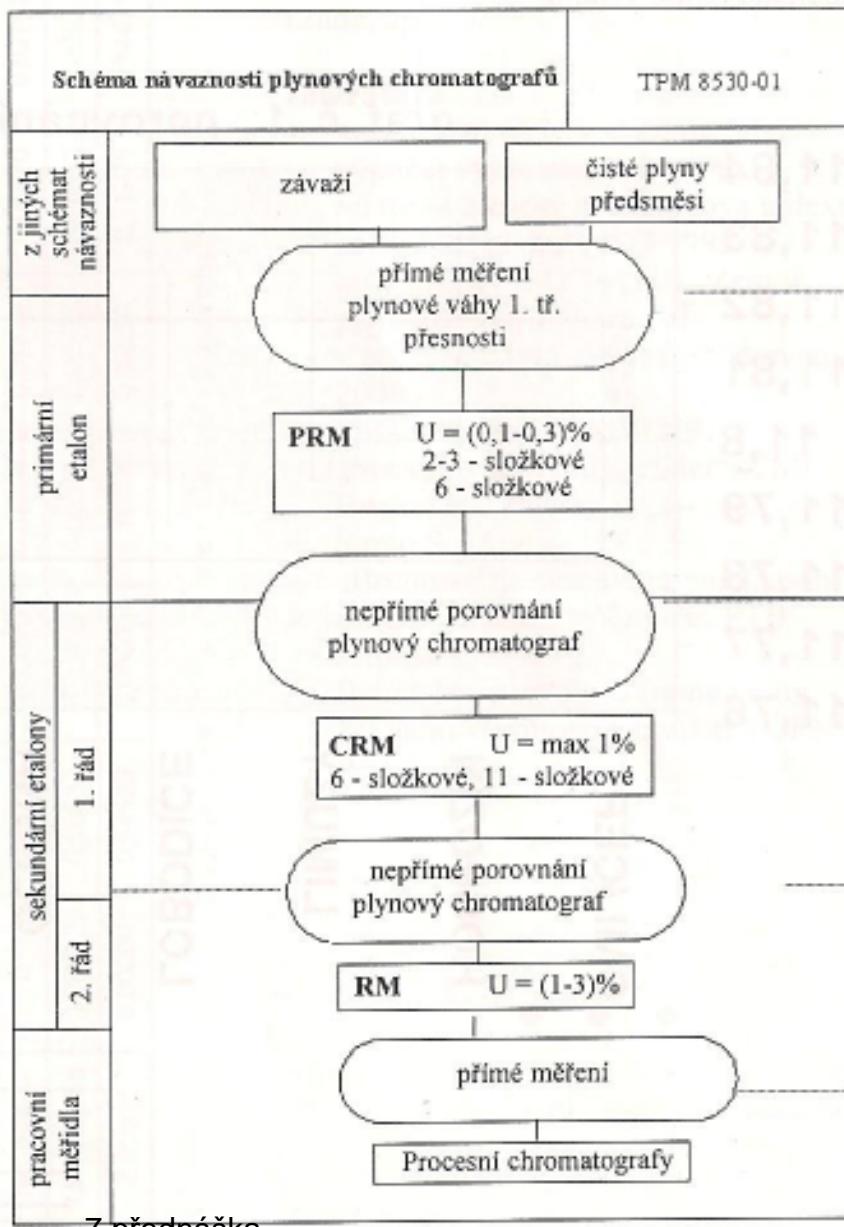


- řády sekundárních etalonů jsou uváděny vertikálně, nejvýše je postaven sekundární etalon prvního řádu
- pole sekundárních etalonů s příslušnými vazbami na pracovní měřidla musí podávat úplnou a jednoznačnou informaci o použitých měřicích přístrojích (jednoznačná identifikovatelnost)
- pole pracovních měřidel má obsahovat nejčastěji používaná měřidla seskupená dle druhu, přesnosti a měřicího rozsahu

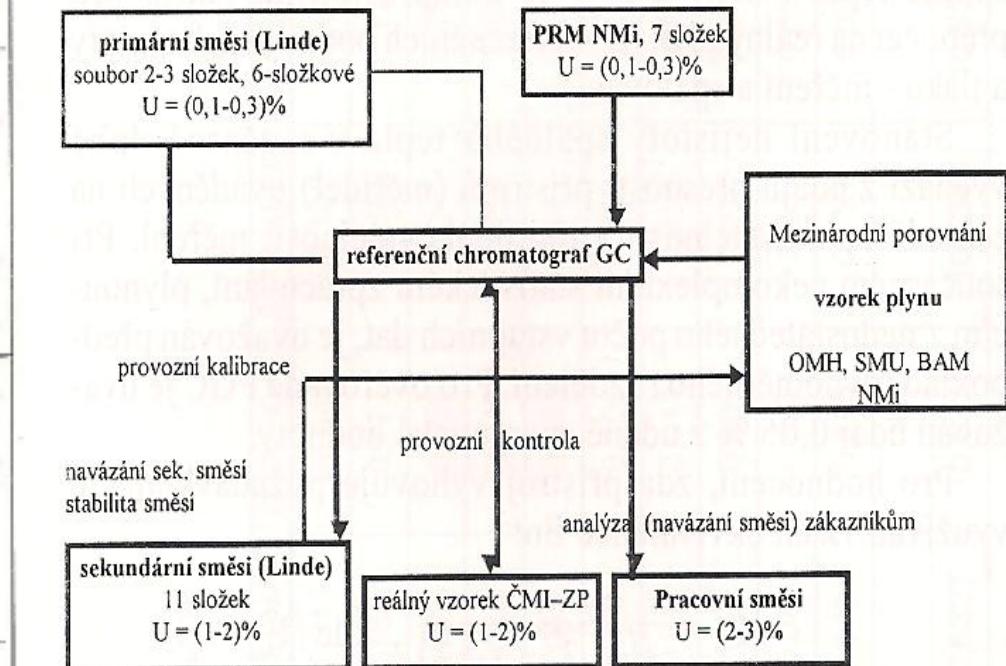


## textová část

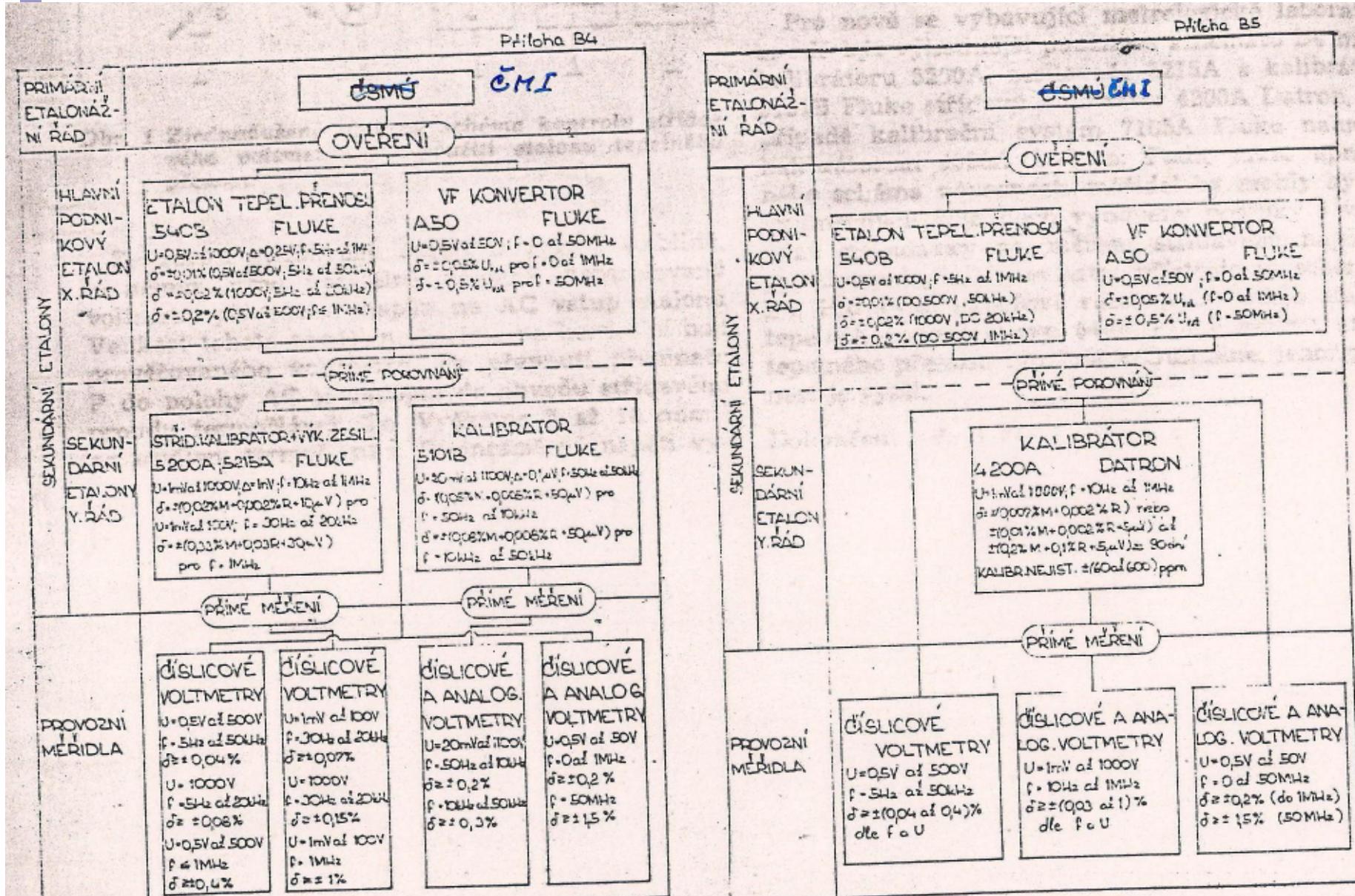
- doplňuje a upřesňuje údaje grafické části
- má obsahovat úplný název, podrobnou specifikaci určení návaznosti, vazby na části schémat návaznosti jiných veličin, apod.
- jsou zde popsány etalony různých řádů, pracovní měřidla různých druhů, rozsahů, přesnosti a metody přenosu hodnoty jednotky dané veličiny z měřidel výše postavených na měřidla níže postavená

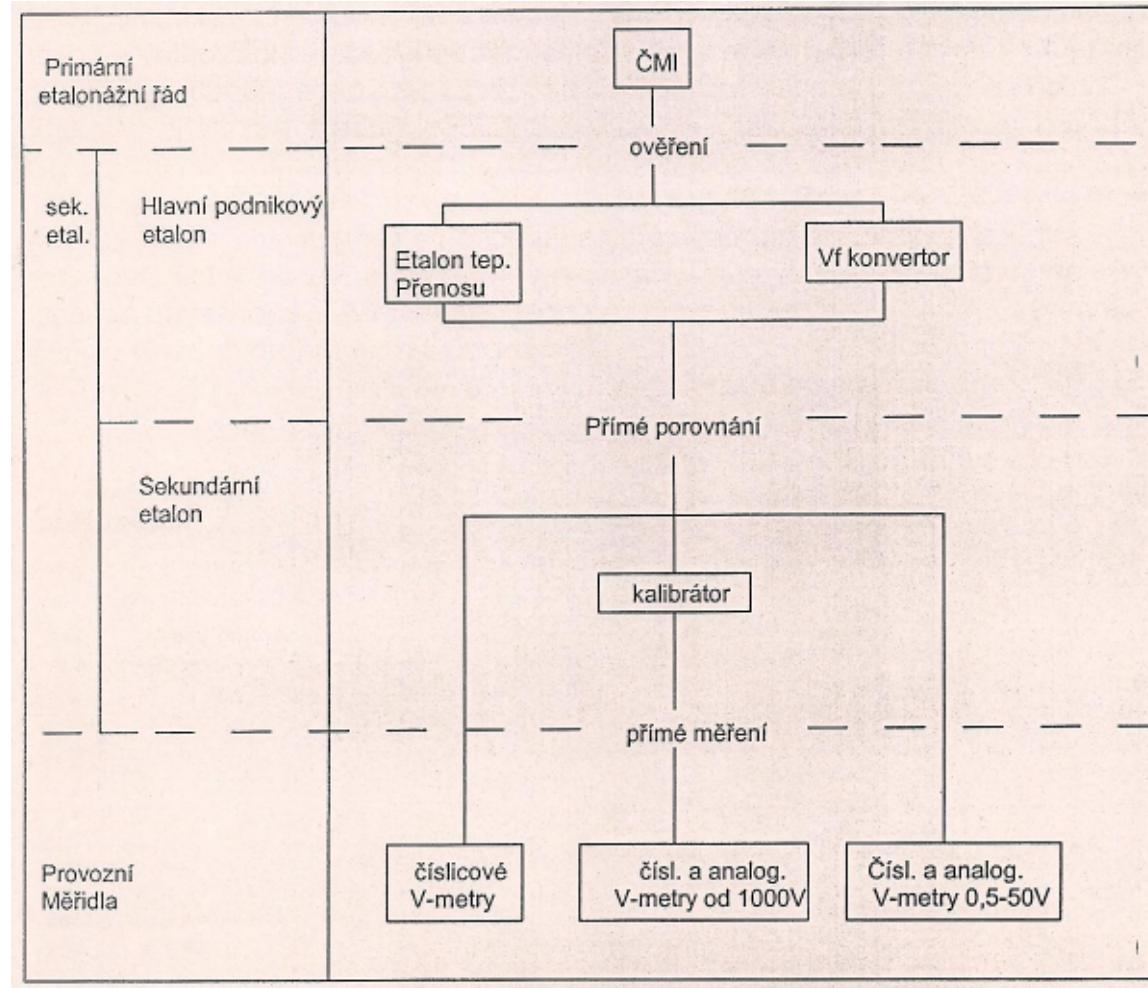


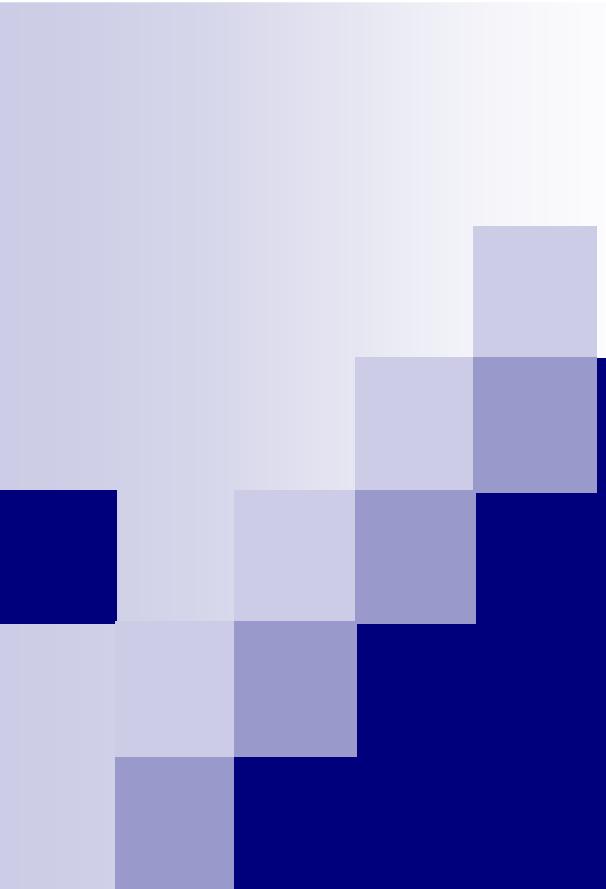
7. přednáška



⇒ Tůmová



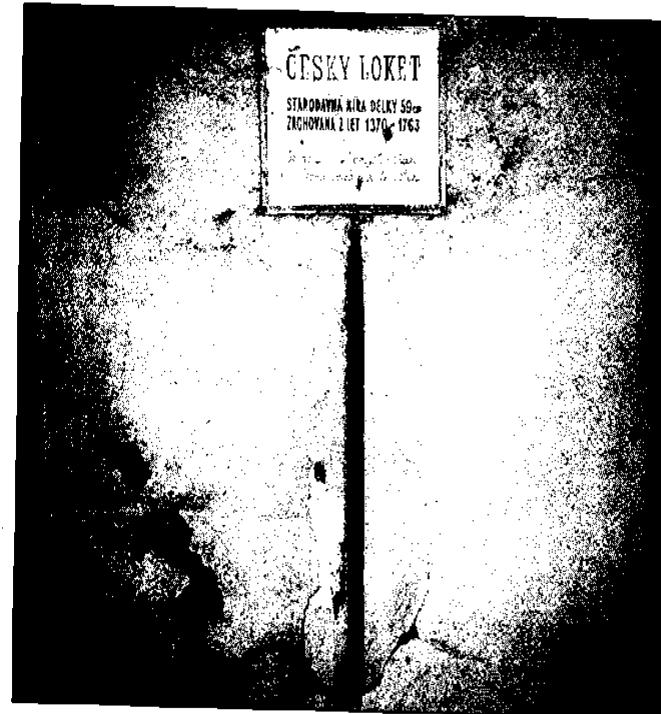




# 11 Etalonáž a měření délky

# 11.1 Historie

- koncem 18. století byla stanovena jednotka 1 m jako  $10^{-7}$  část zemského kvadrantu (Dunquerque – Barcelona, měření zakončena u hladiny moře)
- r. 1799 – prototyp metru:
- obdélníkový profil 25 x 4,05 mm, „koncový“ prototyp, uložen ve státním archivu v Paříži (tzv. archivní etalon), vyroben z Pt
- r. 1889 – etalon 1 m:
- vzdálenost mezi 2 ryskami na prototypu (v příčném řezu tvar X, rozměry 20 x 20 x 1020) z platiny a iridia, „čárková“ míra

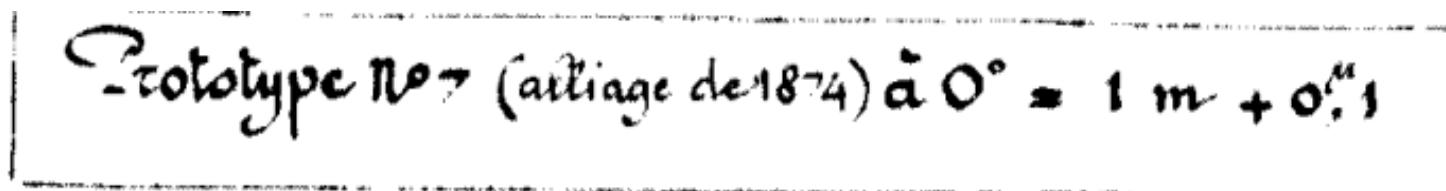


Český loket - starodávná míra zachovaná z let 1370 - 1763  
(nápis na tabulce u lokte na radnici v Bělé pod Bezdězem)

	<i>definice</i>	<i>realizace</i>	<i>mez. etal.</i>		<i>rel. nejistota návaznosti</i>
1799	<i>Meter des Archives</i>	Pt koncová měrka			$> 1 \times 10^{-6}$
1889	Mezinárodní prototyp metru	PtIr čárkové měřítko	Ano		$1 \times 10^{-6}$ $1 \times 10^{-7}$
1960	násobek vlnové délky $^{86}\text{kryptonu}$	Kr výbojka + interferometr	Ne		$1 \times 10^{-8}$ $2 \times 10^{-9}$
1983	zafixována hodnota rychlosti světla	laser o známé frekvenci + interferometr nebo dálkoměr	Ne		$< 1 \times 10^{-10}$

- Již J.C.Maxwell upozorňoval, že absolutně stálé jednotky a jejich etalony by neměly být odvozeny z rozměrů nebo pohybu planety, ale pomocí vlnových délek, period vibrací nebo hmotností elementárních částic.
- r. 1927 –
- 1. definice pomocí vlnové délky světla
- $1 \text{ m} = 1\ 553\ 164,5 \lambda$  červené čáry spektra Cd ve vzduchu při teplotě  $t = 15^\circ\text{C}$ , tlaku  $p = 760$  torrů a tzv. normálním obsahu kyseliny uhličité
- nevýhoda této definice: parametry vzduchu (ovlivňují přesnost měření)

- r. 1929 –
- ČR koupila kopii prototypu č. 7 a několik svědeckých etalonů, které se kontrolovaly v BIML za 8 – 10 let a jsou vyrobeny z invaru (Ni+Fe)
- Uvedena kalibrace z r. 1929 a 1962 – rozdíl 0,50 μm.



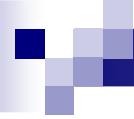
Prototype №7 (alliage de 1874) à 0° = 1 m + 0,1

Mètre N° 7 = 1 m - 0,40 μm, à 0°C.

Na obrázku je uvedeno faksimile údajů ze dvou kalibračních listů československého prototypu metru, vydaných BIPM v letech 1929 a 1962.

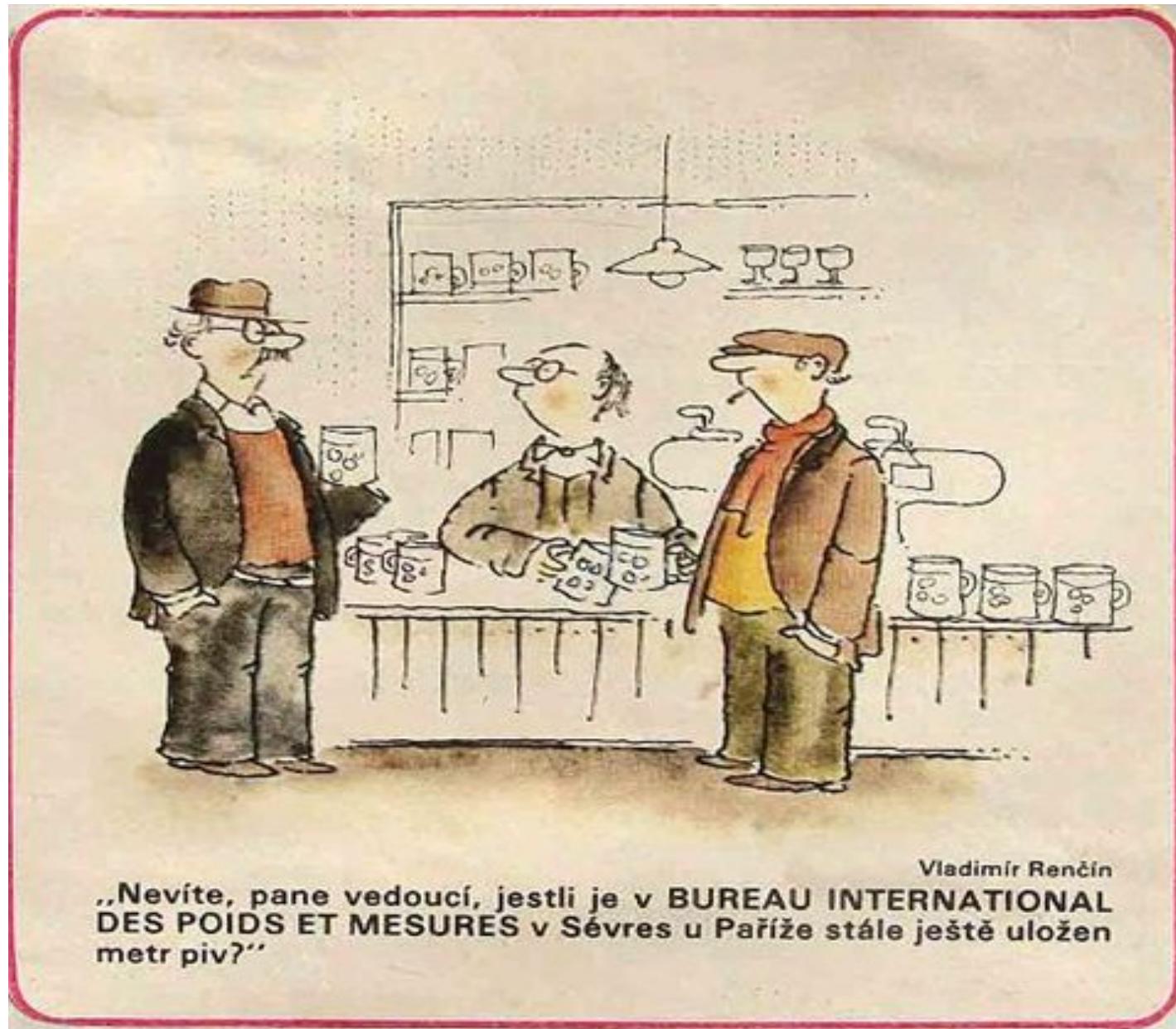
- r. 1960 - nová definice:
- $1\text{m} = 1\ 650\ 753,73\ \lambda$  záření  $^{86}\text{Kr}$  ve vakuu vydávaného při přechodu elektronů z  $5\text{d}^5$  na dráhu  $2\text{p}^{10}$
- Realizace etalonu:
- střední část výbojky 80 mm, vnitřní průměr 2 mm
- žhavená katoda
- plněno  $^{86}\text{Kr}$  s čistotou větší než 99 %
- výboj nastává ve střední části (oranžová barva)
- ve výbojce je teplota 63 K, tlak 4 kPa
- Výbojka byla umístěna v kryostatu (Dewarova nádoba s tekutým dusíkem)
- výhoda: definice pomocí vln.délky obsahuje stupnici, pak pomocí interferometru lze měřit libovolné délky; mezinárodní prototyp bylo možné porovnat jen s měřítky délky 1m.

- r. 1972
  - se pro metanem stabilizovaný infračervený laser 3,39  $\mu\text{m}$  poprvé podařilo změřit současně vlnovou délku (porovnáním s kryptonem ve vakuovém interferometru)
- 
- R. 1982/83
  - Realizace sekundy SI byla přesnější než tehdejší optické etalony, proto zvolena změna SI definice metru, která fixuje hodnotu rychlosti světla ve vakuu a převádí měření délky na měření času.
  - Realizace etalonu:
  - Laser o známé frekvenci + interferometr nebo dálkoměr
  - Rel. nejistota návaznosti  $1 \cdot 10^{-10}$
  - Tato realizace je značně nezávislá na technickém vývoji.



# Konec 7. přednášky

DĚKUJI  
ZA POZORNOST



Vladimír Renčín

„Nevíte, pane vedoucí, jestli je v BUREAU INTERNATIONAL  
DES POIDS ET MESURES v Sénvres u Paříže stále ještě uložen  
metr piv?“