

Západočeská univerzita v Plzni

FAKULTA PEDAGOGICKÁ

KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

HISTORIE DEFINIC A ETALONŮ ZÁKLADNÍCH
FYZIKÁLNÍCH VELIČIN SOUSTAVY SI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jan Hamerník

*Přírodovědná studia, Fyzika se zaměřením na vzdělávání
léta studia (2012-2013)*

Vedoucí práce: Doc. PaedDr. Václav Havel, CSc.

Plzeň, 1. července 2013

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

Plzeň, 1. července 2013

.....

vlastnoruční podpis

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta pedagogická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan HAMERNÍK**
Osobní číslo: **P11B0439P**
Studijní program: **B1001 Přírodovědná studia**
Studijní obor: **Fyzika se zaměřením na vzdělávání**
Název tématu: **Historie definic a etalonů základních fyzikálních veličin soustavy SI**
Zadávací katedra: **Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Studium literatury a internetových odkazů - leden 2013.
 2. Příprava rukopisu BP - březen 2013.
 3. Vypracování čistopisu práce, kontrola a poslední úpravy - květen 2013.
 4. Dokončení práce - červen 2013.
-

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 50**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Strouhal, č. Mechanika. Praha: JČMF.

Záviška, F. Mechanika. Praha: JČMF, 1993.

Binko, J. Fyzikální a technické veličiny. Praha: SNTL.

www stránky - nist.gov, ptb.de, cmi.cz


Vedoucí bakalářské práce:

Doc. PaedDr. Václav Havel, CSc.


Nové technologie - výzkumné centrum

Datum zadání bakalářské práce: **21. prosince 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. června 2013**


Doc. PaedDr. **Jana Coufalová, CSc.**
děkanka




Doc. PaedDr. **Jarmila Honzík, Ph.D.**
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. ledna 2013

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Doc. PaedDr. Václavu Havlovi, CSc., za nezměrnou pomoc a za neobyčejnou trpělivost spojenou s jejím vypracováním. Velmi si vážím jeho cenných rad a připomínek, kterými jsem se při vypracování řídil. Proto doufám, že jsem ho kvalitou své práce nezklamal. Mé díky patří i panu Miroslavu Krbcovi, který mi svými zkušenostmi pomohl práci upravit a dát jejímu vzhledu patřičnou formu.

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Historie měření	2
2.1	Historie měření ve starověku	2
2.1.1	Sumer	2
2.1.2	Egypt	4
2.1.3	Indie a Čína	6
2.2	Historie měření v českých zemích	8
2.2.1	Vývoj.....	8
2.2.2	Další historická data spojená s měřením na našem území.....	10
3.	Metrologie	11
3.1	Vědecká (fundamentální) metrologie.....	11
3.2	Průmyslová metrologie.....	11
3.3	Legální metrologie	12
4.	Metrická soustava	13
4.1	Zavádění metrické soustavy.....	13
4.2	Metrická konvence	13
5.	Fyzikální veličiny a jednotky.....	15
5.1	Pojem jednotka a veličina	15
5.2	Operace s jednotkami	16
5.3	Násobky a díly	17
6.	Etalony.....	18
6.1	Popis etalonu.....	18
6.2	Druhy etalonů.....	18
6.3	Schémata návaznosti etalonů a měřidel.....	19
7.	Soustava SI.....	21
7.1	Historie soustavy	21
7.2	Vývoj a definice základních jednotek SI	22
7.3	Vývoj definic a etalonů délky	23
7.3.1	Historie měření délky.....	23
7.3.2	Definice prostřednictvím kyvadla	24
7.3.3	Definice prostřednictvím části Zemského kvadrantu	25
7.3.4	Primitivní (archivní) metr	26

7.3.5	Nový metr	26
7.3.6	Definice prostřednictvím vlnové délky charakteristického záření	27
7.3.7	Definice prostřednictvím rychlosti světla ve vakuu	28
7.4	Vývoj definic a etalonů hmotnosti	29
7.4.1	Veličiny spojené s hmotností	29
7.4.2	Váha	30
7.4.3	Definice prostřednictvím daného objemu vody	31
7.4.4	Definice prostřednictvím prototypu v Sevres	31
7.4.5	Další vývoj	32
7.5	Vývoj definic a etalonů času	33
7.5.1	Čas	33
7.5.2	Vznik a první definování sekundy	33
7.5.3	Sekundové kyvadlo	34
7.5.4	Definice na základě oběhu Země kolem Slunce	34
7.5.5	Definice prostřednictvím atomových hodin	35
7.5.6	Současný etalon času	35
7.6	Vývoj definic a etalonů teploty	36
7.6.1	Teplota	36
7.6.2	Fahrenheitova teplotní stupnice	37
7.6.3	Réamurova teplotní stupnice	37
7.6.4	Celsiova teplotní stupnice	38
7.6.5	Kelvinova teplotní stupnice	38
7.6.6	Rankinova teplotní stupnice	39
7.6.7	Mezinárodní teplotní stupnice	40
7.6.8	Etalon teploty	41
8.	Závěr	42

1. Úvod

Během svého studia na Západočeské univerzitě v Plzni jsem se rozhodl studovat specializaci metrologie v oboru Fyzika se zaměřením na vzdělávání. Postupem času, jsem si svým způsobem vypěstoval k tomuto oboru blízký vztah. Rozhodl jsem se proto zakončit své studium právě prací zasahující do problematiky metrologie a pokusit se tak užít své vědomosti a tvorbou této práce je více rozšířit. Hlavním cílem mé práce je ukázat, že měření je součástí běžného života lidí již od nepaměti a jeho využívání se pro nás stalo běžnou a každodenní záležitostí.

V úvodu práce je popsána dávná historie prastarých národů, které jistým způsobem ovlivnily podobu systému měření současné metrologie na celém světě. Tato část je zaměřena na vznik prvních měrových a váhových jednotek a jejich následného zdokonalování. Obsahem tohoto okruhu je i obecný metrologický rozvoj v českých zemích od vzniku až po současnost. Následuje kapitola zaměřená na samotný význam metrologie. Zde je vysvětleno, čím vším se metrologie u nás a ve světě vlastně zabývá. Rozebírají se tu pojmy jako metrická soustava nebo metrická konvence. Jedna z kapitol je věnována samotným fyzikálním jednotkám. Vysvětluje se zde jejich význam, druhy a zásady při jejich užívání. Neméně důležitou částí je pojednání o etalonech jako prostředků pro realizaci samotných jednotek. V textu je popsán význam etalonů v oblasti metrologie, činnosti s nimi spjaté a jejich jednotlivé typy. V závěru práce je kapitola věnovaná mezinárodní soustavě jednotek označované SI. Je zde nastíněn její vývoj a její význam v oblasti metrologie. Tato část práce se zabývá vývojem definic a etalonů vybraných základních veličin ze soustavy SI.

2. Historie měření

Předchůdci člověka, již před 25 miliony lety začali vykazovat známky inteligence. Nemyslím tím, že by uměli číst, psát nebo počítat, to samozřejmě ne. Ale už tehdy začali vnímat a učit se z věcí, které se odehrávali v jejich okolí. Darwinovská teorie přirozeného výběru druhů byla i tehdy nesmiřitelná, proto okolnosti vztahující se k přežití druhu nutily naše předky stávat se silnějšími. Silnými se přesto nestali jen tím, že by měli větší svaly, ale tím, že se naučili postupně využívat věcí, které nacházeli kolem sebe. Kámen či klacek, jejich využití pro lov i obranu bylo neocenitelné. Předkům postupně začalo docházet, že velký kámen nebo krátký klacík je lepší k jedné činnosti, ale nevyhovující pro jinou. Proto již tehdy začali s jejich výběrem a porovnáváním.

Měření je staré jako lidstvo samotné a setkáváme se s ním dennodenně ve škole, v zaměstnání i doma. Provází nás už od prvopočátku do dnešní doby, a se skalní jistotou mohu říci, že tomu tak bude i nadále. Mnoho let před tím, než člověk začal být člověkem, objevovaly se znaky prvního měření. Na začátku se však jednalo o podvědomou činnost nutnou k přežití. Tato skutečnost je vlastně základem samotného měření, kde jde o porovnávání jedné věci s jinou. Postupem času si jednotlivé civilizace vytvořily vlastní systémy měření a měřicí techniky. Nejprve se jednalo o měření délky a hmotnosti, později i času a teploty.

2.1 Historie měření ve starověku

2.1.1 Sumer

Sumerové jsou nejstarší známou civilizací. Obývali oblast Mezopotámie, která se v té době rozprostírala v oblasti mezi řekami Eufrat a Tigris od Bagdádu až k Perskému zálivu. Sumerská historie sahá až do roku 4000 před naším letopočtem. Už tehdy dokázali Sumerové historii svou výjimečností. Právě oni vymysleli sexagesimální číselnou soustavu, jejímž základem je číslo šedesát. Hliněné tabulky z období okolo roku 3000 před naším letopočtem, které se nám dochovaly, dokazují, že tito lidé počítali v takzvané desítkově šedesátkové nepoziční číselné soustavě. Jedná se o desítkovou soustavu, kde je vyšší řádovou jednotkou číslo šedesát, nikoliv však sto. V této nepoziční soustavě měl každý

desítkový a šedesátkový řád svůj specifický klínopisný znak. Až kolem roku 2000 před naším letopočtem došlo k přechodu z nepoziční šedesátkové soustavy na poziční šedesátkovou soustavu. To znamenalo, že se hodnota číselného znaku měnila podle jeho pozice v záznamu číselné hodnoty.



Obrázek 1 - Rozloha území starověkého Sumeru

(Obrázek upraven z http://koubic-sytes.mysteria.cz/necronomicon/necronomicon_babylon_mezopotamie.html)

Sumerové tuto soustavu přijali pravděpodobně proto, že číslo šedesát je beze zbytku dělitelné čísly jedna, dvě, tři, čtyři a pět. Vezmeme-li naši dekadickou číselnou soustavu, tak ta má svůj základ v čísle deset. Je nám naprosto přirozená jelikož se domníváme, že má svůj původ v počtu prstů na obou lidských rukách. Přesto podobně však mohlo v Sumeru vzniknout i počítání po šedesáti. Jednotlivé články čtyř prstů jedné ruky by sloužily jako jednoduché počítadlo, přičemž bychom jednotlivé články počítali postupně pěti prsty druhé ruky. Dopočítali bychom se tak šedesáti násobením tří článků na čtyřech prstech jedné ruky pěti prsty druhé ruky.

2.1.2 Egypt

Jednou z dalších významných civilizací byli staří Egypťané. Ve světě se proslavili, jako stavitelé pyramid a vůbec lidé s velmi rozsáhlými znalostmi o přírodních vědách. Zhruba v letech 3150 až 2930 před naším letopočtem za 1. dynastie se snažili ustanovit základní měrovou konvenci, podle níž by mohli řádně a bez dohadů vymezovat jednotlivé vzdálenosti, velikosti či váhy. Díky nalezeným artefaktům víme, že se s rozvojem Egypta používané míry a váhy zdokonalovaly a zpřesňovaly. Byla to nutnost už jen proto, že vyměřování půdy a pozemků tehdy probíhalo každým rokem. Stávalo se rutinní záležitostí, že záplavy na řece Nilu, která byla pro Egypťany životně důležitá, vyvracely vytyčené mezníky a ty se musely znovu přesně stanovit. Podle rozlohy pozemku se totiž úředníci snažili odhadnout, jaký by mohl být objem úrody a tedy jak velkou daň bude muset vlastník říši uhradit.

Už tehdy byla nutnost vše kontrolovat a zaznamenávat, přičemž královští písaři už nebyli jen kronikáři a historiky, ale věnovali se také neustálému počítání, přeměřování a vážení. Nejen v zemědělství, ale také ve stavebnictví byli lidé nuceni stanovovat rozměry budov a monumentů, kterými se Egypt dodnes pyšní.

Tehdy se k měření délky používaly dva různé systémy. Prvním byl takzvaný Prstový systém. Základní jednotkou toho systému je velký (či královský) loket. Definovaný rozměr královského loktu, byla určitá vzdálenost, jak už název vypovídá, části horní končetiny zrovna vládnoucího faraona. Tato vzdálenost se měřila od předloktí, až ke konečku nataženého prostředníčku a k tomu se ještě připočetla šířka faraónovi ruky. Samotný královský loket měl velikost zhruba 0,525 metru. Tato vzdálenost byla, jako předloha, precizně vytesána do bloku z černé žuly a vystavena v městském chrámu. Architektům a vědcům byly poté předány žulové nebo dřevěné kopie a ti poté byli nuceni, pod trestem smrti, tyto míry dodržovat. Z toho můžeme usoudit, že se velikosti etalonů v průběhu času měnily, tak jak se na trůnu objevovali noví panovníci. Stavitelé využívali k určení rozměrů pomocnou mřížku, u níž jednotlivé strany čtverců měly velikost jednoho či několika královských loktů. Loket se dále dělil na prsty a dlaně. Běžným násobkem královského lokte byl stonásobek, čemuž odpovídala délka 52,5 metrů. Pro měření velmi

dlouhých vzdáleností, například vymezení vzdálenosti mezi městy, se v letech 1994 až 1797 za 12. dynastie používalo dvacetitisícínásobku, a to odpovídá přibližně 10,5 kilometrů.

Druhým používaným systémem byl systém Unciální. Tento systém byl využíván zejména při výzdobě hrobek, chrámů nebo paláců. Hlavní jednotkou byl posvátný loket, který se dále dělil na palce a ruce. V rámci tohoto systému se často využívala hůl, kterou v praxi představovala tyč dlouhá 70 centimetrů, nebo sáh, který se opět vztahoval k rozměrům lidského těla. Podle tehdejších tradic byl člověk vysoký jeden sáh, což odpovídalo osmnácti rukou (ruka cca 10 [cm]).



Obrázek 2 - Egyptské malby zachycující proces vážení
(Obrázek pořízen z <http://masch.blog.cz/0707/miry-a-vahy-ve-starem-egypte>)

Egyptané, jako mnoho jiných národů, byli zvyklí na směnný obchod. Jedná se vesměs o výměnu jedné věci za jinou. Nejběžnějším příkladem mohla být výměna zrní za maso. K tomu, aby tato výměna mohla proběhnout, bylo třeba ustanovit, jaké bude množství jedné věci a jaké množství té druhé. Pouhým pohledem bylo určení množství velmi hrubé, a proto bylo nutno přijít na jinou metodu. Množství se v tomto případě realizovalo hmotností. V Egyptě se tím pádem vyskytla nutnost ustanovit jednotky hmotnosti a vyrobit k nim patřičná závaží. Hojně se využívala závaží z kamene, jimiž byl například čedič, žula, diorit, porfyr nebo syenit. Postupem času se od kamene opustilo a začala se vyrábět závaží z kovu. Závaží z olova, bronzu či železa měla lepší vlastnosti než kamenná. Kámen časem praskal a velmi rychle se častým používáním opotřebovával. Tím závaží

ztrácela svůj význam. Tvar závaží býval velmi rozmanitý. Vyráběla se závaží od pravidelných útvarů jako krychlí, kvádrů či kuželů, přes nepravidelné, až ke zpodobnění zvířat.

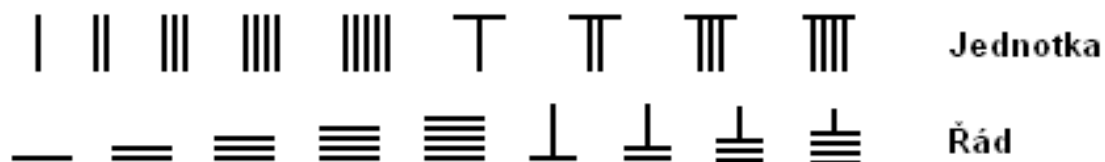
Základní jednotkou měření hmotnosti ve starém Egyptě byl deben. Ten vážil přibližně 91 gramů. Jedna desetina debenu se nazývá „kedet“, později nazývaný „kit“. Jeho velikost se pohybovala kolem 8,8 až 10 gramů. Všechna vyrobená závaží byla ocejchována podle oficiální předlohy, na které byla vyryta kartuše vládnoucího panovníka.

Mezi léty 1295 a 1096 před naším letopočtem Egypťané využívali hmotnost v přeneseném významu, jako označení hodnoty dané věci. Tak jako my nyní používáme peníze, Egypťané tehdy používali hmotnostní jednotky představující přesně odvážené množství kovu, které jim peníze nahrazovalo. Tím se stal deben i jednotkou měny. Později, přibližně v letech 1550 až 1069 před naším letopočtem, v období Nové říše, se systém zjednodušil a deben se znovu stal pouze základní váhovou jednotkou s rozměrem 91 gramů.

2.1.3 Indie a Čína

Starověká Čína se rozkládala v povodí řek Jang-c-tiang a Chuang-che. Hlavním znakem této kultury společně s indickou je izolovanost. Další velké národy byly daleko na západě, a tak se Čína vyvíjela samostatně. Číňané i přesto významně přispěli k rozvoji světové vědy a kultury. Postupem času, prostřednictvím Arabů, se z Číny k nám dostalo mnoho nových technologií a přístrojů, které dříve západní svět nespátřil. Papír, kompas, porcelán nebo střelný prach, vše tohle a bezpočet dalších věcí vzešlo odtud.

Podle některých zdrojů, byli Číňané prvními lidmi využívající desítkové soustavy. K zápisu číslíc používali kombinaci pěti kolmých a vodorovných tyčinek vedle sebe. Pro realizaci vyšších řádů se, z důvodu rozlišitelnosti, symboly tvořené tyčinkami psaly opačně.



Obrázek 3 - Čínský číselný zápis

(Obrázek upraven z http://euler.fd.cvut.cz/predmety/matematika/historie/files/prednaska_cina.pdf)

Číňané se velmi dobře vyznali také v astronomii. Už v jedenáctém století před naším letopočtem se jim podařilo velmi přesně změřit rovinu ekliptiky vzhledem k rovníku. Dochovaly se dokonce záznamy o výzkumu a pozorování slunečních zatmění. Ve čtvrtém století před naším letopočtem vznikl hvězdný katalog, který zahrnoval polohy až několika set hvězd. Čínská astronomie se i nadále rozvíjela. V roce 2637 před naším letopočtem ustanovil Žlutý Císař počátek posvátného kalendáře, který Číňané od té doby dodržují až dodnes. Již v té době dokázali kalendář zkonstruovat a upravit tak, aby se například nerozcházel se Sluncem nebo s ročními dobami. Porovnáme li ho s naším kalendářem, s jeho časovými posuny nutnými k synchronitě, vypovídá to o inteligenci, kterou tehdejší astronomové disponovali.

Starověká Indie se společně s Čínou rozkládala ve východní části Asie daleko od vlivu ostatních vyspělejších kultur. Indie se rozprostírala na území mezi řekami Indus a Ganga. Stejně jako ostatní kultury v povodí dvou řek, které byly důležité obzvláště z hlediska zemědělského. Indové již 2000 před naším letopočtem měli metody, jimiž měřili čas na velmi dobré úrovni. Tyto měřicí metody vycházely z pozorování pohybu Slunce a Měsíce. Zajímavostí je, že pohyb Slunce nevztahovali k průsečíku ekliptiky se světovým rovníkem, kterému dnes říkáme Jarní bob. Využívali ale vzájemné polohy Slunce vzhledem k pevně zvolené hvězdě, čímž vlastně měřili hvězdný rok.

2.2 Historie měření v českých zemích

2.2.1 Vývoj

Historie měrových a váhových jednotek v českých zemích sahá podle dochovaných spisů až do 11. století. Je nutné dodat, že jednotky musely existovat již dávno před touto dobou. Stavby hradišť a dalších staveb zajisté potřebovaly jejich využití. Zmínky pocházejí převážně z lidových kronik a starých pověstí. Jednou z takových kronik je např. Kosmova kronika z roku 1092 dokládající první měření srážek na našem území. V této době byly zaváděny míry, jejichž názvy vycházely z podstaty římských měr, jimiž jsou např. palec, krok, jitro čiše nebo libra. Mnohé z těchto jednotek se do metrické soustavy nedaly převést, jelikož se různily od jednoho místa k druhému. Tato skutečnost byla dána vlivem městské samosprávy, místních vrchností a částečně i starodávným zvykem. První ucelenější soustava vznikla až v průběhu 16. století. Zemský sněm v této době uzákonil užívání tzv. pražských měr. Mezi takovéto pražské míry patří pražský loket, libra nebo lán. Tyto míry se začaly hojně využívat po skončení Třicetileté války. V roce 1758, za vlády Marie Terezie, byla zavedena tzv. rakouská měrová soustava jinak nazývaná sáhová soustava.

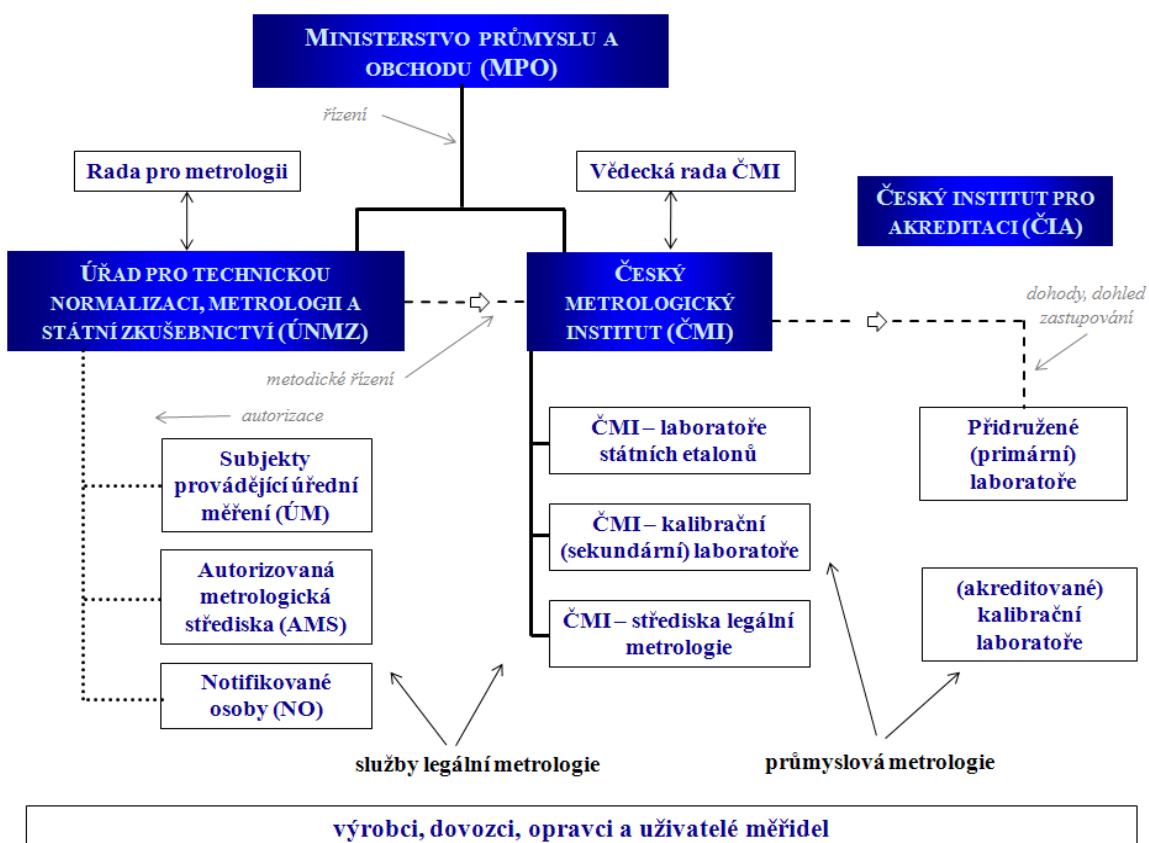


Obrázek 4 - Pražský (vlevo) a vídeňský loket (vpravo)

(Obrázek převzat z http://cs.wikipedia.org/wiki/Loket_%28d%C3%A9kov%C3%A1_m%C3%ADra%29)

Rakouská měrová soustava měla nepravidelné intervaly mezi jednotkami, a proto byla značně nepraktická. Začalo se tak užívat metrické soustavy, která byla v Rakousku uzákoněna v roce 1876. Ta přetrvala do vzniku Československé Republiky roku 1918, která si také metrickou soustavu uzákonila jako jedinou používanou na svém území. V roce 1980 byla nakonec přijata mezinárodně uznávaná soustava jednotek SI.

Dnes je v České republice nejvyšší institucí působící v oblasti metrologie Ministerstvo průmyslu a obchodu České Republiky, ve zkratce MPO. Pod tuto instituci spadají další tři instituce, jimiž jsou Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví se zkratkou ÚNMZ, Český metrologický institut se zkratkou ČMI a Český institut pro akreditaci se zkratkou ČIA.



Obrázek 5 - Struktura národního metrologického systému na území ČR
 Obrázek převzat z <http://www.businessinfo.cz/cs/clanky/narodni-metrologicky-system-cr-12901.html>

2.2.2 Další historická data spojená s měřením na našem území

r. 1092	Sepsána Kosmova kronika.
r. 1268	Přemysl Otakar II stanovil míru pražského lokte
r. 1358	Úprava a rozšíření měř pražských Karlem IV
r. 1533–1534	První Žerotínské denní záznamy o počasí
r. 1549–1787	Císařské patenty a usnesení o zavedení a sjednocení jednotek
r. 1558-1568	Záznamy o počasí pozorované na cestách Žigmunda Tordy z Bratislavy a Prešova
r. 1717-1720	První pravidelné denní měření tlakoměrem a teploměrem Adamem Reimannem v Prešově
r. 1771	První klementinské měření teplot
r. 1804	První klementinské měření srážek
r. 1871	Hrabě Mikuláš Konkoly-Thege zakládá observatoř v Hurbanovu
r. 1872	Zaveden zákon o jednotkách a cejchovní řád
r. 1875	Rakousko – Uhersko přistoupilo k Metrické konvenci
r. 1918	Zřízen Československý ústřední inspektorát pro službu cejchovní
r. 1922	Československo přistoupilo k Metrické konvenci
r. 1955	Zřízen Státní ústav pro míry, váhy a drahé kovy
r. 1962	Zřízen Ústav pro normalizaci a měření
r. 1962	Zaveden zákon 35/1962 Sb. o měrové službě
r. 1968	Zřízen Československý metrologický ústav v Bratislavě
r. 1974	Zavedení soustavy SI v České republice
r. 1979	Zavedena vyhláška o stanovených měřidlech 59/1979 Sb.
r. 1980	Zákonné užívání soustavy SI
r. 1990	Zákon o metrologii 505/1990 Sb.
r. 1993	Zaveden zákon o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti normalizace metrologie a státního zkušebnictví po rozpadu federace
r. 1993	Zřízen Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
r. 1993	Zřízen Český metrologický institut

3. Metrologie

Metrologie je obor vědní a technický, tudíž řeší jak otázky teoretické, tak i praktické. Zahrnuje do sebe vše, co souvisí s měřením. Jednou z hlavních úloh metrologie je kvantifikace vybraných fyzikálních a technických veličin. Oblasti, jimiž se metrologie především zabývá, jsou měřicí jednotky. Dále jsou to měřicí metody, v nichž jsou zahrnuty otázky spojené se zpracováním výsledků měření a technikou měření. V neposlední řadě se metrologie zabývá také stanovováním fyzikálních a materiálových konstant.

Samotnou metrologii lze rozdělit do několika speciálních podoborů, jakými jsou vědecká metrologie, průmyslová metrologie a metrologie legální.

3.1 Vědecká (fundamentální) metrologie

Tato oblast metrologie je základním kamenem metrologického systému. Řeší otázky vztahující se k soustavě měřicích jednotek a realizací jejich etalonů. Dále pak soustavou fyzikálních konstant a metodami měření. Fundamentální metrologie má charakter vědeckého výzkumu. Měření je rozhodujícím nástrojem nejen přírodních věd, ale i medicíny a dalších oborů. V Českém metrologickém institutu ve zkratce ČMI se této oblasti metrologie věnují specializované laboratoře. Tyto laboratoře zpravidla rozvíjejí a uchovávají státní etalony a realizují nejlepší možnosti kalibrace a měření v příslušném oboru. V nadnárodním měřítku vykonávají obdobnou činnost tzv. kontaktní osoby EURAMET. Ty v České Republice koordinují projekty EURAMET ve svém oboru, přičemž pracují v mezinárodních pracovních skupinách. Rozvoj fundamentální metrologie je tak významnou částí mezinárodní spolupráce.

3.2 Průmyslová metrologie

Metrologické činnosti jako zkoušení a měření jsou zpravidla hlavními východisky pro oblast jakosti v průmyslové činnosti. Patří sem potřeba řešení návaznosti výsledků měření, které je stejně důležité jako samotné vlastní měření. Oblast průmyslové metrologie se zabývá zajištěním metrologické infrastruktury pro jednotné a správné měření zasahující

do výroby, služeb a podobně. V průmyslové metrologii jsou zahrnuty činnosti spojené s kalibrací hlavních etalonů a pracovních měřidel používaných v běžné praxi.

3.3 Legální metrologie

Cílem této oblasti metrologie je zajišťování ochrany občanů před důsledky špatného měření. Realizuje se v oblastech úředních a obchodních transakcí, dále ustavování pracovních podmínek nebo ochraně zdraví a bezpečnosti práce. Prostředky, kterými se zabezpečují tyto zájmy, jsou stanovení zákonných měřicích jednotek a požadavků na používaná měřidla, a také schválení metody měření a zkoušení. Služby, které zastřešuje oblast legální metrologie, zabezpečují všechny Oblastní inspektoráty Českého metrologického institutu a Úsek legální metrologie. Výkony, které tyto organizace provádí, se na měřidlech vyznačují speciálními úředními značkami.



Obrázek 6 –Jedna ze značek ČMI - značka pro ověření stanoveného měřidla
(Obrázek převzat z <http://www.cmi.cz/index.php?lang=1&wdc=267>)

4. Metrická soustava

4.1 Zavádění metrické soustavy

Francie za vlády Ludvíka XVI. velmi dlouhou dobu balancovala na pokraji státního bankrotu. Hospodářská situace v zemi se výrazně zhoršila a v důsledku toho, od začátku 80. let 18. století, začaly být zřizovány reformy pro povzbuzení výroby a pracovní morálky obyvatel. Reformy a nátlak v rovnoprávnost obyvatel vyústily v počátek Velké francouzské revoluce. Toto období se tak stalo významným mezníkem evropských kontinentálních dějin nejen v politickém pojetí.

Dne 9. července 1789 se ve Versailles konal sněm, při němž se mělo rozhodnout o budoucnosti Francie. Zasedání se tehdy prohlásilo Ústavodárným národním shromážděním. Toto shromáždění sestavilo vědeckou komisi, v níž zasedali lidé jako Nicolas de Condorcet, Joseph Louis Lagrange, Pierre Simon de Laplace či Gaspard Monge. Ti měli za úkol sestavit a stanovit takový systém měrových jednotek, jenž bude srozumitelný a trvalý. Tato komise se rozhodla ustanovit jako základ jednotek délky část zemského kvadrantu, která odpovídala $\frac{1}{10\,000\,000}$ této části redukované na hladinu moře. Poté byla tato část ustanovena jako jeden metr. Roku 1790 tak ve Francii vznikla soustava jednotek, jež se nazývá metrická. Metrická od slova metr, jenž se stal jejím základem.

4.2 Metrická konvence

Dne 21. května 1875 se začíná psát historie moderní metrologie. Zástupci osmnácti zemí tehdejší Evropy se sešli v Paříži a sepsali mezinárodní dohodu týkající se společné měrové soustavy. Ta dodnes nese název Metrická konvence (Convention du Mètre). Metrická konvence by tak byla platná bez výjimky ve všech státech, které se zavázaly ji na svém území používat. Mezi tyto země patřily Argentina, Belgie, Brazílie, Dánsko, Francie, Itálie, Německo, Norsko, Peru, Portugalsko, Rakousko-Uhersko, Rusko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko, Turecko, USA a Venezuela. S ohledem na historii můžeme říci, že Rakousko-Uhersko, jako předchůdce našeho státu, bylo ve správě měř a vah pokrokové. Už v roce 1871 byla snaha metrickou soustavu zavést do celého království. K právoplatnému užívání metrické konvence přistoupilo již 20. května 1875. Za Rakousko-Uhersko se podepisoval

hrabě Aponyi, který byl maďarským politikem, vedoucím činitelem uherské konzervativní šlechty a od roku 1847 uherským kancléřem. Následně dne 1. ledna 1876 bylo používání Metrické soustavy povinné v celé rakousko-uherské monarchii. A ještě téhož roku byla Metrologická konvence vyhlášena v Rakouském říšském zákoníku pod číslem 20. Česká republika, jak už bylo jednou zmíněno, je nástupnickým státem Rakouska-Uherska a také nadále signatářem Metrické konvence již od samého počátku historie státu.

Podepsáním smlouvy byl dán základ pro vznik příslušných správních orgánů. V Sévres u Paříže tak vznikl Mezinárodní úřad pro míry a váhy (Bureau International des Poids et Mesures) ve zkratce BIPM, Všeobecné konference pro váhy a míry (Conférence Générale des Poids et Mesures) ve zkratce CGPM a Mezinárodního výboru pro váhy a míry (Comité International des Poids et Mesures) ve zkratce CIPM.

5. Fyzikální veličiny a jednotky

5.1 Pojem jednotka a veličina

Fyzikální veličina je termín, kterým se interpretuje kvalitativní a kvantitativní popis konkrétních jevů a stavů materiálních objektů. Fyzikální veličiny jako takové, lze rozdělit dle různých hledisek, kde každé z těchto hledisek má svůj specifický význam. Veličiny můžeme rozdělit podle typu na veličiny množství a veličiny stavu. Veličiny množství jsou takzvané veličiny extenzivní. Hlavním rysem extenzivních veličin je jejich aditivnost. Pokud mohu veličinu rozdělit na malé části a následně jejich velikosti sečíst, dostanu tutéž hodnotu, kterou měla veličina před rozdělením. Takovými veličinami jsou například délka, hmotnost nebo teplo. Příkladem mohou být dvě plastické koule o hmotnosti jednoho kilogramu. Spojí li se tyto koule dohromady, vznikne jedna koule o hmotnosti dvou kilogramů. Druhým typem jsou veličiny stavu neboli veličiny intenzivní. Zástupcem této skupiny je například teplota. V případě této veličiny se o aditivnosti mluvit nedá. Máme li totiž dvě tělesa o různých teplotách a spojíme je, nebude jejich výsledná teplota dána součtem těchto hodnot. Takovéto veličiny nemůžou měřit přímo, ale musí se využít jiných extenzivních veličin.

Dalším důležitým dělením veličin je vyjádření podle charakteru vlastností daných veličin. Je li hodnota veličiny určena pouze složkou velikosti a dané jednotky mluvíme o tzv. skalárních veličinách. Příklady těchto veličin jsou hmotnost m , čas t , délka l nebo elektrický náboj Q . Jedná se o veličiny, které jsou charakteristicky nejjednodušší. Skalární veličiny lze zobrazit pomocí stupnice. I samotný termín skalár je odvozeno z anglického slova „scale“, které v překladu znamená stupnice. Zobrazení skalárních veličin právě pomocí stupnic má význam především při konstrukci měřících přístrojů. U některých veličin je nutné k přesnému určení vlastnosti více číselných hodnot. Důvodem takového rozpisu je závislost veličiny na orientaci v prostoru. V tomto případě hovoříme o tzv. vektorových veličinách. Obecně pro vektorové veličiny platí, že jejich hodnota je dána složkou směrovou, složkou velikosti a příslušnou jednotkou. Při zápisu vektorových veličin se nad symbol veličiny dopisuje šipka. Příklady takovýchto veličin jsou síla \vec{F} , rychlost \vec{v} nebo intenzita elektrického pole \vec{E} . Veličiny, které mají složitější strukturu oproti

vektorovým, jsou tzv. tenzorové veličiny. Tenzory byly prvně zavedeny při studiu napětí a deformací v pružném prostředí. Název vychází ze slova „tensio“, neboli napětí.

5.2 Operace s jednotkami

Sčítat nebo odčítat fyzikální veličiny lze pouze v případě, jsou-li všechny sčítané či odčítané fyzikální veličiny stejnorodé. Tedy pouze ty jednotky, mající stejný fyzikální charakter. Takto je tedy možné spolu porovnávat například poloměr a dráhu, ale hmotnost a čas již nikoliv. Kdežto vzájemným násobením či dělením již různorodých veličin vznikají ve své podstatě nové fyzikální veličiny. Například dělením délky v metrech [m], časem v sekundách [s] získáváme rychlost v metrech za sekundu [m/s]. Jednotka [m/s] je v tomto případě mezinárodní značka jednotky nově vzniklé veličiny. Množiny všech různorodých veličin, které jsou spolu navzájem propojeny definičními vztahy, tedy že jejich vztahy se dají vyjádřit rovnicemi, nazýváme soustavou veličin. K popsání všech fyzikálních jevů a stavů postačí jen velmi malý soubor či soustava fyzikálních veličin, s jejíž pomocí lze vhodnými operacemi definovat veličiny odvozené.

Používáme-li k definování odvozené veličiny pouze veličiny základní v jednotkovém množství a ještě bez převodních koeficientů, nazývá se tato soustava veličin koherentní. Výrazy pro koherentní odvozené jednotky lze získat z rozměrových součinů pomocí těchto formálních náhrad dle české technické normy ČSN ISO 31-0 011300:

$$L \rightarrow m \quad M \rightarrow \text{kg} \quad T \rightarrow s \quad I \rightarrow A \quad \Theta \rightarrow K \quad N \rightarrow \text{mol} \quad J \rightarrow \text{cd}$$

Veličina	Rovnice	Rozměr	Značka odvozené jednotky
Rychlost	$v=d/dt$	LT^{-1}	m/s
Síla	$F= m d^2l/dt^2$	MLT^{-2}	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
poměrná hustota	$d=\rho/\rho_0$	1	1

Tabulka 1 - Příklady odvozených veličin

V tabulce 1 je vidět, že k přesné definici nových jednotek bylo použito základních jednotek veličin (délka, čas a hmotnost). Jednotky odvozených veličin mohou posléze mít svůj vlastní název. Příkladem může být síla, jejíž jednotka $[\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2]$ se nazývá Newton [N]. Při odvozování jednotky poměrné hustoty se porovnávaly dvě veličiny se stejným rozměrem, tím pádem se rozměr nové veličiny bude rovnat jedné. Veličiny a jejich příslušné jednotky jsou označeny mezinárodně dohodnutými značkami, proto jsou jejich značení i definiční vztahy všeobecně srozumitelné.

5.3 Násobky a díly

Při práci s jednotkami se velmi často setkáváme se situací, kdy použití základních tvarů je z praktického hlediska nevyhovující. Zavedly se proto dekadické násobky a díly těchto jednotek, kterými lze původní tvar upravit. Použitím mocnin deseti může zápis jednotky zkrátit a tím i zpřehlednit. Z praxe vzešly pro některé mocninné tvary názvy předpon, které lze při zápisu jednotek využít. Při užívání předpon je přípustné užití vždy jen jedné předpony pro danou jednotku. Zápis „milikilometr“ je tedy nepřipustný.

násobky			díly		
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	mikro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	piko	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hekto	h	10^{-21}	zepto	z
10	deka	da	10^{-24}	yokto	y

Tabulka 2 - Přehled násobků a dílů

6. Etalony

6.1 Popis etalonu

Etalony nebo také etalonová měřidla patří k měřicím prostředkům, přičemž mají stěžejní význam v zabezpečení metrologické jednotnosti a správnosti měřidel a měření. Etalonem může být ztělesněná míra, měřidlo, referenční materiál nebo měřicí systém. Jako takový slouží k definování, realizaci, uchovávání nebo reprodukování jednotky, jedné nebo více hodnot veličiny, k použití pro referenční účely. Tím je myšleno přenesení hodnoty této jednotky méně přesným měřidlům. Tím, že je etalon vyhovující vzhledem ke stanoveným požadavkům, může tak být oficiálně schválen. Každý etalon má zpravidla předepsané technické a metrologické vlastnosti a je vybaven standardizovanou dokumentací. Etalony jsou uchovávány stanoveným způsobem, na stanoveném místě a jsou ošetřovány a kontrolovány podle určitých zásad, přičemž každá manipulace s ním je zaevidována.

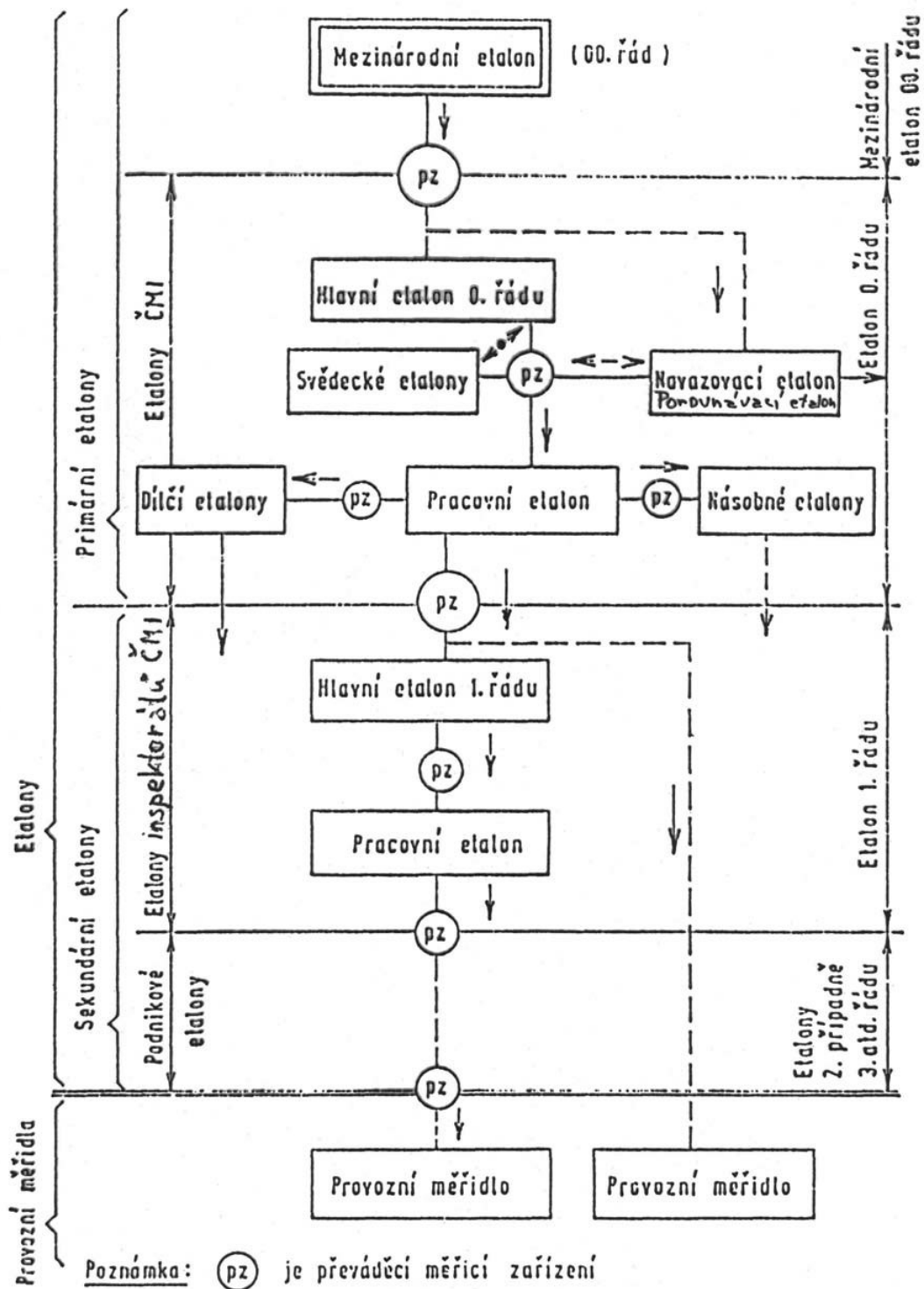
6.2 Druhy etalonů

Etalonů máme několik druhů, kde základní rozdělení je z hlediska hierarchie podle nadřazenosti nebo podřazenosti etalonů téže veličiny. Východiskem je jejich přesnost v reprodukci příslušné veličiny. Etalon s největší dosažitelnou přesností, který zabezpečuje reprodukci dané jednotky je primární etalon. Reprodukce jednotky u tohoto typu etalonu vychází z její definice. Etalon v hierarchii etalonů podřazený etalonu primárnímu nazýváme sekundární etalon. Sekundární etalony se dělí na řády označené arabskými číslicemi. Čím nižší je označení tohoto typu, tím výše je v hierarchickém žebříčku přesnosti. Etalon nejvyšší přesnosti vybraného státu se nazývá státním nebo národním etalonem. Jako takový je přijatý určitým právním aktem jako základ pro hodnoty všech ostatních etalonů a obvykle se pro tento stát stává primárním etalonem. Z důvodu zabezpečení mezinárodní jednotnosti a správnosti pro některé vybrané veličiny se vytvářejí tzv. mezinárodní etalony. V rámci organizací (podniky, koncerny) mluvíme o tzv. hlavních etalonech nebo také referenčních etalonech. Sekundárním etalonem v rámci organizace je pracovní etalon určený ke kalibraci provozních měřidel a jeho hodnota je odvozována od příslušného hlavního podnikového etalonu.

Z důvodu zachování kvality reprodukce jednotky primárního etalonu se zavádějí další druhy etalonů. Etalony určené ke kontrole stálosti primárního etalonu, popřípadě k jeho dočasnému nahrazení, kdyby byl poškozen, se označují jako svědecké etalony. Většinou jich bývá větší počet. Dalším speciálním druhem etalonu je porovnávací etalon. Tento etalon slouží jako prostředník k vzájemnému porovnávání etalonů, obvykle primárního etalonu s primárními etalony jiných států. Vzhledem k tomu, že primární etalon je nepřenosný, je existence tohoto typu skutečně nutná. Další rozdělení etalonů se opírá o počet použitých měřidel. Z tohoto hlediska existují dva typy. Prvním z nich je samostatný etalon představující jediné měřidlo. Druhým typem je skupinový etalon tvořený větším počtem měřidel téhož typu shodných metrologických vlastností. Skupinový etalon se používá v případech, závisí-li reprodukovaná hodnota ve značné míře na více průvodních veličinách, někdy obtížně stanovitelných. Osamocený etalon se tím stává do určité míry nejistým, a tak je pro daný případ vhodnější aplikovat statistické metody na několikačlenný soubor etalonů. Zvláštní třídou v dělení etalonů jsou tzv. certifikované referenční materiály značící se CRM. Jedná se o etalonový vzorek materiálu nebo látky charakterizované stálostí nějakého parametru. Příkladem mohou být kapalné roztoky známých hustot případně destičky známé tvrdosti.

6.3 Schémata návaznosti etalonů a měřidel

Jedná se o posloupnost určitých řádů etalonů, které na sebe, z hlediska jejich přesnosti, vzájemně navazují. Spolu s provozními měřidly pak tvoří vhodnou soustavu. Z hlediska oblastního existují schémata návaznosti mezinárodní, státní a místní. Dále se může dělení rozšířit na centralizovaná a decentralizovaná. Decentralizované schéma má nižší náklady a horší jednotnost. V České republice se dříve pokládalo za výhodnější využití centralizovaného schéma návaznosti. Podle něj se odvozují typová schémata návaznosti uspořádaná podle přesnosti pro měřidla jednotlivých veličin. Při řešení mezinárodního porovnávání etalonů se využívá dvou specifických metod. První metodou je metoda kruhová. Při ní je etalon odeslán k více účastníkům porovnávání a posléze se vrátí na původní místo. Touto metodou se porovnává například etalon času. Druhá metoda se nazývá metodou radiální. Etalon je odeslán jen k jednomu účastníkovi a posléze se vrátí na původní místo. Takto se například realizuje porovnání etalonu hmotnosti.



Obrázek 7 - Obecné schéma návaznosti měřidel
(Obrázek převzat z přednášek Doc. Ing. Olgy Tůmové, CSc. k předmětu metrologie)

7. Soustava SI

7.1 Historie soustavy

V roce 1960 XI. Generální konference pro váhy a míry rozhodla o přijetí soustavy SI o šesti základních jednotkách, dvou doplňkových jednotkách (radián a steradián) a jednotkách odvozených. Označení SI je zkratka z francouzských slov „Le **S**ystème **I**nternational d'Unités“ v překladu soustava mezinárodních jednotek. V roce 1971 byla do mezinárodní soustavy jednotek SI posléze doplněna sedmá základní jednotka mol [mol], jako jednotka látkového množství. Dne 1. ledna roku 1980 uzákonila soustavu SI, jako jedinou využívanou soustavou měr na svém území, řada států, mezi které patřilo i Československo. Tato soustava byla u nás kodifikována zákonem o měrové službě číslo 35/1962 Sb. a technickou normou ČSN 01 1300 ze dne 3. 1. 1963. V anglosaských zemích byl uzákoněn přechod na metrickou soustavu již v 60. letech. Tato soustava se modernizací a rozvojem úrovně měření neustále zdokonaluje.

Název veličiny	Název Jednotky	Značka jednotky
DÉLKA	metr	m
HMOTNOST	kilogram	kg
ČAS	sekunda	s
ELEKTRICKÝ PROUD	ampér	A
TERMODYNAMICKÁ TEPLOTA	kelvin	K
LÁTKOVÉ MNOŽSTVÍ	mol	mol
SVÍTIVOST	kandela	cd

Tabulka 3 - Přehled základních jednotek

7.2 Vývoj a definice základních jednotek SI

Činnost, kterou je možno nazvat měřením, je taková, která umožňuje zjišťování stavu nebo množství fyzikálních veličin. Samotné měření lze přesto realizovat teprve tehdy, jestliže si nejprve ustanovíme nějaký předmět, u kterého označíme danou vlastnost a poté jí určíme jako hodnotu jedna. Takto zavádíme termín jednotka veličiny. Touto jednotkou lze poté následně posuzovat měřený předmět.

Hodnota jednotky veličiny byla, jak už jsem se zmiňoval v úvodu své práce, již od prvopočátku historie měření volena vskutku náhodně. Proto je pro nás nezbytně nutné sdělit současně s uvedením číselné hodnoty veličiny i jakou má hodnotu samotná jednotka. Je skutečností, že i v nesouvisejících kulturních oblastech je možno narazit na jmenovitě totožné jednotky, jejichž názvy vycházejí z běžně používaných věcí. Příkladem takových jednotek může být zrnko, palec či sáh, který je určen vzdáleností mezi konečky prstů rozpažených rukou dospělého muže. Z váhových jednotek mohu zmínit například dnešní libru nesoucí hodnotu asi 0,5 [kg]. Jednalo se zřejmě o množství obilí, které potřebuje člověk k denní spotřebě.

Hodnoty prvních zákonných jednotek dříve vznikaly pravděpodobně vládním nařízením. Ve spisku Hanse Joachina von Albertiho se vyskytuje první zmínka o pokusu takovouto jednotku zavést. Jednalo se o hodnotu délky odvozené z průměrné hodnoty lidského těla. V díle píše: „Postavte za sebe chodidly 16 mužů, kteří vycházejí z kostela“. Líčí tak popis návrhu určení hodnoty měřičského prutu, který spadá do roku 1575.

Tímto způsobem tedy dříve vznikaly normály, říkájící čím je daná jednotka reprezentována. Následnou realizací těchto normálů poté vznikaly prototypy. Zhotovením prototypů se situace na poli metrologie značně zpřesnila. Tedy alespoň v místech, kde existovala možnost srovnání pracovního měřidla s adekvátním prototypem jednotky. Rozměry prototypů byly proto od začátku tesány do kamene nebo zhotovovány z kovových prutů a následně chráněny proti jejich poškození. Příkladem je prototyp pražského lokte z doby Karla IV. Byl vytesán a zazděn na východní straně věže Novoměstské radnice v Praze. Podle měření, které provedl v r. 1915 Zimmerhagl, měl

délku 591,4 milimetrů a jeho užívání se v Čechách udrželo až do zavedení metrických jednotek v roce 1871. Prototyp byl umístěn nezvykle vysoko, pravděpodobně z důvodu zamezení jeho neodborného využívání a možnému poničení. Vždy, když nastala doba nutná ke kontrole pracovních měřidel, muselo být k místu přistaveno několik dalších schodů. Kontroly se prováděly, ale pouze jen v době pořádání trhů.

S rozvojem lidského poznání docházelo již od 17. století k zaměření na definice jednotek pomocí trvalejších normálů. Objevila se tak snaha oprostit se od reprezentací jednotek pomocí fyzických prototypů. Zaměření se proto přeneslo k reprezentaci jednotek pomocí zákonitostí přírodních jevů. Bohužel ale úroveň poznání a technické zázemí vědců neumožňovaly stanovit některé normály s dostatečnou přesností. Proto se i nadále pro veličiny délky a hmotnosti používaly prototypy.

Ještě dnes, téměř sedmdesát let po tom co vybuchla první jaderná bomba a padesát let po prvním letu člověka do vesmíru se nám nedaří reprezentovat jednotku kilogram jinak, než jako hmotnost jediného konkrétního kovového válečku. Pokud jde o všechny ostatní jednotky, jsou jejich definice stanoveny tak, aby hodnoty získané různými měřícími soustavami na různých místech byly prakticky totožné. I když jejich definice vypadají jakkoliv složitě lze je v libovolné, přiměřeně vybavené laboratoři, bez potíží demonstrovat. Tímto vylepšením se měření velmi radikálně zpřesnilo. Dosahované výsledky na jednotlivých pracovištích, jsou tak v mezích statistických chyb vzájemně srovnatelné.

7.3 Vývoj definic a etalonů délky

7.3.1 Historie měření délky

Zřejmě prvními a bezesporu nejjednoduššími normály délky, které kdy člověk používal a měl je neustále k dispozici, byly přímo rozměry částí lidského těla nebo vzdálenosti s nimi jistým způsobem svázané. Není proto k údivu, že se míry jako palec, píd', loket nebo třeba sáh vyskytují téměř ve všech kulturně vyspělejších oblastech. Pokud se v současnosti nepoužívají jako neoficiální jednotky, přežívají alespoň v místním úsloví (zač je toho loket).

Pro měření větších vzdáleností bylo třeba zavedení násobných nebo úplně nových jednotek. Začalo se tak užívat kroků nebo dvojkroků jako základů krátké míle. Na tuto vzdálenost navazovala dlouhá míle, která byla představována jako trojnásobek míle krátké. Po nějaké době, kdy došlo k vynálezu planetární sítě poledníků a rovnoběžek, se zvala takzvaná Námořní míle. Tato jednotka se objevila poměrně pozdě. Jednalo se vskutku o délku odpovídající jedné šedesátině poledníkového stupně. Rozměr této jednotky je od roku 1929 přesně stanoven na 1852 metrů. Míry, pohybující se v rozmezí od třiceti do padesáti metrů původně pravděpodobně představovali stranu čtverce, který se za pomoci jednoho dobytčího potahu mohl obdělat za jeden den. Mírami přesahující rozměry sto metrů, jsou s jistou pravděpodobností vzpomínkou na stadion užívaný ve starém Řecku.

Po dlouhém hledání v metrologických análech se mi podařilo zjistit, že nejstarší doposud oficiálně používanou jednotkou délky je anglický yard. Stalo se tak roku 1101, kdy anglický král Jindřich I. Anglický nařídil, že úřední jednotkou užívanou v jeho království bude právě yard. Rozměr měl být vzdáleností mezi konečky Jindřichových prstů natažené ruky a špičkou jeho nosu. Následně se podle tohoto normálu nechal zhotovit odpovídající prototyp a zákonem bylo nařízeno jeho používání. Dnes je rozměr jednotky jednoho yardu přesně stanoven na 0,9144 metru. Jednotka yard je celočíselnými jednotkami svázána do soustavy s jednotkami míle, stopa a palec.

7.3.2 Definice prostřednictvím kyvadla

První pokus o vytvoření obecně platného normálu délky vycházel z konstrukce kyvadlových hodin. Christiaan Huygens svůj první hodinový kyvadlový stroj sestrojil v roce 1655 a ve spisu „Horologium oscillatorium“ ho podrobně popsal. V roce 1673 se jejich funkční princip snažil uplatnit ke stanovení normálu délky. Normál tak byl představován jako délka závěsného kyvadla, které bude mít dobu kyvu rovnou jedné sekundě. Po zavedení do praxe se ještě v tomtéž století bohužel zjistilo, že doba kyvu není vždy stejná. Ta se měnila v souvislosti se změnou zeměpisné šířky. A i když byly hodiny umístěny na stejné zeměpisné šířce, byly ovlivňovány různou nadmořskou výškou. Tento jev lze přičíst vlivu tíhového zrychlení Země a odstředivé síly, vzniklé její rotací.

7.3.3 Definice prostřednictvím části Zemského kvadrantu

Přichází rok 1790, a jak už sem se dříve ve své práci zmínil, jedná se, pro metrologii, o velmi důležité datum. Na světě se poprvé objevuje termín metr. Poslanec Charles Maurice de Talleyrand - Périgord při národním shromáždění přednáší návrh definovat novou jednotku délky. Komise, kde zasedají významní francouzští vědci, se dne 19. března 1791 usnese, že nová jednotka délky ponese název metr. Hodnota jednoho metru byla definována jako jedna desetimiliontá část čtvrtiny poledníku, který prochází Paříží a přitom je zredukován na hladinu moře (situace, kdy by poledník byl měřen pouze na klidné hladině bez přítomnosti pevniny, tedy v nulové nadmořské výšce). Návrh byl přijat 26. března 1791.

Měření ze zřejmých důvodů nebylo možné provést podél celého poledníku. Překážkou bylo samozřejmě moře. Kvůli tomu byl vybrán co možná nejdelší úsek pevniny podél poledníku, který měl začátek a konec u mořské hladiny. Měření započalo v létě 1792. Bylo určeno, že k němu dojde mezi městem Donkerque, které leží na padesátém prvním stupni severní šířky, a španělskou Barcelonou, která se nachází na čtyřicátém prvním stupni a dvacáté čtvrté minutě severní šířky. Delší část, která by se nacházela podél poledníku, nelze ve Francii nalézt.

Astronom a geograf Jean Baptiste Joseph Delambre prováděl triangulační měření ve směru od severu k jihu. Jeho kolega Pierre François André Méchain zase od jihu na sever. Spolu se měli sejít téměř na půli cesty ve městě Rodez. Měření na jižní části bylo poněkud obtížnější, jelikož procházelo skrz pohoří Pyreneje. Měření se ovšem neobešlo bez problémů. Bohužel, právě touto dobou Francie procházela revolucí a měření muselo být ukončeno. Až v roce 1798 byla měření dokončena. Z triangulačních měření čtyř nezávislých učenců se poté vypočítaly vzdálenosti mezi místy a z nich se poté odvodila velikost metru. Po změření a redukci výpočtu na hladinu moře se nechal zhotovit prototyp metru z platiny, který dnes známe jako primitivní metr neboli „méter primitif“.

Když došlo k následnému zopakování měření za pomoci vyspělejších metod, ukázalo se, že zhotovený prototyp je o něco kratší. Všem v tu chvíli bylo jasné, že pokrokem

a dokonalejší technikou bude docházet k neustálé změně rozměru jednotky. Z tohoto důvodu se muselo od definice metru vycházející z části poledníku upustit.

7.3.4 Primitivní (archivní) metr

Po změření části zemského kvadrantu byla tato hodnota přenesena do podoby prototypu z platiny. Prototyp byl zkonstruován jako platinová tyč s obdélníkovým průřezem o rozměrech 25 x 4,05 [mm]. Délka jednoho metru byla reprezentována jako celková délka prototypu při teplotě 273,15 [K], což odpovídá 0 [°C]. Jedná se tak o tzv. „koncový prototyp“. Zhotovený byl dne 22. 6. 1799 uložen do státního archivu a nyní nese název „mètre primitif“ nebo také „mètre de archive“.

7.3.5 Nový metr

Předlohou metru se tak stal rozměr, který byl vyznačený na platinovém prototypu archivního metru. Jelikož míra tepelné roztažnosti platiny byla neuspokojivě vysoká, bylo nutné vytvořit prototyp s lepšími vlastnostmi. Byl proto vyroben nový prototyp z mimořádně tvrdé slitiny platiny a iridia, na který byl rozměr v nezměněné hodnotě přenesen. Slitina obsahovala devadesát procent platiny a deset procent iridia. Profil prototypu je zhotoven jako tyč ve tvaru písmene X, jelikož je takto lépe odolný vůči průhybu. Oproti původnímu prototypu je tento o málo větší než samotný rozměr metru. Prototyp byl vyroben o rozměrech 40 x 40 x 1020 [mm]. Rozměr metru je na něm reprezentován vzdáleností mezi ryskami, přičemž k lepšímu čtení byly ke každé z nich přidány po stranách dvě další rysky ve vzájemné vzdálenosti 0,5[mm]. Tloušťka rysek byla velmi malá (cca 4-9 [μm]) z důvodu snížení nepřesnosti při odměřování. Mluvíme o tzv. „ryskovém prototypu“. Bylo vyrobeno 30 očíslovaných prototypů, z nichž prototyp číslo 6 se nejvíce blížil rozměru minulého etalonu. Ten byl poté následně prohlášen jako nový metr a v roce 1889 uložen v Mezinárodním úřadě měř a vah Sevres u Paříže. Dnes je v České Republice prototyp číslo 7. užíván jako sekundární etalon délky.

Je nutné si uvědomit, jaké podmínky a prostředky tehdy francouzští vědci měli. Protože skutečnost, že podle měření z dnešní doby je prototyp asi jen o dva milimetry menší, než

by měl být podle původní definice, je opravdu fascinující. Je s obdivem, jakou práci tehdy ve Francii odvedli.



Obrázek 8 - Prototyp mezinárodního metru z roku 1889
(Obrázek převzat z <http://dallaglio.free.fr/pages/mesures.htm>)

7.3.6 Definice prostřednictvím vlnové délky charakteristického záření

Jednotka délky definovaná podle „mètre primitif“ platila přes půl století a to až do roku 1960. Už od roku 1899 se pokoušelo o definování metru pomocí vlnové délky světla. Mezi léty 1892 a 1893 přeměřoval prototyp metru Albert Abraham Michelson pomocí svého interferometru. Stanovil tak rozměr metru pomocí násobku vlnové délky červené čáry kadmia. V roce 1906 jeho měření potvrdili Charles Fabry a Alfred Pérot novým typem interferometru.

Roku 1952 byla znovu sestavena komise, která měla za úkol posouzení možnosti, jak nově definovat metr pomocí vlnové délky světla. V roce 1960, tak byl metr definován jako 1 650 763.73 násobek vlnové délky záření šířícího se ve vakuu. To odpovídalo přechodu mezi hladinami $2p_{10}$ a $5d_5$ atomu kryptonu 86. Tato definice je v podstatě založena na tom, že frekvence záření, která je vysílána atomem, je při přechodu elektronu z jedné energetické hladiny do druhé veličinou neměnnou, a proto je i vlnová délka při konstantní rychlosti světla také neměnná.

V praxi se v měřící soustavě světlo rozdělí na dva paprsky pomocí polopropustných filtrů, přičemž každý z těchto paprsků urazí různě dlouhou dráhu, než se opět spojí. Intenzita

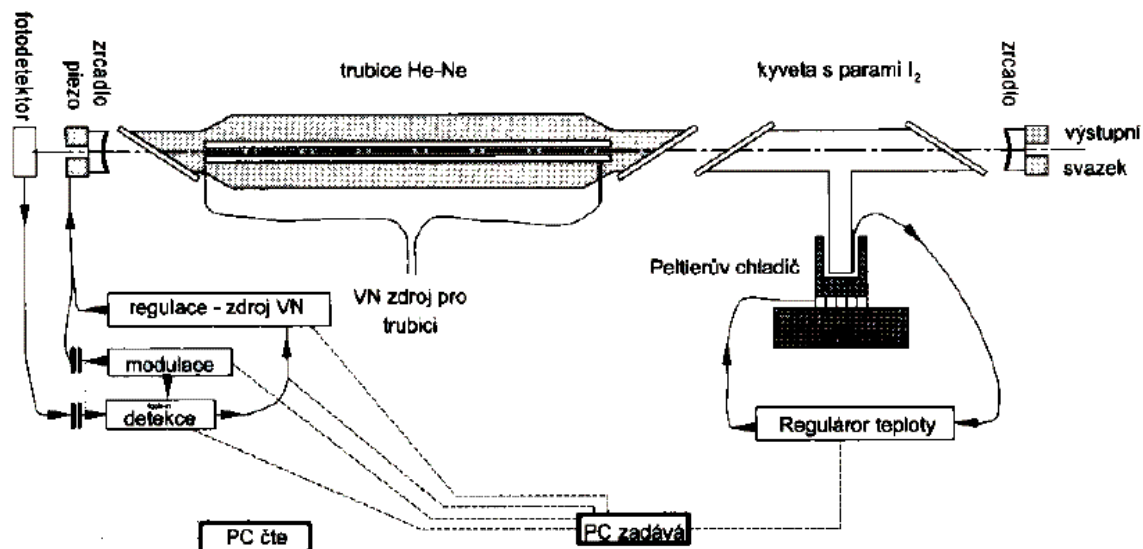
takto vzniklého světelného svazku se následně mění z maxima do minima, podle toho, jaký mají jednotlivé paprsky mezi sebou fázový posun. Nabývá-li intenzita maxima, jsou paprsky vůči sobě posunuty o sudé násobky poloviny vlnové délky paprsků světla. Nabývá-li intenzita minima, jsou vůči sobě posunuty o liché násobky poloviny vlnové délky paprsku světla. Pokud bude zajištěno dostatečně plynulé a pomalé prodlužování dráhy paprsku, je tento přechod viditelný i pouhým okem. Užitím vhodného čidla s počítadlem je v jistém smyslu jednoduché prodlužovat dráhu paprsku tak, aby její rozměr byl shodný s rozměrem prototypu metru. Tuto délku je pak možno definovat, jako neměnnou vlastnost hmoty.

Tato definice tedy opět vychází z původně zadané délky. Stále tak platí ta, která je vyznačena na primitivním metru, ale přímá návaznost této definice na něj již není. Měření je tak opakovatelné na jakémkoliv interferometru, ať již je umístěn kdekoliv na světě.

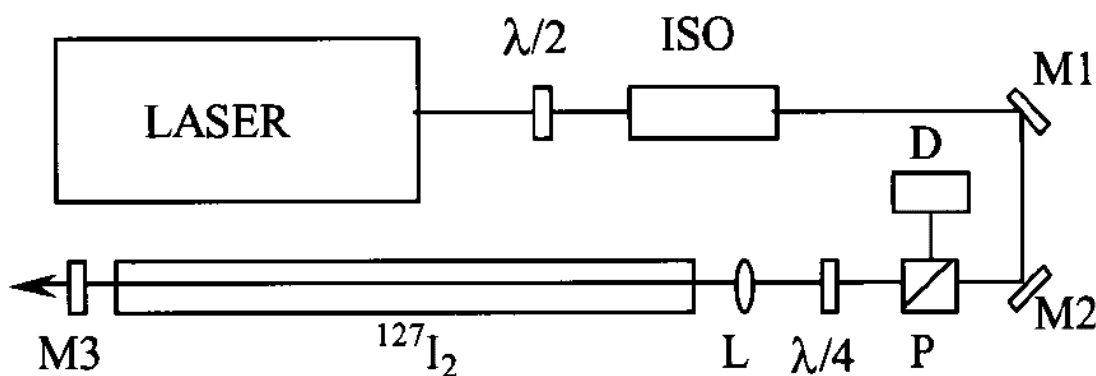
7.3.7 Definice prostřednictvím rychlosti světla ve vakuu

Poslední změna v definici jednotky délky nastala v roce 1994. Tato definice realizuje metr jako délku dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za $\frac{1}{299\,792\,458}$ sekundy. I v předcházející definici se počítalo s rychlostí světla jako s konstantou, tímto tak došlo pouze ke zjednodušení předešlé definice.

Dnes je etalon založený na výše zmíněném principu soustavou, kterou tvoří femtosekundový generátor hřebene optických frekvencí, jodem stabilizované lasery 633[nm], 543 [nm] a 532 [nm], acetylénem stabilizované lasery 1542 [nm], interferometrickým komparátorem IK-1 a interferometrem pro dlouhé koncové měřky IDKM včetně příslušenství a diagnostických zařízení ke všem těmto uvedeným etalonům. Tím že do sestavy byly zahrnuty jednotlivé etalony 633 [nm] a 543 [nm] pozbývají tím statutu samostatného etalonu.



Obrázek 9 - Uspořádání etalonu 633[nm] s interní jodovou kyvetou
(Obrázek převzat z přednášek Doc. Ing. Olgy Tůmové, CSc. k předmětu metrologie)



Obrázek 10 - Uspořádání etalonu 543[nm] s externí jodovou kyvetou
(Obrázek převzat z přednášek Doc. Ing. Olgy Tůmové, CSc. k předmětu metrologie)

7.4 Vývoj definic a etalonů hmotnosti

7.4.1 Veličiny spojené s hmotností

Hmota obecně má mnoho fyzikálních vlastností, které jsou pro ni charakterizující. Jednou z nich je její hmotnost. Hmotnost je fyzikální veličina vlastní hmotě, která je jednoznačně určená molekulárním složením, kterým je hmota tvořena. Máme-li hmotné těleso o stálých rozměrech a chemickém složení, je pro něj hmotnost vždy vlastnost neměnná, ať se vyskytuje v kterémkoliv prostředí. Ve vzduchu, ve vodě, na Měsíci, či ve volném prostoru ve vesmíru je hmotnost pro dané hmotné těleso vždy konstantní. Na venek se hmotnost tělesa nacházející se v gravitačním působení Země projevuje jako tíha tohoto

tělesa. Tíha, v současnosti často zaměňovaná s termínem váha, je vzájemné silové působení daného tělesa a planety Země. Tíha se běžně značí písmenem G a je dána vztahem

$$G = m \cdot g ,$$

kde m je hmotnost daného tělesa a g je tíhové zrychlení v gravitačním poli Země.

Velmi často se zaměňuje termín tíhové zrychlení s gravitačním zrychlením. Gravitační a tíhové zrychlení bychom mohli zaměnit pouze v případě, že Země nebude vykonávat rotační pohyb. Díky rotaci Země tedy nelze užívat termínu gravitačního zrychlení. Tíhové zrychlení je vyjádřením intenzity tíhového pole na povrchu Země. Toto tíhové pole je v soustavách spojených s povrchem Země superpozicí gravitační síly a setrvačné odstředivé síly způsobené zemskou rotací, jehož výslednicí je tíhová síla. Tíha je veličinou, která je již závislá na prostředí, ve kterém se dané těleso nachází. Pokud se tak těleso bude vyskytovat na povrchu Země a následně na povrchu Měsíce, bude tíha tohoto tělesa vždy rozdílná. Rozdílná velikost tíhy se dá pozorovat i na různých místech na Zemi. Tyto rozdíly jsou ovšem velmi malé. Jev je způsoben změnou odstředivé síly právě rotací Země kolem vlastní osy. Ta je největší na rovníku a nejmenší na zemských pólech. Tíhové zrychlení naměřené na rovníku je takto menší, nežli by tomu bylo při měření na pólech.

7.4.2 Váha

Veličina pojmenovaná jako váha, je dnes již veličinou zastaralou. Byla zavedena z důvodu popisu charakteristického množství látky stanoveného vážením. Tím, jak se definice jednotlivých fyzikálních veličin a jejich vzájemné vztahy vyvíjely, bylo nutné původní koncept, jakož to množství látky, nahradit jednoznačnými fyzikálními veličinami. Veličina označená jako váha v dnešní době v sobě nese dva významy.

Prvním z nich je veličina stejného charakteru, kterou dnes nazýváme hmotností. Váha je v tomto případě označení pro hmotnost v hovorové mluvě. Z charakteru poznatků získaných studiem z oboru relativity má váha v tomto smyslu přesnější vymezení.

Z důvodu relativnosti nelze tak prostřednictvím takového pojetí smyslu veličiny obecně charakterizovat množství látky. K možnosti zaměnění těchto dvou veličin může dojít pouze v nerelativistických případech. Podle dřívějších norem, jakou je například ČSN ISO 01 1302, se za váhu označovala veličina silového charakteru. Dnes takovou veličinu nazýváme tíhou. Prostřednictvím právě této veličiny můžeme provádět hmotnostní vážení.

Od roku 1994, kdy jsme přijali normu ČSN ISO 31-3 „Veličiny a jednotky, část 3 – Mechanika“, se váha neuvádí jako alternativní název hmotnosti či tíhy, a ani žádných jiných veličin. V současnosti je výše uvedená norma nahrazena normou ČSN ISO/IEC 80000 - 4 „ Veličiny a jednotky, část 4 - Mechanika“ platná od roku 2007.

7.4.3 Definice prostřednictvím daného objemu vody

Při tvorbě jednotek metrického systému se za jednotku hmotnosti definovala hmotnost jednoho centimetru krychlového čisté vzdušné vody při teplotě 3,98 [°C], kdy hustota vody při této teplotě dosahuje nejvyšší hodnoty. Této hodnotě hmotnosti byl přiřazen název jeden gram [g]. Bohužel již po sedmi letech od zavedení se ukázalo, že definovaná jednotka je z praktického hlediska příliš malá. Bylo tedy zapotřebí vymezit jednotku větší, načež se základní jednotkou stal kilogram [kg], který byl tisícinásobkem gramu. Podle této definice byl následně v roce 1799 vyroben prototyp z platiny.

7.4.4 Definice prostřednictvím prototypu v Sevres

Metrologie se snaží určovat základní jednotky mezinárodního systému tak, aby byly nezávislé na ostatních jednotkách a co možná nejméně závislé na okolních vlivech. V případě první definice jednotky hmotnosti z roku 1799 lze soudit, že k jejímu správnému číselnému určení je zapotřebí dalších dvou fyzikálních jednotek, jimiž je teplota a délka na ní závislá. Při měření probíhajícím o několik let později se zjistilo, že původní hodnota hmotnosti prototypu je o 27 [mg] větší, než jakou by měl skutečně podle definice mít. Muselo se proto přijít s jiným návrhem pro realizaci etalonu hmotnosti. V roce 1883 byly vyrobeny tři prototypy kilogramu vycházející z původní definice. Jeden z těchto tří byl vybrán a prohlášen prvním mezinárodním prototypem hmotnosti jednoho kilogramu. Je

realizován jako rovnostranný válec o shodném průměru a výšce 39 [mm]. Jako použitý materiál byla zvolena platina s příměsí iridia a palladia z důvodu lepších chemických a fyzikálních vlastností. Od roku 1899 tak platí nová definice základní jednotky hmotnosti, která říká, že kilogram je definován jako hmotnost prototypu uloženého v Mezinárodním úřadu pro míry a váhy v Sevres.



Obrázek 11 - Mezinárodní prototyp kilogramu
(Obrázek převzat z <http://www.converter.cz/prevody/historie-kilogram.htm>)

7.4.5 Další vývoj

Vzhledem k tomu, že etalon hmotnosti je jako jediný realizován fyzickým prototypem, podléhá tak působení okolních vlivů změně své hmotnosti. Z dlouhodobých měření se ukázalo, že za více jak 100 let se hmotnost prototypu zmenšila o 50 mikrogramů. Vědecká společnost se proto uchyluje k vytvoření nové definice kilogramu. Tato definice se s velkou pravděpodobností bude opírat o jednu z pevných fyzikálních konstant. Touto konstantou by měla být podle fyzika Michaela Stocka z Mezinárodního úřadu pro míry a váhy Planckova konstanta. Planckova konstanta vyjadřuje vztah mezi energií fotonu a frekvencí odpovídající jeho vlnové délce. Začínají se provádět pokusy, které by mohly jednoznačně dokázat vztah mezi touto konstantou a hmotností prostřednictvím např. magnetické síly.

7.5 Vývoj definic a etalonů času

7.5.1 Čas

Čas je jednou ze sedmi základních fyzikálních veličin, jejíž jednotka patří do mezinárodní soustavy SI. Jedná se o zvláštní veličinu, kterou samy osobně vnímáme, ale je pro nás velmi obtížně představitelná. Pokusy o pochopení času byly velmi dlouhou dobu problematikou filosofů a až později také přírodovědců. Pro povahu a smysl času dnes máme mnoho silně odlišných náhledů. Z tohoto důvodu je obtížné ustanovit jasnou definici. Čas tak můžeme definovat jako vzdálenost mezi událostmi na první souřadnici časoprostoru. Také můžeme říci, že čas je neprostorové lineární kontinuum, ve kterém má posloupnost událostí nevratné pořadí. Jako takový je čas významnou složkou struktury vesmíru. Z podstaty tohoto tvrzení se zavádí tzv. šipka času. Ta určuje smysl plynutí času, odpovídající právě směru rozpínání vesmíru.

7.5.2 Vznik a první definování sekundy

Měření času patří mezi nejstarší měření vůbec. Dříve lidé sice neužívali jednotky, jako máme dnes, přesto ale vnímaly jisté cyklicky se opakující přírodní jevy, jimiž jsou například roční období. Spolu s rozvojem kultury přišla i snaha pro měření času využívat kratší časové intervaly, jako dny nebo hodiny. Prvními kdo zavedl hodinu, byli staří Egypťané. Definovali ji jako jednu dvanáctinu délky trvání bílého dne, popřípadě noci v závislosti na ročním období. Astronomové z Helénské doby, včetně Hipparcha a Ptolemaia, předefinovali hodinu jako čtyřadvacetinu středního slunečního dne. K dělení této jednotky se začalo následně používat šedesátkové číselné soustavy vzniklé v Sumeru. Nutno dodat, že Sumerové tuto soustavu pro určování času nevyužívali, přesto že byli jejími objeviteli. Po dvojnásobném dělení hodiny šedesáti vznikla jednotka, která dnes nese název sekunda [s]. Sekunda tak byla definována jako $\frac{1}{86\,400}$ délky trvání středního slunečního dne. Pro určení času je dovoleno používat pouze název sekunda [s]. Dřívější synonymum vteřina se používá v současnosti jen pro označení velikosti úhlu.

7.5.3 Sekundové kyvadlo

Významným objevem pro rozvoj v měření času se staly Huygensovy kyvadlové hodiny, které vytvořil v roce 1655. Kyvadlo samotné velmi dobře popisuje již jeho latinský název „corpus pendulum“ neboli těleso visící. Toto zařízení zastává významnou úlohu v historii měření času. Kyvadlo je jednoduché zařízení s periodou kmitání, kterou lze snadno a poměrně přesně nastavit změnou jediného parametru, kterým je délka kyvadla. Oproti zdánlivému času měřeného slunečními hodinami se takto přímo mohl měřit průměrný časový interval. Stejně jako se stalo toto kyvadlo normálem pro jednotku délky, stalo se v roce 1660, po předložení návrhu Londýnské královské společnosti, zároveň normálem i pro jednotku času, jejíž rozměr odpovídal předchozí definici.

7.5.4 Definice na základě oběhu Země kolem Slunce

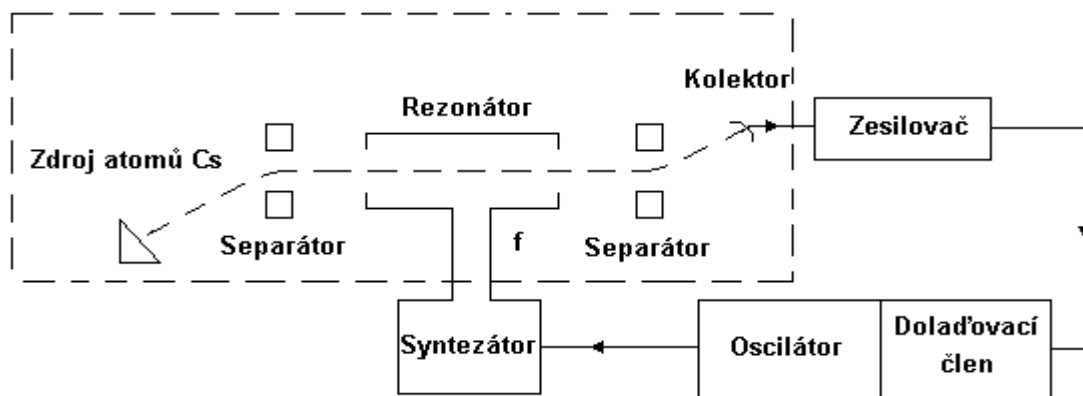
V roce 1938 předložili fyzikové Adolf Scheib a Udo Adelsberg důkaz, že rychlost rotace Země není konstantní. Vlivem slapových sil a nepravidelností změn v proudění magmatu mezi pláštěm a zemským jádrem její hodnota klesá. Kvůli zpomalování zemské rotace se sluneční den oproti dennímu času posouvá, proto se z důvodu kompenzace a začala vkládat tzv. přestupná sekunda. Zemská rotace kolem vlastní osy se od té doby nemohla považovat za dostatečně rovnoměrnou k použití při určování času. V roce 1956 tak byla sekunda definována na základě doby oběhu Země kolem Slunce pro konkrétní ekvinokcium (okamžik v čase spjatý se soustavou souřadnic, v níž se popisují polohy nebeských objektů). Pohyb Země byl zaznamenán v Newcombových slunečních tabulkách. Tyto tabulky obsahují vztah popisující pohyb Slunce k danému ekvinokciu na základě astronomických pozorování z let 1750 a 1892. Sekunda byla poté definována a v roce 1960 ratifikována na XI. Generální konferenci pro míry a váhy, jako $\frac{1}{31\,556\,925,9747}$ tropického roku (doba kulminace Slunce mezi dvěma jarními body). Tropický rok v definici nebyl změřen, ale byl vypočítán na základě vztahu popisujícího okamžitý tropický rok, jelikož se délka tropického roku mění.

7.5.5 Definice prostřednictvím atomových hodin

V roce 1955 vytvořil vědec Louis Essen první přesné atomové hodiny. Jejich přesnost byla úctyhodná a to taková, že za dobu 150 milionů let může dojít k odchylce maximálně jedné sekundy. S vývojem atomových hodin tak bylo rozhodnuto, že jejich užití bude vhodnějším základem definice sekundy, než doba oběhu Země kolem Slunce. Během následujících několika let pracoval již zmiňovaný Louis Essen a William Markowitz na určení vztahu mezi frekvencí přechodů velmi jemné struktury atomu cesia a efemeridové sekundy. Použitím měřicí metody společného pozorování určili oběžný pohyb Měsíce okolo Země a z něho mohli odvodit zdánlivý pohyb Slunce v časových úsecích měřených atomovými hodinami. V roce 1967 se XII. Generální konference pro míry a váhy v Paříži usnesla přijmout definici tzv. atomové sekundy, jako časový interval rovnající se 9 192 631 770 kmitům elektromagnetického záření, jež vzniká v atomu základního izotopu cesia 133 při změně jeho energetického stavu mezi hladinami $F(3,0)$ a $F(4,0)$ v nulovém magnetickém poli. Tato definice počítá s ideálními atomovými hodinami zahrnující jediný atom cesia emitující jen jednu frekvenci. V roce 1997 byla tato definice vylepšena dodatkem odkazujícím se na atom cesia v klidu při teplotě 0 [K].

7.5.6 Současný etalon času

Současný státní etalon je skupinovým etalonem zahrnující jak čas, tak i frekvenci. Z definice je vidět že tyto dvě veličiny spolu, ve funkci etalonu, úzce souvisí. Státní skupinový etalon frekvence a času se opírá o čtyři césiové svazkové generátory HP5071A, z jejichž přirozených frekvencí se vytvářejí čtyři nezávislé atomové stupnice. Hlavním frekvenčním zdrojem etalonu je césiový svazkový generátor HP5071A. Z jeho přirozené frekvence se jemným frekvenčním odsazením odvozuje česká realizace sekundy.



Obrázek 12 - Princip césiového generátoru
(Obrázek převzat z přednášek Doc. Ing. Olgy Tůmové, CSc. k předmětu metrologie)

7.6 Vývoj definic a etalonů teploty

7.6.1 Teplota

Teplota je ve své podstatě velmi úzce spojená s teplem. Teplo je vlastně souhrnná energie všech pohybujících se částic dané látky. Je-li pohyb těchto částic rychlejší, potom energie v systému stoupá. Kmitavému pohybu částic, konkrétně molekul, se říká Braunův pohyb. U pevných látek drží molekuly u sebe a při dodání energie jednoduše kmitají rychleji. V plynech, omezeně i v kapalinách, se mohou molekuly volně pohybovat a stejně jako u pevných látek je při dodání energie jejich pohyb urychlen. Mírou rychlosti pohybu těchto částic je právě teplota. Dodávám-li látce teplo tím, že ji zahřívám, dojde ke zvýšení její teploty. Kinetická energie částic se zvyšuje a jejich chvějivý pohyb je proto rychlejší. Nárůst teploty při dodání tepla závisí na vlastnostech látky. Smísí-li se teplejší látka s chladnou, částice teplejší látky mající vyšší energii se setkají s méně energetickými částicemi látky chladné a předají jim část energie. Tato energetická výměna pokračuje tak dlouho, dokud se teplota v soustavě nevyrovná. Teplota svým charakterem tedy určuje stav v dané soustavě. Je proto veličinou stavovou a konkrétně charakterizuje termodynamickou rovnováhu jakékoliv makroskopické soustavy.

Měření teploty mělo z historického hlediska velmi dynamický vývoj. Zprvu se teplota určovala podle tělesných pocitů (např. kováři se řídily barvou při nažhavení kovu). Prvními měřidly teploty se staly teploměry založené na tepelné roztažnosti různých látek. S vývojem technologií se světu dostalo dalších teploměrů založených na rozličných

fyzikálních jevech. S vývojem teploměrů došlo i ke stanovení teplotní stupnice, na které měření probíhalo. Stupnice byly však dříve nejednotné a nešlo proto ustanovit jednotkový teplotní standard. Až příchodem prvních normalizovaných teplotních stupnic můžeme mluvit o zavedení teplotních jednotek, které vycházeli z konstrukcí příslušných teploměrů.

7.6.2 Fahrenheitova teplotní stupnice

První známá teplotní stupnice pochází z roku 1724. Jejím vynálezcem je německý fyzik Daniel Gabriel Fahrenheit. Jako první referenční bod své stupnice zvolil Fahrenheit teplotu eutektické směsi ledu, vody a salmiaku. Domníval se, že je to nejnižší možná uměle dosažitelná teplota. Druhým bodem byla teplota zdravého lidského těla. Při konstrukci teploměru mezi tyto referenční body začlenil Fahrenheit stupnici, kterou rozdělil dvakrát po 12 dílech a každý z nich ještě na 4 další. Jeden stupeň Fahrenheita [°F] tak odpovídá velikosti jednoho nejmenšího dílku stupnice. Teplotě směsi ledu a vody s amoniakem mohl poté přiřadit hodnotu 0 [°F] normální teplotě těla 96 [°F]. Teplota lidského těla dříve odpovídala 90 [°F], ale z důvodu nepřesnosti byla tato hodnota později upravena na 96 [°F] (90 [°F] odpovídá 32,2 [°C], což je teplota, která určitě neodpovídá zdravému tělu). Díky přesnějšímu měření byla i tato teplota upravena na hodnotu 98,6 [°F] a dodatečně upravena byla také teplota pro tání ledu z 30 [°F] na 32 [°F]. S využitím této stupnice se setkáváme i dnes v některých anglosaských zemích.

7.6.3 Réamurova teplotní stupnice

V roce 1730 navrhl francouzský přírodovědec René Antoine Ferchault de Réaumur novou teplotní stupnici. Při realizaci této stupnice se opíral o dva základní teplotní body, kterými byly teplota tuhnutí vody a teplota jejího varu. Teplota, při níž se měnila voda v led, byla dána hodnotou 0 [°R]. Jeden stupeň Réamura se poté rovnal přírůstku odpovídajícího zvětšení objemu 80% lihu v lihovém teploměru o $\frac{1}{1000}$. Z této definice vyplývá, že hodnota teploty, při níž dochází k varu vody, je 80 [°R]. Svého času byla velmi rozšířená převážně ve Francii a to až do 20. Století. V současnosti se na ni téměř zapomnělo.

7.6.4 Celsiova teplotní stupnice

Švédský astronom Anders Celsius navrhl roku 1736 novou podobu teplotní stupnice s dvěma referenčními body. Za první referenční bod určil teplotu rovnovážného stavu chemicky čisté vody a jejího ledu při tlaku 101 325 [Pa]. Druhým bodem byla teplota rovnovážného stavu chemicky čisté vody a její syté páry při 101 325 [Pa]. Stupnici vloženou mezi tyto meze poté rozdělil na 100 stejných dílků, z nichž každý představoval velikost jednoho stupně Celsia se značením [°C]. Prvně popsanému bodu Celsius přiřadil hodnotu 100 [°C] a druhému hodnotu 0 [°C]. Původně tedy byla stupnice obrácená vůči té, kterou známe dnes. Stupnici v roce 1743 otočil až Carl Linné. Proto je dnes bod tání 0 [°C] a bod varu 100 [°C]. Tato teplotní stupnice je v současnosti velmi široce rozšířená a využívána.



Obrázek 13 - Klasický rtuťový lékařský teploměr s celsiovou stupnicí
(Obrázek převzat z <http://www.regiony24.cz/73-58032-klasicky-teplomer-zakazali-lekari-to-nechapou/>)

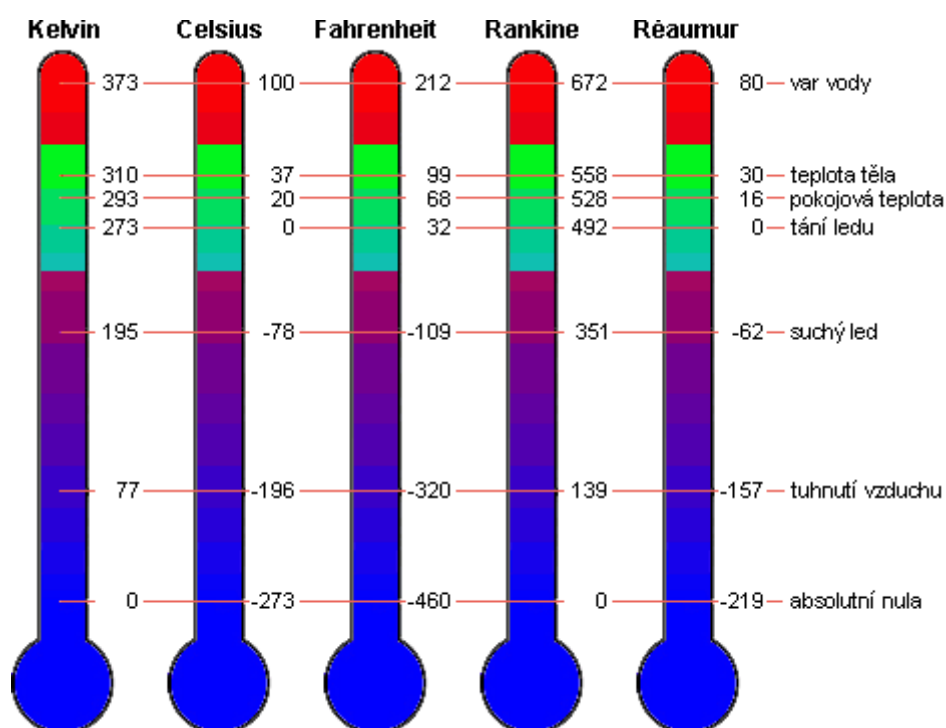
7.6.5 Kelvinova teplotní stupnice

Thomson, sir William lord Kelvin of Largs, byl významným skotským fyzikem. Byl to on, kdo poprvé použil termínu absolutní teplota. Už v roce 1852 představil světu první absolutní stupnici. Kelvinova teplotní stupnice, také nazývaná jako termodynamická teplotní stupnice, má počáteční bod určen absolutní nulou. Absolutní nula je hypotetický stav látky, při kterém ustane veškerý tepelný pohyb částic. Druhým základním bodem je teplota trojného bodu vody. Trojný bod je rovnovážný stav, při dané teplotě a tlaku, mezi

třemi základními skupenstvími látky. Vzhledem k tomu že se vycházelo z velikosti jednoho stupně Celsia, byla proto stupnice rozdělena na 273,16 dílků. V roce 1954 na X. generální konferenci vah a měr byla tato definice termodynamické teploty přijata a jednotkou termodynamické teploty se stal stupeň Kelvina [°K], jenž byl definován jako $\frac{1}{273,16}$ část termodynamické teploty trojného bodu vody. Až v roce 1967 na XIII. generální konferenci vah a měr byl změněn název jednotky termodynamické teploty na jednotku Kelvin [K].

7.6.6 Rankinova teplotní stupnice

Jedná se o teplotní stupnici z roku 1859 pojmenované po skotském inženýrovi Williamu Johnu Macquomu Rankinovi. Rozměr jednotky odpovídá rozměru jednoho stupně Fahrenheita. Změnou je pouze to, že její počátek je v absolutní nule. Jedná se tedy o absolutní teplotní stupnici, která je ekvivalentem Kelvinovi teplotní stupnice.



Obrázek 14 - Porovnání hodnot jednotlivých stupnic
(Obrázek převzat z <http://www.prevod.cz/teplomer.gif>)

7.6.7 Mezinárodní teplotní stupnice

Změny teploty ovlivňují různé fyzikálněchemické vlastnosti látek. Ty se tak mohou využít k jejímu měření. Velmi důležitá je teplotní změna objemu látek, na jejímž principu původně vznikla většina teploměrů. Jejich stupnice si však vynálezci tvořili sami, proto se údaje navzájem lišily. Velký pokrok v termodynamice přišel v roce 1852, kdy vznikla termodynamická teplotní stupnice popsaná lordem Kelvinem. Vzhledem k tomu, že termodynamickou teplotní stupnici nelze v praxi popsat Carnotým vratným cyklem, vychází tak z vlastností ideálního plynu a realizace je zprostředkována plynovým teploměrem. Teploměr je však naplněn skutečným plynem, proto je nutné získané hodnoty korigovat.

Přístrojů pro měření teplot přibývalo. Vedle kapalinových a plynových teploměrů vznikly teploměry odporové, termoelektrické a další. Bylo zavedeno mnoho teplotních stupnic a teplot (např. rtuťová, lihová, platinová), které se s rostoucí vzdáleností měřené teploty od zvolených pevných teplotních bodů od sebe více lišily. V roce 1887 vydal Mezinárodní výbor pro míry a váhy dohodu o způsobu měření teplot a realizoval tak snahu o sjednocení teplotního měření v praxi. Vyšel ze stupnice vodíkového teploměru, která měla sto dílků mezi dvěma pevnými teplotami (teplota tání ledu a teplota varu destilované vody při normálním atmosférickém tlaku). Plynový teploměr byl základním přístrojem pro určení pevných bodů teplotní stupnice.

V roce 1911 se na sjednocení teplotní stupnice a využití ve svých zemích dohodli tři národní laboratoře. Byly jimi Německá národní laboratoř PTR (Physikalisch-Technische Reichsanstalt), Velké Británie NPL (National Physical Laboratory) a Spojených států amerických NBS (NEDSS Base Systém). Toto úsilí bylo formálně schváleno v roce 1913 na V. Generální konferenci pro míry a váhy. Mezinárodní spolupráci však narušila válka. Až v roce 1927 na VII. generální konferenci pro míry a váhy, za přítomnosti zástupců 31 států, byla přijata tzv. Mezinárodní teplotní stupnice 1927 (International Temperature Scale of 1927) se zkratkou ITS - 27. S vývojem nových technologií se již brzy zjistilo, že teplotní stupnice z roku 1927 je nedostačující. Tuto Termodynamickou stupnici v roce 1948 nahradila nová s označením ITS - 48. Rozvoj v termodynamice zapříčinil další změnu v užívání termodynamické stupnice. V roce 1968 Mezinárodní úřad pro míry a váhy,

zmocněný XIII. Generální konferencí, uvedl Mezinárodní teplotní stupnici 1968 označenou jako ITS - 68. Ta přinesla rozsáhlé změny zabezpečující lepší shodu s termodynamickými teplotami. Jednou ze změn bylo například zavedení nových pevných bodů (Bod varu vody byl nahrazen bodem tuhnutí cínu). Na XV. generální konferenci v roce 1975 byla schválena úprava mezinárodní praktické teplotní stupnice IPTS - 68 . Podstatnou změnou byla definice bodu kyslíku jako bodu kondenzace namísto bodu varu.

Mezinárodní teplotní stupnice 1990 s označením ITS - 90 nahradila v současnosti dříve používané stupnice. ITS - 90 je vybudována na fyzikálních stavech několika různých látek (např. O₂, Ar, Hg, H₂O, Ga, Al, Ag, Au, Cu). Je definována v teplotním intervalu od 0,65 [K] do teplot v praxi měřitelných v podmínkách s využitím Planckova zákona při monochromatické radiaci. Rozmezí teplot se poté dělí do několika rozsahů a podrozsahů. Několik z nich se však překrývá, což znamená, že pro některé oblasti teplot existují různé definice. Definice tak poskytují pro jeden a ten samý stav různé číselné hodnoty. Jejich rozdíly jsou však zanedbatelné.

Jeden Kelvin je v současnosti pomocí této stupnice definován jako $\frac{1}{273,16}$ rozdílu mezi absolutní nulou a teplotou trojného bodu vody. Podle nových zpráv se uvažuje o předefinování této jednotky. Kelvin by pravděpodobně měl být určen, jako změna termodynamické teploty, kterou zapříčinila změna tepelné energie kT přesně o $1,380\ 605\ 05 \cdot 10^{-23}$ [J].

7.6.8 Etalon teploty

Současný státní etalon umístěný v Českém metrologickém institutu v Praze je složen z vybraných definičních bodů Mezinárodní teplotní stupnice ITS - 90, interpolačních platinových odporových teploměrů, které slouží pro definici teploty v oblastech mezi pevnými body a elektronického vybavení pro měření elektrického odporu odporových teploměrů.

8. Závěr

Způsob formulace názvu mé práce mi dovolil vybrat si pouze některé ze základních fyzikálních veličin soustavy SI. Veličiny, jimiž jsou délka, hmotnost, čas nebo teplota sahají do běžného života lidí více, než kterékoliv jiné. Z tohoto důvodu jsem ve své práci věnoval právě jim.

Při psaní práce jsem využíval mnoha zdrojů, v nichž se některé z informací vzájemně lišily. Snažil jsem se proto dodržovat jednotné údaje v celém obsahu práce.

Vypsání všech informací souvisejících s tématem práce je, vzhledem k jejich množství a omezenému počtu stran, nemožné. Pro svou práci jsem proto vybral jen ty informace, které považuji za opravdu důležité.

Smysl mé bakalářské práce je striktně informativní. Není tedy její součástí žádný výzkum ani experiment. Pokud by k mojí práci získali přístup studenti oboru metrologie, mohli by jim obsažené informace posloužit k přípravě otázek některých oborových předmětů.

Resumé

V této bakalářské práci jsem se zabýval historií vývoje definic a etalonů základních veličin mezinárodní měrové soustavy SI. Konkrétně jsem se zaměřil na čtyři základní veličiny (délka, hmotnost, čas, teplota) a jejich hlavní jednotky. Nejprve jsem se zaměřil na obecnou historii měření. Následně jsem se věnoval podstatě jednotek, pojmu etalon a zaměřením současné metrologie. Na závěr jsem rozepsal jednotlivé definice výše zmíněných jednotek

In this thesis I dealt with the history of the development of definitions and standards of basic quantities international SI unit of measurement. Specifically, I focused on four basic quantities (length, mass, time, temperature) and their main units. First, I focused on the general history of measurement. Then I described basically units, the concept of standard and metrology current focus. In conclusion, I described the definition above published units.

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 - Rozloha území starověkého Sumeru</i>	3
<i>Obrázek 2 - Egyptské malby zachycující proces vážení</i>	5
<i>Obrázek 3 - Čínský číselný zápis</i>	7
<i>Obrázek 4 - Pražský (vlevo) a vídeňský loket (vpravo)</i>	8
<i>Obrázek 5 - Struktura národního metrologického systému na území ČR</i>	9
<i>Obrázek 6 - Značka ČMI pro ověření stanoveného měřidla</i>	12
<i>Obrázek 7 - Obecné schéma návaznosti měřidel</i>	20
<i>Obrázek 8 - Prototyp mezinárodního metru z roku 1889</i>	27
<i>Obrázek 9 - Uspořádání etalonu 633[nm] s interní jodovou kyvetou</i>	29
<i>Obrázek 10 - Uspořádání etalonu 543[nm] s externí jodovou kyvetou</i>	29
<i>Obrázek 11 - Mezinárodní prototyp kilogramu</i>	32
<i>Obrázek 12 - Princip césiového generátoru</i>	36
<i>Obrázek 13 - Klasický rtuťový lékařský teploměr s celsiovou stupnicí</i>	38
<i>Obrázek 14 - Porovnání hodnot jednotlivých stupnic</i>	39

Tabulky

<i>Tabulka 1 - Příklady odvozených veličin</i>	16
<i>Tabulka 2 - Přehled násobků a dílů</i>	17
<i>Tabulka 3 - Přehled základních jednotek</i>	21

Seznam použité literatury

ZÁVIŠKA, František. *Mechanika: S užitím druhého vydání Strouhalovy-Kučerovy Mechaniky*. 1. vydání. Praha: Jednota čsl. matematiků a fyziků, 1933, 606 str.. Sborník Jednoty československých matematiků a fyziků ; č. 17. ISBN ----.

LUBOŠ, Nový a kol. *Dějiny exaktních věd v českých zemích: do konce 19. století*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd v Praze, 1961, 431 str. ISBN ----.

KEPLER, Ivan. *Míry, jednotky, veličiny*. 1. Vydání. Ostrava: REPRONIS Ostrava, 2000. 101 s. ISBN 80-86122-43-3

OBDRŽÁLEK, Jan. *Fyzikální veličiny a jednotky SI: 1. díl*. 1. vydání. Úvaly: ALBRA - Pedagogické nakladatelství Úvaly, 2004, 125 str.. ISBN 80-7361-002-7.

TŮMOVÁ, Olga. *Přednášky k předmětu Metrologie*, [pdf]. ZČU v Plzni, Katedra technologií a měření. Plzeň, 2013.

Internetové zdroje

- [1i] <http://www.starovekyegypt.net/zivot/miry.php> (11.1.2013)
- [2i] http://cs.wikipedia.org/wiki/Nov%C3%A1_%C5%99%C3%AD%C5%A1e (11.1.2013)
- [3i] http://www.cojakproc.cz/download/1795-cjp-29_vynalezy_22-23.pdf (12.1.2013)
- [4i] <http://masch.blog.cz/0707/miry-a-vahy-ve-starem-egypte> (12.1.2013)
- [5i] <http://myty.info/rservice.php?akce=tisk&cislocianku=2007100001> (11.1.2013)
- [6i] http://euler.fd.cvut.cz/predmety/matematika/historie/files/prednaska_cina.pdf (22.5.2013)
- [7i] <http://dokumenty.johannes.cz/ca/texty/cak.htm> (20.3.2013)
- [8i] http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=486973746f726965h&key=299 (15.6.2013)

- [9i] <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/matematika/vektory.pdf>
(27.5.2013)
- [10i] http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=59435&title=Mezin%20rod%20n%20FA%20F8ad%20pro%20m%20Dry%20a%20v%20hy&s_lang=2
(25.2.2013)
- [11i] http://www.unmz.cz/files/metrologie/st%3%A1tn%3%AD%20etalony/ECM%20110-1%2008-036_ozn%3%A1men%3%AD.pdf
(25.2.2013)
- [12i] http://cs.wikipedia.org/wiki/Historick%3%A1_metrologie
(25.2.2013)
- [13i] http://cs.wikipedia.org/wiki/Sekunda#Historick.C3.BD_v.C3.BDvoj
(24.4.2013)
- [14i] <http://www.cmi.cz/index.php?act=23&lang=1;>
(24.4.2013)
- [15i] http://www.1kspa.cz/kladno/dokumenty/stud_materialy/fyz/Teplo_a_teplota.pdf
(25.6.2013)
- [16i] http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/247_FNT_04.ppt
(25.6.2013)
- [17i] <http://fyzmatik.pise.cz/434-navrhy-novych-definici-zakladnich-jednotek-si.html>
(25.6.2013)