

2 Fyzikálne veličiny a jednotky

Pri pozorovaní určitého javu sa neuspokojujeme len so samotným zistením konkrétneho poznatku (napr. „zohrievaním kovy zväčšujú svoje rozmery“), ale snažíme sa o kvantitatívne vyjadrenie: napr. ako a o koľko sa zväčší dĺžka kovovej tyče, ak sa zmení teplota o určitý počet stupňov. Z toho dôvodu sa zaviedol termín fyzikálna veličina, ktorý sa jednoznačne viaže k určitej fyzikálnej vlastnosti materiálneho objektu. Na základe merania dokážeme fyzikálnu veličinu vyjadriť vo vhodne zvolených jednotkách. Podľa Maxwella je fyzikálna veličina rovná súčinu číselnej hodnoty (veľkosti) veličiny a jednotky (rozmeru):

$$X = \{X\} \cdot [X]$$

Hodnota X každej veličiny je podľa vzťahu určená dvomi činiteľmi, ktorými je určená kvalita i kvantita. Kvalita veličiny je určená rozmerom jej jednotky $[X]$ a kvantita je určená jej veľkosťou $\{X\}$ v jednotkách $[X]$.

Kvantitatívne fyzikálne zákony sa vyjadrujú fyzikálnymi rovnicami, t.j. vzťahmi medzi fyzikálnymi veličinami určujúcimi vlastnosti objektov. Pretože navzájom rovné si môžu byť len hodnoty veličín rovnakého druhu, musia byť kvalitatívne činitele na oboch stranách rovnice rovnaké.

Každý fyzikálnej veličine môžeme priradiť určitú veľkosť danú počtom jednotiek obsiahnutých v istej kvantite, čiže každú fyzikálnu veličinu možno merať. Meraním fyzikálnej veličiny rozumieme určenie jej veľkosti v daných jednotkách. Fyzikálne veličiny je možné merať v ľubovoľných jednotkách, volia sa však čo najúčelnejšie, aby výsledky meraní získané rôznymi pracovníkmi na rôznych miestach a v rôznych dobách bolo možné porovnávať a kontrolovať. Preto sa fyzikálne veličiny merajú v jednotkách stanovených presne a jednoznačne a to tak, aby ich „nepremennosť“ bola zaručená. Dá sa to dosiahnuť napríklad tak, že sa udá experimentálny predpis, ktorý stanoví postup, akým sa jednotka experimentálne realizuje alebo sa jednoducho zvolí za jednotku veličina, ktorú vykazuje určité jediné teleso a ktorá sa nazve prvotná jednotka alebo prototyp zvolenej jednotky. Všetky merania príslušnej veličiny sa potom porovnávajú, pokiaľ možno, s presnými kópiami prototypu, ktorého stabilita musí byť zaručená v dostatočnej miere.

Rôzne fyzikálne veličiny sú medzi sebou zviazané fyzikálnymi zákonmi, ktoré sú zas vyjadrené fyzikálnymi rovnicami. Určité vyjadrenie fyzikálnych vzťahov sa dá dosiahnuť len určitou voľbou fyzikálnych jednotiek. Voľba jednotiek tak umožňuje dosiahnuť čo najjednoduchšie vyjadrenie fyzikálnych vzťahov. Ak sa uvaží, že vo fyzike je viac rôznych druhov veličín ako vzťahov medzi nimi, ukazuje sa rozumným zaviesť jednotky tzv. základné t.j. nezávislé, z ktorých vychádzame pri definícii všetkých ďalších jednotiek, ktoré nazývame odvodené jednotky. Všetky základné a z nich odvodené jednotky tvoria sústavu jednotiek.

2.1 Jednotky fyzikálnych veličín

Vo všeobecnosti sa zákonné meracie jednotky delia do dvoch základných skupín. Prvú skupinu tvoria jednotky patriace do SI sústavy a druhú skupinu tvoria vedľajšie jednotky, ktoré sú síce zákonné, ale nepatria do SI sústavy. SI sústava a zaradenie jednotlivých jednotiek fyzikálnych veličín sa postupne vyvíja a dochádza k zmenám. Napríklad °C je dnes zaradený medzi odvodené jednotky, predtým však nepatril do SI sústavy a bol zaradený medzi vedľajšie jednotky SI. V minulosti existovala v rámci SI sústavy skupina doplnkových jednotiek, ale dnes už neexistuje a jednotky z nej boli zaradené do ostatných skupín v rámci SI sústavy.

2.1.1 Základné jednotky SI sústavy

Tabuľka 1 Prehľad základných jednotiek SI

Fyzikálna veličina	Názov jednotky	značka
hmotnosť	kilogram	kg
dĺžka	meter	m
čas	sekunda	s
elektrický prúd	Ampér	A
termodynamická teplota	Kelvin	K
látkové množstvo	mól	mol
svietivosť	kandela	cd

Definície základných jednotiek SI sústavy:

➤ *Definícia 1 kilogramu a jej vývoj*

Jednotka hmotnosti kilogram má doteraz zvláštne a výnimočné postavenie medzi základnými jednotkami metrickej sústavy SI. Nie je totiž odvodená a určená na základe všeobecného prírodného deja alebo mikroskopických vlastností hmoty, ale je stále definovaná pomocou prototypu, teda rovnakým spôsobom, ako sa to robilo v začiatkoch, kedy vznikali jednotné meracie systémy. Z najrôznejších dôvodov zostala jednotka kilogram definovaná dodnes úplne rovnako, ako bola zavedená pred 119 rokmi a nezmenil to ani vznik kvantovej mechaniky a teórie relativity. Definíciou kilogramu neotriasli ani nesmiernej pokroky v metódach merania. V súčasnosti sa vedci zaoberajú otázkou náhrady definície 1 kilogramu novšou a dokonalejšou definíciou, ktorá bude lepšie vyhovovať súčasným potrebám vedy a praxe.

Prototyp kilogramu, tak ako je teraz používaný, predstavuje kovový valček zo zliatiny 90 % platiny a 10 % irídia, ktorý je ponechaný v trezore spolu s jeho šiestimi kópiami v Medzinárodnom úrade pre miery a váhy vo Francúzsku, v Sèvres pri Paríži. O ňom podľa definície platí, že predstavuje hmotnosť jedného kilogramu. Je to vlastne jediný objekt na Zemi, o ktorom vieme jeho hmotnosť úplne presne. Ide ale len o zdanie. Číselne áno, ako plynie z definície, ale hmotnosť prototypu má samozrejme istú neurčitosť, ktorá je daná jednak obmedzenými možnosťami použitých metód jeho váženia a tiež sa môže časom meniť hmotnosť samotného prototypu. To spôsobuje vonkajšie prostredie, ktoré má vplyv na oxidáciu povrchu a spôsobuje difúziu plynov priamo dovnútra kovu. Pred vážením sa prototyp predpísaným spôsobom čistí, čím sa však všetky systematické chyby eliminovať nemôžu. Ideálne by bolo preto uchovávať prototyp vo vákuu bez dotyku podložky, uchytený

v nejakom magnetickom zavesení. Také možnosti však v čase prijatia prototypu za štandardu hmotnosti pred viac ako 100 rokmi neboli a tiež by sa musel vyriešiť problém, ako takto ponechaný prototyp vážiť. Je zrejmé, že sa zvyšujúcimi sa nárokmi v odbore metrológie sa skôr či neskôr musíme dostať do situácie, keď už definícia na základe prototypu nebude vyhovovať.



Obrázok 1 Prototyp kilogramu a trezor so 6 oficiálnymi kópiami uložený v Medzinárodnom úrade pre miery a váhy vo Francúzsku, v Sèvres pri Paríži (NIST , 2019)

Definícia 1 kilogramu: Hlavnou jednotkou hmotnosti je jeden kilogram. Kilogram je rovný hmotnosti medzinárodného prototypu kilogramu, uloženého v Medzinárodnom úrade pre váhy a miery v Sèvres pri Paríži. Na medzinárodný prototyp nadväzuje niekoľko desiatok kópií. Prototyp kilogramu vyrobila firma C. Longue v Paríži zo zliatiny platiny a irídia v pomere 9:1. Prototyp kilogramu vznikol na základe odvodenia od hmotnosti 1 decimetra kubického vody pri stanovenej teplote.

➤ *Definícia metra a jej vývoj*

Zavedenie novej jednotky dĺžky si vynútila moderná doba. Vedci, ktorí sa ujali vypracovania návrhu na novú medzinárodnú meraciu jednotku, chceli, aby sa nová jednotka dala hocikde znovu vytvoriť (reprodukovat') podľa daného návodu. Ako dostatočne trvalé sa im pre tento účel zdali rozmery Zeme. A tak vznikol meter definovaný pôvodne ako 1 desiat'miliónta časť zemského kvadrantu.

Meter má pôvod vo Francúzsku. Starou jednotkou dĺžky bola siaha. Aby sa dosiahlo jednotnosti tejto miery v celej krajine, bol zhotovený jeden prototyp meradla - v podstate kovová tyč, podľa ktorej sa vyrábali meradlá pre praktickú potrebu (tento spôsob je v podstate bežný dodnes). Koncom 17. storočia bol však tento prototyp tak opotrebovaný, že podľa neho už nemohli byť zhotovované presné meradlá. Boli preto vyrobené dve nové kópie nazývané *peruánska siaha* a *severná siaha* podľa toho, že s nimi Francúzska akadémia vied uskutočňovala merania v Peru a v Laponsku. Táto siaha sa delila na šesť kráľovských stôp a merala 1,949 m.

Nové kópie však mnoho nevyriešili, a tak v roku 1790 bola na návrh francúzskeho Národného zhromaždenia ustanovená medzinárodná vedecká komisia, ktorá mala zvoliť a určiť novú jednotku miery. Po dlhých sporoch bola nakoniec za novú jednotku zvolená dĺžka jednej desaťmiliontej časti zemského kvadrantu. Kvadrant je dĺžka poludníka Zeme medzi pólom a rovníkom, t. j. vlastne 1/4 obvodu Zeme v smere poludníka (to je dôležité pretože Zem nie je guľa, a tak jej obvod meraný pozdĺž rovníka je iný než obvod meraný pozdĺž poludníka).

Víťazné riešenie nebolo samozrejme jediné. Prvý návrh chcel napr. vziať za základ dĺžku sekundového kyvadla na 45° zemepisnej šírky, na rovnobežke prechádzajúcej v Európe južným Francúzskom, severným Talianskom, Juhosláviou v okolí Belehradu a Rumunskom. Potrebné merania zemského kvadrantu boli vykonané peruánskou siahou. Názov *mètre* (meter) navrhol Jean Charles Borda, francúzsky matematik a astronóm, podľa latinského slova *metrum*, ktoré je odvodené od gréckeho slova *métron*, čo znamená miera (v metrike básní).

Vo Francúzsku bol metron zavedený zákonom z roku 1795. Prvý prototyp metra mal tvar tyče s obdĺžnikovým prierezom (25 mm x 4,05 mm) a bol vyrobený z platiny. V roku 1797 tento prototyp uložili do štátneho archívu v Louvri a v roku 1799 bola zákonom stanovená definitívna prevodná hodnota pre staré francúzske miery. 1 meter = 443,295 938 (parížskych) čiarok peruánskej siahy. Dĺžka kvadrantu Zeme meraním stanovená ako 5 130 740 peruánskych siah a 1 desaťmilióna časť tejto vzdialenosti je - *meter*. To všetko pri teplote 16,5 °C alebo 13 °R, lebo v tej dobe sa vo Francúzsku používala pre meranie teploty stupnica Réaumurova.

Archívny meter - Neskoršie meranie s použitím omnoho presnejších prístrojov ako mali vedci 18. storočia ukázalo, že dodnes používaný meter sa v skutočnosti nerovná presne desaťmilióntej časti zemského kvadrantu. Po tomto zistení nastalo v metrologických kruhoch zdesenie. Zmeniť dĺžku metra podľa nových meraní zemského kvadrantu, aby skutočne zodpovedala jeho desaťmilióntej časti, nebolo možné. A tak bola stará definícia opustená a nahradená novou, ktorá umožňuje presnú reprodukciu prototypu metra uloženého v archíve Medzinárodného úradu pre váhy a miery v Sèvres v Paríži. Tento prototyp metra totiž slúžil a ešte dlho bude slúžiť ako vzor pre výrobu kópií, z ktorých sa potom odvodzujú všetky vyrábané meradlá v jednotlivých územiach používajúcich metrickú sústavu. Pretože je uložený v archíve, hovorí sa mu taktiež niekedy *archívny meter*. Konečnú podobu získal prototyp metra v roku 1886. Je to platinoirídiová tyč s prierezom v tvare H, na ktorej je dvoma vrypmi vyznačená vzdialenosť 1 m. Podľa toho prototypu bolo vyrobených celkovo 40 rovnakých tyčí.

Oranžový meter - Definícia metra pomocou vzdialenosti dvoch rysiek na prototypu bola praktická, ale nepostačovala stále vzrastajúcim nárokom na reprodukciu tejto základnej jednotky. Roku 1960 sa preto prišlo k novej definícii: meter je dĺžka rovnajúca sa 1 650 763,73 násobku vlnovej dĺžky žiarenia šíriaceho sa vo vákuu, ktoré prislúcha prechodu medzi energetickými hladinami 2p₁₀ a 5d₅ atómu kryptónu 86. Podľa tejto definície je meter možné reprodukovat' s presnosťou rádovo 10⁻⁹ (to znamená, že dĺžka kópie a originálu sú rovnaké ešte na deviatom mieste za desatinnou čiarkou). Rozhodujúcu úlohu pri tejto definícii hrá spektrálna čiara oranžovej farby, a preto sa novo definovanému metru populárne hovorí *oranžový meter*.



Obrázok 2 Prototyp metra (New world encyclopedia, 2019)

Definícia metra (Svetelný meter) - Od roku 1983 je meter definovaný jednoduchšie: dĺžka dráhy, ktorú prejde svetlo vo vákuu za $1/299\,792\,458$ s. Dôvodom k zavedeniu tejto definície je jej ešte väčšia presnosť. Sústava SI teda nie je strnulý, nemenný systém, ale skôr živý organizmus schopný reagovať na novo vzniknuté problémy a potreby v stále sa rozvíjajúcej vede a technike.

➤ *Definícia sekundy a jej vývoj*

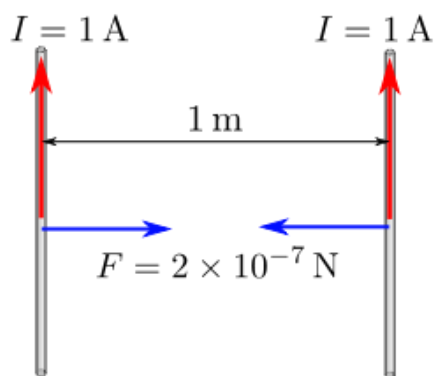
Pri meraní času neboli také problémy ako pri meraní dĺžky či hmotnosti. Pojmy ako hodina, minúta a sekunda boli všeobecne prijaté. A hoci využívali šesťdesiatkovú číselnú sústavu, nebol dôvod na ich zmenu. Pôvodná definícia sekundy sa iba spresnila. Sekunda bola definovaná ako $1/86\,400$ časť stredného slnečného dňa. Neskôr sa ale zistilo, že stredný slnečný deň sa postupne skracuje - asi o 0,001 sekundy za 100 rokov. Príčinou je trenie oceánov a pevniny pri prílivoch a odlivoch, a tým aj brzdenie rýchlosti otáčania Zeme okolo vlastnej osi. Preto sa v päťdesiatych rokoch 20. storočia definovala sekunda ako $1/86\,400$ časť stredného slnečného dňa tropického roku 1900. To platilo do roku 1967, keď sa prijal nový atómový štandard sekundy. Podľa neho je sekunda definovaná nasledovne:

Definícia sekundy - je základnou fyzikálnou jednotkou sústavy SI, jednotka času. 1 sekunda je čas trvania 9 192 631 770 periód elektromagnetického žiarenia, ktoré zodpovedá prechodu medzi dvoma hladinami veľmi jemnej štruktúry základného stavu atómu Cézia (^{133}Cs) pri teplote 0 kelvinov (podľa 13. CGPM, 1967 – 1968).

➤ *Definícia ampéra a jej vývoj*

Ampér (symbol A) je jednotkou SI pre elektrický prúd¹ a je jednou zo siedmich základných jednotiek SI. Bol pomenovaný po André-Marie Ampèrovi (1775 – 1836), francúzskom matematikovi a fyzikovi, ktorého považujeme za zakladateľa elektrodynamiky. Ampér sa používa na vyjadrenie toku elektrického náboja. 1 ampér sa rovná prenosu 1 coulombu za 1 sekundu. Ampér by sa nemal zamieňať s Coulombom (ampér-sekundou). Ampér je jednotkou toku, čiže množstva prechádzajúceho náboja za jednotku času, coulomb je jednotkou náboja. Jednotka SI pre náboj, coulomb, je množstvo náboja preneseného prúdom 1 A za 1 s. Naopak prúd 1 A predstavuje pretečenie náboja 1 C daným bodom vodiča za 1 s.

Ampérov silový zákon hovorí, že medzi dvoma vodičmi vedúcimi elektrický prúd existuje priťažlivá alebo odpudivá sila. Táto sila je použitá vo formálnej definícii ampéra, ktorý je definovaný nasledovne:



Obrázok 3 Ilustrácia k definícii 1 Ampéra

Ampér bol pôvodne definovaný ako desatina jednotky elektrického prúdu v sústave CGS. Táto jednotka sa volá abampér a bola definovaná ako množstvo prúdu, ktoré pri prechode 1cm vodičov vzdialených 1cm vyvolá silu 2 dyny.

Medzinárodný ampér bol predchodcom ampéra, bol definovaný ako prúd, ktorý z roztoku dusičnanu strieborného vylúči 0,001 118 000 gramov striebra za sekundu. Neskoršie merania určili tento prúd na 0,995 85 A.

Definícia ampéra – Jeden ampér je stály elektrický prúd, ktorý pri prechode dvomi priamymi rovnobežnými nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu umiestnenými vo vákuu vo vzájomnej vzdialenosti 1 meter vyvolá medzi nimi stálu silu $2 \cdot 10^{-7}$ Newtona na 1 meter dĺžky vodiča.

➤ *Definícia Kelvina a jej vývoj*

V roku 1848 písal Lord Kelvin vo svojej práci „On an Absolute Thermometric Scale“, o potrebe stupnice, kde by nekonečný chlad (absolútna nula) bola najnižším bodom stupnice, a ktorá by ako jednotku používala stupeň Celzia. Kelvin vypočítal, že absolútna nula bola rovná $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ na teplomerach v tej dobe. Táto absolútna stupnica je dnes známa ako Kelvinova stupnica termodynamickej teploty. Kelvinova hodnota -273 ako záporná prevrátená hodnota 0,00366 je všeobecne prijímaná hodnota koeficientu expanzie plynu pri zmene teploty o 1 stupeň.

Roku 1954 rezolúcia 3 z 10. Generálnej konferencie pre váhy a miery (GKVM) moderne zadefinovala Kelvinovu stupnicu pridaním trojného bodu vody ako jej druhého definičného rámca a priradila mu hodnotu presne 273,16 Kelvinov.

3. rezolúcia 13. GKVM v roku 1967 - 1968 nahradila stupeň Kelvina, $^{\circ}\text{K}$ a premenovala jednotku prírastku termodynamickej teploty na kelvin, symbol K. Štvrtá rezolúcia rovnakej konferencie zadefinovala 1 Kelvin ako $1/273,16$ termodynamickej teploty trojného bodu vody. V súčasnosti je navrhovaná redefinícia. Medzinárodný úrad pre váhy a miery (MUV) začal v roku 2005 s redefiníciami jednotiek pomocou prísnejších pravidiel. Súčasná definícia z roku 2010 nie je dostatočná pre teploty pod 20 K a nad 1300 K. Komisia navrhla definíciu kelvinu ako teplotnej stupnice, pre ktorú je hodnota Boltzmannovej konštanty presne $1,3806505 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.

Z vedeckého hľadiska by toto riešenie prepojilo teplotu so zvyškom SI a znamenalo stabilnú definíciu, nezávislú od hocijakej látky. Z praktického pohľadu bude redifinícia nepovšimnutá, voda bude stále mrznúť pri 0 °C (273,15 K/32 °F) (°F –stupeň Fahrenheita).

➤ *Definícia mólu*

Mól je jednotka látkového množstva sústavy. Označuje sa symbolom *mol*. Je základná jednotka sústavy SI. Názov *mól* sa pripisuje Wilhelmovi Ostwaldovi, ktorý tento koncept zaviedol v roku 1902. Používal ho na vyjadrenie gramovej molekulárnej hmotnosti látky. Takže, napríklad, 1 mól kyseliny chlorovodíkovej (HCl) má hmotnosť 36,5 gramu (atómové hmotnosti Cl: 35,5 u, H: 1,0 u) (u – medzinárodná hmotnostná jednotka).

Pred rokom 1959 IUPAP a IUPAC používali pre definíciu mólu kyslík. Chemici definovali mól ako počet atómov kyslíka s hmotnosťou 16 g, fyzici používali podobnú definíciu, ale iba s izotopom kyslík-16. Tieto dve organizácie sa v rokoch 1959/1960 dohodli na nižšie uvedenej definícii mólu označenej ako 1. Túto prijal Medzinárodný výbor pre váhy a miery (CIPM) v roku 1967 14. spoločná konferencia o váhach a mierach (CGPM). V roku 1980 CIPM vyjasnila definíciu – označenú 1. definíciou, že atómy uhlíka-12 sú neviazané základnom stave. 1 mól môžeme na základe predchádzajúcich poznatkov definovať nasledovne:

Definícia mólu – jeden mól je také množstvo látky v sústave, ktoré obsahuje presne toľko elementárnych entít, koľko je atómov v 0,012 kg uhlíka ¹²C.

Pojem elementárnej entity - keď sa jednotka mól používa, musí sa špecifikovať elementárna entita, čo môžu byť atómy, molekuly, ióny, elektróny, iné častice alebo špecifikované skupiny takýchto častíc. Počet entít v 0,012 kg uhlíka ¹²C je približne o $6,02214199 \cdot 10^{23}$ entít a toto číslo sa nazýva aj Avogadrova konštanta.

Mól je užitočný v chémii, lebo umožňuje meranie rozličných látok porovnateľným spôsobom. Pri použití toho istého množstva mólov dvoch látok majú obidve množstvá taký istý počet atómov alebo molekúl. Tým mól umožňuje praktickú interpretáciu chemických rovníc. Móly sú užitočné pri chemických výpočtoch, lebo umožňujú výpočet produktov a iných hodnôt pri počítaní s časticami odlišnej hmotnosti.

Počet častíc je v chémii jednotka užitočnejšia ako hmotnosť, pretože reakcie sa uskutočňujú medzi atómami (napríklad dva atómy vodíka a jeden atóm kyslíka tvoria molekulu vody) s veľmi odlišnými hmotnosťami (jeden atóm kyslíka váži takmer 16-krát viac ako atóm vodíka). Je však nepraktické používať samotné počty atómov, pretože sú rádovo veľmi veľké, napr. jeden mililiter vody obsahuje viac ako $3 \cdot 10^{22}$ (30 000 000 000 000 000 000 000) molekúl.

➤ *Definícia kandely a jej vývoj*

Kandela (symbol *cd*, angl. *candela*, latinsky *candela*) je jedna zo siedmich základných jednotiek SI. Jednotka svietivosti je jednou zo základných jednotiek SI sústavy od ktorej sú odvodené ostatné fotometrické veličiny. Prvé definície jednotky svietivosti sa zakladali na etalónoch žiarenia alebo žeraveného vlákna. Tieto definície boli nahradené definíciami, ktoré využívali svietivosť Planckovho žiariča (tzv. čierne teleso) pri teplote tuhnutia platiny. Deväta CGPM takúto definíciu ratifikovala v roku 1948, pričom pre jednotku svietivosti prijala nový názov – kandela. V roku 1967 prijala 13. CGPM (Resolution 5; CR, 104 a Metrologia, 1968, 4, 43 – 44) opravenú verziu predchádzajúcej definície. Prijatá definícia,

založená na Planckovom žiariči, trpela experimentálnymi problémami pri jej realizácii. Preto sa pri aktuálnej definícii využili nové možnosti, ktoré ponúka rádiometria.

Definícia kandely - Je to intenzita svetla (svietivosť) v danom smere zo zdroja, ktorý vyžaruje monochromatické žiarenie s frekvenciou 540.10^{12} Hz a má žiarivú intenzitu (žiarivosť) v tomto smere $1/683$ W na jeden steradián. Vybraná frekvencia je z viditeľného spektra, blízka svetlu zelenej farby. Ľudské oko je na túto frekvenciu najcitlivejšie.

2.1.2 Odvodené jednotky SI sústavy

Odvodené jednotky – nazývajú sa odvodenými, preto že vznikli odvodením zo základných jednotiek alebo z už odvodených jednotiek pomocou definičných vzťahov fyzikálnych veličín.

➤ *Odvodené jednotky bez vlastnej značky*

Odvodené jednotky zapisujeme v mocninnom tvare nie v tvare zlomku (Tab. 2).

Tabuľka 2 Prehľad odvodených jednotiek SI (bez vlastnej značky)

Jednotka fyzikálnej veličiny - značka	Fyzikálna veličina	Definičný vzťah	Postup odvodenia jednotky fyzikálnej veličiny
$kg.m^{-3}$	hustota	$\rho = \frac{m}{V}$	$[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{kg}{m^3} = kg.m^{-3}$
$m.s^{-1}$	rýchlosť	$v = \frac{s}{t}$	$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{m}{s} = m.s^{-1}$
m^2	plošný obsah	$S = a b$	$[S] = [a][b] = m.m = m^2$
m^3	objem	$V = a b c$	$[V] = [a][b][c] = m.m.m = m^3$
$m^3.s^{-1}$	prietokový objem	$Q = \frac{V}{t}$	$[Q] = \frac{[V]}{[t]} = \frac{m^3}{s} = m^3.s^{-1}$

➤ *Odvodené jednotky s vlastnou značkou*

Odvodené jednotky s vlastnou značkou boli pomenované vo väčšine prípadov podľa známych fyzikov a vedcov a zavedením ich značiek prišlo k racionalizácii ich zápisu.

Tabuľka 3 Prehľad odvodených jednotiek SI (s vlastnou značkou)

Fyzikálna veličina	Jednotka fyzikálnej veličiny	Značka	Postup odvodenia rozmeru jednotky fyzikálnej veličiny
frekvencia	Hertz	Hz	$Hz = [f] = \frac{1}{[T]} = \frac{1}{s} = s^{-1}$
sila	Newton	N	$N = [F] = [m][a] = kg.m.s^{-2}$
tlak	Pascal	Pa	$Pa = [p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{N}{m^2} = \frac{kg.m.s^{-2}}{m^2} = kg.m^{-1}.s^{-2}$
práca	Joule	J	$J = [W] = [F][s] = N.m = kg.m.s^{-2}.m = kg.m^2.s^{-2}$
výkon	Watt	W	$W = [P] = \frac{[W]}{[T]} = \frac{J}{s} = \frac{kg.m^2.s^{-2}}{s} = kg.m^2.s^{-3}$
Elektrický náboj	Coulomb	C	$C = [Q] = [I][t] = A.s$
Elektrické napätie, potenciál el. poľa	Volt	V	$V = [\varphi] = \frac{[E_p]}{[Q]} = \frac{J}{C} = \frac{kg.m^2.s^{-2}}{A.s} = kg.m^2.s^{-3}.A^{-1}$ Poznámka: el. napätie je definované ako rozdiel el. potenciálov $U = \varphi_2 - \varphi_1$

Pri odvodených jednotkách s vlastnou značkou zvykneme uvádzať tzv. rozmer jednotky fyzikálnej veličiny, ktorý je vyjadrením jednotky pomocou základných jednotiek SI, ktoré sú zväčša v zápise rozmeru jednotky fyzikálnej veličiny uvádzané v mocninnom tvare.

V tabuľke 3 sú vedené fyzikálne veličiny, ich jednotky, značky odvodených jednotiek, ktoré majú vlastnú značku, pričom sú prezentované aj postupy odvodenia rozmerov jednotiek jednotlivých fyzikálnych veličín.

2.1.3 Násobky a diely jednotiek SI sústavy

Násobky a diely sa tvoria pomocou normalizovaných predpôn, z ktorých najpoužívanějšíe sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 4 Prehľad normalizovaných predpôn v SI sústave

DIELY			NÁSOBKY		
predpona	značka	činiteľ	predpona	značka	činiteľ
deci	d	10^{-1}	deka	da	10^1
centi	c	10^{-2}	hekto	h	10^2
mili	m	10^{-3}	kilo	k	10^3
mikro	μ	10^{-6}	mega	M	10^6
nano	n	10^{-9}	giga	G	10^9
piko	p	10^{-12}	tera	T	10^{12}
femto	f	10^{-15}	peta	P	10^{15}
atto	a	10^{-18}	exa	E	10^{18}

2.1.4 Vedľajšie jednotky

Vedľajšie jednotky – nepatria do SI sústavy, ale zákon umožňuje ich používanie nakoľko si to vyžiadali potreby každodennej praxe. Prehľad vedľajších jednotiek je uvedený v tabuľke 5.

Poznámka: V minulosti aj v súčasnosti sa v praxi používa aj jednotka ár (značka $\acute{a}$), táto jednotka však nepatrí medzi zákonné meracie jednotky, jej používanie v praxi má však historické opodstatnenie, ale v protokole z laboratórneho merania, bakalárskej resp. diplomovej práci by sme sa mali vyvarovať jej použitia a uviesť plošný obsah v niektorej zo zákonných meracích jednotiek m^2 alebo ha . Pre čitateľa však uvádzame vzťah k jednotkám SI: $1 \acute{a} = 100 m^2$.

Tabuľka 5 Prehľad vedľajších jednotiek

Fyzikálna veličina	Jednotka fyzikálnej veličiny	Značka	Vzťah k jednotkám SI
rovinný uhol	stupeň uhlový	(°)	$1^{\circ} = \left(\frac{\pi}{180}\right) rad$
	minúta uhlová	(')	$1' = \left(\frac{\pi}{180.60}\right) rad = \left(\frac{\pi}{10800}\right) rad$
	sekunda uhlová	('')	$1'' = \left(\frac{\pi}{180.60.60}\right) rad = \left(\frac{\pi}{648\,000}\right) rad$
čas	minúta	min	$1 min = 60 s$
	hodina	h	$1 h = 3600 s$
	deň	deň, d	$1 deň = 86\,400 s$
hmotnosť	tona	t	$1 t = 1000 kg$
	gram	g	$1g = 0,001 kg$
objem	liter	l	$1 l = 1 dm^3 = 0,001m^3$
plošný obsah	hektár	ha	$1 ha = 10\,000 m^2$
optická mohutnosť	dioptria	D	$1 D = 1 m^{-1}$
atomová hmotnostná konštanta	atomová hmotnostná jednotka	u	$1 u = 1,660\,57 \cdot 10^{-27} kg$
rýchlosť	kilometer za hodinu	km.h ⁻¹	$1 km.h^{-1} = 1 \frac{km}{h} = 1 \cdot \frac{1000 m}{3600 s} = \frac{1}{3,6} m.s^{-1}$ $1 m.s^{-1} = 1 \frac{m}{s} = 1 \cdot \frac{\frac{1}{3600} km}{\frac{1}{1000} h} = \frac{3600 km}{1000 h} = 3,6 km.h^{-1}$
energia	kilowatthodina	kWh	$1 kWh = 1000 W.h = 1000.3600 W.s = 3600000 W.s = 3600000 J = 3,6 MJ$
	elektrónvolt	eV	$1 eV = 1,60219 \cdot 10^{-19} J$
dĺžka	astronomická jednotka	AU	$1 UA = 1,496 \cdot 10^{11} m$
	parsek	pc	$1 pc = 3,086 \cdot 10^{16} m$
	svetelný rok	ly	$1 ly = 9,461 \cdot 10^{15} m = 63241,077 AU = 0,306601 pc$