Podklady pro začínající studenty na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni

Aneb cesta tam a zase zpátky k základním znalostem matematiky a fyziky

Katedra energetických strojů a zařízení

verze 2020.04

Autor:	Ing. Martin Novák
Spoluautor:	Ing. Lukáš Hurda
Autor příkladů:	Ing. Petr Pavlíček
Stylistická recenze:	Ing. Eva Berková

Obsah

1. Úvod

Tento dokument je určený zejména pro studenty prvního ročníku na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Avšak dá se očekávat, že i studenti pozdějších ročníků, případně i studenti z jiných fakult či středních až základních škol zde mohou najít přehledné shrnutí základních fyzikálních a matematických znalostí, které jsou nezbytné pro další působení ve školním prostředí a následně v běžném životě technika.

Tento dokument je studijním textem k předmětu Člověk a energie na katedře Energetických strojů a zařízení (zkratka KKE/CE). Má za cíl sjednotit znalosti fyziky a matematiky ze základních a středních škol, jelikož si jsem vědom toho, že každý student má za sebou jiný typ vzdělání, ať už se jedná o gymnázium či jinou střední školu, případně nástavbu. Stejně tak každá škola poskytuje svým studentům jinou kvalitu výuky. Proto jsem se rozhodl vytvořit studijní materiál na takové úrovni, která si dává za cíl sjednotit znalosti všech studentů. Takže se dá očekávat, že někteří studenti si budou tzv. „klepat na čelo“, jelikož dále uvedené informace jsou jim přeci „jasné“. Avšak je nezbytné si uvědomit, že jsou zde i studenti, kteří některé informace zde uvedené nemají tak dobře zažité, a proto je nezbytné je zopakovat, aby v pozdějších ročnících měli na čem stavět, jelikož je nezbytné mít pevné základy.

Nebudu zastírat, jak je tento text je tvořen. Převážné množství teoretických informací zde je převzato z literatury či zdrojů, které se danou problematikou zaobírají, jelikož mi přijde rozumné a logické, že co je jednou vymyšlené, není potřeba vymýšlet znovu. Jedná se o takovou „rešerši“ na jednotlivá témata uvedená v obsahu. Teď se množná čtenář ptá sám sebe: „Proč to teda mám číst, když všechny informace jsou někde jinde?“. Inu, víceméně všechny informace už někde najdete, ale tady jsou pohromadě a jsou vybrané vyučujícím, který prošel tímto vzdělávacím institutem.

Předmět Člověk a energie je předmět, který si dává za cíl uvést studenty do problematiky energetiky nejen v České republice, ale i v celosvětovém měřítku. Jelikož je energetika poměrně rozsáhlou oblastí, nedá se tedy říct, že by se v jednotlivých tématech zabíhalo příliš do hloubky. Jde nám zejména o to, aby student po absolvování tohoto předmětu věděl, jak fungují klasické, jaderné, sluneční, vodní a větrné elektrárny. A nejen to, dozvíte se, jak to v takových elektrárnách vypadá v rámci virtuálních exkurzí a nepůjde pouze o virtuální exkurze, v rámci předmětu se podíváme i do reálných provozů, které pracují v energetickém oboru.

Vítejte na Západočeské univerzitě, přeji Vám hodně štěstí.

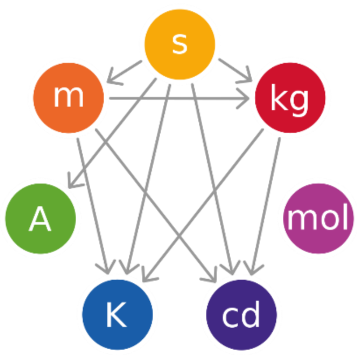
2. Základní fyzikální veličiny

Fyzikální veličina je, jako každá veličina, určitá vlastnost jevu, tělesa nebo látky, která má velikost, jež může být vyjádřena jako číslo a reference. Lze ji změřit nebo s ní počítat. Hodnota dané veličiny je udávána prostřednictvím srovnání s pevně zvolenou hodnotou veličiny stejného druhu, kterou volíme za měřící jednotku. Číselná hodnota fyzikální veličiny je závislá na volbě měřící jednotky, kterou nazýváme jednotka (fyzikální veličiny). Fyzikální jednotka je míra veličiny, definovaná a přijatá konvencí, jíž přisoudíme hodnotu 1, se kterou může být porovnávána jakákoliv jiná hodnota stejné veličiny vyjádřením podílu dvou hodnot jako čísla. Vztahy mezi veličinami vedly k nutnosti zavedení soustav jednotek. Mezinárodně se v současné době používá soustava SI.

Soustava SI (zkratka z francouzského „Le Système International d'Unités“ – česky „Mezinárodní systém jednotek“) je mezinárodně domluvená soustava jednotek fyzikálních veličin, která se skládá ze sedmi základních jednotek. Původní systém mezinárodních jednotek byl používaný zhruba od roku 1874. V roce 1960 byla Soustava SI vyhlášena jako mezinárodně platná, načež začala být postupně implementována do právních řádů jednotlivých států. Od roku 2011 probíhala příprava nových definic stávajících jednotek na základě vazby k pevně stanoveným hodnotám přírodních konstant, která byla definitivně schválena na konferenci konané v listopadu 2018 ve Versailles, která následně 20. května 2019 vstoupila v platnost.

Základní fyzikální veličiny dané soustavy veličin a jednotek jsou fyzikální veličiny, které tato soustava bere jako vzájemně nezávislé a pomocí kterých definuje všechny ostatní, tzv. odvozené veličiny. Hlavní jednotky všech základních veličin jsou pak v dané soustavě nazývány základními jednotky.

Fyzikální veličina	Značka veličina	Jednotka	Značka
Čas	t	sekunda	s
Délka	l	metr	m
Hmotnost	m	kilogram	kg
Elektrický proud	I	ampér	A
Termodynamická teplota	T	kelvin	K
Látkové množství	n	mol	mol
Svítivost	I	kandela	cd



Obrázek 1 Sedm základních jednotek SI a jejich vzájemná závislost

Čas vyjadřuje následnost událostí a umožnuje vyjádření změn a pohybů. Čas a doba jsou jedny ze základních fyzikálních veličin, které bývá užitečné rozlišovat takto:

- čas (čas jedné události) určuje okamžik události na časové ose (tj. první souřadnici časoprostoru)
- doba určuje časovou vzdálenost mezi dvěma událostmi, rozdíl mezi časy dvou událostí

Hlavní jednotka času je „sekunda“, hlavní značka jednotky je „s“. Značka veličiny bývá zpravidla „t“, ale lze se setkat i s „τ“ (použitá značka veličiny se může lišit podle autora, proto je vždy nezbytné si definovat, co se v daném textu zrovna používá).

Hmotnost vyjadřuje setrvačné vlastnosti hmotných objektů a charakterizuje jejich schopnost gravitačně silově působit. Hmotnost je aditivní vlastnost hmoty (vlastnost jednotlivých hmotných těles), která vyjadřuje míru setrvačných účinků či míru gravitačních účinků hmoty.

Hlavní jednotka hmotnosti je „kilogram“, hlavní značka jednotky je „kg“. Značka veličiny bývá zpravidla „m“ (použitá značka veličiny se může lišit podle autora, proto je vždy nezbytné si definovat, co se v daném textu zrovna používá).

Délka vyjadřuje základní geometrické vlastnosti materiálního světa. Je to jedna ze základních fyzikálních veličin. Pomocí délky se vyjadřuje vzájemná poloha a rozprostraněnost objektů v prostoru.

Hlavní jednotka délky je „metr“, hlavní značka jednotky je „m“. Značka veličiny bývá zpravidla „l“, ale lze se setkat i s „s“ (použitá značka veličiny se může lišit podle autora, proto je vždy nezbytné si definovat, co se v daném textu zrovna používá).

Elektrický proud charakterizuje průchod náboje za jednotku času, je to uspořádaný pohyb nosičů elektrického náboje.

Hlavní jednotka elektrického proudu je „ampér“, hlavní značka jednotky je „A“. Značka veličiny bývá zpravidla „I“ (použitá značka veličiny se může lišit podle autora, proto je vždy nezbytné si definovat, co se v daném textu zrovna používá).

Látkové množství je podíl hmotnosti látky a její molární hmotnosti nebo objemu látky a jejího molárního objemu nebo skutečného počtu částic a počtu částic v 1 molu. Je to fyzikální veličina vyjadřující počet entit (elementárních jedinců), kterými jsou zpravidla částice nějaké látky (atomy, ionty, molekuly), fotony záření v látce.

Hlavní jednotka látkového množství je „mol“, hlavní značka jednotky je „mol“. Značka veličiny bývá zpravidla „n“ (použitá značka veličiny se může lišit podle autora, proto je vždy nezbytné si definovat, co se v daném textu zrovna používá).

Termodynamická teplota vyjadřuje makroskopické projevy intenzity mikroskopického chaotického pohybu ustálených souborů velkého množství částic. V obecném významu je to vlastnost předmětů a okolí, kterou je člověk schopen vnímat a následně díky teplotě těch předmětů jim přiřadit pocity studeného, teplého či horkého.

Hlavní jednotka termodynamické teploty je „kelvin“, hlavní značka jednotky je „K“. Značka veličiny bývá zpravidla „T“ (použitá značka veličiny se může lišit podle autora, proto je vždy nezbytné si definovat, co se v daném textu zrovna používá).

Svítivost udává prostorovou hustotu světelného toku zdroje v různých směrech. Svítivost lze určit pouze pro bodový zdroj, tj. pro zdroj, jehož rozměry jsou zanedbatelné v porovnání se vzdáleností zdroje od kontrolního bodu.

Hlavní jednotka svítivosti je „kandela“, hlavní značka jednotky je „cd“. Značka veličiny bývá zpravidla „I“ (použitá značka veličiny se může lišit podle autora, proto je vždy nezbytné si definovat, co se v daném textu zrovna používá).

a. Délka

Délka vyjadřuje základní geometrické vlastnosti materiálního světa. Je to jedna ze základních fyzikálních veličin. Pomocí délky se vyjadřuje vzájemná poloha a rozprostraněnost objektů v prostoru. V běžném nefyzikálním použití se délkou charakterizuje velikost nejdelšího rozměru určitého tělesa či abstraktního objektu, tedy přímou vzdálenost dvou jeho krajních bodů. Ostatní délkové charakteristiky mají speciální názvy (šířka, tloušťka, výška, hloubka).

Základní jednotka délky v SI je metr, značka „m“. Zjednodušená definice metru podle soustavy SI: Metr je délka, kterou urazí světlo ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy. S touto definicí si bohatě vystačíme, ale pro úplnost zde uvedeme i úplnou definici: „Metr, značka „m“ je jednotka délky v SI. Je definována fixací číselné hodnoty rychlosti světla ve vakuu „c“, aby byla rovna 299 792 458, je-li vyjádřena jednotkou [m s^{-1}], kde sekunda je definována pomocí cesiové frekvence $\Delta\nu_{C_s}$“.

Díly a násobky metru lze definovat pomocí jednotných dílů a násobků, které budou uvedeny dále v této kapitole, proto zde není potřeba o nich mluvit, avšak zde budou ještě uvedeny nemetrické jednotky délky a jak s těmito jednotkami pracovat. Tyto jednotky jsou běžně používané v jiných státech, zejména v Severní Americe a Velké Británii.

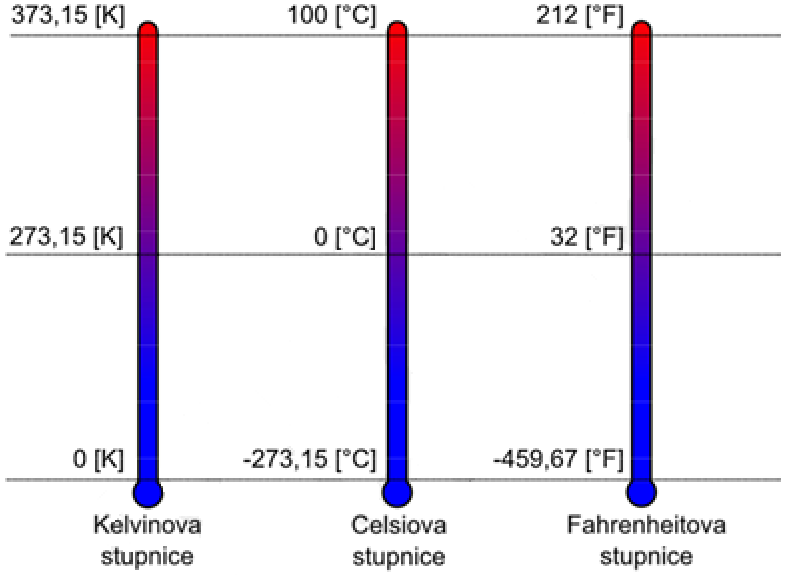
Název jednotky	Zkratka jednotky	[m]
palec/coul (ang. inch)	in	0,00254
stopa (ang. feet)	ft	0,03048
yard	yd	0,9144
míle	mi	1609,34
námořní míle	NM	1851,851

b. Teplota

Termodynamická teplota (též absolutní teplota nebo zkráceně teplota) je fyzikální stavová veličina dobře definovatelná pro termodynamické systémy ve stavu termodynamické rovnováhy, rostoucí s růstem vnitřní energie systému. Teplota je základní fyzikální veličinou soustavy SI s plným názvem termodynamická teplota, jednotkou kelvin [K] a vedlejší jednotkou stupeň Celsia [°C]. Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly [0 K; −273,15 °C], ke které se lze libovolně přiblížit, avšak nelze jí dosáhnout. Teplota je ústředním pojmem termiky a klíčovou veličinou pro popis tepelných jevů. Projevuje se i v mnoha dalších fyzikálních jevech a závisí na ní mnohé makroskopické mechanické, elektromagnetické i chemické vlastnosti látek.

Základní jednotka termodynamické teploty je kelvin, značka „K“. Nová definice kelvinu zní následovně: „Je definován fixací číselné hodnoty Boltzmannovy konstanty k, aby byla rovna 1,380 649 x 10^{-23}, je-li vyjádřena jednotkou [J K^{-1}], rovnou [kg m^{2} s^{-2} K^{-1}].

Násobky a dělitele se u jednotek teploty běžně nepoužívají. Pro přehlednost a úplnost zde budou uvedeny teplotní škály (jednotky), které se běžně používají.



Obrázek 2 Běžně používané teplotní stupnice

Jak se dopočítat jednotlivých teplot si ukážeme na následujících obecných vzorcích:

$$T_{[K]} = T_{[°C]} + 273{,}15$$

$$T_{[K]} = \frac{5\left(T_{[°F]} + 459{,}67\right)}{9}$$

$$T_{[°C]} = T_{[K]} - 273{,}15$$

$$T_{[°C]} = \frac{5\left(T_{[°F]} - 32\right)}{9}$$

$$T_{[°F]} = \frac{9T_{[°C]}}{5} + 32$$

$$T_{[°F]} = \frac{9T_{[K]}}{5} - 459{,}67$$

Pro názornost si uvedeme několik vybraných hodnot teplot a jejich číselné hodnoty:

$$0\ K = -273{,}15\ °C$$

$$0\ K = -459{,}67\ °F$$

$$0\ °C = 273{,}15\ K$$

$$0\ °C = 32\ °F$$

$$0\ °F = 255{,}372\ K$$

$$0\ °F = -17{,}778\ °C$$

Poslední poznámka k termodynamické teplotě se týká samotného zápisu teploty. V předmětu Člověk a energie a v Termomechanice se používají dva rozdílné pojmy. Termodynamickou teplotou (značka „T“) se rozumí teplota v kelvinech, kdežto pokud použijeme pojem teplota (značka „t“) rozumíme tím teplotu ve stupních Celsia. Vzhledem k těmto novým skutečnostem, si ukážeme ještě nějaké matematické operace, co platí (neplatí):

$$T_1 - T_2 = t_1 - t_2$$

$$\frac{T_1}{T_2} \neq \frac{t_1}{t_2}$$

Příklad: Převeďte 230 °C na °F a K.

Příklad: Převeďte 550 °F na °C a na K.

c. Hmotnost

Hmotnost je aditivní vlastnost hmoty (tedy vlastnost jednotlivých hmotných těles), která vyjadřuje míru setrvačných účinků či míru gravitačních účinků hmoty. Ekvivalence setrvačných a gravitačních sil je postulována obecnou teorií relativity a je s velkou přesností experimentálně ověřena. Hmotnost je obdobná charakteristika hmoty jako např. energie, elektrický náboj apod.

Hmotnost se fyzikálně projevuje dvěma způsoby, podle nich se označuje jako setrvačná, resp. gravitační. Jako setrvačná hmotnost se označuje míra, kterou je silovým působením měněn pohybový stav hmotného tělesa. Jako gravitační hmotnost se označuje míra, kterou na sebe gravitačně působí hmotná tělesa.

Jednotkou hmotnosti je kilogram, značka „kg“. Standardní jednotka hmotnosti (původně nazývaná grave) byla koncipována jako hmotnost jednoho litru vody. Jako definici této jednotky však první Generální konference pro míry stanovila hmotnost prototypu kilogramu, válečku z platino-iridiové slitiny. Tato definice je však již zastaralá, ale je zajímavá, proto je zde uvedena. Nová definice kilogramu zní následovně: „Je definována fixací číselné hodnoty Planckovy konstanty h, aby byla rovna 6,626 070 15 x 10^{-34}, je-li vyjádřena jednotkou [J s], rovnou [kg m^2 s^{-1}].“

Kromě základní jednotky se používají i některé násobky a díly, avšak jsou běžně používány i jiné jednotky, které si zde pro přehlednost uvedeme. Všimněte si, prosím, jednotky „dekagram“, který má zkratku dkg, ačkoliv zkratka násobku deka je „da“.

Název jednotky	Zkratka jednotky	[kg]
grain	gr	$64{,}798\,92 \cdot 10^{-6}$
dekagram	dkg	0,01
libra (ang. pound)	lb	0,453 592 37
„metrák“	q	100
tuna	t	1000

d. Čas

Čas je jedna ze základních fyzikálních veličin. Čas jako souřadnice je také vzdálenost dvou okamžiků, a to uvedeného, zkoumaného, určovaného okamžiku a nulového okamžiku počátku, zpravidla zamlčeného. V běžné řeči jsou tato dvě slova plně synonyma. Čas i doba mají zásadní význam pro lidský život, který je z povahy věci časově omezený („nemám čas“, „to je ale doba!“), pro organizaci lidské společnosti včetně hospodářství.

Čas se dá také definovat jako neprostorové lineární kontinuum, v němž se události stávají ve zjevně nevratném pořadí. Jako takový je podstatnou složkou struktury vesmíru. Je velmi obtížné, až nemožné, si čas nějak představit. Pokusy o pochopení času byly po dlouhou dobu především doménou filosofů, později i přírodovědců. Na povahu a smysl času existuje množství silně odlišných náhledů, a je proto obtížné nabídnout jeho nekontroverzní a jasnou definici.

„Čas je napočítaný pohyb ve vztahu k před a po.“ – Aristotelés

Jednotkou času je sekunda, značka „s“. V běžné mluvě bývá užíváno i slovo vteřina, které ale v oblasti vědy, techniky a práva není správné. Vteřina, plným názvem úhlová vteřina (dříve také oblouková vteřina), je jednou z jednotek úhlu. Nová definice této jednotky zní takto: „Je definována fixací číselné hodnoty cesiové frekvence $\Delta\nu_{Cs}$, tedy frekvence přechodu mezi hladinami velmi jemného rozštěpení neporušeného základního stavu atomu cesia 133, aby byla rovna 9 192 631 770, je-li vyjádřena jednotkou [Hz], rovnou [s^{-1}]“.

Kromě základní jednotky času se používají některé díly této jednotky, násobky však nikoliv (ks – kilosekunda se běžně nepoužívá). Avšak používají se jiné jednotky, které jsou běžně známé, ale pro úplnost si je zde uvedeme. Ještě bych rád upozornil že jednotka „světelný rok“, je jednotkou vzdálenosti, nikoliv času.

Název jednotky	Zkratka jednotky	[s]
minuta	min	60
hodina	h	3600
den	d	86 400
běžný rok	-	31 536 000
přestupný rok	-	31 622 400

V této kapitole jsme si uvedli základní fyzikální veličiny, které jsou pro jakéhokoliv technika nesmírně důležité, a proto je dobré je velice dobře znát. Není nezbytné si pamatovat jejich definice, to je zbytečná záležitost, ale je asi dobré mít alespoň povědomí o tom, z čeho fyzikové vychází, aby dokázali tyto jednotky definovat. Veličiny a jednotky uvedené v této kapitole budou nadále používány v tomto textu, a očekává se jejich dobrá znalost a pochopení. Rád bych podotkl, že se tyto znalosti budou hodit i mimo tento předmět, ba i mimo univerzitu.

3. Rozšiřující poznatky k fyzikálním veličinám

Předchozí kapitola nás uvedla do světa jednotek a základních fyzikálních veličin. Ty však nejsou jediné, které se běžně používají. Nejen základní jednotky mohou být rozšířeny pomocí násobků a dílů, které si uvedeme v této kapitole v přehledných tabulkách. Zároveň si zde přehledně uvedeme doplňkové jednotky a zejména odvozené jednotky, které jsou pro technika stejně důležité jako ty základní, a je tudíž potřeba si je dobře pamatovat a umět s nimi pracovat.

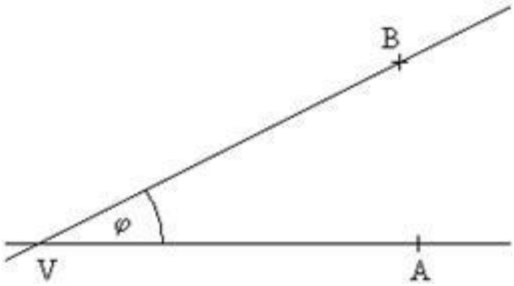
a. Doplňkové jednotky

Doplňkové jednotky jsou jednotky, o nichž Generální konference pro váhy a míry dosud nerozhodla, zda mají být zařazeny mezi základní jednotky nebo jednotky odvozené. Takže se tedy jedná o jednotky nejednoznačně zařaditelné, proto mají vlastní speciální skupinu. Jedná se však pouze o dvě jednotky.

Některé zdroje uvádějí, že tyto doplňkové jednotky jsou bezrozměrné odvozené jednotky, takže je jednoznačně vidět, že ani mezi odborníky není jednoznačně shodný názor na zařazení těchto jednotek.

Rovinný úhel má nejednoznačnou značku veličiny, běžně se používají řecká písmenka, např.: „$\alpha, \beta, \gamma, \varphi$“ atd. Jednotkou rovinného úhlu je „radián“, který má značku jednotky „rad“. Úhel může být definován následovně:

a) část roviny která je ohraničena dvěma polopřímkami se společným počátkem
b) dvojice polopřímek se společným počátkem nebo dvojice přímek v rovině nebo v prostoru
c) uspořádaná dvojice dvou orientovaných přímek nebo dvou polopřímek se společným počátkem nebo veličina charakterizující polohový vztah mezi nimi



Obrázek 3 Názorná ukázka zobrazení rovinného úhlu

Radián je základní jednotkou rovinného úhlu, ale však není nejpoužívanější. Proto si ukážeme na následující tabulce.

Název jednotky	Zkratka jednotky
stupeň	°
minuta	‘
vteřina	‘‘
dělostřelecký dílec	dc

Jelikož se běžně vyskytují zadané úhly jak v radiánech, tak ve stupních, je vhodné si pamatovat převody mezi těmito dvěma jednotkami. Pro úplnost si to zde ukážeme. Následně uvedená veličina α je rovinný úhel ve stupních, a je rovinný úhel v radiánech.

$$\alpha = \frac{a \cdot 180°}{\pi} [°]$$

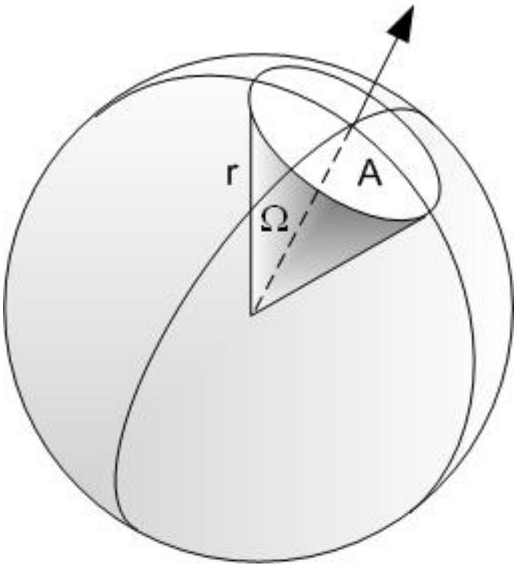
$$a = \frac{\alpha \cdot \pi}{180°} [rad]$$

$$1\, rad \sim \frac{180°}{\pi} \sim 57{,}296° \sim 57°17'45''$$

$$1° = \frac{\pi}{180°} \sim 1{,}745 \cdot 10^{-2}\ rad$$

Prostorový úhel má značku veličiny taktéž běžně proměnnou z řecké abecedy, avšak používá velká řecká písmena, např.: „Γ, Φ, Ω“ atd. Základní jednotkou prostorového úhlu je „steradián“, který má značku jednotky „sr“.

Prostorový úhel je část prostoru vymezená rotační kuželovou plochou. Každá taková plocha dělí prostor na právě dvě části – prostorové úhly. Prostorový úhel se určuje tak, že se uvažuje kulová plocha o středu ve vrcholu „V“ a o libovolném poloměru „r“, jejíž průnik s prostorovým úhlem je vrchlík na kulové ploše o obsahu „A“. Velikost prostorového úhlu pak určuje poměr mezi „A“ a „r^2“, přičemž nezávisí na uvažované kulové ploše.



Obrázek 4 Vymezení prostorového úhlu na kulové ploše rotační kuželovou plochou

Výpočet prostorového úhlu lze provést následovně:

$$\Omega = \frac{A}{r^2}\,[sr]$$

b. Odvozené jednotky

Odvozených jednotek je nepřeberné množství a je v podstatě možné, aby si kdokoliv vymyslel novou jednotku. Co je však u každé jednotky, která je běžně používaná důležité, je to, že má nějaký fyzikální význam, což není vždy jednoduché ve vymyšlené jednotce postihnout a definovat v této době, jelikož většina běžně pozorovatelných jevů je již popsána.

Kromě odvozených jednotek, které jsou zde dále uvedeny existují ještě odvozené jednotky se složeným název, mezi které patří například „metr čtvereční“, „metr krychlový“ atd. Tyto jednotky (plochy, objemu) jsou natolik běžně zažity, že budeme předpokládat dostatečnou čtenářovu znalost.

Odvozené jednotky jsou jednotky fyzikálních veličin soustavy SI odvozené ze základních jednotek na základě definičních vztahů, v nichž se vyskytuje násobení, příp. dělení. Dělení je v zápise odvozené jednotky obvykle nahrazeno násobením se zápornou mocninou. Některé odvozené jednotky mají vlastní názvy, převážně podle jmen významných fyziků. Ty nejdůležitější, pro nás nejzajímavější, odvozené jednotky si zde nyní ukážeme.

Newton je jednotka síly v soustavě SI se značkou jednotky „N“. Jedná se o odvozenou jednotku založenou na základních jednotkách kilogram [kg], metr [m] a sekunda [s]. Rozměr v základních jednotkách soustavy SI je [kg m s^{-2}]. Jednotka je pojmenována po významném fyzikovi Isaacu Newtonovi. Newton je definován následovně: „Síla 1 newton je taková síla, která udělí volnému hmotnému bodu o hmotnosti 1 kg zrychlení 1 $m \cdot s^{-2}$. To zjednodušeně řečeno znamená, že za jednu sekundu působení takové síly hmotný bod změní (zvýší či sníží) svoji rychlost o jeden metr za sekundu.“

Síla je vektorová fyzikální veličina, která vyjadřuje míru působení těles nebo polí. Síla se projevuje statickými účinky – je příčinou deformace těles – a dynamickými účinky – je příčinou změny pohybového stavu tělesa (hmotného bodu), např. uvedení tělesa z klidu do pohybu nebo naopak, či změny velikosti nebo směru rychlosti tělesa. Taková změna je (v inerciální soustavě) vždy podmíněna působením jiných těles, ať už přímým dotykem (nárazem, třením, tažením, tlačením) nebo prostřednictvím silového pole. Toto působení je v Newtonově mechanice spojováno s existencí síly působící mezi oběma interagujícími tělesy.

Jelikož jsme si uvedli přesnou definici jednotky a zároveň jsme si řekli, co je to síla, tak si ukážeme, jak si odvodit jednotku síly v základních SI jednotkách. Obecný vztah pro výpočet síly dle Newtonova pohybového zákona zní takto:

$$F = m \cdot a$$

Značka „F“ je značka síly, „m“ je hmotnost v kilogramech ([kg]), a je obecně zrychlení a má jednotku metr za sekundu na druhou ([m s^{-2}]). Při zapsání předchozího vztahu „do jednotek“ dostaneme následující:

$$[N] = \left[kg \cdot \frac{m}{s^2}\right] = [kg \cdot m \cdot s^{-2}]$$

Jak vidíme, tak se jedná o vyjádření jednotky síly v základních jednotkách, jelikož na pravé straně máme uvedeny jen základní jednotky SI.

Hustota představuje hodnotu dané veličiny vztažené k jednotkovému objemu (bývá také označována jako objemová hustota), jednotkovému obsahu plochy (pak se hovoří o plošné hustotě) nebo jednotkové délce (pak se hovoří o lineární hustotě). Hustota se mění v závislosti na teplotě, tlaku a látkovém množství (viz stavová rovnice). Je-li uveden pojem hustota bez dalšího upřesnění, je tím téměř vždy myšlena hmotnost jednotkového objemu. Stejný význam má veličina objemová hmotnost, zaváděná pro pórovité a sypké látky.

Hustota, zřídka označovaná také "přesněji" jako hustota hmotnosti či zastarale měrná hmotnost, je fyzikální veličina, která vyjadřuje hmotnost objemové jednotky látky. Běžná značka hustoty je „ρ“. Pro výpočet hustoty je potřeba znát objem tělesa „V“ a hmotnost tělesa „m“, vztah mezi těmito třemi veličinami je následující (uvedeno společně s SI jednotkami hustoty):

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{kg}{m^3}\right]$$

Pascal je jednotkou tlaku, má značku „Pa“. Udává, jak velká síla (v newtonech) působí na jednotkovou plochu ([m^2]). Jednotka byla pojmenována po francouzském matematikovi a fyzikovi Blaise Pascalovi.

Tlak je fyzikální veličina, obvykle označovaná symbolem „p“, vyjadřující poměr velikosti síly „F“, působící kolmo na rovinnou plochu a rovnoměrně spojitě rozloženou po této ploše, a obsahu této plochy „S“. Obecně zapsaný vztah pro výpočet tlaku vypadá takto:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot a}{S}$$

Stejně jako u síly si nyní ukážeme vyjádření tlaku v základních jednotkách (k tomu použijeme levou stranu předchozí rovnice a pravou stranu rovnice, kde je rozepsána síla pomocí hmotnosti „m“ a zrychlení „a“)

$$[Pa] = \left[\frac{kg \cdot \frac{m}{s^2}}{m^2}\right] = \left[\frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{m^2}\right] = \left[\frac{kg}{m \cdot s^2}\right]$$

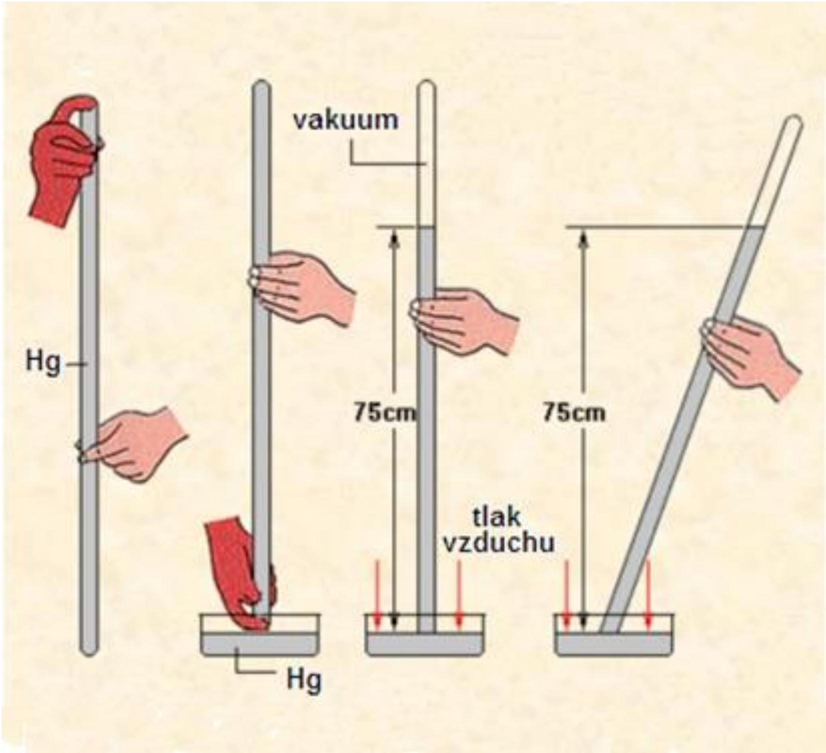
Jak vidíme, tak se jedná o vyjádření jednotky tlaku v základních jednotkách, jelikož na pravé straně máme uvedeny jen základní jednotky SI.

Pascal je základní jednotkou tlaku, avšak je to poměrně malá jednotka, proto se běžně používají její násobky či díly. Kromě základní jednotky jsou zavedeny historicky i další jednotky, které se k vyjádření tlaku používají. Pro zopakování si je zde uvedeme v následující přehledné tabulce.

Název jednotky	Zkratka jednotky	[Pa]
torr	torr	133,322
libra síly na čtverečný palec	psi	6 894,757
technická atmosféra	at	98 066,5
bar	bar	100 000
fyzikální atmosféra	atm	101 325

V tabulce jsou uvedeny dvě podobné jednotky – technická atmosféra a fyzikální atmosféra. Technická atmosféra odpovídá hydrostatickému tlaku 10 m vodního sloupce a fyzikální atmosféra je definována jako normální tlak vzduchu. Nyní si asi říkáte: „Co je normální tlak vzduchu?“. To si lze ukázat pomocí „jednoduchého experimentu“, který nedoporučuji provádět doma, jelikož se pracuje se rtutí. My si zde však ukážeme výsledky a „přepis“ toho experimentu, který za nás v roce 1643 udělal pan Vincenzo Viviani na základně informací od pana Evangelisty Torricelliho.

K tomu experimentu je potřeba mít silnostěnnou trubici asi metr dlouhou, která je na jedné straně uzavřená. Tuto trubici naplníme až po okraj rtutí. Otvor se pevně uzavře prstem, trubice se převrátí vzhůru a hrdlo se ponoří do nádoby, která je taktéž naplněná rtutí. Prst poté odstraníme a lze pozorovat výkon rtuti z trubice do nádoby, uvolněné místo v trubici je tvořeno vakuem (není možné, aby se tam dostal nějaký vzduch). Z tohoto lze usoudit, že tlak, který působí na rtuť v nádobě je stejný, jako hydrostatický tlak rtuti (kdyby nebyl stejný, tak by rtuť z trubice vytekla celá). Tlak působící na rtuť v nádobě je rovný atmosférickému tlaku (fyzikální atmosféře). Tento experiment je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 5 Torricelliho pokus

K matematickému vyjádření hodnoty atmosférického tlaku je potřeba znát rovnici pro hydrostatický tlak, ta vypadá následovně:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

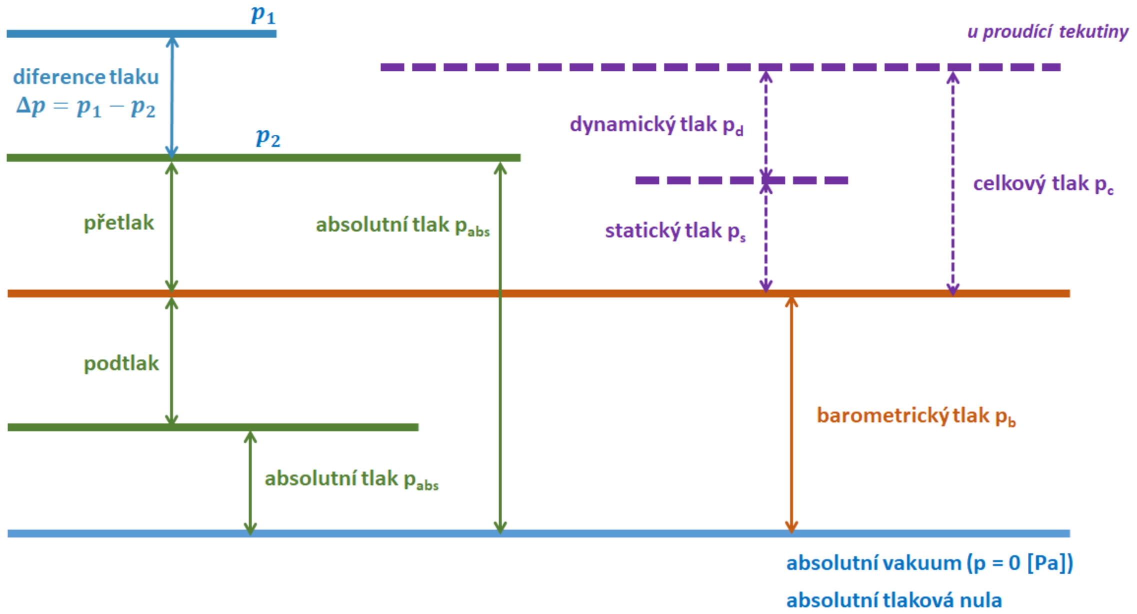
Kde „p“ je tlak, „ρ“ je hustota tekutiny, „g“ je gravitační zrychlení a „h“ je výška kapaliny. Z obrázku 5 lze vidět, že výška rtuti se ustálila na 75 cm (je potřeba do rovnice zadávat v základních jednotkách!), dále se uvažuje, že gravitační zrychlení odpovídá přibližně 9,81 m s^{-2} a hustota rtuti je 13 771,66 kg m^{-3} . Tyto hodnoty můžeme dosadit do rovnice pro hydrostatický tlak:

$$p = 13771{,}66 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}75 = 101325\ [Pa]$$

Pan Torricelli nenavrhl pouze tento experiment, ale zároveň zavedl i vlastní jednotku tlaku, což je již výše zmiňovaná jednotka torr. Tlak 1 torr je roven hydrostatickému tlaku vyvolanému 1 mm sloupcem rtuti. Výpočet[1] je proveden stejným způsobem, jako výpočet atmosférického tlaku, avšak s tím rozdílem, že výška sloupce je pouze milimetr.

[1] Pokud si čtenář vypočítal, kolik je torr v pascalech, tak dospěl pravděpodobně k jinému výsledku, než který je uvedený v tabulce používaných tlaků, je to způsobeno volbou hustoty rtuti.

V této chvíli si jste pravděpodobně dost jisti, že chápete tlak a je toho už víc než dost, vzhledem k tomu, že se původně mělo mluvit o jednotce tlaku, ale je toho více, co by bylo dobré zmínit, proto se nyní podíváme na různé druhy tlaků, tedy spíše… Na různé názvosloví, které se k tlaku váže. Následující obrázek zahrnuje jednotlivé pojmy, které si následně vysvětlíme.



Obrázek 6 Značení tlaku

Vakuum je téměř nulový absolutní tlak čili vysoký podtlak. Absolutní vakuum (absolutní nulový tlak) – teoreticky nulový tlak v prostoru dokonale zbaveném jakýchkoliv částic.

Barometrický (atmosférický) tlak (p_b, p_a) je absolutní statický tlak zemského ovzduší měřený u zemského povrchu.

Absolutní tlak (p_{abs}) je tlak měřený od absolutní tlakové nuly.

Přetlak, nebo podtlak, je rozdíl měřené tlaku a okamžitému tlaku okolí (většinou barometrický tlak). Přetlak je rozdíl tlaku okolí a tlaku absolutního, který je vyšší než tlak okolí. Podtlak je tedy rozdíl tlaku okolí a tlaku absolutního, který je nižší než tlak okolí.

Pokud budeme mluvit o proudící tekutině, jsou zavedeny ještě další tři názvy vztahující se k tlakům. Statický tlak „p_s“ je tlak bez vlivu rychlosti proudění (tlak při nulové rychlost proudění). Dynamický tlak „p_d“ je tlak, který je funkcí rychlost proudění „w“ a hustoty tekutiny „ρ“ dle vztahu $p_d = {}^1/_2 \cdot \rho \cdot w^2$. Celkový tlak „$p_c$“ je tlak rovný součtu tlaku statického a dynamického: $p_c = p_s + p_d$.

Joule je jednotka práce a energie, jeho značka je „J“. Jednotka joule byla pojmenována na počest anglického fyzika Jamese P. Joulea. 1 Joule je definován jako práce, kterou koná síla 1 N působící po dráze 1 m ve směru pohybu.

Práce ve fyzikálním smyslu je působení síly na fyzikální těleso nebo na silové pole, při kterém dochází k posouvání nebo deformaci tohoto tělesa, resp. ke změně rozložení potenciální energie v silovém poli. Velikost práce jako fyzikální veličiny lze v nejjednodušším mechanickém případě vypočítat jako součin velikosti složky síly ve směru pohybu a délky

dráhy, po které se těleso posunulo (neuvažujeme otáčení ani deformaci). Matematický zápis je následující:

$$W = F \cdot s = m \cdot a \cdot s$$

Kde značka „W“ je tedy práce v Joulech (někdy se používá i „A“), „F“ je síla v Newtonech a „s“ je dráha v metrech. Nyní si přepíšeme předchozí vztah pomocí SI jednotek, při použití levé a pravé strany předchozí rovnice:

$$[J] = \left[kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m\right] = [kg \cdot m \cdot s^{-2} \cdot m] = [kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}] = \left[\frac{kg \cdot m^2}{s^2}\right]$$

K zapamatování základních jednotek, ze kterých je složena, lze využít rovnici E = mc² („E“ je energie v joulech, „m“ hmotnost v kilogramech, „c“ rychlost světla v metrech za sekundu).

Jednotka Joule se běžně používá s násobky, s díly moc ne, jelikož 1 Joule je poměrně dost malá jednotka. Kromě základní jednotky se používají stále ještě některé jednotky energie, které jsou zavedené historicky. Uvedeme si tři nejběžnější v následující tabulce.

Název jednotky	**Zkratka jednotky**	**[J]**
elektronvolt	eV	$1{,}602176634 \cdot 10^{-19}$
kalorie	cal	$4{,}187$
kilokalorie	kcal	4187

Jednotka kilokalorie je definovaná jako energie nutná za standardních podmínek k ohřátí 1 kg vody o 1 °C. Pro zajímavost zde uvedeme jednotku „watthodina“, častěji „kilowatthodina“, která má zkratu „kWh“. Ačkoliv se může zdát, že se jedná o jednotku výkonu, není to tak, je to jednotka energie (práce).

$$1kWh = 1000 \cdot Wh = 1000 \cdot \frac{J}{s} \cdot h = 1000 \cdot \frac{J}{s} \cdot 3600s = 3600000J = 3{,}6MJ$$

Watt je hlavní jednotka výkonu, jeho značka je „W“. Jednotka je pojmenována podle skotského inženýra Jamese Watta. 1 watt je výkon, při němž se vykoná práce 1 joulu za 1 sekundu. Jedná se o výkon potřebný například pro zvedání tělesa o tíze 1 v normálním tíhovém poli, rovnoměrně svisle, rychlostí 1 metr za sekundu.

Množství energie spotřebované za jednotku času se označuje jako příkon. Vzájemný poměr výkonu a příkonu vyjadřuje poměrnou fyzikální veličinu nazývanou účinnost, která se často vyjadřuje v procentech (poměr násobený 100). Matematický zápis výpočtu výkonu je následující:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{m \cdot a \cdot s}{t}$$

Značka „P“ je značka výkonu, který má jednotky Joule za sekundu, „W“ je práce v Joulech a „t“ je čas v sekundách. Při zápisu jednotek do této rovnice při snaze dosáhnout zápisu Wattu v základních jednotkách dostaneme následující:

$$[W] = \left[\frac{J}{s}\right] = \left[\frac{N \cdot m}{s}\right] = \left[\frac{kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m}{s}\right] = \left[\frac{kg \cdot m \cdot s^{-2} \cdot m}{s}\right] = \left[\frac{kg \cdot m \cdot m}{s \cdot s^2}\right] = \left[\frac{kg \cdot m^2}{s^3}\right]$$

V technické praxi se lze často setkat zejména s indexy „e“ či „t“, ve tvaru W_e a W_t, nebo také We a Wt. Toto dělení se používá u tepelných závodů (teplárny, elektrárny), kde má smysl rozdělovat celkový výkon na tepelný výkon (s indexem „t“) a elektrický výkon (s indexem „e“). Jednotky používané např. u elektráren, kde MWe je elektrický výkon generátoru a MWt je tepelný výkon. Tepelný výkon je obvykle přibližně třikrát větší než elektrický výkon. U solární energetiky se lze setkat s indexem „p“ (např. 5 kWp – kilowatt-peak) k označení špičkového výkonu elektrárny.

c. Předpony soustavy SI

Předpona soustavy SI je předpona, která se může použít před jakoukoliv jednotkou Mezinárodní soustavy jednotek (SI) (s výjimkou bezrozměrné jednotky 1) k vyjádření dílů a násobků použité jednotky. Systém předpon SI je postaven na desítkové soustavě. Do třetího řádu od základní jednotky jsou definovány předpony pro každý řád – celočíselné mocniny desíti (desetiny, setiny, tisíciny; desítky, stovky, tisíce), dále od základní jednotky jsou definovány předpony pro každý třetí řád – celočíselné mocniny tisíce (miliony, miliardy atd.). Od SI předpon pro mocniny tisíce jsou odvozeny názvy blízkých hodnot binárních předpon používané v informatice.

Přehlednou tabulku shrnující všechny předpony soustavy SI uvedeme zde:

Předpony soustavy SI				
10^n	**Předpona**	**Značka**	**Název**	**Násobky a díly**
10^{24}	yotta	Y	kvadrilion	1 000 000 000 000 000 000 000 000
10^{21}	zetta	Z	triliarda	1 000 000 000 000 000 000 000
10^{18}	exa	E	trilion	1 000 000 000 000 000 000
10^{15}	peta	P	biliarda	1 000 000 000 000 000
10^{12}	tera	T	bilion	1 000 000 000 000
10^9	giga	G	miliarda	1 000 000 000
10^6	mega	M	milion	1 000 000
10^3	kilo	k	tisíc	1 000
10^2	hekto	h	sto	100
10^1	deka	da	deset	10
10	—	—	jedna	1
10^{-1}	deci	d	desetina	0,1
10^{-2}	centi	c	setina	0,01
10^{-3}	mili	m	tisícina	0,001
10^{-6}	mikro	µ	miliontina	0,000 001
10^{-9}	nano	n	miliardtina	0,000 000 001
10^{-12}	piko	p	biliontina	0,000 000 000 001
10^{-15}	femto	f	biliardtina	0,000 000 000 000 001
10^{-18}	atto	a	triliontina	0,000 000 000 000 000 001
10^{-21}	zepto	z	triliardtina	0,000 000 000 000 000 000 001
10^{-24}	yokto	y	kvadriliontina	0,000 000 000 000 000 000 000 001

Dále si uvedeme pro zajímavost binární předpony, které se používají výlučně v informatice:

Binární předpony			
Dvojkový řád n: 2^n	**Značka**	**Název**	**Hodnota v desítkové soustavě**
2^{10}	Ki	kibi	1 024
2^{20}	Mi	mebi	1 048 576
2^{30}	Gi	gibi	1 073 741 824
2^{40}	Ti	tebi	1 099 511 627 776
2^{50}	Pi	pebi	1 125 899 906 842 624
2^{60}	Ei	exbi	1 152 921 504 606 846 976
2^{70}	Zi	zebi	1 180 591 620 717 411 303 424
2^{80}	Yi	yobi	1 208 925 819 614 629 174 706 176

Historicky byly zavedeny ještě další násobky a díly, které se nyní již moc nepoužívají, avšak pro úplnost a zajímavost si uvedeme i tyto násobky:

Historické násobky a díly	
Název	**Koeficient**
velekopa	3600
gros velký	1728
veletucet	144
kopa	60
mandel	15
tucet	12
vrh	3
pár	2
karát	1/24

Tato kapitola je zde proto, aby byl čtenář uveden pro problematiky různých odvozených jednotek a práce s nimi – zejména s jednotkami z SI soustavy, která je zásadní pro jakéhokoliv technika ve většině zemí. Jsou zde uvedeny nejen jednotky, ale i jednotlivé fyzikální veličiny, které jsou neméně důležité. Kromě jednotek a fyzikálních veličin jsme si ukázali i běžně používané předpony, které se k jednotkám vážou.

Pro běžného studenta není nezbytné pamatovat si všechny předpony, které jsou zde uvedeny, dobré je dát ty nejběžnější. Stejně tak není nezbytné znát všechny definice fyzikálních veličin, ale je rozumné vědět z čeho se vychází. Co je však podle mě nezbytné umět jsou jednotky uvedených fyzikálních veličin, případně si je umět odvodit.

Nyní jsme položili slovní základ k tomu, abychom se pustili do dalších vybraných kapitol, které jsou pro techniky nezbytné znát.

4. Energie

Energie je skalární fyzikální veličina, která popisuje schopnost hmoty (látky nebo pole) konat práci. Energie je slovo vytvořené fyziky v polovině devatenáctého století z řeckého energeia (vůle, síla či schopnost k činům). Energie je popsána stavovou veličinou. Energie může

mít různé formy. Existuje např. kinetická energie a konfigurační (polohová či potenciální) energie. Jako symbol energie se používá „E“, jednotka energie je Joule, který má značku „J“.

Zákon zachování energie říká, že energie se může měnit z jednoho druhu na jiný, nelze ji vytvořit ani zničit, v izolované soustavě však její celkové množství zůstává stejné. Proto součet velikosti práce, které těleso nebo pole vykoná, a vydaného tepla se rovná úbytku jeho energie, která se přemění v jinou formu.

Energie (tzv. klidová energie) přísluší též každému objektu s klidovou hmotností bez ohledu na jeho pohybový stav a působení silových polí. Přeměna této energie na jiné formy bývá nesprávně označována jako přeměna hmoty (hmotnosti) v energii.

Lidstvo pravděpodobně nezná všechny možné formy energie. Předpokládá se, že většina vesmíru je tvořena dnes zcela neznámou formou hmoty, která nese přes 70 % energie a které se prozatím říká "temná energie". Pokud to není nějaká forma hmoty, znamenalo by to podstatnou změnu v představách o stavbě vesmíru a pojmech hmota a energie.

a. Teplo

Teplo (symbol pro teplo se běžně používá „Q“, jednotka tepla je Joule, jelikož se jedná o typ energie), dříve tepelná energie, je termodynamická veličina vyjadřující míru změny vnitřní energie, jejíž podstatou není ani práce (elementární práce je rovna obecné síle skalárně násobené obecným posunutím), ani tzv. chemická práce (chemický potenciál krát změna množství látky). Teplo systém vyměňuje (tj. přijímá nebo odevzdává) s jiným systémem jiné teploty, se kterým je v tepelném styku (tedy rozhraní mezi nimi je diatermického charakteru, tj. nepředstavuje tepelnou izolaci); hovoříme o tepelné výměně.

Teplo popisuje procesy, v nichž se odehrává spousta chaotických „mikroprací“, tj. srážek jednotlivých částic, které přímo nemůžeme sledovat ani měřit. O práci mluvíme, když způsobenou změnu energie můžeme vyjádřit jako součin veličin: síla krát posunutí, např. tlak krát změna objemu, napětí krát přenesený náboj (náboj = proud krát doba) apod. U tepla se změna energie jako součin jiných přímo měřitelných veličin vyjádřit nedá. Teplo je dějovou fyzikální veličinou popisující termodynamický děj (posloupnost stavů systému), nikoli veličinou stavovou, popisující stav jediný.

Měřením tepla se zabývá kalorimetrie; teplo se měří kalorimetrem. Šířením tepla bez konání práce se zabývá termokinetika, tepelnými ději obecně termodynamika.

Podle kinetické teorie se při tepelné výměně předává energie pohybu částic, z nichž se skládá jak systém teplo odevzdávající, tak systém teplo přijímající, a to neuspořádaně. Zejména u látek v kondenzovaném stavu je nutno uvažovat vedle kinetické energie částic i energii jejich vzájemných interakcí a vazeb. Tepelná výměna nemusí být spojena se změnou teploty, mění-li se fáze látky – hovoříme pak o latentním teple.

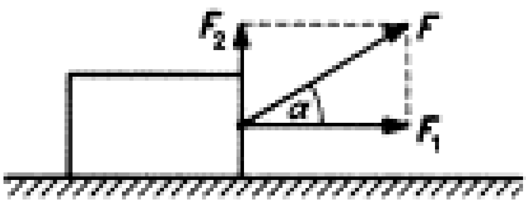
Přeměnu mechanické práce na teplo vysvětluje kinetická teorie jako přeměnu kinetické energie uspořádaného pohybu na kinetickou energii neuspořádaného pohybu částic.

Rád bych zdůraznil, že o teple i práci má smysl mluvit zejména v souvislosti se změnami těchto veličin, a zpravidla nikoli při popisu stavu. Přesný fyzikální smysl tedy nemají výroky typu "Po zahřátí je v tělese více tepla." (obvykle správněji lze říci, že "Vnitřní energie tělesa po zahřátí vzroste.")

b. Mechanická práce

Pohybuje-li se těleso působením síly, koná se mechanická práce. Mechanická práce se koná, když se po podlaze tlačí bedna, táhne vozík, nebo když se zvedá nějaké těleso do výšky. Mechanická práce „W", kterou vykoná těleso při přemístění jiného tělesa, závisí na velikosti síly „F", která na těleso působí, na dráze „s", o kterou se těleso přemístí, a na úhlu „α", který svírá síla s trajektorií tělesa. Vztah pro výpočet práce jsme již několikrát použili, ale pro zopakování ho zde ještě jednou uvedeme:

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha \, [J]$$



Obrázek 7 Znázornění směru síly pro výpočet mechanické práce

Mechanická energie je skalární fyzikální veličina, která vyjadřuje míru schopnosti tělesa konat mechanickou práci, tzn. působit silou na jiné těleso a posouvat jej po určité dráze. Mechanická energie je jedna z mnoha druhů energie. Mechanickou energii mají:

a) tělesa, která se vzájemně pohybují – kinetická energie (pohybová energie)
b) tělesa, která jsou v silových polích jiných těles – potenciální energie (polohová energie). Především hovoříme o tíhové potenciální energii, kterou má každé těleso v silovém poli Země
c) pružná tělesa, která jsou stlačená nebo natažená – potenciální energie pružnosti

c. Elektrická energie

Elektrická energie je schopnost elektromagnetického pole konat elektrickou práci. Čím větší energii má elektromagnetické pole, tím více elektrické práce může vykonat. Schopnost přenášet elektrickou energii, přesněji: energii elektromagnetického pole, vyplývá z Maxwellových rovnic elektromagnetického pole, které toto pole přesně popisují. Vlastním přenašečem elektrické energie je vždy elektromagnetické pole jako takové (nikoliv elektrické napětí a nikoliv elektrický proud, jelikož jsou jen vnějšími projevy tohoto pole).

Spotřebovaná elektrická energie (úbytek elektrické energie) „ΔE" se rovná elektrické práci „W" vykonané elektromagnetickým polem dle následujícího vztahu:

$$\Delta E = -W [J]$$

Spotřebovaná elektrická energie ve spotřebiči, jímž protéká stálý elektrický proud „I" po dobu „t" a na jehož svorkách je stálé elektrické napětí „U", se vypočte následovně:

$$E = U \cdot I \cdot t [J]$$

Nebo lze také vypočítat pomocí elektrického příkonu „P" takto:

$$E = P \cdot t$$

Elektrická energie je jeden z druhů energie a je možné ji měnit na mechanickou energii, tepelnou energii (Jouleovo teplo) a světelnou energii (což je jen jiná forma elektromagnetického pole).

Energie jako taková má mnoho podob, a ne všechny byly pravděpodobně už objeveny, avšak jedná se o poměrně důležitou část fyziky, proto jsme si uvedli některé základní definice. Než přistoupíme ke „složitějším" fyzikálním záležitostem, koukneme se ještě na nějaké matematické operace, které **jsou nezbytné** pro další působení na univerzitě.

Příklad: Převeďte $\frac{J}{kg \cdot K}$ do základních jednotek SI.

Příklad: Převeďte $\frac{W}{m^3}$ do základních jednotek SI.

Příklad: Převeďte $\frac{Pa \cdot s \cdot m^3}{kg}$ do základních jednotek SI.

Příklad: Převeďte 100 $\frac{mJ}{t \cdot \mu K}$ do jednotek $\frac{J}{kg \cdot K}$.

Příklad: Převeďte 127 $hp \cdot den$ do jednotek kWh. Uvažujte že 1 $hp = 746\ W$, přičemž platí že „hp" je jednotka koňské síly – z anglického „horse power".

Příklad: Převeďte 100 psi (jednotka „pound per square inch") do jednotek Pa. Uvažujte standardní gravitační zrychlení $g = 9{,}80665\ m \cdot s^{-2}$, $1\ lb = 0{,}45359237\ kg$, $1\ in = 25{,}4\ mm$.

Příklad: Převeďte $1500\ ft \cdot lb$ (jednotka „foot-pound") na jednotky $kcal$. Uvažujte standardní gravitační zrychlení $g = 9{,}80665\ m \cdot s^{-2}$, $1\ lb = 0{,}45359237\ kg$, $1\ ft = 0{,}3048\ m$, $1\ kcal = 4187\ J$.

5. Opakování základních matematických operací

Tato kapitola se většině studentů, kteří prochází předmětem Člověk a energie může zdát naprosto zbytečná, avšak historicky se ukázalo, že ačkoliv se zde bude opakovat učivo povětšinou základní školy, tak i přesto se najde nemalé množství studentů, kteří mají s fundamentálními znalostmi matematiky problém. Proto jsem se rozhodl, že zde zopakuji nejnutnější znalosti z vybraných kapitol matematiky, které jsou nezbytné pro zvládnutí studia.

Pokud si je student naprosto jistý svými znalostmi matematiky, je v pořádku, když tuto kapitolu přeskočí, ale buďme upřímní… Kdo má opravdu dokonalé znalosti? Doporučil bych i zdatným matematikům si kapitolu alespoň přečíst.

a. Zlomky

Zlomkem můžeme zapsat jakékoliv racionální číslo. Zlomek se skládá ze dvou částí. Horní část se nazývá čitatel a spodní jmenovatel. Existuje i složený zlomek, což není nic jiného, než zlomek, který má v čitateli či jmenovateli další zlomek. A mimochodem všechny znaménka mezi zlomky (plus, minus, rovná se apod.) se píší zásadně na úrovni zlomkové čáry, ne na úroveň čitatele ani na úroveň jmenovatele. Zlomek má tedy následující tvar:

$$\frac{čitatel}{jmenovatel}; např.: \frac{2}{5}$$

Předchozí příklad zlomku se čte jako dvě pětiny. Jmenovateli se říká jmenovatel proto, že pojmenovává zlomek. Pětina, třetina, šestina… To je hlavní název zlomku a je odvozen od čísla, které se nachází pod zlomkovou čárou. Čitatel naopak určuje počet, v předchozím příkladu to byly dvě pětiny. Tolik k názvům.

V čitateli i jmenovateli může v podstatě být jakékoliv číslo nebo opět zlomek, nejčastěji se ale setkáváme se zlomkem, kde čitatel i jmenovatel je přirozeným číslem.

Zlomek je jen jinak zapsané dělení, hodnotu zlomku vypočítáme tak, že vydělíme čitatel jmenovatelem. Takže obecně pokud máme zlomek $\frac{a}{b}$, pak hodnotou zlomku je číslo a/b. Předchozí zlomek (dvě pětiny) by pak měl hodnotu $2/5$, což je 0,4.

Se zlomky můžeme různě pracovat a měnit jejich tvar – rozšiřovat a krátit je –, přičemž hodnota zlomku se nijak nezmění. Lze si to i snadno představit slovně, například jedna polovina má stejnou hodnotu jako dvě čtvrtiny nebo čtyři osminy. Vychází to z toho, že zlomek je jen převlečené dělení. A k číslu jedna polovina se můžeme dostat podělením několika různých čísel. Takže čtyři děleno osmi je jedna polovina. Deset děleno dvaceti je taky jedna polovina.

$$\frac{1}{2} = 2 \cdot \frac{1}{2} = \frac{2}{4} = 2 \cdot \frac{2}{4} = \frac{4}{8} = \cdots$$

Jak je vidět, k dalším zlomkům se stejnou hodnotou jsme přišli tak, že jsme v původním zlomku 1/2 vynásobili dvojkou jak čitatel, tak jmenovatel. Po vynásobení vyšel zlomek 2/4, dvě čtvrtiny. Pokud i u tohoto zlomku vynásobíme čitatel a jmenovatel dvojkou, získáme zlomek 4/8, čtyři osminy. V tuto chvíli jsme zlomek rozšiřovali.

Opačnou operací k rozšiřování je krácení zlomků, kdy čitatel i jmenovatel dělíme stejným číslem. Pokud bychom chtěli zlomek krátit, musíme najít číslo, kterým je beze zbytku dělitelný jak čitatel, tak i jmenovatel. Krácení zlomků se v praxi velice často využívá, protože krácením se zlomek značně zjednodušuje a lépe se s ním pracuje. Např.:

$$\frac{10}{15} = \frac{2}{3}$$

Budete se možná divit, ale násobení a dělení je u zlomků jednodušší než sčítání a odčítání. Pokud máte vynásobit dva zlomky, vynásobíte prostě čitatel prvního zlomku s čitatelem druhého zlomku a jmenovatel s jmenovatelem. To je všechno. Příklad násobení zlomků:

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{5}{7} = \frac{2 \cdot 5}{3 \cdot 7} = \frac{10}{21}; \qquad \frac{3}{7} \cdot 5 = \frac{3}{7} \cdot \frac{5}{1} = \frac{3 \cdot 5}{7 \cdot 1} = \frac{15}{7}$$

Dělení zlomků je prakticky stejné jako násobení. Pokud chcete jeden zlomek vydělit druhým, jeden ze zlomků obrátíte a zlomky normálně vynásobíte. Jednoduchý příklad dělení zlomků:

$$\frac{12}{7} \div \frac{6}{11} = \frac{12}{7} \cdot \frac{11}{6} = \frac{12 \cdot 11}{7 \cdot 6} = \frac{2 \cdot 11}{7 \cdot 1} = \frac{22}{7}$$

Sčítání zlomků už bývá mírně komplikovanější. Zlomky totiž můžeme sčítat pouze v případě, že ony zlomky mají stejný základ, tedy stejného jmenovatele. Pokud zlomky nemají stejného jmenovatele, musíme je na stejného jmenovatele převést. Poté postupujeme jednoduše jako v případě násobení, prostě sečteme čitatel prvního zlomku s čitatelem druhého zlomku. Oproti násobení ale ponecháváme stejný jmenovatel. Nejprve příklad na sčítání zlomků se stejným základem:

$$\frac{1}{2} + \frac{5}{2} = \frac{1+5}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

Pokud zlomky nemají stejný základ, což bývá častější případ, musíme zlomky na stejný základ převést, což znamená rozšířit jeden či oba zlomky tak, abychom dostali stejný jmenovatel. Chtějme sečíst tyto dva zlomky:

$$\frac{2}{3} + \frac{5}{2} = \frac{2 \cdot 2}{3 \cdot 2} + \frac{5 \cdot 3}{2 \cdot 3} = \frac{4}{6} + \frac{15}{6} = \frac{4+15}{6} = \frac{19}{6}$$

Pozor na to, že při sčítání nemůžeme krátit napříč zlomky jako u násobení. Například po úpravě jsme měli v jmenovateli prvního zlomku šestku a v čitateli druhého zlomku patnáctku. Přesto nemůžeme krátit třemi:

$$\frac{4}{6} + \frac{15}{6} \neq \frac{4}{2} + \frac{5}{6}$$

Obecně lze sčítání zapsat následovně:

$$\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d + b \cdot c}{b \cdot d}$$

Odečítání zlomků probíhá úplně stejně jako sčítání zlomků, pouze výsledné čitatele nesčítáme, ale odečítáme. Takže předchozí obecný vzorec sčítání upravíme takto:

$$\frac{a}{b} - \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d - b \cdot c}{b \cdot d}$$

Nyní končíme kapitolu o zlomcích a práci s nimi. Je to kapitola, která je pro mnoho studentů již dobře známá. Studenti kteří si nejsou zcela jistí svými znalostmi, odkážu na vaše vyučující, kteří Vám dozajista rádi pomoci s doplněním znalostí v této oblasti a doporučí Vám nějaká cvičení pro zlepšení a upevnění Vašich znalostí.

b. Trojčlenka

Trojčlenka se používá při jednoduchých výpočtech přímé a nepřímé úměry. Většinou známe tři na sobě závislé údaje a máme vypočítat čtvrtý. V trojčlence musíme přímou a nepřímou úměru pečlivě rozlišit, má totiž rozdílné výpočty.

Jdete do obchodu koupit zásoby limonády. Za 100 korun jste koupili 5 lahví. Kolik lahví limonád byste koupili, kdybyste měli 200 korun? To je typický příklad, který lze řešit trojčlenkou.

Nyní můžeme provést jednoduchou úvahu – v prvním případě jsme měli k dispozici 100 korun, ve druhém 200 korun. Lze tak očekávat, že pokud máme k dispozici dvakrát více korun, tak za ně koupíme dvakrát více lahví. Za 200 korun bychom tak nakoupili $2 \cdot 5 = 10\,lahví\ limonád.$

Předchozí postup „čím více… tím více“ neplatí vždy, protože můžeme mít následující příklad: 10 zedníků postaví dům za čtyři měsíce. Za jak dlouho postaví dům 20 zedníků? Když použijeme předchozí postup – zedníků je dvakrát více, takže měsíců bude dvakrát více – dostaneme, že 20 zedníků by dům postavilo za $2 \cdot 4 = 8\,měsíců$.

Tento postup samozřejmě není správný, protože čím více zedníků, tím méně měsíců jim bude trvat postavit dům. Musíme tak postupovat obráceně: dvakrát více zedníků postaví dům za dvakrát méně měsíců. Dostaneme tak správný výsledek: 20 zedníků postaví dům za $4/2 = 2\,měsíce.$

Předchozí dva různé postupy mají i svá jména: přímá a nepřímá úměra.

Pokud platí, že „čím více… tím více“, jedná se o přímou úměru. Příklady:

- Čím více máme peněz, tím více lahví limonád/okurek/koloběžek si můžeme koupit.
- Čím více článků novinář napíše, tím více peněz si vydělá.
- Čím více kopáčů bude kopat, tím více toho vykopají.
- Čím déle necháme čerpadlo čerpat, tím více vody vyčerpáme.

Při následujícím příkladu máme najít hodnotu „y“. Příklad se dá řešit takto:

$$a\ km \ldots x\ litrů$$

$$\uparrow b\ km \ldots y\ litrů \uparrow$$

$$\frac{b}{a} = \frac{y}{x} \rightarrow y = x \cdot \frac{b}{a}$$

Za „km“ a „litrů“ lze dosadit jakoukoliv proměnou.

Pokud platí, že „čím více … tím méně“, jedná se o nepřímou úměru. Příklad:

- Čím více stránek knihy přečteme, tím méně nám jich zbývá do konce.
- Čím rychlejší máme internet, tím dříve stáhneme film.
- Čím rychleji pojedeme, tím dříve se dostaneme do cíle.
- Čím více pracovníků pracuje na domu, tím dříve bude dům postavený.

Při následujícím příkladu máme najít hodnotu „q“. Příklad s nepřímou úměrou lze počítat takto:

$$c\ MB/s \ldots z\ sekund$$
$$\downarrow d\ MB/s \ldots q\ sekund \uparrow$$

$$\frac{c}{d} = \frac{q}{z} \rightarrow q = z \cdot \frac{c}{d}$$

Trojčlenka je jedním ze základních principů výpočtů v jakémkoliv období života. Lze ji využít nejen v akademickém prostředí, ale i v běžném životě, proto ji považuji za velice důležitou část matematiky, kterou je nezbytné znát.

c. Logaritmus

Logaritmickou funkci zapisujeme slovem „log“. Pokud se jedná o přirozený logaritmus (viz dále), tak jej značíme „ln“. Základní předpis logaritmické funkce vypadá takto:

$$y = \log_a x$$

Tento zápis čteme: „Logaritmus čísla x o základu a“. Protože je logaritmická funkce inverzní k exponenciální, musí platit následující ekvivalence:

$$y = \log_a x \leftrightarrow a^y = x$$

Tedy pokud je hodnota „a^y“ rovná „x“, pak je logaritmus „x“ o základu „a“ roven „y“.

Věty o logaritmech je nezbytné znát při práci s logaritmy, proto si je zde všechny uvedeme:

$$\log_a(x_1 \cdot x_2) = \log_a x_1 + \log_a x_2$$

$$\log_a\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = \log_a x_1 - \log_a x_2$$

$$\log_a x^r = r \cdot \log_a x$$

$$\log_a \sqrt[n]{x} = \frac{1}{n} \cdot \log_a x$$

$$\log_a 1 = 0$$

$$\log_a a = 1$$

$$a^{\log_a x} = \log_a a^x = x$$

Logaritmus je přirozená funkce, která se v přírodě může vyskytovat. Používá se běžně v inženýrských výpočtech, a proto je dobré znát její základní funkce, které se poměrně často používají.

d. Skalární a vektorová veličina

Skalár neboli skalární veličina, je ve fyzice, v matematice nebo informatice veličina, jejíž hodnota je v daných jednotkách plně určena jediným číselným údajem. Protikladem skalární veličiny jsou vektory nebo tenzory, které jsou určeny více číselnými hodnotami. Například teplota je skalár, kdežto rychlost je obvykle vektor.

Oblasti použití skaláru:

- V matematice skalár označuje zpravidla jediné reálné či komplexní číslo, neskalární charakter mají kromě vektorů také matice a tenzory.

- Ve fyzice je skalár veličina, která může být popsána jedním číslem. To znamená, že popisovaná veličina je jednorozměrná – skalární veličiny tedy mají svou velikost, ale nemají například směr. Vícerozměrné veličiny se popisují pomocí vektorů.
- V informatice se používá hlavně pojem skalární proměnné, který popisuje proměnnou bez podstatné vnitřní struktury. Protikladem jsou pole apod.

Skalární veličinou je například délka, hmotnost, teplota, čas, energie, výkon atd…

Ve fyzice se předpokládá, že danou skalární veličinu můžeme nějak fyzikálně měřit nebo počítat. Měla by přitom platit následující vlastnost: pokud přejdeme k nové souřadnicové soustavě, která bude vůči původní otočená, posunutá nebo zrcadlená (v klasické mechanice), měl by transformovaný pozorovatel stejným postupem změřit nebo spočíst to samé číslo.

Vektor neboli vektorová veličina, představuje ve fyzice a vektorovém počtu veličinu, která má kromě velikosti i směr. Tím se liší od obyčejného čísla neboli skaláru, jež má pouze velikost. Příkladem vektoru je síla — má velikost a směr, a více sil se skládá dohromady podle zákona o skládání sil – rovnoběžníkového pravidla. Vektory se ve fyzice obvykle popisují pomocí složek(souřadnic), které ovšem závisí na volbě souřadnicových os.

Neformálně je vektor veličina charakterizovaná velikostí (v matematice číslem, ve fyzice počtem jednotek) a směrem. Často je reprezentovaná graficky jako šipka. Příkladem je „Pohyb na sever rychlostí 90 km/hod“ nebo „Přitahován ke středu Země silou 70 Newtonů“.

Ve fyzice se vektory obvykle zapisují v souřadnicích. Aby byl vektor dobře definován, požaduje se následující vlastnost: jestliže si zvolím novou souřadnou soustavu a měřím body v prostoru v novém souřadném systému, pak souřadnice vektoru se změní podle stejného vzorce jak souřadnice bodů v prostoru.

Matematika je součástí každého inženýrského studia, proto je její dobrá znalost nezbytnou součástí studia, které má dát studentům a následně absolventům dobrý základ k tomu, aby se i ve své budoucí praxi dokázali vypořádat s náročnými matematickými úlohami, které na ně přichystá život. Tato kapitola v žádném případě nesupluje matematiky, které jsou součástí výuky na bakalářském stupni studia. Jde mi především o to, aby studenti měli možnost rychlého zopakování látky, kterou považuji za velice důležitou, jelikož se historicky stalo, že studenti druhého ročníku v předmětu Termomechanika neumí zlomky, vyjádřit neznámé z rovnic o dvou neznámých a pracovat s logaritmy. Proto jsem se rozhodl zařadit tuto kapitolu do výukových materiálů.

6. Termodynamika a mechanika tekutin

Původní myšlenka zařazení této kapitoly do předmětu Člověk a energie, a vůbec do prvního semestru na VŠ, byla ta, že se pokusíme studentům rozšířit jejich znalosti z termomechaniky, potažmo z mechaniky tekutin tak, aby v pozdějších letech studia v těchto náročnějších předmětech měli více znalostí, a proto byli úspěšnější při plnění zkoušek a zápočtů. Aktuálně si tato kapitola však nedává za cíl zvýšit znalosti z těchto vědních oborů, ale „pouze“ vyrovnat základní znalosti studentů, kteří přicházejí z různých středních škol, což je vlastně cílem celého tohoto textu.

a. Ideální plyn

Ideální (dokonalý) plyn je plyn, který má na rozdíl od skutečného plynu tyto ideální vlastnosti: je dokonale stlačitelný a bez vnitřního tření. Částice takového plynu musejí splňovat následující podmínky:

- rozměry částic jsou zanedbatelné vzhledem ke vzdálenostem mezi nimi (částice ideálního plynu lze tedy považovat za hmotné body)
- kromě srážek na sebe částice jinak nepůsobí
- celková kinetická energie částic se při vzájemných srážkách nemění, tzn. srážky částic jsou dokonale pružné

Důsledkem těchto podmínek je dokonalá stlačitelnost a dokonalá tekutost ideálního plynu.

Reálné plyny se vlastnostem ideálního plynu přibližují při dostatečně vysoké teplotě a nízkém tlaku. Kupříkladu pro vzduch platí, že se ideálnímu plynu přibližuje již za normálních podmínek, které nastávají při teplotě 0 °C a tlaku 101 325 Pa.

Ideální plyn se používá ke zjednodušenému zkoumání vlastností a chování plynů při mechanických a termodynamických dějích.

b. Stavová rovnice

Stavovou rovnicí se v termodynamice označuje rovnice, která určuje vztah mezi jednotlivými stavovými veličinami charakterizujícími daný termodynamický systém. Stavová rovnice popisuje makroskopický stav dané látky za určitých fyzikálních podmínek. Tato rovnice platí pouze pokud je hmotnost látky neměnná.

Pro termodynamické děje v plynech platí stavová rovnice ideálního plynu:

$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T$$

Kde „p“ je tlak $[Pa]$, „V“ je objem $[m^3]$, „m“ je hmotnost $[kg]$, „r“ je specifická plynová konstanta $[J/(kg \cdot K)]$ a „T“ je teplota $[K]$.

Rovnici lze podělit hmotností „m“ následujíce:

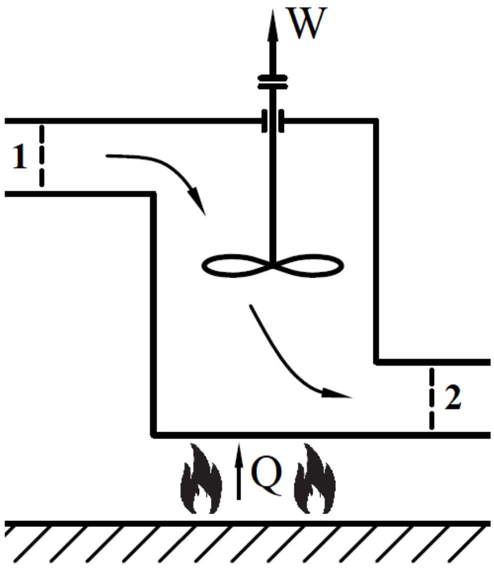
$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T \quad /m$$

$$\frac{p \cdot V}{m} = \frac{m \cdot r \cdot T}{m}$$

$$p \cdot \frac{V}{m} = \frac{\cancel{m} \cdot r \cdot T}{\cancel{m}}$$

$$p \cdot v = r \cdot T$$

Kde „v“ je měrný objem $[m^3/kg]$. Zde se možná poprvé setkáváme s měrnou veličinou. Mírou je zde hmotnost, kterou se dělí celkový objem, v jiných případech může být mírou ("dělitelem") i jiné vyjádření množství (látkové množství, objem, plocha, délka, výkon a mnoho dalších tzv. vnějších veličin). Měrné veličiny se hodí pro porovnávání vnitřních vlastností různě velkých celků. Pokud se užívají ve výpočtech, výsledky se snadno škálují pro různě velká množství pracovní látky nebo celkové velikosti analyzovaného zařízení. Jejich použití velmi usnadňuje práci v technických aplikacích termodynamiky, kde je běžné pracovat s protékající tekutinou (kapalinou nebo plynem). Vytyčením tzv. kontrolního objemu – ostře ohraničené oblasti se vstupem a výstupem tekutiny a nepropustnou hranicí, uvnitř které probíhá analyzovaný děj – je pro časově ustálené případy zabezpečena konstantní hmotnost tekutiny (viz následující obrázek). To umožňuje bezpečné uplatnění rovnice ideálního plynu nebo jiného zákona závislého na konstantní hmotnosti, dokonce i bez počáteční znalosti této hmotnosti obsažené v kontrolním objemu nebo samotného objemu takové vytyčené oblasti. (Na rozdíl od stavu plynu v jednom místě a čase popsaného stavovými veličinami se děje stavových změn dají popsat právě pomocí vyznačené přiváděné nebo odváděné práce a tepla.)



Obrázek 8 Znázornění kontrolního objemu

Veličina	Značka veličiny	Jednotka veličiny	Měrná veličina	Název měrné veličiny	Jednotka měrné veličiny
Objem	V	$[m^3]$	Měrný objem	v	$[m^3/kg]$
Entalpie	H	$[J]$	Měrná entalpie	h	$[J/kg]$
Práce	W	$[J]$	Měrná práce	w	$[J/kg]$
Objemová práce	A	$[J]$	Měrná objemová práce	a	$[J/kg]$
Technická práce	A_t	$[J]$	Měrná technická práce	a_t	$[J/kg]$
Entropie	S	$[J/K]$	Měrná entropie	s	$[J/(kg \cdot K)]$
Hmotnost	m	$[kg]$	Měrná hmotnost	ρ	$[kg/m^3]$

Z předchozí tabulky je vidět, že není nezbytné vztahovat veličinu pouze k jednomu kilogramu, ale lze veličinu vztáhnout i k jednotkovému objemu, což není nejběžnější způsob použití, ale není nesprávný. Proto je vždycky nezbytné uvádět jednotky, aby bylo jednoznačné, co tím autor myslí!

Další zajímavou jednotkou v již uvedené stavové rovnici je specifická plynová konstanta „r“. Tato konstanta je vždy vztažená na určitý druh plynu (vzduch, vodík, helium atd.). A lze ji vypočítat několika způsoby, dva aktuálně důležité si ukážeme nyní. První způsob je z rovnice ideálního plynu (ve výsledném vztahu jsou vedeny navíc jednotky):

$$p \cdot v = r \cdot T \quad /T$$

$$\frac{p \cdot v}{T} = \frac{r \cdot T}{T}$$

$$\frac{p \cdot v}{T} = r \cdot \frac{\cancel{T}}{\cancel{T}}$$

$$r = \frac{p \cdot v}{T}\left[\frac{Pa \cdot \frac{m^3}{kg}}{K} = \frac{Pa \cdot m^3}{K \cdot kg} = \frac{\frac{N}{m^2} \cdot m^3}{K \cdot kg} = \frac{N \cdot m^3}{K \cdot kg \cdot m^2} = \frac{kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m^3}{K \cdot kg \cdot m^2} = \frac{kg \cdot m \cdot m^3}{K \cdot kg \cdot m^2 \cdot s^2}\right]$$

$$r = \frac{p \cdot v}{T}\left[\frac{\cancel{kg} \cdot \cancel{m^4}}{K \cdot \cancel{kg} \cdot \cancel{m^2} \cdot s^2} = \frac{m^2}{K \cdot s^2}\right]$$

Pokud bychom však nechtěli základní jednotky specifické plynové konstanty, lze použít jednodušší typ odvození jednotek:

$$r = \frac{p \cdot v}{T}\left[\frac{Pa \cdot \frac{m^3}{kg}}{K} = \frac{Pa \cdot m^3}{K \cdot kg} = \frac{\frac{N}{m^2} \cdot m^3}{K \cdot kg} = \frac{N \cdot m \cdot \cancel{m^2}}{K \cdot kg \cdot \cancel{m^2}} = \frac{N \cdot m}{K \cdot kg} = \frac{J}{K \cdot kg}\right]$$

Druhý způsob, jak vypočítat specifickou plynovou konstantu je pomocí univerzální plynové konstanty „R“, která taktéž nese název molární plynová konstanta. Její hodnota je 8,314 $[J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}]$ a lze ji vypočítat pomocí Avogadrovy konstaty a Boltzmannovy konstanty. Dále ještě musíme uvést, že pro výpočet specifické plynové konstanty je potřeba vědět o jaký plyn se jedná, jelikož je potřeba znát molární hmotnost „M“, která je prakticky rovna relativní atomové hmotnosti dané látky. Jednotkově molární hmotnost lze napsat takto $[kg \cdot mol^{-1}]$. Takže výpočet specifické plynové konstanty lze zapsat takto:

$$r = \frac{R}{M}\left[\frac{\frac{J}{K \cdot mol}}{\frac{kg}{mol}} = \frac{J}{K \cdot mol} \div \frac{kg}{mol} = \frac{J}{K \cdot \cancel{mol}} \cdot \frac{\cancel{mol}}{kg} = \frac{J}{K \cdot kg}\right]$$

Stavovou rovnici lze zapsat v mnoha zápisech, podle toho, co zrovna je k dispozici za informace o plynu, který se uvažuje. Avšak zde uvedené zápisy jsou nejběžněji používané v předmětu Termomechanika, proto není nezbytné uvádět jiné tvary této rovnice, jelikož jsou velice lehce dohledatelné a dobře popsané na internetu.

Nyní jsme si uvedli zajímavou rovnici, kterou v termodynamice ideálního plynu používáme neustále. Dává do poměru jednotlivé veličiny, které jsou pro nás zajímavé (tlak, objem, teplota), abychom věděli, jak který stroj pracuje a co z něj jsme schopní získat, ale o tom až později. Číselné hodnoty jsou velice zajímavé a specifické, ale nejsou úplně názorné, proto je vhodné použít nějaký obrázek, či graf, který nám vypočítané hodnoty bude jednoznačně reprezentovat, jelikož správný obrázek je více než tisíc slov. V základní termodynamice se

používá pouze několik typů diagramů, nyní si ukážeme pouze jeden, který se nás aktuálně týká, jedná se o „p-V" („p-v") diagram.

Tento „p-V" diagram je schopný zobrazit všechny tři veličiny obsažené ve stavové rovnici (specifická plynová konstanta je konstantní, neměnná, takže nás moc nezajímá, tudíž se nezobrazuje, jelikož by takový grafický výstup nic neukázal). Tento graf je 2D, kde na vodorovné ose vynášíme objem (měrný objem) a na svislé ose tlak. Je vždy nezbytně nutné uvádět popisky jednotlivých os a nejen jich, vždy doporučuji pro přehlednost popisovat všechny vnesené křivky, či body, do grafu, aby bylo jednoznačné, co je nakresleno. Základ diagramu vypadá následovně:

Obrázek 9 Osy p-V diagramu

Do tohoto diagramu jsme schopní zakreslit tlak v závislosti na objemu, či teplotě. A stejně tak objem na tlaku, či teplotě. A ačkoliv ani jedna z os nereprezentuje teplotu, tak jsme schopní díky stavové rovnici do tohoto grafu vykreslit teplotu v závislosti na tlaku a objemu. Jak to funguje si ukážeme v následujících kapitolách.

Příklad: Určete objem tlakové nádoby pro uchování $1\ kg$ stlačeného helia, jestliže přetlak v nádobě je $10\ bar$. Plyn v nádobě má teplotu okolí $20\ °C$. Uvažujte $M = 4\ kg/kmol$, $R = 8314\ J/kmol$, $p_{okolí} = 1\ bar$.

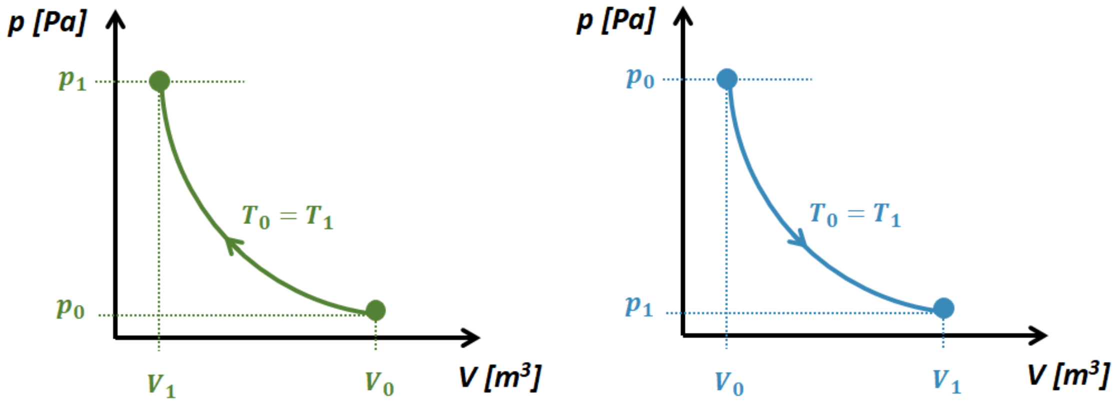
Příklad: Určete, kolik stlačeného vzduchu je přítomno v tlakové nádobě o objemu $0{,}5\ l$, jestliže absolutní tlak uvnitř je $15\ bar$ a nádoba je v tepelné rovnováze s okolním prostředím o teplotě $20\ °C$. Uvažujte $r = 287\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

Příklad: V uzavřené skladovací nádobě o objemu $12\ l$ je skladován stlačený dusík. V nádobě je zprvu absolutní tlak $15\ bar$, avšak vlivem netěsností část plynu unikla, čímž tlak po určité době poklesl na $14{,}6\ bar$. Teplota plynu je celou dobu rovna teplotě okolí $20\ °C$. Stanovte množství uniklého dusíku.

c. Boyleův–Mariottův zákon

Boyleův–Mariottův zákon, zvaný též Boyleův zákon je termodynamický vztah pro izotermický děj. Izotermický děj je termodynamický děj, při kterém se nemění teplota T termodynamické soustavy. Při izotermickém ději je $T = konstanta$, takže

$T_{začátek\,děje} - T_{konec\,děje} = 0$. Závislost tlaku na objemu při izotermickém ději je v p-V diagramu vyjádřena křivkou, která má tvar rovnoosé hyperboly.



Obrázek 10 Znázornění izotermy v p-V diagramu

Boyleův-Mariottův zákon říká, že součin tlaku a objemu plynu je stálý, tedy:

$$p \cdot V = konst.$$

Platí i pro měrný objem, takže:

$$p \cdot v = konst.$$

Boyleův-Mariottův zákon je platný pro ideální plyn. U reálného plynu však mohou (zejména při nízkých nebo naopak velmi vysokých teplotách) nastat značné odchylky od tohoto zákona, zejména vzhledem k tomu, že v ideálním plynu nejsou uvažovány žádné mezimolekulové síly ani změny chemického složení s teplotou.

Jak to vlastně funguje, a proč v tomto zákoně platí že $p \cdot V = konst.$? V prvním odstavci této kapitoly je napsáno, že se jedná o termodynamický děj, to znamená, že se vlastně něco děje. V tomto případě probíhá jakási činnost z jednoho stavu do druhého stavu. To znamená, že máme počáteční a koncový bod. Mezi těmito body se můžeme pohybovat po různých křivkách – přímka, parabola, hyperbola, spline atd. Tento zákon nám však definuje, jak se mezi těmito krajními body pohybujeme. Nyní si napíšeme stavovou rovnici pro první a druhý bod.

$$p_1 \cdot V_1 = m \cdot r \cdot T_1$$

$$p_2 \cdot V_2 = m \cdot r \cdot T_2$$

Nyní se možná ptáte, proč hmotnost „m“ a specifická plynová konstanta „r“ nemají indexy. Důvodem je to, že se v bodě jedna i dva uvažuje stejný plyn a stejná hmotnost. Tento zákon by neplatil, pokud by se měnila hmotnost, případně specifická plynová konstanta.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = m \cdot r$$

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = m \cdot r$$

Nyní lze vidět, že na pravé straně obou rovnic jsou stejné členy o stejných hodnotách, proto lze levé strany rovnic dát do vzájemné rovnosti, čímž dostaneme:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Teď když do rovnice zavedeme předpoklad izotermického děje čili $T_1 = T_2 = T$, tak můžeme rovnici upravit následovně:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T} \quad / \cdot T$$

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3 = \cdots = konst.$$

Obecně lze napsat to, co máme uvedené na začátku kapitoly:

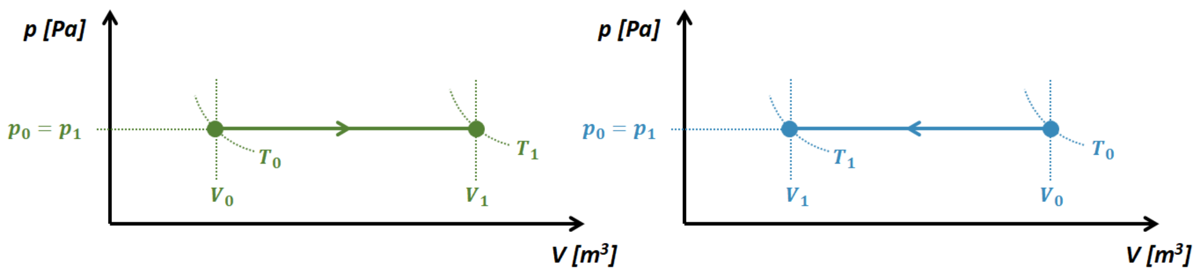
$$p \cdot V = konst.$$

Celé toto odvození lze udělat i pro měrný objem, avšak ve výsledném vztahu by nebyl objem, ale měrný objem.

Příklad: Vzduch o hmotnosti 0,5 kg v pístu pomalu expanduje za konstantní teploty 20 $°C$ (teplota je v pístu je stejná jako teplota okolí) z tlaku 80 bar na tlak 1 bar. Jaký bude jeho objem před a po expanzi? Uvažujte $r = 287\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

d. Gay-Lussacův zákon

Gay-Lussacův zákon je termodynamický vztah pro izobarický děj probíhající v ideálním plynu. Izobarický děj je termodynamický děj, při kterém se nemění tlak termodynamické soustavy. Při izobarickém ději platí $p = konstanta$, tedy $p_{začátek\ děje} - p_{konec\ děje} = 0$. Závislost tlaku na objemu při izobarickém ději je v p-V diagramu vyjádřena přímkou rovnoběžnou s osou V.



Obrázek 11 Znázornění izobary v p-V diagramu

Gay-Lussacův zákon lze vyjádřit následující rovnicí:

$$\frac{V}{T} = konst.$$

Platí i pro měrný objem, takže:

$$\frac{v}{T} = konst.$$

Při izobarickém ději se s teplotou mění objem plynu, a proto plyn koná práci.

Jak to vlastně funguje a proč v tomto zákoně platí že $V/T = konst.$? V prvním odstavci této kapitoly je napsáno, že se jedná o termodynamický děj, to znamená, že se vlastně něco děje. V tomto případě probíhá jakási činnost z jednoho stavu do druhého stavu. To znamená, že máme počáteční a koncový bod. Mezi těmito body se můžeme pohybovat po různých křivkách – přímka, parabola, hyperbola, spline atd. Tento zákon nám však definuje, jak se mezi těmito krajními body pohybujeme. Nyní si napíšeme stavovou rovnici pro první a druhý bod.

$$p_1 \cdot V_1 = m \cdot r \cdot T_1$$

$$p_2 \cdot V_2 = m \cdot r \cdot T_2$$

Nyní se možná ptáte, proč hmotnost „m“ a specifická plynová konstanta „r“ nemají indexy. Důvodem je to, že se v bodě jedna i dva uvažuje stejný plyn a stejná hmotnost. Tento zákon by neplatil, pokud by se měnila hmotnost, případně specifická plynová konstanta.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = m \cdot r$$

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = m \cdot r$$

Nyní lze vidět, že na pravé straně obou rovnic jsou stejné členy o stejných hodnotách, proto lze levé strany rovnic dát do vzájemné rovnosti, čímž dostaneme:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Teď když do rovnice zavedeme předpoklad izobarického děje čili $p_1 = p_2 = p$, tak můžeme rovnici upravit následovně:

$$\frac{p \cdot V_1}{T_1} = \frac{p \cdot V_2}{T_2} \quad /\frac{1}{p}$$

$$\frac{\cancel{p} \cdot V_1}{\cancel{p} \cdot T_1} = \frac{\cancel{p} \cdot V_2}{\cancel{p} \cdot T_2}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \cdots = konst.$$

Obecně lze tedy napsat to, co máme uvedené na začátku kapitoly:

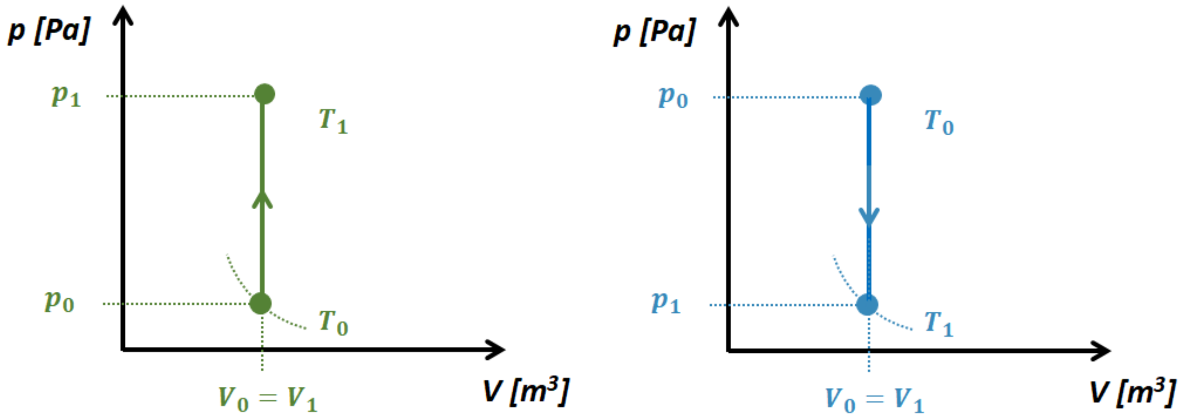
$$\frac{V}{T} = konst.$$

Celé toto odvození lze udělat i pro měrný objem, avšak ve výsledném vztahu by nebyl objem, ale měrný objem.

Příklad: Jaký bude objem $1\,m^3$ vzduchu po zahřátí, jestliže jej ohřejeme z $20\,°C$ na $100\,°C$ za konstantního tlaku?

e. Charlesův zákon

Charlesův zákon je termodynamický vztah pro izochorický děj probíhající v ideálním plynu. Izochorický děj je termodynamický děj, při kterém zůstává konstantní objem termodynamické soustavy. Při izochorickém ději platí $V = konstanta$, tedy $V_{začátek\ děje} - V_{konec\ děje} = 0$. Při izochorickém ději v ideálním plynu o stálé hmotnosti je termodynamická teplota tohoto plynu přímo úměrná jeho tlaku, neboli při izochorickém ději v ideálním plynu o stálé hmotnosti je podíl tlaku a termodynamické teploty stálý.



Obrázek 12 Znázornění izochory v p-V diagramu

Charlesův zákon lze vyjádřit rovnicí:

$$\frac{p}{T} = konst.$$

Jak to vlastně funguje a proč v tomto zákoně platí že $p/T = konst.$? V prvním odstavci této kapitoly je napsáno, že se jedná o termodynamický děj, to znamená, že se vlastně něco děje. V tomto případě probíhá jakási činnost z jednoho stavu do druhého stavu. To znamená, že máme počáteční a koncový bod. Mezi těmito body se můžeme pohybovat po různých křivkách – přímka, parabola, hyperbola, spline atd. Tento zákon nám však definuje, jak se mezi těmito krajními body pohybujeme. Nyní si napíšeme stavovou rovnici pro první a druhý bod.

$$p_1 \cdot V_1 = m \cdot r \cdot T_1$$

$$p_2 \cdot V_2 = m \cdot r \cdot T_2$$

Nyní se možná ptáte, proč hmotnost „m" a specifická plynová konstanta „r" nemají indexy. Důvodem je to, že se v bodě jedna i dva uvažuje stejný plyn a stejná hmotnost. Tento zákon by neplatil, pokud by se měnila hmotnost, případně specifická plynová konstanta.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = m \cdot r$$

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = m \cdot r$$

Nyní lze vidět, že na pravé straně obou rovnic jsou stejné členy o stejných hodnotách, proto lze levé strany rovnic dát do vzájemné rovnosti, čímž dostaneme:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Teď, když do rovnice zavedeme předpoklad izochorického děje čili $V_1 = V_2 = V$, tak můžeme rovnici upravit následovně:

$$\frac{p_1 \cdot V}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V}{T_2} \quad / \frac{1}{V}$$

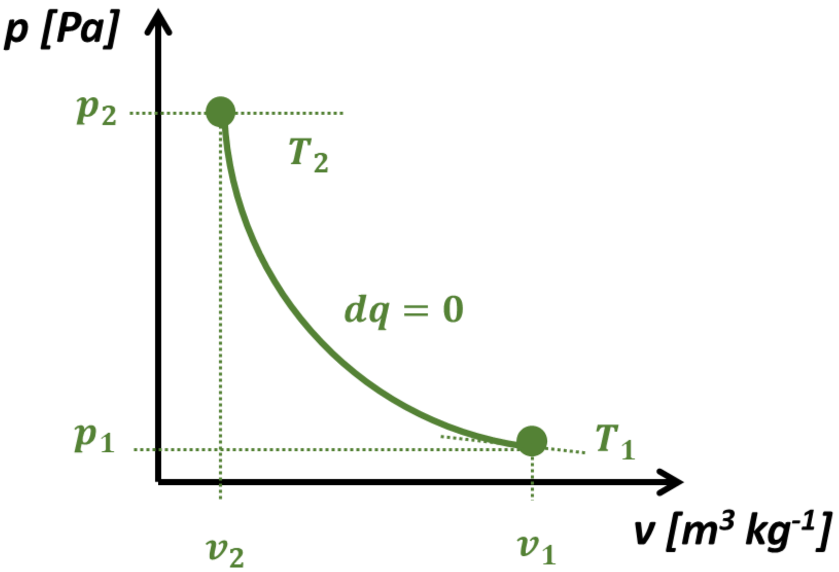
$$\frac{p_1 \cdot \cancel{V}}{T_1 \cdot \cancel{V}} = \frac{p_2 \cdot \cancel{V}}{T_2 \cdot \cancel{V}}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} = \cdots = konst.$$

Příklad: V tlakové nádobě je skladováno helium o tlaku 3 MPa. Počáteční teplota v lahvi je 20 $°C$. Nádoba je konstruována na absolutní tlak maximálně 8 MPa. Při jaké teplotě dojde k přesažení této hranice tlaku?

f. Adiabatický děj

Adiabatický děj je termodynamický děj, při kterém nedochází k tepelné výměně mezi plynem a okolím. Děj probíhá za dokonalé tepelné izolace, takže soustava žádné teplo nepřijímá ani nevydává. Za adiabatický lze také pokládat takový děj, který proběhne tak rychle, že se výměna tepla s okolím nestačí uskutečnit.



Obrázek 13 Znázornění adiabaty v p-v diagramu

Pro adiabatický děj pro ideální plyn platí:

$$p \cdot V^{\kappa} = konst.$$

Rovnici lze používat i v měrném tvaru:

$$p \cdot v^{\kappa} = konst.$$

Kde κ je Poissonova konstanta a její hodnota se lišší podle počtu stupňů volnosti daného plynu. Zjednodušeně se dá říci, že hodnota záleží na množství atomů plynu. Nabývá tří hodnot, které si zde uvedeme:

Pro jednoatomové plyny platí: $\kappa = 1{,}67\ [-]$

Pro dvouatomové plyny platí: $\kappa = 1{,}4\ [-]$

Pro tří a víceatomové plyny platí: $\kappa = 1{,}33\ [-]$

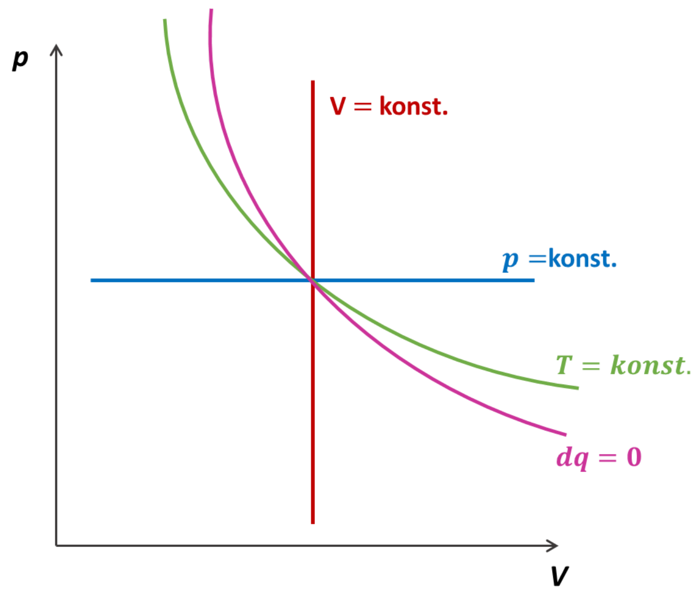
Například vzduch se uvažuje jako dvouatomový. Dále pro některé plyny platí teplotní závislost tohoto čísla na teplotě, ale většinou se to neuvažuje, jelikož se mění zanedbatelně.

Jelikož se znovu jedná o děj, lze rovnici zapsat pro děj na začátku, tak i na konci. Takže platí následující:

$$p_1 \cdot v_1^{\kappa} = p_2 \cdot v_2^{\kappa} = p_3 \cdot v_3^{\kappa} = \cdots = konst.$$

Na rozdíl od izotermického děje je pro průběh adiabatického děje třeba zajistit dokonalou tepelnou izolaci. Reálné děje nejsou ani přesně izotermické, ani přesně adiabatické, ale probíhají někde mezi těmito hraničními případy.

Nyní jsme si uvedli všechny základní děje, které v ideálním plynu mohou probíhat. Dalo by se říci, že by mohlo existovat nekonečné množství dalších dějů. Souhrnné znázornění izobary, izochory, izotermy a adiabaty na následujícím obrázku.



Obrázek 14 Znázornění základních dějů v p-V diagramu

Příklad: Vzduch o hmotnosti 3 kg adiabaticky expanduje v pístu z tlaku 10 MPa a teplotě 300 $°C$ na tlak 1 MPa. Jaký bude koncový objem a teplota? Uvažujte $r = 287\, J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

g. Daltonův zákon

Daltonův zákon pojmenovaný po svém objeviteli Johnu Daltonovi zní:

„Tlak směsi plynů je roven součtu jejich parciálních tlaků.“

Vyjádřeno matematicky, celkový tlak „p“ směsi „n“ plynů („n“ je počet různých plynů) můžeme definovat jako součet parciálních tlaků jednotlivých plynů obsažených ve směsi následně:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_n = \sum_{i=1}^{n} p_i$$

Kde p_1, p_2, p_3, p_n představují parciální tlaky plynů přítomných ve směsi. Parciální tlak je podíl na celkovém tlaku směsi plynů, který vyvozuje jeho jedna složka.

Zákon platí pro ideální plyny. Pro reálné plyny je, zejména pro vyšší tlaky, narušen kvůli objemu obsazenému molekulami a mezimolekulovému silovému působení. Daltonův zákon parciálních tlaků neplatí při prudkých lokálních změnách tlaku, např. v rázové vlně.

h. 1. termodynamický zákon

1. termodynamický zákon (také první termodynamický princip, první hlavní věta termodynamická nebo nesprávně první termodynamická věta) představuje ve fyzice formulaci zákona zachování energie.

1. hlavní termodynamickou větu je tedy možno vyjádřit následujícím tvrzením:

„Celkové množství energie (všech druhů) izolované soustavy zůstává zachováno.“

Existují však i jiné formulace, např.

„Nelze sestrojit stroj, který by trvale dodával mechanickou energii, aniž by spotřeboval odpovídající množství energie jiného druhu.“

Tato formulace říká, že neexistuje tepelný stroj, který by porušoval zákon zachování energie tím, že by cyklicky vykonával mechanickou práci bez přísunu energie. Takový stroj se označuje jako perpetuum mobile prvního druhu.

1. zákon termodynamiky vyjadřuje, že se zachovává energie neboli že vnitřní energie „U“ termodynamické soustavy je stavovou veličinou a její změnu „ΔU“ mezi koncovým „U_2“ a počátečním „U_1“ stavem lze způsobit jen přidáním či odebráním různých forem energie, konkrétně výměnou tepla „Q“, vykonáním nebo dodáním práce „W“ (zpravidla formou mechanické energie) nebo výměnou chemické energie, která pro nás není důležitá, proto se v dalším textu jakoukoliv chemickou energií nebudeme zabývat.

Vnitřní energie (též termodynamická energie) tělesa (termodynamického systému) je extenzivní veličina představující v makroskopickém popisu souhrn energií všech částic, z nichž se těleso skládá. Jde především o jejich kinetickou a potenciální energii, ale může jít také o elektrickou či chemickou energii apod. Kinetická a potenciální energie, kterou má těleso (soustava) jako celek, se do vnitřní energie nezahrnuje.

Vnitřní energie ovlivňuje vlastnosti a stav látky. Např. kinetická energie částic se projevuje jako teplota tělesa, tzn. čím rychlejší pohyb částic, tím vyšší je teplota tělesa. Polohová energie částic se projevuje ve vlastnostech tělesa jako skupenství, stlačitelnost/pružnost či pevnost.

Vnitřní energie se značí „U“, jednotky jakožto energie jsou Jouly [J]. Lze pracovat i s měrnou vnitřní energií, která se značí „u“, s jednotkami [J/kg].

Vnitřní energii lze měnit kupříkladu takto:

- konáním práce – při konání práce dochází působením vnějších sil ke změně objemu nebo tlaku soustavy, což vede ke změně kinetické energie částic, a tedy i ke změně celkové vnitřní energie soustavy
- tepelnou výměnou – změnou teploty dochází ke změně kinetické energie částic, což má za následek změnu celkové vnitřní energie soustavy

Matematický zápis 1. zákonu termodynamicky:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q + W$$

Důsledky 1. termodynamického zákona:

- hlavním historickým významem zákona bylo zjištění, že teplo není samostatná substance, ale druh energie
- je-li soustava tepelně izolována, neboli $Q = 0$ a nemění-li se její složení, pak $U_2 - U_1 = W$ neboli vnitřní energie se mění pouze konáním (dodáváním) práce. Jedná se o adiabatický děj
- jestliže se během termodynamického děje nekoná (nedodává) žádná práce, neboli $W = 0$, pak $\Delta U = Q$, neboli vnitřní energie se mění pouze díky tepelné výměně

i. Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita (ve starší literatuře též měrné teplo nebo specifické teplo) udává množství tepla potřebného k ohřátí 1 kilogramu látky o 1 teplotní stupeň ([°C] nebo [K]).

Měrná tepelná kapacita je mírně teplotně závislá, proto je nutné u přesnějších hodnot uvádět, k jaké teplotě látky se vztahuje. Její značka je „c“ a jednotky jsou $[J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}]$.

K určování hodnot měrného tepla se využívá kalorimetrická rovnice.

U plynů se rozlišuje měrná tepelná kapacita při stálém tlaku, která se označuje „c_P“, a měrná tepelná kapacita při stálém objemu, která se označuje „c_V“ (c_v). Vztah mezi těmito měrnými tepelnými kapacitami udává Poissonova konstanta a Mayerův vztah.

Poissonovu konstantu „κ“ jsme si již uváděli číselně v kapitole Adiabatický děj. Nyní si ukážeme, jak lze tuto konstantu vypočítat pomocí měrných tepelných kapacit. To lze provést následovně:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} [-]$$

Mayerův vztah udává vazbu mezi specifickou plynovou konstantu „r“, měrnou tepelnou kapacitu za konstantního tlaku „c_P“ a měrnou tepelnou kapacitu za konstantního objemu „c_V“ následovně:

$$c_p = r + c_v$$

Kromě zde uvedených měrných tepelných kapacit se lze setkat i s tepelnou kapacitou, značí se „C“ a její jednotky jsou $[J \cdot K^{-1}]$, která není vztažená na jeden kilogram látky. Stejně tak se v chemii objevují molární tepelné kapacity vztažené na jeden mol látky, avšak s těmi se většinou nesetkáváme a informace o nich lze lehce dohledat, proto je zde neuvedeme.

ii. Kalorimetrická rovnice

Kalorimetrická rovnice popisuje tepelnou výměnu těles tvořících izolovanou soustavu, pro kterou platí zákon zachování energie – veškeré teplo, které při výměně jedno těleso odevzdá, druhé těleso přijme. Navíc se předpokládá, že nedochází ke změně druhu energie, tzn. tepelná energie se nemůže změnit např. v mechanickou energii, a také, že látky jsou chemicky netečné, takže nevzniká žádné teplo z chemických reakcí.

Uvažujme situaci, kdy do tepelně izolované nádoby s kapalinou umístíme těleso o hmotnosti „m_1“ [kg], jehož teplota je „t_1“ [°C] a měrná tepelná kapacita je „c_1“ $[J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}]$. Předpokládejme, že kapalina má hmotnost „m_2“ [kg], teplotu „t_2“ [°C] ($t_2 < t_1$) a měrnou tepelnou kapacitu „c_2“ $[J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}]$. Dále předpokládejme, že látka, z níž je vyrobeno těleso, chemicky nereaguje s kapalinou a při tepelné výměně mezi tělesem a kapalinou nenastává změna skupenství. Tepelná výměna bude probíhat tak dlouho, dokud nenastane rovnovážný stav, při němž se teploty vyrovnají na výslednou teplotu „t“ $[t_2 < t < t_1]$. Ze zákona zachování energie vyplývá, že úbytek vnitřní energie tělesa je stejný jako přírůstek vnitřní energie kapaliny (celková vnitřní energie v tepelně izolované soustavě je stálá). Teplo „Q_1“ se vypočte následovně:

$$Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t)$$

Obecně platí:

$$Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot \left(t_{konc} - t_{počáteční}\right)$$

Teplo, jenž odevzdá těleso, se rovná teplu „Q_2“, které přijme kapalina v nádobě, a vypočte se obdobně:

$$Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2)$$

Platí tzv. kalorimetrická rovnice:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2)$$

Obecně lze formulovat kalorimetrickou rovnici pro izolovanou soustavu takto: „Teplo, které odevzdá jedno těleso (teplejší) druhému, je stejné jako teplo, které druhé těleso (chladnější) přijme od prvního, tedy $Q_{odevzdané\ jedním\ tělesem} = Q_{přijaté\ druhým\ tělesem}$.“

Příklad: Kolik ml vody o teplotě 5 $°C$ je nutno přidat do 300 ml vody o teplotě 95 $°C$, aby její teplota poklesla na 70 $°C$? Uvažujte $c = 4200\, J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ a $\rho = 1000\, kg \cdot m^{-3}$.

Příklad: Určete výstupní teplotu ohřátého vzduchu o průtoku 30 kg/s, a počáteční teplotě 20 $°C$, jestliže je ohříván ve výměníku tepla pomocí spalin o vstupní teplotě 250 $°C$, výstupní teplotě 120 $°C$ a průtoku 5 kg/s. Uvažujte $c_{vzduchu} = c_{spalin} = c = 1006\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$.

i. Rovnice kontinuity

Proudění je pohyb tekutiny, při kterém se částice tekutiny pohybují svým neuspořádaným pohybem a zároveň se posouvají ve směru proudění.

Tekutina (tj. plyn nebo kapalina) vždy proudí z místa vyššího tlaku (vyšší tlakové potenciální energie) do místa nižšího tlaku (nižší tlakové potenciální energie).

Rovnice kontinuity (Též rovnice spojitosti toku nebo rovnice kontinuity proudění. Jedná se v podstatě o formulaci zákona zachování hmotnosti.) popisuje proudění z pohledu zákona zachování hmotnosti. Vychází z toho, že hmotnostní tok kapaliny musí být ve všem místech průtočného kanálu stejný. Jinak by se kapalina někde akumulovala nebo by z kanálu unikala.

Pod pojmem rovnice kontinuity se aktuálně rozumí zjednodušený tvar rovnice kontinuity pro ideální kapalinu protékající za ustáleného proudění uzavřenou trubicí obecně proměnlivého průřezu.

Objem kapaliny, který proteče daným průřezem trubice za jednotku času, se nazývá objemový průtok „$\dot{V}$“ (případně „Q_V“). Protéká-li průřezem o plošném obsahu „S“ kapalina rychlostí „w“, lze objemový průtok vypočítat následovně:

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{S \cdot l}{t} = S \cdot w$$

Kde „V“ $[m^3]$ je sledovaný objem, „t“ $[s]$ je čas, „S“ $[m^2]$ je průřez kanálu, „l“ $[m]$ je délka kanálu a „w“ $[m/s]$ je v tomto případně rychlost.

Když se podíváme na jednotky, vypadá zápis následovně:

$$\dot{V} = \left[\frac{m^3}{s}\right] = \left[\frac{m^2 \cdot m}{s}\right] = \left[m^2 \cdot \frac{m}{s}\right] = \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

Někdy nás místo objemu zajímá hmotnost kapaliny, která proteče daným průřezem za jednotku času – proto zavádíme hmotnostní průtok „$\dot{m}$“ (případně „Q_m“), který je definován analogicky jako objemový průtok. Protéká-li průřezem o plošném obsahu „S“ $[m^2]$ kapalina s hustotou „ρ“ $[kg/m^3]$ rychlostí o velikosti „w“ $[m/s]$, platí následující:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{\rho \cdot V}{t} = \frac{\rho \cdot S \cdot l}{t} = \rho \cdot S \cdot \frac{l}{t} = \rho \cdot S \cdot w$$

Když se podíváme na jednotky, vypadá zápis následovně:

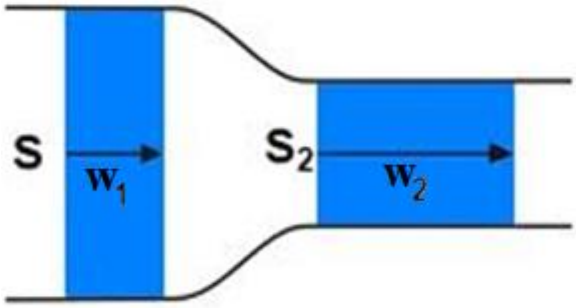
$$\dot{m} = \left[\frac{kg}{s}\right] = \left[\frac{\frac{kg}{m^3} \cdot m^3}{s}\right] = \left[\frac{\frac{kg}{m^3} \cdot m^2 \cdot m}{s}\right] = \left[\frac{kg}{m^3} \cdot m^2 \cdot \frac{m}{s}\right] = \left[\frac{kg}{\cancel{m^3}} \cdot \cancel{m^2} \cdot \frac{\cancel{m}}{s}\right] = \left[\frac{kg}{s}\right]$$

Vzhledem k tomu, že ideální kapalina je nestlačitelná, nemůže se při proudění v žádném místě trubice hromadit. Proto platí:

$$\dot{V} = S \cdot w = konst.$$

Tento vztah vyjadřuje rovnici kontinuity (rovnici spojitosti toku). Při ustáleném proudění ideální kapaliny je součin obsahu průřezu „S“ a velikosti rychlosti „w“ proudící kapaliny v každém místě trubice stejný. Rovnice kontinuity lze odvodit i ze zákona zachování hmotnostního toku.

Platí-li, že vodorovné potrubí na jednom konci má průřez „S_1“ a kapalina proudí rychlostí o velikosti „w_1“ a na druhém konci je průřez „S_2“ a kapalina zde teče rychlostí o velikosti „w_2“, (dle následujícího obrázku),



Obrázek 15 Znázornění rovnice kontinuity

pak platí:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

$$S_1 \cdot w_1 = S_2 \cdot w_2$$

Z předchozí rovnice platí:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

Neboli poměr rychlostí proudění ve dvou místech trubice je převrácený k poměru plošných obsahů průřezů trubice ve stejných místech.

Platí, že čím užší trubice, tím rychlejší proudění. A zároveň při ustáleném proudění ideální kapaliny je objemový průtok v každém místě trubice stejný.

Příklad: Jaký je objemový průtok vody trubkou o vnitřním průměru $25\,mm$, jestliže rychlost proudění je $3\,m/s$. Kolikrát se změní rychlost proudění v trubce, jestliže její vnitřní průměr bude redukován z $25\,mm$ na $20\,mm$.

j. Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice je vztah užívaný v mechanice tekutin, který odvodil Daniel Bernoulli a který vyjadřuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny. Říká, že součet potenciální, kinetické a tlakové energie je konstantní.

Bernoulliho rovnice může být vyjádřena ve třech tvarech, které si zde všechny postupně ukážeme. Rovnice ve formě energie (tzn. všechny členy mají rozměr měrné energie a zároveň jediný osamostatněný člen je měrná energie, zde schovaná za člen s rychlostí) vypadá následovně:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{w^2}{2} + g \cdot h = c_1 \left[\frac{m^2}{s^2}\right]$$

Rovnice ve formě výšky (tzn. všechny členy mají rozměr délky/výšky a zároveň jediný osamostatněný člen je výška):

$$\frac{p}{g \cdot \rho} + \frac{w^2}{2 \cdot g} + h = c_2 [m]$$

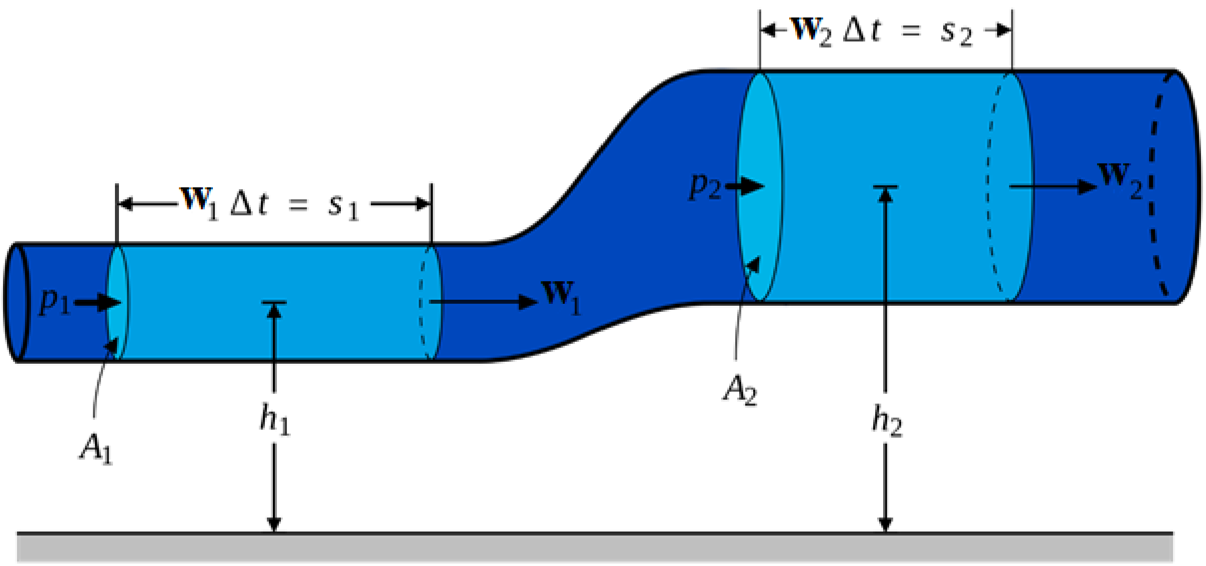
Rovnice ve formě tlaku (tzn. všechny členy mají rozměr tlaku a zároveň jediný osamostatněný člen je tlak):

$$p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 + h \cdot \rho \cdot g = c_3 [Pa]$$

Ve výše uvedených rovnicích je „p“ tlak, „ρ“ hustota, „h“ výška, „w“ rychlost, „g“ gravitační zrychlení a „c_n“ reprezentuje konstantu.

Nyní se podíváme na poslední zápis Bernoulliho rovnice ve formě tlaku, kde si poukážeme na to, že první člen rovnice je statický tlak, druhý člen je dynamický tlak a třetí člen je hydrostatický tlak a to celé se rovná celkovému tlaku (zde označeno jako „c_3“).

Bernoulliho rovnici jsme si uvedli ve třech různých tvarech, který použít záleží na situaci a na tom, co je potřeba zrovna řešit. Nedá se říct, že jeden tvar je důležitější, případně používanější než ostatní. Podívejme se na následující obrázek:



Obrázek 16 Aplikace Bernoulliho rovnice v rozšiřujícím se potrubí

Máme výchozí stav „1“ a koncový stav „2“. Pro oba tyto stavy platí Bernoulliho rovnice, která vypadá takto:

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_1^2 + h_1 \cdot \rho \cdot g = konst.$$

$$p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_2^2 + h_2 \cdot \rho \cdot g = konst.$$

Jedná se o jedno potrubí, na kterém nejsou uvažovány ztráty, takže konstanta na pravé straně obou rovnic je sobě rovna, proto tyto rovnice můžeme dát do rovnosti:

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_1^2 + h_1 \cdot \rho \cdot g = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_2^2 + h_2 \cdot \rho \cdot g$$

Nyní můžeme rovnici použít pro výpočet neznámé veličiny, která se liší případ od případu. Důležité je z tohoto pochopit, že kdyby potrubí pokračovalo, kupříkladu dalším rozšířením, tak by se dala použít stejná rovnice, pouze by se změnily indexy.

Příklad: Jak velký podtlak vznikne ve vodorovné $h_1 = h_2 = h$ vodovodní trubce, v místě zúžení z $30\ mm$ na $20\ mm$. Před zúžením voda proudí rychlostí $1{,}5\ m/s$. Uvažujte hustotu vody $\rho = 1000\ kg \cdot m^{-3}$.

Příklad: Jakou rychlostí bude vytékat voda z nádoby skrze malý kruhový otvor v jejím dně? Výška hladiny v nádobě je $1\ m$. Uvažujte $g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$, $p_1 = p_2 = p$, a rychlost poklesu hladiny v nádobě je $u_1 = 0\ m/s$.

7. Závěr

Právě se nacházíme na konci úvodu. Zní to zvláštně, ale je to tak. Většina tohoto textu je vytvořena za účelem vyrovnání elementárních znalostí studentů, kteří právě začali studovat na Fakultě strojní ZČU. Tento text vznikl zejména proto, že se podařilo identifikovat neúspěšnost většiny studentů na předmětu Termomechanika. Dovolím si říct, že neúspěšnost studentů na Fakultě strojní je zejména ze dvou důvodů. První důvod je nedostatek motivace ke studiu, s tím se toho nedá příliš dělat, jelikož vnější motivace je velice náročná záležitost, která musí být individualizovaná. Druhý důvod je nedostatek znalostí, avšak podle mého názoru to však není nedostatek znalostí, které lze získat na VŠ, ale studentům spíše chybí základní znalosti ze ZŠ a SŠ. Toto zjištění byl hlavní impuls k tomu vytvořit tento text, jelikož předmět Člověk a energie má prostor k tomu, aby vyrovnal znalosti všech studentů, kteří přijdou k nám na fakultu.

Jsme si vědomi toho, že do „základních“ znalostí lze zahrnout obrovské množství informací a kupříkladu v matematické sekci by se dalo zopakovat i sčítaní a odčítání. To se možná do tohoto dokumentu časem také doplní, jelikož bych rád, aby se tento text rozšiřoval a nabaloval do sebe další a další informace, stal se více uceleným pro studenty, kteří se potýkají s naší katedrou. Co a jak z toho nakonec bude se teprve uvidí, ale aktuální stav je zcela dostatečný k tomu, aby si studenti mohli doplnit znalosti, které jim chybí.

8. Použité zdroje

https://cs.wikipedia.org/wiki/Fyzik%C3%A1ln%C3%AD_veli%C4%8Dina
https://cs.wikipedia.org/wiki/Fyzik%C3%A1ln%C3%AD_jednotka
https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kladn%C3%AD_fyzik%C3%A1ln%C3%AD_veli%C4%8Diny
https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/
https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cas
https://cs.wikipedia.org/wiki/Hmotnost
https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9lka
https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_proud
http://chemicke-vypocty.cz/Latkove-mnozstvi.html
https://cs.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1tkov%C3%A9_mno%C5%BEstv%C3%AD
https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplota
https://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C3%ADtivost
https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9lka
https://cs.wikipedia.org/wiki/Metr
https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplota
https://www.prevod.cz/popis.php?str=140&parent=y
https://cs.wikipedia.org/wiki/Metrick%C3%BD_cent
https://cs.wikipedia.org/wiki/Grain
https://cs.wikipedia.org/wiki/Sekunda
https://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%9Ahel
http://fyzika.jreichl.com/data/M_uvod_soubory/image099.jpg
http://www.converter.cz/prevody/rovinny-uhel.htm
https://cs.wikipedia.org/wiki/Prostorov%C3%BD_%C3%BAhel
https://cs.wikipedia.org/wiki/Newton
https://cs.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADla
https://cs.wikipedia.org/wiki/Pascal_(jednotka)
https://cs.wikipedia.org/wiki/Tlak
https://cs.wikipedia.org/wiki/Atmosf%C3%A9ra_(jednotka)
http://www.sszdra-karvina.cz/bunka/fy/01tlak/tlaktp.htm
https://cs.wikipedia.org/wiki/Torr
https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%A1ce_(fyzika)
https://cs.wikipedia.org/wiki/Joule
https://cs.wikipedia.org/wiki/Watt
https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDkon
https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99edpona_soustavy_SI
https://cs.wikipedia.org/wiki/Energie
https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplo
http://radek.jandora.sweb.cz/f03.htm#energie
https://cs.wikipedia.org/wiki/Mechanick%C3%A1_energie
https://matematika.cz/zlomky
https://matematika.cz/trojclenka
https://matematika.cz/logaritmy
https://cs.wikipedia.org/wiki/Skal%C3%A1r
https://cs.wikipedia.org/wiki/Vektor
https://cs.wikipedia.org/wiki/Ide%C3%A1ln%C3%AD_plyn
http://home.zcu.cz/~ratkovsk/dok/termomechanika/CV_TM_02_01.pdf
https://cs.wikipedia.org/wiki/Stavov%C3%A1_rovnice

https://cs.wikipedia.org/wiki/Ide%C3%A1ln%C3%AD_plyn
https://cs.wikipedia.org/wiki/Mol%C3%A1rn%C3%AD_plynov%C3%A1_konstanta
https://cs.wikipedia.org/wiki/Boyle%C5%AFv%E2%80%93Mariott%C5%AFv_z%C3%A1kon
https://is.muni.cz/el/1441/jaro2015/UPV_0019/32_31_17Zakony_plynu__Boyleuv_-_Mariottuv_.pdf
https://cs.wikipedia.org/wiki/Gay-Lussac%C5%AFv_z%C3%A1kon
https://cs.wikipedia.org/wiki/Izobarick%C3%BD_d%C4%9Bj
https://cs.wikipedia.org/wiki/Charles%C5%AFv_z%C3%A1kon
https://cs.wikipedia.org/wiki/Izochorick%C3%BD_d%C4%9Bj
https://cs.wikipedia.org/wiki/Adiabatick%C3%BD_d%C4%9Bj
https://cs.wikipedia.org/wiki/Poissonova_konstanta
https://cs.wikipedia.org/wiki/Dalton%C5%AFv_z%C3%A1kon_parci%C3%A1ln%C3%ADch_tlak%C5%AF
https://cs.wikipedia.org/wiki/Parci%C3%A1ln%C3%AD_tlak
https://cs.wikipedia.org/wiki/Prvn%C3%AD_termodynamick%C3%BD_z%C3%A1kon
https://cs.wikipedia.org/wiki/Vnit%C5%99n%C3%AD_energie
https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Brn%C3%A1_tepeln%C3%A1_kapacita
http://reseneulohy.cz/397/merna-tepelna-kapacita-plynu
https://cs.wikipedia.org/wiki/Kalorimetrick%C3%A1_rovnice
http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/580-kalorimetricka-rovnice
https://cs.wikipedia.org/wiki/Proud%C4%9Bn%C3%AD
https://cs.wikipedia.org/wiki/Rovnice_kontinuity
https://www.wikiskripta.eu/w/Rovnice_kontinuity
https://onlineschool.cz/fyzika/rovnice-kontinuity/
http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/124-rovnice-spojitosti-kontinuity
http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/125-bernoulliho-rovnice
https://www.wikiskripta.eu/w/Bernoulliho_rovnice
https://cs.wikipedia.org/wiki/Bernoulliho_rovnice
https://onlineschool.cz/fyzika/bernoulliova-rovnice/