

# PŘEHLED JEDNOTEK TLAKU

Zdeněk Faltus, BD SENSORS s.r.o.

V mezinárodní soustavě veličin (ISQ) je tlak odvozenou veličinou, definovanou podílem síly a plochy. ČSN EN ISO 80000-4 uvádí definici

$$p = dF/dA$$

kde  $dF$  je složka síly kolmá na element povrchu o obsahu  $dA$ .

Jednotkou tlaku v mezinárodní soustavě jednotek SI je pascal. Pascal je odvozená jednotka SI se zvláštním názvem.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$$

Hlavní výhodou základních a odvozených jednotek SI je skutečnost, že tvoří soubor koherentních jednotek, čímž odpadá nutnost převodu jednotek při uvádění hodnot veličin v rovnicích mezi veličinami. Doporučuje se užívání koherentních jednotek SI, stejně tak jejich desítkových násobků a dílů tvořených předponami SI.

Název jednotky	Značka jednotky	Definice, převodní činitel	Poznámka
pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>	
gigapascal	GPa	1 GPa = 1 x 10 <sup>9</sup> Pa	
megapascal	MPa	1 MPa = 1 x 10 <sup>6</sup> Pa	
kilopascal	kPa	1 kPa = 1 x 10 <sup>3</sup> Pa	
hektopascal	hPa	1 hPa = 1 x 10 <sup>2</sup> Pa	Používá se v oblasti hydrometeorologie.
milipascal	mPa	1 mPa = 1 x 10 <sup>-3</sup> Pa	
mikropascal	μPa	1 μPa = 1 x 10 <sup>-6</sup> Pa	
bar	bar	1 bar = 1 x 10 <sup>5</sup> Pa (přesně)	1 bar = 100 kPa
milibar	mbar	1 mbar = 1 x 10 <sup>2</sup> Pa	1 mbar = 1 hPa
kilobar	kbar	1 kbar = 1 x 10 <sup>8</sup> Pa	

Jednotky vycházející ze stopy, libry a sekundy a některé jiné jednotky (užívání těchto jednotek se nedoporučuje):

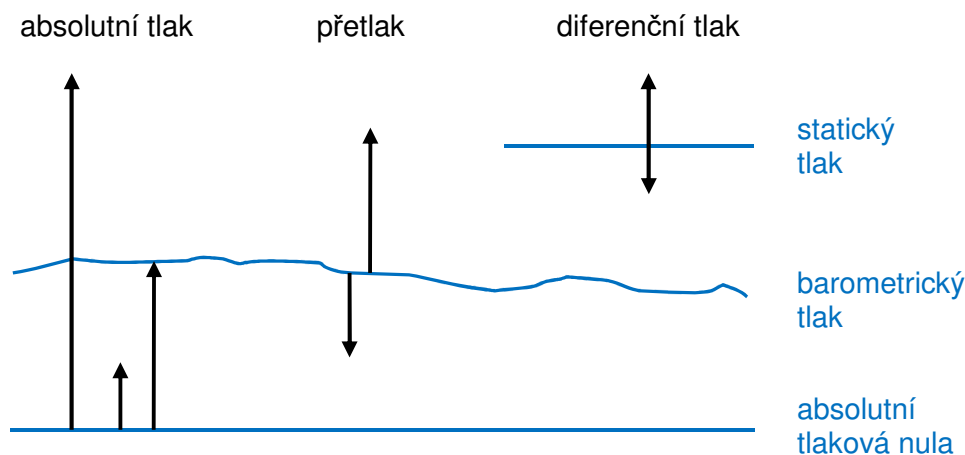
Název jednotky	Značka jednotky	Definice, převodní činitel	Poznámka
libra síly na čtvereční palec (pound-force per square inch)	lbf/in <sup>2</sup> lbf/sq in psi	1 lbf/in <sup>2</sup> = 6 894,757 Pa	Převodní činitel je vypočítaný z následujících hodnot: 1 lb = 0,453 592 37 kg (přesně) 1 in = 25,4 mm (přesně) normální tíhové zrychlení volného pádu $g_n = 9,806 65 \text{ m/s}^2$ (přesně)
libra síly na čtvereční stopu (pound-force per square foot)	lbf/ft <sup>2</sup> lbf/sq ft psf	1 lbf/ft <sup>2</sup> = 47,880 26 Pa	1 ft = 0,304 8 m (přesně)
kip per square inch	ksi kip/in <sup>2</sup>	1 ksi = 6 894,757 kPa	1 kip = 1 000 lbf
poundal per square foot		1 pdl/ft <sup>2</sup> = 1,488 164 Pa	1 pdl = 0,138 255 N

Další jednotky mimo SI (užívání těchto jednotek se nedoporučuje):

Název jednotky	Značka jednotky	Definice, převodní čísel	Poznámka
normální atmosféra	atm	1 atm = 101 325 Pa (přesně)	Referenční hodnota – nepoužívat jako jednotku.
technická atmosféra	at kgf/cm <sup>2</sup> kp/cm <sup>2</sup>	1 at = 1 kgf/cm <sup>2</sup> = 1 kp/cm <sup>2</sup> 1 at = 98 066,5 Pa (přesně)	V praxi se rozlišovala značka ata pro absolutní tlak a atp pro přetlak.
kilogram síly na čtvereční metr	kgf/m <sup>2</sup>	1 kgf/m <sup>2</sup> = 9,806 65 Pa (přesně)	
torr	Torr	1 Torr = 1/760 atm (přesně) 1 Torr = 133,322 4 Pa	V technické praxi byl mmHg nahrazovaný jednotkou Torr; tyto jednotky jsou s přesností 1 x 10 <sup>-6</sup> totožné.
konvenční milimetr rtuťového sloupce	mmHg	1 mmHg = 13,595 1 mmH <sub>2</sub> O 1 mmHg = 133,322 4 Pa	Jednotka tlakové výšky 1 mm sloupce čisté rtuti (hustota 13 595,1 kg/m <sup>3</sup> ), tíhové zrychlení 9,806 65 m/s <sup>2</sup>
konvenční milimetr vodního sloupce	mmH <sub>2</sub> O	1 mmH <sub>2</sub> O = 9,806 65 Pa (přesně)	Jednotka tlakové výšky 1 mm sloupce vody (hustota 1 000 kg/m <sup>3</sup> ), tíhové zrychlení 9,806 65 m/s <sup>2</sup>

*Poznámka: Při označování tlakové výšky vody se v praxi setkáváme i s jinými „značkami“ jednotek, např.: mmH<sub>2</sub>O, mmWC, mmWS, mmCE a pod., které vychází z anglického „water column“, německého „Wassersäule“, resp. francouzského „colonue d'eau“.*

Při měření tlaku je zásadním faktorem referenční hodnota měřeného tlaku, která může být rovna absolutní nule, okamžité hodnotě barometrického tlaku nebo libovolné hodnotě statického tlaku. Podle toho rozlišujeme absolutní tlak, přetlak a diferenční tlak. Rozdíly mezi jednotlivými režimy měření tlaku jsou zřejmé z obr. 1.



Obr. 1: Rozdíl mezi absolutním tlakem, přetlakem a diferenčním tlakem.

Norma ČSN EN ISO 80000-4 v poznámce u veličiny tlak uvádí: Značka  $p_e$  se doporučuje pro přetlak  $p - p_{amb}$ , kde  $p_{amb}$  je okolní tlak. Přetlak je tedy kladný nebo záporný podle toho, zda je  $p$  větší nebo menší než  $p_{amb}$ . NÁRODNÍ POZNÁMKA Pro  $p - p_{amb} < 0$  se používá termín podtlak  $p_e = p_{amb} - p$ .

Z historických důvodů se dále používají jednotky „tlakové výšky“, které vychází ze vztahu pro výpočet hydrostatického tlaku sloupce kapaliny:

$$p = \rho \times g \times h$$

kde  $\rho$  je hustota kapaliny,  $g$  zrychlení volného pádu,  $h$  výška sloupce kapaliny.

Jednotek tlaku založených na sloupci kapaliny je mnoho, což vyplývá z kombinace:

- jednotky délky: mm, cm, m, inch, feet;
- druhu kapaliny: voda (H<sub>2</sub>O), rtuť (Hg);
- hustoty vody pro teplotu: 4 °C, 60 °F, 68 °F (20 °C), konvenční hodnota 1 000 kg/m<sup>3</sup>;
- hustoty rtuti pro teplotu 0 °C nebo konvenční hodnota 13 595,1 kg/m<sup>3</sup>.

Hodnota tíhového zrychlení volného pádu používaná při stanovení převodního činitele je 9,806 65 m/s<sup>2</sup> (normální tíhové zrychlení volného pádu).

Hustota kapaliny se mění v závislosti na teplotě, tlaku a vlastnostech měřeného vzorku (čistota, izotopické složení). Hodnoty hustoty kapaliny (vody nebo rtuti) se mění také podle jednotlivých autorů. Konvenční jednotky „tlakové výšky“ předpokládají konvenční hustotu vody 1 000 kg/m<sup>3</sup> a konvenční hustotu rtuti 13 595,1 kg/m<sup>3</sup>. Pokud při značce jednotky „tlakové výšky“ není uvedena teplota určující hustotu kapaliny, jedná se o konvenční mmH<sub>2</sub>O, mmHg, mH<sub>2</sub>O, mHg, inH<sub>2</sub>O, inHg, atd. Normy ČSN EN ISO 80000-4, BS 350 i ASTM SI 10 uvádí převodní činitele pouze pro konvenční jednotky „tlakové výšky“.

V praxi se používají i jednotky „tlakové výšky“ se specifikovanou teplotou kapaliny. Převodní činitele uvádí následující tabulka podle literatury [5].

Název jednotky	Značka jednotky	Převodní činitel na Pa
milimetr vodního sloupce konvenční	mmH <sub>2</sub> O	9,806 65 (přesně)
milimetr vodního sloupce (4 °C)	mmH <sub>2</sub> O @ 4 °C	9,806 38
palec vodního sloupce konvenční	inH <sub>2</sub> O	249,088 9
palec vodního sloupce (39,2 °F)	inH <sub>2</sub> O @ 39,2 °F	249,082
palec vodního sloupce (60 °F)	inH <sub>2</sub> O @ 60 °F	248,84
milimetr rtuťového sloupce konvenční	mmHg	133,322 4
milimetr rtuťového sloupce (0 °C)	mmHg @ 0 °C	133,322
palec rtuťového sloupce konvenční	inHg	3 386,389
palec rtuťového sloupce (32 °F)	inHg @ 32 °F	3 386,38
palec rtuťového sloupce (60 °F)	inHg @ 60 °F	3 376,85

*Poznámka: 32 °F = 0 °C; 39,2 °F = 4 °C; 60 °F = 15,56 °C*

Uvádění dalších desetinných míst a zpřesňování převodních činitelů nemá opodstatnění, protože definice těchto jednotek nezohledňuje kompresibilitu rtuti, resp. vody nebo změny hustoty způsobené revizí praktické teplotní stupnice na ITS-90.

Tlakoměry a kalibrátory tlaku některých výrobců používají jednotky „tlakové výšky“ se specifikovanou teplotou 68 °F (20 °C). Převodní činitele na tyto jednotky neuvádí žádná z uvedených norem, proto se hodnoty převodních činitelů z různých zdrojů liší. Hustota vody při 20 °C je asi 998,203 kg/m<sup>3</sup>. Hodnoty převodních činitelů vypočítané pro uvedenou hodnotu hustoty vody uvádí následující tabulka. Relativní nejistota převodního činitele je rovná relativní nejistotě hustoty vody, to je odhadem 5·10<sup>-6</sup>.

Název jednotky	Značka jednotky	Převodní činitel na Pa
milimetr vodního sloupce (20 °C)	mmH <sub>2</sub> O @ 20 °C	9,789 03
palec vodního sloupce (68 °F)	inH <sub>2</sub> O @ 68 °F	248,6413

Důležité je upozornit, že záměna konvenční jednotky „tlakové výšky“ vody a jednotky pro 68 °F (20 °C) způsobí systematickou chybu 0,18 %. I proto normy doporučují jednotky „tlakové výšky“ nepoužívat.

Na měření výšky hladiny kapalin se v praxi často používají ponorné nebo zabudované sondy. Tyto mohou měřit hydrostatický tlak kapaliny v uživatelem definovaných jednotkách „tlakové výšky“ podle hustoty dané kapaliny „přímo v jednotkách délky“. Tato uživatelská jednotka je definovaná vztahem pro výpočet hydrostatického tlaku sloupce kapaliny se specifikovanou hustotou. Při měření je nutné uvážit přesnost takto měřené výšky hladiny, vzhledem na přesnost použité hodnoty hustoty, která se mění jednak s teplotou a jejím rozložením, a také skutečnost, že hodnotu hustoty některých měřených produktů (benzín, pivo, mléko, ...) známe s omezenou přesností, což se promítne do přesnosti měření výšky hladiny daného média.

### *Značka jednotky tlaku*

Jednotka tlaku je ve všech tlakových režimech (absolutní tlak, přetlak, diferenční tlak) stejná. Označování druhu tlaku ve značce jednotky je nesprávné (kPa abs.; bar g, PSIG, atd.). Informace o druhu měřeného tlaku musí být uvedena jinou formou, tj. nikdy ne svévolnou úpravou značky jednotky. V praxi se ovšem setkáváme s různými kombinacemi značky jednotky tlaku a zkratk:

abs; a; ... pro absolutní tlak;  
gauge; g; ... pro kladný přetlak;  
vac;ng ... pro podtlak, záporný přetlak;  
diff; ... pro diferenční tlak (tlakovou diferenci);  
sg pro „sealed gauge“ což popisuje konstrukční řešení snímače přetlaku s uzavřenou referenční stranou.

Na závěr tabulka, která uvádí přehled oficiálních hodnot převodních činitelů různých jednotek tlaku mimo soustavy SI na pascal.

Značka jednotky	Další značky	ISO 80000-4	BS 350	ASTM SI 10	NIST SP 811
atm		<b>101 325</b>	<b>101 325,0</b>	<b>101 325</b>	<b>101 325</b>
at	kgf/cm <sup>2</sup> , kp/cm <sup>2</sup>	<b>98 066,5</b>	<b>98 066,5</b>	<b>98 066,5</b>	<b>98 066,5</b>
kgf/m <sup>2</sup>		<b>9,80665</b>	<b>9,80665</b>	<b>9,80665</b>	<b>9,80665</b>
kgf/mm <sup>2</sup>					<b>9,80665E+06</b>
gf/cm <sup>2</sup>					<b>98,0665</b>
mmH <sub>2</sub> O		<b>9,80665</b>	<b>9,80665</b>		<b>9,80665</b>
cmH <sub>2</sub> O				<b>98,0665</b>	<b>98,0665</b>
cmH <sub>2</sub> O (4 °C)					98,0638
inH <sub>2</sub> O			249,089	249,089	249,0889
inH <sub>2</sub> O (39,2 °F)					249,082
inH <sub>2</sub> O (60 °F)					248,84
ftH <sub>2</sub> O			2 989,07	2 989,07	2 989,067
ftH <sub>2</sub> O (39,2 °F)					2 988,98
mmHg		133,3224	133,322	133,3224	133,3224
Torr		133,3224	133,322	133,322	133,3224
cmHg					1 333,224
cmHg (0 °C)					1333,22
inHg			3 386,39	3 386,3	3 386,389
inHg (32 °F)					3 386,38
inHg (60 °F)					3 376,85
ftHg					40 636,66
lbf/in <sup>2</sup>	lbf/sq in, psi	6 894,757	6 894,76	6 894,757	6 894,757
lbf/ft <sup>2</sup>	lbf/sq ft, psf		47,8803	47,88026	47,88026
pdl/ft <sup>2</sup>			1,48816	1,488164	1,488164
ksi	kip/in <sup>2</sup> , k.s.i.			6 894 757	6 894 757
dyn/cm <sup>2</sup>				<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
tonf/ft <sup>2</sup>			1,07252E+05		
tonf/in <sup>2</sup>			1,54443E+07		

Poznámka: Hodnoty uvedené tučným písmem jsou přesné hodnoty.

#### LITERATURA

- [1] ČSN ISO 80000-1:2011 Veličiny a jednotky - Část 1: Obecně
- [2] ČSN EN ISO 80000-4:2007 Veličiny a jednotky - Část 4: Mechanika
- [3] BS 350:2004 Conversion factors for units
- [4] IEEE/ASTM SI 10:2016 American National Standard for Metric Practice
- [5] Guide for the Use of the International System of Units (SI), NIST Special Publication 811, 2008 Edition, <http://www.nist.gov/pml/pubs/sp811/index.cfm>