

Přepočet absolutního atmosferického tlaku na hladinu moře, senzory BOSCH řady BMP85/180/280 a Arduino

Následující informace se nevztahují pouze na uvedené senzory a Arduino, ale mají více méně obecnou platnost, autor však nijak negarantuje jejich správnost či přesnost.

Detailní informace o uvedených snímačích najdete v datasheetech, které jsou velmi dobře dostupné, popis jejich vlastností není předmětem tohoto článku.

Senzory BMP85, BMP180, BMP280 jsou senzory atmosferického tlaku a teploty. Snímač BME280 zajišťuje mimo tyto veličiny ještě navíc měření vlhkosti. Všechny tyto senzory mají srovnatelnou přesnost měření absolutního atmosferického tlaku přibližně 1hPa. Mají v pevné paměti zapsány kalibrační konstanty od výrobce a použitá knihovna obvykle zajistí výpočet skutečné hodnoty atmosferického tlaku pomocí těchto konstant a teploty senzoru, která je k dispozici. V této fázi se teplota využívá pouze pro kompenzaci nelinearity / teplotní závislosti snímače při určení absolutního tlaku.

Údaj, který obvykle získáme voláním knihovní funkce, je tedy skutečný absolutní atmosferický tlak v místě, kde se nachází tlakový senzor. Ovšem v meteorologii a prognostice počasí se obvykle používá poněkud jiný údaj. Je to atmosferický tlak přepočtený na hladinu moře (at sea level pressure). To proto, aby bylo možné srovnávat měření tlaku různých měřících stanic, bez ohledu na jejich nadmořskou výšku.

Atmosferický tlak se s výškou mění, s rostoucí nadmořskou výškou klesá. Tato změna není lineární a závisí na mnoha často proměnných faktorech. Jsou to především měrná hustota vzduchu, tíhové zrychlení v daném místě, výrazné proudění vzduchu nebo teplota vzduchového sloupce včetně jejího gradientu. V menších výškách platí zhruba zjednodušený vztah:

Výškový rozdíl 10 metrů odpovídá změně tlaku o cca 1,2hPa

Změna tlaku o 1hPa odpovídá změně výšky o cca 8,43 metrů

Pokud však chceme plně využít přesnost senzoru a zároveň mít k dispozici tlak přepočtený na hladinu moře, který udávají běžné meteorologické stanice, je vhodné použít přesnější výpočet.

Knihovny Arduina od firmy Adafruit pro senzory BMP85/180 obsahovaly funkci pro přepočet, založenou na vzorci publikovaném v datasheetu firmy BOSCH. Ten však nezahrnuje vliv teploty a v nových knihovnách pro senzory BMP280 a BME280 se mi už tyto funkce ani nepodařilo nalézt. Proto jsem hledal vzorce, které bych mohl pro daný účel použít.

Těchto rovnic je možné najít celou řadu v různých tvarech a úpravách. Některé opravdu zohledňují i zeměpisné souřadnice s gravitačním zrychlením v daném bodě zeměkoule, ale tak daleko jsem zajít nechtěl. V rovnicích figuruje několik proměnných, které jsou často pro zjednodušení nahrazeny konstantami. Snažil jsem se vyřešit kompromis mezi složitostí výrazů a reálně dosažitelnou přesností.

Faktem je, že je problematické hovořit o přesnosti měření atmosferického tlaku, když obvykle chybí možnost srovnání s garantovanou hodnotou - standardem.

Porovnávat lze pouze s blízkými stanicemi, kde můžeme obvykle jen doufat, že jimi měřený tlak, přepočtený na hladinu moře, je správný. Tuto metodu používám při svých experimentech také, protože lepší nemám.

Srovnávání je nejlépe provádět v době, kdy je tlak stabilní a není výrazně větrno, protože vítr na terénních nerovnostech může způsobovat výrazné lokální rozdíly.

Postupem času jsem se dopracoval k rovnicím, které považuji za dobře použitelné a s dostačující přesností.

1. První rovnice je přímo z dokumentace senzoru BMP180 od firmy BOSCH:

$$p_0 = \frac{p}{\left(1 - \frac{h}{44330}\right)^{5,255}}$$

2. Tato rovnice je zase odvozena z barometrické rovnice francouze J. Babineta:

$$p_0 = -\frac{p \cdot (h + 16000 + 64t)}{(h - 16000 - 64t)}$$

3. Poslední rovnice je údajně používána pro výpočty organizací ICAO:

$$p_0 = \frac{p}{\left(\frac{273,15 + t - 0,0065 \cdot h}{273,15 + t}\right)^{5,255}}$$

p_0 je požadovaný tlak při hladině moře

p je absolutní tlak získaný měřením

t je teplota ve stupních Celsia

h je nadmořská výška

Je patrné, že rovnice BOSCH nezahrnuje teplotu v místě měření.

Vytvořil jsem si tabulku v Excelu a porovnával výsledky přepočtu pro různé hodnoty tlaku, výšky a teploty.

Rovnici BOSCH jsem používal doposud, ale je nejméně přesná. Avšak v případě, že je barometr trvale umístěn v bytě, není její použití rozhodně chybným krokem a má své opodstatnění.

Babinetova rovnice je výpočetně velmi jednoduchá a lze s ní dosáhnout výborných výsledků. Její nepřesnost však roste s nadmořskou výškou měřicí stanice.

Proto pro nadmořské výšky > 500 m doporučuji vzorec číslo 3. - rovnici ICAO.

Tato rovnice je asi nejuniverzálnější.

Zde vidíte všechny tři rovnice přeepsané do Wiringu pro Arduino:

1. BOSCH $p_0 = p / \text{pow}(1.0 - h / 44330.0, 5.255);$

2. Babinet $p_0 = - p * (h + 16000.0 + 64.0 * t) / (h - 16000.0 - 64.0 * t);$

3. ICAO $p_0 = p / \text{pow}(1.0 - 0.0065 * h / (t + 273.15), 5.255);$

V tomto relativně jednoduchém řešení výpočtu tlaku při hladině moře se skrývá jeden problém. Pokud je čidlo umístěno venku, pak stačí nejprve odečíst teplotu a poté ji dosadit do výpočtu tlaku. Pokud je čidlo trvale umístěno v obytných místnostech, pak teplota čidla neodpovídá skutečné teplotě vzdušného sloupce a chyba měření roste, respektive se bude měnit třeba s ročním obdobím, s teplotou. Můžeme to řešit použitím vzorce BOSCH bez teplotní proměnné (uvažuje standardní teplotu 15 stupňů), nebo nastavit průměrnou roční teplotu cca 7- 9 stupňů..

Větší vliv než korekce teploty má však při výpočtu použití správné nadmořské výšky. Tu relativně snadno odečteme z vrstevnic dobré mapy, ještě snazší je použití webu <https://mapy.cz>, kde zjistíme svoji nadmořskou výšku docela přesně. Naštěstí se tato hodnota nemění a není problém ji zanést do vzorce obvykle jako konstantu.

Na [portálu ČHMÚ](#) je možné najít rozsáhlý seznam českých meteostanic, které zveřejňují každou hodinu údaje o absolutním tlaku, tlaku přepočteném, teplotě a publikují i nadmořskou výšku. Tam je možné hledat zdroje pro kontrolu barometru v podobě blízké stanice. Stanice ČHMÚ s nadmořskou výškou větší jak 550 m.n.m. neprovádějí přepočet tlaku na hladinu moře, pravděpodobně proto, protože neznají průběh teploty ve vrstvě vzduchu mezi úpatím hory a horskou meteorologickou stanicí. To by pak příliš zvyšovalo chybu nezbytného výpočtu.

Údaje senzoru BMP280, přepočtené pomocí rovnice ICAO jsem srovnával s blízkou, byť amatérskou, meteostanicí. Dlouhodobě dosahují odchylky menší než 1 hPa, což je stěží uvěřitelný výsledek.