

## REZONANČNÍ SNÍMAČE TLAKU FIRMY PAROSCIENTIFIC, INC. A JEJICH VYUŽITÍ V KALIBRÁTORECH FIRMY DH INSTRUMENTS, INC.

Zdeněk Faltus, BD SENSORS s.r.o., Uherské Hradiště  
Petr Moravec, D-Ex Limited, s.r.o., Brno

---

Článek popisuje princip činnosti rezonančních snímačů tlaku Digiquartz® firmy Paroscientific, Inc. a uvádí výsledky potvrzující jejich výbornou dlouhodobou stabilitu. Popisuje kalibraci kalibrátorů tlaku firmy DH Instruments, Inc. využívajících tyto snímače a způsob stanovení kalibračních koeficientů v akreditované kalibrační laboratoři BD SENSORS, s.r.o. Článek dále poukazuje na možnost jednoduchého stanovení kalibračních koeficientů pro různé rozsahy použitého snímače a dokumentuje jeho dlouhodobou stabilitu.

Rezonanční snímače představují v současnosti jeden z nejpřesnějších dostupných druhů snímačů tlaku. Umožňují měření tlaku s přesností na setinu a dokonce na tisíce procenta, a to v širokém rozsahu pracovních teplot, například  $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tyto rezonanční snímače odolávají vibracím, vyznačují se malými rozměry, nízkou hmotností a malou spotřebou energie.

Základem rezonančního snímače je rezonátor z krystalického křemíku, který je podstatnou částí přesného oscilátoru podobného krystalovým oscilátorům s dlouhodobou teplotní stabilitou v řádu  $1.10^{-7}$  používaným v etalonech frekvence nebo v hodinách. Krystalové rezonátory využívají fenomén piezoelektrického pohonu k dosažení a udržení oscilací nosníku. Elektrody jsou zapojeny v oscilačním obvodu na udržení buzení a mechanických vibrací. Rezonanční frekvence kmitajícího nosníku je určena jeho rozměry, složením a pnutím nosníku. Jeho frekvence, podobně jako u houslové struny, se zvyšuje se vzrůstajícím napětím. Při stlačení nosníku frekvence klesá. Nosník je udržován v oscilacích pomocí obvodu volně sledujícím rezonanční frekvenci nosníku, která je určená aplikovanou axiální zátěží. Rezonátor by pracoval i při tlaku okolního prostředí, jeho činnost se výrazně zlepšuje ve vakuu.

Teplotní charakteristiky křemíku, použitého v rezonátoru citlivém na tlak, se mění podle změn Youngova modulu, teplotní roztažnosti a piezoelektrických konstant. To se odrazí ve změnách rezonanční frekvence, nebo citlivosti na přiloženou zátěž. Změny činnosti následkem teploty jsou charakteristické pro krystalický křemík, jsou neměnné, opakovatelné a měřitelné. Nejlepší způsob, jak kompenzovat vliv teploty na křemenný rezonátor, je použít druhý rezonátor, který je citlivý pouze na teplotu. Na buzení teplotního rezonátoru je použit samostatný elektrický oscilátor. Potom dva frekvenční výstupy ze snímače reprezentují aplikovaný tlak (s malým teplotním efektem) a teplotu (bez vlivu tlaku). Tyto dva signály obsahují všechny informace potřebné na eliminaci teplotních chyb pro libovolnou kombinaci tlaku a teploty.

Pro převod vstupního tlaku na axiální sílu působící na krystalový rezonátor se používají mechanismy s vlnovcem nebo Bourdonovou trubicí. Čidla mohou být navržena tak, aby pokrývala rozsah od 100 kPa až do rozsahu více než 100 MPa použitím různých velikostí vlnovců nebo Bourdonových trubic kombinovaných s rezonátorem s jednoduchým nosníkem, nebo krystalem ve tvaru ladící vidličky s dvojitým ukončením. Oba mechanismy využívají utěsněnou vnitřní komoru (pro zajištění vakua požadovaného krystaly) a nulový referenční tlak pro vlnovce i Bourdonovy trubice (pro umožnění měření absolutního tlaku).

U čidla absolutního tlaku vlnovec vyvíjí sílu působící vzhůru na páku. Tato síla je součinem působícího absolutního tlaku a efektivní plochy vlnovce. Síla vyvíjí moment a přes otočný čep působí proti pevnému krystalu. Pnutí působící v nosníku rezonátoru snižuje rezonanční frekvenci oscilací a umožňuje měření tlaku. Změna velikosti a polohy vlnovce relativně k otočnému čepu páky umožňuje nastavit široký rozsah poměru síly vlnovce na pnutí v krystalu. Výsledkem je to, že snímače různých rozsahů tlaku mohou být vyrobeny s minimálními změnami komponentů. Snímače diferenčního tlaku mají na opačné straně páky umístěn druhý vlnovec. Vlnovce působí jeden proti druhému a na krystal rezonátoru se přenáší pouze diference tlaku v obou vlnovcích.

Druhým typem tlakového mechanismu je jednoduchá Bourdonova trubice napínající krystalový rezonátor. Bourdonova trubice má pod vlivem vstupního tlaku tendenci se rozvinout a napínat tak krystalový rezonátor, čímž zvyšuje jeho rezonanční frekvenci. I když frekvence klesá s tlakem

v případě vlnovcového mechanismu a vzrůstá s tlakem v případě s Bourdonovou trubicí, relativní změna frekvence se řídí stejným fyzikálním principem v obou případech a je proto předmětem stejného algoritmu při převádění frekvence na hodnotu tlaku.

Oba typy mechanismů obsahují teplotně citlivý krystal pro teplotní kompenzaci. Oba snímače jsou vyváženy proti vlivu zrychlení pomocí malých pohyblivých závaží, která jsou nastavena tak, aby byl snímač necitlivý na lineární zrychlení a vibrace.

Každý snímač produkuje dva frekvenční výstupy, jeden pro tlak a jeden pro teplotu. Tlakový rezonátor má jmenovitou frekvenci asi 38 kHz, která se mění asi o 10 %, když působí plný vstupní tlak. Teplotní signál má jmenovitou frekvenci 172 kHz a mění se o 50 ppm na °C.

Vztah mezi výstupním signálem a vstupním tlakem je možné odvodit ze základních fyzikálních zákonů pro upevněný kmitající nosník. Při charakterizaci každého snímače v laboratořích výrobce jsou určeny konstanty snímače. Měření výstupní periody a výpočet se provede mikroprocesorem rychlostí 70 krát za sekundu s rozlišením  $1 \cdot 10^{-4}$  nebo 0,01 %.

Všechny snímače tlaku Digiquartz® mohou být spojeny se speciálním rozhraním a vytvoří tak inteligentní převodník tlaku. Tento převodník poskytuje teplotně kompenzovanou informaci o hodnotě měřeného tlaku na oboustranně adresovatelné sběrnici RS-232, která může být připojena na počítač nebo na samostatnou indikační jednotku. Digitální rozhraní využívá dva frekvenční výstupní signály ze snímače tlaku (odpovídající vstupnímu tlaku a vnitřní teplotě čidla) na výpočet plně korigované hodnoty tlaku a teploty. Rozhraní RS-232 umožňuje úplnou konfiguraci a řízení všech operací převodníku, včetně rozlišení, rychlosti vzorkování, integračního času a rychlosti přenosu. Rozlišení je programovatelné od 0,05 do 100 ppm. Rychlost přenosu může být vybrána od 300 do 19200.

Inteligentní převodníky jsou dostupné v celém rozsahu absolutních tlaků od rozsahu 0,10 MPa do rozsahu 276 MPa, v rozsazích přetlaku 0,10 MPa do 1,38 MPa a diferenční rozsahy do 0,02 MPa, 0,04 MPa a 0,12 MPa.

Křemenný rezonátor v snímači tlaku představuje silné omezení pro použití vlnovec nebo Bourdonovu trubicí, a proto zátěž způsobí velmi malý mechanický pohyb ( $2,5 \cdot 10^{-6}$  m nebo méně). To zvyšuje opakovatelnost a snižuje hysterezi. Vysoká hodnota činitele jakosti Q eliminuje šum výstupních signálů, čehož následkem je vysoké rozlišení. Využití frekvenčního výstupu křemenného teplotního čidla pro kompenzaci teploty umožňuje dosáhnout přesnost 0,01 % z měřicího rozsahu v širokém rozsahu pracovních teplot.

Inteligentní převodníky jsou tak schopny dosáhnout parametrů na úrovni kvalitních etalonů, a to i v těžkých okolních podmínkách. Jsou kompatibilní s většinou počítačových systémů a zaměnitelné s jiným převodníkem bez nutnosti recalibrace nebo přeprogramování.

Rezonanční snímače Digiquartz® firmy Paroscientific, Inc. se vyznačují výbornou dlouhodobou stabilitou. V laboratořích výrobce bylo provedeno měření dlouhodobé stability tří snímačů barometrického tlaku v průběhu osmi let (4). Drift zkoušených vzorků byl  $-0,3$  Pa až  $-1,1$  Pa za rok. Průměrná hodnota driftu byla  $-0,6$  Pa/rok. Tato měření potvrzují pozoruhodnou stabilitu. Celkový drift je tak malý, že významná část driftu může být způsobena reálnými změnami v referenčním tlaku z etalonového tlakoměru. Při těchto měřeních byl jako etalon tlaku použit pístový tlakoměr absolutního tlaku CEC model 6-201. Přesnost tohoto etalonu v měřených bodech je lepší než 10 Pa. Krátkodobá opakovatelnost etalonu je asi 2 Pa, dlouhodobá stabilita 2 Pa.

Zkoušky provedené Norským meteorologickým institutem na dvou vzorcích barometru typ 760 ukázaly neměřitelný posun rozpětí a posun nuly 10 Pa/rok po 12 letech užívání v laboratoři i v terénu. Současná produkce snímačů vykazuje ještě menší drift. Další údaje o rezonančních snímačích Digiquartz® firmy Paroscientific, Inc. uvádí literatura (1), (2) a (3).

Výborné vlastnosti uvedených rezonančních snímačů (přesnost, dlouhodobá stabilita, odolnost na vlivy vnějšího prostředí, ...) využívá firma DH Instruments, Inc. ve svých přístrojích, především v kalibrátorech tlaku. Jedná se o kalibrátory tlaku typ PPC2 a PPC2+, které představují v oblasti kalibrační techniky špičkovou kvalitu.

Kalibrační laboratoř BD SENSORS s.r.o., akreditovaná ČIA v květnu 1995 v oblasti kalibrace měřidel tlaku, provádí mimo jiné také kalibraci vlastních pracovních etalonů – elektrických kalibrátorů tlaku a také kalibrátorů tlaku v úseku výroby BD SENSORS s.r.o. Pro kalibrační laboratoř představuje kalibrátor tlaku firmy DH Instruments, typ PPC2 s rozsahem absolutního tlaku (0 až 3,5) MPa, nepostradatelného pomocníka (v současnosti i PPC2+ s rozsahu do 7 MPa). Kalibrátor tlaku je možné použít jako základ automatizovaného kalibračního systému, čímž se výrazně zvyšuje efektivita kalibračních činností laboratoře.

Měřicí rozsah rezonančního snímače, a tím i zmíněného kalibrátoru tlaku PPC2, v kalibrační laboratoři BD SENSORS s.r.o. je (0 až 3,5) MPa, přesnost definovaná výrobcem a potvrzená při následných kalibracích je (0,005 % z měřené hodnoty + 0,01 % z rozsahu) po dobu 90 dnů, nebo 0,02 % z aktivního rozsahu na 1 rok.

Rezonanční snímače (RPT – reference pressure transducer) jsou charakterizovány v laboratořích výrobce. V pevné paměti tlakoměru, resp. kalibrátoru tlaku, jsou uloženy všechny potřebné koeficienty, (viz (1,2,3)), jejich opakované stanovení není nutné. Při kalibraci konkrétního rozsahu se přivádí tlak z referenčního etalonu na RPT při zatěžování a odlehčování v celém měřicím rozsahu. Hodnoty tlaku definované etalonem a odpovídající údaje RPT se zaznamenají v každém tlakovém bodě. Když byly aplikovány a zaznamenány všechny tlakové body, provede se nastavení, které přizpůsobí údaje RPT referenčním hodnotám. Přizpůsobení údajů znamená vytvoření lineární regrese metodou nejmenších čtverců k dosažení nejmenší odchylky hodnoty zbytkové chyby snímače od referenční hodnoty. Údaje snímače se nastaví pomocí uživatelem zadaných koeficientů PA (offset) a PM (nastavení rozpětí). Nastavení těchto konstant od výrobce je PA = 0 a PM = 1. Pokud byly konstanty PA a PM již změněny, před provedením kalibračního postupu je nutno zadat hodnoty koeficientů PA = 0 a PM = 1.

Konstanty PA a PM stanovuje kalibrační laboratoř při pravidelné recalibraci kalibrátoru PPC2. Tyto konstanty je možné stanovit pro různé měřicí rozsahy, a to v rozmezí 20 až 100 % rozsahu snímače, tj. pro daný kalibrátor PPC2 od 0,7 MPa do 3,5 MPa. Zadáním těchto konstant kalibrátoru PPC2 se mění aktivní měřicí rozsah podle potřeb uživatele, tím se mění i přesnost generované hodnoty tlaku. Kalibrační postup je vykonáván nezávisle pro každý rozsah snímače, a tím je možné dosáhnout optimálního přizpůsobení pro každý rozsah. Tento postup dovoluje vylepšit přesnost individuálních rozsahů, nižších než je maximální měřicí rozsah RPT, zohledněním specifických vlastností charakteristiky snímače, zvláště místní odchylky od linearitu a/nebo na zatížení závislé hystereze.

Kalibrace RPT absolutního tlaku musí být provedena v absolutním módu. Kalibrátor tlaku PPC2 je možné použít v absolutním i přetlakovém módu. V našem případě je v kalibrátoru PPC2 použit rezonanční snímač absolutního tlaku. Hodnoty relativního tlaku jsou stanoveny tím způsobem, že snímač změří tlak měřeného média i barometrický tlak a výsledná hodnota přetlaku je rovna rozdílu těchto hodnot (absolutní snímač je v podstatě vytárován při barometrickém tlaku). U kalibrátoru tlaku typ PPC2+ je uvedený postup zdokonalen použitím dalšího méně přesného barometru (piezorezistivní snímač), kterého význam spočívá v dynamické kompenzaci změny barometrického tlaku v intervalu mezi dvěma odečty barometrického tlaku pomocí RPT. Vestavěný barometr kalibrátoru PPC2+ měří hodnotu barometrického tlaku nezávisle na snímači RPT. Rozdíl mezi odečtem vestavěného barometru v okamžiku posledního tárování a jeho aktuálním odečtem se využívá pro kompenzaci hodnoty táry v době mezi dvěma možnostmi pro aktualizaci hodnoty táry (při odvodušnění). Tento postup, který se opírá jen o rozlišení a krátkodobou stabilitu vestavěného barometru a ne o jeho absolutní přesnost, umožňuje měření přetlaku pomocí absolutního snímače RPT s dodatečnou nejistotou, způsobenou vlivem možných změn atmosférického tlaku, omezenou na hodnotu  $\pm 8$  Pa. U jiných kalibrátorů tlaku se setkáváme častěji s opačným postupem, kdy kalibrátor obsahuje snímač relativního tlaku a barometr. V případě práce v absolutním módu je hodnota generovaného absolutního tlaku daná součtem údaje snímače relativního tlaku a barometru. V případě, že by kalibrace zmíněného kalibrátoru PPC2 byla provedena v přetlakovém módu, při zadávání hodnot absolutního tlaku by hodnoty z kalibrátoru mohly být systematicky posunuté.

Při kalibraci kalibrátoru tlaku PPC2 byly použity následující referenční etalony kalibrační laboratoře BD SENSORS s.r.o.:

- pístový tlakoměr DH, typ 5201 s měřicím rozsahem (0,02 až 4) MPa, rozšířená nejistota 0,0035 % z měřené hodnoty tlaku v základním rozsahu;
- číslíkový barometr Paroscientific, typ 760-16B s měřicím rozsahem (80 až 110) kPa, rozšířená nejistota 6 Pa.

Konvenčně pravá hodnota absolutního tlaku je daná součtem hodnoty generované na výstupu etalonového pístového tlakoměru a hodnoty okamžitého barometrického tlaku. Při měření absolutního tlaku s uváděnou přesností je nutné počítat korekce na odlehlost referenčních úrovní použitých měřidel nebo uspořádat měření tak, aby byli referenční úrovně ve stejné výšce.

Postup při kalibraci PPC2 a stanovení konstant PA a PM je možné shrnout do několika kroků:

- příprava kalibrátoru tlaku PPC2 a etalonážního zařízení, tj. aklimatizace a zahřátí přístrojů v souladu s požadavky výrobce;
- zadání konstant kalibrátoru tlaku, PA = 0, PM = 1;
- vlastní kalibrace, tj. stanovení hodnot uvedených v tabulce 1;
- výpočet konstant PA a PM;
- zadání nově určených hodnot PA a PM do kalibrátoru tlaku;
- vlastní kalibrace, včetně stanovení nejistot.

POZNÁMKA: Při kalibraci je možné využít pohodlnou a rychlou regulaci tlaku kalibrátorem PPC2, proto je nastaven široký "hold limit", aby kalibrátor nastavil hodnotu tlaku jenom přibližně a umožnil jemné nastavení tlaku manuálně objemovým regulátorem pístového tlakoměru. Kalibrátor PPC2 umožňuje při kalibraci a stanovení koeficientů PA a PM postupovat i jiným způsobem.

Koeficienty PA a PM mají na odečet kalibrátoru PPC2 následující vliv:

korigovaný odečet = (nekorigovaný odečet + PA) \* PM

POZNÁMKA: V případě kalibrátoru tlaku PPC2+ je tento vztah ve tvaru:

korigovaný odečet = nekorigovaný odečet \* PM + PA

Z hodnot  $p_{et}$  a  $p_{PPC}$  stanovíme koeficienty regresní přímky k a q.

$$p_{et} = k * p_{PPC} + q$$

Pro koeficienty PA a PM při kalibraci PPC2 platí:

$$PA = q/PM$$

$$PM = k$$

Konstanta PM je bezrozměrná, PA je vyjádřena v PSI. Po zadání nových konstant PA a PM jsou chyby kalibrátoru tlaku minimalizovány. Výsledky poslední kalibrace v rozsahu do 2000 kPa po zadání nových hodnot PA a PM jsou znázorněny v grafu 1. Chyby jsou vyjádřeny v % z aktuálního rozsahu.

Dvojice konstant PA a PM pro různé tlakové rozsahy byly určovány opakovaně v průběhu let 1995 až 1998. Jejich hodnoty uvádí tabulka 2. Změny konstant jsou znázorněny v grafech 2 a 3 (hodnoty PA a PM z roku 1995 pochází od výrobce a z ČMI Brno).

Tabulka 1

<b>Výpočet koeficientů PA, PM při kalibraci kalibrátoru tlaku DHI typ PPC2</b>						
$p_{PT}$	$p_b$	$p_{et}$	$p_{PPC}$	PM	k (kPa)	PA (PSI)
<i>Rozsah (0 - 700) kPa a</i>						
0,000	98,851	98,851	98,660	0,9999166	0,1953897	0,02834
100,021	98,850	198,871	198,689			
200,021	98,849	298,870	298,698			
300,016	98,849	398,865	398,712			
400,016	98,849	498,865	498,716			
500,011	98,850	598,861	598,720			
600,011	98,851	698,862	698,715			
600,011	98,852	698,863	698,717			
500,011	98,854	598,865	598,721			
400,015	98,857	498,872	498,721			
300,015	98,858	398,873	398,720			
200,020	98,857	298,877	298,709			
100,020	98,859	198,879	198,699			
0,000	98,858	98,858	98,665			
<i>Rozsah (0 - 2000) kPa a</i>						
0,000	98,859	98,859	98,663	1,0000505	0,1488391	0,02159
300,012	98,862	398,874	398,722			
699,997	98,864	798,861	798,705			
1099,981	98,864	1198,845	1198,660			
1499,962	98,864	1598,826	1598,585			
1899,943	98,864	1998,807	1998,530			
1899,942	98,865	1998,807	1998,530			
1499,956	98,864	1598,820	1598,588			
1099,972	98,865	1198,837	1198,665			
699,988	98,868	798,856	798,699			
300,007	98,870	398,877	398,728			
0,000	98,870	98,870	98,663			
<i>Rozsah (0 - 3500) kPa a</i>						
0,000	98,870	98,870	98,669	0,9999343	0,2254555	0,03270
400,001	98,871	498,872	498,725			
899,967	98,874	998,841	998,692			
1399,937	98,876	1498,813	1498,622			
1899,897	98,876	1998,773	1998,540			
2399,861	98,880	2498,741	2498,578			
2899,818	98,883	2998,701	2998,625			
3399,779	98,886	3498,665	3498,781			
3399,776	98,887	3498,663	3498,786			
2899,805	98,890	2998,695	2998,686			
2399,842	98,894	2498,736	2498,658			
1899,873	98,896	1998,769	1998,604			
1399,912	98,898	1498,810	1498,662			
899,945	98,901	998,846	998,732			
399,989	98,903	498,892	498,771			
0,000	98,903	98,903	98,702			

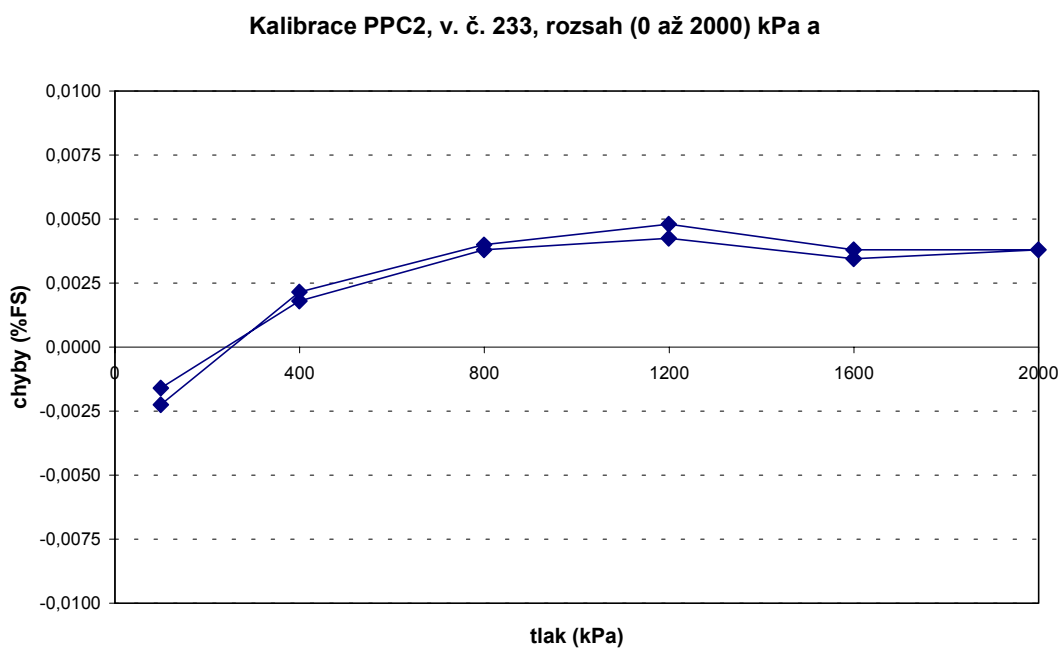
Význam použitých symbolů:

- $p_{PT}$  hodnota tlaku generovaná pístovým tlakoměrem, výpočet hodnoty a její nejistoty viz příklad 8 v (6);  
 $p_b$  okamžitá hodnota barometrického tlaku;  
 $p_{et}$  konvenčně pravá hodnota měřeného absolutního tlaku,  $p_{et} = p_{PT} + p_b$ ;  
 $p_{PPC}$  údaj kalibrátoru tlaku PPC2.

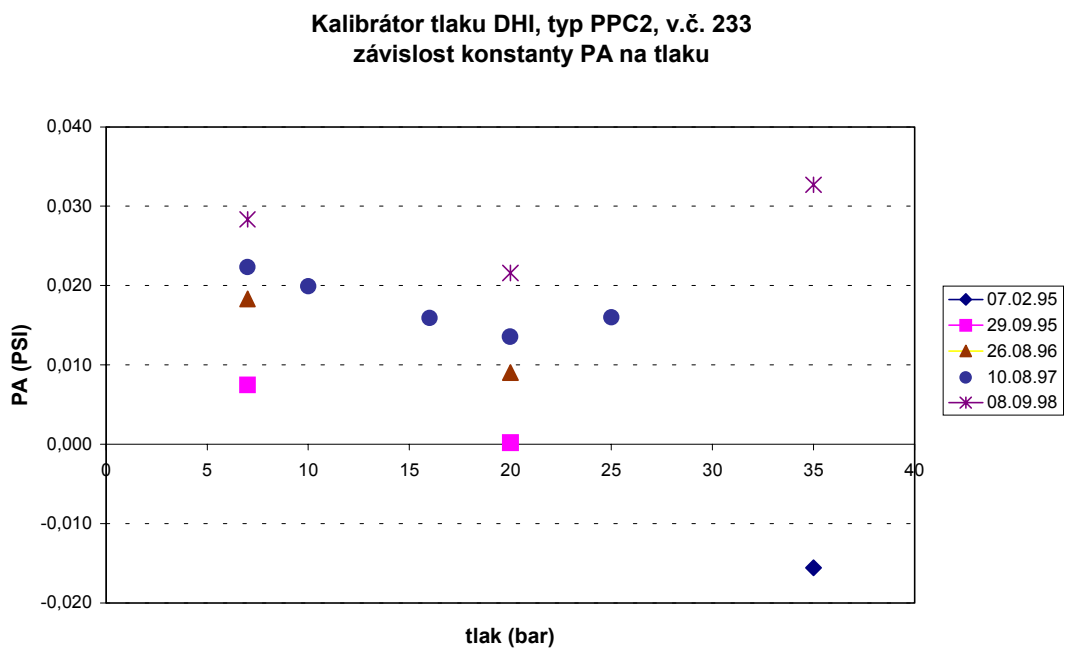
Tabulka 2

Koeficienty PA, PM pro kalibrátor DHI, typ PPC2, v.č. 233					
PA (PSI)					
Rozsah (bar)	07.02.95	29.09.95	26.08.96	10.08.97	08.09.98
7		0,00751	0,01832	0,02235	0,02834
10				0,01991	
16				0,01591	
20		0,00020	0,00905	0,01353	0,02159
25				0,01600	
35	-0,01556				0,03270
PM					
Rozsah (bar)	07.02.95	29.09.95	26.08.96	10.08.97	08.09.98
7		1,0000062	0,9999489	0,9999632	0,9999166
10				1,0000216	
16				1,0000921	
20		1,0001329	1,0000815	1,0001028	1,0000505
25				1,0000738	
35	0,9999350				0,9999343

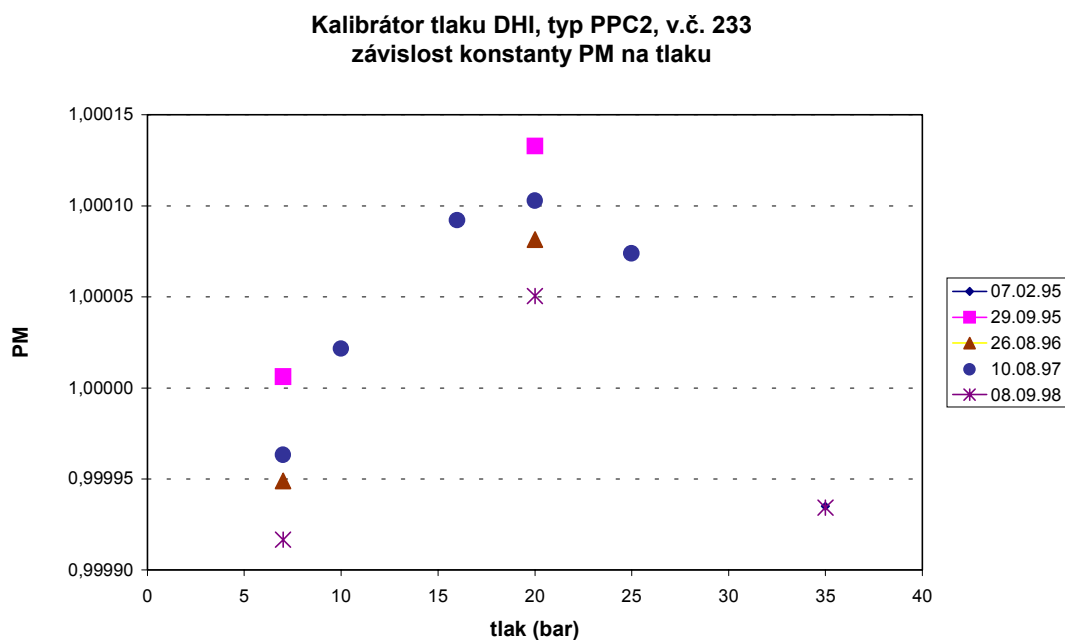
Graf 1



Graf 2



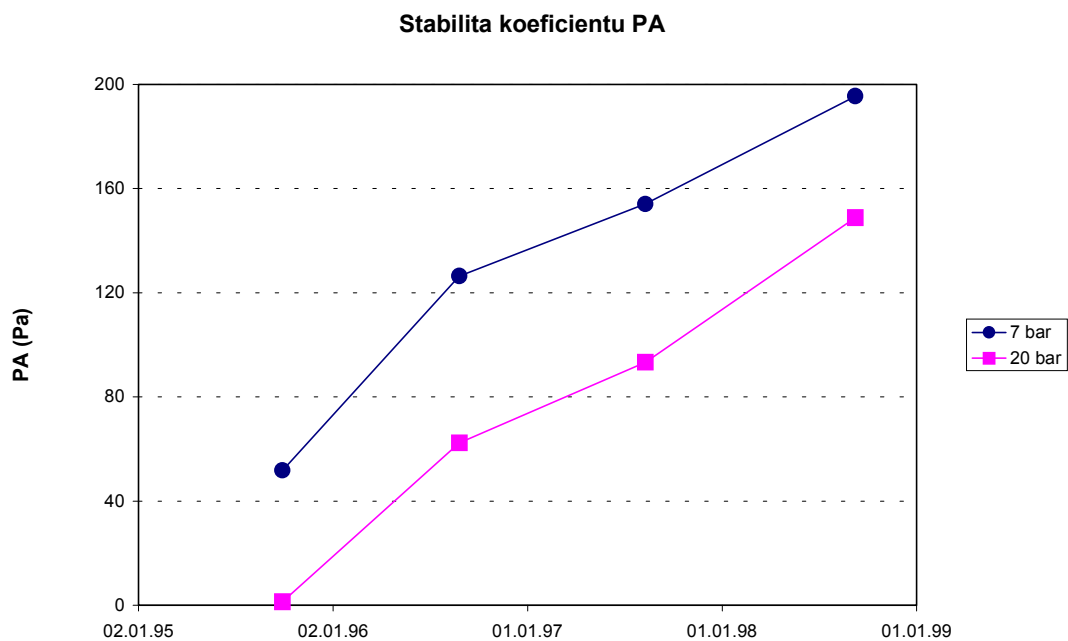
Graf 3



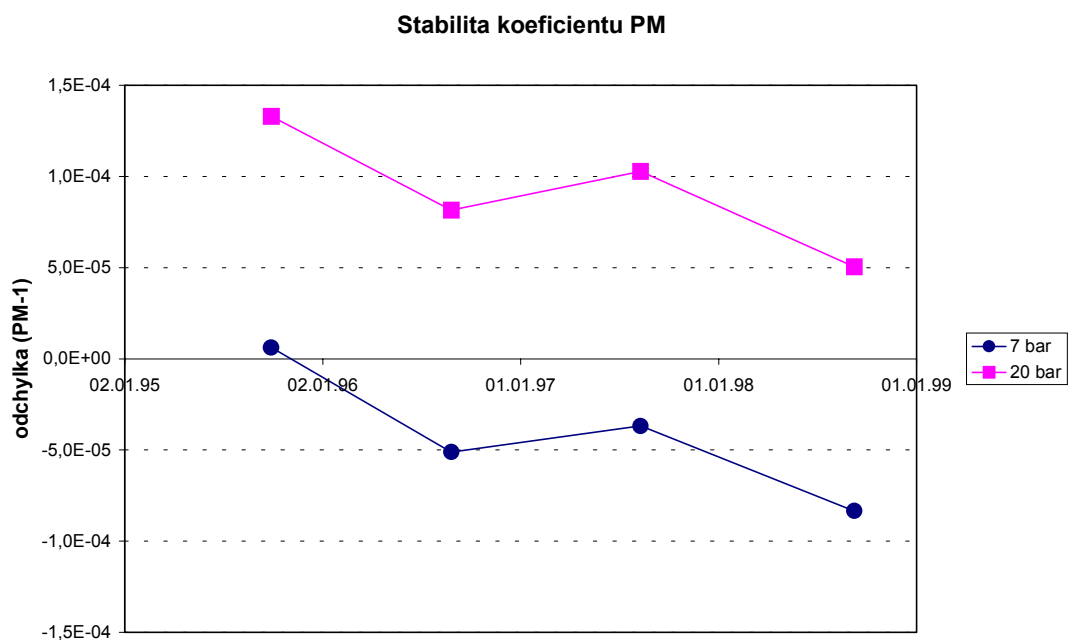
Stanovení koeficientů PA a PM pro různé rozsahy je časově náročná činnost. Vzhledem k tomu, že charakteristika RPT je spojitá a hladká křivka, je na základě uvedených grafů možné odhadnout koeficienty PA a PM i pro jiné rozsahy tlaku.

Na základě hodnot PA a PM v tabulce 2 byly vytvořeny závislosti koeficientů PA a PM na čase (graf 4 a graf 5). Změna koeficientu PA je systematická a odpovídá údajům výrobce (4). Změny koeficientu PM nevykazují systematický posun. Průměrný drift kalibrovaného snímače je 47,4 Pa/rok.

Graf 4



Graf 5



Na základě uvedených hodnot PA a PM je možné stanovit rekalibrační interval pro daný kalibrátor tlaku PPC2 v odpovídajících podmínkách provozu. Změny koeficientů v grafu 4 a 5 dokumentují, že chyba kalibrátoru tlaku nepřekročí po dobu 1 roku hodnotu  $\pm(0,005 \% \text{ z měřené hodnoty} + 0,01 \% \text{ z aktivního rozsahu})$ . Výrobce uvádí takto specifikovanou přesnost na 90 dní, přesnost na 1 rok definovaná výrobcem je  $\pm 0,02 \% \text{ z rozsahu}$ .



Hlavní podíl na časových změnách absolutního snímače RPT má posun nuly, neboli offset, který je nezávislý na rozpětí. Další vylepšení přesnosti RPT umožňuje změna offsetu RPT podle referenční hodnoty v období mezi dvěma kompletními kalibracemi. Tento postup změny offsetu umožňuje funkce „AutoZ“ (Autozero) použitá u nejnovějších kalibrátorů tlaku firmy DH Instruments, Inc. typ PPC2+. Funkce automatického nulování (AutoZ) kalibrátoru nabízí úplnou vestavěnou podporu procesu zjednodušeného nulování absolutního rozsahu snímačů RPT, který si může provádět uživatel sám ve své laboratoři.

Funkce AutoZ používá čtyři parametry:

1. **ZSTD (Zero Standard):** Hodnota „nulovacího“ tlaku indikovaná referenčním přístrojem.

Pro absolutní snímače RPT v absolutním režimu měření je „nulovacím“ tlakem vždy atmosférický tlak a hodnota ZSTD může být zadána buď a) ručním zadáním; b) automaticky z kalibrátoru RPM firmy DH Instruments, Inc. připojeném k přípojce COM2 kalibrátoru PPC2+; nebo c) u snímačů RPT s vyšším rozsahem automaticky pomocí snímače RPT s nižším rozsahem, je-li kalibrátor vybaven dvěma absolutními snímači RPT.

2. **ZCURERR (Zero Current Error):** Aktuální hodnota chyby snímače RPT při nulovacím tlaku.

Rozdíl mezi hodnotou ZSTD a indikací RPT při „nulovacím“ tlaku kdykoli po kalibraci snímače RPT ( $ZCURERR = \text{odečet RPT bez AutoZ} - ZSTD$ ).

3. **ZNATERR (Zero Natural Error):** Přirozená hodnota chyby snímače RPT při nulovacím tlaku.

Rozdíl mezi ZSTD a indikací RPT při „nulovacím“ tlaku bezprostředně po kalibraci snímače RPT. Vzhledem k tomu, že žádný snímač RPT není absolutně lineární a hodnota ZSTD není absolutně přesná, rozdíl mezi odečtem snímače RPT a hodnotou ZSTD při „nulovacím“ tlaku nebude pravděpodobně nikdy nulový.

4. **ZOFFSET (Zero Offset):** Offset nuly.

Hodnota ZCURERR korigovaná podle ZNATERR, vyjadřuje posun snímače RPT ve vztahu k referenci ( $ZOFFSET = ZCURERR - ZNATERR$ ). Aktuální odečet snímače RPT, seřizený podle hodnoty ZOFFSET, je „automaticky vynulovaným“ odečtem snímače RPT, tj. odečtem snímače RPT s korigovaným posunem nuly, který se objevil po kalibraci.

Procedura funkce AutoZ by se měla provádět podle doporučení výrobce minimálně každých 30 dní. Při správném použití funkce AutoZ je přesnost absolutního snímače RPT v absolutním režimu měření po dobu 90 dní  $\pm 0,008\%$  z aktivního rozsahu, případně  $\pm 0,012\%$  z aktivního rozsahu po dobu 1 roku (tato přesnost zahrnuje kombinovanou chybu linearit, hystereze a opakovatelnosti, stabilitu, vliv teploty a přesnost etalonu použitého ke kalibraci  $\pm 0,0035\%$  z měřené hodnoty).

Další důležitou funkcí u kalibrátoru PPC2+ je přímá možnost kalibrace tří rozsahů pro každý vestavěný snímač RPT (tyto kalibrátory mohou mít jeden nebo dva snímače RPT). Tato možnost použití více rozsahů (3 nebo 6) optimalizuje přesnost měření pomocí výběru vhodného měřicího rozsahu (funkce RANGE). Nastavení a seřízení funkcí kalibrátoru (včetně hodnot PA a PM) jsou pro každý právě použitý tlakový rozsah specifická, tak jako kdybyste používali šest přístrojů namísto jednoho.

Pro zjednodušení kalibrace RPT je kalibrátor PPC2+ vybaven programem CalTool, který vede uživatele kalibračním postupem a umožňuje výpočet koeficientů PA a PM a stanovení hodnoty ZNATERR.

**POZNÁMKA:** Při stanovení koeficientů jsou drobné rozdíly mezi typem PPC2 a PPC2+. Typ PPC2+ má hodnotu koeficientu PA uváděnou v Pa, zatímco typ PPC2 v PSI. Při stanovení regresní přímky při kalibraci PPC2+ je offset přímo hodnotou PA, při kalibraci PPC2 je  $PA = \text{offset}/PM$ , jak bylo uvedeno výše.

Spojení rezonančních snímačů Digiquartz® firmy Paroscientific, Inc. s technologií firmy DH Instruments, Inc. v kalibrátorech tlaku PPC2 a PPC2+ představuje špičkové kalibrátory tlaku s vynikající přesností i dlouhodobou stabilitou, jak to ukázaly i výsledky kalibrací v průběhu používání kalibrátoru PPC2 v kalibrační laboratoři BD SENSORS s.r.o.

## Literatura

- (1) Paroscientific, Inc., Quartz Transducers for Precision under Pressure, Mechanical Engineering, 109, č. 5, květen 1987
- (2) Paros, Jerome M., Digital Pressure Transducers, Measurements & Data, 10, č 2, březenduben 1976
- (3) Faltus, Z., Princip činnosti rezonančních snímačů, Sborník přednášek přednesených na 15. konferenci ČKS, Brno, květen 1998
- (4) Application Note: 8 Year Barometer Long-Term Stability Report (<http://www.paroscientific.com/stability.htm>)
- (5) Dokumentace firmy DH Instruments, Inc.
- (6) Faltus, Z., Stanovení nejistot při kalibraci tlakoměrů a převodníků tlaku a při měření tlaku. Sbíрка příkladů. BD Sensors a ČKS, květen 1998