



N. Bolf*

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za mjerenja i automatsko vođenje procesa
Savska cesta 16/5a, 10 000 Zagreb

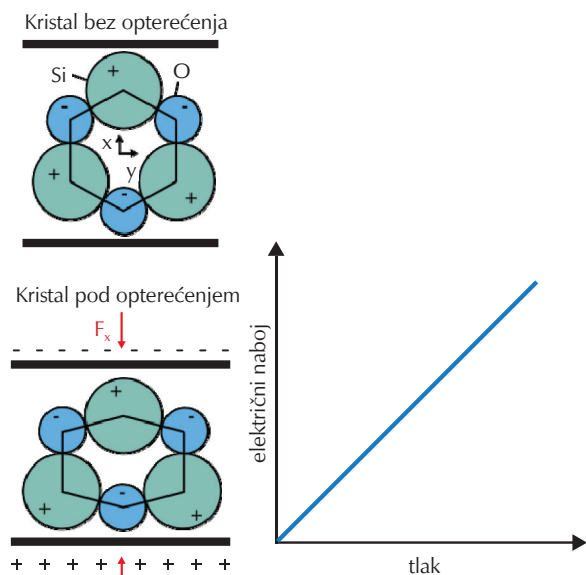
Mjerenje tlaka – piezoelektrična i piezootpornička osjetila

Pri mjerenju tlaka postoji nekoliko mjernih načela. U praksi, međutim, prevladavaju dva: piezoelektrično i piezootporničko, koja ćemo upoznati u ovom prilogu. Kod piezoelektričnih osjetila osnova mjernog elementa je kristal koji proizvodi električni naboj proporcionalan tlaku koji djeluje na njega. Kod piezootporničkih mjerni element čini Wheatstoneov most, koji se pod tlakom isteže, pri čemu mu se mijenja električni otpor.

Osnove piezoelektrične mjerne tehnike

Piezoelektrični efekt

Piezoelektrični efekt (grč. *piezo* – gurati) ili piezoelektrični učinak pojava je stvaranja električnog naboja na površini posebno odrezanog kristala (čvrsti dielektrik – izolator) koji se elastično deformira vanjskom silom, slika 1. Jedna strana (površina) tog kristala nabit će se negativno, a druga pozitivno. Naboj se generira jer pozitivni i negativni elementi kristalne rešetke pomiču jedan od drugog, čime se formira električni dipol. Tako generiran naboj proporcionalan je sili odnosno tlaku koji djeluje na kristal. Kristal postaje električki polariziran. Polarizacija kristala najveća je kada je naprezanje usmjereno u smjeru piezoelektrične osi kristala. Promjenom smjera deformacije (tlak – vlak) dolazi do polarizacije obrnutog smjera.



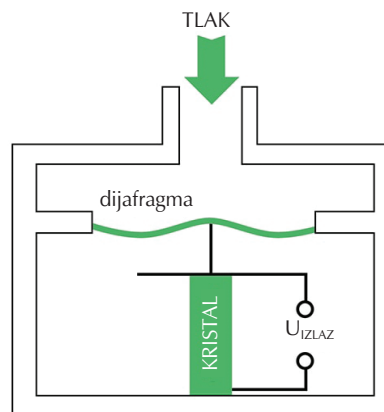
Slika 1 – Kristal bez opterećenja i pod opterećenjem

Piezoelektrični efekt otkrili su 1890. Jacques i Pierre Curie. Primjenjuje se u osjetilima tlaka. Najznačajniji piezoelektrični materijali su kvarc (SiO_2), Seignettova sol, turmalin, topaz, kost, svila, drvo te umjetni materijali poput raznih vrsta keramike, plastike i kristala, a u novije vrijeme PZT keramike. Iako je dugo nakon otkrića bio samo zanimljiv laboratorijski efekt, s vremenom je pronašao primjenu u brojnim uređajima. Postoji i obrnuti efekt: mehanička deformacija materijala kada je na njega primijenjen električni napon.

Kristal kao mjerni element

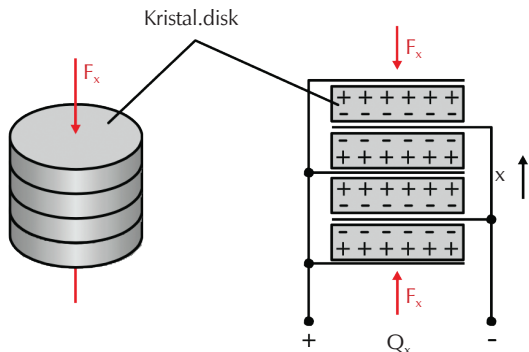
Mjerni elementi režu se iz kristala u različitim oblicima ovisno o željenim karakteristikama piezoelektričnog senzora. Primjenom sile, odnosno tlaka putem dijafragme generira se proporcionalni mjerni signal, slika 2.

Električni naboj koji generira jedan kristalni disk ovisi samo o vrsti piezoelektričnog materijala, ali ne i njegovoj geometriji. Za proizvodnju senzora s većom osjetljivošću, nekoliko kristalnih diskova može se naslagati jedan na drugi i električki povezati u paralelni spoj, slika 3.



Slika 2 – Primjenom sile na dijafragmu generira se signal proporcionalan tlaku

* Prof. dr. sc. Nenad Bolf
e-pošta: bolf@fkit.hr



Slika 3 – Mjerni stog od više diskova povećava osjetljivost osjetila

Mjerni lanac piezoelektričnih mjerila

Mjerni lanac u osnovi se sastoji od piezoelektričnog osjetila (engl. *piezoelectric element – PE*) čiji je izlaz naboj, pa je potrebno vanjsko pojačalo. Druga izvedba je osjetilo s ugrađenim pojačalom (engl. *integrated electronics piezoelectric – IEPE*) koje pretvara generirani naboj u naponski signal.

Ovisno o primjeni, potrebno je izabrati prikladnu izvedbu shodno tablici 1.

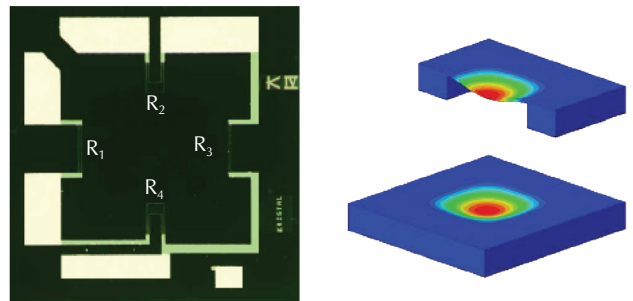
Primijenjena statička sila rezultira odgovarajućim nabojem duž osjetila. Međutim, s vremenom će signal pasti zbog neidealne izolacije, unutarnjeg otpora senzora, elektronike itd. Kao posljedica, piezoelektrična osjetila obično nisu prikladna za mjerenje statičkog tlaka. Izlazni signal postupno će se spuštati prema nuli, čak i uz stalni tlak. Međutim, ona su vrlo osjetljiva na dinamičke promjene tlaka na širokom području frekvencija i tlaka. Ta dinamička osjetljivost znači da su dobri za mjerenje malih promjena tlaka, čak i pri vrlo visokim tlakovima.

Osnove piezootporničke mjerne tehnike

Piezootpornički efekt predstavlja promjenu električnog otpora materijala (npr. poluvodiča ili metala) pri mehaničkom naprezanju. Promjena otpora javlja se zbog promjene u geometriji i električnoj vodljivosti materijala. Ona je znatno veća kod poluvodiča nego kod metala.

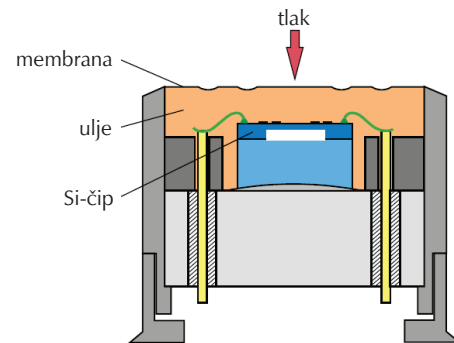
Poluvodički tip mjernog elementa

Obično se primjenjuju piezootpornička osjetila bazirana na silicijskim poluvodičima. U tu se svrhu četiri Si-otpornika utisnu u poluvodičku membranu i povezuju u Wheatstoneov most. Pod utjecajem tlaka dijafragma se deformira mijenjajući tako električni otpor četiriju otpornika, slika 4. Promjena otpora proporcionalna je primijenjenom tlaku. To znači da je razlika napona na Wheatstoneovom mostu proporcionalna primijenjenom tlaku.



Slika 4 – Silicijski čip s 4 otpornika i raspodjela tlaka na poluvodiču

Narinuti tlak do silicijskog čipa dolazi putem membrane i nekompresibilnog silikonskog ulja. Čip se napaja električnom energijom, a signal tlaka je razine milivolta. Signal se zatim kompenzira s obzirom na temperaturu i pojačava na odgovarajuću razinu standardnog naponskog (V) ili strujnog (mA) signala.



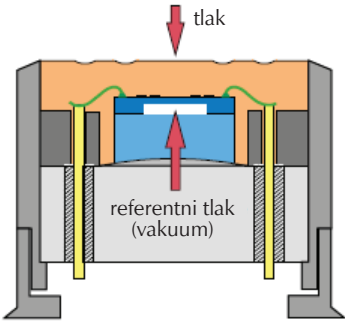
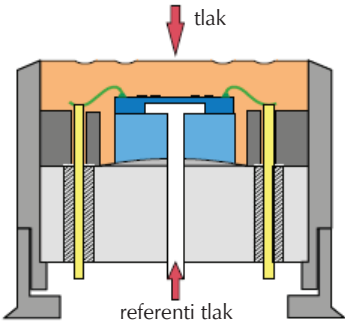
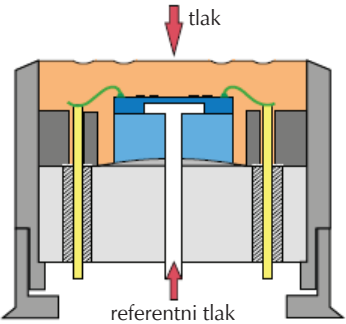
Slika 5 – Presjek piezootporničkog osjetila tlaka

Tablica 1 – Izvedbe i odabir piezoelektričnih osjetila tlaka

Piezoelektrična osjetila tlaka					
Nabojni izlaz (PE)		Naponski izlaz (IEPE)			
piezoelektrično osjetilo	nema elektronike	nabojni izlaz	piezoelektrično osjetilo	ugrađena elektronika	naponski izlaz
<ul style="list-style-type: none"> + kvazi-statičko mjerenje tlaka + dinamičko mjerenje tlaka + mjerenje pulsirajućeg tlaka + podesivo područje tlaka + široko temperaturno područje - posebni kablovi visoke impedancije za mali šum - vanjsko pojačalo naboja 			<ul style="list-style-type: none"> + dinamičko mjerenje tlaka + mjerenje pulsirajućeg tlaka + standardni kabel + mogućnost izravnog povezivanja na akviziciju - kvazi-statičko mjerenje tlaka - ograničeno temperaturno područje - fiksno mjesto područje tlaka 		

Izvor: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=541&model=download>

Tablica 2 – Izvedbe piezootporničkih osjetila tlaka

Piezootpornička osjetila tlaka		
Apsolutni tlak	Relativni tlak	Razlika tlakova
		
Mjeri tlak s obzirom na vakuum u zatvorenom elementu	Mjeri tlak relativno s obzirom na tlak okolnog zraka	Mjeri razliku dva tlaka

Uz odabir odgovarajućeg mjernog područja treba također definirati mjeri li se tlak s obzirom na apsolutni, relativni (gage) ili se radi o mjerenju razlike tlakova. U tablici 2 prikazane su konfiguracije triju tipova senzora tlaka.

Tako se u visokoj rezoluciji (preko 100 kHz) dugotrajno mogu mjeriti vrlo male oscilacije tlaka uz velik omjer signala i šuma.

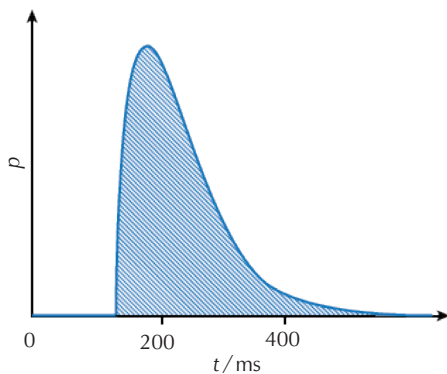
Kako izabrati između piezoelektričnog i piezootporničkog osjetila tlaka

Piezoelektrična osjetila

Piezoelektrična osjetila prikladna su za:

1. Dinamičko mjerenje tlaka

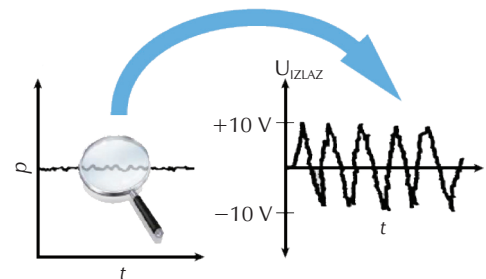
Piezoelektrični senzori tlaka imaju visoku prirodnu frekvenciju, veću od 500 kHz i stoga su idealni za mjerenje brze promjene tlaka sve do 1 μ s.



Slika 6 – Mjerenje naglog rasta i brzog pada tlaka

2. Mjerenje pulsirajućeg tlaka

Piezoelektrična osjetila tlaka prvi su izbor za mjerenje vrlo malih promjena tlaka (tlačnih pulsacija) pri visokom statičkom tlaku.

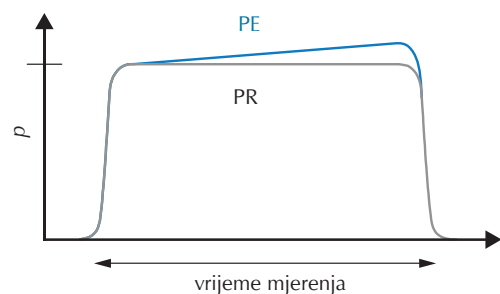


Slika 7 – Mjerenje minimalnih pulsacija uz visok omjer signal/šum

Ako je važno i mjerenje statičkog tlaka, preporučuje se primjena dodatnog piezootporničkog osjetila tlaka.

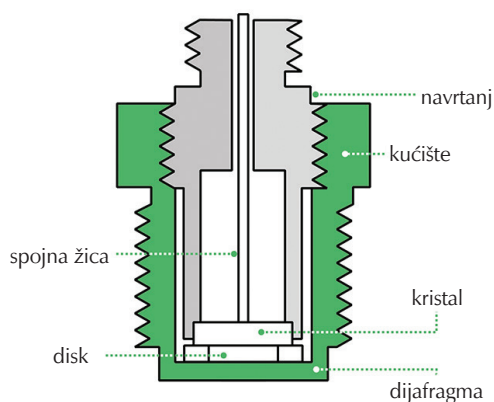
3. Kvazi-statičko mjerenje

Kod piezoelektričnih osjetila s nabojnim izlazom (PE) javlja se mali pomak kad postoji statičko opterećenje. Nasuprot tome, kod piezootporničkih osjetila taj pomak se ne javlja.



Slika 8 – Pomak (drift) pri mjerenju statičkog tlaka s piezoelektričnim osjetilom s nabojnim izlazom (PE)

Kod piezoelektričnih osjetila relativna pogreška mjerenja uzrokovana pomakom posebno je problematična kad se mjere mali tlakovi tijekom duljeg razdoblja. Ipak, mjerenje velikih statičkih tlakova na duljim razdobljima nije problem.



Slika 9 – Poprečni presjek piezoelektričnog osjetila

Piezootpornička osjetila

1. Statičko mjerenje tlaka

Kod piezootporničkih osjetila tlaka uglavnom se ne javlja pomak i zato su prikladni za dugoročna statička mjerenja.

2. Nulta točka

Piezootpornička osjetila tlaka mjere u odnosu na različite nulte točke (apsolutni u odnosu na vakuum, u odnosu na okolni tlak i razliku prema drugom tlaku). S druge strane, nulta točka za piezoelektrične senzore tlaka zadana je primijenjenim tlakom na početku mjerenja.

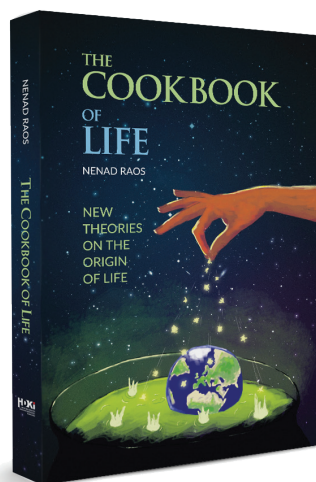
Postoje i drugi kriteriji koji se moraju uzeti u obzir pri odabiru, kako je prikazano u tablici 3.

Tablica 3 – Kriteriji pri odabiru osjetila tlaka

Kriterij	PE	PR
Statičko mjerenje		
Kvazi-statičko mjerenje		
Dinamičko mjerenje		
Pulsacije i oscilacije tlaka		
Male dimenzije osjetila		
Široko temperaturno područje		
Prikladno kod promjenjive temperature		

Literatura

- https://hr.wikipedia.org/wiki/Piezoelektri%C4%8Dni_efekt (22. srpnja 2019.).
- Kistler, Test & Measurement Pressure, Measurement equipment for demanding T&M applications, Kistler Group (22. srpnja 2019.).
- <https://www.kistler.com/en/products/components/pressure-sensors/> (22. srpnja 2019.).
- <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/core-technologies/piezoelectric/> (22. srpnja 2019.).



THE COOKBOOK OF LIFE (NEW THEORIES ON THE ORIGIN OF LIFE)

Dr. sc. Nenad Raos

Knjigu je moguće kupiti po cijeni od **150,00 kn** (PDV uključen).

Narudžbe se primaju telefonom (01/4872-499) ili elektroničkom poštom (hdki@zg.t-com.hr)

Studenti dobivaju **50 %** popusta uz predočenje indeksa, a članovi Društva **20 %**.

NOVO!!! Amazon Kindle izdanje: **POVEZNICA BOOK REVIEW**