

Merenje gustine korišćenjem uređaja oscilatornog tipa

Emil Peić Tukuljac

Fakultet tehničkih nauka – Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića
21000 Novi Sad, Srbija
peic.emil@gmail.com

Kratak sadržaj : Gustina tečnosti se može odrediti korišćenjem različitih mernih uređaja. U novije vreme se pojavljuje širok spektar uređaja koji koriste oscilacije [1] za merenje gustine. Njihova primena omogućuje sofisticiranu analizu tečnosti u biotehnologiji, farmaciji, saturacionim procesima, koncentrisanju ili postupku kristalizacije. Jedinstvena konstrukcija omogućuje temperaturnu kompenzaciju i dobijaju se korektna merenja u različitim mernim procesima. U okviru rada će se opisati matematički model kao i potencijalna nesigurnost pri kalibraciji pomenutih uređaja.

Ključne reči: merenje gustine, oscilatorni pretvarač

1. Uvod

U nameri da se izvrši klasifikacija ili identifikacija materijala širokog spektra naučnici koriste fizičke konstante kao što su: gustina, tačka topljenja, tačka ključanja, indeks prelamanja i druge.

Gustina je mera kompaktnosti materijala i za supstance se definiše jednačinom:

$$\text{Gustina} = \text{Masa} / \text{Zapremina} \quad (1)$$

Jedinica kojom se izražava gustina (1) je izvedena jedinica i često koristimo: kg/m^3 , g/cm^3 , g/ml ... Merenje gustine u proizvodnim procesima služi za određivanje svojstava materijala kao i za proveru kvaliteta proizvoda. U industriji napitaka se merenje gustine koristi za utvrđivanje količine alkohola u rastvorima, merenje udela rastvorljivih šećera u voćnim sokovima, a ujedno se koristi i za određivanje specifične težine komponenata farmaceutskih proizvoda, koncentracije kiselina i baza i utvrđivanje prisustva aditiva u različitim derivatima. Prednosti korišćenja uređaja oscilatornog tipa ili uređaja

koji koriste ultrazvuk je u brzini odziva, jednostavnosti konstrukcije i maloj zapremini neophodnog uzorka.

2. Merni postupak

U okviru mernog postupka će biti obrađena dva modela:

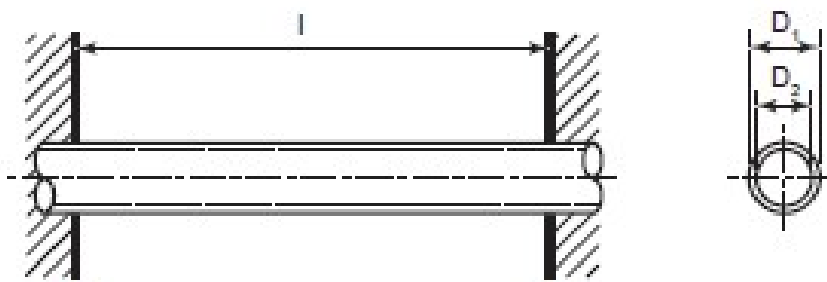
A. Ravna cev uklještena na dva kraja sa slobodnom bočnom oscilacijom

B. Oscilatorna cev U oblika

A. Ravna cev uklještena na dva kraja

Radni princip merača gustine oscilatornog tipa se zasniva na zakonu harmonijskih oscilacija. Merenjem frekvencije i trajanja oscilacija cevi napunjene uzorkom omogućuje utvrđivanje gustine uzorka.

Vibracioni merač gustine sa ravnom cevi ima bočne oscilacije cevi u funkciji gustine tečnosti sadržane u toj cevi. Ukoliko se cev na slici 1. napuni uzorkom tada se frekvencija oscilovanja date strukture može opisati sledećim modelom:



Slika 1. Cev koja se puni uzorkom čiju gustinu merimo f_x - frekvencija oscilovanja cevi i uzorka,

C - konstanta određena oscilacionim modom

l - dužina slobodnog dela cevi

E - Jungov modul elastičnosti cevi (kg/m³)

ρ_1 - gustina materijala od koga je izrađena cev (kg/m³)

ρ_x - gustina tečnosti uzorka (kg/m³)

D_1 - spoljašnji prečnik cevi (m)

D_2 - unutrašnji prečnik cevi (m)

$$f_x = \frac{c}{4l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho_l}} \sqrt{\frac{D_1^2 + D_2^2}{1 + \frac{\rho_l}{\rho_x} \frac{D_2^2}{D_1^2 - D_2^2}}} \quad (2)$$

U jednačini (2) sve vrednosti sem f_x i ρ_x su određene materijalom i konstrukcijom merne cevi.

Merenjem frekvencije slobodnih oscilacija cevi i uzorka se može utvrditi gustina traženog uzorka. Merni pretvarač koristi podatak o merenoj frekvenciji i temperaturi uzorka. Sve vrednosti l , E , ρ_l , D_1 , D_2 , ρ_x su u funkciji temperature uzorka, pa je i f_x zavisna od temperature. Da bi se izvršila temperaturna kompenzacija i dobilo korektno merenje koriste se dva parametra $A(t)$ i $B(t)$, a prethodno definisana jednačina se svodi na sledeći izraz:

$$f_x = \frac{A(t)}{\sqrt{1 + \rho_x B(t)}} \quad (3)$$

Gde su:

$$A(t) = A_1 \cdot (1,0060 - 19814 \cdot 10^{-4} T - 9,7683 \cdot 10^{-8} T^2)$$

$$B(t) = B_1 \cdot (1 + 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot (T - 30))$$

A_1 i B_1 su konstante instrumenta koje se određuju sa destilovanom vodom na 20°C.

Na osnovu podataka uslovljenih geometrijom merne opreme se može dobiti izraz za traženu gustinu:

$$\rho_x = \frac{\left\{ \frac{A(t)}{f_x} \right\}^2 - 1}{B(t)} \quad (4)$$

Iz jednačine (4) se može odrediti gustina uzorka na trenutnoj temperaturi. Ukoliko se želi odrediti gustina uzorka na referentnoj temperaturi tada možemo koristiti jednačina (5).

$$\rho_{TB} = \rho_x + \alpha(T_x - T_B) \quad (5)$$

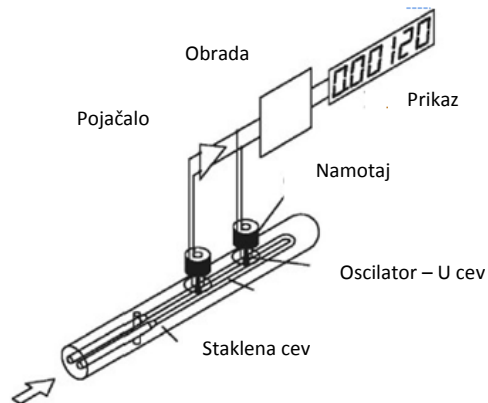
α - temperaturni koeficijent gustine merene tečnosti (g/cm³/°C)

T_x – Temperatura na kojoj je izvršeno merenje gustine (°C)

T_B – Referentna temperatura (°C)

B. Oscilatorna cev U oblika

Merna ćelija se sastoji od oscilatora koji se formira od šuplje U cevi izrađene od borosilikatnog stakla, slika 2. Zapremina uzorka je samo 0,7ml. Ova cev ima dva zida, a prostor između njih je ispunjen gasom visokog stepena temperaturne konduktivnosti. U međuprostor između cevi se može ugraditi termootpor od platine koji omogućuje merenje temperature uzorka čiju gustinu pratimo.



Slika 2. Merna ćelija merača gustine oscilatornog tip – U cev

Oscilacije U cevi zavise od ukupne mase cevi sa uzorkom. Ukoliko uzmemo u razmatranje da je zapremina uzorka konstantna sledi da je frekvencija oscilovanja u funkciji gustine. Perioda oscilovanja se može predstaviti sledećom jednačinom [3]:

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{\rho \cdot V + m}{C}} \quad (6)$$

ρ - gustina uzorka

V - zapremina merne ćelije

M - masa ćelije

C - oscilatorna konstanta.

Ukoliko koristimo smenu $G = \frac{4\pi^2 V}{C}$; $H = \frac{4\pi^2 m}{C}$

tada se dobije izraz za proračun gustine:

$$\rho = \frac{(\tau^2 - H)}{G} \quad (7)$$

Prilikom oscilovanja U cevi sa uzorkom se uočava prigušenje oscilacija. Step en prigušenja je zavis an od viskoz nosti uzorka. Oscilovanje može da utiče i na zapreminu merne ćelije. Radi eliminisanja greške koristi se korektivni faktor $k = 0.005\sqrt{\eta}$, gde je η viskoz nost u $\text{mPa} \cdot \text{s}$.

Merna ćelija osciluje na nekoliko frekvencija u dva moda. Ovo omogućuje da se pravilno odredi step en prigušenja i uvedu potrebne korekcije.

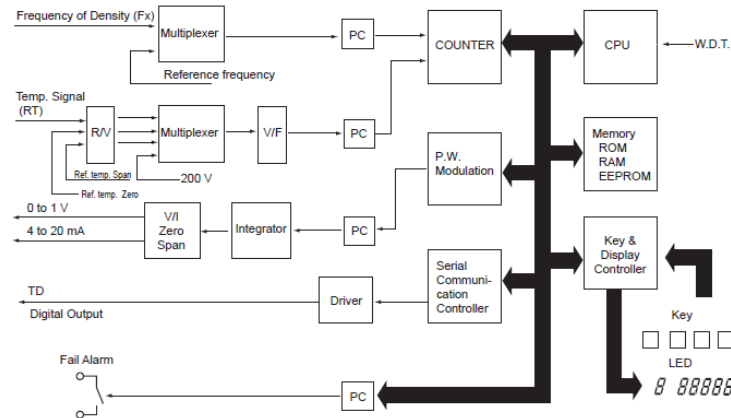
Interni program koji vrši obradu podataka uzima u razmatranje da je:

$$\rho = A \cdot \tau^2 \cdot (1 + D \cdot k + E \cdot k^2) - B + C \cdot \tau^4 \quad (8)$$

Koeficijenti A, B, C, D se određuju pri kalibraciji instrumenta korišćenjem uzoraka poznate gustine, a to su obično čist vazduh i destilovana voda.

C. Struktura sekcije pretvarača

Svi merni pretvarači bazirani na oscilatornoj metodi registruju frekvenciju oscilovanja cevi i uzorka bez obzira na geometriju merne ćelije. Jedan magnet služi za pobudu (oscilovanje merne ćelije), a drugi za registrovanje naizmeničnog signala čija je učestanost obrnuto proporcionalna gustini uzorka. Paralelno sa signalom koji je proporcionalan gustini (perioda, odnosno frekvencija) se dostavlja i informacija o temperaturi. Obično se koristi PTC temperaturni senzor, pa je neophodan i R/V pretvarač.



Slika 3. Blok dijagram mernog pretvarača gustine

Poređenjem uslova merenja sa referentnim uslovima se dobijaju osnovni parametri za kompenzaciju. Korišćenjem mikroprocesorskih komponenata se može dobiti analogni signal o gustini ili temperaturi uzorka, a moguća je i distribucija podataka korišćenjem serijske komunikacije.

D. Merna nesigurnost

Merna nesigurnost je računata prema GUM-u [2]. Merna nesigurnost u vezi sa kalibracijom merila gustine oscilatornog tipa se izračunava kombinovanjem dva izvora nesigurnosti merenja : od merila gustine oscilatornog tipa (u oscilatorni tip) i drugog standardnog merila gustine

($u_{\text{standardno merilo gustine}}$) .

Komponenta nesigurnosti u vezi sa ponovljivošću merenja (tip A) se dobija na osnovu standardne devijacije proseka merenja gustine ($u_{\text{ponovljivost}}$) . Ostale komponente nesigurnosti se ocenjuju metodom tipa B - uključujući i mernu nesigurnost u vezi sa rezolucijom ($u_{\text{rezolucija}}$) oba merila gustine , kao pravougaone raspodele . Oscilatorno merilo gustine ima veću rezoluciju od rezolucije standardnog merila gustine . Konačno , nesigurnost komponentata zbog temperature uzorka unutar merne ćelije ($u_{\text{temperatura}}$) ima pravougaonu raspodelu .

Tabela 1 – prikazuje merne nesigurnosti merila gustine oscilatornog tipa:

Komponente nesigurnosti	Kategorija nesigurnosti	Raspodela	Doprinos nesigurnosti kg/m^3
u_{CRM}	B	Normalna	$2,5 \cdot 10^{-2}$
$u_{\text{rezolucija}}$	B	Pravougaona	$2,5 \cdot 10^{-5}$
$u_{\text{ponovljivost}}$	A	Normalna	promenljiva
$u_{\text{temperatura}}$	B	Pravougaona	zanemarljiv

3. Zaključak

Izloženi modeli merenja gustine korišćenjem oscilatornog tipa podrazumevaju mogućnost apliciranja u proizvodni proces, ali ostaje i mogućnost laboratorijskog merenja. Oscilatorni princip merenja gustine može da koristi i oscilatornu viljušku, ali je uvek pitanje higijene merne strukture, posebno kada se koristi u procesu proizvodnje hrane ili farmaciji. On-line priprema premiksa, rastvora omogućuje ogromne uštede, a oscilatorna metoda pokazuje punu primenljivost u datom slučaju.

Literatura

- [1] H. Stabinger, *Density Measurement using modern oscillating transducers*, South Yorkshire Trading Standards Unit; Sheffield, 1994
- [2] *Guide to the Expression of uncertainty in Measurement*, BIMP ed. Geneve: International Organization for Standardization ,1995
- [3] Naoto Izumo, „Physical Quantity Measured by a Vibration Viscometer“, The JCSS Standardization of Viscosity , R&D Division, A&D Co., Ltd. 2006

Abstract: The density of fluids may be determined by using different measuring devices. More recently, it appears that a wide variety of devices have been used to measure the density. Their application allows a sophisticated analysis of fluid in biotechnology, pharmacy, and saturation process control as well as in concentration and crystallization procedures. A unique design allows temperature compensation and acquisition of the correct measurements in various measurement processes. In the paper, the mathematical model and the potential uncertainty in the calibration of the aforementioned devices are described.

Key words: density measurement, oscillatory transducer

Density Measurement Using Oscillatory-Type Devices

Rad primljen u uredništvo 02.06.2014. godine.
Rad prihvaćen 15.07.2014. godine.

