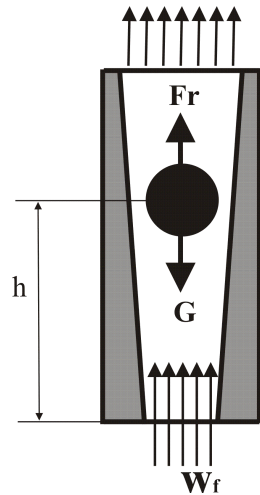


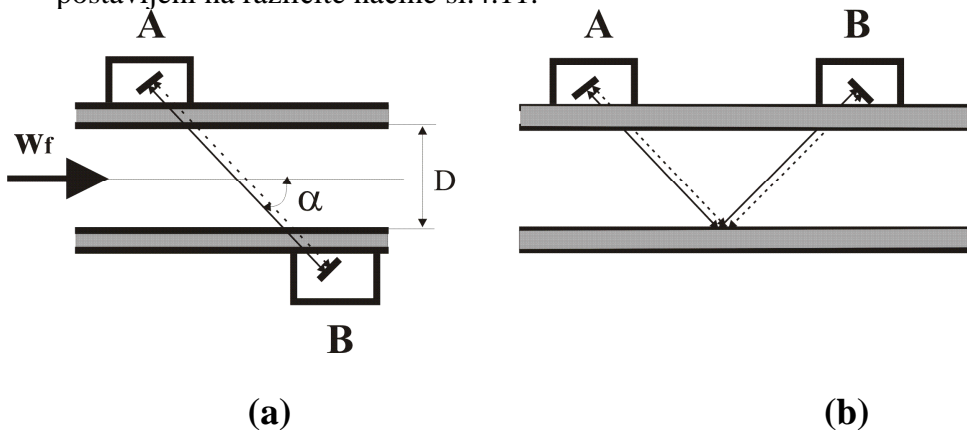
- nezavisno od inteziteta protoka kroz cijev. Imajući to u vidu, rastojanje plovka, h , od osnove se mora povećavati sa povećanjem protoka, da bi se površina između plovka i zida cijevi povećala a brzina strujanja oko plovka ostala nepromijenjena.



Sl.4.10 Rotametar. (a) Šema. (b) Fotografija

Plovak je tako izveden da rotira u položaju ravnoteže (odatle i naziv rotametar). Imajući to u vidu posmatrač može biti siguran da plovak nije zaglavljen. Rotametri ne zahtijevaju poseban izvor napajanja. Karakteriše ih visoka tačnost i relativno mali opseg mjerenja. Moraju se baždariti za svaki fluid posebno i postaviti u vertikalni položaj.

- **Ultrazvučni protokomjeri.** Postoji više verzija ovih protokomjera. Svi rade na principu kretanja visokofrekventnih talasa pritiska kroz fluid. Brzina prostiranja ovih talasa zavisi od brzine prostiranja zvuka i brzine kretanja fluida. Najpopularnija i najtačnija verzija ima dva senzora **A** i **B** koji mogu biti postavljeni na različite načine sl.4.11.



Sl.4.11 Postavljanje ultrazvučnih senzoria

Senzori emituju visoko frekventne talase pritiska (frekvence oko 1MHz). Vrijeme putovanja talasa, t_{AB} , od senzora **A** do senzora **B**, i obratno, t_{BA} , za slučaj prikazan na sl.4.11 (a), će biti:

$$t_{AB} = \frac{L}{c + \bar{w}_f \cos \varphi}, t_{BA} = \frac{L}{c - \bar{w}_f \cos \varphi},$$

pri čemu su: c -brzina prostiranja zvuka, L -rastojanje izmedju senzora i \bar{w}_f -srednja brzina strujanja fluida na rastojanju izmedju senzora. Mjerenjem ovih vremena može se odrediti srednja brzina strujanja fluida;

$$\bar{w}_f = \frac{D}{\sin(2\alpha)} \left(\frac{1}{t_{BA}} - \frac{1}{t_{AB}} \right).$$

Na sl.4.12 je prikazan ultrazvučni mjerač protoka firme “Krohne“, instaliran na HVAC instalaciji, pri čemu su senzori montirani kao na sl.4.11(b).



(a)



(b)

Sl.4.12 (a)Ultrazvučni mjerač protoka. (b) HVAC instalacija

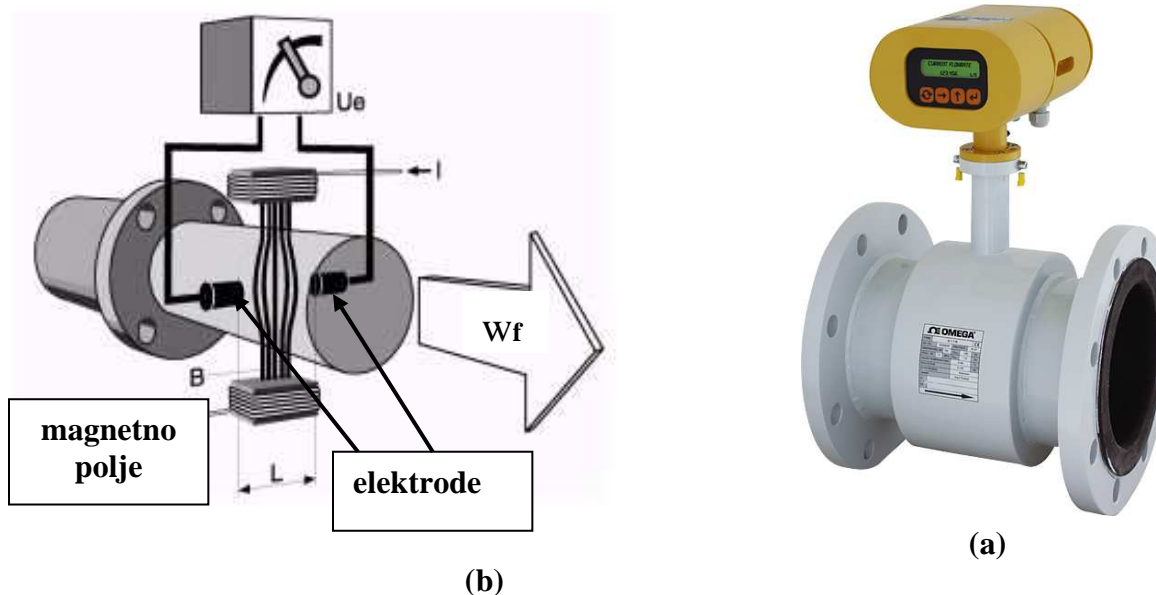
Podaci o karakteristikama cijevi (prčnik, debljina i materijal), kao i karakteristikama fluida (gustina, brzina prostiranja zvuka) moraju se unijeti u procesor mjernog sistema. Na osnovu tih podataka se dobija optimalno rastojanje senzora. Prednost ovih mjernih instrumenata je što su neinvazivni (nema direktnog kontakta sa fluidom) i ne zahtijevaju značajne intervencije na cjevovodu (bušenje otvora, prekid cjevovoda i sl.). Može se postići tačnost od 1% mjernog opsega. Osjetljivi su na prisustvo rastvorenih gasova i prljavštine u tečnim fluidima, mada se mogu koristiti i u takvim uslovima, uz posebnu kalibraciju. Dizajniraju se za određeni opseg brzina strujanja i prečnika cjevovoda.

- **Magnetni protokomjeri.** Princip rada ovih protokomjera je baziran na zakonu elektromagnetne indukcije. Koristi se pojava da se pri kretanju provodnika kroz magnetno polje, indukuje razlika napona na njegovim krajevima. Napon na krajevima provodnika koji se kreće u pravcu normalnom na elektromagnetno

polje je proporcionalan brzini kretanja provodnika, w_f , njegovoj dužini, D , i jačini magnetne indukcije B ;

$$U_e = BDw_f.$$

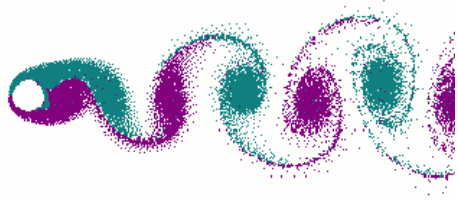
Provodnik je u ovom slučaju fluid čija se brzina w_f mjeri. Elektromagneti su smješteni na obodu cijevi. Ako je elektromagnetno polje u vertikalnoj ravni, elektrode se smještaju na obodu cijevi, na suprotnim krajevima u horizontalnoj ravni, sl.4.12, tako da je dužina provodnika jednaka prečniku cijevi D . Za razliku od mnogih drugih, ovaj instrument nije osjetljiv na gasove i čestice rastvorene u tečnosti kao ni na promjenu gustine i viskoznosti tečnosti. Jedini uslov je elektroprovodnost fluida, što je osobina većine fluida.



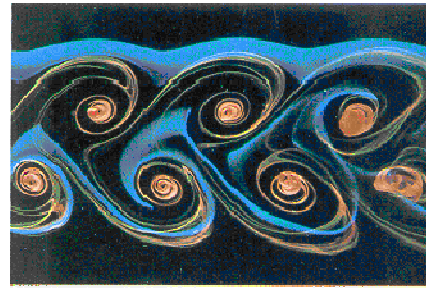
Sl.4.12 Elektromagnetni protokomjer. (a)Šema. (b) Fotografija.

Tačnost ovih instrumenata se kreće u granicama od $\pm 1\%$ od opsega sa frekventnim odzivom do 60 HZ. Može mjeriti i protok vode ukoliko nije u potpunosti čista odnosno destilovana. Iako su neinvazioni, za razliku od ultrazvučnih, ovi protokomjeri zahtijevaju prekid cjevovoda u cilju montaže.

- **Vrtložni protokomjeri.** Iza svakog objekta koje opstrujava fluid formira se odgovarajuće strujno polje čiji oblik prvenstveno zavisi of oblika i dimenzija tijela i brzine strujanja. Posebno je karakteristično strujno polje iza cilindra kružnog poprečnog presjeka, poznato kao Karmanova vrtložna staza, sl.4.13(a) i (b).



(a)



(b)

Sl.4.13 Karmanova vrtložna staza

Uočavaju se dva niza vrtloga u “šah” rasporedu, koji se periodično odvajaju od cilindra, naizmjenično sa njegove gornje i donje površine, sl.4.13(a) formirajući vrtložni trag (Karmanovu vrtložnu stazu) kao na sl.4.13(b). Slična strujno polje se može uočiti kod niza profila drugačijeg oblika sa zaobljenom zadnjom ivicom. Ovaj efekat je uglavnom negativan jer izaziva silu koja djeluje na objekat u vertikalnom pravcu, naizmjenično sa gornje i donje strane, što može izazvati ozbiljna oštećenja (Takoma most, USA 1941 g.). Pravilnost u pojavi vrtloga, može se iskoristiti za mjerenje brzine strujanja fluida jer je njihova perioda pojavljivanja proporcionalna brzini strujanja fluida nezavisno od njegove gustine. Na sl.4.14 je prikazan protokomjer koji radi na ovom principu.



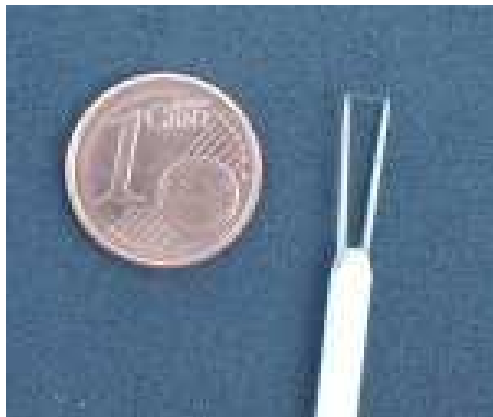
Sl.4.14 Vrtložni protokomjer

Impulsi sile koje fluid izaziva na prepreku (senzor) se prenose elektronskim putem na odgovarajući brojač. Broj impulsa je proporcionalan srednjoj brzini strujanja fluida ukoliko brzina strujanja nije isuviše mala, tako da se ovi protokomjeri ne preporučuju za mjerenje protoka pri veoma malim brzinama. Izuzetno su precizni, sa tačnošću do 0.5% od mjernog opsega. Imajuću u vidu da frekvenca odvajanja vrtloga, odnosno pulzacija pritiska, ne zavisi od gustine fluida ovaj instrument, se smatra univerzalnim protokomjerom koji se koristi za razne vrste fluida. Za razliku od ultrazvučnog protokomjera, neophodno je izvršiti prekid cjevovoda da bi se instrument instalirao na odgovarajuće mjesto.

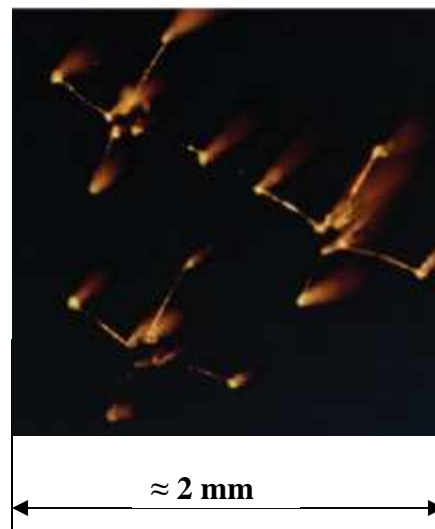
Toplotni instrumenti

Pri opstrujavanju nekog objekta čija je površina zagrijana dolazi do razmjene toplote između objekta i fluida odnosno smanjenja njegove temperature. Intenzitet hlađenja objekta je funkcija brzine strujanja fluida i razlike temperatura fluida i objekta. Moguće je temperaturu objekta održavati konstantnom njegovim stalnim zagrijavanjem. Količina toplote koju treba dovesti u ovom slučaju je takodje funkcija brzine strujanja i razlike temperatura objekta i fluida. Mjerenjem ove toplote može se odrediti brzina strujanja fluida. Najpoznatiji instrument ove grupe, koji ima primjenu u HVAC sistemima, je sonda sa zagrijanim vlaknom konstantne temperature – CTA (constant temperature anemometer). Metoda mjerenja je poznata kao termalna anemometrija.

- **Termalna anemometrija- sonda sa zagrijanim vlaknom.** Osnovni element ove sonde je tanko metalno vlakno prečnika 1-5 mikrona i dužine 0.5-5 mm, postavljeno na dva nosača, sl.4.15(a), i priključeno na odgovarajuće električno kolo koje ga zagrijava na neku temperaturu veću od temperature okolnog fluida.



(a)

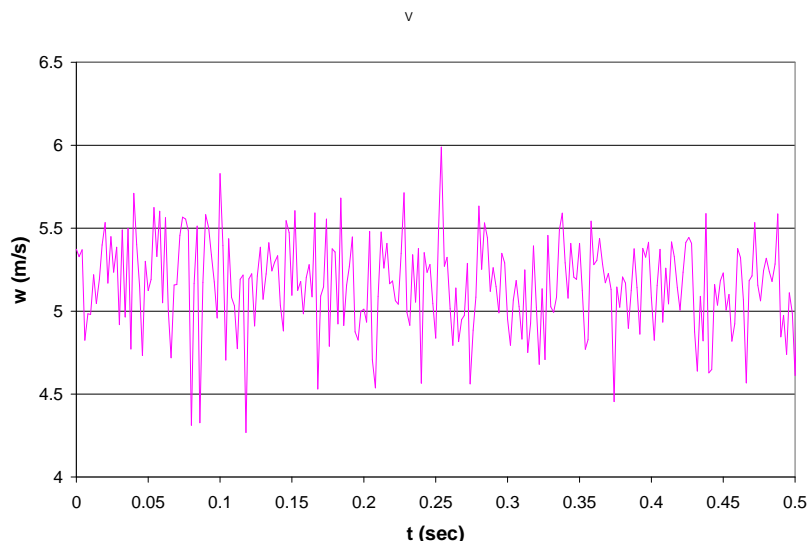


(b)

Sl.4.15 Sonda sa zagrijanim vlaknom. (a) Sonda sa jednim senzorm. (b) Sonda sa 12 senzora

Najčešće se koriste vlakna od platine, legure platina-rodijum i wolframa, čiji otpor zavisi od temperature. Električno kolo je tako dizajnirano da povećava ili smanjuje napon na krajevima vlakna nadoknađujući energiju koja se odaje usled njegovog hladjenja i na taj način održava njegovu temperaturu i otpor konstantnim. S obzirom da intezitet hladjenja zavisi od brzine strujanja fluida i napon na njegovim krajevima će biti funkcija brzine strujanja. Veza napona i brzine je nelinearna i mora se odrediti kalibracijom vlakna u aerodinamičkom tunelu sa poznatom brzinom strujanja. Sonda sa jednim vlaknom može mjeriti samo jednu komponentu brzine. Za mjerenje dvije ili tri komponente brzine potrebna je sonda sa odgovarajućim brojem vlakana. Jedna od najsavremenijih sonda sa 12 vlakana smještenih u krugu prečnika nešto većeg od 2 mm je prikazana na sl.4.15(b).

Sonde sa zagrijanim vlaknom karakteriše izuzetno visok vremenski odziv sa kritičnom frekvencom od nekoliko hiljada herca. Mogu mjeriti brzinu praktično u jednoj tački. Koriste se za mjerenje inteziteta turbulencije u HVAC sistemima. Na slici 4.16 je prikazan intezitet brzina pri turbulentnom strujanju fluida u periodu od samo jedne polovine sekunde



Sl.4.16 Brzina fluida pri turbulentnom strujanju.

Optički instrumenti

Ovi instrumenti se koriste za mjerenje brzine fluida koji sadrži sitne čestice koje se kreću približno istom brzinom kojom fluid struji u datoj tački strujnog polja. Najpoznatije metode su bazirane na primjeni laserskih zraka (LDV-laser-doppler velosimetry) i brzih kmera (PIV- partical image velosimetry). U prvom slučaju čestice se osvjetljavaju laserskim zrakom koji se rasipa pri nailasku čestice. Ako se koriste dva, neposredno bliska, laserska zraka na poznatom rastojanju može se odrediti vrijeme prolaska čestice od jednog do drugog zraka odnosno brzina strujanje fluida. Ukoliko je fluid čist moguće

je ubaciti veoma sitne čestice nekog materijala odgovarajuće veličine i gustine. PIV metoda se bazira na snimanju čestica veoma brzom kamerom. Upoređujući uzajamni položaj čestica na dva uzastopna snimka može se odrediti polje brzine strujanja fluida. Kao i u slučaju termalne anemometrije radi se o instrumentima visokog vremenskog odziva, tako da se koriste za mjerenje brzine pri turbulentnom strujanju fluida. Za razliku od sonde sa zagrijanim vlaknom i LDV sistema, koji mjere brzinu u jednoj tački strujnog polja, PIV sistem može skenirati strujno polje određenih dimenzija.

5. MJERENJE VLAŽNOSTI

Smješa suvog vazduha i vlage je poznata kao vlažan vazduh. Vлага se u vazduhu može naći u sva tri agregatna stanja. Količina vlage u vazduhu se može izraziti kao: apsolutna vlažnost, relativna vlažnost i koncentracija vlage.

- Apsolutna vlažnost, x , predstavlja odnos mase vlage W prema masi suvog vazduha L ;

$$x = \frac{W}{L} \left[\frac{kg}{kg} \right].$$

- Relativna vlažnost, φ , predstavlja odnos parcijalnog pritiska pare, p_d , prema pritisku zasićenja, p_d^* koji odgovara toj temperaturi;

$$\varphi = \frac{p_d}{p_d^*}.$$

Kreće se u granicama (0-1) ili (0-100)%.

- Koncentracija vlage, x_c , predstavlja odnos količine vlage, W , u vazduhu i zapremine, V , vazduha;

$$x_c = \frac{W}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Uređjaji za mjerenje vlažnosti su poznati kao psihrometri ili higrometri. Rade na različitim principima sa različitim nivoima tačnosti. Najjednostavniji princip je baziran na izduženju odnosno skraćanju nekog vlakna koje upija vlagu u zavisnosti od koncentracije vlage. Vlažnost se može mjeriti i pomoću dva termometra. Jedan od njih, tzv. "suvi termometar", mjeri temperaturu vazduha. Drugi, tzv. "vlažni termometar" pokazuje temperaturu vazduha koja se postiže obavijanjem termometra nakvašenim platnom ili pamukom. Razlika ovih temperatura je indikacija nivoa količine vlage u vazduhu. Danas su, međjutim, najviše u upotrebi elektronski uređjaji.

- **Elektronski uređjaji za mjerenje vlažnosti.** Ovi uređjaji rade na principu promjene otpora nekog provodnika zavisno od koncentracije vlage u njemu ili na promjeni kapacitivnosti kondenzatora (dvije paralelne ploče razdvojene slojem vlažnog vazduha priključene na izvor napona) u zavisnosti od nivoa vlažnosti

vazduha. Univerzalni mjerni sistem "Testo", prikazan na sl.1.2, ima specijalnu sondu (senzor) koji radi na principu promjene kapacitivnosti kondenzatora. Mjeri apsolutnu i relativnu vlažnost kao i koncentraciju vlage u vazduhu. Karakteriše ga visoka preciznost i tačnost mjerenja.