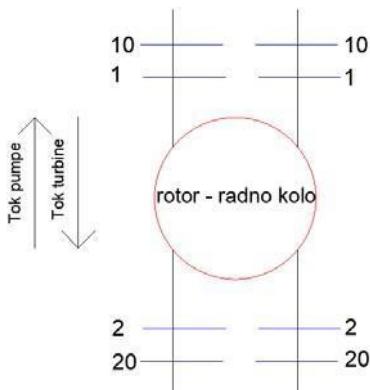


Opšti pristup merenja absolutnog protoka korišćenjem metode termodinamičke efikasnosti

1. Uvod

Termodinamička metoda predstavlja glavnu metodu određivanja efikasnosti hidrauličkih mašina. Zasnovana je na prvom zakonu termodinamike koji predstavlja očuvanje energije. Svako mehaničko ili fluidno trenje uzrokuje transformaciju hidrauličke energije u toplotnu energiju. Hidraulički gubici se određuju preciznim merenjima temperature vode uzvodno, odnosno nizvodno od hidrauličke mašine. Voda se zagreva 2.4 mK (milikelvina) na 100m visine dizanja i na 1% gubitka hidrauličke efikasnosti. Manja visina dizanja mašine iziskuje veće dimenzije mašine, kao i veći broj termometara neophodnih za precizno merenje toplotne raspodele. Iz ovog razloga navedena metoda se primenjuje kod mašina koje imaju visinu dizanja veću ili jednaku 100 m.

2. Proračun efikasnosti



$$\eta_h = \left(\frac{(E_{m,10} - E_{m,20}) + \delta E_{m,10-20}}{E_1 - E_2} \right)^k$$

Slika 1: Prilagođena jednačina hidrauličke efikasnosti

Stepen "k" ima pozitivnu vrednost za turbinu, a negativnu vrednost za pumpu.

U okviru ove jednačine parametri $E_{m,i}$ i E_i se računaju na sledeći način:

$$E_{m,i} = ap_i + gz_i + \frac{v_i^2}{2} + c_p T_i$$
$$E_i = \frac{p_i}{\rho} + gz_i + \frac{v_i^2}{2}$$

Slika 2: parametri $E_{m,i}$ i E_i u okviru jednačine hidrauličke efikasnosti

Izmerene proporcije specifične energije u i -tom preseku;

δE_{m10-20} predstavlja razmenu topote između vode i okoline u okviru zona 10 i 20.

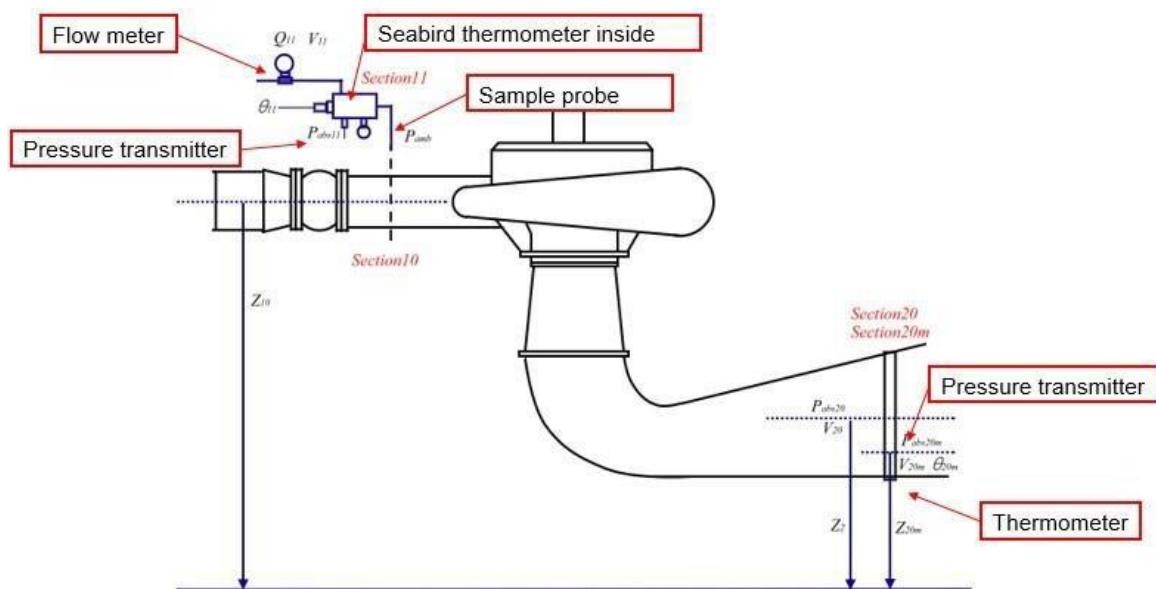
Efikasnost je određena ukoliko možemo izmeriti parametre: p_i , V_i i T_i .

Problem direktnog merenja brzine protoka V_i ;

Izbegava se direktno merenje zbog komplikovanosti procesa i nedovoljne tačnosti.

Ukoliko je brzina veća od 1m/s dolazi do povećane količine trenja i zbog osetljivosti merne zone termometra se dobijaju veće izmerene temperature od stvarnih.

Instalacija instrumenata za merenje na primeru turbine



Slika 3: Šematski prikaz turbine sa instrumentima za merenje

Na strani mernog preseka visokog pritiska, voda sa ulaza turbine se kroz sondu dovodi u posudu za uzorkovanje, kojom se mere fizički parametri poput protoka, temperature, pritiska i sl. Temperatura vode u posudi za uzorkovanje se meri visoko preciznim termometrom.

Prosečna temperatura vode na izlazu meri se nizvodno od turbine (strana niskog pritiska). Brzina vode, pritisak i drugi parametri nizvodno od turbine (strana niskog pritiska) se mere kako bi se izračunala specifična mehanička energija vode. Temperatura izlazne vode, nizvodno od turbine meri se drugim termometrom. Brzina u odvodnom kanalu se računa iterativnim postupkom.

Termodinamička metoda merenja protoka je jedna od metoda koja se koristi za merenje brzine tečnosti u odvodnom kanalu. Ovaj metod koristi princip termodinamike da izračuna brzinu merenjem jednog ili više parametara tečnost i, kao što su temperatura, pritisak ili entalpija.

Termodinamički princip merenja protoka bazira se na odnosu između temperature i pritiska tečnosti i njene brzine. Kada fluid teče kroz odvodni kanal, doživljava promene temperature i pritiska, koje su povezane sa brzinom i protokom tečnosti. Merenjem ovih promena i primenjivanjem zakona termodinamike, protok se može izračunati.

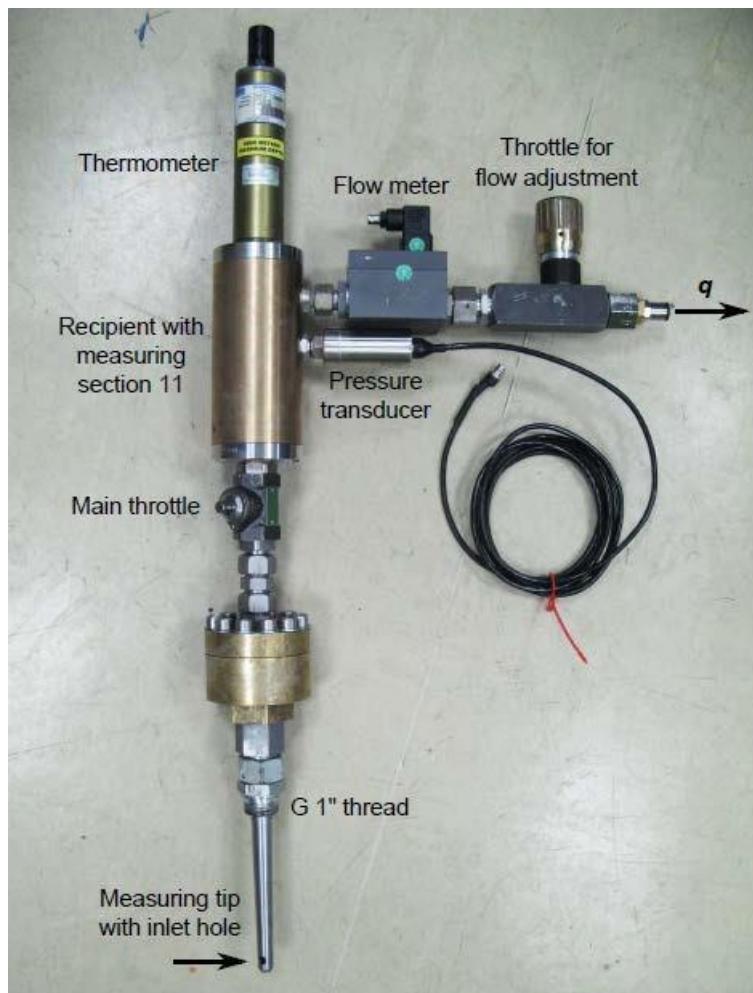
Jedan od često korišćenih metoda merenja protoka je metod razlike pritiska (DP), koji meri pad pritiska kroz prepreku u cevi, kao što je ograničenje ili merač protoka, da bi se utvrdila brzina protoka. Još jedan metod je termalni maseni merač protoka, koji meri razliku temperature između tečnosti i referentne temperature, da bi se izračunala brzina.

Merni instrumenti

Merenje spoljašnje temperature

Sonda za ekstrakciju (slika 4). Kod ove sonde, šupljia metalna šipka sa otvorom na vrhu se spušta u sistem. Rupa na vrhu sonde je okrenuta glavnom protoku kako bi se bilo kakav uticaj turbulentnog graničnog sloja izbegao. Dubina prodiranja je između 10 i 50 cm. Nakon toga se voda, brzine $q=0.1 \dots 0.5 \text{ l/s}$, kontinuirano propušta kroz rupu i dolazi do mernog dela uređaja koji se nalazi van sistema (slika 1. presek 10, odnosno 20). Veličine koje se ovde mere su pritisak, brzina i temperatura. Brzina tečenja ne sme biti velika kako bi se izbegao prekomeren uticaj trenja na termometar. U mnogim slučajevima razmena toplote između vode i okruženja u presecima 10 i 20 se ne može svesti na nulu uprkos dobro izvedenoj termičkoj izolaciji. Iz tog razloga se ovde često vrše korekcije merenih rezultata.

Ukoliko se radi o cevima većeg prečnika koristi se više sondi prilikom merenja jednog preseka. Nizvodna strana zahteva veći broj sondi zbog veće distribucije energije u odnosu na uzvodni deo. Gore navedeni postupak predstavlja glavni metod koji se danas koristi.



Slika 4: Sonda za ekstrakciju

Merenje unutrašnje temperature

U praksi se dobrim pokazalo stavljanje termometara unutar perforiranih, glatkih cevi koje se privremeno ugrađuju u stranu niskog pritiska mašine (slika 5). Ovaj način je prikladan u svim situacijama kada je nemoguće primeniti sonde za ekstrakciju. (Velike dimenzije mašina, otvoreni kanali..)

Strana mašine visokog pritiska se jako retko koristi za merenje zbog pojave većih brzin koje mogu dovesti do prevelikih vrednosti temperatura vode. Statički pritisak u ovoj zoni pi se meri korišćenjem nekoliko transduktora koji se stavljuju u cevi sa termometrom.

Glavna brzina V_i , koja je proporcionalna ukupnom protoku ispusta Q – se ne može meriti u ovoj postavci. Iz tog razloga se protok računa u preseku 10 i iz toga određuje brzina V_i .



Slika 5: Termometar

Merenje snage

Direktno merenje mehaničke snage P_m npr. pojedinačno merenje brzine rotacije n i Obrtnog momenta T , ne doprinosi dovoljnu tačnost pri merenju na velikim mašinama.

Primarna upotreba direktnog merenja je bazirana na manjim mašinama.

Na većim mašinama se sprovode generatorski/motorni testovi efikasnosti koji pružaju nisku mernu nesigurnost. Iz tog razloga se češće meri električna snaga P_a i koriste rezultati generatorskih/motornih testova kako bi se dobila mehanička snaga na indirektni način.

Merenje protoka

Postoje metode merenja protoka poput metoda merača struje, metoda pritiska i vremena, metoda volumetrijskog merenja, metoda Vinter-Kennedy, termodinamička metoda i ultrazvučna metoda.

Metoda pritiska i vremena je izneo Gipson 1923. godine, kada je metoda implementirana, jedinica radi u režimu iznenadnog odbijanja opterećenja, vodena lopatica se brzo zatvara, a voden udar se javlja tokom perioda, tako da se protok turbine ispušta pre nego što se vodena lopatica zatvori, dobija se merenjem varijacije pritiska vode u usisnoj cevi.

Ultrazvučni instrument se brzo razvijao poslednjih godina, ali tačnost površinskog tipa nije baš dobra, veća je tačnost za višekanalni i unutrašnji umetnuti tip, ali mu je potreban težak instalacioni rad tokom izgradnje hidroenergetskog projekta.

Štaviše, ultrazvučna metoda je nezgodna za primenu na turbinama s većim prečnikom.

Tabela 1: Lista karakteristika uobičajenih metoda merenja protoka u turbini

METOD	PREDNOST	NEDOSTATAK
Metoda pritisak-vreme	<i>Mali instalaterski radovi</i>	<i>Nedostatak praktičnog iskustva, rizik od oštećenja od odbacivanja opterećenja, zahtevi za usisnu cev.</i>
Termodinamička metoda	<i>Visoke preciznosti</i>	<i>Potreban je termometar visoke preciznosti otporan na pritisak vode.</i>
Ultrazvučna metoda	<i>Može se trajno opremiti</i>	<i>Normalna tačnost, veliki instalaterski radovi. Potrebna kalibracija i verifikacija na terenu.</i>
Vinter-Kenedi metoda	<i>Lako merenje</i>	<i>Niska tačnost, ne može se dobiti apsolutni protok, ne može se koristiti za procenu ugovorne garancije.</i>
Metoda strujnog merača	<i>Za sve vode</i>	<i>Ogromna instalacija instrumenta, strogi zahtevi za ispitivanje, rizik za merenje.</i>

Pouzdanost metode

Pouzdanost ove metode zavisi od više faktora, uključujući tačnost ulaznih podataka, kvalitet opreme korišćene za merenje temperature i pritiska i validnost termodinamičkih jednačina korišćenih za izračunavanje efikasnosti. Dobro dizajniran i dobro kalibriran sistem bi trebao dati pouzdane rezultate, ali faktori kao što su greška u merenju, pouzdanost i kvalitet upravljanja instrumentima mogu doprineti smanjenju pouzdanosti. Očekivana pozdanost mernih rezultata u dobrim uslovima je između 1% i 2%.

Zaključak

Termodinamička metoda merenja protoka je osnovana na prvom zakonu termodinamike i koristi princip odnosa između temperature i pritiska tečnosti kako bi se odredio protok. Ova metoda se koristi u hidrauličkim mašinama sa visinom dizanja većom ili jednakom 100m.

Efikasnost se računa primenom prilagođene jednačine, a za merenje brzine koriste se instrumenti kao što su termometri, posuda za uzorkovanje, vodomer i sl. Određivanje protoka se računa iterativnim postupkom.

Literatura

1. Dahlhaug, O.G., Nielsen, T.K., Brandastro, B., Franco, H.H., Wiborg, E.J. and Hulaas, H., 2006. Comparison between pressure-time and thermodynamic efficiency measurements on a low head turbine. In *6th International Conference on Innovation in Hydraulic Efficiency Measurements*.
2. Lanzersdorfer, J. and Hackl, B., 2018. A practical approach to use the thermodynamic efficiency method for flow measurements. *Flow Measurement and Instrumentation*, 63, pp.33-36.
3. Ye, Z., Luoping, P. and Dengfeng, C., 2019. Turbine efficiency measurement by thermodynamic test method. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 12(4), pp.261-267.
4. Zhou, Y., Pan, L.P., Cao, D.F. and Liu, Y.Q., 2019, March. Research of key technology for turbine efficiency measurement based on thermodynamics method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 240, No. 7, p. 072015). IOP Publishing.