

Primjena ultrazvučnih senzora za mjerenje protoka u industriji

Golek, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:355809>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-11**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Stručni studij

**PRIMJENA ULTRAZVUČNIH SENZORA ZA
MJERENJE PROTOKA U INDUSTRIJI**

Završni rad

Antonio Golek

Osijek, 2019. godine

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 10.05.2019.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Ime i prezime studenta:	Antonio Golek
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A 4097, 22.09.2018.
OIB studenta:	78125402531
Mentor:	Dr. sc. Željko Špoljarić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Dr. sc. Krešimir Miklošević
Član Povjerenstva:	Zorislav Kraus
Naslov završnog rada:	Primjena ultrazvučnih senzora za mjerenje protoka u industriji
Znanstvena grana rada:	Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	Objasniti osnovne pojmove vezane uz mjerenje protoka s posebnim naglaskom na ultrazvučno mjerenje protoka. Dati pregled mjernih uređaja koji se koriste za ultrazvučno mjerenje protoka od različitih proizvođača te napraviti usporedbe prema karakteristikama mjernih uređaja. Potrebno je navesti osnovne podatke mjernih uređaja te navesti u kojim pogonima i proizvodnim procesima se najviše primjenjuju. Osvrnuti se na načine povezivanja mjernih uređaja u sustave nadzora i upravljanja industrijskih postrojenja.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	10.05.2019.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 26.05.2019.

Ime i prezime studenta:

Antonio Golek

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A 4097, 22.09.2018.

Ephorus podudaranje [%]:

11

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Primjena ultrazvučnih senzora za mjerenje protoka u industriji**

izrađen pod vodstvom mentora Dr. sc. Željko Špoljarić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	2
2. MJERENJE PROTOKA.....	3
3. ULTRAZVUČNO MJERENJE PROTOKA.....	5
3.1. Mjerenje protoka preko razlike brzine ultrazvuka (razlike tranzitnih vremena)	5
3.2. Mjerenje protoka promjenom frekvencije ultrazvuka (Dopplerov efekt)	8
4. MJERNI UREĐAJI ULTRAZVUČNOG MJERENJA PROTOKA	11
4.1. Uvod u mjerne uređaje.....	11
4.2. Uređaji na temelju razlike tranzitnih vremena (Inline uređaji).....	11
4.2.1. Siemens-ovi uređaji	11
4.2.2. Endress+Hauser uređaji	18
4.2.3. Krohne-ovi uređaji	22
4.2.4. Uređaji ostalih proizvođača	29
4.3. Uređaji na temelju promjene frekvencije ultrazvuka (clamp-on uređaji).....	32
4.3.1. Siemens-ovi uređaji	32
4.3.2. Endress+Hauser uređaji	36
4.3.3. Krohne-ovi uređaji	41
4.3.4. Uređaji ostalih proizvođača	44
5. SUSTAV NADZORA I UPRAVLJANJA	46
6. ZAKLJUČAK.....	49
LITERATURA.....	51
SAŽETAK.....	56
ŽIVOTOPIS.....	57

1. UVOD

Mjerenje protoka je važan dio svakog proizvodnog procesa. Protok je osnovna fizikalna veličina koja se mjeri u industrijskim procesima. Protok je moguće mjeriti: mehaničkim mjerilima, vrtlogom, Coriolisovim silama, toplinskim postupkom, magnetsko-induktivnim postupkom, ultrazvučnim mjerenjem i optičkim mjerenjem.

Razlikujemo dvije metode ultrazvučnog mjerenja :

1. Mjerenje protoka preko razlike brzine ultrazvuka (metoda razlike tranzitnih vremena)
2. Mjerenje protoka promjenom frekvencije ultrazvuka (metoda Dopplerovog efekt)

Kod metode razlike tranzitnih vremena, mjerilo je u direktnom dodiru s protočnim medijem, jer se mjerne sonde ugrađuju u cjevovod. Uređaji koji mjere na temelju ove metode se nazivaju in-line uređaji.

Kod metode Dopplerovog efekta, mjerilo nije u direktnom dodiru s protočnim medijem. A uređaji koji mjere na temelju ove metode su clamp-on uređaji, oni se preko štipaljke pričvrste za cjevovod.

Ultrazvučno mjerenje ne ovisi o temperaturi i tlaku, a iza njegovog mjerenja nenastaje pad tlaka unutar cjevovoda. Ovo mjerenje omogućava mediju nesmetano strujanje, ne postavlja prepreke u strujanju prilikom mjerenja.

2. MJERENJE PROTOKA

Mjerenje protoka je neizbježan postupak kod svakoga industrijskoga procesa, polazi se od toga da tvari mogu biti pohranjene ili mogu teći (uskladištene ili strujane). Ako se radi o volumnom protoku to je volumen fluida koji prolazi kroz neku točku u jedinici vremena, dok kod masenog protoka to je masa fluida koja prolazi kroz neku točku u jedinici vremena [1]:

$$qv = \frac{V}{t} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad ; \quad qm = \frac{m}{t} \text{ [kg/s]} \quad (2-1)$$

gdje je:

qv = volumni protok [m^3/s]

qm = maseni protok [kg/s]

V = volumen [m^3]

m = masa fluida [kg]

t = vrijeme [s]

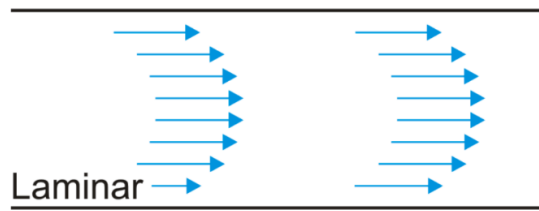
Mjerenje masenog protoka je pouzdano iz razloga zato što masa ostaje konstanta, dok mjerenje volumnog protoka ovisi o gustoći a samim time i o tlaku i o temperaturi protočne tvari. Što se tiče omjera masenog i volumnog protoka jednak je gustoći protočne tvari (fluida) prema formuli [1]:

$$\rho = \frac{qm}{qv} = \frac{m/t}{V/t} = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (2-2)$$

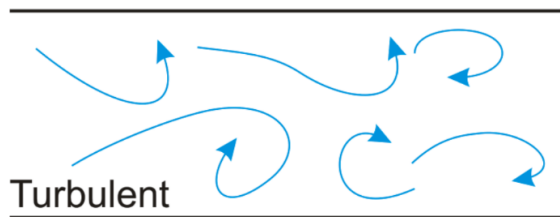
gdje je :

ρ = gustoća fluida [kg/m^3]

Kod mjerenje protoka na profil strujanja utječu parametri protočne tvari. Neki od parametra su: gustoća, tlak, temperatura, viskozitet i glatkoća cjevovoda odnosno njegove unutarnje površine. Razlikujemo laminirano (Sl. 2.1) i turbulentno (Sl. 2.2) strujanje. Kod laminiranoga strujanja pojedini slojevi imaju različite brzine te se međusobno ne miješaju. A kod turbulentnog strujanja imamo povećanu protočnu brzinu ili smanjenje viskoziteta tako da dolazi do poremećenoga strujanja u kojemu se slojevi fluida miješaju.



Sl. 2.1. laminirano strujanje, odvojeni slojevi [2]



Sl. 2.2. turbulentno strujanje, miješanje slojeva [2]

Brzine strujanja koje daju turbulentni profil te su smještene u sredinu cjevovoda, s njima radi najveći broj mjerila protoka. Kod mjerenja protoka postoje razna fizikalna načela, to su: mehanička, toplinska, elektromagnetska, akustična i optička načela.

Zbog mehaničkih mjerila razvio se veliki broj mjernih uređaja. Na izlazu se pogotovo kod novijih mjernih uređaja dobiva električni signal, te sadrže mjerni lanac s senzorom. Mehanička mjerila dijelimo na: tlačne sonde (to su Prandtlova cijev i štapna sonda), mjerne prigušnice (to su blende, mlaznice i Venturijeva cijev), brojila s mjernim krilcima (Woltmannovo brojilo, turbinsko brojilo i kolo s mjernim krilcima), brojila s mjernim komorama i mjerila s lebdećim tijelom.

Osim mehaničkim mjerilima protok je moguće mjeriti: pomoću vrtloga, pomoću Coriolisovih sila, toplinskim postupkom, magnetsko-induktivnim postupkom, ultrazvučnim mjerenjem i optičkim mjerenjem.

3. ULTRAZVUČNO MJERENJE PROTOKA

Brzina koju zvuk ima u nekoj tekućini ovisi o brzini strujanja te iste tekućine, što omogućava određivanje srednje brzine strujanja odnosno brzine protoka. Svaki zvuk koji ima frekvenciju veću od 20 kHz, smatra se ultrazvukom. Međutim ultrazvučni uređaji kojima se mjeri protok rade s frekvencijom koja je veća i od 50 kHz do nekoliko Mhz, što se tiče točnosti mjerenja najbolji rezultati će se postići mjerenjem medija koji ima konstantnu gustoću. Ultrazvučni uređaji su prvenstveno bili namijenjeni za mjerenje protoka čistoga medija, jer na točnost mjerenja je jako utjecala stalna prisutnost čestica, ali vremenom kako se razvijala ova tehnologija omogućila je i mjerenje medija s nečistim česticama odnosno mulja. Ultrazvučni uređaji za mjerenje protoka su ujedno i najpopularniji uređaji koji mjere protok unutar cjevovoda, koriste se kod cjevovoda čiji je promjer od 2 do 300 cm, i za brzine strujanja od 1 do 10 m/s. Važno je istaknuti i njihovu prednost, kako ne ovise o temperaturi i tlaku protočne tvari, te kako iza njihovog mjerenja ne nastaje pad tlaka unutar cjevovoda, omogućava mediju nesmetano strujanje, ne postavlja prepreke strujanju prilikom mjerenja. Ultrazvuk se proizvodi pomoću piezoelektričkog kristala, koji je zalijepljen na jednu od membrana te je ugrađeno u svoje kućište. Kada se stavi takva jedna pločica kristala pod promjenljiv električni napon, ona se elastično deformira i zatitra u taktu narinutog napona. Nakon toga se ta deformacija prenese na elastičnu membranu te membrana postane izvorom ultrazvučnog vala. Isto tako i prijemnik je zasnovan na piezoelektričnom efektu [3].

Ultrazvučno mjerenje je neinvazivna metoda, nije ograničena na mjerenje samo tekućina, služi i za mjerenje opasnih tekućina ili sterilnih tekućina. U opasne tekućine se ubrajaj: otrovne, radioaktivne, zapaljive ili eksplozivne tekućine, dok sterilne tekućine su one koje se nalaze u kemijskoj ili prehrambenoj industriji (primjerice lijekovi). Omogućuje radnicima mjerenje protoka, a da nije u direktnom doticaju s opasnim ili sterilnim tekućinama [4].

Dva su načina ultrazvučnog mjerenja protoka, prvo je mjerenje protoka preko razlike brzine ultrazvuka, a drugo je mjerenje protoka promjenom frekvencije ultrazvuka (Dopplerov efekt).

3.1. Mjerenje protoka preko razlike brzine ultrazvuka (razlike tranzitnih vremena)

U ovome slučaju mjerilo je u direktnom dodiru s protočnim medijem, jer se predajnik i prijemnik zvučnih valova ugrađuju u cjevovod. Mjerne sonde se ugrađuju jedna nasuprot drugoj, te jedna i druga imaju mogućnost biti predajnik i prijemnik (Sl. 3.1). Razmak između sondi predstavlja put

D kojim ultrazvuk putuje, sonde ili drugi naziv mjerne glave šalju ultrazvučne signale naizmjenično. Međutim kada signal putuje protivno smjeru strujanja medija onda je negativan i strujanje ga usporava, a onaj signal koji putuje u smjeru strujanja medija je pozitivan i strujanje ga ubrzava. Zbog toga se javlja razlika u brzini ultrazvuka između ta dva vremena, na temelju toga izračunavamo razliku vremena ΔT [5]:

$$T_G = \frac{M \cdot \frac{D}{\cos\theta}}{C_o + v \sin\theta} \quad (3-1)$$

$$T_D = \frac{M \cdot \frac{D}{\cos\theta}}{C_o - v \sin\theta} \quad (3-2)$$

$$\Delta T = T_G - T_D \quad (3-3)$$

frekvencija se računa prema izrazu [5]:

$$f_{IN} = \frac{1}{\Delta T} \quad (3-4)$$

gdje je:

ΔT = razlika između T_G i T_D [s]

T_G = vrijeme putovanja signala u smjeru strujanja [s]

T_D = vrijeme putovanja signala protivno smjeru strujanja [s]

M = n broj puta ultrazvučni signal putuje u smjeru naprijed/nazad

C_o = brzina signala u statičkoj tekućini (mediju)

D = promjer cijevi [m]

V = brzina tekućine (medija) [m/s]

Brzina ultrazvučnog signala ovisi o vrsti tekućine kroz koju prolazi, računa se prema izrazu [5]:

$$C_o = \sqrt{\frac{k}{\rho}} \quad (3-5)$$

gdje je:

k = volumni modul

ρ = gustoća medija [kg/m³]

Utjecaj temperature na gustoću, računa se prema formuli [5]:

$$\rho_1 = \frac{\left[\frac{\rho_0}{1 + \alpha(t_1 - t_0)} \right]}{\left[1 - \frac{P_{t1} - P_{t0}}{E} \right]} \quad (3-6)$$

gdje je:

ρ_1 = specifična gustoća tekućine pri temperaturi t_1 [kg/m³]

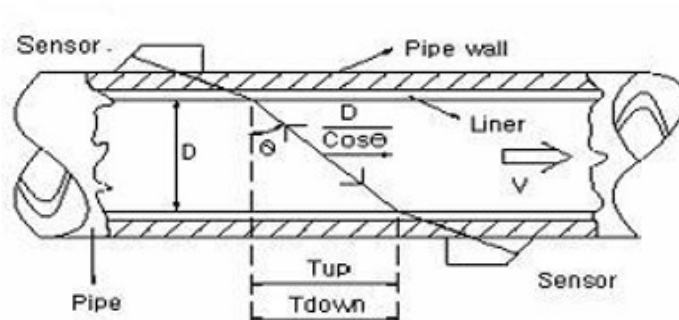
ρ_0 = specifična gustoća tekućine pri temperaturi t_0 [kg/m³]

P_{t1} = tlak pri temperaturi t_1 [Pa]

P_{t0} = tlak pri temperaturi t_0 [Pa]

E = Modul elastičnosti tekućine

α = temperaturni koeficijent tekućine



Sl. 3.1. Mjerenje protoka preko razlike brzine ultrazvuka [5]

Mjerni uređaji koji mjere pomoću ove metode su znatno skuplji od onih koji mjere na temelju Dopplerovog efekta (Sl. 3.2), instalacija ovih mjerenih uređaja je znatno kompleksnija, jer se uređaj mora ugraditi u cjevovod. Namijenjeni su za mjerenje protoka kod čistih tekućina ili plinova, njihova primjena na nečistim tekućinama bi dovela do loših mjernih rezultata, iz razloga što bi se ultrazvučni signali odbijali od nečistih čestica. Njegove prednosti su visoka točnost, točnija metoda mjerenja od metode Dopplerovog efekta, ne stvara ograničenja od strujanja protoka prilikom mjerenja te ne stvara pad tlaka poslije mjerenja. Ovakvi uređaji za mjerenje protoka se uveliko primjenjuju kod obrade vode u prehrambenim i kemijskim industrijama.

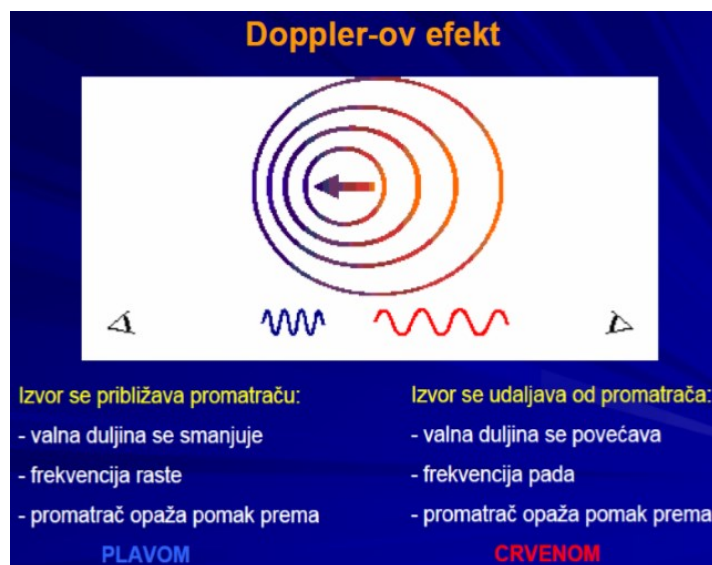


Sl. 3.2. Primjer takvog jednog uređaja (mjeri na temelju razlike tranzitnih vremena) [6]

U novije vrijeme sve više su popularni kombinirani uređaji, oni mjere na temelju Dopplerovog efekta i na temelju razlike tranzitnih vremena. Međutim pošto se radi o novoj tehnologiji koja osvaja tržišta i koja ima veliki potencijal, proizvođači istih žele zadržati za sebe način djelovanja tih uređaja, kako im konkurenti ne bi ukrali ideju [4].

3.2. Mjerenje protoka promjenom frekvencije ultrazvuka (Dopplerov efekt)

Mjerenje protoka promjenom frekvencije ultrazvuka se temelji na Dopplerovom efektu (Sl. 3.3). Što bi značilo, da brzina zvuka u određenom fluidu i pod određenim uvjetima je uvijek konstantna, ako se fluid kreće, tada u ovisnosti o smjeru rasprostiranja zvuka njegova brzina se povećava ili smanjuje, i to za vrijednost brzine kretanja tog fluida.



Sl. 3.3. Dopplerov efekt [7]

Ovakav način mjerenja omogućava mjerenje protoka kada protočne tvari sadržavaju krute čestice ili mjehuriće, takve nečistoće omogućavaju refleksiju ultrazvučnog signala (Sl. 3.4). U jednoj mjernoj glavi nalazi se i predajnik i prijemnik ultrazvuka. Djeluje tako da šalje signal frekvencije f_1 koji se rasprši po svim strujanim česticama, tada dođe do komprimiranja ultrazvuka, valna duljina mu postaje kraća a frekvencija viša. Nakon refleksije ultrazvuka o čestice vraća se na prijemnik frekvencija f_2 , tada se frekvencija f_2 uspoređuje s odaslanoj frekvencijom f_1 te tvore razliku u frekvencijama Δf [1]:

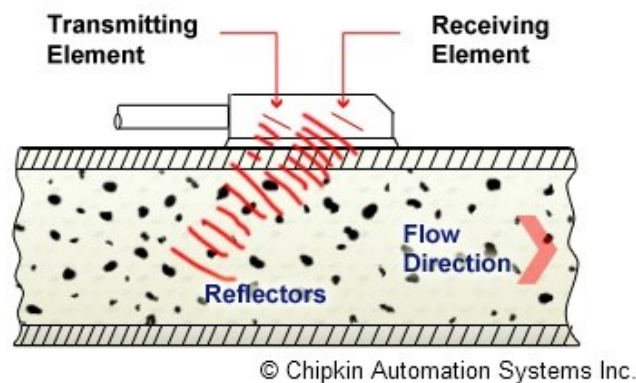
$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (3-7)$$

gdje je:

Δf = razlika u frekvencijama f_2 i f_1 [Hz]

f_1 = odaslana frekvencija od strane predajnika [Hz]

f_2 = primljena frekvencija od strane prijemnika [Hz]



Sl. 3.4. Mjerenje protoka promjenom frekvencije ultrazvuka [8]

Ultrazvučna energija se sastoji od niza kratkih pukotina sinusoidnih valnih oblika pri frekvenciji od 0,5 do 20 MHz, međutim ta frekvencija je ultrazvučna jer je izvan raspona ljudskog sluha.

Brzina protoka je dana izrazom [4]:

$$v = \frac{c(f_t - f_r)}{2f_t \cos(\theta)} \quad (3-8)$$

gdje je:

v = brzina protoka [m/s]

f_t = frekvencija emitiranih ultrazvučnih valova [Hz]

f_r = frekvencija primljenih ultrazvučnih valova [Hz]

c = brzina zvuka u izmjerenoj tekućini [m/s]

θ = kut koji reflektira energiju valova i čini os s protokom unutar cijevi

Nakon čega se brzina volumnog protoka dobije množenjem izmjerene vrijednosti brzine strujanja s površinom poprečnog presjeka cijevi.

Mjerni uređaji koji mjere na temelju promjene frekvencije ultrazvuka, su pogodni kod mjerenja nečistog medija, kod medija koji sadržavaju nečiste čestice, pošto su čestice bitan faktor kod mjerenja jer omogućavaju refleksiju. Isto tako ovakvi uređaji su neprimjenjivi kod mjerenja čistih tekućina ili čistih plinova pošto je onemogućena refleksija ultrazvuka. Njihova velika prednost je ta što su ovakvi uređaji mobilni, samim time njihova ugradnja i instalacija je jednostavna, svega nekoliko minuta, oni se samo pričvrste kao štikaljka (clamp-on) na vanjsku stranu cjevovoda, nije potrebno nikakvo bušenje cijevi (Sl. 3.5). Važno je napomenuti kako mjere brzinu strujanja na samo malom dijelu gdje se frekvencija reflektira, stoga rezultati ovakvoga mjerenja nisu relevantni za cijeli presjek cjevovoda, stoga je metoda „razlika tranzitnog vremena“ puno preciznija metoda.



Sl. 3.5. Primjer jednog uređaja, mjeri na temelju promjene frekvencije ultrazvuka (clamp-on) [9]

4. MJERNI UREĐAJI ULTRAZVUČNOG MJERENJA PROTOKA

4.1. Uvod u mjerne uređaje

U nastavku ćemo govoriti o mjernim uređajima koji služe za mjerenje protoka na temelju ultrazvuka. Dijelimo ih u dvije grupacije: mjerni uređaji koji rade na principu „razlike tranzitnih vremena“ koji se direktno ugrađuju u cjevovod (Inline), te mjerni uređaji koji rade na principu „Dopplerovog efekta“, koji se preko štipaljke (clamp-on) spajaju na cjevovod. Navesti ćemo uređaje od različitih proizvođača kao i njihove specifikacije, prednosti i mane. Govoriti ćemo o prednosti pojedinih uređaja za pojedine procese i pogone, te o njihovom načinu povezivanja u sustav nadzora za upravljanje procesima.

4.2. Uređaji na temelju razlike tranzitnih vremena (Inline uređaji)

4.2.1. Siemens-ovi uređaji

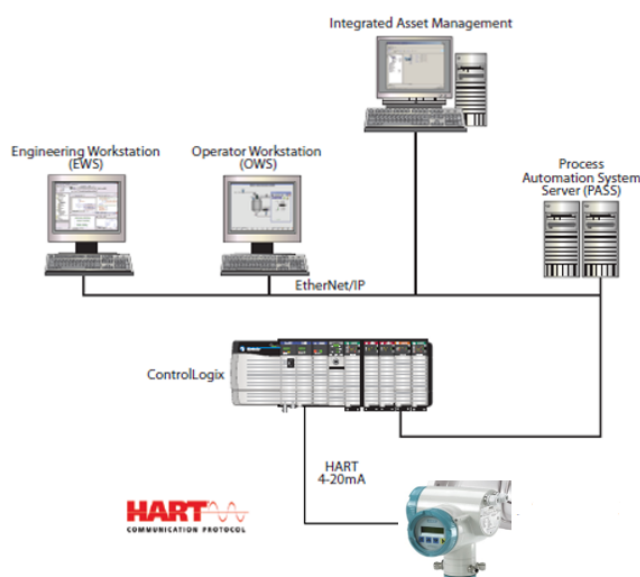
Sitrans FUS060 (Sl. 4.1) od tvrtke Siemens, mjerni instrument (odašiljač) koji mjeri na temelju „razlike tranzitnih vremena“. Opremljen je visoko-kvalitetnim pretvornicima, koristi naprednu tehnologiju za obradu signala mjerenja. Visoki stupanj preciznosti mjernih rezultata, koristi se u industrijske svrhe kod mjerenja protoka: tople, hladne ili otpadne vode, uključujući ulja i tekućih plinova. Njegova prednost je ta što na rezultate mjerenja ne utječu nečiste čestice ili neke druge prepreke unutar mjerenog medija. U prilog mu ide i dugi vijek trajanja te dobar omjer uloženog i dobivenog, u sustavu nadzora i upravljanja uređaj ima mogućnost komunikacije i putem protokola HART (Sl. 4.2) [10].



Sl. 4.1. Sitrans FUS060 [10]

Tablica 4.1. Tehnički podatci [10]

Točnost:	± 0.5% protoka
Ulaz:	1-, 2-staze sučelja
Izlaz:	Jedan analogni, jedan impulsni, jedan relejni
Komunikacija:	HART Profibus PA PDM (Process Device Manager)
Zaslon:	2 x 16 alfanumeričke znamenke LCD s osvjetljenjem
Napajanje:	24V AC/DC 115/230V AC
Radna temperatura:	od -20 do 50 °C (-4 do 122 °F)
Odobrenja:	ATEX



Sl. 4.2. Komunikacija Sitrans FUS060 putem protokola HART [37]

Uređaj Sitrans FUS060 (odašiljač) se kombinira s jednim od sljedećih senzora: Sitrans F US Sono 3100, Sitrans F US Sono 3300 ili Sitrans F US Sonokit.

Senzor Sitrans F US Sono 3100 (Sl. 4.3) je izgrađen od ugljičnog ili nehrđajućeg čelika, koristi se kod visoko zahtjevnih procesa u opasnim ili manje opasnim okruženjima s mogućnostima daljinskog upravljanja, primjenjuje se kod mjerenja hladne ili tople vode te kod mjerenja protoka nečiste vode (primjerice ulje), za sustave kod kojih je potrebna zamjena sonde pod pritiskom [11].



Sl. 4.3. Sitrans FUS060 s senzorom Sitrans F US Sono 3100 [11]

Tablica 4.2. Tehnički podatci [11]

Mjerno područje:	Od 28 do 4200 m ³ /h (ovisno o veličini)
Nazivna veličina:	Od 10-50 cm (4" do 20")
Točnost:	±0.5% protoka
Radni tlak:	Max. 40 bar (Max. 580 psi)
Radna temperatura:	od -20 do 85 °C (-4 do 185 °F)
Srednja temperatura:	od -20 do 200 °C (-4 do 392 °F)
Dizajn:	2 staze
Materijal:	Ugljični čelik (nehrđajući čelik na zahtjev)
Odobrenja:	ATEX

Senzor Sitrans F US Sono 3300 (Sl. 4.4) izgrađen je od ugljičnog čelika i opremljen integriranim pretvornicima, koristi se u industrijama kod mjerenja protoka vruće i otpadne vode i kod sustava gdje nije potrebna zamjena sonde. Njegova je prednost što omogućava mjerenje medija koji sadrži nečiste čestice, tako ne dolazi do grubih pogrešaka unutar mjerenja. Nudi dobar omjer cijene i mogućnosti te dugi vijek trajanja [12].



Sl. 4.4. Sitrans FUS060 s senzorom F US Sono 3300 [12]

Tablica 4.3. Tehnički podatci [12]

Mjerno područje:	Od 10 do 2200 m ³ /h (ovisno o veličini)
Nazivna veličina:	Od 5-30 cm (2" do 12")
Točnost:	±0.5% protoka
Radni tlak:	Max 40 bar (Max. 580 psi)
Radna temperatura:	Od -40 do 85 °C (-40 do 185 °F)
Srednja temperatura:	Od -10 do 160 °C (14 do 320 °F)
Dizajn:	2 staze
Materijal:	Ugljični čelik
Odobrenja:	ATEX

Senzor Sitrans F US Sonokit (Sl. 4.5) nudi jednostavnu i preciznu alternativu ostalim tradicionalnim mjernim uređajima protoka, njegova prednost je naknadna ugradnja na cjevovod. Sadrži „in-line“ pretvarač koji omogućuje veliku točnost i velike mogućnosti. Ugrađuje se u prazne cijevi ili cijevi pod tlakom bez zaustavljanja procesa, primjenjuje se u hidroelektranama, u toplanama te u sustavima za distribuciju vode [13].



Sl. 4.5. Sitrans FUS060 i FUS080 s senzorom F US Sonokit [13]

Tablica 4.4. Tehnički podatci [13]

Mjerno područje:	Od 100 do 78000 m ³ /h (ovisno o veličini i odašiljaču)
Nazivna veličina:	od 10-120 cm (4" do 48") (ovisno o odašiljaču)
Točnost:	± 0.5 do 1.5% protoka
Radni tlak:	Max. 40 bar (Max 580 psi)
Radna temperatura:	Od -20 do 200 °C (-4 do 392 °F)
Dizajn:	1 ili 2 staze
Materijal	Tipični materijal cijevi: čelik, nehrđajući čelik, beton
Odobrenja	ATEX (samo za SITRANS FUS060)

Sitrans FUS080 (Sl. 4.6) je uređaj također od tvrtke Siemens isto kao i odašiljač(uređaj) FUS060 mjeri na temelju „razlike tranzitnih vremena“. Međutim njegova prednost je u tome što ima mogućnost mrežnog i baterijskog napajanja, koristi se u kombinaciji s senzorima: Sitrans F US Sonokit (prethodno navedeno Sl. 4.5), Sitrans Fus380 i Sitrans Fue380. Primjeri primjene Sitrans-a Fus080 su: mjerenje protoka vode u toplanama, u kotlovnicama, u sustavima za hlađenje i navodnjavanje te u drugim sličnim sustavima [14].



Sl. 4.6. Sitrans FUS080 [14]

Tablica 4.5. Tehnički podatci [14]

Točnost:	± 0.5% protoka
Ulazi:	1-, 2- sučelja staza
Izlazi:	2 impulsna ili statusna
Komunikacija:	MODBUS RTU protokol: IrDA optical eye dodatni protokol za komunikaciju PDM (Process Device Manager)
Zaslon:	LCD, 8-znamenkasti s dodatnim simbolima
Napajanje:	Baterija ili mreža (3.6V ili 115/230V AC)
Radna temperatura:	od -5 do 60 °C (23 do 140 °F)
Odobrenja:	MID, PTB (ovisno o odabiru sustava)

Senzor Sitrans Fus380 (Sl. 4.7), može se koristiti kod svih primjena za nadzor protoka vode, sadrži zaslon s dijagnostikom i različitim mjernim vrijednostima, sadrži „IrDA optical eye“ sučelje za komunikaciju koje se povezuje s „Simatic PDM“ koje se koristi za programiranje i prijenos podataka. Primjenjuje se za mjerenje protoka u: toplanama, kotlovnica, sustavima za hlađenje vode i dr. [15].



Sl. 4.7. Sitrans FUS080 s senzorom FUS380 [15]

Tablica 4.6. Tehnički podatci [15]

Mjerno područje:	Od 15 do 36000 m ³ /h (ovisno o veličini)
Nazivna veličina:	Od 5 do 120 cm (2“ do 48“)
Točnost:	±0.5% protoka
Radni tlak:	Brzina tlaka max. PN 40
Radna temperatura:	Od 0 do 60 °C (32 do 140 °F)
Srednja temperatura:	od 2 do 200 °C (35.6 do 392 °F) Bronca: sve do 150 °C (302 °F)
Materijal:	Ugljični čelik, bronca

Tablica 4.7. Usporedba specifikacija odašiljača (transmitter-a) [10], [14]

	Sitrans FUS060	Sitrans FUS080
Točnost:	± 0.5% protoka	± 0.5% protoka
Ulazi:	1-, 2-staze sučelja	1-, 2- sučelja staza
Izlazi:	Jedan analogni, jedan impulsni, jedan relejni	2 impulsna ili statusna
Komunikacija:	HART Profibus PA PDM (Process Device Manager)	MODBUS RTU protokol: IrDA optical eye dodatni protokol za komunikaciju PDM (Process Device Manager)
Zaslon:	2 x 16 alfanumeričke znamenke LCD s osvjetljenjem	LCD, 8-znamenkasti s dodatnim simbolima
Napajanje:	24V AC/DC 115/230V AC	Baterija ili mreža (3.6V ili 115/230V AC)
Radna temperatura:	od -20 do 50 °C (-4 do 122 °F)	od -5 do 60 °C (23 do 140 °F)

Ovu su dva najpopularnija Siemensova odašiljača (transmitter-a), jedan i drugi odašiljač su sličnih specifikacija, međutim FUS080 ima mogućnost baterijskog napajanja stoga je i opremljen s više komunikacijskih protokola.

Tablica 4.8. Usporedba specifikacija mjernih senzora [11], [12], [13], [15]

	Sitrans F US Sono 3100	Sitrans F US Sono 3300	Sitrans F US Sonokit	Sitrans Fus380
Mjerno područje:	Od 28 do 4200 m ³ /h	Od 10 do 2200 m ³ /h	Od 100 do 78000 m ³ /h	Od 15 do 36000 m ³ /h
Nazivna veličina:	Od 10-50 cm (4" do 20")	Od 5-30 cm (2" do 12")	od 10-120 cm (4" do 48")	Od 5 do 120 cm (2" do 48")
Radni tlak:	Max. 40 bar (Max. 580 psi)	Max 40 bar (Max. 580 psi)	Max. 40 bar (Max 580 psi)	Brzina tlaka max. PN 40
Radna temperatura:	od -20 do 85 °C (-4 do 185 °F)	Od -40 do 85 °C (-40 do 185 °F)	Od -20 do 200 °C (-4 do 392 °F)	Od 0 do 60 °C (32 do 140 °F)
Srednja temperatura:	Od -20 do 200 °C (-4 do 392 °F)	Od -10 do 160 °C (14 do 320 °F)	Ovisno o odašiljaču	od 2 do 200 °C (35.6 do 392 °F) Bronca: sve do 150 °C (302 °F)
Materijal:	Ugljični čelik (nehrđajući čelik na zahtjev)	Ugljični čelik	Tipični materijal cijevi: čelik, nehrđajući čelik, beton	Ugljični čelik, bronca

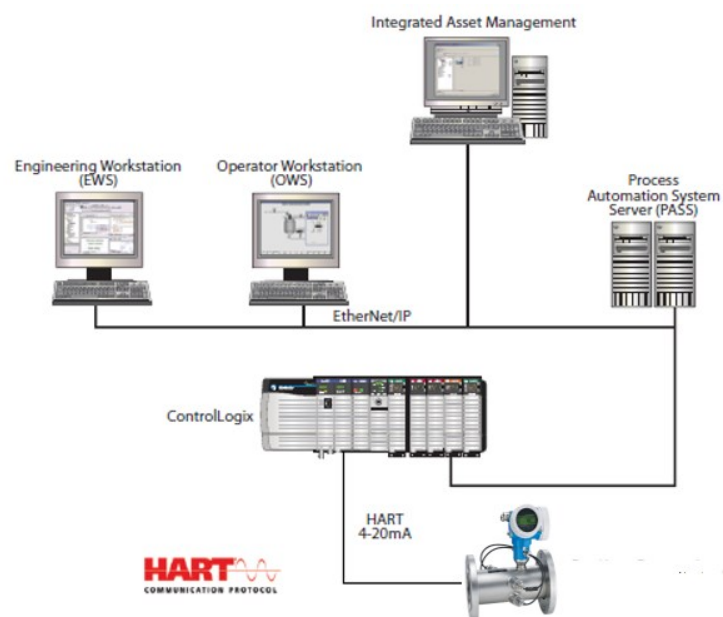
Za istaknuti je Sitrans-ov F US Sonokit senzor, koji ima mogućnost spajanja na jedan i drugi odašiljač (transmitter), ima šire mjerno područje i nazivnu veličinu do 120 cm.

4.2.2. Endress+Hauser uređaji

Proline Prosonic Flow B 200 (Sl. 4.8) od tvrtke Endress+Hauser mjeri na temelju „razlike tranzitnih vremena“ za mjerenje bioplina s tehnologijom pogonske petlje. Daje precizne rezultate mjerenja čak i pod promjenjivim uvjetima procesa, osim mjerenja protoka plina mjeri i njegovu kvalitetu. Prednosti su: integrirano mjerenje metana u stvarnom vremenu, optimizirano za niskotlačni plin, nema dodatnog gubitka tlaka, moguća dijagnostika [16].



Sl. 4.8. Proline Prosonic Flow B 200 [16]



Sl. 4.9. Komunikacija Proline Prosonic Flow B 200 putem protokola HART

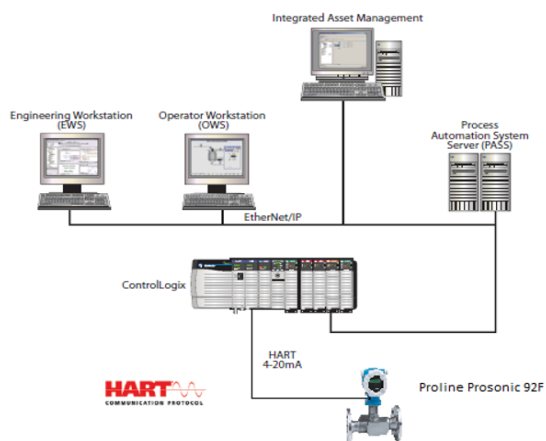
Tablica 4.9. Tehnički podatci [16]

Mjerno područje:	Standard: 1 do 30 m/s Opcija: 0,3 do 30 m/s
Radni tlak:	Max. 11 bar (159 psi)
Srednja temperatura:	0 do +80 °C (+32 do +176 °F)
Temperatura materijala:	Ugljični čelik: -10 do +60 °C (+14 do +140 °F) Nehrđajući čelik: -40 do +60 °C (-40 do +140 °F)
Materijal kućišta:	AlSi10Mg, obložen; 1.4404 (316L)
Stupanj zaštite:	IP66 / 67, kućište tipa 4X
Zaslon:	4-linijski zaslon s osvjetljenjem i kontrolom na dodir
Izlazi:	4-20 mA HART (pasivno) 4-20 mA (pasivno) Izlaz impulsa / frekvencije / prekidača (pasivno)
Ulazi:	Strujni ulaz 4-20 mA (pasivno)
Komunikacijski protokol	HART
Napajanje:	DC 12 do 35 V (4 - 20 mA HART sa / bez impulsa / frekvencije / izlaznog prekidača) DC 12 do 30 V (4-20 mA HART, 4-20 mA) DC 12 do 35 V (4-20 mA HART, impulsni / frekvencijski / izlazni prekidač, ulaz 4-20 mA) DC 9 do 32 V (PROFIBUS PA, impuls / frekvencija / izlazni prekidač)

Proline Prosonic 92F (Sl. 4.10) je mjerni uređaj za mjerenje protoka metodom „razlike tranzitnih vremena“ isto od tvrtke Endress+Hauser. Primjenjuje se u kontroli procesa i komunalnih mjerenja u gotovo svim sektorima industrije, kao što su kemijska i petrokemijska industrija. Postoje dvije verzije ili izvedbe ovakvoga uređaja, kompaktna i razdvojena verzija. U sustavu nadzora i upravljanje uređaja komunicira putem protokola HART (Sl. 4.11).



Sl. 4.10. Proline Prosonic 92F [17]



Sl. 4.11. Komunikacija Proline Prosonic 92F putem protokola HART

Tablica 4.10. Tehnički podatci [17]

Mjereni protok:	0 – 2 400 m ³ /h
Promjer cijevi:	2.5-30 cm
Točnost:	±0.3 % opcijski ±0.5 % standardni
Radna temperatura:	-40 do +200 °C
Zaslون:	2-linijski zaslon s pozadinskim osvjetljenjem s tri tipke
Izlazi:	1x 4-20 mA HART 1x izlaz impulsa / frekvencije / prekidača (pasivno)
Ulazi:	N / A
Komunikacija:	HART, Profibus PA, FOUNDATION Fieldbus
Napajanje	Napajanje s dvožičnom petljom

Tablica 4.11. Usporedba specifikacija [16], [17]

	Proline Prosonic Flow B 200	Proline Prosonic 92F
Mjerno područje:	Standard: 1 do 30 m/s Opcija: 0,3 do 30 m/s	0.5 do 10 m/s
Radni tlak:	Max. 11 bar (159 psi)	PN 40 / ASME Cl. 300 / JIS 20K
Srednja temperatura:	0 do +80 °C (+32 do +176 °F)	-40 to +150 °C (-40 to +302 °F) -40 to +200 °C (-40 to +392 °F)
Raspon temperature okoline:	Ugljični čelik: -10 do +60 °C (+14 do +140 °F) Nehrđajući čelik: -40 do +60 °C (-40 do +140 °F)	-40 do +60 °C (-40 do +140 °F) kompaktni -40 do +80 °C (-40 do +176 °F) daljinski senzor -40 do +60 °C (-40 do +140 °F) daljinski upravljač(odašiljač)
Komunikacija:	HART	HART, Profibus PA, FOUNDATION Fieldbus
Točnost:	±1.5 % do ±3 % standardni ±0.1 % do ±1.5 % opcijski	±0.5 % standardni ±0.3 % opcijski

Proline Prosonic Flow B 200 se koristi za brže protoke, dok Proline Prosonic 92F je većeg temperaturnog raspona i većih komunikacijskih mogućnosti odnosno podržava više komunikacijskih protokola.

4.2.3. Krohne-ovi uređaji

Optisonic 7300 tvrtke Krohne (Sl. 4.12), mjeri metodom „razlike tranzitnih vremena“, služi za mjerenje brzine protoka plina. Koristi se u: elektranama, kemijskoj industriji, petrokemijskoj industriji i rafinerijama. Komunikaciju obavlja putem HART protokola, dostupan u kompaktnoj i razdvojnoj verziji.



Sl. 4.12. Optisonic 7300 [19]

Tablica 4.12. Tehnički podatci [19]

Mjerno područje:	Od 0.3 do 30 m/s
Promjer cijevi:	5-60 cm
Točnost:	$\pm 1\%$ do $\pm 1.5\%$
Temperaturno područje rada:	Od -40 do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ulazi:	Strujni (uključujući HART), impulsni, frekvencijski, statusni (I, ILI)
Izlazi:	Granični prekidač, upravljački ulaz, strujni ulaz (ovisi o Ulazno/Izlaznoj verziji)
Komunikacija:	HART, Foundation Fieldbus, Modbus RS 485
Zaslon:	LCD zaslon, 128x64 piksela, s osvjetljenjem
Napajanje:	Standardno: 100 do 230 VAC Opcijsko: 24 VAC/DC

Optisonic 7300 Biogas tvrtke Krohne (Sl. 4.13), također mjeri metodom „razlike tranzitnih vremena“, koristi se za mjerenje protoka bioplina ili kanalizacijskog plina, idealan za mjerenje plina s visokim sadržajem CO₂. Omogućuje mjerenje sadržaja metana u bioplinu ili otpadnim plinovima s točnošću od $\pm 2\%$, što smanjuje troškove jer nisu potrebni dodatni uređaji za mjerenje metana. Koristi se u mjerenju opasnih tvari u opasnim okolinama, stoga ima i mogućnost daljinskog upravljanja. Koristi se u industrijama za obnavljanje energije i u industrijama s otpadnim vodama.



Sl. 4.13. Optisonic 7300 Biogas [20]

Tablica 4.13. Tehnički podatci [20]

Mjerno područje:	Od 0.3 do 30 m/s
Promjer cijevi:	5-60 cm
Točnost:	±0.2 %
Temperatura procesa:	Od 0 do +100 °C
Ulazi:	Strujni (uključujući HART), impulsni, frekvencijski, statusni (I, ILI)
Izlazi:	Granični prekidač, upravljački ulaz, strujni ulaz (ovisi o Ulazno/Izlaznoj verziji)
Komunikacija:	HART, Foundation Fieldbus, Modbus RS 485
Zaslون:	LCD zaslon, 128x64 piksela, s osvjetljenjem
Napajanje:	Standardno: 100 do 230 VAC Opcijsko: 24 VAC/DC

Optisonic 3400 tvrtke Krohne (Sl. 4.14), također mjeri metodom „razlike tranzitnih vremena“, omogućuje dvosmjerno mjerenje i prepoznavanje onečišćenja tekućine ili procesnu promjenu tekućine. Mjeri vodljive i nevodljive te viskozne tekućine, koristi se u : industrijama nafte i plina, kemijskim industrijama, nuklearnim industrijama, industrijama vode ili otpadnih voda.



Sl. 4.14. Optisonic 3400 [21]

Tablica 4.14. Tehnički podatci [21]

Dizajn:	3 paralelne akustične staze
Materijal:	Čelik ili nehrđajući čelik (ostalo na zahtjev)
Napajanje:	85 do 250 VAC, 20.5 do 26 VAC/DC
Ulazi:	Prekidački (I, ILI), upravljački (ovisno o Ulaznoj/izlaznoj verziji)
Izlazi:	Strujni, impulzni, frekvencijski, statusni
Komunikacija:	Modbus RS485, HART, Foundation fieldbus
Odobrenja:	ATEX, IEC-Ex, cCSAus, NEPSI
Temperatura procesa:	Od -45 do +140 °C
Mjerno područje:	Od 0.3 do 20 m/s
Točnost:	± 0,3%

Optisonic 4400 HP tvrtke Krohne (Sl. 4.15), također mjeri metodom „razlike tranzitnih vremena“, za mjerenje protoka tekućina s visokim radnim tlakom do 490 bara ili 7107 psi. Mjeri protok visokotlačne vode koja služi za napajanje ili kod ubrizgavanja vode uzvodno u proizvodnju nafte, moguće ga je koristiti u opasnim okruženjima stoga dolazi i s daljinskim upravljanjem. Koristi se u industrijama nafte i plina te u nuklearnim industrijama.



Sl. 4.15. Optisonic 4400 HP [22]

Optisonic 4400 HT tvrtke Krohne (Sl. 4.16), također mjeri metodom „razlike tranzitnih vremena“, služi za mjerenje protoka tekućina koje se obrađuju na visokim temperaturama, primjerice: nafta, ulje, rastaljena sol itd. Ima mogućnost korištenja u opasnim područjima, stoga dolazi i s daljinskim upravljanjem. Primjenjuje se u: kemijskim i petrokemijskim industrijama, općenito u visoko temperaturnim industrijama i rafinerijama, nuklearnim industrijama i u industrijama obnovljive energije.



Sl. 4.16. Optisonic 4400 HT [23]

Tablica 4.15. Tehnički podatci [22], [23]

Dizajn:	Visokotlačni (HP): 1 ili 2 paralelne zvučne putanje (potpuno zavarene) Visoko temperaturni (HT): 1 ili 2 paralelne zvučne putanje
Materijal:	HT verzija: ugljični čelik, nehrđajući čelik HP verzija: nehrđajući čelik
Napajanje:	Standardno: 100 do 230 VAC Opcijsko: 24 VAC/DC
Ulazi:	Prekidački (I, ILI), upravljački (ovisno o Ulaznoj/izlaznoj verziji)
Izlazi:	Strujni (uključujući HART), impulsni, frekvencijski, statusni (I, ILI)
Komunikacija:	Modbus RS485, HART, Foundation fieldbus, Profibus, Profile 3.02
Zaslon:	LCD zaslon, 128x64 piksela, s osvjetljenjem
Temperatura procesa:	Visokotlačna verzija (HP): od -45 do +140 °C s daljinskim i do +180 °C Visoko temperaturna verzija (HT): -45 do +600 °C
Maksimalna pogreška mjerenja:	HT verzija: 1 staza ± 1%, 2 staze ± 0,5%, HP verzija: ± 1%

Altosonic V12 tvrtke Krohne (Sl. 4.17), također mjeri metodom „razlike tranzitnih vremena“, služi za mjerenje prirodnog plina, prvi je u klasi koji je certificiran prema OIML R137 klasi 0.5 od

strane Nmi-ja. Koristi se u industrijama nafte i plina te ima mogućnost prepoznavanja curenja plina iz cjevovoda.



Sl. 4.17. Altosonic V12 [24]

Tablica 4.16. Tehnički podatci [24]

Primjena:	Prirodni plin s najmanje 75% metana
Točnost:	$\leq \pm 0,1\%$ izmjerene vrijednosti, visokotlačni protok kalibriran i lineariziran $\leq \pm 0,2\%$ izmjerene vrijednosti, visokotlačni protok kalibriran $\leq \pm 0,5\%$ izmjerene vrijednosti, SOS kalibriranje
Raspon tlaka:	Od 1 do 450 bara, 15 do 6525 psi
Temperatura procesa:	-20 do +70°C, -4 do +158°F
Napajanje:	24 VDC/ 3A
Zaslou:	LCD 256x128 piksela s osvjetljenjem

Tablica 4.17. Usporedba specifikacija [19], [20], [21], [22], [23], [24]

	Optisonic 7300	Optisonic 7300 Biogas	Optisonic 3400	Optisonic 4400 HP	Optisonic 4400 HT	Altosonic V12
Mjerno područje:	Od 0.3 do 30 m/s	Od 0.3 do 30 m/s	Od 0.3 do 20 m/s	Od 0.5 do 20 m/s	Od 0.5 do 20 m/s	3 m/s za cijevi do 12", 1.5 m/s za cijevi veće od 12"
Maksimalna pogreška mjerenja:	± 1% do ± 1,5%	± 1% do ± 1,5%	±0.3%	± 1%	1 staza ± 1%, 2 staze ± 0,5%,	± 0,1% do ± 0,5%
Temperatura procesa:	Kompaktna verzija: -40 do +125°C Daljinski verzija: -40 do +180°C	Kompaktna i daljinski verzija: : 0 do +100°C	Kompaktna verzija: -45 do +140°C Daljinski verzija: -45 do +180°C	od -45 do +140° C s daljinskim i do +180 °C	Od -45 do +600° C	Od -20 do +70° C
Komunikacija:	HART, Foundation Fieldbus, Modbus RS 485	HART, Foundation Fieldbus, Modbus RS 485	Modbus RS485, HART, Foundation fieldbus	Modbus RS485, HART, Foundation fieldbus, Profibus, Profile 3.02	Modbus RS485, HART, Foundation fieldbus, Profibus, Profile 3.02	Modbus RS485, ethernet

Optisonic 7300 i Optisonic 7300 Biogas su sličnih specifikacija, osim što je Biogas predviđen za mjerenje protoka prirodnog plina. Optisonic 4400 dolazi u dvije verzije HT i HP, visoka temperatura i visoki tlak, temperaturni proces kod verzije HT je i do 600° C.

4.2.4. Uređaji ostalih proizvođača

FDT100 serija (Sl. 4.18) od proizvođača Omega mjeri protok vode preko metode „razlike tranzitnih vremena“, koristi baterijsko napajanje, služi za mjerenje potrošnje vode u komercijalne svrhe, pad tlaka u sustavu je minimalan.



Sl. 4.18. FDT100 serija [25]

Tablica 4.18. Tehnički podatci [25]

Točnost:	2-5% protoka
Radna temperatura:	0 do 50° C (32 do 122 ° F)
Maksimalni tlak:	230 psi
Zaslon:	7-segmentni, 8-znamenkasti LCD s jednim redom
Izlaz:	Struja: 4 do 20 mA / DC (za napajanje od 8 do 24 VDC)
Ulaz:	5 do 30 VDC, 1 mA max.
Napajanje:	Baterija 3,6 V, vijeka trajanja 1 do 2 godine

SU8000 tvrtke ifm (Sl. 4.19), također mjeri metodom „razlike tranzitnih vremena“, služi za mjerenje protoka: vode, ulja i otopine antifrizna. Mjeri protok i temperaturu medija, ima izlaz za prikapčanje, te analogni i impulsni izlaz. Radi se o povoljnijem uređaju, može se koristiti u industrijske svrhe, ali tamo gdje nije potrebna velika točnost mjernih rezultata.



Sl. 4.19. SU8000 [26]

Tablica 4.19. Tehnički podatci [26]

Mjerno područje:	0 do 100 l/min, 0 do 6 m ³ /h
Točnost:	3-5%
Zaštita	IP 67
Napajanje:	19 do 30 VDC
Ulazi:	Resetiranje brojača
Izlazi:	Prekidački, analogni, impulsni
Radna temperatura:	-10 do +80° C

Tablica 4.20. Tehnički podatci svih navedenih inline uređaja

	Sitrans FUS060	Sitrans FUS080	Proline Prosonic Flow B 200	Proline Prosonic 92 F	Optisonic 7300	Optisonic 7300 biogas	Optisonic 3400	Optisonic 4400 HP, HT	Altosonic V12	FDT 100	SU 8000
Točnost:	± 0,5% protoka	± 0,5% protoka	± 0,3 % optički ± 0,5 % standardni	± 0,3 % optički ± 0,5 % standardni	± 1 % do ± 1,5 %	± 0,2 %	± 0,3%	HT verzija: 1 staza ± 1%, 2 staze ± 0,5%, HP verzija: ± 1% ≤ ± 0,1% kalibriran i lineariziran ≤ ± 0,2% i kalibriran ≤ ± 0,5% SOS	2-5% protoka	3-5% protoka	
Ulazi:	1-, 2-staze sučelja	1-, 2- sučelja staza	Strujni ulaz 4-20 mA (pasivno)	N / A	Strujni (uključujući HART), impulsni, frekventijski, statusni (I, I ₂)	Strujni (uključujući HART), impulsni, frekventijski, statusni (I, I ₂)	Prekidački (I, II), upravljački (ovisno o Ulaznoj/izlaznoj verziji)	Prekidački (I, II), upravljački (ovisno o Ulaznoj/izlaznoj verziji)	Prekidački (I, II), upravljački (ovisno o Ulaznoj/izlaznoj verziji)	5 do 30 VDC, 1 mA max.	Resetiranje brojača
Izlazi:	Jedan analogni, jedan impulsni, jedan relejni	2 impulsna ili statusna	4-20 mA HART (pasivno) 4-20 mA (pasivno)	1x 4-20 mA HART	Granični prekidač, upravljački ulaz, strujni ulaz	Granični prekidač, upravljački ulaz, strujni ulaz (ovisi o Ulaznoj/izlaznoj verziji)	Strujni, impulsni, frekventijski, statusni	Strujni (uključujući HART), impulsni, frekventijski, statusni (I, I ₂)	Strujni, impulsni, frekventijski, statusni	Struja: 4 do 20 mA / DC (za napajanje od 8 do 24 VDC)	Prekidački, analogni, impulsni
Komunikacija:	HART Profibus PA PDM (Process Device Manager)	MODBUS RTU protokoli: IrDA optical eye PDM	HART	HART, Profibus PA, FOUNDATI ON Fieldbus	HART, Foundation Fieldbus, Modbus RS 485	HART, Foundation Fieldbus, Modbus RS 485	Modbus RS485, HART, Foundation fieldbus	Modbus RS485, HART, Foundation fieldbus, Profibus,	Modbus RS485, ethernet	Ne podržava napredne protokole komunikacije	Ne podržava napredne protokole komunikacije
Radna temperatura:	od -20 do 50 °C (-4 do 122 °F)	od -5 do 60 °C (23 do 140 °F)	Ugijjeni čelik: -10 do +60 °C (FNehrđajući čelik: -40 do +60 °C	-40 do +200 °C	Od -40 do +125 °C	Od 0 do +100 °C	Od -45 do +140 °C	(HP): od -45 do +140 °C s daljinskim i do +180 °C (HT): -45 do +600 °C	-20 do +70°C, -4 do +158°F	0 do 50° C (32 do 122 ° F)	-10 do +80° C
Napajanje:	24V AC/DC 115/230V AC	Baterija ili mreža (3,6V ili 115/230V AC)	DC 12 do 35 V (4 - 20 mA HART sa / bez impulsa / frekvencije / izlaznog	Napajanje s dvožičnom petljom	Standardno: 100 do 230 VAC Opcijsko: 24 VAC/DC	Standardno: 100 do 230 VAC Opcijsko: 24 VAC/DC	85 do 250 VAC, 20,5 do 26 VAC/DC	Standardno: 100 do 230 VAC Opcijsko: 24 VAC/DC	24 VDC/ 3A	Baterija 3,6 V, vijeka trajanja 1 do 2 godine	19 do 30 VDC

4.3. Uređaji na temelju promjene frekvencije ultrazvuka (clamp-on uređaji)

4.3.1. Siemens-ovi uređaji

Sitrans FS230 (Sl. 4.20) od tvrtke Siemens, ultrazvučni uređaj za mjerenje protoka na temelju „Dopplerovog efekta“ dolazi u tri različita modela. Pričvršćuje se na cjevovod s vanjske strane preko štipaljke (clamp-on), nije potrebno nikakvo bušenje cijevi, što omogućava laganu i jednostavnu montažu. Služi za mjerenje protoka gotovo svih tekućina odnosno medija, u industrijama koje zahtijevaju što točnija mjerenja. Osim visoke točnosti mjerenja, ovaj se uređaj može pohvaliti i dobrim performansama kod mjerenja protoka vode ili otpadne vode. Koristi se u industrijama: hrane, pića, farmaceutskim, kemijskim, rudarskim itd. Njegove prednosti osim visokog stupnja točnosti su i velika brzina ažuriranja podataka prilikom promjene koja nastaje u samome protoku, sadrži čarobnjak i programsku podršku koja pomaže kod instalacije i puštanja u rad ovakvog jednog uređaja.



Sl. 4.20. Sitrans FS230 (clamp-on) [27]

Tablica 4.21. Tehnički podatci [27]

Komunikacija:	HART 7.5 ili Modbus odgovara SIMATIC PDM
Materijal:	Aluminij
Ulaz/izlaz:	Do 6 kanala, uz kombinaciju analognih, relejnih ili digitalnih izlaza i binarnih ulaza + RTD
Zaslon:	Grafički zaslon, 240 x 160 piksela
Napajanje:	20 do 27 V DC, 100 do 240 V AC, 47 ... 63 Hz (univerzalno napajanje)
Odobrenja:	UL, ULc, CE
Senzor(sensor):	
Vrsta medija:	Vodljive i nevodljive tekućine
Veličina cijevi:	12,7 mm do 10 m (0,5 "do 394")
Temperaturni raspon ovisno o modelu:	WideBeam® model: -40 do 120 ° C (-40 do 250 ° F) Universal model: -40 do 120 ° C (-40 do 250 ° F) High-Temperature model: -40 do 230 ° C (-40 do 450 ° F)
Materijal cijevi:	WideBeam® model: čelik i ugljični čelik Universal model: uglavnom ne čelika High-Temperature model: čelik i ne čelik
Odobrenja:	FM, ATEX i IECEX (zona 0,1 i 2)

Sitrans FS220 (Sl. 4.21) od tvrtke Siemens, ultrazvučni uređaj za mjerenje protoka na temelju „Dopplerovog efekta“. Slično kao prethodni model FS230, sastoji se od Sitrans FST020 odašiljača i FSS200 senzora, senzori su dostupni u tri različita modela: WideBeam®, (High-Precision) model, Universal model i High-Temperature model. Odašiljač Sitrans FS220 modela je nadograđen kako bi povećao pouzdanost, jednostavnost i mogućnost prilagodbe prilikom mjerenja. Sadrži visoko precizne senzore, koji će dati točna mjerenja i prilikom provjetravanja unutar cijevi kojima protječe određeni medij. Koristi se u industrijama u kojima je potrebno mjeriti: protok vode, otpadnih voda, kemikalija itd. Ovakav uređaj je jednostavan za servisiranje, sadrži izmjenjive SD

kartice i USB memorijske kartice, sadrži grafički zaslon s čarobnjakom koji pomaže pri korištenju i instalaciji ovoga uređaja, sadrži nultu stabilnost što omogućava minimalnu potrebu za postavljanjem nulte točke.



Sl. 4.21. Sitrans FS220 (clamp-on) [28]

Tablica 4.22. Tehnički podatci [28]

Kanali:	Jedan kanal
Komunikacija:	Modbus RTU, kompatibilan SIMATIC PDM
Zaslon:	240 x 160, potpuno grafički
Napajanje:	100-240 V AC, 15 VA max., 11.5-28.5 V DC, 7.5W max.
Ulazi:	2x digitalna ulaza za start/stop i resetiranje
Izlazi:	1x 4 -20 mA, 1x relejni, 1x impulsni/frekvencijski
Raspon cijevi:	12.7 mm do 10 m (0.5" do 394")
Odobrenja:	UL, ULc, CE

Međutim kako bi mjerenje bilo što točnije i pouzdanije potrebno je znati debljinu cijevi, debljina cijevi utječe na točnost samoga mjerenja, stoga je tvrtka Siemens izumila uređaj koji pouzdano i točno mjeri debljinu cijevi. Radi se o Thickness Gauge (mjeraču debljine cijevi) (Sl. 4.22), koristi se u kombinaciji s clamp-on Sitrans uređajima FS230 i FS220. Mjerne sonde ovoga uređaja rade na frekvenciji od 5 Mhz, što omogućava mjerenje i najtanje cijevi. Mjeri nemetalne i metalne cijevi a rezultate prikazuje u inčima ili milimetrima.



Sl. 4.22. Thickness Gauge (Mjerač debljine) [29]

Tablica 4.23. Tehnički podatci [29]

Raspon brzine zvuka:	1000 do 9999 m/s
Frekvencija sonde:	5 Mhz
Radna temperatura:	-10 do 50 ° C (14 do 122 ° F)
Napajanje:	2 X 1,5 V AAA baterije
Vijek baterija:	Cca. 250 sati
Zaslon:	LCD zaslon 128 x 32 s pozadinskim osvjetljenjem
Masa:	150 g

Tablica 4.24. Usporedba specifikacija [27], [28]

	Sitrans FS230	Sitrans FS220
Komunikacija:	HART 7.5 ili Modbus odgovara SIMATIC PDM	Modbus RTU, kompatibilan SIMATIC PDM
Promjer cijevi:	12,7 mm do 10 m (0,5 "do 394")	12.7 mm do 10 m (0.5" do 394")
Napajanje:	20 do 27 V DC, 100 do 240 V AC, 47 ... 63 Hz (univerzalno napajanje)	100-240 V AC, 15 VA max., 11.5-28.5 V DC, 7.5W max.
Zaslon:	Grafički zaslon, 240 x 160 piksela	240 x 160, potpuno grafički

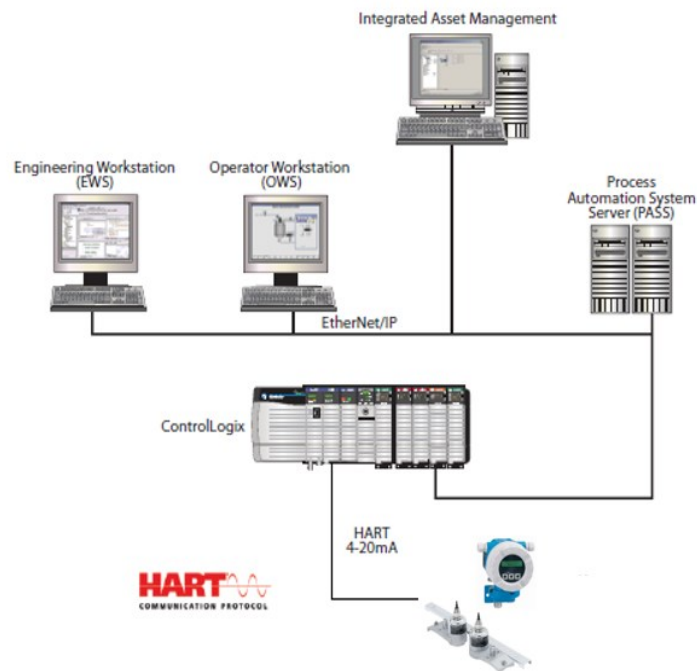
Oba uređaja se koriste u industrijama s vodom, za mjerenje protoka vode. Ne postoji neka velika razlika između ova dva uređaja, osim što Sitrans FS230 je proširenija verzija s većim mogućnostima.

4.3.2. Endress+Hauser uređaji

Proline Prosonic Flow 91W (Sl. 4.23) od tvrtke Endress+Hauser, mjeri metodom „Dopplerovog efekta“ ima mogućnost automatskog skeniranja frekvencije. Primjenjuje se kod mjerenja protoka: vode, otpadne vode, slane vode, demineralizirane vode, pitke vode, općenito u industriji vode [18].



Sl. 4.23. Proline Prosonic Flow 91W (clamp-on) [18]



Sl. 4.24. Komunikacija Proline Prosonic Flow 91W putem protokola HART [37]

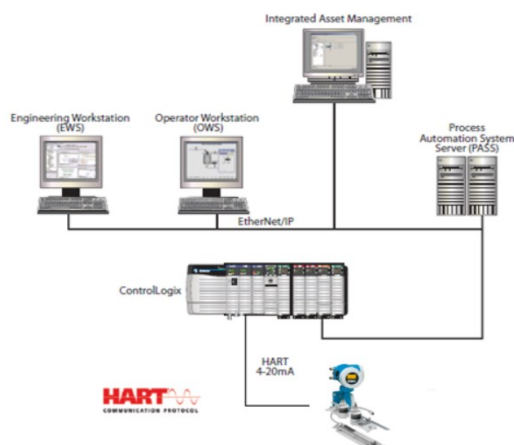
Tablica 4.25. Tehnički podatci [18]

Mjerno područje:	0,3 do 10 m/s
Max. radni tlak:	N/A
Srednja temperatura:	-20 do + 80° C (-4 do +176 ° F)
Zaslon:	2-linijski zaslon s pozadinskim osvjetljenjem s tri tipke
Izlazi:	1x 4-20 mA HART (aktivno) 1x izlaz impulsa / frekvencije / prekidača (pasivno)
Ulazi:	N/A
Komunikacija:	HART
Napajanje:	AC 85 do 250 V 20 do 28 V DC 11 do 40 V

Proline Prosonic Flow 93P (Sl. 4.25) od tvrtke Endress+Hauser, mjeri metodom „Dopplerovog efekta“ dizajniran za procesnu industriju, ima široki raspon analognih i digitalnih izlaza. Ovaj uređaj posjeduje međunarodna odobrenja za rad u opasnim područjima, pogodan je za kemijsku i petrokemijsku industriju, bez ikakvoga bušenja štipaljkom se zakači za cijev (clamp-on) čiji protok mjerimo.



Sl. 4.25. Proline Prosonic Flow 93P (clamp-on) [30]



Sl. 4.26. Komunikacija Proline Prosonic Flow 93P putem protokola HART [37]

Tablica 4.26. Tehnički podatci [30]

Mjerno područje:	0,3 do 10 m/s
Max. radni tlak:	N/A
Srednja temperatura:	-40 do 170° C, -40 do 338 °F
Zaslon:	4-linijski zaslon s pozadinskim osvjetljenjem s tri tipke
Izlazi:	1x 4-20 mA HART 1x izlaz impulsa / frekvencije / prekidača (pasivno)
Ulazi:	N/A
Komunikacija:	HART, PROFIBUS PA, Profibus DP, FOUNDATION Fieldbus
Napajanje:	AC 85 do 250 V AC 20 do 55 V DC 16 do 62 V

Proline Prosonic Flow 93T (Sl. 4.27) od tvrtke Endress+Hauser, mjeri metodom „Dopplerovog efekta“, prijenos mjernih podataka se obavlja preko USB sabirnice nisu potrebni nikakvi dodatni programi. Isto tako radi se o prijenosnom uređaju koji se preko štipaljke pričvršćuje s vanjske strane cijevi (clamp-on), moguće ga je koristiti na svim metalnim ili plastičnim cijevima. Mjerni medij može biti čista ili nečista tekućina ali raspona temperature od -40 do +170 °C. Ovaj uređaj koristi baterijsko napajanje.



Sl. 4.27. Proline Prosonic Flow 93T (clamp-on) [31]

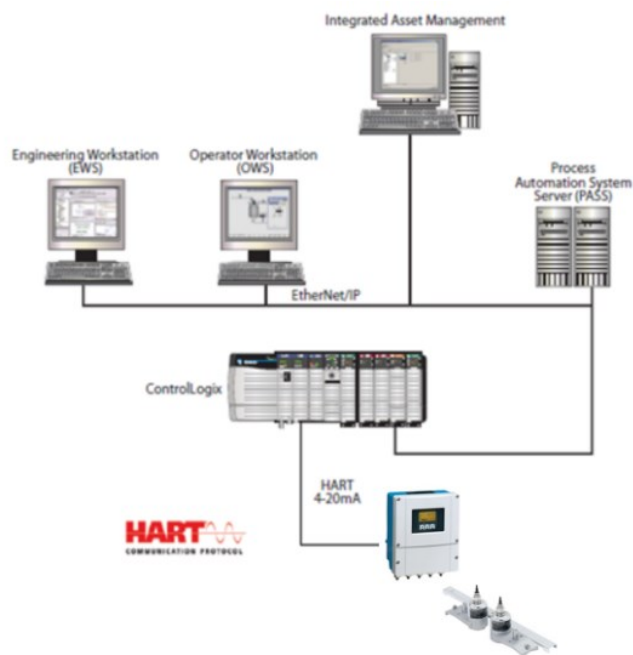
Tablica 4.27. Tehnički podatci [31]

Mjerno područje:	0...452'389 m ³ /h
Max. radni tlak:	Neograničeno
Srednja temperatura:	-40 do 170° C, -40 do 338 °F
Zaslon:	4-linijski zaslon s pozadinskim osvjetljenjem upravljanje dodirrom
Izlazi:	Integrirani zapisivač podataka Jednostavan prijenos podataka putem USB-a, bez dodatnih programa
Ulazi:	4-20 mA
Komunikacija:	FXA 193

Proline Prosonic Flow 93W (Sl. 4.28) od tvrtke Endress+Hauser, mjeri metodom „Dopplerovog efekta“, koristi se u industrijama vode kod mjerenja: vode, otpadne vode, slane vode, demineralizirane vode itd. Preko štikaljke se pričvrsti na cijev čiji se protok mjeri (clamp-on), temperaturnog raspona medija od -20 do 80° C. Visoke performanse i velika točnost mjerenja, te velika komunikacijska podrška su samo neke od prednosti ovoga uređaja.



Sl. 4.28. Proline Prosonic Flow 93W (clamp-on) [32]



Sl. 4.29. Komunikacija Proline Prosonic Flow 93W putem protokola HART [37]

Tablica 4.28. Tehnički podatci [32]

Mjerno područje:	0,3 do 10 m/s
Max. radni tlak:	N/A
Srednja temperatura:	-20 do + 80° C (-4 do +176 ° F)
Zaslon:	4-linijski zaslon s pozadinskim osvjetljenjem s tri tipke
Izlazi:	1x 4-20 mA HART 1x izlaz impulsa/ frekvencije/ prekidača (pasivno)
Ulazi:	N/A
Komunikacija:	HART, PROFIBUS PA, PROFIBUS DP, FOUNDATION Fieldbus
Napajanje:	AC 85 do 260 V AC 20 do 55 V DC 16 do 62 V

Tablica 4.29. Usporedba specifikacija [18], [30], [31], [32]

	Proline Prosonic Flow 91W	Proline Prosonic Flow 93P	Proline Prosonic Flow 93T	Proline Prosonic Flow 93W
Mjerno područje:	0,3 do 10 m/s	0,3 do 10 m/s	0,3 do 10 m/s	0,3 do 10 m/s
Srednja temperatura:	-20 do + 80° C (-4 do +176 ° F)	-40 do 170° C, –40 do 338 °F	-40 do 170° C, –40 do 338 °F	-20 do + 80° C (-4 do +176 ° F)
Komunikacija:	HART	HART, PROFIBUS PA, Profibus DP, FOUNDATION Fieldbus	FXA 193	HART, PROFIBUS PA, PROFIBUS DP, FOUNDATION Fieldbus
Zaslon:	2-linijski zaslon s pozadinskim osvjetljenjem s tri tipke	4-linijski zaslon s pozadinskim osvjetljenjem s tri tipke	4-linijski zaslon s pozadinskim osvjetljenjem upravljanje dodirrom	4-linijski zaslon s pozadinskim osvjetljenjem s tri tipke

4.3.3. Krohne-ovi uređaji

Optisonic 6300 P (Sl. 4.29) je uređaj tvrtke Krohne, radi se o clamp-on (štikaljka) uređaju, preko štikaljke se mjerne sonde pričvrste na bilo koju cijev u kojoj se želi mjeriti protok. Temperaturni raspon medija kod ovoga uređaja je od -40 do +120° C, sadrži baterijsko napajanje, mjeri vodljive ili nevodljive tekućine odnosno medij. Općenita prednost ovih uređaja je u tome što nije potrebno prekidati proces kako bi se izmjerio protok, isto tako ovaj uređaj može privremeno služiti kao zamjena na području gdje je došlo do kvara uređaja koji mjeri na temelju „razlike tranzitnih vremena“. Posjeduje USB sabirnicu preko koje se mogu rezultati mjerenja pohraniti u računalo radi daljnje analize. Koristi se u industrijama: vode, nuklearnim industrijama, kemijskim itd.

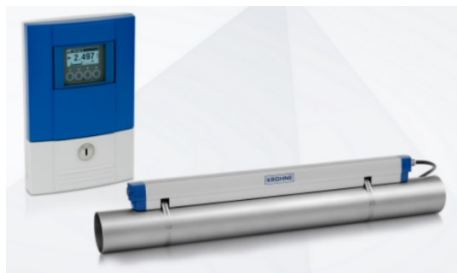


Sl. 4.29. Optisonic 6300 P [33]

Tablica 4.30. Tehnički podatci [33]

Točnost:	±1% za cijevi koje su manje od promjera 2" ±3% za cijevi koje su veće od promjera 2"
Temperatura procesa:	-40 do +120°C (-40 do +248°F)
Materijal cijevi:	Cijevi mogu biti od: metala, plastike, keramike, azbesta...
Zaslon:	4.3" s LED osvjetljenjem 272x480 rezolucija
Izlazi:	4-20 mA, impulsni, frekvencijski, statusni
Ulazi:	4-20 mA
Napajanje:	Adapter za 100 do 240 VAC Napon adaptera: 13.2 V Baterijsko napajanje: 14 radnih sati

Optisonic 6300 (Sl. 4.30) je uređaj tvrtke Krohne, radi se o clamp-on (štikaljka) uređaju, preko štikaljke se mjerne sonde pričvrste na bilo koju cijev u kojoj se želi mjeriti protok. Posjeduje odobrenje za rad u opasnim područjima, nudi HART komunikaciju. Koristi se u: industrijama vode, elektroenergetskim industrijama, u industrijama nafte i plina, kemijskim i petrokemijskim industrijama, u industrijama hrane i pića.



Sl. 4.30. Optisonic 6300 [34]

Tablica 4.31. Tehnički podatci [34]

Točnost:	±1% za cijevi koje su manje od promjera 2" ±3% za cijevi koje su veće od promjera 2"
Temperatura procesa:	-40 do +120°C (-40 do +248°F) uz nadogradnju do +200°C
Materijal cijevi:	Cijevi mogu biti od: metala, plastike, keramike, azbesta...
Zaslon:	LCD zaslon s osvjetljenjem
Izlazi:	Strujni, frekvencijski, impulsni, statusni
Ulazi:	Granični prekidač, upravljački ulaz
Napajanje:	Standardno: 100 do 230 VAC Opcijsko: 24 VAC/DC

Tablica 4.32. Usporedba specifikacija [33], [34]

	Optisonic 6300 P	Optisonic 6300
Točnost:	±1% za cijevi koje su manje od promjera 2" ±3% za cijevi koje su veće od promjera 2"	±1% za cijevi koje su manje od promjera 2" ±3% za cijevi koje su veće od promjera 2"
Temperatura procesa:	-40 do +120°C (-40 do +248°F)	-40 do +120°C (-40 do +248°F) nadogradnja +200°C
Materijal cijevi:	Cijevi mogu biti od: metala, plastike, keramike, azbesta...	Cijevi mogu biti od: metala, plastike, keramike, azbesta...
Napajanje:	Adapter za 100 do 240 VAC Napon adaptera: 13.2 V Baterijsko napajanje: 14 sati	Standardno: 100 do 230 VAC Opcijsko: 24 VAC/DC
Zaslon:	4.3" s LED osvjetljenjem 272x480 rezolucija	LCD zaslon s osvjetljenjem

Optisonic 6300 P je mobilan uređaj ima mogućnost baterijskog napajanja, u ostalim specifikacijama su podjednako dobra oba uređaja.

4.3.4. Uređaji ostalih proizvođača

DeltawaveC-P (Sl. 4.33) tvrtke Systec controls, sadrži clamp-on štipaljku kako bi se jednostavno pričvrstio na vanjsku stranu cjevovoda. Ima veliki zaslon koji je jednostavan za uporabu, što omogućava jednostavno mjerenje protoka vode i drugih medija. Primjenjuje se u: elektranama, industrijama vode i otpadnih voda, petrokemijskim i prehrambenim industrijama.



Sl. 4.33. DeltawaveC-P [35]

Tablica 4.33. Tehnički podatci [35]

Mjerno područje:	Od -30 do +30 m/s
Točnost:	Za cijevi od 10 do 25 mm: 2,5% Za cijevi od 25 do 50 mm: 1,5% Za cijevi od 50 do 300 mm: 1%
Izlazi:	2x 4-20 mA, jedan impulsni, jedan relejni, jedan MicroUSB
Ulazi:	2x PT100
Napajanje:	Baterijsko: 5 radnih sati Adaptersko: 100 do 240 VAC
Kućište:	Aluminij, PVC
Zaslon:	(320x240) crno-bijeli zaslon s osvjetljenjem

Portaflow 440 (Sl. 4.34.) tvrtke Micronics, njihova najrobusnija izvedba prijenosnog mjerača protoka clamp-on. Važno je napomenuti da dolazi u kompletu s punjivom baterijom kapaciteta 150 radnih sati, sadrži integrirani datalogger za bilježenje 200,000 podataka o protoku. Primjenjuje se u sustavima: grijanja, hlađenja i klimatizacije, instalacije pitke i demineralizirane vode te u

industrijama kao što su: kemijska, prehrambena i farmaceutska. Posjeduje mogućnost otkrivanja puknuća cijevi te curenja.



Sl. 4.34. Portaflow 440 [36]

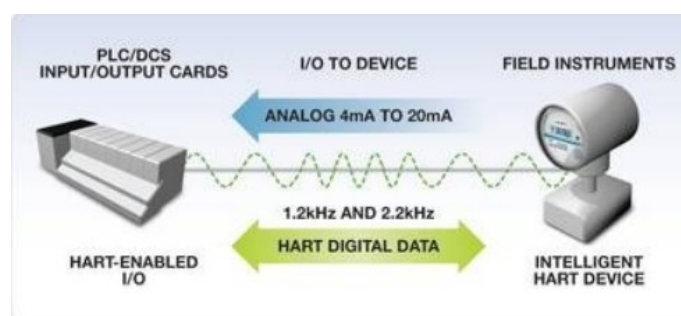
Tablica 4.34. Tehnički podatci [36]

Mjerno područje:	0,01 do 10 m/s
Promjer cijevi:	Od 50 mm do 2000 mm
Procesna temperatura:	Od -20°C do +135°C
Izlazi:	4-20 mA strujni izlaz, impulsni izlaz, USB
Napajanje:	Baterijsko do 150 radnih sati
Datalogger:	Bilježi do 200,000 rezultata protoka

5. SUSTAV NADZORA I UPRAVLJANJA

Na početku industrijske revolucije javila se potreba za komunikacijom između strojeva i procesne opreme. Od tada, tvornička instrumentacija postala je okosnicom suvremenih tvorničkih pogona. Takva instrumentacija se razvila od analognih sistema do pametnih (smart) sistema koji se koriste i danas, i na taj način povećala komunikacijsku sposobnost protokolima kao što je HART protokol [37].

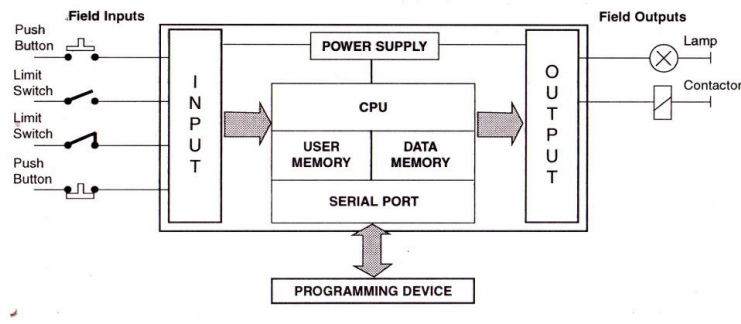
HART (eng. Highway Addressable Remote Transducer), predstavlja dvosmjernu digitalnu komunikaciju istovremeno s 4-20 mA analognim signalom koji se koristi u tradicionalnoj instrumentacijskoj opremi u upravljanju industrijskim procesima. HART je razvijen početkom 1980 godine od tvrtke Rosemount Inc, dok je 1993 godine osnovana HART komunikacijska zaklada s svrhom pružanja podrške u primjeni ove tehnologije. HART protokol je globalni standard za slanje i primanje digitalnih podataka preko analognih kabela između pametnih uređaja i sustava nadzora i upravljanja, omogućava komunikaciju sa svim terenskim uređajima prilikom: konfiguracije/rekonfiguracije, dijagnostike uređaja, rješavanja problema, čitanje vrijednosti dodatnih mjerenja te stanje i potrebna održavanja uređaja. Postoje dva načina rada, analogno/digitalni i više spojni. Kod analogno/digitalnog načina rada signali se preklapaju u 4-20 mA strujnom krugu, oba su signala važeća ali samo jedan uređaj može biti spojen na pojedinu paricu. U više spojnom načinu rada koriste se samo digitalni signali, međutim u ovom slučaju struja analognog kruga je ograničena na 4 mA, a moguće je imati do 15 uređaja na jednom signalnom kabeu [38].



Sl. 5.1. Shema HART komunikacijskog protokola [37]

Svi mjerni uređaji koji su ovdje navedeni a imaju mogućnost komuniciranja putem protokola HART su upravljani preko PLC kontrolera.

PLC (eng. Programmable Logic Controller) je programibilni logički kontroler koji služi za automatsko upravljanje sustava u industriji, programiran je putem računala. Kao i računalo sastoji se od: ulaza, izlaza, CPU-a (procesora), memorije, napajanja, komunikacijskog sučelja.



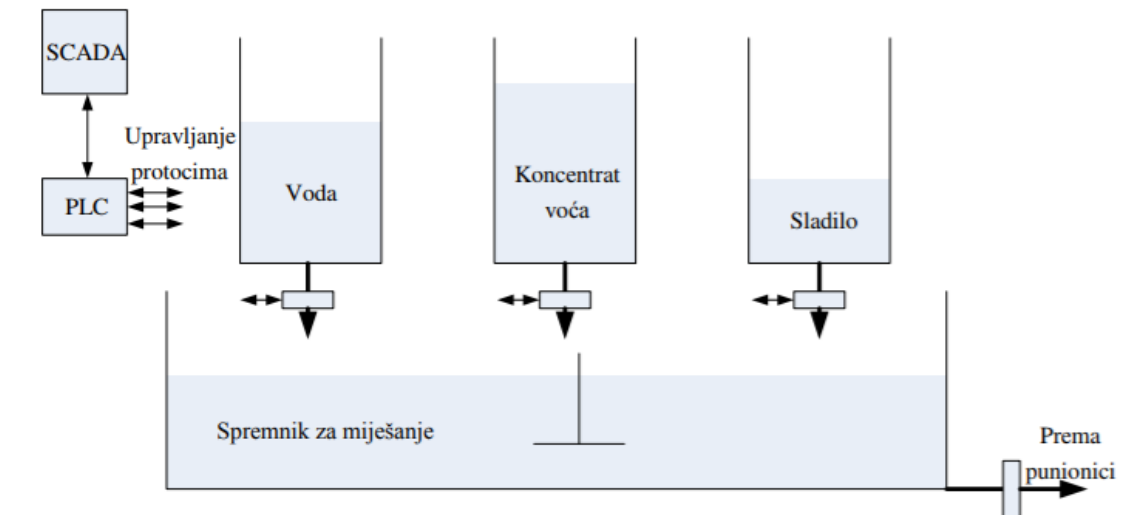
Sl. 5.2. Shema PLC-a [39]

PLC kao kontroler služi za upravljanje s uređajima, HART protokol omogućava komunikaciju s uređajima. Međutim to je sve potrebno nadzirati i nadgledati, potrebno je imati bazu s informacijama, potrebno je upravljati sa svim tim sustavima. Što je doprinijelo razvoju SCADA sustava.

SCADA (eng. Supervisory Control And Data Acquisition) predstavlja računalni sustav koji je zadužen za: nadzor, mjerenje i upravljanje s industrijskim sustavima. SCADA sustav će se primijeniti na svakom industrijskom procesu koji se automatizira. SCADA se prvi put pojavljuje 60-tih godina, međutim veliku ekspanziju doživljava tek od 1990 godine, tomu je pogodovao razvoj sve snažnijih računalnih i mikrokontrolerskih uređaja [40].

SCADA koncept razvijen je kao univerzalno sredstvo daljinskog pristupa različitim lokalnim upravljačkim modulima, koji mogu biti od različitih proizvođača. U praksi veliki SCADA sustavi su postali slični distribuiranim kontrolnim sustavima, ali uz korištenje višestrukih sredstava za povezivanje s postrojenjima. Mogu kontrolirati velike procese koji mogu uključivati više mjesta, i jednako dobro raditi na velikim i malim udaljenostima [41].

Koristeći SCADA-u operatori na intuitivan način mogu: pratiti trenutačno stanje sustava automatizacije, pratiti trendove iznosa varijabli, mogu nadgledati ili potvrđivati alarme koji se generiraju na nižim razinama, mogu zadati upravljačku naredbu u sustav automatizacije. Procesne veličine, alarmi i sl. se pohranjuju u baze podataka zajedno s vremenskim zapisom. Pomoću SCADA sustava lako je pronaći nastali kvar u automatizacijskom sustavu kao i odgovornu osobu [42].



Sl. 5.3. Primjer jednog SCADA sustava u industriji proizvodnje soka [42]

U ovom SCADA sustavu koji je automatiziran za proizvodnju soka od naranče vidimo tri spremnika s sirovinama za proizvodnju soka. Preko PLC-a je isprogramirano koliki udio koje sirovine se miješa u sok, međutim taj omjer je moguće promijeniti na zahtjev operatora.

6. ZAKLJUČAK

Mjerenje protoka je važan dio proizvodnog procesa, to je osnovna fizikalna veličina koja se mjeri u industrijskim pogonima. Razlikujemo volumni protok i maseni protok.

Kod ultrazvučnog mjerenja, ultrazvuk se proizvodi pomoću piezoelektričkog kristala, koji je zalijepljen na jednu od membrana i ugrađen u kućište. Kada se stavi takva jedna pločica kristala pod promjenljiv električni napon, ona se elastično deformira i zatitra u taktu narinutog napona. Nakon toga se ta deformacija prenese na elastičnu membranu te membrana postane izvorom ultrazvučnog vala.

Razlikujemo mjerenje protoka preko razlike brzine ultrazvuka (metoda razlike tranzitnih vremena) i mjerenje protoka promjenom frekvencije ultrazvuka (metoda Dopplerovog efekt).

Kod metode razlike tranzitnih vremena, mjerilo je u direktnom dodiru s protočnim medijem. Jer se predajnik i prijemnik ugrađuju u cjevovod i to jedan nasuprot drugome. Razmak između predajnika i prijemnika je put D , kojim ultrazvuk putuje. Kada ultrazvučni signal putuje protivno smjeru strujanja medija onda je negativan i strujanje ga usporava. A kada putuje u smjeru strujanja medija onda je pozitivan i strujanje ga ubrzava. Tako nastaje razlika između ta dva tranzitna vremena.

Kod metode Dopplerovog efekta, mjerilo nije u direktnom dodiru s protočnim medijem, jer se samo pričvrsti za vanjski dio cjevovoda. Šalje signal frekvencije f_1 koji se rasprši po svim strujanim česticama, tada dođe do komprimiranja ultrazvuka, valna duljina mu postaje kraća a frekvencija viša. Nakon refleksije ultrazvuka o čestice vraća se na prijemnik frekvencija f_2 . Tako nastaje razlika u frekvencijama Δf .

Siemensovi Inline uređaji imaju mogućnost odvajanja odašiljača (transmitter-a) od mjernih sonde. Ovo je velika prednost njihovih uređaja, jer je moguće kombinirati mjerne sonde ovisno o procesnim zahtjevima s odašiljačem. Nema potrebe za kupnjom kompletnog uređaja, kod zahtjevnijih procesa. Siemensovi uređaji imaju široku primjenu kod mjerenja: tople, hladne, otpadne vode, ulja i plinova. Koriste se u: toplanama, kotlovnica, u sustavima za hlađenje i navodnjavanje, najviše se koriste u industrijama vode.

Uređaji tvrtke Krohne isto tako imaju široki spektar djelovanja i primjene, međutim ono što karakterizira njihove uređaje su snažne specifikacije i mogućnosti. Oni mogu podnijeti visoke temperature i pritiske, to su uređaji specijalnih namjena, stoga se koriste u specijaliziranim

industrijama. Koriste se u: kemijskim i petrokemijskim industrijama, u visoko temperaturnim industrijama i rafinerijama, u nuklearnim industrijama i industrijama obnovljive energije, u industrijama nafte i plina, u industrijama vode ili otpadnih voda.

Clamp-on uređaji su uređaji veće granične pogreške od Inline uređaja, njihova zadaća je da privremeno zamjene Inline uređaje ako se oni nađu u kvaru ili zbog održavanja, tada oni zauzmu njihovo mjesto. Međutim Clamp-on uređaji isto tako imaju svoje prednosti ispred Inline uređaja. Prvenstveno imaju mogućnost baterijskog napajanja što omogućuje da su mobilni, brzo se instaliraju i pričvrste na cjevovod, nije potrebno zaustaviti proces prilikom mjerenja, omogućuju mjerenje tamo gdje se ne može pristupiti s Inline uređajima.

LITERATURA

- [1] Zdravko Valter: Procesna mjerenja, ETF Osijek, 2008. (str. 121-125)
- [2] Laminirano i turbulentno strujanje: 07.03.2019.
<http://www.medrx-education.com/cardiology-review/laminar-flow-and-turbulent-flow>
- [3] Zdravko Valter: Procesna mjerenja, ETF Osijek, 2008. (str. 132-133)
- [4] Alan S. Morris i Reza Langari: Measurement and Instrumentation, 2012 Elsevier
(str. 442-446)
- [5] An Intelligent Flow Measurement Technique using Ultrasonic Flow Meter: 10.03.2019.
https://www.researchgate.net/publication/283351273_An_Intelligent_Flow_Measurement_Technique_using_Ultrasonic_Flow_Meter_with_Optimized_Neural_Network
- [6] Endress+Hauser, Proline Prosonic Flow 92F: 10.03.2019.
<https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Product-Ultrasonic-flowmeter-Proline-Prosonic-Flow-92F>
- [7] Eksperimentalna hidraulika: 11.03.2019.
http://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Skripta_2013/Skripta%202013/Eksperimentalna%20hidraulika%20%284-www%29_Mjerna%20tehnika.pdf
- [8] Dopplerova metoda: 12.03.2019.
http://automationwiki.com/index.php/Ultrasonic_Flowmeter
- [9] Clamp-on ultrazvučni uređaj Omega FDT-40 serija: 14.03.2019.
<https://www.omega.co.uk/pptst/FDT-40.html>
- [10] Siemens Sitrans FUS060: 18.03.2019.
<https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/inline-flow/industry/Pages/sitrans-fus060.aspx>
- [11] Siemens Sitrans F US Sono 3100: 18.03.2019.

- <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/inline-flow/industry/Pages/sitrans-f-us-sono-3100-sitrans-fus060.aspx>
- [12] Siemens Sitrans F US Sono 3300: 18.03.2019.
- <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/inline-flow/industry/Pages/sitrans-f-us-sono-3300-sitrans-fus060.aspx>
- [13] Siemens Sitrans F US SonoKit: 18.03.2019.
- <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/inline-flow/retrofit/Pages/sitrans-f-us-sonokit.aspx>
- [14] Siemens Sitrans FUS080: 18.03.2019.
- <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/inline-flow/utility/Pages/sitrans-fus080.aspx>
- [15] Siemens Sitrans FUS380: 18.03.2019.
- <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/inline-flow/utility/Pages/sitrans-fus380.aspx>
- [16] Endress+Hauser Proline Prosonic Flow B 200: 20.03.2019.
- <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Product-Ultrasonic-flowmeter-Proline-Prosonic-Flow-B-200>
- [17] Endress+Hauser Proline Prosonic Flow 92F: 20.03.2019.
- <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Product-Ultrasonic-flowmeter-Proline-Prosonic-Flow-92F>
- [18] Endress+Hauser Proline Prosonic Flow 91W: 20.03.2019.
- <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Product-Ultrasonic-flowmeter-Proline-Prosonic-Flow-91W>
- [19] Krohne Optisonic 7300: 25.04.2019.

- <https://krohne.com/en/products/flow-measurement/flowmeters/ultrasonic-flowmeters/optisonic-7300/>
- [20] Krohne Optisonic 7300 Biogas: 25.04.2019.
- <https://krohne.com/en/products/flow-measurement/flowmeters/ultrasonic-flowmeters/optisonic-7300-biogas/>
- [21] Krohne Optisonic3400: 25.04.2019.
- <https://krohne.com/en/products/flow-measurement/flowmeters/ultrasonic-flowmeters/optisonic-3400/>
- [22] Krohne Optisonic 4400 HP: 25.04.2019.
- <https://krohne.com/en/products/flow-measurement/flowmeters/ultrasonic-flowmeters/optisonic-4400-hp/>
- [23] Krohne Optisonic 4400 HT: 25.04.2019.
- <https://krohne.com/en/products/flow-measurement/flowmeters/ultrasonic-flowmeters/optisonic-4400-ht/>
- [24] Krohne Altosonic V12: 25.04.2019.
- <https://krohne.com/en/products/flow-measurement/flowmeters/ultrasonic-flowmeters/altosonic-v12/>
- [25] Omega FDT 100: 26.03.2019.
- <https://www.omega.co.uk/pptst/FDT100.html>
- [26] Ifm SU8000: 26.03.2019.
- <https://www.ifm.com/hr/hr/product/SU8000?tab=details>
- [27] Siemens Sitrans FS230: 27.03.2019.
- <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/clamp-on-flow/Pages/SITRANS-FS230.aspx>
- [28] Siemens Sitrans FS220: 27.03.2019.
- <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/clamp-on-flow/Pages/SITRANS-FS220.aspx>

- [29] Siemens Thickness Gauge: 27.03.2019.
<https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meter/clamp-on-flow/thickness-gauge/Pages/sitrans-f-us-thickness-gauge.aspx>
- [30] Endress+Hauser Proline Prosonic Flow: 27.04.2019.
<https://www.us.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Product-Ultrasonic-flowmeter-Proline-Prosonic-Flow-93P>
- [31] Endress+Hauser Proline Prosonic Flow 93T: 27.04.2019
<https://www.us.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Product-Ultrasonic-flowmeter-Proline-Prosonic-Flow-93T>
- [32] Endress+Hauser Proline Prosonic Flow 93W: 27.04.2019
<https://www.us.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Product-Ultrasonic-flowmeter-Proline-Prosonic-Flow-93>
- [33] Krohne Optisonic 6300 P: 28.03.2019.
<https://krohne.com/en/products/flow-measurement/flowmeters/ultrasonic-flowmeters/optisonic-6300-p/>
- [34] Krohne Optisonic 6300: 29.03.2019.
<https://krohne.com/en/products/flow-measurement/flowmeters/ultrasonic-flowmeters/optisonic-6300/>
- [35] Systec controls DeltawaveC-P: 01.04.2019.
<https://www.hennlich.hr/proizvodi/mjeraci-mjerac-protoka-ultrazvucni-mjeraci-protoka-clamp-on-ultrazvucni-mjeraci-protoka-11398/prijenosni-ultrazvucni-mjeraci-protoka.html>
- [36] Micronics Portaflow 440: 01.04.2019.
<http://h2o-projekt.hr/ultrazvucni-mjeraci-protoka/>
- [37] HART: 11.04.2019.
<http://www.automatika.rs/baza-znanja/obrada-signal/komunikacioni-protokol-hart.html>

- [38] Peng Zhang: Industrial control technology, 2008 William Andrew
(str. 377-381)
- [39] PLC: 12.04.2019.
<https://ayoqq.org/explore/motherboard-drawing-simple-block-diagram/>
- [40] SCADA sustav: 8.05.2019.
<https://hr.wikipedia.org/wiki/SCADA>
- [41] SCADA sustav: 8.05.2019.
<https://en.wikipedia.org/wiki/SCADA>
- [42] SCADA sustav i primjer primjene: 8.05.2019.
https://www.fer.unizg.hr/download/repository/Predavanje07_2017.pdf

SAŽETAK

Mjerenje protoka je važan dio proizvodnog procesa, to je osnovna fizikalna veličina koja se mjeri u industrijskim pogonima. Razlikujemo volumni protok i maseni protok. Protok je moguće mjeriti: mehaničkim mjerilima, vrtlogom, Coriolisovim silama, toplinskim postupkom, magnetsko-induktivnim postupkom, ultrazvučnim mjerenjem i optičkim mjerenjem. Ultrazvučno mjerenje protoka se dijeli na: mjerenje protoka preko razlike brzine ultrazvuka (metoda razlike tranzitnih vremena) i mjerenje protoka promjenom frekvencije ultrazvuka (metoda Dopplerovog efekt). Inline uređaji koji mjere metodom razlike tranzitnih vremena su jako precizni uređaji, uređaji dugog vijeka trajanja i jakih performansi. Clamp-on uređaji su mobilni uređaji, jednostavni za instalaciju i korištenje. Ovi uređaji u sustavima nadzora i upravljanje komuniciraju putem protokola HART.

Ključne riječi: Protok, industrija, volumni protok, maseni protok, metode mjerenja, uređaji, sustav upravljanja, mjerila.

APPLICATION OF ULTRASONIC SENSORS FOR FLOW MEASUREMENT IN INDUSTRY

ABSTRACT

Flow measurement is an important part of the manufacturing process, this is the basic physical size that is measured in industrial sections. We differentiate volume flow and mass flow. The flow can be measured by: mechanical gauges, vortex, Coriolis forces, thermal process, magnetic induction, ultrasonic measurement and optical measurement. The ultrasonic flow measurement is divided into: flow measurement across ultrasonic differences (transitional time difference method) and flow measurement by frequency of ultrasound (Doppler effect method). Inline devices measuring by the transitional time difference method are highly precision devices, long life devices, and strong performance. Clamp-on devices are mobile devices, easy to install and use. These devices in supervision system and controlling, they communicate through HART protocol.

Keywords: Flow, industry, volume flow, mass flow, measurement methods, devices, control system, scales.

ŽIVOTOPIS

Antonio Golek, rođen je 25. veljače 1992. godine u Osijeku. Mjesto prebivanja je prigradsko naselje Tenja. Osnovnu školu pohađao u Osnovnoj školi Franje Krežme u Osijeku. Nakon vrlo dobrog uspjeha u osnovnoj školi, upisuje srednju Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku – zanimanje Špeditersko agencijski tehničar. Nakon završene srednje škole upisuje se na Elektrotehnički fakultet u Osijeku, upisuje stručni studij – smjer automatika. Svoje daljnje školovanje i edukaciju planira usavršiti u istom smjeru na poljima automatike.

Potpis studenta