

COMPUNEREA UNUI GRUP DE POMPARE APĂ POTABILĂ PREGĂTIT PENTRU TEHNOLOGIA IOT

George Alexandru SMEU, Constantin GHIȚĂ, Aurel Ionuț CHIRILĂ, Dragoș
Ioan DEACONU, Valentin NĂVRĂPESCU
Universitatea Politehnica București

Summary. Technological developments in the field of sensors, transducers and data transmission lead to the development of industrial automation. In the field of drinking water distribution networks, this evolution brings a significant value contribution, in the form of savings at the time of implementation, as well as savings in operation. The paper seeks to highlight a method of sizing a pump set prepared for IoT (Internet of Things) technology. In essence, this form of pump group eliminates the need to implement industrial automation for group management and operation. The whole working logic is based on artificial intelligence and the statistics of the data accumulated by the network interconnected by intelligent sensors.

1. DESCRIEREA POMPELOR

Pompele sunt echipamente mecanice de generare a energiei hidraulice. Această energie se caracterizează ca fiind suprapresiunea unui lichid ce se află în mișcare cu o anumită viteză sau cu un anumit debit. Energia hidraulică este rezultatul lucrului mecanic efectuat de un motor electric cuplat unui sistem de punere în mișcare a lichidului. Făcând analogia cu generatoarele electrice, și pompele pot fi considerate generatoare hidraulice având 2 parametri la ieșirea grupului: [1]

- Presiunea, notată cu $p(t)$ și exprimată în Pascali [Pa], sau mai des în bar [bari] ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$)
- Debitul, notat cu $Q(t)$ și exprimat în metri cubi pe oră [m^3/h] sau litri pe secundă [l/s] Cei 2 parametri au aceeași semnificație ca și tensiunea sau curentul unui generator

electric de curent continuu. Pompele sunt construite pentru a ridica lichidul la anumite înălțimi H , exprimate în metri, iar înălțimea este exprimată în funcție de presiune astfel:

$$H = \frac{p}{\rho g} [m] \quad (1)$$

unde

ρ - densitatea lichidului [kg/m^3]

g - accelerația gravitațională = 9,81 [m/s^2]

Dependența grafică dintre înălțime (sau presiune) și debit este puternic neliniară, în special atunci când pompele lucrează la viteze mari. În Figura 1 se exemplifică această dependență, iar procedura de selecție a pompei este caracterizată de îndeplinirea cerințelor tehnologice de înălțime (presiune) și debit. Înălțimea de ridicare are o valoare maximă H_0 la debit $Q=0 \text{ m}^3/\text{h}$, iar odată ce debitul crește, înălțimea de pompare se micșorează. Comportamentul este determinat de foarte mulți parametri hidraulici și constructivi ce împiedică exprimarea analitică a relațiilor. Dar caracteristicile $H(Q)$ se realizează experimental de către fabrica producătoare a pompei și se indică în actele furnizate odată cu pompa. Ulterior, pentru montajul, configurarea și monitorizarea funcționării pompei, se va utiliza acest grafic de performanță emis de fabrică, pentru a fi siguri de funcționarea nominală a pompei.

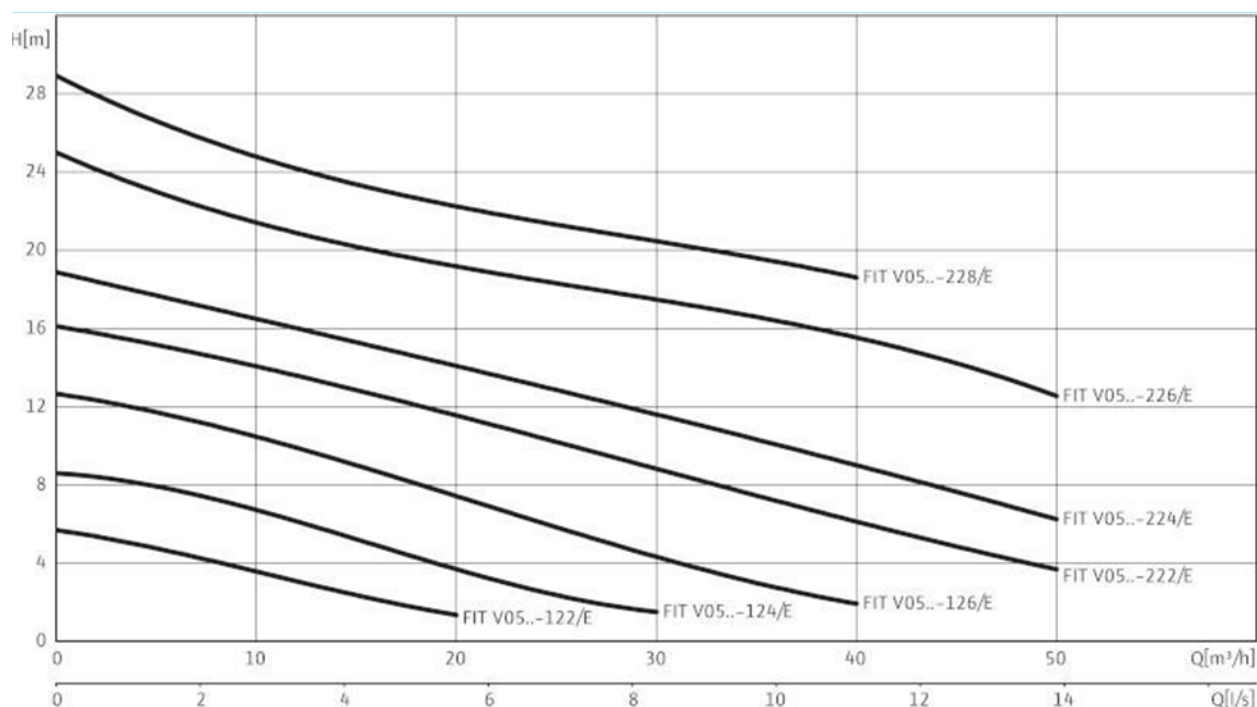


Figura 1. Caracteristici H(Q) ale pompelor

unde:

FIT – Denumirea seriei

V – Cu rotor tip vortex impeller

05 – Diametrul nominal al conexiunii de presiune

122 – Pompare până la 6 m

124 – Pompare până la 9 m

126 – Pompare până la 13 m

222 – Pompare până la 16 m

224 – Pompare până la 19 m

226 – Pompare până la 24 m

228 – Pompare până la 28 m

E – Cu rotor uscat

Drept urmare, pompele reprezintă de fapt niște grupuri de pompare, alcătuite din 2 elemente principale de acționare: motorul electric și corpul de pompare. În general, în cadrul aplicațiilor industriale sau comunale, cel mai des se utilizează pompele centrifugale ce se bazează pe una sau mai multe roți cu palete radiale de o geometrie specială ce impun lichidelor o anumită forță centrifugă. Principiul de funcționare simplu ce stă la baza construcției, asigură acestor pompe o fiabilitate de apreciat și le oferă posibilitatea de a funcționa în cele mai dificile medii de exploatare. [2]

2. POMPE MODERNE CU CONVERTIZOARE INTEGRATE DE FRECVENȚĂ

Convertizoarele moderne de frecvență (CF), cu performanțele lor tehnice și de gabarit deosebite, au adus în ultimii ani o revoluție în tehnica de pompare. Ele au fost integrate în carcasa agregatelor de pompare împreună cu traductoarele de presiune (debit) și cu sistemele de reglare automată a acestor parametri. Ca urmare, pompele clasice au căpătat noi proprietăți, devenind niște surse reglabile și flexibile de energie hidraulică, fiind numite și pompe inteligente.



unde: Figura 2. Pompă având convertizor de frecvență integrat

- 1 – bornele de conexiune ale motorului electric, convertizorul de frecvență, regulatorul senzorului de presiune;
- 2 – motorul electric de angrenare;
- 3 – cuplajul mecanic dintre motorul electric și arborele de pompare;
- 4 – traseul hidraulic de măsură diferențială a traductorului de presiune;
- 5 – cuplajul de presiune (flanșă DIN);
- 6 – Carcasa conținând arborele de pompare

Odată cu apariția conceptului de pompă inteligentă precum cea exemplificată în Figura 2, au apărut și diferite principii sau legi de reglare optimizată automată a vitezei grupurilor de pompare, în special cu aplicabilitate în domeniul sistemelor de încălzire și de climatizare a aerului. Drept urmare, randamentul și eficacitatea acestor sisteme a crescut, făcându-se economii de până la 25 % din energia termică și energia electrică consumată. Ținând cont de faptul că aceste sisteme se utilizează pe o scară largă și în foarte multe domenii de activitate, creșterea eficacității lor economice este un front important, în special pentru acele țări unde consumul de energie electrică este foarte costisitor. Germania, spre exemplu, a introdus prin standardele de Stat o utilizare obligatorie în sistemele de încălzire a reglării turației tuturor pompelor de circulație cu puteri termice mai mari de 25 kW.

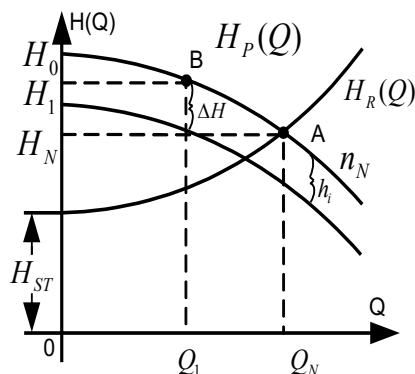


Figura 3. Caracteristica $H(Q)$ a pompei și a rețelei

În Figura 3 sunt reprezentate 2 caracteristici hidraulice ale pompei, notate cu $H_P(Q)$, una pentru turația nominală a grupului și una pentru o turație mai mică. Totodată este reprezentată și caracteristica rețelei hidraulice $H_R(Q)$ având o înălțime statică constantă, notată cu H_{ST} și căderile variabile de presiune pe elementele hidraulice ale rețelei, căderi ce depind de debit, $\Sigma h_i(Q)$. Analitic, caracteristicile se pot exprima astfel:

$$H_P(Q) = H_0 \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 - \Sigma h_i(Q) \quad (2)$$

$$H_R(Q) = H_{ST} + \Sigma h_i(Q) \quad (3)$$

unde:

H_0 - înălțimea maximă de ridicare a lichidului pentru un debit $Q = 0$

H_{ST} - înălțimea statică, egală cu înălțimea geografică, la care apa este ridicată de pompă

$\Sigma h_i(Q) = \Sigma R Q^2$ - căderile de presiune pe toate rezistențele hidraulice ale pompei și rețelei ΣR_{Hi} , condiționate de frecările apei pe porțiuni liniare și cotite, pe supape, robinete și alte elemente de vehiculare a apei în conducte.

Trasând intersecția celor 2 caracteristici, se poate determina punctul static de funcționare, având coordonatele (H_i, Q_i) în condiții de debit constant, unic $Q_P = Q_R = Q$. În punctul nominal $A(H_N, Q_N)$ pompa are un randament maxim $\eta = \eta_N = \eta_{max}$. Dacă debitul rețelei hidraulice (RH) se micșorează, de exemplu, până la o valoare $Q_i = Q_1$, și dacă viteza pompei ar fi constantă, presiunea ar crește până în punctul $B(H_1, Q_1)$. Drept urmare, cresc pierderile hidraulice în rețea cu o valoare proporțională cu presiunea diferențială Δp :

$$\Delta P_H = \rho g (H_1 Q_1 - H_N Q_1) = \rho g Q_1 \Delta H = \Delta p Q_1 \text{ echivalent cu } \Delta p \quad (4)$$

unde:

ΔP_H - presiunea diferențială a coloanei de apă

Δp - presiunea diferențială a traseului hidraulic

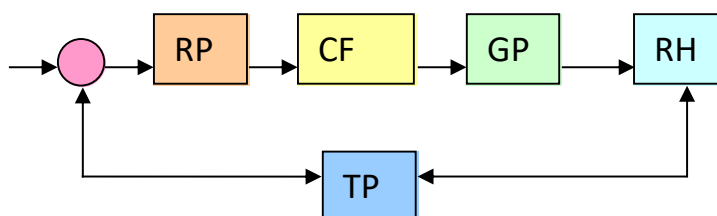


Figura 4. Schema bloc a regulatorului de presiune [3]

unde:

RP – regulator de presiune (utilizează ca intrare diferența dintre presiunea impusă și presiunea reală din instalație, pentru a comanda convertizorul de frecvență);

CF – convertizor de frecvență ce utilizează ca intrare semnalul regulatorului de presiune și are ca scop creșterea/micșorarea capacității de pompare a grupului

GP – grup de pompare (ansamblu electromecanic menit să convertească energie electrică în lucru mecanic de pompare)

RH – rețea hidraulică reprezentată de mulțimea traseelor, țevilor, bransamentelor, consumatorilor, pierderilor și alte utilaje speciale;

TP – traductor de presiune menit să convertească presiunea dintr-o mărime caracterizată prin lucru mecanic, într-una electrică (semnal analogic 4-20 mA).

Urmărind diagrama din Figura 4, dacă se alimentează grupul de pompare (GP) de la un convertizor de frecvență (CF) comandat de către un regulator de presiune în buclă închisă, nu

mai sunt posibile creșteri ale presiunii deoarece traductorul (TP) și regulatorul de presiune (RP) controlează permanent abaterea presiunii reale de la cea prescrisă (nominală), menținând-o nulă și stabilizând astfel presiunea $p=\text{constantă}$ și înălțimea $H=H_N=\text{constantă}$ prin modificarea turației motorului și implicit a pompei până la valoarea $n=n_1$. Caracteristica modificată $H_p(Q)$, din Figura 3, pentru $n=n_1$ în acest caz se deplasează paralel în jos, ceea ce conduce la o reducere a puterii electrice consumate, proporțională cu înălțimea diferențială ΔH .

Gama maximă de reglare a turației poate fi obținută, egalând expresiile caracteristicilor pompei și rețelei în punctul ($H=H_{ST}$, $Q=0$):

$$H_0 \left(\frac{n_{MIN}}{n_N} \right)^2 = H_{ST} \quad (5)$$

$$\frac{n_{MIN}}{n_N} = \sqrt{\frac{H_{ST}}{H_0}} \quad (6)$$

diapazonul maxim de reglare a turației pompei:

$$D = 1 - \frac{n_{MIN}}{n_N} = 1 - \sqrt{\frac{H_{ST}}{H_0}} \quad (7)$$

Reducerea puterii ΔP_C , sau a consumului de energie electrică ΔW , se calculează:

$$\Delta P_{Ci} = \rho g Q_i \Delta H / \eta_{\Sigma} = Q_i \Delta p / \eta_{\Sigma} \quad (8)$$

$$\Delta W_i = \Delta P_{Ci} \Delta t_i \quad (9)$$

unde:

$\eta_{\Sigma} = \eta_P \eta_M \eta_C$ - randamentul rezultat al pompei, motorului și convertorului;

Δt_i - intervalul de timp cu un debit Q_i din diagrama de sarcină a pompei în timp de 24 h.

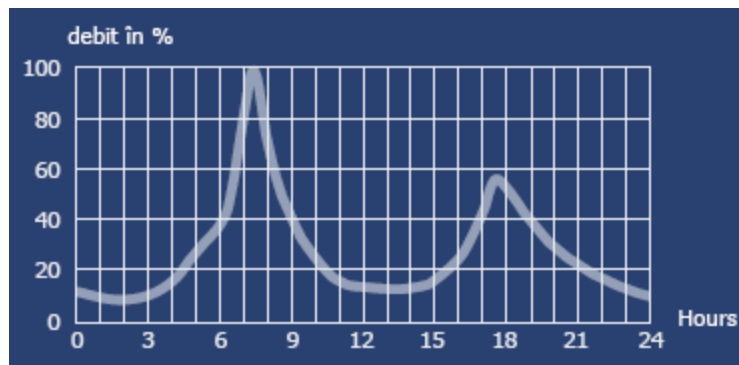


Figura 5. Diagrama de sarcină a pompei în decurs de 24 ore [4]

În principiu, instalațiile de pompare echipate cu sisteme de reglare în timp real a turației se utilizează în aplicații ce necesită stabilizarea presiunii lichidelor în conducte sau a nivelului în rezervoare, cu scopul de a reduce consumul de energie electrică și de apă. Din această cauză, calcularea și acordarea sistemelor de reglare automată reprezintă o latură foarte importantă a implementării. Calculul poate fi efectuat pe baza schemei generale de reglare automată a presiunii din Figura 5. În cazul în care aplicația impune stabilizarea nivelului de lichid dintr-un rezervor, traductorul și regulatorul de presiune se înlocuiesc cu un traductor și un regulator de nivel. Rețeaua hidraulică de presiune se înlocuiește și ea cu un rezervor de acumulare. [5]

Pentru simularea unui grup de pompare se vor utiliza date tehnologice ale pompei, precum cele prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Caracteristicile grupului de pompare

Caracteristicile motorului de antrenare al pompei

Tensiune de alimentare	400 V
Clasa de izolație	F
Curent absorbit din rețea	7.7 A
Grad de protecție	IP68
Putere electrică	3.9 kW
Turația motorului	2853 rpm
Număr de poli	2
Domeniu de lucru	
Temperatura max lichid	40 °C
Înălțime maximă de pompare	28 m
Debit maxim	40 m ³ /h
Temperatură min lichid	3 °C
Racorduri	DN 50
Tip racorduri	Flanșă
Caracteristici constructive	
Lungime cablu de alimentare	10 m
Material rotor	Fonta GJL 250
Material corp pompă	Fonta GJL 250
Material arbore pompă	Inox 1.4021
Diametru interior trecere liberă a lichidului vehiculat	65 mm
Flotor	Plutitor tip pară, semnal tip contact
Cod producător	6064595
Tocător	fără
Greutate	
	46.2 kg

3. SENZORI AFERENȚI GRUPULUI DE POMPARE*3.1 Senzori de tensiune*

Senzorul de tensiune este un traductor RMS de înaltă performanță utilizat pentru sesizarea tensiunilor în instalații monofazate sau trifazate, precum cel afișat în Figura 6. Totodată acesta oferă posibilitatea achiziției de date în regim ieșire analogică, scalată la tensiunea sinusoidală sau nesinusoidală (frecvență variabilă). Traductoarele sunt ideale pentru situații în care calitatea energiei este o problemă, fiind capabile să identifice condiții cu tensiuni de alimentare prea mici sau supratensiuni, și pot proteja motoare critice sau subansamble

electronice. Se poate conecta cu ușurință la un datalogger sau PLC pentru a fi integrat în sistemul de monitorizare în timp real.

Senzorii de tensiune utilizați în practică se bazează pe un transformator de măsură. Un microcontroler monitorizează tensiunea trecută prin transformator și convertește semnalul analogic din tensiune în semnal analogic curent 4-20mA.

Senzorul poate fi folosit pentru:

- Detectarea tensiunilor sub limita nominală, protejează împotriva supraîncălzirii motoarelor;
- Detectarea pierderii unei faze prin sesizarea reducerii tensiunii acesteia, în sistemele multifazice – protejează împotriva calării rotorului pompei sau împotriva suprasolicitării celorlalte faze rămase;
- Monitorizarea supratensiunilor pentru înlăturarea problemelor ce pot apărea la sistemele de comandă a motoarelor (convertizoare);
- Detectarea condițiilor de alimentare ce pot cauza stres sau defecte la nivelul componentelor asociate soft-starter-elor.



Figura 6. Traductor de tensiune trifazat

3.2 Senzori de curent

Senzorii de curent sunt fie în buclă deschisă fie în buclă închisă. Senzorii în buclă deschisă măsoară curenți în curent alternativ și curent continuu, asigurând izolarea electrică dintre circuitul măsurat și ieșirea senzorului (se măsoară fără contact electric, izolare galvanică) precum cei din Figura 7. De obicei acest tip de senzor se utilizează în aplicații alimentate cu acumulatori, fiind economici din punct de vedere al consumului energetic.

Senzorii de curent în buclă închisă măsoară curenți în circuite de curent alternativ și curent continuu, cu izolare electrică. Au posibilitatea unui timp de răspuns foarte mic, liniaritate îmbunătățită și deviații apărute odată cu temperatura scăzute. Ieșirea de curent a unui senzor cu buclă închisă este imună la zgomotul electric, oferind astfel o măsurătoare mai precisă, liniară. Se preferă acest tip de senzor în aplicații de precizie.

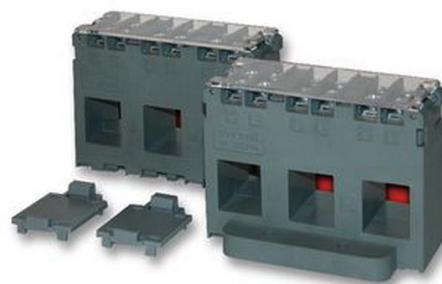


Figura 7. Traductor de curent trifazat.

3.3 Senzori de putere

În Figura 8 este prezentat senzorul de putere care este utilizat pentru măsurarea caracteristicilor puterii electrice precum tensiune, curent, putere aparentă. Pentru circuite în curent alternativ, un senzor de putere electrică poate fi folosit și pentru măsurarea calității energiei electrice. Aceste măsurători sunt apoi convertite în semnale analogice sau digitale pentru a fi citite sau afișate de alte echipamente. [6]

Tipuri de senzori de putere:

- Senzori cu efect hall, măsoară tensiunea, curentul și nivelul de putere prin crearea unui curent perpendicular câmpului magnetic indus de circuitul măsurat pentru a genera un potențial electric. Pentru a măsura condițiile izolației electrice îmbătrânite, metodele de măsură includ grade de polimerizare, rezistența de izolare, factorul de disipație și măsurarea indexului de polarizare;
- Senzorii inductivi folosesc o bobină înfășurată în jurul conductorului alimentat pentru măsurarea tensiunii, curentului, fazei și ca rezultat, a puterii;
- Măsurătoarea directă implică senzori conectați în seria conductoarelor alimentate și convertesc valorile măsurate în semnale de citit sau afișat. Această metodă este cea mai precisă deși nu este întotdeauna posibilă (în funcție de aplicație);
- Măsurătorile cu răspuns în tensiune utilizează caracteristicile electrice ale unui circuit rezultate din amplitudinea și faza unui curent de test ce străbate un circuit. Pentru a măsura calitatea puterii, senzorii de putere electrică măsoară defazajul dintre tensiune și curent, precum și distorsiunea armonică totală (THD).



Figura 8. Traductor de putere

3.4 Senzori pentru determinarea factorului de putere - $\cos(\varphi)$

Factorul de putere poate fi determinat utilizând metoda wattmetru-voltmetru-ampermetru, unde puterea în wați este împărțită la produsul dintre tensiune și curent. Factorul de putere al unui circuit polifazat echilibrat este același ca pe orice fază, dar factorul de putere al unei rețele polifazate dezechilibrate nu este se poate defini astfel.

În practică, determinarea factorului de putere se face prin măsurătoarea directă a diferenței de timp dintre formele de undă ale tensiunii și curentului, astfel calculând factorul de putere, sau prin măsurătoarea puterii active și a celei aparente în circuit. Prima metodă este precisă doar dacă tensiunea și curentul sunt sinusoidale. Un astfel de traductor pentru factorul de putere este afișat în Figura 9.



Figura 9. Traductor pentru factorul de putere

3.5 Senzori de presiune

În aplicațiile stațiilor de pompare se preferă senzorii de presiune cu auto diagnostică, precum cei exemplificați în Figura 10. Acești senzori permit diagnosticarea independentă a fiecărui tip, caracteristică sau gamă de rotații afiliate unei pompe. Aceste date sunt în continuu monitorizate de senzor. Dacă apar distorsiuni semnificative, senzorul poate trimite un mesaj de alarmă atunci când pompa poate avea de suferit.

Avantaje:

- Se detectează probleme din zona de aspirație (spre exemplu cavitația);
- Se detectează aer sau lichide cu gaz în pompă;
- Monitorizarea independentă a presiunii în rețeaua hidraulică.

Principiul de măsură al senzorilor de presiune utilizați în aplicațiile stațiilor de pompare este unul piezoelectric bazat pe cristal de cuarț. Prin deformarea mecanică a cristalului, se obține un potențial electric liniar direct perpendicular cu forța aplicată. Astfel se pot trasa cu ușurință curbele dependenței dintre forța aplicată (presiune) și tensiunea generată. În continuare, potențialul electric este amplificat, stabilizat și convertit în semnal analogic 4-20 mA.



Figura 10. Traductor de presiune

3.6 Senzori de temperatură

Senzorii de temperatură (Figura 11), denumiți și rezistențe termo sensibile (RTD), sunt compuși în principiu dintr-un conductor înfășurat în jurul unui miez ceramic sau din sticlă. Conductorul este dintr-un material pur precum platină, nichel sau cupru. Acest material are o relație rezistență/temperatură cunoscută și poate furniza citiri exacte ale temperaturii. Deoarece elementele unui RTD sunt fragile, aceștia sunt adesea încastrați într-o sondă protectoare.

Pentru interpretarea valorii rezistenței unui traductor de temperatură se pot folosi fie controller-e cu citire a rezistenței termice, fie amplificatoare menite să convertească valoarea rezistenței electrice a senzorului în valoare analogică de curent.



Figura 11. Traductor de temperatură

3.7 Senzori de vibrații

În vederea protejării mecanice a pompelor, în general în aplicațiile de pompare se utilizează accelerometre industriale pentru diagnosticarea problemelor din operarea pompelor, exemplificați în continuare în Figura 12. În principiu, rolul acestor senzori este unul preventiv dar pot identifica și probleme în funcționare precum cavitație, recirculare internă, rezonanță mecanică, garnituri defecte, dezechilibrul pompei, arbore slăbit, probleme în cuplajele mecanice ș.a.

Pentru pompele montate vertical (modul obișnuit) se utilizează 2 accelerometre montate în apropierea rulmenților, la 90 de grade unul față de celălalt, perpendiculare mișcării de rotație a arborelui. Astfel, unghiul la care sunt poziționate permite detecția generală a oscilațiilor, prin metoda diferenței.

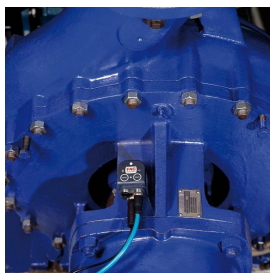


Figura 12. Traductor de vibrații

3.8 Senzori de prezență apă în ulei

În Figura 13 este exemplificat senzorul pentru detecția apei în ulei. Senzorii sunt construiți pentru a detecta apa în caseta rulmenților și se activează atunci când raportul apă/ulei depășește o limită impusă. Principiul de măsură al senzorului se bazează pe modificarea capacității dintre senzor și carcasa pompei. O modificare în caracteristica dielectrică a mediului din carcasa rulmenților va afecta capacitatea măsurată, și implicit valoarea măsurată de senzor. Infiltrațiile apei vor scădea constanta dielectrică și la un prag impus al valorii raportului de apă în ulei, va declanșa mesajul de alarmă către controller.



Figura 13. Traductor apă în ulei

4. APLICAREA SENZORILOR ÎN DOMENIUL STAȚIILOR DE POMPARE

Traductoarele de tensiune, curent și putere se utilizează în principiu la protecția electrică a pompei și la gestionarea consumului energetic. Atunci când se proiectează un ansamblu de pompare, încă de la început este adusă în discuție eficiența energetică a acestuia. Un grup de pompare apă potabilă, spre exemplu, va funcționa permanent, în regim redundant desigur, însă tot timpul va fi un consum energetic, regim de funcționare ce impune optimizare.

Un consum energetic redus poate fi obținut doar dacă toți senzorii din dotarea pompei funcționează împreună în vederea:

- Menținerii temperaturii la un nivel scăzut, astfel se reduc încălzirea excesivă a înfășurărilor și pierderile prin efect Joule;
- Păstrarea presiunii constante fără a fii necesară suprasolicitarea pompei în vederea compensării inutile a presiunii;
- Pornirea lentă și ușoară a pompelor în regim redundant (în timp ce una se oprește lent, alta pornește pe parcursul aceluiași interval de timp) pentru a evita atingerea unor curenți mari de pornire ce pot îmbătrâni prematur pompa sau instalația electrică de alimentare / monitorizare;
- Monitorizarea factorului de putere în vederea utilizării pompelor în regimul nominal de funcționare, eficient, fără suprasolicitări;
- Înregistrarea și monitorizarea oscilațiilor ce apar la nivelul rulmenților sau a arborelui de angrenare, în vederea stabilirii intervențiilor tehnice preventive sau oprirea de urgență a pompei în caz de autodistrugere;
- Monitorizarea nivelului de integritate a casetelor de rulmenți prin detectarea infiltrațiilor de apă, ce duc la suprasolicitări mecanice ale pompei sau la defectarea totală a angrenajelor.

În cazul unor pompe inteligente (E-pump), toți senzorii menționați intră în ansamblul de comandă și control montat pe corpul pompei. Având toți acești senzori integrați și conectați în cadrul pompei, nu este necesară achiziția de date sau implementarea unor reguli de acționare sau protecție suplimentare, deoarece pompa deja este controlată local, sub apă, de ansamblul integrat de senzori. [7]

5. TEHNOLOGIA IOT ÎNGLOBATĂ ÎN POMPE ȘI VANE

La nivel de monitorizare, senzorială înglobată în corpul pompei inteligente poate citi starea sa în timp real și o poate proteja împotriva fluctuațiilor de tensiune, a funcționării în gol, a infiltrațiilor de apă etc. Starea de sănătate a pompei este doar o sarcină a sistemului expert cu auto învățate, o altă sarcină o reprezintă reglajul în timp real al procesului tehnologic din care face parte pompa inteligentă.

Pentru a elimina complet restricțiile impuse de un sistem de automatizare centralizat, implementarea soluției IoT este o opțiune avantajoasă. Privind la nivel de rețea de distribuție și pompare a apei potabile, pompa inteligentă este răspunzătoare cu reglajul parametrilor rețelei. Factorii de influență ai rețelei, precum consumul variabil de apă manifestat prin debit și cădere de presiune, sau pierderile hidraulice trebuie compensate în timp real de către grupul de pompare.

Așadar, în cadrul rețelei de distribuție se implementează senzori având capacități IoT al căror scop este monitorizarea factorilor incontrollabili ai rețelei. Valorile măsurate de către

senzori sunt utilizate ca feedback în cadrul buclei de reacție privind reglajul vitezei de pompare a pompelor. Totodată, în anumite inele ale rețelei de distribuție este necesar reglajul debitului fără a afecta restul rețelei hidraulice. În asemenea cazuri, inelele sunt separate de rețea prin vane automate de reglaj debit și presiune, al căror reglaj se poate face tot prin intermediul buclei zonale de reacție.

În cele ce urmează sunt descrise câteva exemple de aplicare a tehnologiei IoT înglobate în interiorul pompelor inteligente. Noutatea o reprezintă eliminarea completă a sistemului centralizat de automatizare, fie guvernat de către operator fie de către aplicația din cloud. Întreaga buclă de reacție este înglobată, rolul cloud-ului fiind doar de informare, monitorizare, salvare date și control de la distanță în cazuri speciale. Notă: în situațiile descrise mai jos, pompa inteligentă este în continuare monitorizată intern pentru păstrarea stării sale de sănătate, așa cum s-a concluzionat în Capitolul 4.

5.1. Buclă de reacție senzor presiune – pompă

În acest exemplu, întreaga guvernare a procesului de pompare este realizată de către sistemul expert înglobat în pompa inteligentă. Condiția de funcționare a pompei o reprezintă valoarea medie a senzorului de presiune. În condiții de creștere al consumului de apă la nivelul rețelei hidraulice, valoarea presiunii scade. În cazul în care consumul este redus, presiunea crește. Aceste variații ale presiunii sunt normale și pot fi corelate cu graficul zilnic de consum. Există intervale orare în care consumul de apă este statistic crescut, și alte intervale în care consumul este redus. Spre exemplu, pe timpul nopții presiunea rețelei este menținută sub valorile nominale, dat fiind consumul statistic redus, pentru a limita pe cât posibil pierderile de apă din rețea. Totodată există și intervale calendaristice, precum consumul de apă vara (moment în care apare consumul de irigații) influențat chiar și de condițiile atmosferice (consum redus pentru irigații în condiții ploioase). Acest grafic statistic de consum este luat în considerare de către sistemul expert înglobat în pompa inteligentă pentru a preveni căderi excesive de presiune la nivelul rețelei hidraulice. Chiar dacă o bună parte a buclei de reacție o reprezintă valoarea medie a senzorului de presiune, în algoritm intră și componenta statistică a graficului de pompare cu scopul prevenției și al preîntâmpinării consumului de apă. Spre exemplu, dacă în mod normal consumul crește începând cu ora 16:00, pompa nu va aștepta ca senzorul să sesizeze consumul crescut, ci va preîncărca rețeaua la o valoare a presiunii chiar și cu 10% mai mare.

Senzorul de presiune utilizat trebuie să poată fi alimentat fără legătură la rețeaua electrică, dată fiind poziționarea sa în interiorul rețelei de distribuție. Capacitatea sa de a transmite informația acumulată către pompa inteligentă este de asemenea importantă pentru a asigura bucla de reacție în timp real. Un exemplu de senzor de presiune este Pressure Transient Logger (figura 14) de la producătorul britanic HWM. Echipamentul este dotat cu baterii ce îi permit funcționarea pentru o perioadă de 5 ani, este complet submersibil IP68 (căminele de obicei se inundă) și poate transmite datele prin telemetria NB-IoT LTE. Conexiunea la nivelul conductei de distribuție se face cu mare ușurință prin intermediul unui cuplaj rapid tip furtun aer comprimat. Antena echipamentului este magnetică și se poate monta pe interiorul capacului de cămin, ori direct pe scara de acces.

Aplicația prezentată permite senzorului de presiune să comunice direct cu pompa inteligentă pentru a forma o buclă de reacție în timp real. Sistemul expert de monitorizare și control este înglobat la nivelul pompei și utilizează valoarea presiunii ca feedback pentru reglajul turației agregatului electric.



Figura 14. Senzor presiune cu logger HWM Pressure Transient

5.2. Buclă de reacție debitmetru – pompă

Chiar dacă reglajul de menținere al debitului către consumator se face cu ajutorul senzorului de presiune, rolul debitmetrului este foarte important în stabilirea graficelor de consum și pentru monitorizarea pierderilor. Astfel de debitmetre se distribuie în puncte cheie ale rețelei hidraulice, pentru un control mai bun al distribuției de apă. Dacă rețeaua este interconectată prin noduri sau dacă anumite cartiere reprezintă derivații de la inelul central, cantitatea de apă livrată acestor zone este contorizată și monitorizată în timp real cu ajutorul debitmetrelor. Pe lângă bilanțul lunar al apelor, contorizarea aduce beneficii pentru prevenirea consumurilor și ajută la formarea graficelor de consum. Cu aceste date, rețeaua poate fi reglată și optimizată pentru a minimiza consumurile energetice și risipa de apă.

Cu ajutorul monitorizării în timp real a debitului se pot identifica situații speciale sau avarii la nivelul rețelei de distribuție. Spre exemplu, avariile de obicei sunt vizibile pe timpul nopții sub formă de consum în intervalul 02:00 – 04:00, dar sunt vizibile și în timp real dacă se utilizează datele statistice de consum. Ținând cont că la o anumită oră debitul printr-un tronson de rețea este aproximativ același de la o zi la alta, sistemul poate să identifice anomaliile de consum cu mult înainte să creeze pagube și pierderi semnificative. Anomalia corelată cu feedback de la un senzor acustic poate fi confirmată sau infirmată fără a mai fi necesară deplasarea operatorilor în teren. Tot cu ajutorul debitmetrelor sunt vizibile și eventualele blocaje la nivelul rețelei hidraulice. Senzorul de presiune va indica o valoare normală dată fiind inerția rețelei dar debitul către tronsonul blocat va fi scăzut.

Un astfel de debitmetru echipat de asemenea cu baterii și comunicație radio la distanță este MUT2200EL (figura 15) de la producătorul italian Euromag. Echipamentul poate fi montat cu ușurință în locul apometrelor clasice, antena sa este de asemenea magnetică și se poate fixa pe capacul căminului, iar bateriile permit funcționarea continuă pentru o perioadă de 2 ani.

Figura 15. Debitmetru electromagnetic echipat IoT Euromag MUT2200EL



5.3. Controlul direct al vanelor automate prin intermediul senzorilor de presiune IoT

În acest exemplu se consideră caracterul denivelat al unei rețele hidraulice. O parte a rețelei ce include și grupul de pompare se află la înălțime iar o altă parte a rețelei formată din consumatori se află în aval. Într-o astfel de rețea, menținerea presiunii de lucru este o provocare, deoarece o presiune potrivită sectorului elevat va cauza distrugerii în sectorul de la înălțime scăzută. Se utilizează valve de reglaj al presiunii pentru a scădea presiunea din aval, însă aceste valve se raportează la presiunea de intrare și scad mecanic presiunea de la ieșire. Pentru o mai bună corecție se pot utiliza vane pilotate, comandate de un modul IoT – sistem expert.

Ca și la exemplul 5.1. rețeaua este monitorizată de senzori de presiune, amplasați în puncte cheie, echipați cu baterii și telemetrie pentru a crea feedback. Doar că elementul activ de comandă și control de data aceasta este o vană pilotată automat. Valorile înregistrate de senzor sunt transmise wireless către modulul de comandă al vanei, iar acesta permite creșterea sau scăderea presiunii din rețeaua de la joasă înălțime.

Un exemplu de astfel de echipament este Pegasus 2 (figura 16) de la producătorul britanic HWM. Pe lângă proprii senzori de presiune pentru monitorizare și feedback amonte și aval, modulul este echipat cu baterii pentru funcționare 5 ani, telemetrie NB-IoT, valvă de pilotare pentru controlul vanei de reducere a presiunii și datalogger. Modulul citește valoarea presiunii de la intrarea vanei de reducere, și stabilește valoarea presiunii de la ieșire prin intermediul unei valve mecanice tip pilot, acționate la rândul său de presiunea apei din rețea. Astfel se elimină necesarul actuatorilor electrice, vana fiind instalată în subteran și neavând posibilitatea de conexiune la rețeaua electrică.

La fel ca în cazul controlului pompelor, vana poate fi ajustată conform consumului de apă și ținând cont de graficul de consum. Senzorii de presiune instalați de-a lungul rețelei de distribuție transmit vanei valori de presiune ce obligă acționarea valvei pilot. Astfel întreaga rețea de distribuție din aval se poate governa singură, independent de reglajul automat al grupului de pompare și al senzorilor de presiune din rețeaua din amonte.



Figura 16. Modul de comandă HWM Pegasus 2

6. CONCLUZII

Deși pare costisitoare la prima vedere, implementarea tehnologiei IoT în domeniul distribuției apei potabile aduce mari beneficii. Efortul de implementare este repede amortizat prin optimizarea intervalelor de pompare și implicit a consumurilor energetice. Sub această formă grupul de pompare este administrat prin propria rețea de senzori și traductori. Implementarea unui sistem SCADA sau a unui tablou electric local nu mai este necesară. Întreaga logică de comandă și control este la dispoziție on-line în cloud iar instrumentația inteligentă acumulează date și le interpretează în timp real pentru a forma firul decizional.

Dimensionarea și configurarea grupului de pompare ce admite tehnologie IoT este o procedură simplă deoarece traductoarele și senzorii disponibili au fost concepuți pentru implementare în instalații noi dar sunt și potriviți instalațiilor deja existente. La momentul implementării, instalația completă trece prin câteva etape de corelare și calibrare automată, etape în care instrumentația se ”recunoaște” iar componentele intră în lucru.

Etapa de dimensionare și configurare a automatizării electrice nu este necesară atunci când se formează o instalație de pompare cu tehnologie IoT. În acest sens se obțin economii substanțiale de la momentul implementării, iar în timpul exploatarei viteza de reacție și firul automat al deciziilor fac investiția foarte avantajoasă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] G.M. Jones, R.L. Sanks, B.E. Bosserman, “Pumping station design”, *Gulf Professional Publishing*, 2006.
- [2] E. Kan, A. Muratov, M. Yusupov, N. Ikramov, “Calculation of water hammer on the pressure pipeline of modernized irrigation pumping station”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021.
- [3] D. Borkowski, A. Wetula, A. Bień, “Design, optimization, and deployment of a waterworks pumping station control system”, *ISA transactions*, 2012.

-
- [4] A. Munir, A.A. Al-Karaghoul, A.A. Al-Douri, “A PV pumping station for drinking water in a remote residential complex“, *Desalination*, 2007.
 - [5] M. Moradi-Jalal, M.A. Marino, A. Afshar, “Optimal design and operation of irrigation pumping stations”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2003.
 - [6] H.C. Valcour Jr, “Pumping Station Reliability: How and How Much”, *Journal of American Water Works Association*, 1980.
 - [7] J.P. Guyer, “An Introduction to Pumping Stations for Water Supply Systems”, *Guyer Partners*, 2018.