

# Avtomatizirano merjenje $H$ - $Q$ karakteristik črpalk

Damir Sabo, Janez Kastelic, Primož Bogataj, Alojz Hojnik  
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko  
Univerza v Mariboru  
Smetanova 17, 2000 Maribor  
Slovenija

## *Automated measuring of $H$ - $Q$ pump characteristics*

*Abstract: The article presents realization of automated measuring of  $H$ - $Q$  pump characteristics. The project is composed of projecting hydraulic installation, protection before flowing out, projecting of electrical installation and realization of automated measuring. Each of mention part about the project is in greater detail in further of article. The purpose of this article is to modernize laboratory hydraulic model and automated measuring of  $H$ - $Q$  pump characteristics.*

## 1 Uvod

Za uspešno izbiro in vgradnjo črpalke je zaželeno poznavanje  $H$ - $Q$  karakteristike črpalke. Pri servisiranju rabljenih črpalk pogosto nimamo na razpolago tehnične dokumentacije o črpalci. Karakteristiko lahko izmerimo ročno ali avtomatsko. Cilj članka je predstaviti projekt izvedbe avtomatizirane meritve  $H$ - $Q$  karakteristike črpalke. Projekt smo realizirali na laboratorijskem hidravličnem modelu, ki ga je bilo potrebno posodobiti. Za rekonstrukcijo smo potrebovali nove gradnike, kot so: črpalka, senzori, frekvenčni pretvornik, ventili, cevi za hidravlične inštalacije. Prav tako pa je bilo potrebno projektirati in izvesti celotno električno inštalacijo za laboratorijski hidravlični model. Projekt smo razdelili na štiri dele: projektiranje in izvedba hidravličnih inštalacij, izvedba zaščite pred prelivom, projektiranje in izvedba električnih inštalacij ter izvedba avtomatizirane meritve.

$H$ - $Q$  karakteristiko črpalke lahko določimo na več načinov. Za izbiro najustreznejše merilne metode in realizacijo avtomatizirane meritve smo veliko informacij povzeli po literaturi [1], [2], [3]. Pri projektiranju električnih inštalacij in izbiranju posameznih gradnikov smo upoštevali priporočila iz literature [4].

Strokovni članek smo razdelili na 6 poglavij. V poglavju 2 smo opisali osnovne pojme hidravličnih sistemov in postopke regulacije pretoka s črpalko s spremenljivimi vrtljaji. Poglavje 3 opisuje posodobitev laboratorijskega modela ter izvedbo zaščite pred prelivom. V poglavju 4 je predstavljena avtomatizirana meritve, v poglavju 5 pa eksperimentalna meritve  $H$ - $Q$  karakteristike ter rezultati. V poglavju 6 pa je podan zaključek ter predlogi in napotki za nadaljnje izboljšave sistema avtomatizirane meritve.

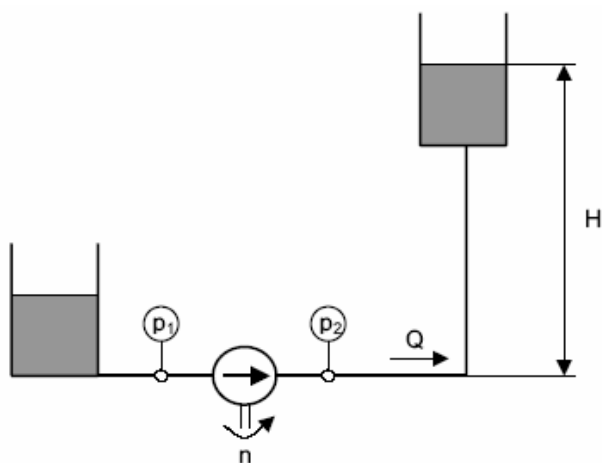
## 2 Črpalke v hidravličnih sistemih

Manometrsko višina dviga  $H$ , kot je razvidno iz slike 1, je višina na katero lahko črpalka dvigne fluid in je odvisna od gostote medija  $\rho$ , gravitacijskega pospeška  $g$ , in izhodnega tlaka  $p_2$ , ki ga črpalka ustvari pri določenem številu vrtljajev  $n$  in pretoku  $Q$ . Manometrsko višino dviga  $H$  izračunamo po enačbi

$$H = \frac{p_2}{\rho \cdot g} \quad (1)$$

Črpalka je električno-mehansko-hidravlični pretvornik, ki električno moč pretvori v hidravlično moč. Črpalko poganja 3-fazni asinhroni izmenični motor. Elektromotor je dimenzioniran za vrtenje z nominalnimi obrati  $n$ , ki jih doseže pri frekvenci 50 Hz.

Centrifugalna črpalka, ki se vrti pri nominalnem številu obratov doseže nominalni pretok  $Q$ .



Slika 1 – Manometrsko višina dviga

Hidravlično moč črpalke pri pretoku  $Q$  izmerimo z meritvijo tlakov pred črpalko (sesalni priključek) in za črpalko (tlačni priključek) in izračunamo po enačbi:

$$P_{\epsilon} = (p_2 - p_1) \cdot Q \quad (2)$$

Izbira črpalke ni samo odvisna od manometrsko višine dviga  $H$  in od hidravlične moči črpalke  $P_{\epsilon}$ , temveč tudi od pretoka  $Q$ , ki ga želimo doseči pri določenih vrtljajih črpalke. Zato se lastnosti črpalke: hidravlična moč črpalke  $P_{\epsilon}$ , manometrsko višina dviga  $H$  in izkoristek črpalke  $\eta_{\epsilon}$ , podajajo v karakteristikah kot funkcije pretoka  $Q$  in števila vrtljajev črpalke  $n$ . Karakteristike za posamezne črpalke se eksperimentalno določijo z meritvami odvisnosti  $H = f(Q)$ ,  $P_{\epsilon} = f(Q)$ ,  $\eta_{\epsilon} = f(Q)$  pri različnem številu obratov  $n$  na minuto. Karakteristike črpalke so v katalogih podane v dimenzijskih ali brez dimenzijskih normiranih grafih. Obtočne črpalke v cevovodnih sistemih vzdržujejo pretok tako, da ustvarijo diferenčni tlak. Reguliranje pretoka črpalke je možno s spreminjanjem karakteristike cevovoda ali karakteristike črpalke. Črpalka in sistem sta vezana zaporedno, kar pomeni, da je pretok v obeh delih enak. Črpalka v sistemu na sliki 1 ustvarja tlačno razliko  $(p_2 - p_1)$ , ki na manometersko višino dviga  $H$ . Pretok v sistemu

je odvisen tudi od karakteristike cevovoda. Medsebojna odvisnost  $H-Q$  je podana v  $H-Q$  karakteristiki.

Pretok medija skozi sistem povzroča tlačno razliko, ki je premo sorazmeren s kvadratom pretoka, kar je razvidno iz krivulje cevovoda. Presečišče krivulje cevovoda in črpalke predstavlja obratovalno točko hidravličnega sistema pri določenih obratih vrtenja črpalke. Koordinati te točke sta pretok  $Q$  in tlačna višina  $H$  oziroma tlačni padec  $\Delta p$ . V praksi je pogost slučaj, da je potrebno regulirati pretok, ker se potrebe časovno spreminjajo. Poznamo predvsem tri načine reguliranja črpalk [4]:

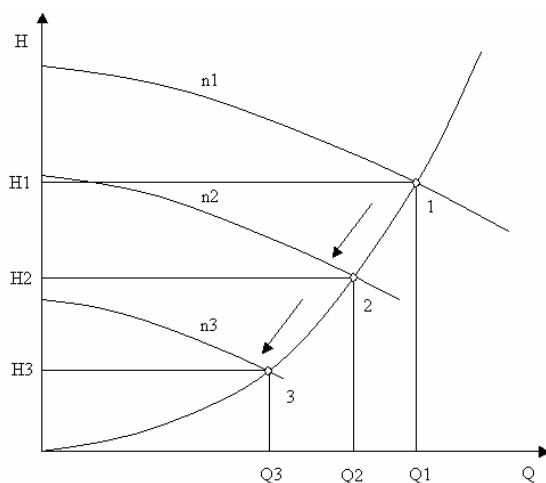
- Dušilna regulacija, kjer spreminjamo karakteristiko cevovoda tako, da s pomočjo ventila v tlačnem delu cevovoda povečamo upor in s tem zmanjšamo pretok. Pri izvedbi z dušenjem je primernejša črpalka z bolj položno karakteristiko.
- Obvodna regulacija (bypass) je regulacija z vračanjem dela tekočine iz tlačnega dela cevovoda v sesalni skozi obvodni cevovod. Značilnost obvodne regulacije je, da je pretok, ki ga daje črpalka, večji od pretoka v sistemu.
- Regulacija s spremembo števila vrtljajev črpalke, kjer spreminjamo karakteristiko  $H-Q$  črpalke (slika 2). To je energetsko najbolj ugoden način spreminjanja pretok. Pri tem se karakteristika črpalke prilagaja karakteristiki sistema, tlačna višina ustreza tlačnemu padcu v sistemu pri zahtevanem pretoku in moč črpalke se prilagaja dejanskim potrebam.

### 3 Rekonstrukcija laboratorijskega modela

S pomočjo obstoječega laboratorijskega modela je bilo možno ročno določanje  $H-Q$  karakteristik črpalk. Da bi lahko ta obstoječi laboratorijski model uporabili v sklopu naše projektne naloge, ga je bilo potrebno v celoti posodobiti. Samo nalogo rekonstrukcije laboratorijskega modela smo razdelili na več delov:

- projektiranje in izvedba hidravličnih instalacij
- izvedba zaščite pred prelivom

- projektiranje in izvedba električnih instalacij



Slika 2 – Regulacija s spremembo vrtljajev

### 3.1 Projektiranje in izvedba hidravličnih inštalacij

Cilj rekonstrukcije hidravličnega dela je bil izvesti hidravlični sistem, ki bo primeren za avtomatizirano merjenje  $H-Q$  karakteristik črpalk. Rekonstrukcija hidravličnega dela smo se lotili tako, da smo najprej izbrali hidravlične elemente sistema, kot so pretočna črpalka z asinhronim električnim motorjem in frekvenčnim pretvornikom, krmilni ventil in cevovode za povezavo elementov. Pri izbiri hidravličnih elementov je poleg njihove funkcionalnosti pomembne tudi dimenzije njihovih priključkov, ki bi se praviloma morale ujemati z dimenzijami cevovoda. Pred samo vgradnjo hidravličnih elementov smo podrobneje preučili pogoje, ki jih moramo upoštevati pri vgradnji, da bodo hidravlični elementi pravilno delovali. Pri sami izvedbi hidravlične inštalacije smo najprej vgradili in pričvrstili hidravlične elemente, ki smo jih nato povezali z cevovodom. Uporabili smo bakrene cevi dimenzije DN-25, ki smo jih spojili s spajkanjem. Na hidravlične elemente pa smo cevi pritrdili z ustreznimi prirobnicami. Pri izvajanju pa smo bili posebno pozorni na tesnjenje.

Po izvedbi je sledil tlačni preizkus, s pomočjo katerega smo preizkusili tesnjenje celotne hidravlične inštalacije.

### 3.2 Izvedba zaščite pred prelivom

V sistemu smo imeli nameščeni tudi dve posodi. V večjo posodo smo tekočino črpali. Ta posoda je imela tudi dva izhoda, izmed katerih je bil en direktno povezan na črpalko, medtem ko se je tekočina iz drugega izhoda pretakala v zbiralno posodo. Ker bi v zbiralni posodi lahko prišlo do izliva tekočine, smo morali izvesti ustrezno zaščito pred prelivom. V ta namen smo izbrali kapacitivni senzor Omron E2K-X4MF2 ter elektromagnetna ventila, ki sta v ustrezni povezavi z relejem zagotavljala zaščito pred prelivom iz zbiralne posode.

### 3.3 Projektiranje in izvedba električnih inštalacij

Obstoječe električne inštalacije je bilo potrebno v celoti posodobiti. Cilj tega dela projekta je bil povezati senzorje, merilne pretvornike in aktuatorje z merilnim sistemom za zajemanje in obdelavo merilnih signalov. Hkrati z izvedbo hidravličnih inštalacij smo montirali tudi vse senzorje, merilne pretvornike ter aktuatorje. Za merjenje tlaka smo uporabili tri merilnike tlaka ELTRA DMA 200 z lastnim prikazovalnikom, pretok smo merili z merilnim pretvornikom ECKARDT, črpalko proizvajalca ELEKTROKOVINA smo vodili z frekvenčnim pretvornikom OMRON, pretok pa smo dušili z elektromotornim ventilom IMP.

Frekvenčni pretvornik in elektromotorni ventil smo vodili preko napetostnih vhodov, položaj ventila pa smo merili preko napetostnega izhoda ventila. Velikosti tlakov in pretoka smo merili preko tokovnih izhodov ustreznih senzorjev in merilnega pretvornika. Velikost napetostnih signalov je bila 0-10V, medtem

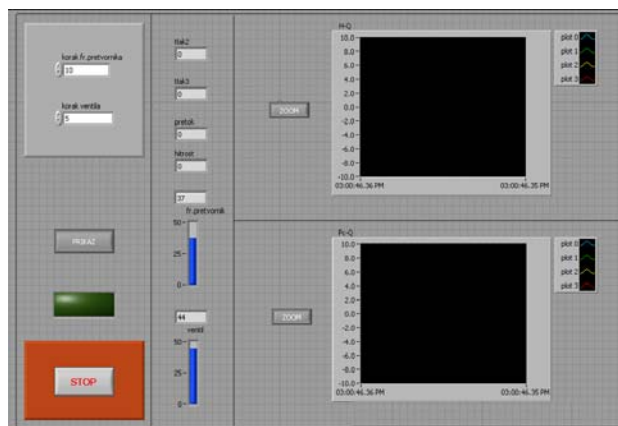
ko so imeli tokovni signali vrednosti 4-20mA. Senzorje smo napajali z napetostjo 24 V DC. Po montaži PVC kanalov smo nadaljevali z zamenjavo celotnega ožičenja. Pri ožičenju smo za povezavo merilnih signalov uporabili ustrezne oklopljene kable. Sledila je izdelava krmilne omare. V ta namen smo izdelali električni načrt celotnega sistema, ter izbrali elemente krmilne omare. Vsi elementi krmilne omare (varovalke, kontaktorji, releji, ...) so bili izdelki proizvajalca SCHRACK. V omaro smo vgradili tudi priključno ploščico, CB-68LB preko katere smo zajemali signale z merilnih senzorjev ter avtomatsko vodili ventil in frekvenčni pretvornik. Po končani izdelavi in namestitvi krmilne omare smo celoten sistem priklopili na trifazno napajanje 380 V AC. Po priklopu je sledil preizkus delovanja celotnega sistema, kjer smo merili signale s posameznih senzorjev. Prav tako smo preverili ustreznost delovanja zaščite pred prelivom.

#### 4 Avtomatizirana meritev

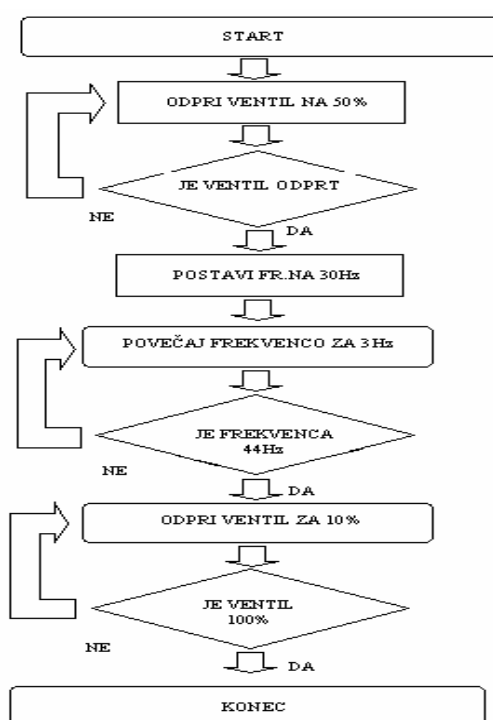
Glavni del avtomatizirane meritve sistema je program v katerem zajemamo in obdelamo merilne vrednosti signalov. Uporabniški vmesnik je predstavljen na sliki 3. V našem primeru smo uporabili programski paket Labview 7.0 in kartico za zajem PCI-6024E. Labview omogoča enostavno programiranje in ima zelo dobro podporo za prikaz in obdelavo merilnih signalov.

Pred pričetkom pisanja programa smo izdelali diagram poteka programa (slika 4). Običajno je sistem zasnovan tako, da pri konstantnem številu vrtljajev črpalke spreminjamo dušenje ventila. Ker pa ima naš ventil slabo dinamiko smo se odločili, da bomo spreminjali število vrtljajev pri konstantnem dušenju in kasneje to zamenjavo upoštevali pri risanju karakteristike.

Na sistemu imamo pet senzorjev. Tri merilnike tlaka, merilnik pretoka, ter merilnik položaja ventila. Merilnika tlaka se nahajata na sesalnem in na tlačnem priključku črpalke, ter za krmilnim ventilom.



Slika 3-Čelna plošča programa

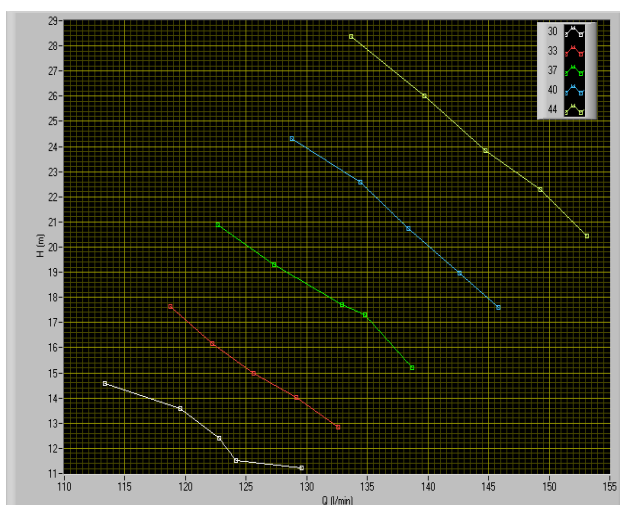


Slika 4-Diagram poteka

Vsi senzorji imajo tokovni izhod od 4-20mA, ki smo jih preko 500Ω uporov pretvorili v napetostne signale od 2-10V. Napetostne signale pripeljemo na kartico za zajem PCI-6024E, ter jih s pomočjo izdelanega programa ustrezno obdelamo. S temi podatki na izrišemo najpogosteje podani karakteristiki črpalke  $H = f(Q)$  in  $P_e = f(Q)$ .

## 5 Rezultati

Cilj projekta je posodobitev obstoječega laboratorijskega modela hidravličnega procesa, ter priključitev senzorjev, merilnih pretvornikov in aktuatorjev na sistem za zajem in obdelavo merilnih signalov. Posodobljen laboratorijski model omogoča izvedbo avtomatiziranih meritev  $H$ - $Q$  karakteristik črpalk. Po končani meritvi in obdelavi merilnih signalov s pomočjo izdelanega programa v programu Labview izrišemo karakteristiki  $H = f(Q)$ , kot je prikazano na sliki 5.



Slika 5 - $H$ - $Q$  karakteristika črpalke

Meritev smo izvajali pri petih različnih frekvencah in sicer od 30 pa do 44 Hz. Zgornja meja je omejena na 44 Hz kajti merilnik tlaka na tlačni strani črpalke ima območje od 0 do 3 bare. Pri maksimalni frekvenci 60 Hz lahko omenjeni tlak naraste do 6 barov. Vsaka  $H$ - $Q$  karakteristika na sliki 5 je izmerjena pri konstantni frekvenci črpalke, ter pri različnem dušenju ventila. Slabost izrisanih karakteristik na sliki 5 je, da niso gladke. Omenjeno slabost bi lahko odpravili z uporabo ustrezne interpolacije.

Hidravlična moč črpalke je pomemben dejavnik pri izbiri ustrezne črpalke za izvedbo

določene aplikacije. S prilagoditvijo programskega dela aplikacije lahko izmerimo in izrišemo karakteristike moči črpalke v različnih delovnih točkah.

## 6. Zaključek

Z posodobitvijo obstoječega laboratorijskega modela smo izvedli avtomatizirano meritev  $H$ - $Q$  karakteristik črpalk. Posodobljen laboratorijski model je primeren za izvajanje različnih eksperimentov s področja procesne tehnike (regulacija nivoja, regulacija pretoka, ...). Slabost ročnega določevanja  $H$ - $Q$  karakteristike črpalke je potreba po prisotnosti več merilcev, ki sproti odčitujejo potrebne merilne rezultate za določitev karakteristike. V primerjavi s tem ima avtomatsko merjenje  $H$ - $Q$  karakteristike prednosti v tem, da poteka zajem in obdelava merilnih signalov avtomatsko, prav tako pa dobimo izris  $H$ - $Q$  karakteristike veliko hitreje.

## 7 Literatura

- [1] Boris Tovornik, Dali Đonlagić, Krmilni ventili; FER Maribor 1997
- [2] Marjan Golob, Gradivo za laboratorijske vaje, Gradniki sistemov vodenja; FER Maribor
- [3] Bojan Mohorko, Inteligentne zgradbe – Frekvenčni pretvorniki v sistemih ogrevanja in klimatizacije, Zbornik 3.konference Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu; Maribor 2003
- [4] Friedrich, Priročnik za elektroniko in elektrotehniko, založba FER; Ljubljana 1995

Projekt smo izvedli kot seminarsko delo pri predmetu Seminar II na univerzitetnem študijskem programu Elektrotehnika smer avtomatika pod mentorstvom doc.dr. Marjana Goloba in izr. prof. dr. Borisa Tovornika.