

PRIKAZI KNJIGA



A. Čelan*

Sveučilište u Splitu
 Kemijsko-tehnološki fakultet
 Ul. Ruđera Boškovića 35, 21 000 Split

Nenad Bolf

Automatsko vođenje procesa

Nakladnici:

Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa (HDKI)
 Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i
 tehnologije (FKIT), Zagreb, 2025.

Recenzenti:

- prof. dr. sc. Mirjana Čurlin
- prof. emeritus Zoran Gomzi
- prof. dr. sc. Tomislav Rolich

ISBN HDKI: 978-953-6894-90-1

ISBN FKIT: 978-953-8521-08-9

broj poglavlja: 11; broj stranica: 209; broj slika: 125;

broj tablica: 40

U procesnoj industriji u kojoj odstupanje od definiranih optimalnih radnih uvjeta može utjecati na kvalitetu proizvoda i sigurnost pogona, automatsko vođenje procesa nosi ključnu ulogu. Njegova je svrha omogućiti stabilan, siguran i učinkovit rad složenih proizvodnih sustava te osigurati optimalnu uporabu resursa. Upravo s tim ciljem James Watt je 1788. godine prvi put primijenio automatsko vođenje procesa postavivši regulator brzine vrtnje parnih strojeva balansiranjem centrifugalne sile i otvorenosti ventila pare. Taj trenutak smatra se početkom moderne ere automatskog vođenja procesa i od tad se to područje kontinuirano razvija, usporedno s napretkom znanosti i tehnologije.

Međunarodna literatura na tu temu relativno je bogata. Za procesne inženjere posebno se ističu djela *Process Dynamics and Control* autora Dalea E. Seborga, Thomasa F. Edgara, Duncana A. Mellichampa i Francisa J. Doylea III, kao i opsežna serija priručnika *Instrument Engineers' Handbook* autora Béle Liptáka. S druge strane, literatura na hrvatskom jeziku koja obrađuje područje automatskog vođenja procesa bila je prilično ograničena. Naime, nakon što je prof. Juraj Božičević 1967. godine uveo mjerenje i automatsko vođenje procesa u studij kemijskog inženjerstva, a tijekom 70-ih godina prošlog stoljeća i objavio svoja djela *Automatsko vođenje procesa* (1971.) te *Temelji automatike I. i II.* (1979. i 1981.), uslijedilo je razdoblje višedesetljetne praznine. Ona je napokon popunjena 2025. godine izdavanjem suvremenog sveučilišnog udžbenika *Automatsko vođenje procesa*, koji predstavlja vrijedan doprinos hrvatskoj stručnoj literaturi iz tog područja.

Autor, prof. dr. sc. Nenad Bolf, dugogodišnji je profesor Zavoda za mjerenja i automatsko vođenje procesa Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije u Zagrebu (FKIT). U ovom djelu povezuje svoje bogato nastavničko, znanstveno i stručno iskustvo, te se knjiga može smatrati plodom njegova višegodišnjeg rada u nastavi, sudjelovanja i vođenja istraživačkih projekata kao i su-



radnje s brojnim industrijskim partnerima. Iako je Juraj Božičević postavio temelje automatskom vođenju procesa za kemijske inženjere u Hrvatskoj, s pravom se može reći da je Nenad Bolf nastavio i unaprijedio pionirski rad svojeg mentora – najprije osnivanjem i opremanjem modernog Laboratorija za automatiku i mjerenja pri FKIT-u, što je značajan iskorak, a potom i objavom ovog dugo očekivanog rukopisa.

Knjiga je podijeljena u jedanaest poglavlja. Prvo poglavlje posvećeno je temeljnim pojmovima iz područja automatskog vođenja. Jednostavnim, jasnim, ali stručnim rječnikom autor čitatelja uvodi u tematiku, sustavno pojašnjavajući ključnu terminologiju. Za jasnije razumijevanje, tekst je praćen brojnim slikama i tablicama.

U drugom poglavlju *Dinamičko vladanje procesa* brojnim primjerima popraćeni su dinamički modeli procesa prvog i drugog reda te integrirajući procesi. Pored primjera određivanja parametara modela procesa, mrtvog vremena, vremenske konstante i statičke karakteristike procesa jednostavnom grafičkom analizom, čitatelju se ukazuje i na mogućnost računalnog određivanja tih parametara regresijskim metodama upotrebom komercijalnih softverskih paketa.

Kod projektiranja i instalacije sustava za vođenje mjerenje, također, igra jednu od ključnih uloga. Još je Galileo Galilei prepoznao temeljnu ulogu mjerenja u razumijevanju svijeta oko nas, ista-

* Doc. dr. sc. Antonija Čelan
 e-pošta: antonija.celan@ktf-split.hr

knjuši: "Mjeri što se može mjeriti, a učini mjerljivim ono što se još ne može." Tom je mišlju postavio temelje znanstvenog pristupa koji se ne oslanja samo na subjektivna opažanja, već na kvantitativno iznošenje činjenica. Tri stoljeća kasnije, na Galileovu ideju nadovezao se Lord Kelvin naglašavajući da je mjerenje prvi korak prema pravom znanju. Prema Kelvinu, "Kada možete mjeriti ono o čemu govorite i izraziti to brojevima, tada o tome nešto znate; no kada to ne možete, vaše je znanje oskudno i nezadovoljavajuće..." Stoga je treće poglavlje *Mjerna osjetila i pretvornici* najvećim dijelom posvećeno mjerenju i to značajkama mjernih pretvornika, potom mjernom signalu, odnosno njegovoj prilagodbi i samom prijenosu do regulatora. Odabir mjerne opreme u tom je poglavlju obrađen samo u onoj mjeri koja je potrebna za razumijevanje njezina utjecaja na dinamiku regulacijskog kruga, budući da je riječ o složenoj i opsežnoj temi. Međutim, ipak je dan kratki pregled pitanja na koja inženjer mora odgovoriti pri odabiru mjernih osjetila i pretvornika, što će inženjerima svakako biti od praktične koristi.

Samo srce, ili bolje rečeno – mozak svakog regulacijskog kruga čini upravo regulator. Peto poglavlje *Regulatori i regulacija* posvećeno je upravo njima. Obrađeni su osnovni tipovi – dvopoložajni/višepoložajni regulatori te kontinuirani regulatori. Kod kontinuiranih detaljno je pojašnjeno proporcionalno, integracijsko i derivacijsko djelovanje. U tom poglavlju do izražaja dolazi autorova sistematičnost u radu. Naime, ovisno o tipu djelovanja koje je na regulatoru uključeno, razlikuju se P, PI, PD i PID regulatori. Ovdje autor za svaki od navedenih shematski prikazuje regulacijski krug, prati ga opisom ključnih karakteristika, algoritmom te odzivom regulatora na skokomitu promjenu pogreške. Na kraju poglavlja sumarno su u dvije tablice navedeni svi algoritmi te karakteristike, ovisno o vrsti regulatora. Tim se čitatelju omogućuje jasno razumijevanje njihovih međusobnih razlika, što predstavlja temelj za pravilnu primjenu i ugađanje regulatora u praksi.

Peto poglavlje *Izvršne sprave i regulacijski ventili* posvećeno je zadnjem elementu regulacijskog kruga. Iako su navedene različite vrste izvršnih sprava, poglavlje je primarno namijenjeno regulacijskim ventilima koji su ujedno i najčešće u primjeni. Prema tome, na početku poglavlja objašnjeni su svi dijelovi regulacijskog ventila, prikazane su različite vrste regulacijskih ventila ovisno o gibanju osovine te su objašnjene karakteristike regulacijskih ventila. Pored navedenog, autor detaljno pojašnjava na koji način se odabire i dimenzionira regulacijski ventil što je praćeno i primjerima.

Za optimalan rad regulacijskog kruga, pored odabira odgovarajućeg tipa regulacijskog ventila i mjerne opreme, ključno je ugađanje regulatora. Danas svaka tvornica ili industrijski pogon ima od nekoliko desetaka do nekoliko tisuća regulacijskih krugova. Primjerice, u tvornici ExxonMobil nalazi se oko 5000 regulacijskih krugova, u MOL-u u Mađarskoj oko 2500, dok ih rafinerija INA u Rijeci ima približno 1000. U cementarama ih je u pravilu između 50 i 70, u farmaceutskoj industriji prosječno oko pet po reaktoru, a na uređajima za obradu otpadnih voda oko petnaestak. Međutim, unatoč njihovoj brojnosti i važnosti, većina regulacijskih krugova nije optimalno ugođena, a prema podacima tvrtke ExperTune iz 2008. godine, postotak takvih regulacijskih krugova penje se čak do 85 %. U poglavlju *Ugađanje regulatora* autor se posebno bavi tom tematikom. Objašnjava cilj i svrhu ugađanja, potom koncept ugađanja, a konačno daje i pregled različitih metoda ugađanja regulatora, od klasične Ziegler-Nicholsove do numeričkih metoda ugađanja koje se temelje na modelu procesa.

Naravno, osim dobro ugođenog regulatora, optimalno vođenje procesa podrazumijeva i prikladan odabir strategije vođenja. U poglavljima 7. i 8. autor posebno izdvaja *kaskadnu regulaciju* te vođenje *unaprijednom* vezom kao dvije najznačajnije strategije. Osim tih dviju, u poglavlju *Posebne metode vođenja* obrađuje se proširenje i nadogradnja osnovnog algoritma regulatora. Autor navodi da se najčešće primjenjuju računski blokovi za konfiguriranje regulatora, regulacija omjera, regulacija nadjačavanjem te podijeljena regulacija. Koncept svih navedenih strategija vođenja detaljno je objašnjen i nizom praktičnih primjera praćenih slikom. Može se reći da je takav pristup obradi teme iznimno koristan, jer omogućava čitatelju premošćivanje teorije i inženjerske prakse.

Osim karakteristika svih dijelova regulacijskog kruga, autor kroz sva poglavlja ističe i potencijalne probleme s kojima se inženjeri u pogonu mogu susresti, pa tako i u desetom poglavlju, kao jedan od tih problema navodi i nemogućnost mjerenja ključnih procesnih veličina. Iako su tehnološke inovacije omogućile razvoj naprednih analizatora, cijena takvih uređaja je vrlo visoka. Kao jedno od rješenja nameću se softverski senzori koji su dio virtualne instrumentacije. Ideja uporabe softverskih senzora je u zamjeni, načelno skupih, *on-line* mjerenja, analitičkim empirijskim i poluempirijskim modelima koji će procijeniti procesne veličine od interesa. Upravo zbog činjenice da je softverski senzor po svojoj prirodi model, njegovom uporabom doprinosi se optimalnom vođenju procesa jer, osim procjene, on omogućava i predviđanje određenih procesnih veličina. U poglavlju *Softverski senzori* objašnjen je postupak razvoja takvog modela, od prikupljanja podataka, preko izgradnje i vrednovanja modela, pa sve do njegove primjene, koja može biti prilično široka. Na kraju poglavlja dan je konkretan primjer izvedbe softverskog senzora za nadzor kvalitete produkta i vođenje procesa u debutanizatorskoj koloni u Rafineriji nafte Sisak.

U posljednjem poglavlju *Sustavi za vođenje procesa* prikazano je kako se u praksi izvode regulacijski krugovi i povezuju u sustav za vođenje. Tim se zaokružuje tematika sadržana u knjizi, koja čitatelju pruža cjelovit uvid u područje automatskog vođenja procesa.

Sveukupno, sveučilišni udžbenik *Automatsko vođenje procesa* prof. dr. sc. Nenada Bolfa predstavlja iznimno vrijedan doprinos hrvatskoj stručnoj i sveučilišnoj literaturi. Nakon brojnih članaka koje je prof. Bolf godinama objavljivao u *Kemiji u industriji* i rubrici *Mjerna i regulacijska tehnika*, dio tih tekstova pronašao je svoje mjesto i u ovoj dugo očekivanoj knjizi. Iako je ponajprije namijenjena studentima tehničkih fakulteta, ona predstavlja iznimno vrijedan i praktičan materijal i za inženjere u industriji čiji je rad usmjeren na to područje. Posebno je pohvalna jasna struktura knjige i sustavan pristup obradi tematike što sadržaj knjige čini lako razumljivim i ugodnim za čitanje. Tome svakako pridonosi grafičko oblikovanje koje uključuje pripremu naslovnice, skica i ilustracija, koje je još jednom s prepoznatljivom estetikom i preciznošću realizirao Zdenko Blažeković. Konačno, može se s pravom reći da je prof. Nenad Bolf u ovom djelu uspješno spojio teoriju i praksu nudeći pritom inspiraciju budućim inženjerima da se posvete tom relativno zanemarenom području kemijskog inženjerstva u Hrvatskoj. Kao što je navedeno i u predgovoru, određeni broj specifičnih tema autor ostavlja za buduća izdanja, možda i u suvremenom, interaktivnom obliku. Ipak, osobno vjerujem da će tiskana knjiga ostati nezamjenjiva i u vremenu koje sve više teži digitalnim formatima.