

# imenje i nazivlje u kemiji i kemijskom inženjerstvu

Uređuje: Marija Kaštelan-Macan

## Automatika, vođenje, upravljanje i regulacija procesa

N. Bolf\*

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije  
Zavod za mjerenja i automatsko vođenje procesa  
Savska cesta 16/5A, 10 000 Zagreb

Teorija vođenja procesa visoko je razvijeno područje, u svojoj osnovi je primijenjena matematička disciplina, a primijenjena na vođenje procesa sastavni je dio kemijskog inženjerstva jer bez vođenja proces se ne može učiniti ni djelatnim ni svrhovitim. Razumijevanje vođenog procesa izričit je predmet kemijskog inženjerstva, a izvedba sustava za vođenje, pak, područje je oslonjeno na teoriju vođenja i primjenu računala.

Poznavanje načela vođenja procesa nužno je za svakog kemijskog inženjera. Tako na primjer projektanti moraju predvidjeti dinamičko vladanje procesa i procesne opreme jer postrojenja uvijek rade u dinamičkim uvjetima. Zadatak je inženjera, prema tome, projektirati, nadgledati izvedbu i voditi sustav na željeni način i pri definiranim radnim uvjetima.

Razvoj teorije vođenja, nove metode regulacije, suvremeni mjerni instrumenti, inteligentna osjetila i primjena računalnih metoda neprestano donose nove izazove, a tako je i s terminologijom za koju nije uvijek lako odrediti odgovarajuće nazivlje u hrvatskom jeziku.

Riječ automatika potječe od grčke riječi *αὐτόματον*, koja označuje ono što se događa samo od sebe. Za neku od ljudskih tvorevina za koju bismo rekli da je automatizirana ili da je automatska značilo bi to da djeluje sama pomoću ugrađenog mehanizma. Jedina je uloga čovjeka da je opskrbi potrebnom tvari, energijom i informacijama, pusti u rad, nadzire, te se služi rezultatima njezina rada.<sup>1</sup>

Najveći razvitak područje automatike doživljava tek u prošlom stoljeću budući da su ljudi spoznali sličnost vladanja i djelovanja takvih "samostalnih" tvorevina i živih bića. Tu spoznaju prvi je oblikovao i objavio američki znanstvenik Norbert Wiener. Za njegovo djelo najvažnije je otkriće činjenice da je za samostalno djelovanje neke tvorevine, bilo prirodne ili tehničke, potrebno svojstvo vođenja. Znanstveno gledište koje se temelji na tom otkriću Norbert Wiener je nazvao *kibernetika*. Pojam je izveo od grčke riječi, *κυβερνήτης*, što znači voditi, upravljati, usmjeravati.<sup>2</sup>

*Automatika* je danas sastavni dio znanosti o sustavima. To je znanstveno-tehnička disciplina koja obuhvaća analizu i sintezu jedinica za vođenje, sva različita pitanja njihove izvedbe i gradnje te široko područje teorije vođenja.

U hrvatskoj literaturi, iako nije obimna, postoji veliko šarenilo hrvatskog nazivlja vezanog uz osnovne pojmove vođenja. Juraj Božičević u prvom izdanju svog udžbenika iz 1979. "Temelji automatike" uvodi pojam *vođenje* i niz izvedenica koje se čine razložnijim i u duhu hrvatskog jezika.<sup>1</sup> U udžbeniku Zorana Vukića i Ljubomira Kuljače "Automatsko upravljanje – analiza linearnih

sustava" ne rabi se pojam vođenje, već se upotrebljava riječ *upravljanje*. Isto tako se drugačije interpretiraju i neki drugi pojmovi.<sup>3</sup>

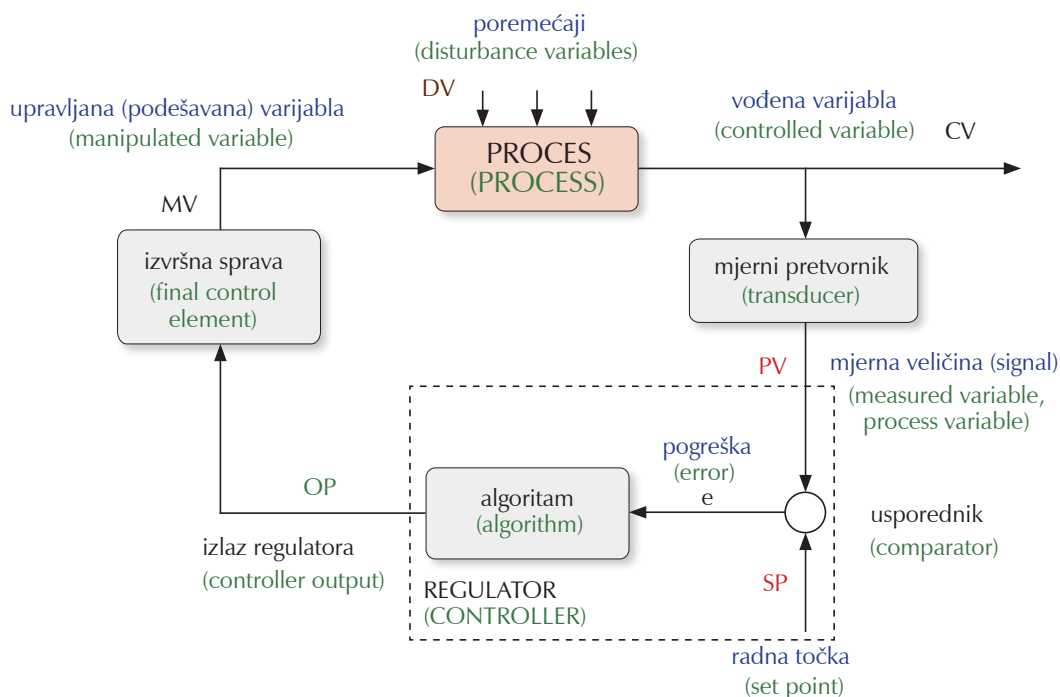
Profesor Božičević pisao je o istoj temi u "Glasniku hrvatske akademije tehničkih znanosti" početkom 2000-ih.<sup>4</sup> Prema njemu *vođenje* odgovara engleskom pojmu *control*. U članku se nabraja i niz srodnih engleskih pojmova glagolu *to control*, koji se u teoriji vođenja i znanosti o sustavima razlikuju:

- *to control* – *voditi*, čvrsto usmjeravati reguliranjem ili obuzdavanjem; često ima smisao potpune dominacije
- *to conduct* – *dirigirati*; *vladati*; voditi, nadzirati uz pomoć nečijeg znanja, vještine djelovanja ili mudrosti
- *to direct* – *usmjeravati*; *upućivati*; *ukazivati*, manje nadzirati po jedinosti, ali naglašavati pitanje općeg reda ili odnosa
- *to manage* – *voditi poslove*, nadzirati uz osobno rukovanje svim pojedinostima
- *to guide* – *navoditi*; *usmjeravati*; djelovati kao vodič, pokazivati put koji čini netko potpuno upoznat sa smjerom; uključuje njegovu stalnu nazočnost ili usmjeravanje tijekom puta (npr. navoditi raketu)
- *to lead* – *predvoditi/prednjačiti*, ići naprijed u svrhu pokazivanja puta/načina i figurativno ukazivati, preuzimati inicijativu
- *to steer* – *kormilariti*, *upravljati*, *manevrirati* pri vođenju stanovitog objekta da bi se održao pravi smjer/put
- *to pilot* – *pilotirati*, voditi teškim putem, posebice s preprekama i zavojima; voditi zrakoplov
- *to command* – *komandirati*, *naređivati*, *upravljati*, izdavati naredbe o djelovanju bez obziranja na stanje onoga kome se naredbe prenose.

U suvremenom kemijskom inženjerstvu u području automatskog vođenja procesa rabi se niz pojmova, a u nastavku ćemo najprije navesti neke osnovne pojmove, zajedno s engleskim nazivom i kratkim objašnjenjem:<sup>5</sup>

- *automatika* (engl. *automatics*) – znanstveno-tehnička disciplina koja se bavi teorijom i tehnikom automatskog vođenja; oslonjena na matematičku teoriju
- *automatizacija* (engl. *automation*) – postupci uvođenja i primjene automatskog vođenja
- *regulacija* (engl. *regulation*) – tradicionalni naziv za jednostavne načine vođenja
- *vođenje* (engl. *control*) – održavanje željenih uvjeta u sustavu podešavanjem odabranih varijabli u sustavu

\* Izv. prof. dr. sc. Nenad Bolf, internetska stranica: <http://lam.fkit.hr>  
e-pošta: [bolf@fkit.hr](mailto:bolf@fkit.hr)



Slika 1 – Regulacijski krug  
Fig. 1 – Control loop

– *kibernetika* (engl. *cybernetics*) – spoznaja zakonitosti procesa vođenja u prirodi, tehnici i društvu (analiza) kako bi se temeljem tih spoznaja projektirali tehnički sustavi (sinteza) odnosno poboljšali prirodni sustavi.

Također pri sustavskom razmatranju procesa i za razumijevanje automatskog vođenja vrlo je važno razlučiti tri važna pojma vezana uz sve procese:

- *vođene varijable* (engl. *controlled variables*)
- *upravljane (podešavane) varijable* (engl. *manipulated variables*)
- *poremećajne varijable* ili *poremećaji* (engl. *disturbances*),

kako je to prikazano na slici 1. *Vođene varijable* su oni procesni tokovi ili stanja koje treba voditi ili održavati na željenoj vrijednosti. To mogu biti protok, razina, tlak, temperatura, koncentracija/sastav i druge procesne varijable. One predstavljaju posljedice promjena u procesu i pri sustavskom razmatranju smatraju se *izlazima* (engl. *outputs*). Za svaku vođenu varijablu zadaje se stanovita željena vrijednost koja se naziva *radna točka* ili *referentna (zadana) vrijednost* (engl. *set point*).

Svakoj vođenoj varijabli pridružuje se odgovarajuća upravljana varijabla. Kod vođenja procesa uglavnom se upravlja (podešava) regulacijski ventil. Poremećaji djeluju na proces i pomiču vođenu varijablu dalje od referentne vrijednosti. Upravljane varijable i poremećaji predstavljaju uzrok promjena u procesu i nazivaju se *ulazi* (engl. *inputs*).

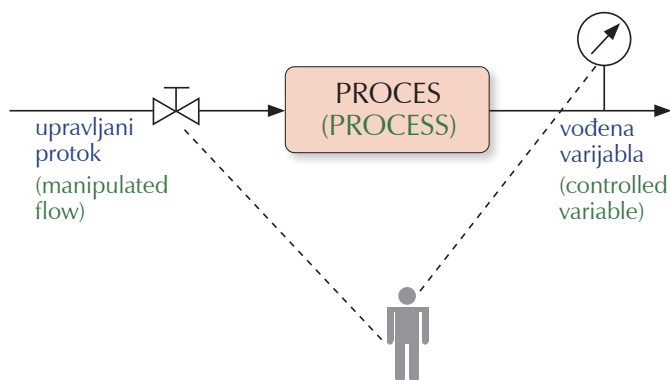
Zadatak sustava za automatsko vođenje je mijenjati upravljane varijable tako da zadana vrijednost vođene varijable bude zadržana unatoč djelovanju poremećaja. To se u slučaju stalne vrijednosti radne točke naziva *automatska stabilizacija*. Također je moguće mijenjati željenu vrijednost pa se i u tom slučaju upravljane varijable moraju promijeniti kako bi slijedile vrijednost vođene varijable. To se naziva *slijedno vođenje* (engl. *tracking control*).

*Ručno vođenje* (engl. *manual control*) prikazano je na slici 2. Na izlaznom toku procesa je indikator koji operatoru daje informaciju o trenutačnoj vrijednosti vođene veličine. Operator očitava indi-

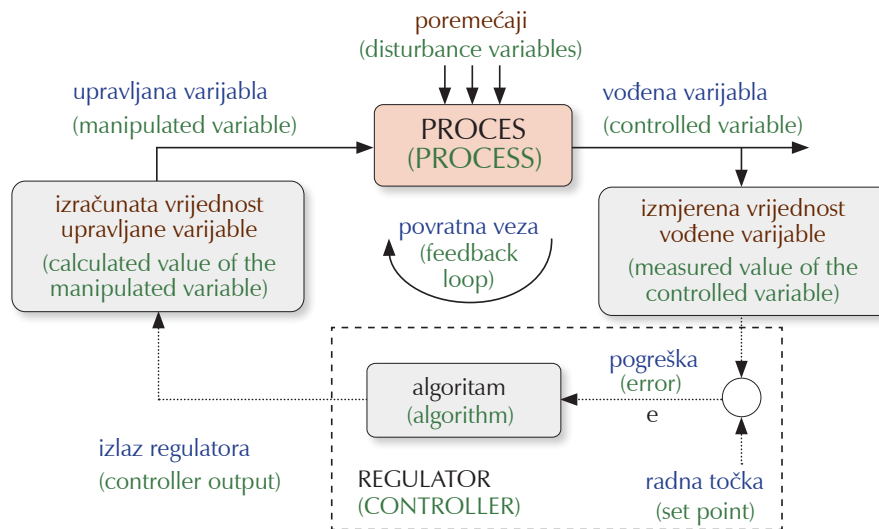
kator i ručno podešava ventil kako bi postigao željenu vrijednost vođene veličine. Sve odluke donosi sam operator.

*Vođenje povratnom vezom* (engl. *feedback control*) je temeljni način automatskog vođenja procesa. Zamisao je prikazana na slici 3. Osjetila ili mjerni instrumenti kontinuirano mjere vrijednosti vođenih varijabli. Te vrijednosti se prenose do jedinice za vođenje (regulatora) koja djeluje povratnom vezom – automatski uspoređuje željene i izmjerene vrijednosti vođene varijable. Na temelju njihove razlike regulator računa iznos izlaz regulatora koji predstavlja potrebnu vrijednost upravljane varijable. Signali se prenose do *izvršnih elemenata* (obično regulacijski ventil) koji podešavaju ulaze procesa.

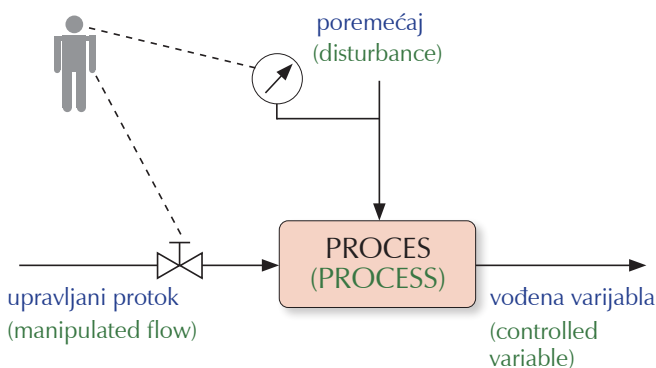
*Vođenje na načelu unaprijedne veze* (engl. *feedforward control*) konceptualno se razlikuje od vođenja na načelu povratne veze. Ručna provedba ovakvog vođenja prikazana je na slici 4. Operator prati ulazni poremećaj (engl. *disturbance*) ili teret (engl. *load*) u procesu putem indikatora i na temelju te informacije namješta upravljane varijable tako da spriječi veću promjenu ili varijaciju vođene varijable.



Slika 2 – Ručno vođenje  
Fig. 2 – Manual control

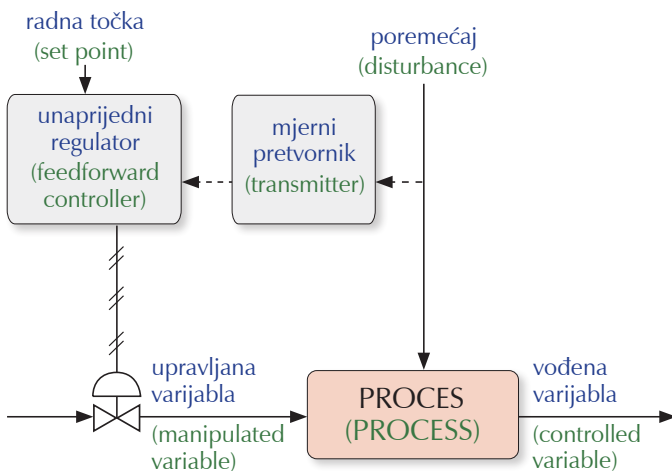


Slika 3 – Vođenje povratnom vezom  
Fig. 3 – Feedback control



Slika 4 – Ručno unaprijedno vođenje  
Fig. 4 – Manual feedforward control

Slika 5, pak, prikazuje zamisao automatskog vođenja unaprijednom vezom (engl. *automatic feedforward control*). Prikazani su poremećaj koji djeluje na proces i osjetilo koje mjeri taj poremećaj. Na temelju izmjerene vrijednosti poremećaja, regulator djeluje na unaprijednom načelu računajući potrebnu vrijednost upravljane varijable.



Slika 5 – Vođenje unaprijednom vezom  
Fig. 5 – Feedforward control

Jasno je da unaprijedni regulator mora izvesti određeni proračun. Unaprijedni regulator računa vrijednost upravljane varijable potrebne da kompenzira poremećaje. Ako postoji dobar matematički model, unaprijedni regulator može automatski izračunati promjenu upravljane varijable potrebne da se poremećaji kompenziraju. Prema tome, za unaprijedno vođenje potrebno je inženjersko znanje o procesu i određene tehničke vještine. U praksi se unaprijedno vođenje, u pravilu, primjenjuje zajedno s vođenjem povratnom vezom (engl. *feedforward-feedback control*). Povratnom vezom se kompenzira nesavršenost modela za unaprijedno djelovanje.

Još jedno područje na koje valja upozoriti su *objekti u gibanju* ili *pokretni objekti* (engl. *moving objects*), koji predstavljaju posebnu grupu vezanu uz svrhovito gibanje cijelog objekta ili samo jednog njegova dijela. Karakteristični primjeri su gibanje alata u alatnim strojevima, gibanje hvataljke industrijskog manipulatora, gibanje broda, automobila ili zrakoplova, odnosno područje robotike. Kod vođenja objekta u gibanju vodi se baš taj dio koji se giba ili, ako se giba cijeli objekt, onda se vodi on sam. Pojam vezan uz vođenje objekata u gibanju je i *navođenje* (engl. *guide*), na primjer navođeni projektil (engl. *guided missile*). Kod vođenja objekata u gibanju pomoću povratne veze uobičajeno je da se takav regulacijski sustav naziva *servosustav* (engl. *servo system*).<sup>6</sup>

Sljedećom prilikom obradit ćemo pojmove koji su se pojavili u području vođenja procesa u novije vrijeme, a posebno kod *naprednog vođenja procesa* (engl. *advanced process control – APC*) i primjene metoda umjetne inteligencije – neizravne logike (engl. *fuzzy logic*) i neuronskih mreža (engl. *neural networks*). Ovdje spadaju vođenje *poduprijeto modelom procesa* (engl. *model-based control – MPC*), *optimalno vođenje* (engl. *optimal control*), *prilagodljivo vođenje* (engl. *adaptive control*), *inteligentno vođenje* (engl. *intelligent control*) i druge tehnike naprednog vođenja.

#### Literatura

1. J. Božičević, *Temelji automatike 1*, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
2. N. Wiener, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, J. Wiley, New York, 1948.
3. Z. Vukić, Lj. Kuljača, *Automatsko upravljanje – analiza linearnih sustava*, Kigen d. o. o., Zagreb, 2005.
4. J. Božičević, *Rječnik: Vođenje i upravljanje*, Glasnik hrvatske akademije tehničkih znanosti, Vol. 8, br. 1, 2001.
5. <http://lam.fkit.hr> (5. 5. 2014.).
6. [http://laris.fesb.hr/digitalno\\_vodjenje/](http://laris.fesb.hr/digitalno_vodjenje/) (5. 5. 2014.).