

# Multivariabilno prediktivno funkcijsko vodenje avtoklava

Aleksander Preglej<sup>1,\*</sup> – Igor Steiner<sup>1</sup> – Sašo Blažič<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INEA d.o.o., Slovenija

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Slovenija

V prispevku je predstavljeno prediktivno funkcijsko vodenje avtoklava na uni- (PFC) in multi- (MPFC) variabilen način. Vodenje je načrtano na podlagi zgrajenega matematičnega modela avtoklava, kjer smo se ukvarjali s procesi prehoda toplote in spreminjanja tlaka z delovnim območjem temperature do 180 °C in tlaka do 7 bar.

Najprej smo zapisali enostavne osnovne principe prediktivnega vodenja. Algoritem temelji na eksplicitni uporabi dinamičnega modela za napoved prihodnjega izhoda procesa čez končni horizont in določitev prihodnje regulirne akcije tako, da minimizira izbrano kriterijsko funkcijo. Regulirna akcija poskrbi, da napovedani izhod procesa sovпада z referenčno trajektorijo, ki je podana v obliki referenčnega modela. Glavna ideja prediktivnega vodenja je izenačitev spremembe izhoda procesa in spremembe izhoda modela, od koder dobimo regulacijski zakon.

Nadalje smo predstavili regulacijski zakon prediktivnega vodenja, razširjen za multivariabilne (MV) sisteme. Problem zakasnitev procesa se zaobide s pomožno spremenljivko izhoda nezakasnjeneja procesa, zato model nezakasnjeneja procesa podamo v diskretnem MV-prostoru stanj. Ostali principi so enaki univariabilnemu (UV) prediktivnemu vodenju, kjer se referenčni model prav tako poda v obliki diskretnega prostora stanj.

V nadaljevanju smo povzeli pravila za nastavljanje parametrov obeh prediktivnih regulatorjev, ki običajno dajejo najboljše rezultate glede na kakovost vodenja in robustnost. Prva zahteva je poznan model procesa, ki ga v primeru PFC lahko zapišemo s časovno konstanto, ojačenjem in zakasnitvijo, v primeru MPFC pa v obliki diskretnega prostora stanj s sistemsko, vhodno in izhodno matriko. Od tukaj najprej je treba podati le dva parametra; prvi je referenčni model, ki je v primeru PFC podan z zeleno časovno konstanto sistema, v primeru MPFC pa v obliki diskretnega prostora stanj, kjer podamo le sistemsko matriko. Drugi parameter je horizont, v katerem želimo, da se zaprtizančni odziv sistema čim bolj prilaga referenčnemu odzivu. Zaradi enostavnosti je tudi ta parameter povezan s prvim parametrom.

Oba prediktivna algoritma smo implementirali na linearizirana in poenostavljena modela avtoklava, za primerjavo pa smo načrtali in implementirali tudi klasičen PI-kompenzator. Rezultati kažejo izredno učinkovitost pristopa MPFC. Sicer imajo odzivi z vsemi tremi algoritmi podobno hiter dvizni čas, vendar se odziva pri PI in PFC precej počasneje približata želeni vrednosti zaradi počasnejše nastavitve regulatorjev, saj so bili izhodi regulatorjev pri hitrejših nastavitvah zelo nemirni. Križne povezave MV-sistema sicer pri modelu avtoklava niso močne, zato se pri izničenju vplivov interakcij oba prediktivna algoritma izkažeta podobno, medtem ko PI-algoritem deluje precej slabše. Pri modelih z močnejšimi križnimi povezavami pa pristop MPFC pokaže svoje bistvene prednosti pred pristopom PFC pri izničenju vplivov interakcij in tako lahko zaključimo, da je proces avtoklava smiselno voditi z algoritmom MPFC.

Možnosti za nadaljnje delo se kažejo v mehkem pristopu k vodenju avtoklava, saj ima le-ta široko delovno področje in zelo različne režime delovanja, zato se model procesa v različnih delovnih točkah lahko razlikuje. Smiselno bi bilo razviti mehki model avtoklava po celotnem delovnem področju in za vodenje uporabiti multivariabilni prediktivni funkcijski algoritem na podlagi mehkega modela (FMBMPC).

Pri prikazanem postopku implementacije MPFC vodenja avtoklava je kljub MV-naravi procesa poudarek na enostavnosti. Večina klasičnih MV-pristopov vodenja zahteva komplicirano načrtovanje in implementacijo, zaradi česar je MV-vodenje nepriljubljeno v industrijskem okolju. Klasični UV-pristopi pa pogosto slabo izničijo vplive interakcij MV-sistema. Predstavljeni pristop k vodenju MPFC pa je enostaven tako za načrtovanje kot tudi za implementacijo, zato bi bil primeren za preizkus in uporabo na realni MV-napravi v industriji. Tako je predstavljeni pristop lahko uporaben za strokovnjake, ki se ukvarjajo z vodenjem kompleksnejših procesov MV-narave, hkrati pa je algoritem relativno enostavno razširljiv za vodenje MV-procesov na podlagi mehkega modela, kar še dodatno razširi njegovo uporabnost.

**Ključne besede: prediktivno vodenje, multivariabilno vodenje, avtoklav, temperatura, tlak, križne povezave**