

Kibernetsko-fizični pristop k upravljanju in krmiljenju proizvodnih sistemov

Elvis Hozdič*¹ – Dominik Kozjek¹ – Peter Butala^{1, 2}

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

² Tshwane tehniška univerza, Oddelek za industrijsko strojništvo, Južna Africa

Industrija 4.0, ki odpira prostor za popolnoma nove pristope v industrijski proizvodnji, temelji na novih znanstvenih odkritjih, obogatenu znanju, novih materialih ter novih tehnologijah, zlasti na področju informacijskih in komunikacijskih tehnologij (ICT). Nove organizacijske oblike in principi inovativnega upravljanja, samo-organizacija, učenje, odprta inovativna okolja, kolaboracija ter mreženje ljudi in organizacij predstavljajo ključne elemente za transformacijo tradicionalnih proizvodnih sistemov v novo generacijo avtonomnih, distribuiranih in mrežno povezanih proizvodnih sistemov. Pri tem sta digitalizacija in kiberneticizacija ključna procesa za preoblikovanje proizvodnih sistemov v kibernetsko-fizične sisteme.

Cilj predstavljene raziskave je razvoj novega koncepta kibernetsko-fizičnih proizvodnih sistemov (KFPS), ki bo omogočal preobrazbo proizvodnih sistemov v kibernetsko-fizične sisteme in njegova implementacija na področju upravljanja in krmiljenja, ki je ključnega pomena za učinkovito obvladovanje proizvodnih sistemov v realnem času.

V članku je predstavljen novi generični konceptualni model KFPS. Ključna značilnost konceptualnega modela je strukturiranje elementov proizvodnega sistema v tri prostore, to je (1) v fizični prostor, kjer se nahajajo fizični elementi, kot so stroji, delovni procesi, orodja, ipd., (2) socialni prostor, kjer se nahajajo različni subjekti ter (3) kibernetski prostor, kjer se nahajajo digitalni elementi in preko katerega se povezujejo fizični in socialni elementi. Povezovanje med prostori je realizirano preko komunikacijskih vmesnikov, kjer tudi prihaja do pretvorbe analognih signalov v digitalne in obratno. Znotraj posameznega prostora pa je možna horizontalna povezava med elementi. Bistveni element kibernetskega prostora je kibernetski sistem, ki omogoča realizacijo vrste digitaliziranih proizvodnih funkcij, kot so upravljanje s podatki in znanjem, učenje, simulacije, nadzor, krmiljenje, ipd., kot tudi povezovanje s fizičnimi in socialnimi elementi ter mrežno povezovanje v internet stvari, internet storitev in proizvodne mreže. Kibernetski sistem tako omogoča vertikalno integracijo v kompleksne sestavljene delovne strukture, kot tudi horizontalno integracijo v različne mrežne strukture.

Na osnovi konceptualnega modela KFPS so izpeljani trije referenčni modeli, ki definirajo osnovne proizvodne strukture na treh nivojih proizvodnega sistema – na nivoju upravljanja, na nivoju vodenja in koordiniranja ter na operativnem nivoju. Uporaba konceptualnega modela in izpeljanih referenčnih modelov je demonstrirana na primeru planiranja in krmiljenja proizvodnje. Področje planiranja in krmiljenja proizvodnje je zelo zahtevno področje, še posebno v projektni proizvodnji, ki vključuje razvoj proizvoda po naročilu, saj gre za zelo raznoliko proizvodnjo in majhne serije. Njegove funkcije pa se nahajajo na vseh nivojih – od nivoja tovarne do nivoja posameznih elementarnih delovnih sistemov. Problem planiranja in krmiljenja proizvodnje je tudi ta, da prihaja med izvajanjem urnikov do številnih sprememb in motenj, ki so tudi naključne narave, vse to pa rezultira v zamude, prekomerne obremenitve posameznih delovnih sistemov, izpade proizvodnje, ipd. Gre za kompleksen problem, pri katerem klasični pristopi ne dajejo ustreznih rezultatov.

V članku je predstavljen nov pristop k planiranju in krmiljenju proizvodnje v realnem času na osnovi digitaliziranih in kiberneticiziranih funkcij. Koncept je realiziran z uvedbo nove funkcije samoorganizacije, ki omogoča avtonomno odločanje posameznega elementarnega delovnega sistema o svojih aktivnostih, pri čemer pa upošteva navodila in omejitve iz nadrejenih organizacijskih in sistemskih struktur. Funkcija samoorganizacije se aktivira ob vsakem novem dogodku (npr. ko je dodeljena nova naloga, ko pride do zakasnitev v izvajanju naloge, ali če pride do alarmnih stanj zaradi napake v sistemu, ipd.). Rezultat funkcije samoorganizacije je lokalna agenda oz. vrstni red nalog, ki čakajo na izvedbo na elementarnem delovnem sistemu. Agenda se dinamično prilagaja situaciji v proizvodnem sistemu na osnovi različnih heurističnih algoritmov, s čimer je omogočeno adaptivno upravljanje celotnega proizvodnega sistema.

Demonstracija predloženega koncepta kibernetsko-fizičnih proizvodnih sistemov in novega pristopa k planiranju in krmiljenju proizvodnje je predstavljena s simulacijskim eksperimentom na osnovi realnih industrijskih podatkov iz podjetja, ki se ukvarja z razvojem in proizvodnjo visokotehnoloških produktov na osnovi naročil. Primerjava rezultatov simulacije, ki so potekale po različnih scenarijih kaže, da omogoča uvedba funkcije samoorganizacije in dodatnih komunikacij med elementi v kibernetskem sistemu boljšo proizvodno performanco z vidika izbranih kazalnikov uspešnosti.

Ključne besede: industrija 4.0, digitalizacija, kiberneticizacija, kibernetsko-fizični proizvodni sistem, planiranje in krmiljenje proizvodnje, samo-organizacija