

IZZIVI SODOBNE PROIZVODNJE

– POGOVOR S PROF. DR. NIKOM HERAKOVIČEM

Dragica Noe

Prof. dr. Niko Herakovič je predstojnik Katedre za izdelovalne tehnologije in sisteme ter vodja Laboratorija za strego, montažo in pnevmatiko – LASIM na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani. V obdobju od 1996 do 2004 je bil urednik revije Ventil in je bistveno prispeval k njegovi uveljavitvi ter obliki, ki jo ima še zdaj.

Pogovor bo potekal v povezavi z njegovim delom pri razvoju konceptov pametnih tovarn in zagonu prototipnega oz. demonstracijskega sistema pametne tovarne v laboratoriju LASIM.



Prof. dr. Niko Herakovič

Ventil: V zadnjem času je bilo veliko povedanega in napisanega o novih konceptih proizvodnje, ki so dobili skupno ime pametne tovarne. Kaj natančno opredeljuje pametne tovarne?

Prof. dr. N. Herakovič: V zadnjem času je res veliko govora o t. i. pametnih tovarnah, vendar ni neke jasne predstave, kakšna naj bi takšna tovarna bila.

Večina si predstavlja pametno tovarno, ki je popolnoma avtomatizirana in predvsem robotizirana. Vendar moramo biti pri tem previdni. Pametna tovarna je namreč lahko robotizirana tovarna, nikakor pa ni vsaka robotizirana tovarna tudi pametna. Za to je potrebnega nekaj več. Pametna tovarna mora biti sposobna upravljati kompleksnosti, mora biti učinkovita, fleksibilna in agilna ter robustna, torej mora biti manj podvržena zunanjim vplivom in zastojem. V pametni tovarni ljudje, stroji, izdelki in drugi viri komunicirajo drug z drugim, tudi s kupci in dobavitelji, torej z oskrbovalno verigo, kar omogoča skrajševanje pretočnih časov. Zato morajo biti objekti obravnavani kot subjekti. Pri tem potrebujemo standardizirane mrežne vmesnike, ki omogočajo komunikacijo, edinstveno identiteto in spomin, avtonomnost in možnost lokaliziranja v vsakem trenutku. Še posebej pomembno pa je, da morajo biti vsi (proizvodni) procesi, postopki, izdelki in stroji popisani z modeli v digitalnem okolju. Tisto najpomembnejše, kar opredeljuje pametno tovarno, za razliko od klasične, pa je, da sprejema pametna tovarna večino odločitev samodejno in v veliki meri avtonomno, pri tem pa ji pomagajo umetna inteligenca (AI) in digitalni agenti, ki so neke vrste digitalni ljudje.

Ventil: Kateri so razlogi in pogoji za uspešno delovanje tovrstnih sistemov? Kako z njimi zagotoviti večjo učinkovitost proizvodnje?

Prof. dr. N. Herakovič: V bistvu gre pri pametni tovarni za kibernetško-fizične sisteme. Ko povežemo fizični svet in kibernetški svet v celoto, dobimo rešitve, ki omogočajo, da na primer roboti, ki so sami po sebi le kos kovine in na nek način »neumni«, postanejo inteligentni, samoučeči se roboti. Seveda



Slavnostna otvoritev demonstracijskega centra Pametna tovarna

na podlagi programske opreme, podprte z umetno inteligenco in na podlagi učinkovitih povezav med obema svetovoma. Podobno velja za stroje, senzore strojni vid itd. Torej, bistveni so inteligentni algoritmi na podlagi umetne inteligence, ki delujejo v ozadju, in pa učinkoviti komunikacijski protokoli oz. povezave med posameznimi sistemi, ki omogočajo, da lahko posamezni kibernetiko-fizični sistemi izmenjujejo podatke in tako komunicirajo do te mere, da lahko uskladijo delovne naloge, izdelajo plan dela itd. tako, da bo proizvodni proces potekal najbolj učinkovito. In tudi če pride med izvajanjem plana izdelovalnega procesa do motenj, zastojev ali sprememb naročil, lahko kibernetiko-fizični sistemi z nadzornimi algoritmi oz. umetno inteligenco to med seboj povežejo in najdejo najboljšo možno rešitev, da bo izdelovalni proces potekal naprej najbolj učinkovito. Podlaga, da lahko sistemi komunicirajo med seboj, je sledljivost izdelka z radiofrekvenčno identifikacijsko tehnologijo - RFID (ali kakšno drugo tehnologijo), ki deluje brezstično, na daljavo, podobno kot bančne kartice, parkirne kartice itd., ki v sebi nosijo zapise oz. informacije skozi celotni izdelovalni proces oz. v celotni življenjski dobi izdelka, da lahko kibernetiko-fizični sistemi od njih dobijo informacije in tako vedo, kaj se v procesu dogaja in kaj morajo samo postoriti.

Ventil: Ali lahko opredelite zgradbo in potrebne podsisteme v pametni tovarni?

Prof. dr. N. Herakovič: Zgradba pametne tovarne ni več tako hierarhična, kot pri klasični tovarni, ampak gre bolj za mrežno strukturo. Nekatere klasične, tipično hierarhične komponente tovarne odpadejo, ker jih nadomestijo digitalni dvojčki in digitalni agenti. Osnovno arhitekturo pametne tovarne določa standard RAMI 4.0 (Referenčni Arhitekturni Model Industrije 4.0). V laboratoriju LASIM smo ta model nadgradili s konceptom distribuiranih sistemov, digitalnih dvojčkov in digitalnih agentov. Vse skupaj smo zapisali v t. i. arhitekturni model LASFA (Lasim Smart Factory), ki zelo natančno določa, kje in na kakšen način uporabiti te tri koncepte pri snovanju pametne tovarne in kako se izogniti velepodatkom. Na podlagi modela LASFA je zgrajena tudi pilotna pametna tovarna v laboratoriju LASIM. Sicer slonijo pametne tovarne in celotna industrija 4.0 na širokem spektru znanih in novih tehnologij. Prve so tehnologije, ki so že toliko razvite, da jih redno uporabljamo v industrijskih procesih. Druga skupina so tehnologije, ki so že do neke mere znane, vendar se še naprej razvijajo in so v industrijskih okoljih v omejenem obsegu tudi že implementirane. V tretjo skupino sodijo tiste tehnologije, pri katerih poteka intenziven razvoj, uporabljajo se v laboratorijskih okoljih ali v pilotnih projektih in bodo zrele za implementacijo v industrijsko okolje v prihodnje. Če pogledamo ožji izbor nekaterih razvijajočih se in prihodnjih tehnologij, ki jih lahko imenujemo najpomembnejše tehnologije Industrije 4.0 in pame-

ne tovarne, so to vsekakor simulacije in digitalni dvojčki, internet stvari, avtonomni roboti, aditivne tehnologije (3D tisk), obogatena in virtualna resničnost, velepodatki (Big Data), tehnologije oblaka, kibernetska varnost ter horizontalna in vertikalna integracija. Vse te tehnologije zelo raziskujejo in jih v takšni ali drugačni obliki že uporabljajo v laboratorijskih okoljih in v pilotnih projektih pametnih tovarn. Poleg teh tehnologij se predlagajo še mnoge druge, pomembne tehnologije za tovarno prihodnosti, kot so oddaljeno in prediktivno vzdrževanje strojev, potem tehnologije, povezane z inteligentno logistiko – usmerjanje na podlagi podatkov, droni, avtonomna vozila in druge. K prihajajočim in razvijajočim se tehnologijam lahko prištejemo še naslednje tehnologije: umetna inteligenca in strojno učenje kot najnižja raven umetne inteligence, tehnologije veriženja blokov itd.

Ventil: *Kakšna je vloga simulacije procesa proizvodnje v realnem času?*

Prof. dr. N. Herakovič: Kot sem že omenil, so natančni in dinamični simulacijski modeli proizvodnih procesov in izdelka za tovarno prihodnosti oz. pametno tovarno zelo pomembni. Ko gre za povratnoznančno povezavo simulacijskega modela z realnim proizvodnim sistemom in procesom, govorimo o digitalnih dvojčkih procesov, sistemov in logistike. Tu govorimo o logistiki delovnih mest, proizvodnih linij, celotni interni logistiki in tudi o navezavi na celotno dobaviteljsko verigo, torej o eksterni logistiki – zaobjamemo lahko torej vse od mikrolgistike preko metalogistike do makrologistike. Vloga pametne tovarne je prav v tem, da lahko komunicira tudi navzven z dobavitelji in kupci in ves čas optimizira proizvodni proces tudi glede na zunanje parametre. Torej, digitalni dvojčki predstavljajo hrbtenico pametne tovarne. Prva stopnja na poti do digitalnega dvojčka je izdelava digitalnega modela proizvodnega procesa in sistema, kjer vse detajle z vsemi najmanjšimi vplivnimi parametri preslikamo v digitalno okolje in zgradimo kopijo realnega procesa in sistema v virtualnem okolju. Tu moramo biti zelo natančni pri popisu realnega sveta in ne smemo zanemariti manj vplivnih parametrov, če želimo v digitalnem okolju izvajati identičen proces, kot ga izvajamo v realnem okolju. V naslednjem koraku povežemo digitalni model tovarne s procesi in sistemi v realni tovarni in dobimo digitalni dvojček realne tovarne. Če lahko oba komunicirata v realnem času, je racionalno gledano digitalni dvojček ves čas enak kot je realni proces. Ta način pride v poštev le v pravih pametnih tovarnah, kjer moramo za sprejemanje odločitev uporabiti digitalne agente, ki delujejo s podporo umetne inteligence na nižji ravni. Tako sprotno, v realnem času, popravljajo proizvodni proces in proizvodne sisteme in jih prilagajajo trenutnim potrebam, kar je tudi njihova glavna vloga. Tako zagotavljajo maksimalno fleksibilnost in agilnost proizvodnega sistema z minimalnimi po-

tratami. Sicer pa je lahko v realnem življenju ta povratna zanka mnogo počasnejša, kar je seveda odvisno od posameznega realnega procesa in od potreb ter namenov uporabe digitalnega dvojčka. Tako lahko poteka povratna zanka na urni ali dnevni ali celo tedenski podlagi. V tem primeru vlogo digitalnih agentov in umetne inteligence prevzame človek. Namreč, ko že imamo digitalni dvojček realne tovarne, smo dosegli stopnjo, ko lahko izvajamo »kaj-če« scenarije v digitalnem okolju in pri tem ne porabljamo realnih virov, to je materiala, ljudi, energije, prostora itd. Tako lahko zelo učinkovito optimiziramo vse proizvodne in logistične procese tudi naprej.

Ventil: *Demonstracijski sistem pametne tovarne, ki ste ga skupaj s sodelavci zgradili v laboratoriju LA-SIM, je plod lastnega razvoja in raziskav. Kaj vas je vodilo pri njegovi zasnovi? Ste dosegli zastavljene cilje? Zakaj ste se lotili lastnega razvoja, ali takih sistemov ni mogoče kupiti?*

Prof. dr. N. Herakovič: Pametna tovarna, ki smo jo kot pilotni projekt postavili v našem laboratoriju, je koncipirana na specifičen in izviren način in vključuje digitalne agente ter umetno inteligenco. Takšnih demonstracijskih sistemov za zdaj ni mogoče kupiti. Zato smo tudi šli v lastni razvoj. Demonstracijski center pametna tovarna v našem laboratoriju nam omogoča nadaljnje raziskave na področju pametnih tovarn. Predvsem lahko bolj poglobljeno študiramo različne koncepte pametne tovarne ter njihov vpliv na učinkovitost, agilnost in fleksibilnost celotnega sistema. Prprav tako lahko bolj poglobljeno raziskujemo robne pogoje vključevanja umetne inteligence ter digitalnih agentov, digitalnih dvojčkov, pametnih ročnih delovnih mest v povezavi s kolaborativnimi roboti ter drugih omogočitev tehnologij v sistem pametne tovarne. Tudi študentom lahko sedaj omogočimo poglobljen študij in praktično delo na sistemu pametne tovarne in tako omogočimo prihodnjim inženirjem strojništva, da pridobijo ustrezne kompetence. Enako lahko omogočimo tudi strokovnjakom iz industrije, ki si želijo na specializiranih delavnicah pridobiti ali poglobiti znanje o konceptih in tehnologijah pametnih tovarn. Na ta način zagotavljamo bolj kakovosten prenos znanja v prakso, s čimer pomagamo tudi pri doseganju ciljev, ki si jih je zastavila Slovenija v strategiji Pametne specializacije. Nekatere tehnologije, ki smo jih najprej preverili v našem centru, smo že uspešno aplicirali tudi v različnih podjetjih. Na tem mestu se želim posebej zahvaliti koncernu Kolektor, predvsem mag. Valterju Lebanu, za finančno pomoč pri postavitvi našega centra.

Ventil: *Lahko na kratko predstavite zgradbo sistema in za kakšne izdelke je namenjen?*

Prof. dr. N. Herakovič: Pametna tovarna vključuje robotizirano montažno linijo, pametno regalno skladišče, pametno ročno delovno mesto in 3D tiskalnik



Prof. Herakovič pojasnjuje princip delovanja pametne tovarne

za izdelavo sestavnih delov. Zasnovana je v skladu z arhitekturnim modelom pametne tovarne LASFA in na konceptu distribuiranih sistemov, sledljivost in podlaga za komuniciranje med posameznimi gradniki pa je izvedena s tehnologijo RFID. Obenem vključuje vse glavne tehnologije Industrije 4.0, od digitalnih dvojčkov, digitalnih agentov z umetno inteligenco, simulacije in animacije, virtualne in razširjene realnosti programskega orodja LPM, ki smo ga razvili sami za funkcioniranje pametnega delovnega mesta, kolaborativne in industrijske robote, tehnologije interneta stvari, tehnologije oblaka, analitiko podatkov, aditivne tehnologije itd. Komunikacija med posameznimi gradniki je zagotovljena s komunikacijskim protokolom OPC UA (Open platform communication with unified architecture), ki uporablja kriptiranje in s tem tudi do neke mere kibernetsko varnost.

V demo centru je možno izdelati različne izdelke in variante izdelkov. Eden od izdelkov je Računalnik Raspberry Pi, ki omogoča izdelavo različni variant tudi z uporabo 3D tiskalnika – te variante si lahko naročnik naroči tudi po internetu in jih tiskalnik izdelava, nato grejo v proizvodnjo. Drugi izdelek je plošča s 64-timi polji za ploščice različnih barv in z barvami, ki jih imamo na voljo, omogoča več kot 1070 kombinacij oz. variant izdelka. Posamezni digitalni agenti, ki temeljijo na nižji stopnji umetne inteligence, komunicirajo z lokalnimi digitalnimi dvojčki in med

seboj ter z globalnim digitalnim agentom in planirajo proizvodni proces glede na aktualna naročila in vire ter material, ki ga ima tovarna trenutno na voljo. Če kaj manjka, lahko globalni agent sporoči dobaviteljski verigi, kaj je treba dobaviti, s tem, kar ima na voljo, pa izdelava najboljši plan dela in zažene proizvodnjo. Celotna pametna tovarna v demo centru je torej sestavljena iz realnega in digitalnega sistema, medsebojna komunikacija in povratne zanke pa potekajo preko lokalnih oblakov v samih distribuiranih sistemih, informacije, ki so pomembne za globalne agente in digitalne dvojčke pa izmenjujejo preko globalnega oblaka.

Ventil: *Ste pri svojem delu sodelovali s slovenskimi podjetji in koliko?*

Prof. dr. N. Herakovič: Naš laboratorij je izjemno močno vpet v sodelovanje s slovenskimi in tujimi podjetji. Takoj, ko razvijemo neko novo tehnologijo ali koncept, ga večinoma preverimo v realnem okolju. Pogosto pa črpamo izzive iz realnega okolja, nato v okviru raziskovalnega dela v laboratoriju iščemo ustrezne rešitve, jih najprej preverimo v laboratorijskem okolju, nato pa jih prenesemo v realno industrijsko okolje.

Ventil: *Kako so pripravljena slovenska podjetja v primerjavi s podjetji po svetu za nove izzive in za uvajanje konceptov pametne tovarne?*



Demonstracijski center Pametna tovarna

Prof. dr. N. Herakovič: Po mojem vedenju so nekatera slovenska podjetja, tudi v primerjavi z evropskimi, izjemno aktivna na področju uvajanja Industrije 4.0 in konceptov pametnih tovarn. Seveda gre večinoma le za uvajanje posameznih tehnologij Industrije 4.0 kot podporo LEAN-u, kar imenujemo Digitalni Lean. Nekaj podjetij v Sloveniji je tudi takšnih, npr. podjetje KOLEKTOR, ki postavljajo pravo podlago pametni tovarni in imajo izdelano strategijo v tej smeri. Torej pravih pametnih tovarn v Sloveniji še nimamo, je pa v podjetju Kolektor postavljena pilotna proizvodna linija, ki jo lahko imamo za pametno.

Težko je ta trenutek govoriti o razširjenosti pametnih tovarn v svetu, ker se nekatere tehnologije, ki so potrebne za učinkovito uvajanje koncepta pametne tovarne, v realnem okolju še vedno razvijajo, kot je npr. tehnologija 5G. Poleg tega je treba za vsako realno aplikacijo razviti kup komunikacijskih vmesnikov. So pa iniciative uvajanja koncepta pametnih tovarn v svetu izjemno močne, npr. v državah EU, v ZDA, na Kitajskem, na Japonskem in tudi v Južni Koreji. To pomeni, da uvajajo posamezne tehnologije in segmente koncepta pametnih tovarn v realno okolje. V EU prednjači Nemčija, ki je s to iniciativo začela leta 2011, potem so zelo aktivne nekatere evropske regije, ki se povezujejo v mreže, kot je npr. iniciativa Vanguard, povezava regij Grad Est, BadenWuerttemberg in Saarland itd.

Ventil: *Se povezujete tudi z drugimi raziskovalnimi ustanovami in kakšen je posluš države pri financiranju?*

Prof. dr. N. Herakovič: Pri razvoju konceptov pametnih tovarn se seveda povezujemo tudi z drugimi raziskovalnimi ustanovami in podjetji v Sloveniji in tudi v Evropi. Sodelujemo v različnih projektih in drugih povezovalnih iniciativah. Naš laboratorij je član SRIP-a tovarne prihodnosti, v okviru katerega sodelujemo z različnimi podjetji in raziskovalnimi organizacijami. Enako počnemo tudi kot člani Tehnološke mreže Tehnologije vodenja in DIH Slovenija. Poleg tega smo vključeni v evropsko regionalno iniciativo Vanguard. Posebej bi omenil program GOSTOP, v katerem sodelujemo s Kolektorjem, z IJS, s TECOS-om in nekaterimi drugimi. Ta program, ki ga financira država, je na področju razvoja tovarn prihodnosti prvič zares povezal različne akterje na tem področju v Sloveniji, da so združili raziskovalne in razvojne kapacitete in zares začeli sodelovati. Tako je nastalo že nekaj izjemnih rezultatov, ki bodo v prihodnje pomembno vplivali na razvoj pametnih tovarn v Sloveniji in na dvig dodane vrednosti na zaposlenega. Ministrstva, kot so MGRT, MIZŠ in še posebej SVRK izkazujejo seveda velik interes za naše delo in še posebej za področje tovarn prihodnosti ter pomagajo z različnimi razpisi in iniciativami. Vendar kot je to pogosto, je denarja vedno premalo.

Ventil: *Koliko so študenti Fakultete za strojništvo vključeni v delo Laboratorija na področju razvoja novih proizvodnih konceptov?*

Prof. dr. N. Herakovič: V delo laboratorija na področju razvoja in aplikacije tehnologij ter konceptov pametnih tovarn so vključeni predvsem doktorski

študentje in študentke, ki tvorijo srce laboratorija. Prav tako so vključeni diplomanti univerzitetnega RRP in visokošolskega VSŠ študija in tudi magistrskega študijskega programa. Sicer se študentje in študentke spoznavajo s tehnologijami in koncepti pametnih tovarn v okviru praktičnih oz. laboratorijskih vaj.

Ventil: Ali bodo lahko ob koncu študija pridobili ustrezne kompetence za delo v sodobni proizvodnji in katere so nujne?

Prof. dr. N. Herakovič: Vsekakor se v tej smeri trudimo vsi na Fakulteti za strojništvo. Tudi v laboratoriju LASIM je to tako moj cilj in tudi cilj mojih sodelavcev. Pri predmetih, ki jih predavam, se trudim podajati tudi najsodobnejše tehnologije na področju proizvodnih sistemov. Z demonstracijskim centrom Pametna tovarna je to še nekoliko lažje. Tako vsak, ki posluša moje predmete, pridobi vsaj osnovne kompetence na področju modeliranja in programiranja digitalnih dvojčkov ter povratnozančnega krmiljenja proizvodnega procesa, programiranja robotov v virtualnem in realnem okolju in tudi na drugih pomembnih tehnologijah industrije 4.0. Vse te tehnologije vadijo v laboratorijskem okolju v okviru laboratorijskih vaj. Vsekakor bodo morali tudi v realnem proizvodnem okolju pridobivati vedno nove tehnične kompetence, predvsem s področij informacijskih in komunikacijskih tehnologij, mehatronike in kibernetičnih sistemov – razumeti bodo morali predvsem povratnozančno krmiljenje. Poleg tehničnih kompetenc bodo izjemno pomembne tudi socialne kompetence, kot so zmožnost učenja, timsko delo, odgovornost, zmožnost reševanja problemov itd. Tudi na tem področju se trudimo in zagotavljamo pridobiti vsaj osnovne kompetence v okviru študija.

Ventil: Je mogoče uporabiti pridobljeno znanje in metode dela za povečanje učinkovitosti tudi v dru-

gih procesih, kot na primer v upravi ali pa v zdravstvu?

Prof. dr. N. Herakovič: Seveda so robni pogoji in tip »proizvodnega procesa« v upravi in zdravstvu drugačni, kot v proizvodnem okolju. Vendar lahko znanja in metode dela, predvsem če omenim digitalne dvojčke procesov v povezavi z vitkostjo, zelo uspešno apliciramo tudi v drugih sektorjih, kar smo dokazali že z nekaj projekti.

Ventil: V decembru pripravljate posvet Avtomatizacija strege in montaže ASM, ki je že mnogo let mesto za izmenjavo dosežkov med industrijo in Laboratorijem LASIM. Kaj želite letos še posebej poudariti?

Prof. dr. N. Herakovič: Kot ste že omenili, je Posvet ASM, ki se ga vsako leto udeleži okrog 150 udeležencev večinoma iz realnih industrijskih okolij, izjemna priložnost za izmenjavo dobrih praks, kar je za razširjanje digitalizacije in konceptov ter tehnologij pametnih tovarn v realno industrijsko okolje najpomembnejše. Na ta način udeleženci pridobijo nova spoznanja, znanja in kompetence, s tem pa pripomorejo k hitrejšemu dvigu dodane vrednosti na zaposlenega v lastnem podjetju. To je cilj, ki ga v Sloveniji zasledujemo skoraj vsi. Zato bomo tudi na letošnjem posvetu govorili o novih tehnologijah I 4.0, njihovi aplikaciji v realno okolje, o dobrih praksah, o kibernetični varnosti itd.

Ventil: Prof. Herakovič, najlepša hvala za izčrpne odgovore in za tako jasno ter podrobno predstavitev možnosti, ki jih ima proizvodnja v prihodnosti za povečanje svoje učinkovitosti in konkurenčnosti.

Izr. prof. dr. Dragica Noe
UL, Fakulteta za strojništvo
Uredništvo revije Ventil

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2019 - ASM '19

4. decembra 2019

na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani