

# Študij mehatronike na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani

Peter BUTALA, Ivan VENGUST

V času, ko poteka preobrazba univerzitetnega študija, je potrebno temeljito razmisliti o tem, kako omogočiti mladim ljudem osvajanje širokega spektra znanj, hkrati pa tudi spoznavanje sodobnih metod dela in pridobivanje ustreznih delovnih izkušenj že v času študija. Prispevek obravnava projektno usmerjen pristop k izobraževanju na področju mehatronike na univerzitetni ravni. Mehatronika je tehniška disciplina, ki povezuje znanja strojništva, elektrotehnike in informatike. Za obvladovanje razvoja, operacij in vzdrževanja mehatronskih proizvodov in sistemov je potrebna široka paleta specifičnih in poglobljenih znanj z navedenih področij. Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je bil program študija mehatronike uveden pred desetletjem in temelji na principu timskega projektne dela študentov. Lahko rečemo, da gre za primer dobre prakse, ki jo potrjuje vrsta uspešno realiziranih študentskih projektov. S tem predstavlja dobro osnovo za pripravo novih, bolonjskih študijskih programov.

## ■ 1 Izhodišča

Mehatronika je relativno mlado interdisciplinarno področje tehnike, ki danes prodira tako v industrijo kot tudi v izobraževalni prostor na vseh nivojih izobraževanja – od poklicnega, srednješolskega, višješolskega do univerzitetnega in podiplomskega.

Mehatronika postaja vedno bolj aktualna v slovenskem gospodarstvu. Industrija vidi svojo perspektivo tudi v razvoju in proizvodnji mehatronskih produktov. To spoznanje se je pred časom jasno izkristaliziralo v okviru slovenske tehnološke platforme ERTRAC, kjer se združujejo razvita podjetja iz avtomobilske branže. Industrija ocenjuje, da se bo na področju mehatronike v bližnji prihodnosti odprlo večje število zahtevnih delovnih mest, za katera pa pričakuje visoko usposobljene mlade strokovnjake.

Doc. dr. Peter Butala, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; dr. Ivan Vengust, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, PS, d. o. o., Logatec

O tem, da je mehatronika interdisciplinarno in kompleksno področje, govori dejstvo, da je za obvladovanje razvoja, operacij in vzdrževanja mehatronskih produktov in sistemov potrebna široka paleta znanj od strojništva, elektrotehnike in elektronike do sodobnih informacijsko-komunikacijskih tehnologij, sistemskih teorij in metod odločanja. To pomeni, da morajo biti inženirji mehatronike dobro teoretično podkovani na vseh navedenih področjih. Danes je tudi jasno, da zgolj teoretično znanje ne zadošča za izzive sodobnega časa. To znanje je potrebno aplicirati, to je vgraditi v produkte, za kar so potrebni tudi treningi raznih metod in orodij za delo in praktične izkušnje, pridobljene v projektne, timske delu. Vse navedeno pa odpira vrsto novih izzivov za izobraževalne institucije.

Ker gre za sodobno področje tehnike, moramo tudi v izobraževalni proces vstopiti s sodobnimi, inovativnimi metodami poučevanja. Pionir slovenske mehatronike, zaslužni profesor in akademik dr. Janez Peklenik je pred leti vpeljal na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani koncept projekt-

nega izobraževanja na področju mehatronike [1]. Izkušnje iz dosežanega pedagoškega dela ter vrsta uspešno realiziranih študentskih projektov, pri katerih skupine študentov razvijejo in izdelajo prototip kompleksnega mehatronskega sistema, kažejo, da sta učenje z delom (ang. learning-by-doing) in timsko projektno delo trenutno najboljša načina izobraževanja na tako kompleksnem področju, kot je mehatronika.

## ■ 2 Projektno usmerjen študij mehatronike

Za opredelitev področja in pripadajočih znanj, ki so potrebna za učinkovito obravnavanje mehatronike, moramo izhajati iz konsistentne definicije te vede. V literaturi je zaslediti številne definicije, po prepričanju avtorjev pa mehatroniko najbolje opredeljuje sledeča: »Mehatronika je sinergijska povezava mehanskih sistemov z informacijskimi tehnologijami in kompleksnimi metodami odločanja v načrtovanju in operacijah industrijskih proizvodov in procesov« [2].

Ta definicija poudarja tri osnovne gradnike mehatronike. Poleg me-

hanskih sistemov so to informacijsko-komunikacijske tehnologije (IKT), ki vključujejo (1) elemente za procesiranje in shranjevanje informacij, kot so računalniki, mikroprocesorji, DSP-procesorji ipd., (2) elemente za komunikacijo in prenos informacij, kot so industrijska vodila, lokalne računalniške mreže, brezžična omrežja, internet ipd., ter (3) različna inženirska programska orodja za načrtovanje in razvoj, kot so računalniško podprto konstruiranje (CAD), računalniško podprta proizvodnja (CAM) ipd. V kategorijo kompleksnih metod odločanja, ki predstavljajo »mehki del« in se vgrajujejo v programsko opremo mehatronskih sistemov, pa sodijo metode tehnične kibernetike, krmilne teorije, adaptivnega krmiljenja, inteligentnega procesiranja, samoučenja ipd. V zadnjih letih je bil razvoj še posebej intenziven na zadnjih dveh naštetih področjih!

Iz navedenega lahko razberemo, da gre za resnično širok spekter novih in hitro razvijajočih se znanj. Zato sta temeljni vprašanji, katera znanja nuditi študentom in kako jim jih posredovati, da bodo imeli tako ustrezno teoretično podlago kot tudi praktične izkušnje in na ta način pridobili kompetence, ki jim bodo omogočale uspešno uveljavitev in opravljanje poklica.

Profesor Peklenik je v devetdesetih letih razvil koncept študija mehatronike, ki deloma temelji na projektni organiziranosti v okviru t. i. izobraževalnega delovnega sistema (IDS), ki povezuje tim študentov s timom mentorjev in instruktorjev s ciljem [1]:

- razviti in do prototipa izdelati visokotehnološki proizvod, pri tem pa
- vzbuditi v študentu kreativnost, originalnost razmišljanja in sistemski pristop pri iskanju razvojnih rešitev;
- omogočiti razumevanje celotnega procesa razvoja VT-proizvodov in tehnološke realizacije ter razmišljanje v globalnih dimenzijah;
- uporabljati znanja iz osnovnih inženirskih disciplin pri obravna-

vanju kompleksnih razvojnih in tehnoloških problemov;

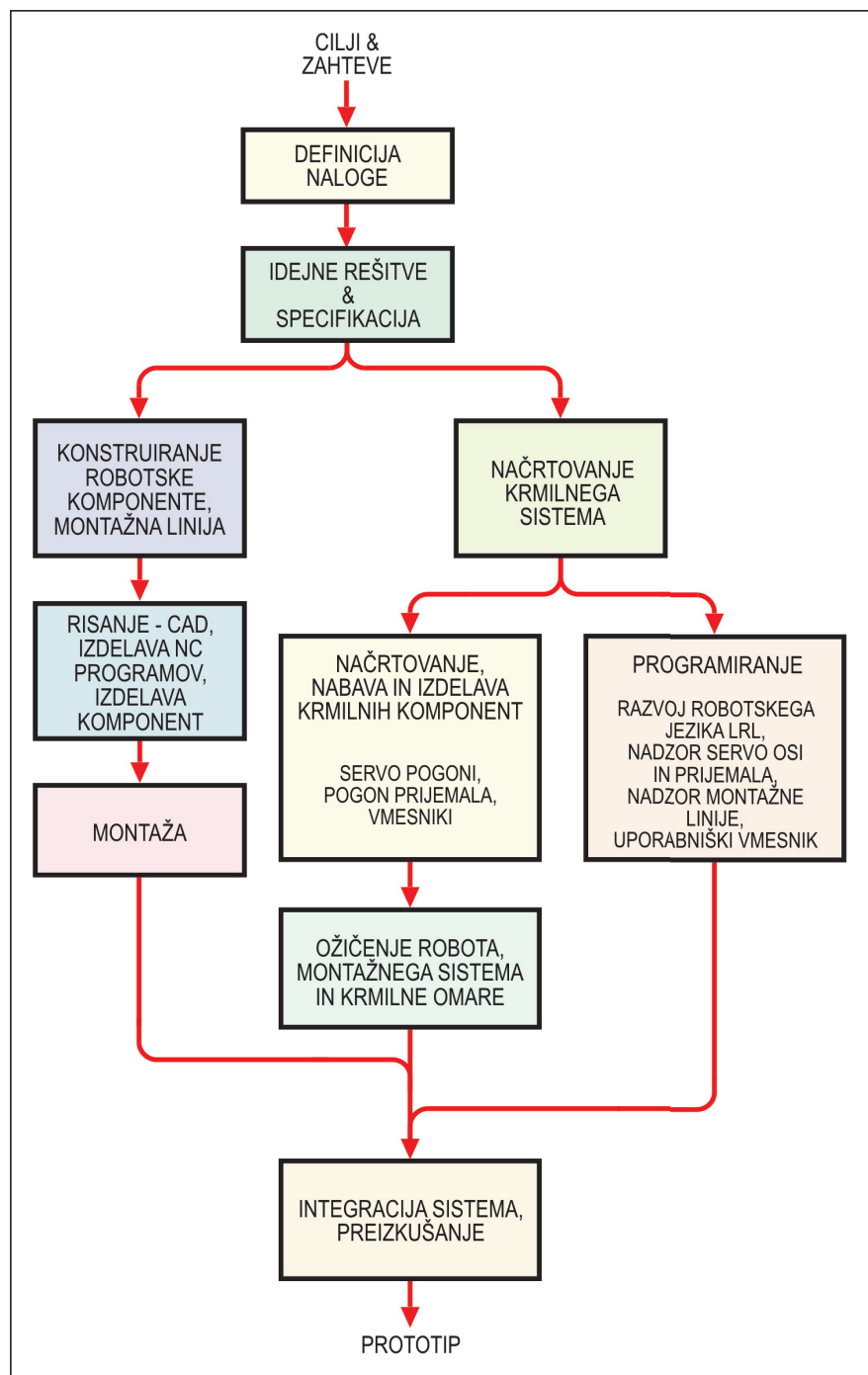
- naučiti se dela v timu in, kar je posebno pomembno,
- rešiti problem v predpisanem času.

Navedeni cilji so naravnani predvsem v razvoj vrste kognitivnih in funkcionalnih kompetenc študentov, da bodo sposobni učinkovitega obvladovanja razvoja in operacij kompleksnih mehatronskih sistemov s

sodobnimi metodami in orodji in v industrijskih razmerah dela v globaliziranem okolju. To pa je ravno tisto, kar naša industrija potrebuje in pričakuje od univerz.

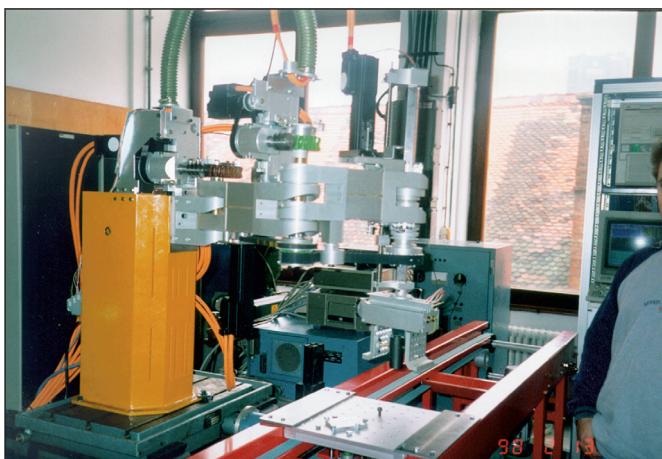
### 3 Študentski mehatronski projekti

Oglejmo si nekoliko podrobneje, kako poteka projektno delo študentov na študijski smeri Mehatronika, mikromehanski sistemi



Slika 1. Tipična sekvenca sočasnega razvoja kompleksnega mehatronskega sistema





Slika 2. Montažna celica s SCARA robotom [3]



Slika 3. CNC-stroj za lasersko rezanje pločevine [3]



Slika 4. Namizni CNC-gravirni stroj [5]

in avtomatizacija na univerzitetnem študiju Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani.

Na začetku semestra učitelji omenjene smeri seznanijo študente z okvirnimi temami projektnega seminarja. Študentje se potem odločijo za posamezno temo na osnovi lastnih preferenc in dogovora s kolegi.

Za vsako temo se oblikuje projektni tim, v katerem običajno sodeluje od tri do pet študentov. Velikost tima je odvisna od razpisane teme in velikosti generacije. Študentje izberejo iz svojih vrst vodjo projekta, ki ima predvsem vlogo načrtovanja in koordinacije dela.

Vsaka tema ima svoje specifične cilje, ki jih morajo študentje realizirati v določenem času. Cilji vključujejo tudi prototipiranje rešitev, ki so lahko zelo kompleksni mehatrični sistemi ali njihovi segmenti. Posebna pozornost se posveti kreiranju idejnih rešitev ter specifikaciji izbrane rešitve, kar je osnova za nadaljnji razvoj. Zaradi interdisciplinarnosti se projektni tim nato običajno strukturira v podtime, ki sočasno razvijajo mehanski sistem, krmilno elektroniko in programsko opremo

krmilnika. Posamezni podsistemi se razvijejo, nabavijo in izdelajo se ustrezne komponente, ki se nato sestavijo. Sledijo integracija in »oživljanje« sistema, poskusni zagon ter testiranje. Tipična sekvenca dela na projektu v treh paralelnih vejah je prikazana na *sliki 1*.

Pri delu se študentje specializirajo na posamezna področja mehatronike,

pač z ozirom na lastne preference. S sodelovanjem in izmenjavo informacij pa prenašajo svoje znanje na kolege v timu. Vzpodbujamo jih, da pri delu uporabljajo sodobna inženirska razvojna orodja, ki so na razpolago v laboratoriju. Tako se naučijo uporabe novih orodij. V okviru projektnega dela se študentje soočijo tudi z vrsto drugih aktivnosti, kot so nabava materiala, izdelava in kontrola komponent, NC-programiranje, montaža ipd. Tako se seznanijo z naravo teh procesov, spoznajo in razumejo proizvodnjo ipd., kar jim razširi obzorje. Pri tem imajo na razpolago različno strojno in programsko opremo, kar jim omogoča, da se samoorganizirajo in izvedejo večino projektnih aktivnosti sami.

Oprema in orodja so potrebni pogoj za projektno delo študentov. Drugi pogoj pa so motivirani študentje, zavestno pripravljeni sprejeti izziv in se vključiti v tovrstni način študija. To potrjujejo rezultati študentskih projektov. Nekaj zanimivih študentskih mehatričnih projektov je predstavljenih v nadaljevanju.

*Slika 2* prikazuje robotsko montažno celico s 5-osnim SCARA robotom. Izdelan je bil mehanizem SCARA robota z AC-servopogoni, transport palet in robotski krmilnik na PC-računalniku. Za krmilnik je bil razvit robotski jezik. Na *sliki 3* je prikazan 3-osni CNC-stroj za laserski rez pločevine. Poleg stroja s tremi DC-servopogoni je bil izdelan tudi na PC-računalniku temelječ CNC-krmilnik. Študentje so izdelali strojno in programsko opremo tega krmilnika. *Slika 4* prikazuje namizni CNC-stroj za graviranje. Pri tem projektu je bil uporabljen odprtokodni CNC-krmilnik EMC ([www.linuxcnc.org](http://www.linuxcnc.org)).

Nekaj primerov uspešnih študentskih mehatričnih projektov je predstavljenih v literaturi [3–8].

## 4 Zaključek in diskusija

Koncept izobraževalnega delovnega sistema predstavlja vodilo, po katerem z manjšimi modifikacijami delamo že dobro desetletje, in predstavlja tudi osnovo pri razmišljanju

o bolonjskem programu študija mehatronike. Seveda ne smemo prezreti, da večji del študija, skozi katerega študentje osvajajo osnovna znanja in znanja stroke, poteka na klasični način. V zaključnih semestrih študija, to je od 7. do 9. semestra, pa se študentje vključijo v projektno organizirano delo.

Peklenikov koncept izobraževalnega delovnega sistema (IDS) rešuje vrsto pomanjkljivosti klasičnega univerzitetnega izobraževanja. Oglejmo si nekaj bistvenih izboljšav.

Klasično izobraževanje bazira na interakciji med sistemom poučevanja (učitelj) in študiranja (študent). Ta dva sistema sta le redko v interakciji, npr. med predavanji. Povratne zveze, ki služijo ocenjevanju, so zgolj občasne, npr. na izpitu. V času interakcij lahko prihaja do komunikacijskih težav, težav razumevanja ipd., kar so splošno poznani problemi integracije sistemov. IDS pa združuje študente in mentorje v enoten sistem, v katerem poteka nadziran proces izobraževanja z jasnimi cilji. Mentorji spremljajo delo študentov sproti in ga, po potrebi, usmerjajo v smislu nasvetov in sugestij. Pri tem prihaja do uporabe kot tudi do transferja znanja. S tem postaja izobraževanje sodoben, projektno usmerjen in timsko izvajen delovni proces, podoben razvojnemu procesu v industriji. Spreminja pa se tudi odnos med študenti in učitelji ter asistenti iz klasičnega konfrontiranega v sodelujočega.

Dobro je tudi znano, da imajo študentje težavo pri uporabi teoretičnih znanj na konkretnih problemih. Skozi projektno delo študentje nazorno spoznajo, kako uporabiti teoretično znanje na konkretnih inženirskih problemih. Študentje pogosto ne razumejo, da je potrebno konstrukcijske rešitve tudi izdelati z dosegljivimi tehnologijami, pri čemer igrajo pomembno vlogo stroški izdelave. Projektno delo, ki zahteva realizacijo prototipa proizvoda ali naprave, pa jih prisili tudi v tovrstno razmišljanje in razumevanje. Skozi projektno delo študentje spoznajo nepredvidljivost okolja,

ki se dostikrat pokaže, ko iščejo in nabavljajo ustrezne komponente na tržišču. Spoznajo tudi naravo proizvodnih procesov v delavnici, kjer izdelujejo posamezne komponente. Pri tem imajo tudi možnost, da sami izdelajo NC-programe za obdelavo ter obdelajo enostavnejšo komponento na stroju. Vse to jim obogocha bistveno boljše razumevanje realnih procesov, problemov motenj, komunikacij ipd.

Skozi projektno delo študentje spoznavajo tudi organizacijo dela, vodenje projekta, delovanje v timu, vlogo odgovornosti posameznika do skupine, pomembnost dogovarjanja, izmenjave informacij ipd. To so vsebine, s katerimi se študentje pri klasičnem študiju srečujejo zgolj na teoretični ravni ali pa še to ne. V IDS pa dobijo konkretno življenjsko izkušnjo, ki jo sestavlja mozaik dobrih in slabih vtisov.

Izkušnje projektnega načina študija in njegove učinke na študente lahko strnemo v sledeča spoznanja:

**Kompetentnost:** poglobljeno znanje, obogateno z izkušnjami, pridobljenimi s projektnim delom. Boljše razumevanje kompleksnih sistemov, celotnega razvojnega ciklusa, vključno z izdelavo prototipa, timskega dela, projektnega vodenja, neterminističnega okolja, stohastične narave procesov ipd.

**Profesionalno obnašanje:** študentje senaučijo obnašanja v organiziranem okolju, prevzemanja odgovornosti, odločanja, obvladovanja časa ipd.

**Kooperativnost, koordinacija in komunikacija:** pri delu v timu se študentje naučijo sodelovanja, usklajevanja idej in rešitev, izmenjave informacij ipd. zaradi doseganja skupnega cilja. Te relacije so za večino študentov novost.

**Kreativno, inovativno razmišljanje:** ko se soočajo z novimi izzivi, za katere odgovori niso poznani vnaprej, so študentje prisiljeni misliti s svojo glavo in generirati in verificirati lastne ideje.

**Sistemski pristop:** mehatronika kot sistemska disciplina sili študente v sistemsko razmišljanje, strukturiranje problemov, identifikacijo relacij med elementi sistema in okolico, jasno interpretacijo rešitev ipd., kar jim odpira univerzalni pristop k obravnavanju kompleksnih problemov tudi na drugih področjih.

**Samozaupanje:** eden od najbolj impresivnih stranskih učinkov projektne dela je pridobivanje samozaupanja študentov, ki rezultira iz uspešno zaključenih projektov. To jim daje občutek, da so sposobni spoprijeti se z zahtevnimi problemi.

Glavni problemi, ki jih lahko zasledimo pri študentih pri projektne delu, so v večini primerov povezani s pomanjkanjem motivacije in obvladovanjem časa. Slednje je za mentorje najtežje obvladljiva naloga, ki pa je zaradi primerljivih razmer v industriji zelo pomembna.

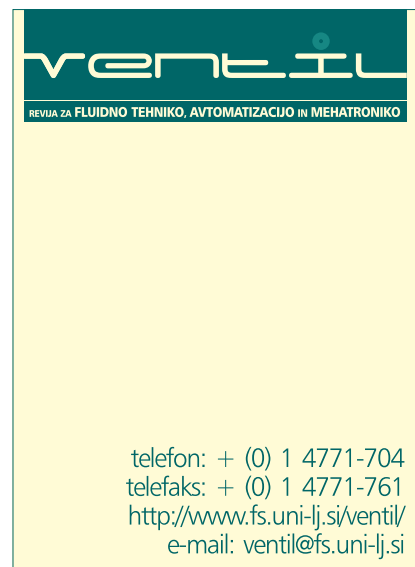
Problem lahko predstavljajo tudi stroški materiala in komponent, potrebnih za realizacijo prototipa. Zato je pomembno, da so cilji študentskih projektov usklajeni s cilji laboratorija oz. njegovih projektov, iz katerih se potem lahko financirajo omenjeni stroški. Takšna usklajenost projektov tudi rezultira v večjo motivacijo udeleženih pedagogov, saj so učinki lahko sinergetski. Cilji takega projekta so običajno zelo konkretni, študentje pa lahko doprinesejo izvirne ideje, ker se neobremenjeno soočijo z izzivom. Hkrati pa vidijo priložnost za svojo promocijo in samopotrjevanje, še posebej, če gre za mednarodni projekt.

## Literatura

- [1] Peklenik J., 1996, A New Approach to Education of University Graduates for Complex World of Manufacturing, Manufacturing Education for the 21<sup>st</sup> Century, Vol. III, SME, San Diego, str. 11–14.
- [2] Tomizuka M., 2002, Mechatronics: from the 20<sup>th</sup> to 21<sup>st</sup> Century, Control Engineering Practice, Vol. 10, str. 877–886.
- [3] Butala P., Vengust I., Sluga A.,



- 2003, Project-oriented approach to education in mechatronics – some experiences. V: Bezjak J. (ur.). Technical creativity in school's curricula with the form of project learning "From idea to the product" – from the kindergarten to the technical faculty: proceedings: 1st international science symposium, Portorož, Pedagoška fakulteta, Ljubljana, str. 125–130.
- [4] Vengust I., Novak A., Novosel M., Butala P., 2004, Implementation of the open source programming code in mechatronic education, V: Bezjak J. (ur.). Technical creativity in school's curricula with the form of project learning "From idea to the product" – from the kindergarten to the technical faculty: proceedings: 2<sup>nd</sup> international science symposium, Portorož, Pedagoška fakulteta, Ljubljana, str. 100–106.
- [5] Vengust I., Butala P., 2005, A desktop CNC machine tool – an educational case study in mechatronics, V: Bezjak J. (ur.). Technical creativity in school's curricula with the form of project learning "From idea to the product" – from the kindergarten to the technical faculty: proceedings: 3<sup>rd</sup> international science symposium, Portorož, Pedagoška fakulteta, Ljubljana, str. 21–26.
- [6] Butala P., Vengust I., Sluga A., 2006, The challenge of new technologies for students innovation projects – the case of a WEB machining service. V: Bezjak J. (ur.). Technical creativity in school's curricula with the form of project learning "From idea to the product": from the kindergarten to the technical faculty: proceedings: 4th international science symposium, Portorož, Slovenia. Somaru, Ljubljana, str. 25–31.
- [7] Butala P., Vengust I., Peklenik J., 2006, Project oriented education in mechatronics. V: Butala P., Hlebanja G. (ur.). 39<sup>th</sup> CIRP International Seminar on Manufacturing Systems: The morphology of innovative manufacturing systems. Department of Control and Manufacturing Systems, Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, str. 567–570.
- [8] Vengust I., Vrabič R., Kuščer L., Butala P., 2006, Virtualni CNC-sistem, Ventil, Vol. 12, No. 6, str. 376–383.



## Mnenje iz industrije

### Mehatronika in mehatroniki – Kaj in zakaj?

V zadnjem času pogosto slišimo izraza mehatronika in mehatronik. Kaj je to in čemu služi v industriji? Zgleda, da se tehnika vrača, vsaj na tem segmentu, nazaj na začetek. Tehnika v današnjem smislu na začetku ni bila ločena na strojništvo in elektrotehniko in kasneje še na elektroniko in računalništvo. Iz zgodovine nam je znan izraz 'Stara tehnika' za častitljivo zgradbo na Aškerčevi ulici v Ljubljani, kjer je domovala elektro-strojna fakulteta. Razvoj stroke je privedel do že zgoraj omenjenih smeri, ker je bil obseg znanja tak, da ena oseba ni obvladovala vseh področij. Ta delitev obstaja od najnižjih strokovnih nivojev pa do akademske sfere.

V realnem življenju pa to zgleda takole: na proizvodni napravi pride do težave, ki jo je treba odpraviti. Sofisticirane proizvodne naprave in linije so skupek mehanskih in elektronskih elementov, podprtih z ustreznim računalniškim programjem. Na linijo pride ukrepat mehanik, ki pogosto ugotovi, da je narobe nekaj z elektriko, elektroniko ali pa je napaka v računalniškem programu. Na koncu naj bi se ob napravi zbral cel konzilij in jo spravil v red. Minute tečejo in evri tudi! Opisana hipotetična situacija je privedla do tega, da so vedno bolj zaželeni delavci, ki obvladajo to kompleksno problematiko. Izobraževalni sistem do nedavna takih kadrov ni proizvajal. V naši firmi smo se že pred leti tega lotili tako, da smo strojne vzdrževalce dodatno izobrazili za nekatere enostavnejše posege tudi v nestrojniški del. Stvar se je obnesla. Odgovor izobraževalnega sistema na to je poklic mehatronika, ki ni modna muha, ampak realna potreba v naši industriji, ki se najbolj kaže na nižjih strokovnih nivojih. Potrebni pa so tudi strokovnjaki na višjih izobrazbenih nivojih, ki lahko s specialisti posameznih področij uspešno delajo tudi na področju razvoja in konstrukcije sodobnih tehnologij. Tak je pogled na mehatroniko iz industrije in mislim, da ima ta staro-nova veja tehnike lepo bodočnost.

*Franci Kovačič, ETA Cerklno, d. o. o.,*