

## **Mehatronizacija procesov kot nova smer nadgradnje informatike**

### **Mechatronics as new direction of informatics development**

**Gorazd Rakovec**

Cegelnica 25a, 4202 Naklo, Slovenija

#### **Povzetek**

Novejša veda mehatronika se je že pojavila v šolah od univerzitetnega do poklicnega nivoja. Tako pri študentih kot tudi pri sodelavcih v podjetjih nastajajo različne predstave o tem, kaj je mehatronika, kje je področje dela za strokovnjake mehatronike. Podane so osnovne definicije in sheme mehatronskih sistemov na treh osnovnih nivojih: od tehnoloških do strojnih in proizvodnih mehatronskih sistemov. Mehatronika izhaja zgodovinsko iz mehanskih procesov, se nadgrajuje z elektromagnetnimi in zaokrožuje z informacijsko komunikacijskimi procesi. Predhodnica mehatronike je avtomatizacija procesov, ki pa se nadaljuje z mehatronizacijo ročno in osebno upravljanih procesov na podlagi elektronsko izmerjenih podatkov iz nadzornih sistemov. Zgrajen je tudi mehatronski didaktični sistem za nadzor mehatronskih sistemov na vseh treh nivojih. Nadzorni sistemi pri avtomatskih procesih nadgrajujejo avtomatizacijo na eno ali več stopenj višjo raven, pri ročno ali osebno upravljanih procesih pa generirajo nove do tedaj nevidne slike procesov, ki uporabnika navadijo razmišljanja z več novimi dimenzijami in s tem povzročajo razvoj procesov z višjo dodano vrednostjo in tudi vse ostalo, kar tako osebje dela, je na višjem nivoju, kot prej.

**Ključne besede:** Mehatronika, informatika, tehnološki, strojni, proizvodni, sistem, proces, dejavnik, avtomatizacija, nadzorni sistem

#### **Abstract**

The new schools of mechatronics from university degree to manual professions arises in Slovenia last few years. The students and their co-workers in the companies have very different imagination about mechatronics as science and also as working field of mechatronic workers. Some basic definitions and schemas of on three levels from technological, to mechanical and manufacturing mechatronics systems are described. From the historical point of view teh mechatronics began with mechanical processes upgrading with electromagnetics and rounded up to information and communication processes. Preliminary the automation of processes was growth in new direction with mechatronisation of manual and personal process control on base of electronically measured data of monitoring systems. The new didactic system for three level mechatronics monitoring systems was built. The monitoring systems upgrades the automatisisation level of automatic processes. They also generate new pictures of unvisible manual and personal controlled processes which make user thinking in more dimensions as before and enable the development of new processes with higher added value. Everithing, what is done is better than before.

**Keywords:** mechatronics, informatics, technological, mechanical, manufacturing, system, process, factor, automatization, monitoring

## 1. Uvod

Mehatronika je novejša znanost, ki se je pojavila v zadnjih letih kot kombinacija informatike, komunikacij, elektrotehnike in strojništva. V Sloveniji je nastalo že veliko šol mehatronike od univerzitetnih do višjih, srednjih in poklicnih. Novi profili strokovnjakov prihajajo iz šol v podjetja, kjer nastajajo različne predstave o tem, kaj je mehatronika, kaj in kje naj bi mehatroniki delali. Težave nastajajo že v prvih letnikih višjih šol, kjer se vpišejo študenti z izobrazbo s področja informatike, elektrotehnike ali strojništva vsak s svojimi predstavami in pričakovanji, ki se jim potrdijo ali podrejo že v prvih letnikih, zato je tudi pretočnost v drugi letnik manjša. Škoda je, da znanja željni ljudje zaradi napačnih predstav in definicij izgubijo eno leto. Težave še večje pa nastanejo v podjetjih, ko sodelavci mehatronikov in njihovi nadrejeni ravno tako iščejo mesto mehatroniku tako v organizaciji podjetja, kot v delovnih timih, v oddelkih in na projektih. Zaradi napačnih predstav je škoda lahko ogromna. Največja napaka, ki se pojavlja, so pričakovanja, da naj bi mehatroniki nadomestili kar vse informatike, elektrotehnike in še strojnike skupaj. Katastrofa je v takih primerih zelo verjetna, mi pa poskusimo mehatroniko opisati bolj konkretno in lažje razumljivo.

## 2. Kako je zgodovinsko nastajal mehatronski proces iz mehanskega?

Iz osnovnih definicij bi rekli, da je mehatronski sistem skupek računalnikov s programi, komunikacijskih sistemov, električnih in elektronskih naprav in mehanskih orodij in strojev. Teoretično je tu možno narediti mnogo različnih kombinacij, vendar pa jih je v praksi možnih in realnih samo nekaj. Napake v interpretacijah nastanejo že zaradi opazovanja sistemov namesto procesov. Pravilno je izhajanje iz procesov in opazovanje procesov. Torej je mehatronski proces kombinacija informacijskih, elektromagnetnih in mehanskih procesov.

Zadeve postanejo bolj jasne, če upoštevamo zgodovino razvoja. Najprej so od mehatronskih bili mehanski procesi. Mehanske procese lahko delimo (Rakovec, 1999) na dve vrsti: mehanske predelovalne in mehanske logistične procese. Kot predmet procesa bomo zaradi boljše preglednosti vzeli samo polizdelke in podatke. Mehanski predelovalni procesi z orodji predelujejo polizdelke. Mehanski logistični procesi spreminjajo lokacijo in lego polizdelkom (ostale tovore tu ne obravnavamo). V prvinski obliki so mehanski procesi lahko ročni, kjer oseba z rokami upravlja orodje – predelovalno ali logistično in izvaja mehanski proces spremembe vsebine ali lege polizdelka. Oseba prejema tudi podatke o procesu v fizični obliki - na papirju, jih osebno predeluje v glavi in fizično zapisuje s pisalom na papir.

Mehanski procesi so lahko tudi strojni. Pri strojnem mehanskem procesu človek upravlja stroj, ki z orodjem predeluje polizdelek ali spreminja lego polizdelku. Z mehanskim strojem je človek zapisoval podatke o procesu v fizični obliki na papir. Nekatere podatke je človek tudi predeloval s fizičnimi računskimi stroji ipd., večino paše vedno v svoji glavi.

## 3. Dodajanje elektromagnetnih procesov

Z razvojem sistemov za izvajanje elektromagnetnih procesov je nastalo veliko novih električnih in elektronskih naprav, vendar v mehatroniki gledamo predvsem elektronske, ki se vežejo na mehanski proces. Elektromotorji, releji, ipd. brez elektronike še niso mehatronski sistemi. V grobem delimo elektromagnetne procese na energetske in elektronske. Energetika obravnava predvsem energije večjih

moči, elektronika pa šibkejši električni pulze: elektronske podatke v obliki analognih krivulj ali digitalnih podatkov. Elektronske procese lahko delimo na dve vrsti: elektromagnetne predelovalne in elektromagnetne logistične procese. Mehatronika obravnava predvsem predelavo elektronskih podatkov s krmilniki in merilniki in logistiko, ki izvaja spremembo lokacije elektronskih podatkov. Logistiko elektronskih podatkov imenujemo z drugo besedo elektronske komunikacije. Za upravljanje električnih in drugih motorjev je človek razvil elektronske regulatorje in krmilnike. Krmilnik pretvarja podatke, ukaze operaterja v električne signale, ki se na aktuatorjih - servomotorjih z regulatorji spremenijo v mehanske. Krmilnik je elektronska podpora upravljanju mehanskega procesa, ki ga opravlja oseba. Velik del procesov obdelave in logistike podatkov – upravljanja – pa opravi oseba še vedno v glavah.

Hkrati se je pojavilo tudi veliko število elektronskih merilnikov, ki del mehanske energije zajamejo in pretvarjajo v elektronske podatke. Mehanske veličine zaznavajo senzorji za merjenje sile in tlaka, kot so piezo-električni senzorji in uporovni lističi, sledijo senzorji: razdalje, poti, hitrosti in pospeškov, kot so: dajalci pozicij – enkoderji, laserski merilci, induktivni, kapacitivni, Hallovi, idr. senzorji z ustreznimi električnimi in elektronskimi napravami za ojačitev, filtracijo in merjenje. Elektronski merilniki so generatorji elektronskih podatkov dejanskega stanja mehanskega procesa. Izmerjeni fizično dobljeni elektronski podatki so najboljša osnova za upravljanje procesov in sistemov. Pri informacijskih sistemih podatke generirajo osebe na podlagi osebnih zapažanj, izkušenj in znanj in jih pri tem dostikrat subjektivno predelajo. Vprašanje je, koliko subjektivni podatki odstopajo od dejanskega stanja. Elektronski merilniki pa dajejo objektivne fizikalno izmerjene podatke o dejanskem izvedenem procesu, kar je najboljša osnova za upravljanje. Izmerjeni elektronski podatki so tudi primerni za nadaljnjo obdelavo in logistiko v informacijskih sistemih.

K mehatroniki delno spadajo še termični procesi kot dodatna obdelava polizdelkov ali kot stranski produkt mehanskih procesov. Ostaja še veliko drugih nemehanskih procesov, kot so: kemični, biološki, živilski, energetski, nuklearni, ipd. vendar ti niso primarno predmet mehatronike – obravnava jih predvsem avtomatika.

## 4. Dodajanje informacijskih procesov

Informacijski proces lahko pojmuje kot interakcijo računalniških programov in podatkov. Seveda nas tu zanima samo tisti del računalništva, ki se veže na predhodna dva procesa: mehanskega in elektromagnetnega istočasno. Informacijski proces gledano fizikalno je dejansko že elektromagnetni in delno sovпада s prejšnjim podpoglavjem. Razlika ni velika, je pa očitna predvsem ekspertom, saj predelava podatkov poteka na podlagi matematičnih operacij. Krmilnik je tudi že računalnik, a namenski za programiranje strojev in mehanskih tehnoloških procesov. Seveda se krmilnik danes povezuje v informacijski sistem, vendar manj v poslovni del, bolj pa v CAD-CAM (Computer Aided Design – Computer Aided Manufacturing) sistem. V CAD sistemu razvijalci modelirajo elektronske modele novih fizičnih polizdelkov in jih v CAM modulih pretvarjajo v tehnološke CNC (Computer Numeric Control) programe za krmilnike na mehanskih strojih, ki fizične izdelke tudi mehansko izdelajo. Krmilnik na stroju danes služi lahko dodatno kot skupni ekran in tastatura za proizvodne in druge module poslovno informacijskega sistema. Od poslovnih informacijskih sistemov spadata v mehatroniko predvsem proizvodni in logistični modul, če vnos podatkov poteka s pomočjo črtnih, 2D ali RFID (Radio Frequency IDentification) kod.

Druga mehatronska veja pa je dodajanje informacijskih procesov na elektronske merilne procese. Merilniki na strojih izdelujejo elektronske podatke o prednostno mehanskem in tudi ostalih procesih. Elektronski podatki se seveda iz merilnikov prenesejo ne samo v krmilnike in regulatorje kot povratna zveza upravljanju strojev, temveč se prenesejo v nadzorni informacijski sistem kot dejanski podatki o mehanskem procesu, ki so podpora za osebno upravljanje procesa. V nadzorni sistem se stekajo izmerjeni podatki iz mnogih strojev - lahko več deset ali sto, ki vsi skupaj tvorijo osnovo za spremljanje proizvodnega procesa vodstvu-osebam. Fizično izmerjeni podatki se iz strojev zbirajo v

obliki podatkovnih baz na računalniku in s posebnimi programi za analiziranje in diagnosticiranje procesov služijo kot podpora upravljanju vodstvu proizvodnje ali logistike. Te vrste informacijski sistemi se imenujejo nadzorni sistemi, ali BDE (Betrieb Daten Erfassung), MES (Manufacturing Execution System), SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), ipd...

## 5. Avtomatizacija – predhodnica mehatronike

Dodajanje elektronskih regulatorjev in krmilnikov strojem se imenuje tudi avtomatizacija procesov. Avtomatizacija zajema vse vrste procesov, od mehanskih do kemičnih, bioloških, elektromagnetnih, nuklearnih, ipd. Avtomatizacija vseh procesov je že dolgo uveljavljena veda pred mehatroniko in velja kot osnova mehatronike. Avtomatizacija mehanskih procesov pa po novem spada v mehatroniko. Prepada med strojništvom in elektrotehniko je v načinu razmišljanja največji, zato je za premoščanje teh dveh strok potrebna posebna vrsta eksperta, medtem ko ostale procese zadovoljivo obvladujejo avtomatiki. Ni pa avtomatizacija mehanskih procesov celotna mehatronika.

V primeru, da je stroj upravljan ročno, večinoma nimamo več avtomatizacije. Vendar ima lahko operater elektronski merilnik, ki meri mehanski proces brez krmilnika-regulatorja in imamo zato še vedno mehatronski sistem brez avtomatizacije. Elektronski merilnik mehanskega procesa je predvsem v praksi podpora operaterju za upravljanje, razvoj, optimiranje, nadgrajevanje, vzdrževanje in nadzor procesa. V mehatroniki imamo torej tudi ročno krmiljene in regulirane procese, ki jih osebe nadzira s podporo elektronskega merilnika. Avtomatizacija ročno krmiljenih in reguliranih procesov ne obravnava, saj niso avtomatizirani. Mehatronika pa vključuje tudi neavtomatizirane mehanske procese, ki so nadzirani z elektronskim merilnikom, ki daje elektronske podatke o mehanskem procesu osebi kot podpora za upravljanje. Neavtomatiziranih procesov je v praksi mnogo več kot avtomatiziranih; na primer vožnja z avtomobili in drugimi prevoznimi sredstvi je upravljana s strani oseb, torej ni avtomatska. Vendar so avtomobili z mnogimi elektronskimi podsistemi kljub temu mehatronski sistemi. Osebo je upravljana proizvodnja, logistika in tudi večina storitvenih dejavnosti. Področje osebno upravljanjanih procesov je skoraj neskončno, vendar je v mehatroniki poudarek na procesih mehanske predelave in logistike fizičnih polizdelkov (ostale tovore v naši obravnavi zanemarimo, saj gre lahko tudi za fizični prevoz oseb, rastlin, živali, ipd...).

Področje neavtomatiziranih procesov z elektronskim merilnim nadzorom ni ustrezno strokovno obravnavano ne v okviru avtomatizacije, ne informatike in tudi ne v okviru meroslovja kot znanosti. Gre za področje v mehatroniki, ki je bistveni del, v katerem se mehatronika razlikuje od avtomatizacije.

## 6. Nadzorni mehatronski sistemi

Merilni nadzorni sistemi so danes že nujna podpora upravljanju kompleksnih mehanskih procesov, kot so predelava polizdelkov in logistika tovara. Zato so dobili z integracijo informacijskih podsistemov razvito nadgradnjo za človeški in upravljavski vmesnik. Izmerjeni procesi so v barvni grafiki vizualizirani na ekranu, slika procesa je opremljena z izmerjenimi vrednostmi. Bistvo dobrega nadzornega sistema je tudi, da sam izračuna in postavi meje procesa in omogoča tudi njihovo ročno nastavljanje in korekcijo. Če izmerjena vrednost odstopa od dopustnih toleranc, nadzorni sistem aktivira tudi enostavnejše binarne krmilne akcije, kot so izklop stroja, alarmiranje, sortiranje, dodajanje, ipd, istočasno pa generira tudi avtomatske diagnostične šifre in diagnoze. S tem ni več samo podpora upravljanju, temveč tudi avtomatizira enostavne odločitve in upravljaljske funkcije direktno iz procesa. Nadzorni sistemi so podpora vodjem pri odločanju, dajejo izmerjene objektivne podatke brez zakasnitev, kar je osnova za pravilno in hitro odločanje o večini procesov, ki so

neavtomatizirani. Nadzorni sistemi bistveno izboljšajo kvaliteto upravljanja procesov, ki jih v praksi ni možno ali smiselno avtomatizirati.

Nadzorni sistemi pa nadzirajo tudi avtomatizirane procese, saj merijo proces direktno in s tem nadzirajo delovanje celotnega mehanizma, ki ta proces izvaja, to je procesa in stroja s krmilnikom vred. Nadzorni sistemi so bistvena nadgradnja avtomatizacije. Dograjevanje elektronskih nadzornih sistemov k avtomatiziranim in neavtomatiziranim mehanskim procesom je dejanska mehatronizacija teh procesov.

## 7. Zumiranje mehanskih procesov z elektronskim merilnim-nadzornim sistemom

Ko govorimo o mehatroniki, zgodovinsko torej izhajamo iz mehanskih procesov, ki jim dodajamo elektromagnetne. Imamo pa več vrst mehanskih procesov. Če se omejimo na mehanske procese v podjetjih, imamo tehnološke, strojne in proizvodne procese. Nadzorni sistem nevidne mehanske procese napravi vidne in izmerjene, postavi meje procesa in avtomatsko diagnosticira njihovo odstopanje, ter pošilja izhodne krmilne binarne signale za sprožanje akcij na strojih in napravah.

Z nadzornimi sistemi nastavljamo tudi globino pogleda v procese oziroma zumiramo pogled v nevidni proces – Tabela 1. Splošni mehatronski sistem sestavljajo dejavniki: mehatronski proces, predmet procesa, delovni sistem, merilni sistem, osebje, ožje okolje in širše okolje.

**Tabela 1: Zumiranje tehnološkega mehatronskega sistema**

<u>SPLOŠNI MEHATRONSKI SISTEM</u>	<u>TEHNOLOŠKI MEHATRONSKI SISTEM</u>	<u>STROJNI MEHATRONSKI SISTEM</u>	<u>PROIZVODNI MEHATRONSKI SISTEM</u>
<u>MEHATRONSKI PROCES</u>	MEHATRONSKI TEHNOLOŠ. PROCES	MEHATRONSKI STROJNI PROCES	MEHATRONSKI PROIZVOD. PROCES
<u>PREDMET PROCESA</u>	POLIZDELEK	DRUŽINA POLIZDEL.	PROIZVOD.PROGRAM
<u>DELOVNI SISTEM</u>	ORODJE	STROJ	PROIZVODNI SISTEM
<u>MERILNI SISTEM</u>	MERILNIK TEHNOL. MEHAT. SISTEMA	MERILNIK STROJ. MEHATRON. SISTEMA	MERILNIK PROIZVOD. MEHAT. SISTEMA
<u>OSEBJE</u>	OPERATER	DELOVNA SKUPINA	PROIZVODNE SLUŽBE
<u>OŽJE OKOLJE</u>	TEHNOLOŠKO OKOLJE	STROJNO OKOLJE	PROIZVODNO OKOLJE
<u>ŠIRŠE OKOLJE</u>	STROJNO OKOLJE	PROIZVODNO OKOLJE	POSLOVNO OKOLJE

Mehatronski sistem je prednostno mehanski ali delno drug delovni sistem z elektronsko podprtim upravljanjem osebja, ki izvaja mehatronski proces v okolju. Mehatronski sistem izdeluje – generira

nove fizične polizdelke in hkrati tudi dejanske podatke o sistemu, ob tem da podatki služijo kot podpora upravljanju osebju in so lahko celo poslovna skrivnost ali pa ne, medtem ko so fizični polizdelki večinoma predmet prodaje na trgu. Mehatronski sistem je generator fizičnih polizdelkov in elektronskih podatkov. Pri zumiranju – nastavljanju globine pogleda – se spreminja od tehnološkega v strojnega in širše v proizvodni mehatronski sistem.

Mehatronski proces je interakcija – medsebojno delovanje – vseh dejavnikov mehatronskega sistema, kjer en dejavnik vpliva na ostale in ostali nazaj na enega. Pri zumiranju se spreminja od tehnološkega v strojnega in naprej v proizvodnega.

Predmet procesa je ciljni dejavnik na katerega želi vplivati osebje. Obravnavamo predvsem dva značilna predmeta mehatronskega procesa: polizdelki, ki se v procesu predelujejo ali spreminjajo lego in podatki, ki v procesu nastajajo. Pri zumiranju se spreminja od polizdelka v družino polizdelkov in naprej v proizvodni program.

Delovni sistem je dejavnik, ki opravlja prednostno mehansko ali drugo delo za izdelavo ali logistiko polizdelkov – in je lahko avtomatiziran ali ne. Pri zumiranju se spreminja od orodja v stroj in naprej v proizvodni sistem. Pri logističnih sistemih se spremeni namesto proizvodnega v logistični sistem, vendar logističnih sistemov tu ne obravnavamo podrobno.

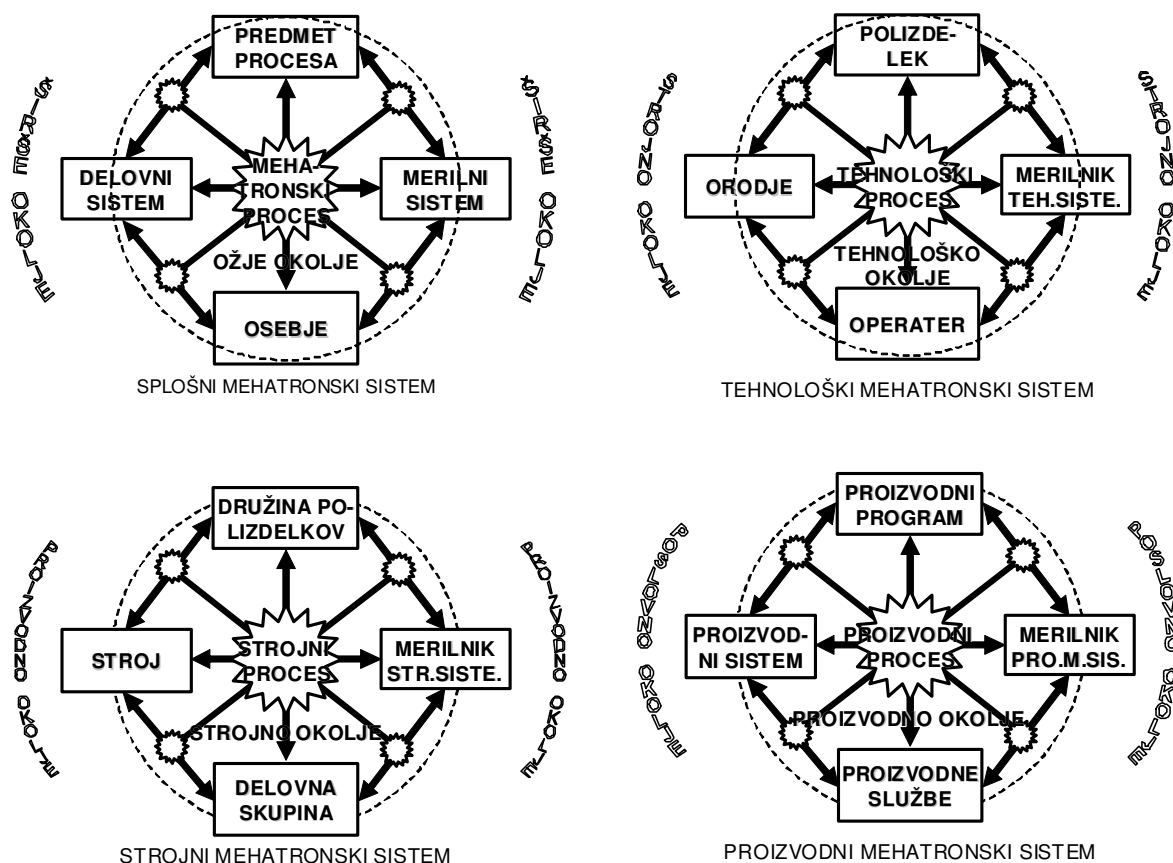
Mehatronski merilni sistem je sistem, ki zaznava, identificira, meri veličine mehatronskega sistema in generira elektronske podatke o mehatronskem sistemu. Pri zumiranju se spreminja od merilnika tehnološkega v merilnik strojnega in naprej v merilnik proizvodnega (lahko tudi logističnega) mehatronskega sistema.

Osebje so ljudje, ki neposredno in posredno vplivajo na delovanje mehatronskega sistema. (operator, kontrolor, vzdrževalec, predelavec, planer, tehnolog, dobavitelj, kooperant...) Pri zumiranju se osebje spreminja od operaterja v delovno skupino in naprej v proizvodne službe.

Ožje okolje so ostali dejavniki (poleg dejavnikov mehatronskega sistema), ki vplivajo na mehatronski sistem, v prostoru, ki ga ta zavzema. To je lahko: zrak, plin, hladilni fluidi, vlažnost, temperatura, prah, mazalna sredstva, ipd. Pri zumiranju se ožje okolje spreminja od tehnološkega v strojno in naprej v proizvodno (ali logistično) okolje.

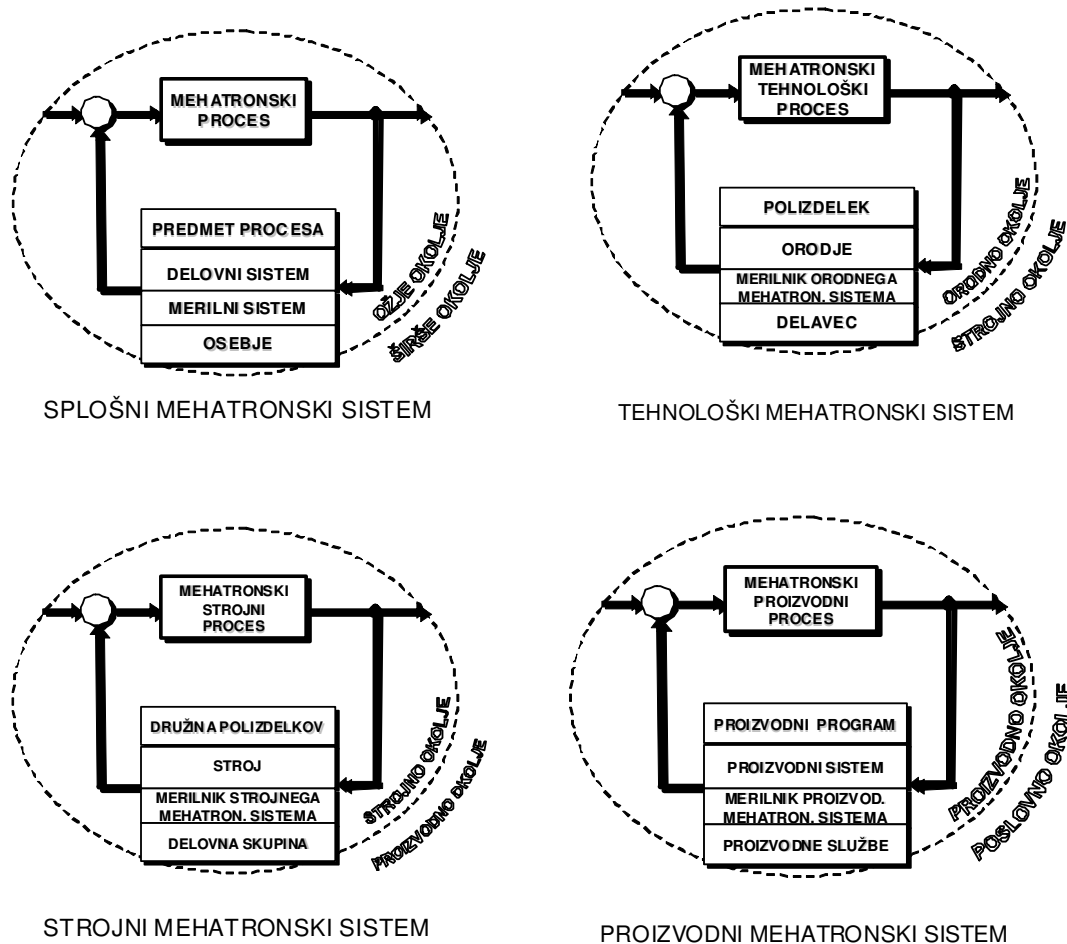
Širše okolje so vsi ostali širši vplivi izven prostora, ki ga zavzema mehatronski sistem, ki nanj vplivajo. (komerciala, finance, trgi, konkurenca, zakonodaja, podnebje, politika, mediji...) Širše okolje se pri zumiranju spreminja od strojnega okolja v proizvodno (logistično) okolje in naprej v poslovno okolje.

Strukturiran prikaz mehatronskih sistemov prikazujeta sliki 1 in 2. Na sliki 1 je ponazorjen proces v obliki dvosmernih puščic medsebojne interakcije vseh dejavnikov mehatronskega sistema.

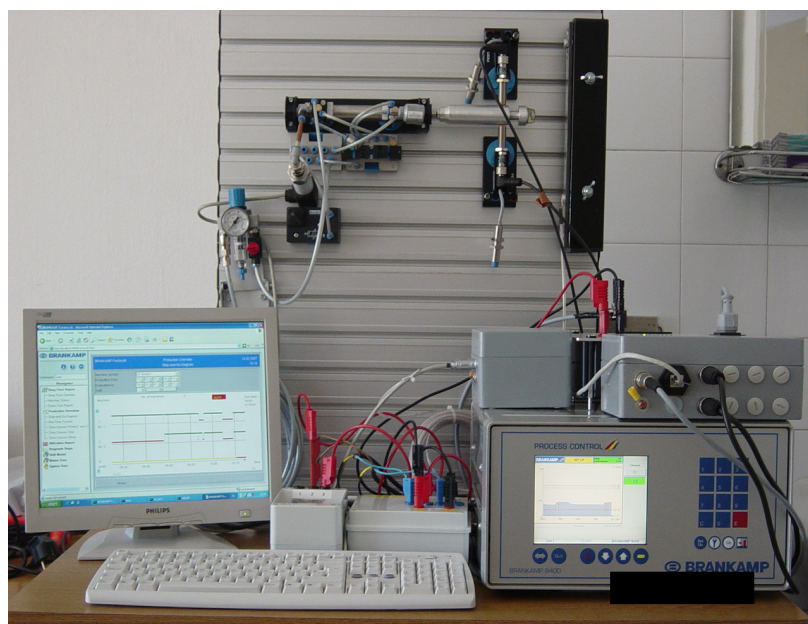


**Slika 1: Strukturiran prikaz zumiranja tehnološkega mehatronskega sistema**

Na sliki 2 je prikazana kibernetična struktura mehatronskega sistema, kjer je proces v središču dogajanja, dejavniki pa v povratni zvezi, kar potrjuje današnje najmodernejše poslovne standarde, ki skoraj vsi izhajajo iz procesa, medtem ko je strukturo nakazal Peklenik (1981) že leta 1963.



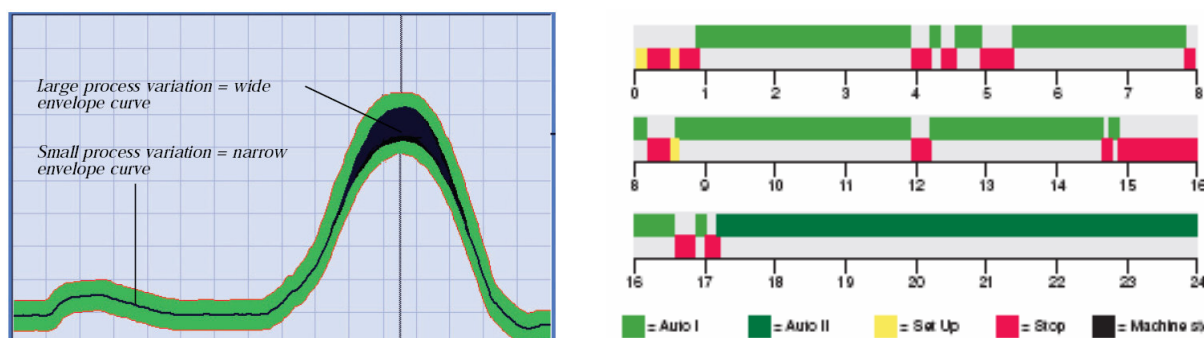
Slika 2: Kibernetična blokovna shema zumiranja tehnološkega mehatronskega sistema



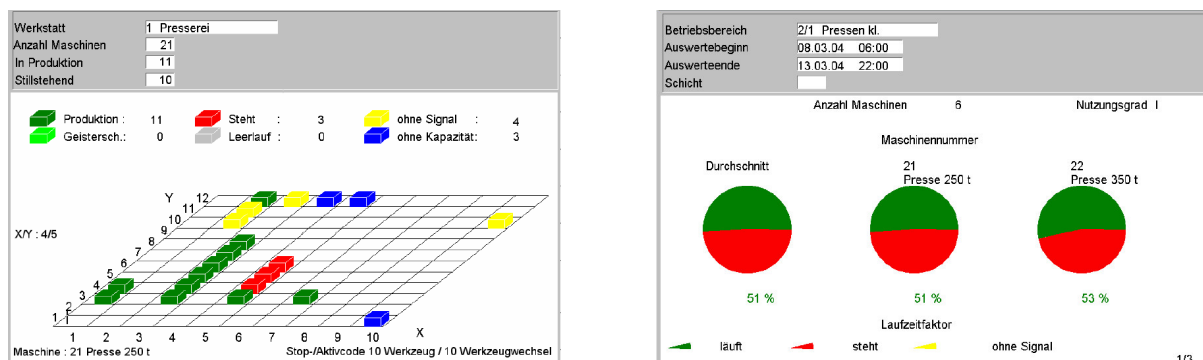
Slika 3: Didaktični nadzorni mehatronski sistem za zumiranje v treh globinah sistema



Na predavanjih v šoli smo zgradili didaktični mehatronski sistem za merjenje sile z zmožnostmi zumiranja od tehnološkega do strojnega in proizvodnega procesa – Slika 3. Sila je glavni procesni parameter mehanskega (Kirchheim et.al, 2004, 2001; Scheer et.al, 1999) in s tem tudi mehatronskega procesa. Z enim senzorjem sile na pravem mestu na vsakem stroju imamo pod nadzorom vseh šest dejavnikov tehnološkega mehatronskega sistema: polizdelek, orodje, merilnik tehnološkega procesa, osebje in celoten tehnološki proces istočasno. Ker je proces interakcija vseh dejavnikov, z meritvijo procesa nadziramo posredno tudi vse dejavnike sistema po vseh treh globinah od tehnološkega, strojnega in proizvodnega mehatronskega sistema, kar je celoten mehatronski proces. Seveda so po celotnem mehatronskem zumu izdelane tudi ustrezne elektronske slike mehatronskih procesov, ki jih ima dober nadzorni sistem več deset – Slika 4.



**Slika tehnološkega mehatronskega procesa    Slika strojnega mehatronskega procesa**



**Slika proizvodnega mehatronskega procesa    Slika produktivnosti proizvodnega procesa**

#### Slika 4: Elektronske slike mehatronskega zuma

Za izvedbo vaj smo izdelali didaktični učni sistem, kjer stroj simuliramo s pnevmatskim podsistemom. Kot procesni nadzorni merilnik s senzorjem sile (lahko se uporabi tudi druge senzorje) uporabljamo nadzorni sistem Brankamp B400 (Brankamp 2008). Simulacijo stiskalnice smo izvedli s pnevmatskim cilindrom, ki pritiska na elastično vpet nosilec, ki simulira mizo stroja (Slika 3). Piezo električni senzor meri dilatacijo mize, zato je prilepljen na nosilec. Senzor je priključen v ojačevalce (na ohišju enote B400 levo) in ta v procesno enoto B400, ki obdela in prikaže signal v obliki izmerjene sile grafično na ekranu. Sistem Brankamp B400 je Windows kompatibilen in povezan tudi v ethernet omrežje s PC na levi strani slike 3. Na PC računalniku je instalirana baza podatkov za arhiviranje

zbranih in obdelanih podatkov in posebni programi za nadzor parametrov proizvodnje Factory M. Na sistemu je lepo razvidno, kako se sila, kot osnovna veličina tehnoloških mehatronskih procesov s senzorjem pretvarja v električno, se vizualizira na grafičnem zaslonu v obliki krivulje, ki je razumljiva osebju, in v nadaljevanju z avtomatskim diagnosticiranjem pretvarja v številčne podatke, ki se izrisujejo v obliki grafičnih kazalcev strojnega mehatronskega procesa in prenesejo v nadzorni merilnik proizvodnega mehatronskega procesa na celotno PC omrežje. Na ta način postane neviden mehatronski proces viden za vse osebe v proizvodnji – v našem primeru študente – in jim pomeni novo dimenzijo mehatronskega procesa, ki jo predtem ni mogel videti nihče. Ko vzpostavijo povezavo svojega dotedanega znanja z novimi slikami in podatki procesov, začnejo razmišljati z eno dimenzijo več in sklepajo tudi na spremembe dejavnikov mehatronskega sistema po celotnem zumu vseh globlin. Zaradi nove dimenzije v mišljenju pa potem v praksi po več letih uporabe in učenja večina začne delati za en razred kvalitetnejše oziroma konkurenčnejše kot do tedaj.

## 8. Zaključek

Z osnovnimi definicijami in shemami mehatronskega sistema in njegovim prikazom v različnih globlinah od tehnološkega, strojnega in proizvodnega sistema, postaja mehatronski sistem viden in razumljiv. Če naredimo primerjavo z gradbeništvom, mehatronik ni supergradbenik, ki bo nadomestil vse zidarje, električarje, vodovodarje, mizarje, malarje, ipd, temveč je arhitekt kompleksnih sistemov sestavljenih iz strojev, krmilnikov, merilnikov in komunikacijskih sistemov. V gradbeništvu je že dolgo jasno, da kompleksnih sistemov, ni možno kvalitetno načrtovati brez arhitektov. Odsotnost arhitektov na področju gradnje interdisciplinarnih tehnoloških sistemov je ena od velikih ovir za kvaliteten razvoj takih sistemov, saj supermenov, ki bi nadomestili vse informatike, strojnike in elektrotehnike v praksi ni. Arhitekt – mehatronik mora seveda dobro poznati vse informacijske, strojniške in elektrotehniške procese in sisteme. Iz njih mora znati razviti arhitekturo - optimalen koncept celotnega mehatronskega sistema z vsemi podsistemi, ki jih potem detajlirajo – izdelajo podrobne načrte - in izdelajo informatiki, elektrotehnik in strojniki. Enako je z diagnosticiranjem in analiziranjem mehatronskih procesov pri upravljanju, vzdrževanju, optimiranju, nadgrajevanju, ki jih lahko optimalno izvaja oseba z mehatronskim znanjem, ki razume in pozna vse informacijske, strojniške in elektrotehniške podsisteme in seveda celoto, ki je nekaj drugega. S pojavom mehatronikov je omogočen nadaljnji razvoj kompleksnih mehatronskih sistemov, ki imajo tudi višjo dodano vrednost in tudi njihovo optimalno upravljanje, vzdrževanje – uporaba in s tem nižji stroški poslovanja.

Mehatronika izhaja iz proizvodne avtomatizacije in se nadaljuje na neavtomatiziranih procesih z elektronskimi merilno-nadzornimi sistemi, ki so osnova za upravljanje osebam. Ročno oziroma osebno upravljanje procesov je mnogokrat več od avtomatiziranih, upravljanje procesov pa je najpomembnejša dejavnost oseb v poslovnih sistemih, ki nosi največ dodane vrednosti. Mehatronizacija ročnih oziroma osebno upravljanje procesov z elektronskimi nadzornimi sistemi odpira nove dimenzije razvoja in optimiranja procesov, vizualizira nevidne procese in omogoča osebju uporabo novih dimenzij v razmišljanju in delu na višjih nivojih, kot brez njih.

## 9. Literatura

Brankamp, K. (2008). A world leader in process monitoring, dosegljivo na: <http://www.brankamp.com/eng/start.html> (15.6.2008).

- Kirchheim, A., Lehmann, A., Staub, R., Schaffner, G., & Jeck, N. (2004). Force Measurement in Resistance Welding, 19th DVS-Meeting "Resistance Welding", May 26th-27th. 2004. Duisburg, Nemčija.
- Kirchheim, A., Schaffner, G., Staub, R., & Jeck, N. (2001). Elektrodenkraft als wichtige Prozessgrösse beim Widerstandschweissen, Schweissen&Schneiden, let. 53, št. 9: 152 - 155.
- Peklenik, J. (1981). Avtomatizacija obdelovalnih sistemov – slike in literatura, FS, Ljubljana.
- Rakovec, G. (1999). Avtomatizacija – skupni imenovalec sodobne tehnike, ŽIT, letnik L, št. 10/1999: 20 – 24.
- Scheer, C., Hoffmann, P., Kirchheim, A., & Schaffner G. (1999). Spindleintegrated force sensors for monitoring drilling and milling processes, Sensor 99, 9th International Conference for Sensors, Transducers & Systems, May 18th-20th, 1999, Nuerenberg, Nemčija.