

PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRAD ZA FLEKSIBILNE PROIZVODNE SISTEME

PLANNING OF TECHNOLOGICAL PROCESS PROCESSING FOR FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS

Elvis Hozdić, Emine Hozdić

Pregledni rad

Sažetak: *Fleksibilni proizvodni sistemi (FPS) sve su prisutniji modeli proizvodnih sistema. Širok spektar zahtjeva i raspoložive ponude komponenata vodi formiranju FPS-a različitih struktura i eksploatacijskih značajki. Fleksibilna tehnologija postala je nezaobilazni faktor u projektiranju modernih proizvodnih sistema. S obzirom na konstrukcijske i tehnološke karakteristike strojarskih proizvoda, javljaju se mnogi zahtjevi na fleksibilnost proizvodnih sistema. Visok stupanj fleksibilnosti proizvodnog sistema često rezultira porastom cijene sistema, padom ekonomičnosti, padom kvalitete, a redovito se porastom fleksibilnosti umanjuje produktivnost.*

U radu su dani elementi fleksibilnog proizvodnog sistema, projektiranje tehnološkog postupka od konvencionalnog do suvremenog, integrirajući sve elemente fleksibilne proizvodnje u proizvodnom ciklusu.

Ključne riječi: *fleksibilni sistemi, tehnološki procesi, komponente sistema, grupna tehnologija, upravljanje sistemima, modeliranje, simulacija*

Review article

Abstract: *Flexible production systems are becoming more used as models of production systems. Wide spectrum of demands and available component offers lead to formation of FPS of different structures and exploitation means. Flexible technology has become an important factor in forming the modern production systems. Considering the constructional and technological characteristics of machine products, many demands on flexibility of production systems are present. A high level of flexibility of productive systems often results in an increase in the systems price, decrease in efficiency, decrease in quality, and productivity often decreases with an increase in flexibility.*

The paper presents elements of the flexible production system, planning the technological procedure from the conventional to the modern one by integrating all the elements of flexible production in a production process.

Key words: *Flexible systems, technological processes, system components, group technology, system managing, modelling, stimulation*

1. UVOD

Stanje na tržištu, kao regulator odnosa u proizvodnji, karakterizira se između ostalog zahtjevima za sve raznovrsnijim proizvodima, višim kvalitetom proizvoda, kao i kraćim vremenom isporuke. Tržište više ne traži standardni proizvod već proizvod – varijantu, a to dovodi do brzog zastarijevanja proizvoda. Da bi se osigurala konkurentna sposobnost poduzeća, reagira se na sve oštrije zahtjeve smanjenjem vremena izrade proizvoda, povećanjem produktivnosti, fleksibilnosti kao i ekonomičnosti proizvodnje, poštovanjem ugovorenih termina isporuke, većim iskorištenjem kapaciteta, smanjenjem zaliha i sl. Na temelju tih zahtjeva koji se postavljaju pred suvremenu proizvodnju realno je očekivati da će u optjecaju biti sve više strojeva i alata.

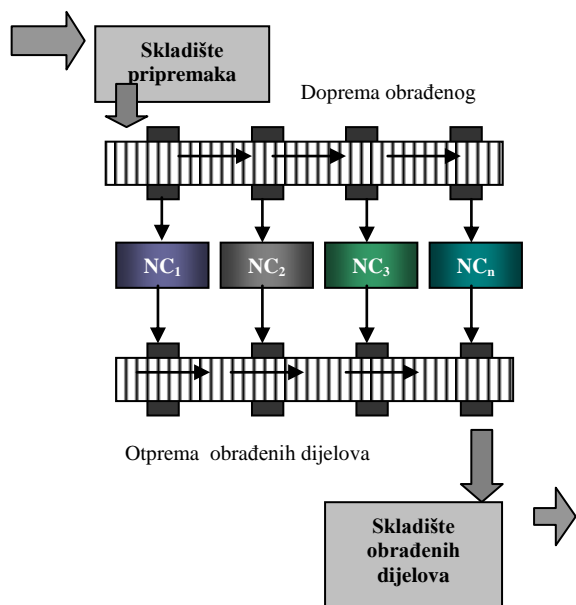
Uvođenje fleksibilne proizvodnje je uvjetovano odgovarajućim stupnjem razvoja komponenata automatizacije proizvodnih sistema kao što su numerički upravljani alatni strojevi, robotski sistemi, računalom

upravljani sistemi transporta, numerički upravljani mjerni strojevi, uključujući i razvoj odgovarajućih programskih alata za konstrukciju, proračun, analizu, upravljanje i nadzor. Fleksibilnost kao osnovna odlika fleksibilne proizvodnje ogleda se u sposobnosti izvršavanja različitih proizvodnih zadataka koji u okviru fleksibilne proizvodnje mogu biti limitirani različitom geometrijom i tehnologijom izrade proizvoda, kao i različitim vremenima trajanja proizvodnog procesa.

Da bi se osigurala fleksibilnost i visoka razina integracije u arhitekturi upravljačkog sistema FPS, koji predstavlja osnovni integrirajući element, potrebno je pri njegovom projektiranju izvršiti dekompoziciju upravljačkog sistema na podsisteme, a podsisteme na module. Svaki sistem treba posjedovati bazu podataka koja je tako strukturirana i projektirana da bude nezavisna od područja primjene. To znači da sistem treba imati bazu podataka o pojedinim elementima u sistemu, kao i algoritme i logiku za odlučivanje na temelju kojih će se izvoditi manipulacija podacima iz baze. Za

očekivati je da će se ovi sistemi u budućnosti proširiti na nove aplikacije kao što je projektiranje postupaka montaže, kontrola kvalitete, izrada dijelova od lima, kod industrijskih robota, zavarivanja i sl.

Pod fleksibilnim proizvodnim sistemom podrazumijeva se sistemska i interakcijska povezanost osnovnih dijelova proizvodnje počevši od opreme, tijekom materijala i upravljanja, pa do organizacijskih i tehničkih procedura i programa koji su također dio sistema [1,4,6,8,9]. U tom smislu na slici 1. prikazane su mogućnosti komponiranja sistema.



Slika 1. Princip funkcioniranja fleksibilnog proizvodnog sistema [6]

Potreba za razvojem proizvodnih sistema u svim varijantama proistekla je iz saznanja o mogućnostima povećanja tehnoeconomičkih efekata obradnih procesa, u zavisnosti od karakteristika procesa obrade i broja izradaka. Fleksibilni proizvodni sistemi su sistemi koji sadrže više automatiziranih radnih ćelija koje su tako povezane, preko automatiziranih sistema transporta, da je moguća istodobna obrada predmeta različitih oblika.

Da bi se definirala ukupna fleksibilnost proizvodnih sistema treba promatrati pojedinačne fleksibilnosti elemenata sistema, kao što su fleksibilnost strojeva, fleksibilnost procesa, fleksibilnost kapaciteta, fleksibilnost transporta, fleksibilnost redoslijeda obrade i sl. Prethodno spomenute fleksibilnosti elemenata sistema u velikoj mjeri uvjetovane su fleksibilnošću korištenih programa i baze podataka, koji trebaju biti tako projektirani da je moguće uz minimalne promjene u postojećim programima i bazi podataka uspostaviti novi informacijski sistem u promijenjenim uvjetima i novim zahtjevima. Takva postrojenja zaslužuju atribut „fleksibilna“ kada je svaki podsistem upravljačkog sistema projektiran tako da podržava zahtijevanu fleksibilnost, jer razina fleksibilnosti sistema fleksibilnog proizvodnog sistema određuje njegova najmanja fleksibilna komponenta.

Pri konceptiranju FPS i izgradnji jednog tako složenog sistema postavljaju se i veoma oštri zahtjevi u

pogledu izgradnje hardvera i softvera. Hardverski zahtjevi proizlaze iz koncepcije fleksibilnog proizvodnog sistema koja obuhvaća: tip sistema, veličinu sistema, razinu fleksibilnosti, obuhvaćene funkcije, strukturu sistema itd. Na osnovu koncepcije fleksibilnog proizvodnog sistema i modela upravljanja pristupa se i hardverskom komponiranju: izboru upravljačke opreme (računalski sistem), proizvodne opreme (CNC stroj), transportnog sistema, sistema uskladištenja i otpreme. Na temelju usvojene koncepcije i strategije upravljanja sistemom pristupa se softverskoj izgradnji sistema, točnije softverskim zahtjevima sistema.

Fleksibilni sistem mora biti prilagodljiv sljedećim zahtjevima:

- bilo koji aranžman i količina komada za obradu mora biti obrađen
- prilagođavanje opreme za obradu diktirano je komadom za obradu

Da bi mogli znati koji su to zahtjevi, fleksibilni sistem mora ispunjavati sljedeće uvjete:

1. Automatska, ali opet dovoljna adaptacija za proizvodnju komada koji su slični geometrijski i tehnološki. Tehnološka grupa može odlučujuće doprinijeti uspjehu iskorištenja fleksibilnog sistema. Ipak to mora biti zamišljeno malo različito od konvencionalne tehnologije;
2. Jednostavna adaptacija zahtjevima tržišta, kao što je kvaliteta proizvoda, dizajn proizvoda, upoznavanje s novim proizvodima itd.;
3. Automatska obrada do maksimalno moguće razine, s minimalnim uključivanjem radnika sa sistemom. Nemoguće je očekivati da će sistem raditi 24 sata bez prestanka kao što se je na početku tvrdilo;
4. Mogućnost proširenja sistema bez zaustavljanja proizvodnje kao važan dio fleksibilnog sistema (modularna konstrukcija, interfejsi itd.);
5. Prebacivanje proizvodnje na druge komponente sistema, ako jedna komponenta otkáže. To uključuje promjenu tijekom materijala i kontrolu informacija. Kontrola informacija mora biti spremna kad je trebamo;
6. Pojednostavljeno servisiranje i namještanje. Ovo je osigurano specijalnim dijagnostičkim sistemom individualnih jedinica, ponovno pokretanje, povremeno održavanje i pregled ispravnosti materijala i informacija.

2. PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRADJE

Projektirani tehnološki proces je skup znanja i praktičnih iskustava usmjerenih na definiranje slijeda, postupaka i režima procesa obrade s ciljem pretvaranja nižih upotrebnih vrijednosti priprema u vrsnije gotove proizvode. Postaviti tehnološki proces obrade je iznimno složen i odgovoran zadatak, jer od ispravno postavljenog tehnološkog procesa ovisi krajnji ekonomski rezultat ostvarene proizvodnje. [3,7,8,11]

Za dobro postavljanje tehnoloških procesa obrade potrebna su teoretska znanja i praktična iskustva što se tiče metode obrade, izbora stroja, alata, pribora i mjernih instrumenata za dani tip proizvodnje i traženu kvalitetu obrade. Isto tako, da bi tehnološki proces zadovoljio tehnološke i ekonomske kriterije dane proizvodnje, treba odrediti optimalni režim obrade, kao i optimalni oblik polaznog sirovog komada.

Postavljanje tehnološkog procesa dolazi u obzir kod:

- usvajanja nove proizvodnje
- usvajanja novog proizvoda u već postojećoj proizvodnji
- unapređenja i racionalizacije postojeće proizvodnje

Da bi postavili tehnološki proces obrade potrebno je imati konstruktivnu dokumentaciju proizvoda (crteže dijelova i sklopova) koja mora imati sljedeće postavke:

1. Ukupno planiranu količinu proizvoda koja može biti iskazana mjesečno i godišnje
2. Datoteku strojeva koja treba sadržavati dokumentaciju za izbor alata
3. Dokumentaciju za izbor polaznog oblika materijala (odljevak, otkivak, otpresak i slično)
4. Uputu za programiranje procesa obrade s datotekom podataka obradnog sistema
5. Ranija slična rješenja, posebno dokumentaciju ostalih proizvoda iz proizvodnog programa kako bi se mogla primijeniti unifikacija, standardizacija ili normalizacija proizvoda i postupaka obrade
6. Tehnološku organizaciju proizvodnje
7. Raspoložive ljudske kapacitete po broju, strukturi i stupnju stručnosti
8. Obrasce, ispise i nosioce informacija

Kod projektiranja tehnološkog procesa obrade polazi se od strukture koja je obično standardna za svaki tip obrade. Najčešće su razlike što se tiče širine razrade tehnološkog procesa, tj. projektira li se proces obrade za individualne, tipske ili grupne tehnološke procese, odnosno radi li se o procesu obrade za konvencionalne ili nekonvencionalne obradne sisteme.

Razvojem i primjenom novih informatičkih tehnologija CAD/CAPP/ CAM uslijedila je odgovarajuća promjena strukture tehnološkog procesa. Podaci koje tehnolog upisuje u tehnološku dokumentaciju moraju biti detaljno obrađeni i prikazani u obliku programa prema kojem upravljačka jedinica upravlja obradnim sistemom.

Struktura tehnološkog procesa može biti dana u skraćenom obliku, npr. mogu biti definirani samo nazivi operacija, ili detaljno određena do najmanjih zahvata. Koja će se od ove dvije granične strukture primijeniti, zavisi od vrste proizvodne opreme, stupnja automatizacije, veličine serije, složenosti proizvoda i o zahtijevanoj točnosti.

Kod potpuno automatiziranog obradnog sistema, bez obzira na tehničku razinu upravljanja (mehanički, hidraulični, električni, numerički, kompjuterski), nužno je točno i detaljno definirati sve zahvate, faze i operacije, alate i režime obrade.

3. PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA ZA FLEKSIBILNE PROIZVODNE SISTEME

Složenost tehnološkog procesa obrade raste s porastom složenosti obradnog sistema, jer složeni obradni sistemi imaju primjenu u proizvodnji tehnološki i geometrijski složenih struktura proizvoda. Sve to utječe na porast broja mogućih tehnoloških varijanti u izradi odgovarajućeg proizvoda i izbor optimalne varijante obrade. Zbog toga je kod projektiranja tehnoloških postupaka za fleksibilne proizvodne sisteme nužno poznavati sve ono što je prethodno izloženo. Fleksibilni proizvodni sistem je sastavljen iz numerički upravljanih alatnih strojeva, obradnih centara i fleksibilnih ćelija čiji je rad integriran računalom s automatskom izmjenom alata, pribora i obradaka.

Prema razini tehnološki procesi mogu biti konvencionalni (klasični) i nekonvencionalni (CNC, ACC, NC), a realiziraju se proizvodnim sistemima koji mogu biti kruti ili fleksibilni.

Osnovni sistemi projektiranja tehnoloških procesa obrade [1]:

1. Individualni tehnološki procesi (ITP) se projektiraju i primjenjuju za obradu jednog određenog proizvoda – izratka, uzimajući u obzir veličinu serije, raspoloživu proizvodnu opremu i zahtjeve određene crtežom.
2. Grupni tehnološki procesi (GTP) se projektiraju za formiranu grupu tehnološki sličnih izradaka. Da bi se po grupnom tehnološkom procesu mogli obrađivati svi dijelovi iz grupe, GTP mora obuhvatiti sve operacije i zahvate pomoću kojih će biti obrađene sve površine dijelova iz grupe.
3. Tipski tehnološki procesi (TTP) projektiraju se za tipove izradaka, bitno veće sličnosti nego GTP, jedinstvenih konstrukcijskih i tehnoloških obilježja. Dakle, osnovna osobina TTP je jedinstvo tehnološkog procesa pri obradi svakog dijela istog tipa. Do tipova dijelova se dolazi na osnovu kriterija da dijelovi istog tipa moraju imati iste obrade i njihov redoslijed, odnosno iste operacije i zahvate procesa obrade.

Prije projektiranja tehnološkog procesa obrade za FPS treba pripremiti pouzdane i detaljne podloge, kako bi visoko ulaganje u obradni sistem počivalo na sigurnim temeljima. Struktura i koncepcija FPS ovisi o vrsti, asortimanu, složenosti proizvoda te o projektiranim postupcima obrade.

Osnovne podloge za projektiranje procesa:

- asortiman proizvoda i količine po vrsti proizvoda
- veličina serije proizvoda
- radionički crtež – geometrijske informacije (oblik i dimenzije, točnost izrade, površinska obrada), gdje je CAD sistem ulazni format za projektiranje tehnologije
- funkcija proizvoda i specijalni zahtjevi
- vijek trajanja proizvoda koji će pokazati opravdanost uključivanja proizvoda u program fleksibilne proizvodnje

Fleksibilna proizvodnja se primjenjuje u obradi složenih obradaka gdje se tehnološki proces izvodi na više obradnih modula. Složenost proizvoda, široki asortiman izradaka i manje količine predodređuju primjenu FPS. Visoka nabavna cijena, znatni troškovi montaže i primjene FPS za proizvodnju traži adekvatne proizvode koji će plasmanom pokriti troškove ulaganja i proizvodnje uz stvaranje odgovarajuće dobiti. To pokazuje da ovi proizvodi moraju imati budućnost, jer u protivnom postoji veliki rizik ulaganja.

Kod planiranja fleksibilne proizvodnje traži se detaljna analiza izradaka što se tiče:

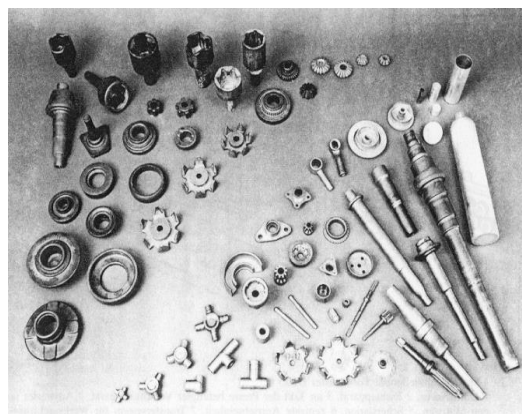
1. asortimana proizvoda
2. količine proizvoda
3. mogućnosti formiranja grupa sličnih izradaka
4. tržišnih zahtjeva po svim relevantnim karakteristikama bitnim za uspješan plasman proizvoda
5. vijeka trajanja proizvoda
6. tehnološke složenosti izradaka, geometrijske složenosti, vrsti obrade, dimenzija i mase izradaka
7. vrste, oblika i materijala priprema
8. primjene automatske proizvodnje i automatske izmjene obradaka i točnosti pozicioniranja
9. rentabilnosti proizvodnje

Za razliku od simulacijskog modela pomoću kojega se dobije više odgovora, optimizacijski model od mnoštva odgovora bira jedan koji je najbolji, i to najbolji prema postavljenom cilju i zadanom ograničenju. Optimizacijski model se može promatrati kao jedan simulacijski model kojem je dodan izraz koji predstavlja cilj odlučivanja i koji se naziva funkcija cilja. Optimizacija se može izvoditi na tri razine: na razini zahvata, izrade dijela i na razini izrade cijele serije dijelova.

Prema prikazanom modelu optimizacija procesa obrade na razini zahvata obuhvaća više povratnih tokova kojim se određuje optimalni izbor alata, optimalni izbor režima obrade i optimalnost alata.

Na temelju kriterija optimizacije i definiranih elemenata strukture FPS projektira se odgovarajuća optimalna struktura fleksibilnog proizvodnog sistema.

Grupna tehnologija [1,8,9,11,13,14] se temelji na spoznaji da mnogi tehnološki problemi sadrže određene sličnosti, te da se grupiranjem sličnih problema mogu naći zajednička rješenja. Jednoj tehnološkoj grupi pripadaju svi dijelovi koji se mogu obraditi na jednoj alatnoj mašini pomoću jednog istog tehnološkog podešavanja stroja, dakle s istim priborom i alatima. Iznijeta misao sadrži osnovno načelo grupne obrade o potrebi klasifikacije dijelova i formiranju grupa sličnih dijelova za koje će se unificirati tehnološki postupak obrade kao na slici 2. Na ovaj način formiraju se tehnološke grupe od dijelova iz proizvodnog programa koji imaju zajedničku problematiku tijekom procesa obrade određene operacije. To znači da se grupna tehnologija ograničava na konstruktivnu i tehnološku sličnost pojedinih postupaka obrade i alata, odnosno na pojedine operacije čija je posljedica kombinacija grupnih i individualnih tehnoloških operacija tijekom izrade.



Slika 2. Dijelovi po grupama [1]

Kao što se vidi primjenom grupne tehnologije, ostvaruje se određena standardizacija tehnoloških postupaka koja omogućuje brzu pripremu za proizvodnju novog predmeta rada. Pri tome se zadržava kvaliteta proizvodnje i ne stvaraju se nepotrebni gubici, a kapacitet opreme maksimalno se koristi. Potrebno je organizirati proizvodnju po grupama dijelova. To se izvodi projektiranjem sistema za proizvodnju složenog dijela, čime se omogućuje izrada svih pojedinačnih dijelova koji se pod njega podvode. Na taj način se postiže ekonomična proizvodnja više različitih dijelova, koja je bit fleksibilne proizvodnje. Iz ovih razloga koncept grupne tehnologije našao je veliku primjenu u organizaciji fleksibilne proizvodnje koja se projektira tako da se proizvodni proces za svaku grupu dijelova organizira kao fleksibilan sistem.

Kriterij za izbor i oblikovanje tokova materijala zasiva se na skupu karakterističnih veličina proizvodnog sistema određenih u prethodnim fazama projektiranja:

- količine proizvoda (q_i) koje definiraju opseg razmjene sistema s okolinom
- odnos strukture proizvodnog programa (p_j) – količine (q_j) koji određuju kvaliteta razmjene s okolinom i predstavlja osnovu za izbor tipa tokova materijala u proizvodnom sistemu
- stupanj tehnološke složenosti proizvoda koju određuje funkcija proizvoda, postupak oblikovanja, postupak izrade, kvaliteta veze između sredstava rada i ljudi te uvjeti za rad. Iskazuje se vremenom trajanja izvođenja operacija (t_{ii})
- kapacitet elemenata sistema koji definiraju radne mogućnosti, režim rada, uvjete korištenja, stanje u sistemu i kvalitetu procesa odlučivanja.

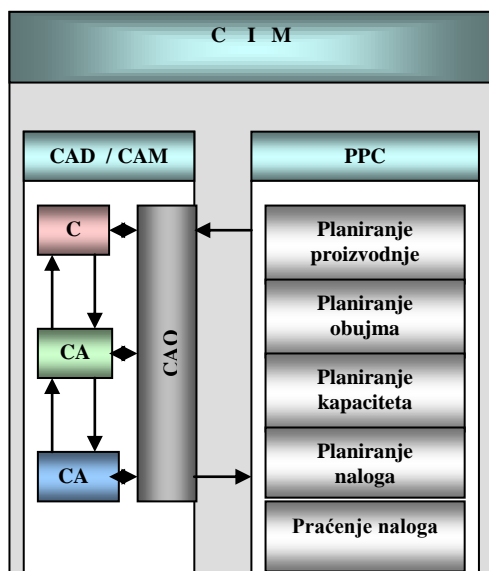
Složenost upravljačkog sistema je osnovni nedostatak FPS-a i razlog zbog kojeg ovi sistemi nisu više našli primjenu. Budućnost upravljanja ovim sistemima leži u umjetnoj inteligenciji.

Kompleksnost upravljačkih sistema kod fleksibilnih proizvodnih sistema pokušava se riješiti pomoću umjetne inteligencije koja se razvija u tri segmenta:

1. učenje - OPAŽANJE
2. logičko zaključivanje - MIŠLJENJE,
3. kooperativnost - KOMUNIKACIJA

Komunikacija na relaciji ČOVJEK-STROJ-ČOVJEK, prilikom izmjene informacija u cilju prezentiranja znanja i njegove obrade, otežano je zbog prepoznavanja govora i obrade prirode govora.

Kod automatiziranih projektiranja tehnoloških procesa CAPP računar se koristi za određivanje tijeka tehnoloških operacija, za pripremu operacijskih lista za pojedine dijelove, za automatsko određivanje odgovarajućih alata, automatsko određivanje tehnoloških režima obrade i za određivanje vremena izrade primjenom optimizacijskog algoritama. Pošto već postoji geometrijski model proizvoda u računalu, teži se tome da se i ostale aktivnosti vezane uz projektiranje tehnoloških procesa prenesu u računalu. Pravodobna raspoloživost točnih podataka za opis proizvoda i podataka za njegovu izradu u cijelom lancu nastanka proizvoda jedan je od najvažnijih faktora za poboljšanje konkurentne sposobnosti poduzeća. Takvim zahtjevima suprotstavlja se stanje kod obrade i manipulacije podacima za opis proizvoda. Projektiranje CAPP sistema je zapravo uspostavljanje veze između procesa konstruiranja i procesa proizvodnje (slika 3.).



Slika 3. Integracija CAPP sistema u CIM sistemu [8]

Iz slike se vidi da CAPP sistem treba razmjenjivati podatke s CAD i CAM, ali i sa sistemom za osiguranje kvalitete CAQ, kao i s drugim područjima CIM sistema. Projektiranjem CAPP sistema povećava se razina automatiziranosti ukupnog sistema, čime se stvaraju pretpostavke za transfer podataka o modelu proizvoda između sistema CAD i CAM, kao i između drugih podsistema CIM sistema.

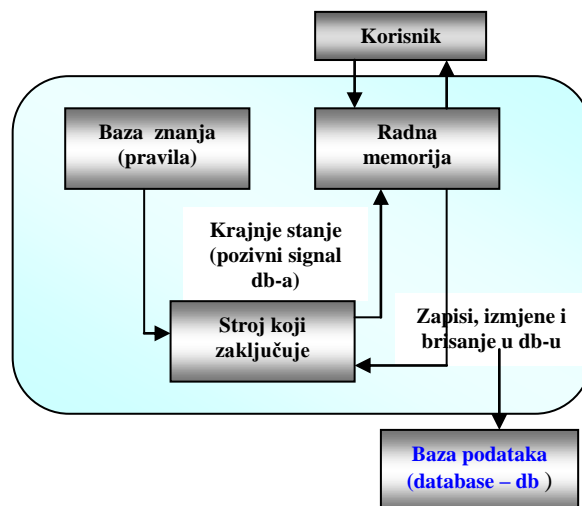
Ekspertni sistemi ili sistemi bazirani na znanju su oni koji obradu znanja izvode ne samo obradom podataka već se obrađuje sveukupna količina znanja. Takvo znanje nastaje iz prvobitnog raščlanjivanja, odnosno iz spajanja uzroka i posljedica uvjetovanih događajima kroz poimanje odnosa i relacija uzetih na temelju primjera uvjeta i događaja. Izgrađivanje poimanja i odnosa može se izvesti analizom skupa, klasifikacijom i zaključivanjem.

Sistemi bazirani na znanju su deskriptivno programirani sistemi. Ekspertni sistemi su sistemi

bazirani na znanju s posebnim FRONT/END komponentama kao što su komponente za omogućavanje dijaloga, objašnjenje i stjecanje znanja koje iznova mogu same realizirati mogućnosti sistema na bazi znanja. Na slici 4. je prikazana relacija između korisnika, baze podataka i ekspertnog sistema.

Ekspertni sistemi ne mogu biti egzaktno definirani. Izgradnja ekspertnog sistema iznimno je skup proces, zbog čega se dobar dio proizvođača odlučuje za proizvodnju ekspertnih alata koji su manje skupi, zadržavaju svojstvo ekspertnih sistema, ali nisu univerzalni, a to su ekspertne ljuške. Ekspertne ljuške su alati koji se koriste za jedno područje problema, pri čemu njihova konkretna primjena ovisi o znanju kojim se puni baza znanja. Razlog njihove velike primjene je svakako u cijeni koja je za ovakvu vrstu alata prihvatljivija od cijene složenih ekspertnih sistema. [1,8,18,19].

Danas ekspertni sistemi za planiranje, osim baze znanja i mehanizama odlučivanja, sadrže u sebi komunikatore s vanjskim svijetom koji dopuštaju vođenje dijaloga, kontrolu i vođenje procesa.



Slika 4. Veze između baze podataka, korisnika i ekspertnog sistema [1]

4. STRUKTURIRANJE, PROGRAMIRANJE I PLANIRANJE FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH SISTEMA

Prvu fazu projektiranja bilo kojeg proizvodnog sistema predstavlja formiranje koncepta proizvodnog sistema koji se u idućim fazama detaljizira. Strukturiranje koncepta proizvodnog sistema podrazumijeva segmentiranje ukupnog asortimana proizvodnog programa na grupe izradaka s konstrukcijsko – tehnološkom i proizvodnom sličnošću namijenjenih obradi na odgovarajućem proizvodnom sistemu.

Zbog svoje složenosti koja sa sobom nosi veliku investicijsku angažiranost, fleksibilni proizvodni i obradni sistemi se uvode u proizvodne hale samo onda kada se dokaže njihova ekonomičnost. Ovo se radi pomoću računala i posebnih simulacijskih metoda. Jedan

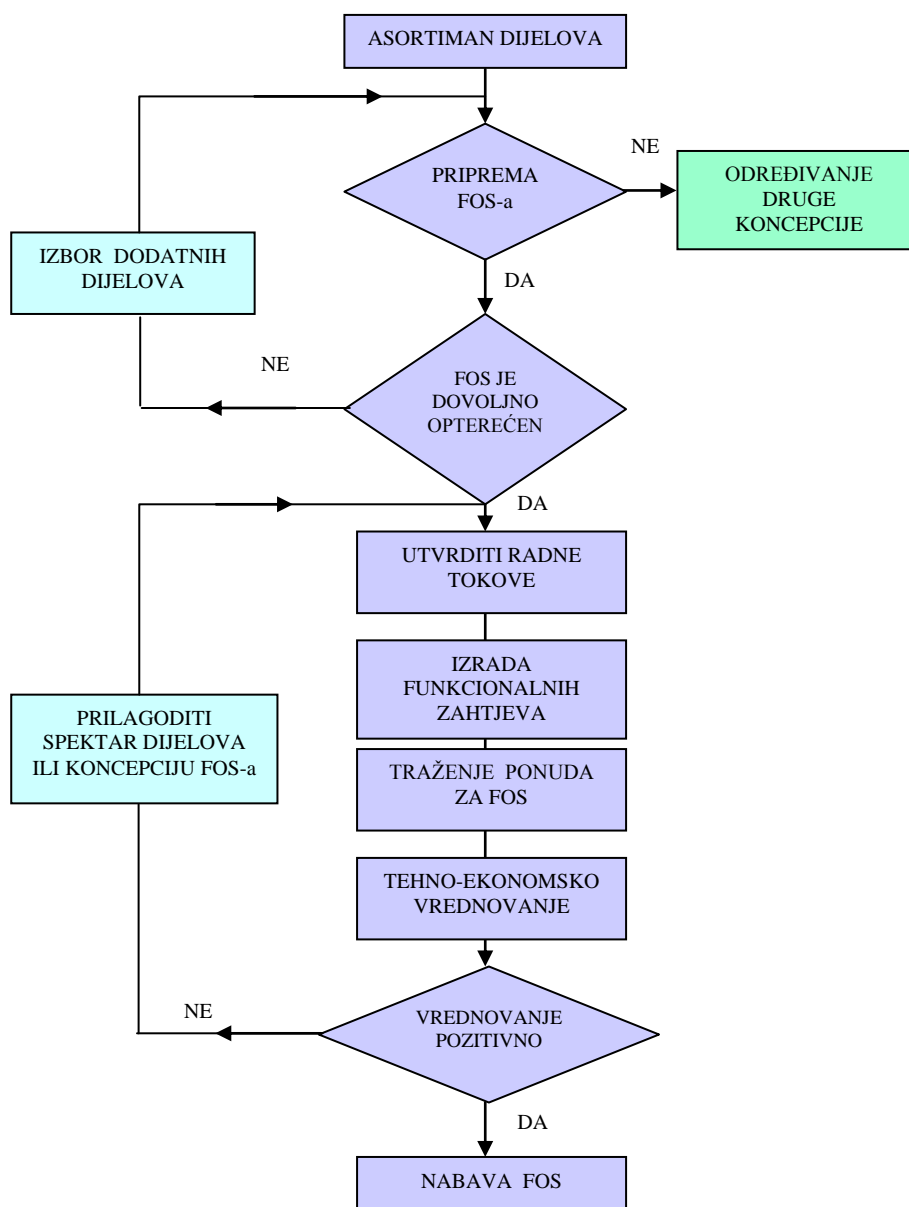
opći tijek definiranja strukture fleksibilnog obradnog sistema prikazan je na slici 5.

Planiranje FOS-a znači istodobno pronaći takvu strukturu u kojoj će sve komponente, kao i njihov međusobni odnos, biti optimalne tehnološkim potrebama, ali i ekonomične u eksploataciji.

Kako su troškovi realizacije FOS-a razmjerni potrebnoj fleksibilnosti, koju opet uvjetuje spektar dijelova koji želimo obrađivati na planiranom obradnom sistemu, potrebno je izabrati dijelove, odnosno formirati obitelj dijelova na osnovama kombinacije geometrijskih, tehnoloških i organizacijskih kriterija. Daljnjom tehnološkom razradom proizvodnog zadatka mora se utvrditi i tijek procesa izrade ovih dijelova [9,10].

Korisnik budućeg FOS-a najbolje poznaje vlastiti razvoj proizvoda, proizvodnu problematiku. Zbog toga odgovornost za pravilno strukturiranje i planiranje FOS-a i fleksibilnog proizvodnog sistema leži upravo kod korisnika [17].

Planiranje je jedna od osnovnih funkcija proizvodnje. S obzirom na složenost i obujam funkcije planiranja fleksibilne proizvodnje ona je u sistemu FPS u cjelini podržana računalom, pa je u upravljačkom sistemu FPS funkcija planiranja dobila naziv CAP (Computer Aided Planning).



Slika 5. Tijek planiranja FOS-a [8]

Iz projektiranih tokova materijala i alata, u odnosu na obradnu ćeliju, proizlaze funkcionalni zahtjevi za načinom i tokovima obrade, koji s dispozicijom svih modula fleksibilnog obradnog sistema i njegovim opisom predstavljaju polazne elemente za izradu projekta.

Funkcija planiranja fleksibilne proizvodnje je preko CIM-a informacijski povezana s funkcijama CAA, CAD i CAM, kao i s drugim funkcijama.

Proces planiranja fleksibilne proizvodnje obuhvaća više manjih elementarnih planiranja kao što su:

- planiranje proizvodnje
- planiranje kapaciteta
- planiranje materijala
- planiranje alata
- planiranje transporta

Opterećenje ili vrijeme zauzetosti fleksibilnog proizvodnog sistema ogleđa se kroz pravilan raspored obradnih jedinica, kroz transport alata i materijala, te mjernih uređaja i strojeva za pranje. Naime, fleksibilni proizvodni sistem je opravdan ako je njegov učinak maksimalan, odnosno ako nema praznih hodova i čekanja na stanicama. Za pravilno postavljanje fleksibilnog proizvodnog sistema neophodno je praćenje vremena izrade dijelova u funkciji količine i cijene fleksibilnog proizvodnog sistema.

Programiranje rada fleksibilnog proizvodnog sistema temelji se na programiranju svih komponenti proizvodnog sistema. Jezgru FOS-a čine numerički upravljani alatni strojevi, pa je i programiranje NC alatnih strojeva jedan od osnovnih elemenata programske podrške. Programiranje se može definirati kao proces zadavanja obradnih informacija prema pravilima programskog jezika. Sve unesene informacije u program sistematiziraju se, te se zapisuju na nositelje informacija (bušena traka, magnetna traka, disk...).

Metode programiranja mogu se podijeliti na:

- ručno programiranje
- automatsko programiranje

Ručno programiranje radi se u jeziku upravljačkog računala, dok se automatsko programiranje radi posredno u nekom višem programskom jeziku, pomoću računala.

5. MODELIRANJE I SIMULACIJA FPS-a

Tehnološko oblikovanje i projektiranje modernih procesa obrade zahtijeva analizu svih tehničko-tehnoloških parametara procesa i primjenu znanstvenih metoda u cilju modeliranja i definiranja optimalnih uvjeta obradnih procesa i sistema.

Osnovna je svrha modeliranja definiranje matematičkih modela i drugih prikaza koji su nužni za optimizaciju, simulaciju, revitalizaciju i upravljanje procesima i sistemima. Prema tome, osnovna je svrha modeliranja procesa i sistema izgradnja matematičkih modela koji će u odgovarajućem stupnju točnosti adekvatno opisati proces ili sistem u cilju:

- simulacije varijantnih rješenja, analize i prognoziranja stanja procesa još u fazi projektiranja,
- definiranja matematičkih modela koji su neophodni za optimizaciju procesa i pronalaska optimalnih rješenja,
- izgradnje modela upravljanja za dani sistem, odnosno objekt optimizacije,
- znanstvenih istraživanja i praktične primjene u stvarnim procesima.

Prema tome, krajnji cilj modeliranja i optimizacije obradnih procesa i sistema je jeftinija, kvalitetnija i profitabilna proizvodnja.

6. DIJAGNOSTIKA I MONITORING FPS-a

Ukupna problematika dijagnoza fleksibilnih proizvodnih sistema može se podijeliti na:

- dijagnozu obradnog procesa
- dijagnozu ukupnog hardvera i softvera ovih sistema

Danas su ta dva sistema integrirana i oni su jedna od vitalnih funkcija FPC i FPS koja im omogućava neprekidan rad. Motivi koji su potaknuli razvoj monitorskih sistema su:

- složena tehnologija na bazi računalske automatizacije
- zahtjevi za daljnjom racionalizacijom u tehnološkim sistemima
- zahtjevi za povećanjem produktivnosti
- zahtjevi za povećanjem kvalitete proizvoda
- zahtjevi za daljnjim poboljšanjem radnih uvjeta

Effekti koji se korištenjem monitorskog sistema mogu postići kod povećanja kvaliteta i produktivnosti za različite razine razvoja tehnoloških sistema zavise prije svega od toga prikupljaju li se monitorske informacije manualno (ručno) ili pomoću različitih razina računalske podrške.

Razina računalske podrške određuje i karakteristike monitorskog sistema s brojem funkcija, za stroj ili pogon.

Obradne stanice predstavljaju osnovne elemente za fleksibilnu automatizaciju u FPS. One integriraju veći broj automatiziranih ili automatskih funkcija, a jedna od najznačajnijih je monitoring alata. [6,8]

7. UPRAVLJANJE FPS-om

Upravljanje fleksibilnom proizvodnjom treba omogućiti optimalno funkcioniranje fleksibilnog proizvodnog sistema u smislu ostvarenja postavljenih ciljeva sistema. Upravljački sistem FPS je složen sistem upravljanja. Upoznavanje i prikaz ovog sistema u smislu opisa samog upravljačkog procesa treba početi od konstatacije da je razvoj FPS bio omogućen zahvaljujući programskoj automatizaciji strojeva za obradu, posebno kada su za upravljanje takvim strojevima uvedeni miniračunala i mikroračunala.

Kod NC obradnih strojeva proširuje se stupanj automatizacije na izmjenu alata i često na izmjenu radnih predmeta. Pri integraciji nekoliko ovih strojeva u DNC sistem s procesnim računalom moguća je distribucija upravljačkih zadataka i podataka. Isto tako, moguće je osigurati automatsko prikupljanje podataka iz procesa rada, kao i praćenje procesa. U FPS, osim ovih funkcija, automatizirane su i funkcije kao što su transport i skladištenje radnih komada, te transport alata.

Obrada informacija u upravljačkom sistemu FPS može se distribuirati između više računala. Zapravo obrada informacija može biti na jednom mjestu, a može

se i decentralizirati. Operacije na obradi informacije podijeljene su u tri grupe ili razine [1,7]:

1. na gornjoj, najvišoj razini su funkcije nužne za upravljanje proizvodnim sistemom i pripadaju organizacijskom području
2. obrada informacija na srednjoj razini izvodi se procesnim računalom
3. u donjoj, najnižoj razini su upravljačke funkcije koje su povezane s procesom obrade

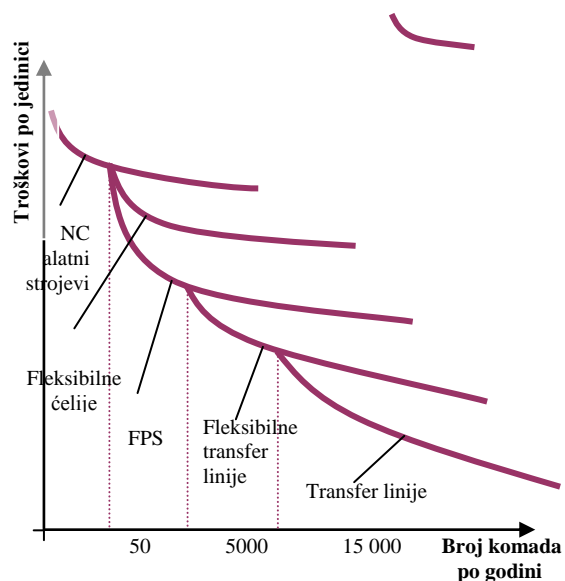
Efikasno upravljanje fleksibilnom proizvodnjom zahtijeva analizu podataka iz povratne veze u cilju donošenja upravljačkih odluka u realnom vremenu. Podrazumijeva se da se u sklopu efikasnog upravljanja FPS mora ostvariti komunikacija čovjeka sa strojem i obrnuto. Svi podaci koji se dobiju iz ovih analiza potrebni su za planiranje proizvoda, za upravljanje strojevima za obradu, robotima, transportnim sistemima itd., a služe i za analizu performansi sistema.

Upravljački sistem FPS je veoma složen sistem, a njegovo funkcioniranje omogućeno je primjenom računala. Imajući u vidu složenost FPS-a, kao i složenost upravljačkog sistema, upravljačke aktivnosti FPS-a mogu se sistematizirati u tri cjeline:

- upravljanje proizvodnjom FPS
- adaptivno upravljanje procesima obrade
- upravljanje održavanjem

8. EKONOMIČNOST I TROŠKOVI UVOĐENJA FPS-a U PROIZVODNJU

Fleksibilna tehnologija postala je nezaobilazni faktor u projektiranju modernih proizvodnih sustava. S obzirom na konstrukcijske i tehnološke karakteristike strojarskih proizvoda, javljaju se mnogi zahtjevi na fleksibilnost proizvodnih sustava. [5,8]



Slika 6. Ekonomično korištenje fleksibilnog sistema [4]

Visok stupanj fleksibilnosti proizvodnog sustava često rezultira porastom cijene sustava, padom ekonomičnosti, padom kvalitete, a redovito se porastom fleksibilnosti umanjuje produktivnost.

Uvjeti za ekonomično korištenje fleksibilnog sistema (slika 6.) su sljedeći:

- kompletno korištenje fleksibilnog sistema i njegova produktivnost
- velika efikasnost sistema tijekom namještanja/konačno vrijeme se potpuno reducira, što je važno naročito kod geometrijskih i tehnoloških zahtjevnih proizvoda
- automatsko mijenjanje komada, alata NC programa obrade, mjernih programa, steznih uređaja i mjernih uređaja

Uvođenje moderne tehnologije obradnim kapacitetima nosi sa sobom gospodarski i humani aspekt.

Gospodarski aspekt odnosi se na stvaranje racionalnije proizvodnje:

- skraćanjem vremena obrade
- smanjenjem zauzeća obradnog stroja
- skraćanjem vremena zadržavanja izradaka u proizvodnom prostoru
- smanjenjem proizvodnog prostora
- smanjenjem broja radnika u proizvodnji za strojem
- skraćanjem roka izrade proizvoda
- povećanjem iskorištenja obradne opreme

Humani aspekt zahtijeva da se radnici u neposrednoj proizvodnji oslobode:

- napornog fizičkog i intelektualnog rada
- odgovornosti za kvalitetu proizvoda i eventualni otpad
- odgovornosti za proizvodnost
- štetnog utjecaja procesa rada na zdravlje
- dosadnog i monotonog rada

Ima mnogo faktora koji mogu utjecati na način uvođenja moderne tehnologije, no na prvom mjestu su materijalne mogućnosti. Cilj kojemu treba težiti je računalom integrirana proizvodnja koja treba dobiti svoje mjesto kod određivanja:

- proizvodnog prostora
- proizvodne opreme
- osiguranja kvalitete
- organizacije

Prvi korak u uvođenju fleksibilnih obradnih sistema je grupiranje dijelova proizvoda prema principima grupne tehnologije na temelju tehnološke sličnosti. Smanjenje pomoćnih vremena automatizacijom izmjene alata i obradaka značajno se skratilo zauzeće strojeva. Fleksibilni proizvodni sistemi omogućuju gospodarsvenu obradu tehnološki sličnih dijelova malih serija, te rade u tri smjene s visokim stupnjem vremenskog iskorištenja.

Bojazni zbog uvođenja fleksibilnih obradnih sistema vezane su za:

- visoke troškove ulaganja
- visoke napore u prekvalifikaciji i obrazovanju kadrova
- smanjenje broja radnih mjesta
- velik napor uz ulaganje u reorganizaciju proizvodnje

Prevladavaju pozitivni efekti, uz ispravan pristup u izboru i projektiranju fleksibilnog obradnog sistema, te uz njegovo tromjensko korištenje. Prema iskustvima u eksploatairanju FPS-a, 60%-80 % su troškovi alatnih strojeva, 10%-20% su troškovi mjernih uređaja, 6%-12% su troškovi uređaja za pridržavanje i transport i 10%-20% su troškovi kontrole sistema.

Ovi troškovi zavise od:

- broja komada po godini
- kapaciteta cijelog FPS-a
- broja alata korištenih u proizvodnji
- broju serija po godini
- geometrijskih i tehnoloških sličnosti dijelova
- vijeka trajanja FPS-a, itd.

Ako se promatra svaki od triju bitnih dijelova fleksibilnog proizvodnog sistema kao proizvodni sistem, a to su obradni stroj, transportni i upravljački uređaji, dolazi se do zaključka da je svaki dio za sebe tehničko dostignuće, i da je svaki taj dio kao samostalna jedinica vrlo racionalan.

Prednosti primjene FPS-a u odnosu na konvencionalne vidove proizvodnje ogledaju se u:

- proizvodnji dijelova na temelju grupne tehnologije (manje serije dijelova, ali sa više varijanti);
- mogućnosti proizvodnje prema potrebama tržišta u danom trenutku, tj. "po narudžbi" (to znači trenutnu promjenu proizvodnog asortimana iz familije dijelova na principu grupne tehnologije). Proizvodnja prema zahtjevima tržišta ujedno znači i proizvodnju "bez zalih";
- smanjenju vremena potrebnog za izradu dotičnog dijela, koja se ogleda u smanjenju vremena samog procesa obrade, u podešavanju alata, steznih naprava, tj. u smanjenju vremena podešavanja cijelog sistema proizvodnje;
- povećanju produktivnosti unutar FPS-a i to malih serija koje su do pojave fleksibilne proizvodnje bile u sjeni velikoserijske i masovne proizvodnje. Znatno skraćen ciklus proizvodnje, a iskoristivost strojeva je na visokoj razini;
- povećanju kvalitete proizvoda korištenjem adaptivnog upravljanja, kao i udaljavanja čovjeka iz samog procesa obrade jer je podložan promjenama, a time i smanjenju kvalitete proizvoda;
- usmjeravanju ljudske djelatnosti sa same proizvodnje na organizaciju iste, kao i u oslobađanju od teških, zamornih i štetnih po zdravlje poslova, koje sada preuzimaju roboti i automatski vođeni strojevi.

Unatoč velikom napretku fleksibilnih obradnih struktura ostaje još mnogo zadataka za budućnost. Fleksibilna tehnologija jedina može rješavati zahtjeve današnjeg tržišta, gdje se traži velik broj različitih proizvoda, male serije, kratko vrijeme isporuke, različite količine proizvoda, veliki zahtjevi kvalitete, te kvaliteta servisa u eksploataciji [14,15].

9. ZAKLJUČAK

S razvojem novih tehnologija i visokog stupnja automatizacije obradnih sistema (NC, CNC, ACC, FMS) porasla je važnost projektiranja tehnoloških procesa, jer svaki detalj (geometrijski, kinematski i tehnološki) mora biti točno programiran, budući da je utjecaj čovjeka u proizvodnji neznatan, a u pripremi proizvodnje iznimno velik.

Također, povećani zahtjevi za smanjenjem ciklusa izrade i procesa proizvodnje, te zahtjevi tržišta za povećanjem kvalitete proizvoda, uvjetovali su razvoj nove proizvodne filozofije gdje proces obrade neće zavisiti od čovjeka u proizvodnji, već od kvalitete tehnološkog procesa i obradnih sistema za tako projektirani proces.

Da bi se osigurala fleksibilnost i visoka razina integracije u arhitekturi upravljačkog sistema FPS, koji predstavlja osnovni integrirajući element, potrebno je pri njegovom projektiranju napraviti dekompoziciju upravljačkog sistema na podsisteme, a podsisteme dalje na module.

Svaki sistem treba imati bazu podataka koja je tako strukturirana i projektirana da bude nezavisna od područja primjene. To znači da sistem treba posjedovati bazu podataka o pojedinim elementima u sistemu, kao i algoritme i logiku za odlučivanje na temelju kojih će se manipulirati podacima iz baze. Takvi sistemi se sve više razvijaju na bazi primjene umjetne inteligencije. Realno je očekivati da će se ovi sistemi u budućnosti proširiti na nove aplikacije kao što je projektiranje postupaka montaže, kontrola kvalitete, izrada dijelova od lima, kod industrijskih robota, zavarivanja i sl.

U samom proizvodnom procesu dolazi do smanjenja broja radnika – teži se da proizvodni proces bude bez ljudi, zapravo postavlja se pitanje kamo s viškom radnika. Odgovor se može tražiti u pripremi proizvodnje koja zahtijeva veći broj radnika nego kod konvencionalne proizvodnje, jer se u pripremi proizvodnje obavljaju sve funkcije koje je dotad obavljao čovjek. Odgovor se svakako mora tražiti u stalnom učenju i praćenju novih tehnologija menadžmenta i samih radnika.

FPS ne treba shvatiti kao novu tehnologiju koju treba uvesti već će nam kao takva poboljšati poslovanje. Prije svega treba napraviti potrebna ispitivanja jer se radi o visoko produktivnim sistemima koji bi mogli prelaziti potrebe tržišta.

10. LITERATURA

- [1] Tufekčić, Dž.; Jurković, M.: Fleksibilni proizvodni sistemi, JU Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 1999.
- [2] Rabić, R. B.: Projektovanje tehnoloških procesa, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1999.
- [3] Jurković, M.; Tufekčić, Dž.: Tehnološki procesi projektiranje i modeliranje, Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 2000.
- [4] Balič, J.: Inteligentni obdelovalni sistemi, Fakultet za strojništvo Maribor, Maribor, 2004.
- [5] Biščević, I.; Ekonomika u tržišno poduzetničkim uslovima poslovanja, Univerzitet u Bihaću Viša ekonomska škola Bihać, Bihać, 1998.
- [6] Kief, B.H.; CNC – Handbuch 2013/2014, München, 2013.
- [7] Balič, J. : Računalniško integrirana proizvodnja, Fakultet za strojništvo Maribor, Maribor, 1998.
- [8] Jurković, M.: Reinženjering proizvodnih poduzeća, Univerzitet u Bihaću, Bihać, 2011.
- [9] Hammer, M.; Champy, J: Reengineering the Organization, Harper Business, New York, 1995.
- [10] Todić, D.: Projektovanje tehnoloških procesa, Tehnički fakultet, Novi Sad, 2004.
- [11] Dvozda, T. J.: Flexible manufacturing Systems, Society of Manufacturing Engineers Publications Development Department, Michigan, (1988)
- [12] Jurković, M.: Fleksibilne tehnologije i proizvodni sistemi u procesima obrade deformisanjem, Univerzitetski časopis „Saznanja“, Banja Luka Vol. 1, (1991) 67-92
- [13] Buljan, S.; Jurković, M.: Stanje tehnologije i tehnoloških sustava, Znanstveni časopis za prirodne i tehničke znanosti, Sveučilište u Mostaru, Vol.16, (2005) 127-134
- [14] Žapčević, S.; Butala, P.: Novi koncepti proizvodnih sistema, Proc. 5th Internacional Scientific Conference, Bihać, September 2005., 275-281
- [15] Tufekčić, Dž.; Šelo, R.: Primjena vještačke inteligencije u fleksibilnoj proizvodnji, Proc. 2th Internacional Scientific Conference, Bihać, September 1999., 41-52
- [16] <http://www.lokacionforum.org/home.htm>
- [17] www.lxnavigation.si/fleetman/default.htm
- [18] Katalog FMS firme „Litostroj“ Slovenija
- [19] Katalog FMS firme HAAS AUTOMATION

Kontakt autora:

Elvis Hozdić, dipl.ing.maš.
Fakultet za strojništvo Ljubljana
Hasana Kikića 67
77230 Velika Kladuša
E-mail: ehodzic@yahoo.com

Emine Hozdić, absolvent tehničkog fakulteta
Tehnički fakultet Bihać
Ul. Irfana Ljubijankića bb
77000 Bihać
E-mail: emine_hozdic@yahoo.com