

RAZVOJ SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE PRIBORA ZA MAŠINSKU OBRADU UPOTREBOM ZAKLJUČIVANJA NA OSNOVU SLUČAJA

Mr Đorđe Vukelić, dipl. inž.

Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu

Prof. dr Janko Hodolić, dipl. inž.

Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu

U radu se prikazuje razvoj sistema za projektovanje pribora za mašinsku obradu rezanjem. Sistem obezbeđuje, sa jedne strane, izbor i modifikovanje predhodno projektovanih konstrukcija pribora, a sa druge strane projektovanje novih konstrukcija pribora. Za razvoj sistema korištena je tehnika zaključivanja na osnovu slučaja. Pored toga sistem obezbeđuje i optimizaciju konstrukcije pribora. Kao kriterijumi optimizacije su korišćeni proizvodnost, tačnost i troškovi izrade pribora. Rad daje opštu strukturu primenjene metodologije, prikaz pojedinih segmenata sistema i primer njegove implementacije u industrijskoj proizvodnji. Na kraju su dati odgovarajući zaključci, prednosti i mane razvijenog sistema, kao i pravci budućih istraživanja.

Ključne reči: projektovanje pribora, pribori za mašinsku obradu.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MACHINING FIXTURE DESIGN USING CASE-BASED REASONING

The development of a system for fixture design for metal cutting manufacturing is presented in this paper. The system provides selection and modification of previously designed fixture layouts, on the one hand, and new fixture layout designs on the other hand. The case-based reasoning technique was used for this system development. Additionally, the system provides optimization of fixture layout. The criteria used for optimization include productivity, accuracy and production costs. The paper presents the overall structure of applied methodology, description of particular system segments and their implementation in production industry. The paper concludes with final remarks, discussing advantages and disadvantages of the developed system, as well as the directions of future research.

Keywords: fixture design, machining fixture.

UVOD

Savremeni proizvodni sistemi u mašinskoj industriji karakterišu se visokom frekvencijom promene programa proizvodnje, zahtevima za stalnim, poboljšanjem kvaliteta proizvoda, smanjenjem rokova njihove izrade, stalnom po-

trebom podizanja tehnološkog nivoa proizvoda, smanjenjem troškova njihove izrade, itd /16/. Usled ovakvih zahteva tržišta, intenzivnog razvoja nauke, tehnike i novih tehnologija, nivo i trend daljeg razvoja tehnoloških procesa obrade u industriji prerade metala zavisi od svih činilaca koji ih sačinjavaju. Činioci koji najviše utiču na kvalitet tehničkih rešenja su: vrsta priprema, obradni procesi, mašine alatke, redosled i koncentracija operacija i zahvata, alati, pribori, merila, itd. Da bi proizvode podigli

Kontakt: mr Đorđe Vukelić, dipl. inž.

Univerzitet u Novim Sadu, Fakultet tehničkih nauka

Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad

E-mail : vukelic@uns.ns.ac.yu

na viši nivo sve mašinske elemente je potrebno optimalno rešiti po pitanju funkcionalnosti, ergonomije, dizajna itd. /18/. U proizvodnim sistemima sa automatizovanom proizvodnjom ističe se potreba za automatizovanim projektovanjem pribora, s obzirom na to da projektovanje i proizvodnja istih, zavisno od tipa proizvodnje, čini značajan deo od ukupnog vremena za pripremu proizvodnje, čak i do 20% /1/. Skraćivanjem tog vremena smanjuju se i pripadajući troškovi. Ovo se postiže, između ostalog, primenom novih metoda u projektovanju koje se baziraju na CAx (Computer Aided everything) tehnologijama.

Projektovanje pribora pomoću računara je nastalo je kao uzročno-posledični odgovor na negativne aspekte klasičnog načina projektovanja. Ovaj način projektovanja pribora podrazumeva upotrebu računara koji u određenoj meri automatizuje sekvence projektovanja pribora /7/. Osnovni cilj jeste generisati adekvatan pribor u okviru vremenski prihvatljivog roka a da se pri tome subjektivan uticaj i potreban napor projektanta svede na minimum /24/.

DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Primena konvencionalnih programa u procesu projektovanja pribora

U početnim fazama primene računara, sistemi za automatizovano projektovanje pribora su uglavnom bili bazirani na konvencionalnim programima /16, 20/. Konvencionalni programi uglavnom se upotrebljavaju za obradu prema jasnim i tačno definisanim algoritmima, koji korak po korak vode sistem ka parcijalnom rešenju konstrukcije pribora. Ukoliko program po svojoj semantici odgovara postavljenom problemu i ukoliko su ulazni podaci tačno unešeni, konvencionalni program će rezultirati zadovoljavajućim rešenjem /9/. U konvencionalnim obradama podataka proceduralno znanje iz domena projektovanja pribora je u programima, a deklarativno u podacima smeštenim u bazama podataka /6/. Kao opšte karakteristike razvijenih sistema za automatizovano projektovanje pribora baziranih na klasičnom (konvencionalnom) programiranju mogu se izdvojiti sledeće /3, 23/:

- projektovani su za tačno određene geometrijske oblike radnih predmeta (najčešće tipse) i za tačno određene klase pribora (npr. sistem za projektovanje pribora za operaciju obrade bušenjem na radnim predmetima u obliku diska),

- sistemi su, po pravilu, interaktivni i omogućavaju izbor elemenata za pozicioniranje, eventualno za stezanje, a sve to po unapred definisanom algoritmu,
- bazirani su na CAD programskim sistemima opšte (univerzalne) namene (AutoCAD i sl.).

Primena veštačke inteligencije u procesu projektovanja pribora

U sledećoj etapi primene računara u procesu projektovanja pribora istraživanja su se uglavnom usmerila na primenu metoda i tehnika veštačke inteligencije. Dugi niz godina ovaj izraz je bio naučni kuriozitet a danas predstavlja prepoznatljiv alat zastupljen u skoro svim oblastima metaloprerađivačke industrije. Sistemi sa uporištem u znanju koji se koriste u okviru veštačke inteligencije razlikuju se od konvencionalnih programa što kao osnovu imaju procese zaključivanja i što za svoj rad koriste pored deklarativnih i proceduralnih znanja i heuristička znanja, meta znanja, itd /11/. Znanje se može predstaviti kroz skup sintatičkih i semantičkih pravila koja omogućuju opisivanje konstrukcije pribora. Razvijene su različite tehnike prezentacije znanja kao i različiti jezici. Prikaz znanja je kodiranje ili formalizovanje znanja u format pogodan za rad računara. Postoje brojne su tehnike za prikaz znanja. Prikaz znanja uvek mora ispuniti dva uslova: ispravno modeliranje tehnika koje bi projektant primenio u rešavanju problema projektovanja pribora i eksplicitno predstavljanje strategija i tehnika rešavanja. Svrha predstavljanja znanja jeste da se ono organizuje u takvoj formi da programi veštačke inteligencije mogu direktno da ga koriste u procesu projektovanja pribora /8/.

Primena ekspertskih sistema u procesu projektovanja pribora

Ekspertni sistemi ne rade po unapred zadatim algoritmima, ili bar ne po algoritmima u klasičnom značenju te reči. Ekspertni sistemi daju rešenja koji ne moraju da budu ni potpuno tačna tačni ni pogrešna već su u većoj ili manjoj meri verovatna i pouzdana /5/. Osnovni sastavni delovi ekspertnog sistema su: baza znanja, mehanizam zaključivanja radna memorija i korisnički interfejs. Baza znanja sadrži znanje eksperta iz oblasti projektovanja pribora. Znanje se je unosi u sistem i ne menja se tokom njegovog rada. Radna memorija sadrži trenutne podatke o problemu koji se rešava. Ti podaci su promenljivi i svojim vrednostima

odslikavaju trenutno stanje u procesu rešavanja problema. Mehanizam zaključivanja je program koji na osnovu tih podataka i fiksnog znanja ugrađenog u bazu znanja rešava problem, odnosno bira adekvatne elemente pribora. Preko interfejsa prema korisniku odvija se komunikacija između sistema i korisnika i prezentacija dobijenih rezultata. Ekspertni sistemi kod kojih je znanje predstavljeno u obliku pravila se nazivaju produkcionim sistemima /15/. Osnovna ideja kod produkcionih ekspertnih sistema je u tome da se na problem, opisan podacima u radnoj memoriji, iterativno primenjuju pravila iz baze znanja. Ukoliko se opis problema "podudara" sa "Ako" klauzulama jednog ili više pravila, rešenje problema se može naći u "Onda"-klauzuli tog/tih pravila. Produkciona pravila ekspertskog sistema nisu implementirana u programskom kodu, već su smeštene u bazi znanja kao podaci, sa proizvoljnim redosledom /10/. Mehanizam zaključivanja sadrži u sebi poseban program, tzv. Interpretator pravila koji je zadužen za procesiranje i interpretaciju ovih pravila u toku rada sistema. U radnoj memoriji, tokom rada se nalaze činjenice, tvrdjenja, zaključci i drugi relevantni podaci vezani za opis konstrukcije pribora. Ovi podaci su promenljivi, generišu se, menjaju ili gube važnost tokom rada sistema. U sistemima zasnovanim na pravilima, podaci u radnoj memoriji organizovani su u obliku tvrdnji, po obliku vrlo sličnih klauzulama pravila. Na osnovu inicijalnih podataka u radnoj memoriji i pravila u bazi znanja, sistem izvodi zaključke u vezi sa postavljenim problemom. Zaključci se izvode poređenjem grupe pravila sa skupom činjenica /14/. Na primer:

Ako

šema stezanja=sila stezanja je upravna na ravan momenta rezanja, (i)

oblik površine za stezanje=ravna, (i)

oblik površine za stezanje=ravna, (i)

dimenzije površine za stezanje=270x450, (i)

intezitet sile stezanja=7000, (i)

visina stezanja=30-35, (i)

pogon stezanja=ručni

Onda

ime elementa za stezanje=stezna šapa, (i)

identifikaciona oznaka=2331, (i)

količina=2

Ovakva ili slična produkciona pravila su razvijana uglavnom za elemente za pozicioniranje /4, 5, 10, 17, 19/ i/ili elemente za

stezanje /6, 10, 14/. Elementi se biraju ponavljanjem pravila sve dok se pogodni elementi ne izaberu iz baze podataka. Ako veći broj elemenata zadovoljava postavljene zahteve projektan odlučuje koje će rešenje primeniti. Izbor elemenata vrši se na osnovu njihove funkcije. Pošto nekoliko elemenata ima iste funkcije oni se grupišu zajedno. Pri svakoj upotrebi pravila prvo se proverava se funkcija elementa a potom njegove geometrijske karakteristike.

Primena zaključivanja na osnovu slučaja u procesu projektovanja pribora

Zaključivanje na osnovu slučaja je koncept koji rešava nove probleme u projektovanju pribora koristeći rešenja postojećih konstrukcija pribora. Proces teče sledećim tokom. Javlja se novi radni predmet za koji treba projektovati pribor. Projektant pretražuje tzv. bazu znanja da bi našao rešenja koja su slična ovom problemu konstrukcije pribora. Zatim se staro rešenje prilagođava novom problemu i generiše se novo rešenje /12/. Kod zaključivanja na osnovu slučaja prvi korak je struktuiranje (uređivanje) problema konstrukcije pribora. Ovo se rešava preko tzv. slučajeva. Slučaj je jedan od načina predstavljanja znanja. Slučaj se, prema tome, sastoji od skupa kriterijuma čije vrednosti nose informacije o konstrukciji pribora i skupa kriterijuma koji nose informacije o njegovom rešenju. Podskup skupa kriterijuma kod slučaja, koji služe za pretraživanje baze znanja, su indeksi. Slučaj se sastoji iz indeksiranih i neindeksiranih kriterijuma /2/. Indeksiranje može da se izvrši ručno /2, 13, 21, 22/ ili automatski /12, 23/. Nakon što je slučaj struktuiran, podaci se dovode u oblik koji omogućava efikasnu manipulaciju i upravljanje istima. tj. vrši se normalizacija. Normalizacijom se slučajevi organizuju tako da vrednosti budu uporedive /13/. To je proces u kojem se određenom skupu podataka dodeljuje zajedničko obeležje. Podaci su nakon ove faze organizovani tako da se može upravljati njima, pa je moguće preći na sledeću fazu agregaciju podataka. Pri tome se koristi koncept sličnosti (udaljenosti) kojim se računa odstojanje nove (potrebne) od stare (postojeće) konstrukcije pribora /22/. Sve metode pretraživanja pretvaraju više indeksa u jednu vrednost (kolonu), na osnovu kojih se vrši sortiranje i izbor najbližeg slučaja. Nakon što je izvršena agregacija, tj. sistem je projektanu vratio rešenja na osnovu kojih može da se donese odluka, prelazi se na analizu rešenja. Nakon što je izvršen proces otkrivanja slučaja

(jednog ili više njih), treba proveriti mogućnost primene starog rešenja pribora za novi problem. Za tu svrhu je potrebno razviti mehanizme koji prilagođavaju postojeća rešenja konstrukcija pribora novom problemu. Prilagođavanje se bazira na uočavanju bitnih sličnosti/razlika starog i novog rešenja i izmena starog kako bi se zadovoljili zahtevi novog.

Definisanje cilja istraživanja

Sistemi bazirani na klasičnom programiranju obezbeđuju sistematizaciju i kategorizaciju znanja iz područja projektovanja pribora na jednom mestu. Velika mana ovih sistema je upravo kruta algoritamska struktura (niska fleksibilnost) pogodna za rešavanje determinističkih zadataka. Novo znanje zahteva reprogramiranje. Ove negativne osobine imale su za posledicu potpuno izbacivanje konvencionalnih programa iz procesa projektovanja pribora budući da je stvoren jaz koji je bilo nemoguće premostiti.

Primenom ekspertnih sistema, takođe je, obezbeđeno čuvanje postojećih znanja na jednom jer se isto vremenom isčezava pogotovo ako se ne koristi kontinualno. Ekspertni sistem koristi postojeća pravila za konstruisanje pribora i može relativno dobro da funkcioniše kao početni model. Međutim, oni su nefleksibilni i nemogu da se prilagode i sami da se poboljšaju. Takođe ne postoji formalizam koji omogućava detektovanje pojave mogućih konflikata u produkcionim pravilima kada se doda novo pravilo u bazu. Iz ovih razloga ekspertske sisteme je zgodno koristiti u proizvodnim sistemima sa dobro uhodanom proizvodnjom i stalnim programom proizvodnje. Analiza dobijenih rešenja je takođe prepuštena projektantu pribora i njegovom iskustvu. Ne postoji mogućnost revidiranja predhodnih faza ili unapređenja dobijenog rešenja a da se celokupan postupak projektovanja pribora ne ponovi od početka. Ekspertni sistemi ne mogu potpuno zameniti ekspete iz područja projektovanja pribora, naročito u pogledu kreativnosti, i korišćenja opšteg znanja.

Zaključivanje na osnovu slučajeva uspešno je primenjeno u fazi planiranja koncepcije pribora, tj. definisanja površina za pozicioniranje i stezanje a za unapred poznate šeme. U daljoj fazi detaljnog projektovanja konstrukcije pribora projekat je interaktivno u komunikaciji sa računarom birao potrebne elemente za projektovanje. Mana ovih sistema je što obezbeđuju dobijanje koncepcijskih rešenja. Put od

koncepcije do finalne konstrukcije pribora je prepušten projektantu. Ovo može veoma dugo da traje sa ciljem koji možda nije ni rešiv. Dodatni problem u svim dosadašnjim istraživanjima je bio jasno i sistematično definisanje svih porebnih kriterijuma za sprovođenje potrebnih modifikacija. Ni jedan od predhodnih prilaza ne obezbeđuje izbor gotovih konstrukcija pribora koje se mogu odmah primeniti niti je omogućeno projektovanje novih konstrukcija pribora ako sistem ne pronađe dovoljno slično rešenje.

U svim dosadašnjim istraživanjima, bez obzira na način rešavanja problema, sistemi su obezbeđivali dobijanje parcijalnih rešenja pribora, tj. izbor elemenata za pozicioniranje i/ili elemenata za stezanje. Ostale grupe elemenata (elementi tela pribora, elementi za vođenje alata, elementi za podešavanje položaja alata, itd.) nisu birani na osnovu predhodno definisanih kriterijuma što se može okarakterisati kao velika mana budući da ovi elementi takođe imaju veliku važnost u konstrukciji pribora. Takođe, problemu optimizacije konstrukcije pribora nije dat značaj.

Kao osnovni cilj ovog istraživanja postavlja se razvoj sistema zasnovanog na zaključivanju na osnovu slučajeva koji će u prvom koraku omogućiti izbor pribora iz baze podataka (ukoliko takvo rešenje postoji) ili izvršiti projektovanje nove konstrukcije pribora na osnovu postojećih ukoliko u bazi podataka postoje "dovoljno" slična rešenja. Sistem bi takođe trebao da obezbedi izbor većeg broja karakterističnih konstrukcija pribora i da se u datom momentu na osnovu adekvatnih kriterijuma optimizacije odabere optimalno rešenje pribora.

STRUKTURA SISTEMA

Na bazi ulaznih informacija potrebnih za projektovanje pribora može se, u opštem slučaju, izvršiti izbor postojećeg pribora, po potrebi ga doraditi, ili ako takvo rešenje ne postoji, projektovati novi pribor. U bazi podataka mogu biti zapamćena rešenja pribora i na odgovarajući način označena. Na nivou izbora pribora dobiće se rešenja pribora različitog stepena operativne upotrebljivosti. Ako je dobijeno više rešenja pribora, tehno-ekonomskom analizom dolazi se do najpovoljnijeg rešenja za posmatrani slučaj. Kad se dobije rešenje koje se ne može direktno primeniti, na nivou projektovanja pribora, modifikuje se pribor. Moguće je da se uopšte ne dobije rešenje pribora. Onda se pristupa sintezi nove

konstrukcije pribora. Opravdano je pri tome pribor podeliti na određene funkcionalne celine i fazno projektovati pribor. Na kraju je neophodno oblikovati sklop pribora i generisati potrebnu izlaznu dokumentaciju. Da bi se prethodne aktivnosti uspešno obavile potrebno je sistematizovati osnovne podloge za projektovanje pribora, izgraditi bazu podataka, razviti kriterijume za izbor i modifikovanje pribora i njegovih elemenata. Sistematizacijom osnovnih podloga stvara se osnova za razvoj sistema za projektovanje pribora. U istom smislu, neophodno je rešiti i pitanje (problem) unifikacije konstrukcije pribora.

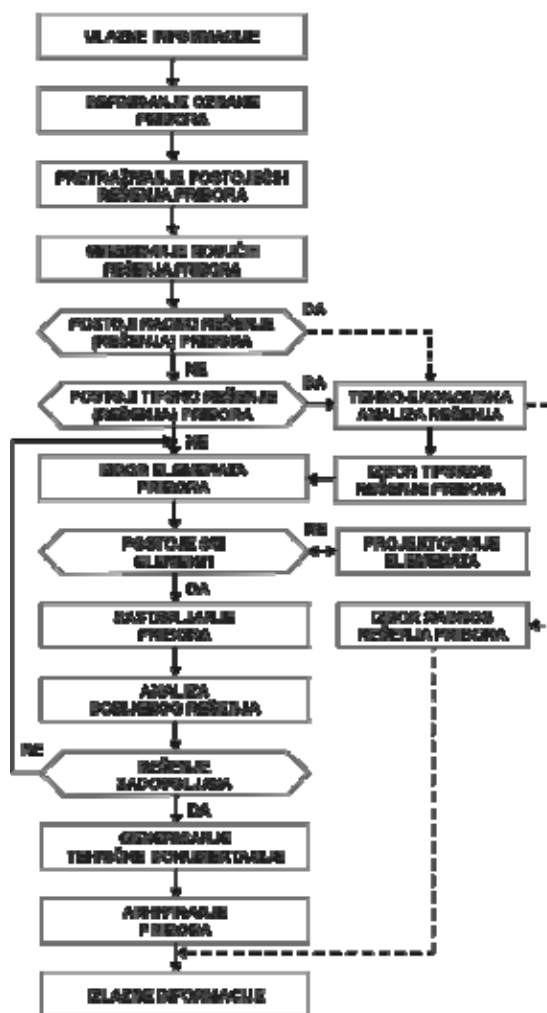
Struktura sistema, tj. dijagram toka procesa projektovanja pribora je dat na slici 1.

Uticajni faktori na konstrukciju pribora mogu se dobro objediniti pravilnim i sveobuhvatnim definisanjem ulaznih informacija. Ulazne informacije se mogu podeliti na dve osnovne grupe informacija:

- karakteristike obrade (vrsta obrade, grupa mašina alatki, tip mašine alatke, režimi obrade, broj istovremeno obrađivanih radnih predmeta, osnovna karakteristika pribora, broj alata, broj površina za obradu, vezivanje pribora za mašinu alatku, fiksiranje pribora u toku obrade, stanje površine radnog stola, dimenzije žlebova radnog stola, prečnik bušenja/broj tehnoloških mera),
- karakteristike radnog predmeta (oblik radnog predmeta, dužina, visina ili prečnik, širina radnog predmeta, tolerancije, broj oduzetih stepeni slobode, metod pozicioniranja, oblik baznih površina, kvalitet baznih površina, integralnost baznih površina, položaj baznih površina u odnosu na sto mašine ili osu vretena, karakteristične dimenzije baznih površina, broj pravaca dejstva sile stezanja, šema stezanja u pojedinim pravcima, pogon stezanja u pojedinim pravcima, intezitet sile stezanja u pojedinim pravcima, oblik površine za stezanje u pojedinim pravcima, pravac dejstva sile stezanja u odnosu na bazne površine po pojedinim pravcima).

Na osnovu ulaznih informacija generiše se oznaka potrebnog pribora za posmatranu operaciju obrade radnog predmeta. Oznaka se sastoji od određenog broja obeležja (kodova) i predstavlja ključ za pretraživanje gotovih konstruktivnih rešenja pribora, koji figurišu u datoteci raspoloživih (prethodno konstruisanih) pribora. Pretraživanje datoteke gotovih konstruktivnih rešenja pribora se svodi na određivanje stepena poklapanja određenog broja obeležja

oznake potrebnog pribora sa postojećim u bazi. Stepenn poklapanja, a samim tim i stepen operative upotrebljivosti pribora, može biti različit. Kao osnova se koriste dva rešenja pribora i to radno i tipsko rešenje. Ako postoji potpuna podudarnost obeležja potrebnog pribora sa postojećim u bazi podataka dobija se radno rešenje (jedno ili više njih).



Slika 1. Dijagram toka procesa projektovanja pribora

Radna konstrukcija predstavlja finalnu konstrukciju pribora koja se primenjuje na radnom mestu u toku procesa obrade.

Tipiska rešenja pribora su takva rešenja koja imaju slične karakteristike obrade i karakteristike radnog predmeta za koji se projektuju, a ovo podrazumeva potpunu podudarnost obeležja potrebnog pribora sa postojećim u bazi, osim obeležja koja kodiraju: tip mašine alatke, fiksiranje pribora u toku obrade, stanja površine radnog stola, dimenzija žlebova radnog stola, dužinu, širinu (prečnik) i visinu radnog predmeta, karakteristične dimenzije baznih po-

vršina i intezitet sile stezanja po pojedinim pravcima.

Pošto se izvrši pretraživanje baze podataka i utvrdi stepen poklapanja oznake potrebnog pribora sa postojećim konstruktivnim rešenjima pribora u bazi podataka generiše se pregled mogućih rešenja pribora (radna i tipska) ukoliko ista postoje. Kada se dobije više karakterističnih rešenja pribora za posmatranu operaciju obrade datog radnog predmeta vrši se tehnokonska analiza ponuđenih rešenja. Kao funkcije cilja moguće je postaviti različite parametre. Pogodno je za parametre izabrati proizvodnost (B_1), tačnost (B_2) i cenu (B_3). Svakom parametru se dodaje određeni težinski koeficijent (A_i , $i=1,2,3$) sa ciljem dobijanja što realnijih rezultata, tako da je funkcija cilja oblika:

$$F_C = A_1 \cdot B_1 + A_2 \cdot B_2 - A_3 \cdot B_3 \dots\dots\dots (1)$$

Rešenja sa većom funkcijom imaju bolje performanse, budući da se od pribora očekuje da ima što je moguće veću proizvodnost i tačnost, i što je moguće manje troškove (cenu). Težinski koeficijenti se menjaju vremenom u skladu sa potrebama korisnika sistema (razlikuju se od proizvodnog sistema do proizvodnog sistema).

Ukoliko postoji radno rešenje pribora vrši se izbor istog a svi podaci (izlazne informacije) se automatski preuzimaju iz datoteke gotovih konstruktivnih rešenja pribora. Na ovaj način je obezbeđeno da se predhodno konstruisana rešenja pribora odmah koriste u procesu proizvodnje bez dupliranja konstrukcija, odnosno ponavljanja procesa projektovanja i sastavljanja pribora.

U slučaju da u bazi podataka postoji tipsko rešenje pribora vrši se, u prvom koraku, izbor tipskog rešenja. Za odabrano (postojeće) tipsko rešenje pribora biraju se elementi pribora neophodni sa ostvarivanje određenih modifikacija. Izbor pojedinih elementa se vrši po unapred definisanim kriterijumima izbora iz datoteke elemenata pribora. Kriterijumi izbora elemenata pribora su sadržani u oznaci potrebnog pribora. Modifikovanje pribora podrazumeva da se određeni elementi pribora ukolne, dodaju ili podese u odnosu na osnovni sklop pribora. Osnovni sklop čini grupa elemenata pribora, koji se koriste kako u tipskom rešenju tako i u radnom rešenju pribora.

U slučaju nepostojanja nijednog od karakterističnih rešenja pribora (radnog ili tipskog) vrši se izbor svih potrebnih elemenata pribora u

okviru pojedinih funkcionalnih grupa (elementi za pozicioniranje, elementi za stezanje, elementi tela pribora, elementi za vođenje, itd.). Izbor svakog elementa pribora se obavlja po prethodno definisanim kriterijumima izbora iz datoteke elemenata pribora. Ovi kriterijumi su sadržani u oznaci potrebnog pribora. Pojedina obeležja oznake sadrže tačno određene kriterijume izbora pojedinih elemenata.

Nakon sinteze (sastavljanja) sklopa pribora uvek je dobro uraditi njegovu analizu. Analiza je potrebna radi otklanjanja mogućih kolizija. Pri projektovanju pribora javljaju se tri vrste kolizija:

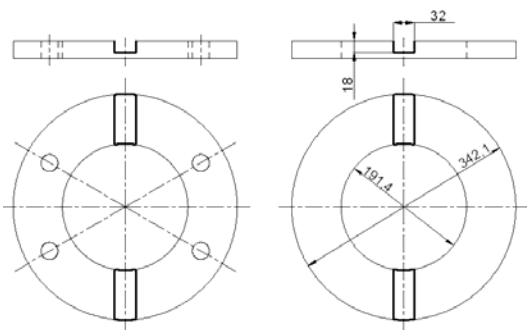
- kolizije između sastavnih elemenata pribora (nemogućnost sastavljanja pribora, tj. montaže),
- kolizija između elemenata pribora i radnog predmeta (nemogućnosti postavljanja i vađenja radnog predmeta iz pribora, pogrešna orijentacija radnog predmeta u priboru),
- kolizije alata i elemenata pribora / postavljanja elemenata pribora duž trajektorije kretanja alata (oštećenje alata ili elemenata pribora, mašne i ostalih delova obradnog sistema, povrede radnika, i sl).

Kada se dobije rešenje konstrukcije pribora koje po svojim performansama zadovoljava postavljane kriterijume generiše se potrebna tehnička dokumentaciju koja predstavlja izlaznu informaciju iz sistema. Na kraju je potrebno arhivirati pribor u bazu podataka kako bi se rešenje moglo koristiti u budućim postupcima projektovanja.

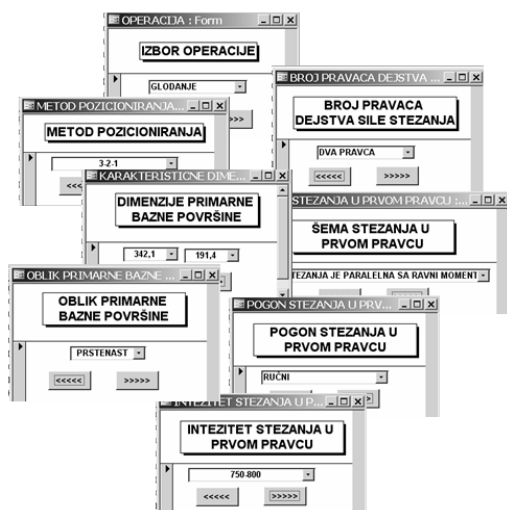
IZLAZNI REZULTATI

Struktura i način funkcionisanja sistema za automatizovano projektovanje pribora je objašnjenja u predhodnom poglavlju a da bi objašnjenje bilo u celini završeno neizbežno je rad celog sistema prikazati u realnim uslovima. U ovom poglavlju je prikazan primer testiranja postavljenog sistema na konkretnom primeru obrade radnog predmeta. Radni predmet za koji je bilo potrebno projektovati pribor je prikazan na slici 2. Na radnom predetu se izvodi operacija glodanja žleba 32x18mm na vertikalnoj glodalici.

Prvi korak pri korišćenju sistema jeste definisanje oznake potrebnog pribora tj. Njegovih pojedinih obeležja. Segment formi (računarskih prikaza) putem koje se vrši kodiranje je prikazan na slici 3.



Slika 2. Radni predmet za koji je potrebno projektovati pribor (finalni izgled i izgled nakon operacije glodanja)

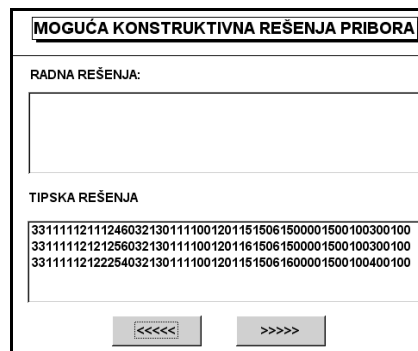


Slika 3. Kodiranje ulaznih informacija

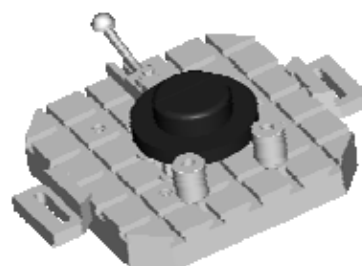
Sa definisanom oznakom pribora se pretražuje datoteka gotovih konstruktivnih rešenja pribora u okviru baze podataka. Utvrđuje se stepen poklapanja potrebne oznake pribora sa postojećim u bazi. Sva karakteristična konstruktivna rešenja pribora (radna i tipska) se filtriraju (ukoliko postoje) i prikazuju na posebnoj formi (slika 4).

Redosled po kome se karakteristična rešenja prikazuju, u za to određenim poljima, se definiše tehno-ekonomskom optimizacijom, počev od najboljeg ka najlošijem. Na bazi ove forme može se zaključiti da je u posmatranom slučaju potrebno izvršiti modifikovanje postojeće konstrukcije pribora. Izborom tipskog rešenja i nastavkom procesa projektovanja, u prvom je koraku projektantu omogućen vizuelan uvid, u odabrano rešenje (slika 5).

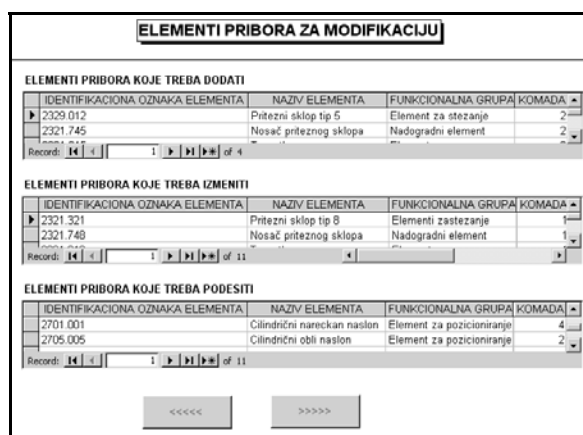
Odgovarajuća modifikacija pribora se sprovodi na osnovu forme (slika 6) putem koje nam razvijeno programsko rešenje sugerise koje elemente treba dodati na postojeću konfiguraciju pribora odnosno ukloniti ili podesiti.



Slika 4. Postojeća karakteristična rešenja pribora u bazi podataka



Slika 5. Postojeća konstrukcija pribora i odgovarajući radni predmet



Slika 6. Forma za modifikaciju pribora

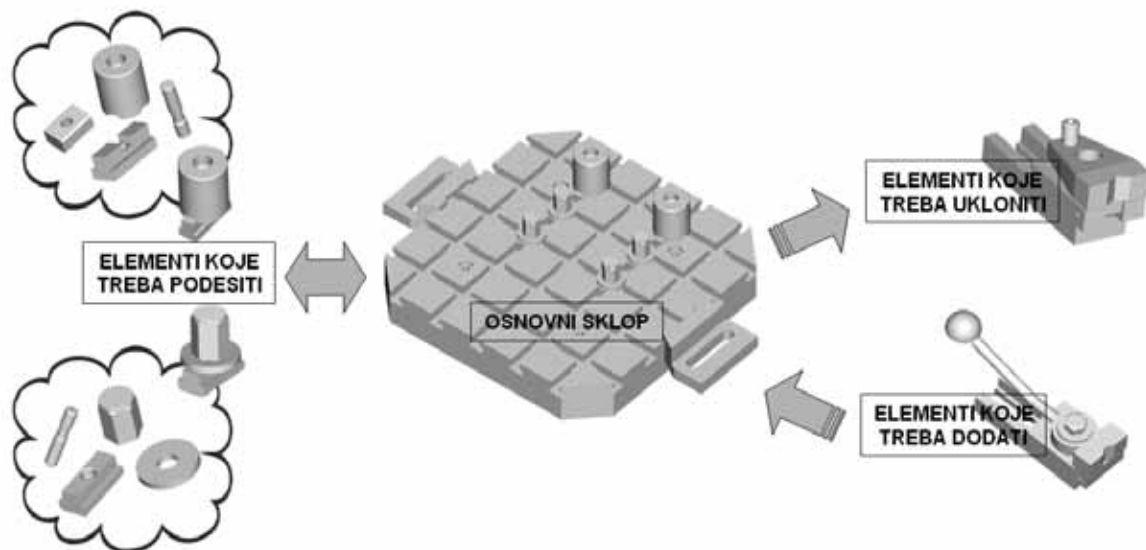
Lista elemenata se formira na osnovu oznake potrebnog pribora, generisane u okviru segmenta za ulazne informacije, i razvijenih kriterijuma odlučivanja izbora svakog elementa iz pojedinih funkcionalnih grupa. Oznaka odnosno njena pojedinačna obeležja nose odgovarajuću informaciju - kriterijum izbora. Na bazi ovih kriterijuma se bira tipsko rešenje pribora, sa jedne strane, i elementi pribora, sa druge strane. Na izlazu iz segmenta za modifikovanje pribora dobija se odgovarajuće tipsko rešenje pribora i odgovarajući elementi za modifikovanje.

Karakteristike obrade radnog predmeta za koji postoji pribor u bazi i potrebnog -novog pribora

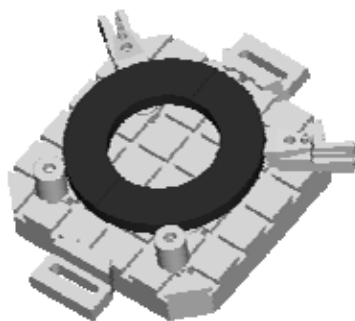
su veoma slične. I u jednom i u drugom slučaju su identične vrsta obrade, grupa i tip mašine alatke na kojoj se izvodi obrada. Takođe se u oba slučaja se vrši obrada žleba sa jednim alatom, s tim što su dimenzije žlebova različite. Postojeći i novi pribor se fiksiraju za radni sto mašine alatke pomoću ušica. Karakteristike radnog predmeta za koji postoji pribor u bazi i onog za koji je potrebno projektovati pribor su takođe veoma slične. Oblik radnog predmeta je u oba slučaja cilindrični a mala je razlika u gabaritnim dimenzijama. Broj stepeni slobode koje je potrebno oduzeti radnim predmetima (ukupno 5) je identičan kao i metod

pozicioniranja (3-2-1), položaj baznih površina u odnosu na radni sto mašine alatke, oblik i kvalitet baznih površina. Dimenzije baznih površina se razlikuju. Tehnološkim postupkom je predviđena identična šema i pogon stezanja. Intezitet sile stezanja je različit usled različitih sila i momenata rezanja.

Elementi pribora koji se mogu koristiti u oba konstruktivna rešenja pribora predstavljaju osnovni sklop (slika 7). Osnovni sklop predstavlja univerzalno konstruktivni mehanizam višekratnog korišćenja u konstrukcijama pribora nekoliko tipova i dimenzija.



Slika 7. Modifikacija konstrukcije pribora (osnovni sklop, elementi koje treba podesiti, elementi koje treba ukloniti, elementi koje treba dodati)



Slika 8. Projektovana konstrukcija pribora

U procesu razrade radne konstrukcije pribora vrši se konstruktivno opremanje odgovarajućeg osnovnog sklopa sa odgovarajućim izmenljivim ili regulišućim elementima pribora. Na osnovu tipskog rešenja pribora i odgovarajućih elemenata za modifikovanje vrše se potrebne korekcije. Korekcije podrazumevaju uklanjanje nepotrebnih elemenata iz pribora i dodavanje

novih sa ciljem dobijanja potrebnog rešenja pribora, kao i promenu položaja postojećih elemenata is osnovnog sklopa. Nakon što se izvrši modifikovanje dobija se rešenje pribora prikazano na slici 8. Pošto se izvrši analiza pribora i utvrdi da pribor može da izvrši funkciju za koju je namenjen, sprovodi se procedura generisanje odgovarajuće tehničke dokumentacije i arhiviranja pribora.

ZAKLJUČCI

Verifikacija predloženog sistema je izvršena u nekoliko proizvodnih sistema u okruženju. U cilju dobijanja relevantnih podataka kompletno istraživanje je sprovedeno na konkretnim primerima iz industrijske proizvodnje. Neposredno pre verifikacije je urađena detaljna studija proizvodnih programa. Detektovani su proizvodi na kojima pojedine operacije nisu izvršene u granicama dozvoljenih odstupanja a u kojima je

do grešaka došlo usled neispravne konstrukcije ili funkcionisanja pribora. Verifikacija je sprovedena na ukupno 695 radnih predmeta, i to 354 radna predmeta za operacije obrade bušenja i 341 radni predmet za operacije obrade glodanja. Nakon sprovedenih istraživanja dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 1. Na bazi dobijenih rezultata mogu se izvesti sledeći zaključci:

- u 19,21% (bušenje) i 21,99% (glodanje) slučajeva sistem je uspeo da nađe u bazi

podataka konstrukciju pribora koja se može odmah primeniti u proizvodnji.

- u 71,75% (bušenje) i 66,86% (glodanje) slučajeva sistem je uspeo da nađe u bazi podataka konstrukciju pribora koja se može modifikovati i veoma brzo prilagoditi za zahtevanu operaciju obrade
- u 9,04% (bušenje) i 11,15% (glodanje) slučajeva sistem je nije uspeo da nađe u bazi podataka konstrukciju pribora koja se može ili odmah primeniti ili modifikovati, te je pribor potrebno projektovati od "početka".

Tabela 1: Rezultati verifikacija sistema u industrijskog proizvodnji

Operacija obrade	Izbor postojećih pribora		Modifikovanje postojećih pribora		Projektovanje novih pribora	
	radnih predmeta [kom]	procentualna zastupljenost [%]	radnih predmeta [kom]	procentualna zastupljenost [%]	radnih predmeta [kom]	procentualna zastupljenost [%]
Bušenje	68	19,21	254	71,75	32	9,04
Glodanje	75	21,99	228	66,86	38	11,15

Ovakav odnos procenata govori o opravdanosti razvoja i primene sistema budući da samo u 9,04% i 11,15% sistem nije uspeo da generiše potreban pribor na osnovu predhodno projektovanih kopnstrukcija. Zbog toga će se u budućnosti mora raditi na usavršavanju do sada razvijenih segmenata posebno baze znanja. Sistem je dao zadovoljavajuće rezultate za prizmatične i rotacione radne predmete za operacije bušenja i glodanja u narednim faza istraživanja sistem će biti razvijan i za ostale operacije obrade (struganje, brušenje, itd.). Ideja autora je bila da se sistem u prvoj fazi implemetira za operacije obrade bušenja i glodanja. Ne bez razloga. Upravo je za ove operacije obrade najčešće potrebo izvesti proces projektovanja pribora. Za ostale operacije obrade (struganje, brušenje, itd) većinu proizvodnih operacija je moguće sprovesti pomoći univerzalnih pribora koji se isporučuju zajedno sa mašinom alatom. Sistem za automatizovano projektovanje pribora po principima zaključivanja na osnovu slučaja omogućava izbor potrebnog pribora na bazi geometrijskih i tehnoloških informacija, ako je pribor u bazi znanja projektovanih pribora, a ako nije, prelazi se na modifikovanje postojećih pribora ili projektovanje novog pribora čime se upotpunjuje baza znanja o priborima. Sistem projektovanja pruža mogućnost da se u okviru tehnološke pripreme proizvodnje, na efikasan

način dođe do rešenja pribora u tekućoj proizvodnji i brzo dođe do rešenja pribora pri osvajanju novih proizvoda, čime se utiče na podizanje tehnoeekonomskih izlaznih pokazatelja ukupnog proizvodnog procesa. Na ovaj način se proces projektovanja značajno ubrzava, a stepen tipizacije i unifikacije rešenja se povećava, što doprinosi racionalizaciji procesa projektovanja i svi drugih procesa koji slede kao njegova posledica.

LITERATURA

- 1/ Bi, Z. M., Zhang, W. J.: *Flexible fixture design and automation: Review, issues and future directions*, International Journal of Production Research 39(13), pp. 2867-2894, 2001.
- 2/ Boyle, I. M., Rong, K., Brown, D. C.: *CAFixD: A Case-Based Reasoning Fixture Design Method Framework and Indexing Mechanisms*, The Journal of Computing & Information Science in Engineering 6(1), pp. 81-90, 2006.
- 3/ Cecil, J.: *TAMIL - an integrated fixture design system for prismatic parts*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing 17(5), pp. 421-434, 2004.
- 4/ Dai, J. R., Nee, A. Y. C., Fuh, J. Y. H., Kumar, S. A.: *An approach to automating modular fixture design and*

- assembly, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 211(7), pp.509-521, 1997.
- /5/ Darvishi, A. R., Gill K. F.: *Expert system rules for fixture design*, International Journal of Production Research, 28(10), pp. 1901-1920, 1990.
- /6/ Fuh, J. Y. H., Chang, C. H., Melkanoff, M. A.: *An integrated fixture planning and analysis system for machining processes*, Robotics & Computer Integrated Manufacturing 10(5), pp.339-353, 1993.
- /7/ Hodolić, J., Vukelić, Đ.: *Pribori*, Udžbenik, Fakultet tehničkih nauka, str. 250, 2008.
- /8/ Hunter, R., Rios, J., Perez, J. M., Vizan, A.: *A functional approach for the formalization of the fixture design process*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 46(6), pp. 683-697, 2006.
- /9/ Kang, Y. G., Wang, Z., Li, R., Jiang, C.: *A fixture design system for networked manufacturing*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing 20(2), pp. 143-159, 2007.
- /10/ Kumar, S. A., Nee A. Y. C., Prombanpong, S.: *Expert fixture-design system for an automated manufacturing environment*, Computer-aided Design 24(6), pp. 317-326, 1992.
- /11/ Kumar, S. A., Subramaniam, V, Teck, T. B.: *Conceptual design of fixtures using machine learning techniques*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 16(3), pp.176-181, 2000.
- /12/ Li, W., Lia, P., Rong, Y.: *Case-based agile fixture design*, Journal of Materials Processing Technology 128(1), pp.7-18, 2002.
- /13/ Liqing, F., Kumar, A. S.: *XML-based Representation in a CBR System for Fixture Design*, Computer-Aided Design & Applications 2(1-4), pp 339-348, 2005.
- /14/ Lim B. S., Imao, T., Yoshida, H., Goto, K., Koh, S. L., Lim, D., Chin, L., Gan, S. C.: *Integrated modular fixture design, pricing and inventory control expert system*, International Journal of Production Research 30(9), pp. 2019-2044, 1992.
- /15/ Nee, A. Y. C., Kumar, S. A.: *A framework for an object/rule-based automated fixture design system*, Annals of CIRP 40(1), pp. 147-151, 1991
- /16/ Nee, A. Y. C., Kumar, S. A., Tao. Z. J.: *An advanced treatise on fixture design and planning*, World Scientific, p. 264, 2004.
- /17/ Nnaji, B. O., Lyu, P.: *Rules for an expert fixturing system on a CAD screen using flexible fixture*, Journal of Intelligent Manufacturing 1(1), pp. 31-48, 1990.
- /18/ Ognjanović, M.: *Design in Mechanical Engineering - Multidisciplinary approach*, Journal Istraživanja i projektovanja za privredu 20/2008, pg. 15-22, Beograd.
- /19/ Pham, D. T., De Sam Lazaro, A.: *Autofix - an expert CAD system for jigs and fixtures*, International Journal of Machine Tools and Manufacture 30(3), pp. 403-411, 1990.
- /20/ Rong, Y., Hou, Z., Huang, S.: *Advanced computer-aided fixture design*, Academic Press, p. 424, 2005.
- /21/ Sun, S. H., Chen, J. L.: *An index system for modular fixture design: applied to case-based reasoning*, International Journal of Production Research 34(12), pp.3487-3497, 1996.
- /22/ Sun, S. H., Chen, J. L.: *Knowledge Representation and Reasoning Methodology based on CBR Algorithm for Modular Fixture Design*, Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers 28(6), pp.593-604, 2007.
- /23/ Vukelić, Đ.; Hodolić, J.: *Automation fixtures design for group technologies*, Journal of Acta Mechanica Slovaca 8(4), pp. 35-42, 2005.
- /24/ Vukelić, Đ., Hodolić, J., Agarski, B.: *Handling automation of fixture and fixture elements in flexible technological structures*, Journal of Manufacturing Engineering 7(4), pp. 86-90, 2008.