

UNIVERZITET SINGIDUNUM
DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

MASTER STUDIJSKI PROGRAM
INŽENJERSKI MENADŽMENT

Zoran Karadolamović
SAVREMENI PROIZVODNI PROCESI
U DRVNOJ INDUSTRIJI

MASTER RAD

Beograd, 2013.

UNIVERZITET SINGIDUNUM



DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

**MASTER STUDIJSKI PROGRAM
INŽENJERSKI MENADŽMENT**

**SAVREMENI PROIZVODNI PROCESI
U DRVNOJ INDUSTRIJI**

MASTER RAD

Mentor:

Prof. dr Dragan Cvetković

Student:

Zoran Karadolamović

Br. indeksa: 411045/2012

Beograd, 2013.

Savremeni proizvodni procesi u drvnoj industriji

Sažetak

Proizvodni proces predstavlja skup međusobno povezanih aktivnosti preko kojih se vrši povećanje vrednosti polaznih materijala. Proizvodni proces se sastoji iz jednog ili više tehnoloških procesa, a odvija se u proizvodnom sistemu. U proizvodnom procesu se vrši transformacija sirovina i poluproizvoda u gotove proizvode. Međutim, proizvodni proces obuhvata, osim transformacije i aktivnosti koje se odnose na definisanje proizvoda, konstrukciju i proračun elemenata proizvoda, organizaciju proizvodnje, pripremu sredstava za proizvodnju, etapno oblikovanje i obradu detalja.

Savremeni proizvodni procesi u drvnoj industriji bazirani su na visokom stepenu automatizacije, što umnogome doprinosi povećanom kvalitetu gotovih proizvoda.

Glavne reči: savremeni proizvodni procesi, drvna industrija, automatizacija

Modern production processes in the wood industry

Abstract

The production process is a set of interrelated activities whereby they increase the value of the starting material. The production process consists of one or more of the manufacturing process takes place in the production system. The production process is carried transformation of raw materials and semi finished products. However, the production process involves, in addition transformation and activities relating to the product definition, design and calculation of the elements of the product, the organization of production, means of production, preparation, design stages and detailing.

Modern production processes in the wood industry based on a high degree of automation, which greatly contributes to increased quality of finished products.

Key words: modern production processes, wood industry, automation

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Opšte razmatranje	1
1.2. Predmet istraživanja.....	5
1.3. Ciljevi istraživanja.....	6
1.4. Hipoteze istraživanja	6
1.5. Metode istraživanja	7
1.6. Struktura rada	7
2. Proizvodnja furnira i furnirskih ploča	8
2.1. Sečeni furniri.....	9
2.2. Ljušteni furniri.....	11
2.3. „Fajn Lajn” (<i>Fine Line</i>) furniri.....	11
2.4. Automatska vizuelna kontrola furnira	12
2.5. Slojeviti proizvodi od furnira.....	14
2.5.1. Furnirske (šper) ploče	14
2.5.2. Specijalna (savitljiva) furnirska ploča	16
2.5.3. Slojevite ploče (lamelirani elementi iz furnira – LVL)	18
3. Izrada nameštaja sa intarzijom od furnira	20
3.1. Lasersko sečenje furnira	21
3.2. Sečenje vodenim mlazom	25
4. Proizvodnja nameštaja od savijenog slojevitog drveta	28
4.1. Izbor furnira za savijanje.....	28
4.2. Izbor i priprema lepka	29
4.3. Oblikovanje lameliranih obradaka lepljenjem	30
4.4. Šabloni za izradu otpresaka.....	33
4.5. Projektovanje nameštaja od savijenog slojevitog drveta	42
5. Proces oblikovanja 3D furnira i furnirskih ploča.....	46

6. Najviši stepen automatizacije proizvodnih procesa primenom robota u drvnoj industriji.....	50
6.1. Senzori u industrijskoj robotici	52
6.2. Programiranje industrijskih robota.....	56
6.2.1. Tipovi upravljanja	56
6.2.2. Tipovi programiranja	58
6.3. Upotreba robota u proizvodnim procesima drvne industrije.....	69
6.3.1. Roboti za manipulaciju predmeta	69
6.3.2. Roboti za paletiranje i pakovanje.....	71
6.3.3. Roboti za opsluživanje mašina	72
6.3.4. Roboti za brušenje i poliranje	74
6.3.5. Roboti za kontrolu proizvoda	76
6.3.6. Roboti za površinsku obradu drveta	77
6.3.7. Roboti za obradu materijala	79
6.3.8. Roboti za izradu duboreza	82
7. Zaključak	86
8. Literatura.....	89
Spisak korišćenih oznaka	91
Spisak slika.....	92
Spisak tabela	95

1. UVOD

1.1. Opšte razmatranje

Opstanak, rast i razvoj osnovni su ciljevi sa čijom se realizacijom preduzeće kao organizacioni sistem, u dinamici poslovnih procesa, neminovno suočava. Razvojna strategija i poslovna politika kao instrumenti realizacije ovih ciljeva, koriste poznate i prihvatljive metode i tehnike u cilju stabilnog poslovanja, a time i rasta i razvoja preduzeća. Strategiju tehnološkog razvoja preduzeća čini skup ciljeva, programa i mera čijom se realizacijom omogućava efikasno ostvarivanje ekonomskih ciljeva. Važan deo tih programa i mera, odvija se kroz upravljačke procese inovacionih aktivnosti i njihovog korišćenja u samom preduzeću.

Inovacija je primena novog znanja, da bi se ponudio novi proizvod ili usluga koju traže kupci. Drugim rečima, inovacija je invencija kojoj se dodaje komercijalizacija. Kao pokazatelj rasta tehnoloških inovacija, najčešće se u međunarodnim statističkim publikacijama navode podaci o broju i vrsti prijavljenih patenata, kao oblika zaštite industrijske svojine.

Značajno je istaći, da se tehnološke inovacije posmatraju, pre svega, kao tehnološke inovacije proizvoda i kao tehnološke inovacije procesa, čemu se dodaju i tehnološke inovacije u oblasti informacionih tehnologija, bez kojih se ne može zamisliti savremeno preduzeće.

Radikalne promene u tehnologiji ubrzale su pojavu tzv. novih tehnologija (pre svega, informacionih tehnologija i savremene proizvodne tehnologije), i uslovile su da tehnološka konkurentnost i inovativnost postanu ključne determinante uspešnosti poslovanja preduzeća. Dugoročna profitabilnost preduzeća pretpostavlja uspešno strateško upravljanje tehnologijom, čiju osnovu predstavlja upravo tehnološka promena, tj. inovacija u tehnologiji. Svi ovi elementi ukazuju na širinu i značaj koji ima oblast inovacija u tehnologiji, a time i problem upravljanja inovacionim procesima.

Tehnološke inovacije u preduzećima drvne industrije događaju se u sferi nastanka novih proizvoda (inovacije proizvoda) i u sferi usvajanja novih i unapređivanja postojećih tehnoloških procesa (inovacije procesa). Kompleksni pojam tehnologije dosad se, uglavnom, vezivao za domen inovacija proizvoda. Danas se celovito pristupa problemu inovacije tehnologije i ravnopravno se razmatraju oba pojavna oblika tehnologije. Step en inovativnosti i otvorenosti ka promenama u organizaciji najizraženiji je u ranim fazama životnog ciklusa proizvoda, što znači i postavljanje zahteva za visokim stepenom fleksibilnosti u svim domenima organizacije, a posebno u domenu proizvodnog sistema. Preduzeća u tim ranim fazama modifikuju, variraju i unapređuju proizvod u naporu da se uspostavi dominantni trajniji oblik proizvoda koji je u najvećoj meri usaglašen sa potrebama kupaca. Karakteristična je velika eksterna orijentisanost preduzeća i posebno se ističe izražena uloga strateškog menadžmenta u ovoj fazi. Kada se uspostavi dominantni oblik proizvoda, za koji se preduzeće opredeljuje na duži rok, sve začajniji ulogu počinje da igra inovacija procesa sa težnjom da se obezbedi što racionalniji postupak izrade, uz što niže proizvodne troškove. U ovoj fazi se sa tradicionalnih tehnologija, najčešće prelazi sa univerzalnih na specijalne mašine i opremu za masovniju proizvodnju, da bi se prednosti ekonomije obima u što većoj meri iskoristile. [11]

Odnos između inovacije procesa i inovacije proizvoda nalazi se pod snažnim uticajem novih (informacionih) tehnologija. U drвноj industriji sa tradicionalnim tehnologijama, izražena je težnja za ostvarenjem fokusiranih proizvodnih sistema. Inovacije proizvoda i inovacije procesa jednoznačno su definisane kašnjenjem, a uvođenje novog proizvoda najčešće je praćeno razvojem novog procesa. Osnovna karakteristika nove tehnologije je njena fleksibilnost. Pojedina preduzeća drvne industrije sa novom tehnologijom postižu neophodnu fleksibilnost asortimana. Tehnološki je moguće obezbediti određenu različitost proizvoda, a istovremeno postići efikasnost proizvodnje u manjim serijama. Težnjom ka uspostavljanju fleksibilne proizvodnje i uvođenjem fleksibilnih proizvodnih sistema u novim tehnologijama, znači da se i karakteristična obeležja pojedinih faza promena u organizaciji menjaju.

Potencijali fleksibilnosti, zastupljenost univerzalnih mašina, numerički kontrolisanih fleksibilnih sistema, pružaju tehnološku osnovu stalnih promena tehnologije proizvoda. To podrazumeva neprekidnu eksternu okrenutost preduzeća ka praćenju tržišnih promena, kako na strani konkurenata, tako i na strani kupaca.

Preduzeća drvne industrije, trebalo bi da iskoriste, na što je moguće bolji način, uticaj i doprinos tehnologije i tehnoloških inovacija na ostvarivanje postavljenih ciljeva. Na ovaj način preduzeća će ostvariti konkurentsku sposobnost na duži rok i osvojeće bolje pozicije na tržištu. Takođe, omogućiće se ostvarenje profita, kao osnovnog cilja svakog preduzeća. [11]

Savremeno svetsko tržište drvetom i proizvodima od drveta zahteva proizvode šireg i promenljivog asortimana, u malim i varirajućim količinama, često i unikate. Osim toga, zahtevaju se proizvodi i usluge visokog nivoa kvaliteta, a posebno je na tržištu nameštaja primetna sve veća konkurencija.

Proizvod je rezultat rada ili radnog procesa. Usluga je rezultat dobijen uzajamnim delovanjem dobavljača i korisnika te samostalnim delovanjem dobavljača kojim on zadovoljava korisnikove potrebe. Kvalitet je skup svojstava nekog entiteta koja ga čine sposobnim da zadovolji izražene ili pretpostavljene potrebe. [12]

Cilj koncepcije savremene proizvodne filozofije je potpuno zadovoljenje potreba tržišta i kupca. Zadovoljenje očekivanja postiže se proizvodnjom usmerenom prema kupcu, povećanjem udela usluga, servisa i ekološki čistom proizvodnjom. Savremena proizvodna filozofija u preradi drveta i proizvodnji nameštaja ostvaruje se stalnim ulaganjem u nju, angažovanjem velike količine znanja, kao i zadovoljenjem zahteva za tehnološkom čistoćom. Nju je pak moguće ostvariti nizom elemenata vezanih za kupca, proizvodnju i poslovanje preduzeća. Koncepcija savremenog tržišta drvnim proizvodima ostvaruje se:

- ✚ širokim i promenljivim proizvodnim programom
- ✚ visokim kvalitetom proizvoda i poslovnog sistema
- ✚ stalnim smanjenjem cena proizvoda od drveta
- ✚ savremenom proizvodnom koncepcijom
- ✚ sistemima planiranja i održavanja kratkih i tačnih rokova isporuke proizvoda od drveta kupcima.

Danas, širok i promenljiv proizvodni program nameću kupac i tržište, a ostvaruje se fleksibilnom proizvodnjom. U ostvarenju takve koncepcije veliko značenje imaju fleksibilni tehnološki sistemi i obradni centri vođeni računarom. Obeležje im je visoka produktivnost, širina asortimana drvnog materijala za sastavljanje, tačnost i visok kvalitet izrade i obrade proizvoda. U tim sistemima manje su zalihe drvnog i nedravnog materijala i nedovršene proizvodnje proizvoda od drveta.

Savremene metode vođenja proizvodnje i poslovanja preduzeća za preradu drveta i proizvodnju nameštaja podržane informacionom tehnologijom, kao i nižim i višim nivoima komunikacionog sistema imaju zadatak inteligentnih agenata, savetnika u procesima odlučivanja i upravljanja proizvodnjom i poslovanjem. Fleksibilni tehnološki sistemi i obradni centri utiču na smanjenje obrtnog kapitala vezanog za proizvodnju. Može se reći da je takav rad gotovo bez međufaznih skladišta, skladišta drvnog i nedravnog materijala i bez skladišta gotovih proizvoda od drveta. [12]

Visokim kvalitetom proizvoda i poslovnog sistema osigurana je koncepcija rada bez grešaka uz visok udeo samokontrole zaposlenih na svim radnim mestima u tehnološkom procesu. Pritom bitnu ulogu imaju i implementirane savremene metode upravljanja i osiguranja kvaliteta proizvoda u celom tehnološkom i operativnom procesu upravljanja proizvodnjom i poslovanjem preduzeća za preradu drveta i proizvodnju namještaja. To doprinosi i osiguranju visokih tehnoeekonomskih normi u proizvodnji i poslovanju preduzeća, koje se postižu spomenutim metodama upravljanja, kao i modernim sistemima planiranja i održavanja kratkih i tačnih rokova isporuke proizvoda kupcima. Osmišljen je niz metoda i tehnika (MRP, MRP II, just-in-time, KANBAN) s ciljem sniženja zaliha drvnog i nedravnog materijala, nedovršene proizvodnje, gotovih proizvoda, terminiranja i praćenja proizvodnje optimizacijom proizvodnog ciklusa.

Fleksibilnom proizvodnjom, proizvodnjom bez grešaka, kao i osiguranjem visokih tehnoeekonomskih normi omogućuje se proizvodnja bez gubitaka rada i materijala. To znatno utiče na sniženje cene proizvoda od drveta i krajnji je rezultat takve koncepcije maksimizacija dobiti. Zahtevi tržišta usmeravaju proizvođače, posebno proizvođače nameštaja, prema:

- ✚ brzim promenama asortimana proizvodnje
- ✚ skraćanju vremena od ideje do pojave proizvoda na tržištu
- ✚ organizaciji proizvodnje u malim promenljivim serijama
- ✚ poboljšanju kvaliteta proizvoda od drveta.

Brza promena asortimana proizvoda od drveta u pojedinačnoj i serijskoj proizvodnji uticala je na uvođenje programabilne ili fleksibilne automatizacije.

Primer programabilne automatizacije su numerički upravljane mašine. Program za obradu dela upravlja redosledom operacija tako da je pri promeni proizvodnog programa potrebno samo pripremiti novi NU program. Ti se sistemi odlikuju velikom programabilnom fleksibilnošću.

Proizvodni program proizvoda od drveta se može definisati veličinom serije (mala, srednja, velika), koja, zavisno od asortimana, a sa ciljem povećanja produktivnosti, zahteva odgovarajuću tehnologiju. [12]

Pod fleksibilnim tehnološkim sistemom podrazumeva se proizvodna oprema povezana sa zajedničkim sistemom upravljanja i sistemom za upravljanje tokom materijala radi automatske proizvodnje različitih elemenata. Organizaciona i tehnička procedura i programi, takođe su deo sistema.

Osim obrade delova (aktualni proizvodni proces), sistemom su obuhvaćeni i prateći pomoćni procesi kao što su manipulacija, transport, kontrola, montaža i uskladištenje. Upravljački podaci iz računarske stanice predaju se procesu. Podaci iz procesa potrebni za praćenje njegovog funkcionisanja dostavljaju se računaru radi njihove obrade i donošenja upravljačkih naredbi u realnom vremenu.

Fleksibilnu tehnološku ćeliju čini jedna ili više računarom numerički upravljanih mašina, opremljenih skladištima delova i automatskim manipulatorom za rukovanje delovima, skladištenjem alata i automatskim izmenjivačem alata, kao i nizom mernih uređaja za praćenje procesa obrade. Računarska stanica mašine povezana je s računarskom stanicom robota i računarom CNC sistema. Upravljanje u tom sistemu odnosi se pre svega na koordinaciju opterećenja pojedinih mašina i alata. Veze za obradu podataka omogućavaju komunikaciju s bazama podataka koje sadrže programe obrade elemenata i sklopova, programe za merenje, programe za robote, elemente režima obrade itd. [12]

U bliskoj budućnosti očekuje se korišćenje znatno višeg nivoa prilagodljivog upravljanja u fleksibilnim tehnološkim sistemima. Elementarni sistemi prilagodljivog upravljanja, koji su već u upotrebi, upućuju na velike mogućnosti. Cilj povećanja nivoa inteligencije mašina ili centara za montažu je smanjenje potrebe za njihovim nadzorom i kontrolom. To omogućava uvođenje integralnog koncepta proizvodnje.

CIM (Computer Integrated Manufacturing - računarom integrisana proizvodnja) koncept je kojem treba težiti u svim razmišljanjima i implementacijama savremene proizvodnje na području prerade drveta i proizvodnje namještaja. CIM je integralna obrada informacija i podataka za rešavanje tehničkih, organizacionih i proizvodnih zadataka unutar preduzeća. Postavljaju se visoki zahtevi u povezivanju softvera s informacionom tehnologijom i mašinama. Integracijom pojedinih delova proizvodnog lanca moguće je skratiti vreme izvršenja naloga s klasičnog nedeljnog na CIM dan, i tako:

- ✚ smanjiti troškove proizvodnje
- ✚ smanjiti obrtna sredstva vezana za proizvodnju
- ✚ povećati fleksibilnost proizvodnje
- ✚ povećati stepen pouzdanosti kvaliteta proizvoda.

Moguće je predvidjeti proizvodni proces u kojem će sve operacije biti upravljane računarom bez bilo kakve ljudske intervencije. CIM je proizvodnja pri kojoj su dve ili više proizvodnih operacija integrisano upravljane istim računarskim sistemom. CIM obično obuhvata CNC sistem i automatski transport materijala upravljani računarom. [12]

CIM - računarom integrisani proizvodni sistem zatvorena je povratna veza u kojoj su osnovni ulazni podaci proizvodni zahtevi (potrebe) i proizvodni koncepti (kreativnost), a glavni izlaz su gotovi proizvodi. Sastoji se od elemenata softvera i hardvera, u što je uključeno konstruisanje, planiranje, programiranje, upravljanje proizvodnjom (povratna veza, nadzor i optimizacija), proizvodna oprema (uključivši i alatne mašine), kao i proizvodni proces (razmeštaj, formiranje i konsolidovanje).

1.2. Predmet istraživanja

Proizvodni proces predstavlja skup međusobno povezanih aktivnosti preko kojih se vrši povećanje vrednosti polaznih materijala. Drugim rečima, proizvodni proces predstavlja skup aktivnosti, preko kojih se vrši transformacija poluproizvoda ili sirovina u gotove proizvode. Proizvodni proces se sastoji iz jednog ili više tehnoloških procesa, a odvija se u proizvodnom sistemu. U proizvodnom procesu se vrši transformacija sirovina i poluproizvoda u gotove proizvode. Međutim, proizvodni proces obuhvata, osim transformacije i aktivnosti koje se odnose na definisanje proizvoda, konstrukciju i proračun elemenata proizvoda, organizaciju proizvodnje, pripremu sredstava za proizvodnju, etapno oblikovanje i obradu detalja i dr. [1]

Proces proizvodnje bilo kojeg proizvoda od drveta sastoji se iz procesa neposredne obrade materijala i procesa koji prate ovu obradu. Proizvodni procesi, već po dejstvu aktivnosti na proizvodnju gotovog proizvoda mogu biti sledeći:

- ✚ direktni ili osnovni procesi;
- ✚ indirektni ili posebni procesi;
- ✚ dopunski procesi i
- ✚ pomoćni procesi.

Direktni ili osnovni procesi sadrže aktivnosti koje se odnose direktno na dobijanje detalja, elemenata ili gotovih proizvoda. Ovi procesi obuhvataju konstrukciju proizvoda, projektovanje tehnološkog procesa, izradu detalja, spajanja i montažu detalja u sastave ili sklopove, površinsku obradu detalja, sastava i sklopova, konačnu montažu i pakovanje gotovih proizvoda. Indirektni ili posebni procesi sadrže aktivnosti koje se odnose na unutrašnji transport materijala kontrolu i klasiranje materijala po kvalitetu, ispitivanje kvaliteta proizvoda i dr. Dopunski procesi sadrže aktivnosti koje se odnose na izradu pomoćnih pribora, specijalnih alata, remont tehnološke opreme, oštrenje alata i drugo. Pomoćni procesi obuhvataju aktivnosti u okviru proizvodnog procesa koji se odnose na nabavku materijala, dovoz i odvoz materijala, kao i sve druge aktivnosti koje potpomažu proizvodnju. [1]

Tehnološki proces je direktno vezan za delovanje mašina, alata, uređaja i živog rada na materijal. On je ustvari, deo proizvodnog procesa, a sastoji se od skupa međusobno povezanih aktivnosti sa ciljem transformacije poluproizvoda u detalje, elemente, podsklopove i sklopove. Ako je tehnološki sistem sastavljen od više obradnih sistema, tada se u tehnološkom procesu vrši transformacija materijala do dobijanja gotovog detalja ili montažnog elementa. Međutim, ako tehnološki sistem obuhvata i sistem za oblikovanje, tada se u tehnološkom procesu vrši transformacija materijala sve do izrade sklopa ili podsklopa.

Predmet istraživanja u ovom radu je unapređenje proizvodnje u drvnj industriji, usvajanjem visokog stepena automatizacije proizvodnih procesa.

1.3. Ciljevi istraživanja

Naučni cilj ovog istraživačkog rada je analiza savremenih proizvodnih procesa koji se odvijaju u drvnoj industriji, prilikom prerade drveta i proizvodnje nameštaja.

Praktični cilj istraživačkog rada je pronalaženje odgovora na pitanja:

- ✚ Koje su tehnike za dobijanje furnira?
- ✚ Koji su načini pripreme furnira?
- ✚ U kojim oblicima se furnir koristi za oblikovanje nameštaja?
- ✚ Kolike su mogućnosti dizajniranja nameštaja od furnira i furnirskih ploča?
- ✚ Koji su radni parametri industrijskih robota?
- ✚ Na koji način se vrši programiranje industrijskih robota?
- ✚ Dokle dosežu mogućnosti upotrebe robota u proizvodnim procesima drvne industrije?

1.4. Hipoteze istraživanja

Hipoteza je misaona pretpostavka o predmetu koji se istražuje. Glavna osobenost hipoteze je proverljivost – mogućnost da se jedna tvrdnja kroz rezultate istraživanja pokaže kao tačna (potvrđi) ili netačna (odbaci).

Generalna ili opšta hipoteza ovog istraživačkog rada glasi: **Savremeni proizvodni procesi u drvnoj industriji doprinose neograničenim mogućnostima dizajniranja i proizvodnje nameštaja.**

Posebne ili radne hipoteze istraživačkog rada se odnose na pojedine proizvodne procese u drvnoj industriji i one su sledeće:

- ✚ Nekonvencionalni načini obrade furnira su bolji od konvencionalnih i primenljivi su u drvnoj industriji
- ✚ Savijeni oblici slepljenih furnira su konstrukcijski prihvatljivi
- ✚ Savremeni način upotrebe furnira predstavlja pogled u budućnost proizvodnje nameštaja
- ✚ Ponovljivost, tačnost, rezolucija, veličina radnog prostora, kao i raspodela funkcije nosivosti u okviru radnog prostora su najvažniji parametri industrijskih robota
- ✚ Robotskim programom se definiše trajektorija koju sledi završni uređaj robota, kao i robotsko delovanje kojim se omogućuje izvođenje kompletnog radnog ciklusa
- ✚ Upotreba industrijskih robota predstavlja budućnost savremene proizvodnje u drvnoj industriji

1.5. Metode istraživanja

Primenom različiti metodoloških postupaka dolazimo do relevantnih saznanja iz oblasti koju istražujemo. Pri tome prolazimo kroz tri naučne faze istraživanja:

- ✚ prva faza – empirijsko istraživanje,
- ✚ druga faza – utvrđivanje pojava,
- ✚ treća faza – verifikacija pređenog rada i saznanja.

Navedene faze se sastoje iz raznih manjih ili većih procesa i osnovnih elemenata kojima se dolazi do adekvatnih podataka ili zaključaka.

Metode deskriptivne analize i dijalektičke sinteze predstavljaju osnovu ovog istraživačkog rada. One nam omogućavaju da se upoznamo sa automatizovanim procesom proizvodnje, koji se obavlja upotrebom industrijskih robota i tehnologijama i načinom obrade i primene furnira u industriji nameštaja. Sintezom smo dobili jasnu predstavu o ispitivanoj pojavi i problemu. Metodom deskripcije pojašnjeni su tehnološki postupci savijanja lameliranog drveta i izrada trodimenzionalnih furnira, kao i načini programiranja industrijskih robota. Na osnovu matematičkih proračuna, vršeno je modelovanje i projektovanje nameštaja. Za objašnjenje nekonvencionalnih načina obrade furnira i procesa obrade drveta pomoću industrijskih robota, korišćeni su eksperimenti uz posmatranje pojava. Zaključivanje na osnovu indukcije i dedukcije pomoglo je u generalizaciji i apstrakciji sadržaja koji obuhvata proces oblikovanja nameštaja od furnira i furnirskih ploča i primenu robota u drvnoj industriji. Kompilacijom najnovijih radova i postojećeg saznanja iz ove oblasti, kao i novijom literaturom predstavljena su značajna dostignuća iz oblasti primene savremenih proizvodnih procesa u industriji nameštaja.

1.6. Struktura rada

Ovaj istraživački rad je strukturisan u osam poglavlja. Prvo poglavlje predstavljaju uvodna razmatranja i metodologija naučnog istraživanja. Drugo poglavlje nas upoznaje sa načinima dobijanja furnira i konstrukcijama furnirskih ploča. Treće poglavlje je posvećeno načinu korišćenja i obrade furnira prilikom oblikovanja nameštaja. Četvrto poglavlje sadrži objašnjenje procesa savijanja slojevitog drveta. Peto poglavlje nam dočarava budućnost projektovanja nameštaja korišćenjem trodimenzionalnih furnira i furnirskih ploča. Šesto poglavlje obuhvata prikaz dostignuća kod primene robota u drvnoj industriji. U sedmom poglavlju se izводе zaključci proizašli iz istraživačkog procesa ovoga rada. Osmo poglavlje prikazuje korišćenu literaturu i Internet prezentacije. U prilogu istraživačkog rada, nalazi se spisak korišćenih simbola, spisak slika i spisak tabela.

2. PROIZVODNJA FURNIRA I FURNIRSKIH PLOČA

Furnir predstavlja ono najplemenitije što se može proizvesti od drveta. Stručnjaci samo od najkvalitetnijih i najvrednijih stabala drveta proizvode furnir. Furnir je do dan danas ostao kao nešto vrlo posebno. On svojom posebnošću ukrašava vredne muzičke instrumente, prekrasne podove ili panele kao što krase i visokovredni nameštaj. Kao sirovina za proizvodnju furnira upotrebljavaju se danas samo probrana stabla drveta od kojih onda stručnjaci savremenim tehnološkim postupcima izrađuju finalan proizvod - furnir. Furnir je unikatan proizvod koji potiče iz prirode i na kojem se jasno vide oznake koje poseduje i stablo od kojeg je izrađen a to su godovi i kvrge na stablu kao i prirodna struktura i boja drveta. S godinama elementi namještaja izrađeni od furnira dobijaju na lepoti i karakteru. U svetu već postoji i zaštitni znak proizvoda izrađenih od originalnog furnira koji ističe plemenitost i prirodnost drveta od kojeg je izrađen. Na ovakvim proizvodima vidljivi su godovi stabla koji su jedinstveni i neponovljivi kao što su jedinstveni otisci ljudskih prstiju, a koji na taj način jasno identifikuju poreklo furnira.

Furnir je drvo u svom najatraktivnijem obliku. Furniri su najekonomičniji vid korišćenja drveta i stoga pružaju najveću vrednost ovog prirodnog materijala. Drvo kao najstariji, organski, heterogeni i anizotropni materijal se upotrebljava u raznim delatnostima, građevinarstvu, industriji nameštaja, brodogradnji, avioindustriji, industriji automobila itd. Tu njegovu široku primenu obezbeđuju njegova izvanredna estetska i konstruktivna svojstva. Ljudska težnja za lepim, a u nedostatku odgovarajućeg drveta, inspirisala je čoveka da izrađuje tanke listove furnira koje primenjuje u vidu intarzije. Neke vrste drveta pružaju originalne estetske efekte te su takve u tankim slojevima lepljene na pojedine delove nameštaja. Ovakav način primene furnira bio je ograničeno zastupljen i predstavljao je pojedinačni umetnički rad. Međutim, drvo kao prirodan materijal ima i svoje nedostatke: anizotropnost, greške u strukturi, neotpornost na vodu (higroskopnost), osetljivost na gljive i insekte, neujednačen kvalitet i dr. Ova svojstva drveta se negativno odražavaju na stabilnost oblika i dimenzije elemenata u proizvodima izrađenim od drveta. Da bi se izbegla ova svojstva drveta, a u što većoj meri iskoristila njegova dobra svojstva došlo se do proizvodnje furnira koja je imala za cilj racionalnije korišćenje drveta cenjenih estetskih karakteristika i smanjenja anizotropije svojstava masivnog drveta.

Definicija reči furnir po stranim leksikonima menjala se kako se menjala i upotreba furnira, tj. od definicije tankih ploča za oblaganje manje vrednog drveta, pa do upotrebe za proizvodnju šperovanog drveta. Kod nas se upotrebljavala reč furnir za šper ploče i plemeniti furnir za oblaganje, koju uglavnom susrećemo i u Evropi.

Furniri su tanki listovi drveta dobijeni struganjem, sečenjem ili ljuštenjem. Debljina listova furnira iznosi od 0,2 do 10,0 mm, najčešće su debljine od 0,5 do 3,5 mm.

Prema tehnološkom procesu proizvodnje furnir se deli na strugani, sečeni i ljušteni. Prema načinu obrade furniri se dele na okrajčene i neokrajčene. Prema načinu pripreme furniri se dele na plemenite i slepe. Strugani i sečeni furniri se upotrebljavaju za oplemenjavanje lica nameštaja, za oblaganje dvorana, za intarzijske radove i sl. [2]

Slepi furniri, ili unutrašnji ili donji furniri, zovu se furniri koji služe kao podloga plemenitom furniru. Pri upotrebi slepog furnira ne iskorišćavaju se estetska svojstva drveta. Debljina slepog furnira je uvek veća od debljine plemenitog furnira. Za slepi furnir upotrebljava se lošiji furnir relativno homogene strukture. [2]

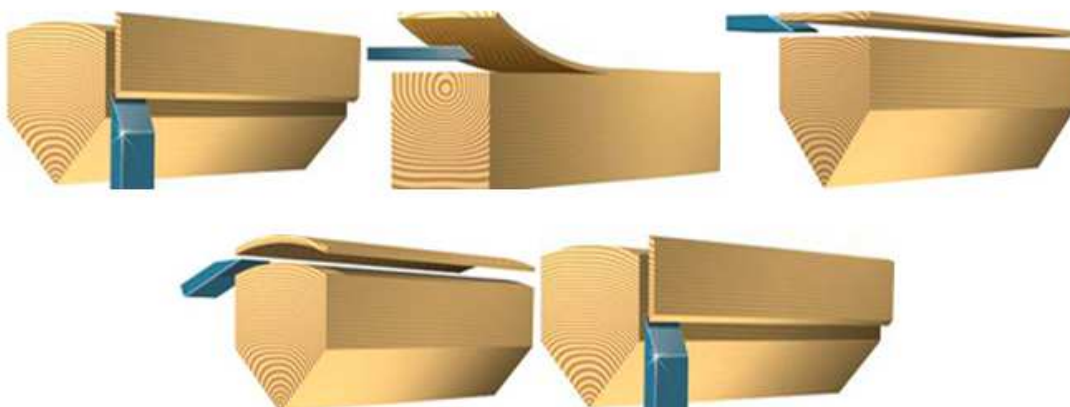


Slika 2.1. Proizvodnja furnira

2.1. Sečeni furniri

Sečeni furniri su tanki listovi drveta, debljine od 0,5 do 1,0 mm. Dobijaju se tehnikom sečenja na furnirskom nožu.

Prema pravcu sečenja u odnosu na sržne zrake, razvrstavaju se na: blistače i bočnice. Blistače se dobijaju sečenjem pripremljenog oblika trupca u smeru ili približno u smeru sržnih zraka (radijalni ili približno radijalni rez). Bočnice se dobijaju sečenjem u pravcu tangente ili približno tangente na godove. Ovo naročito važi za vrste drveta koje imaju izražene sržne zrake.



Slika 2.2. Načini dobijanja sečenog furnira [13]

Često se termin sečeni furnir zamenjuje terminom plemeniti furnir, jer se proizvodi od plemenitih vrsta drveta, zapravo od vrsta iz kojih se koriste estetska svojstva.

Po načinu slaganja – nakon sečenja, sečeni furniri se dele na kladarke ili bulove i povezanu robu. Kladarke (*Boules*) su svežnjevi poređani onim redom kojim se režu i ređaju, nakon sečenja iz trupca. Podrazumeva se, da su listovi u vezama poređani upravo onim redom, kako su izlazili iz mašine za sečenje furnira – furnirskog noža. Cilj je da se zadrži kongruentnost teksture drveta. Povezana roba (*Bundware*) je pojam za svežnjeve koji nisu poređani redom kojim su rezani iz trupca, ali listovi unutar jednog svežnja moraju biti poređani redom kako su rezani iz trupca. [2]

Po načinu konačne obrade, sečeni furniri se dele na:

- ✚ Okrajčene furnire – oni su oštrobrižno okrajčeni i to paralelno ili konusno
- ✚ Neokrajčene furnire koji se ne obrađuju na paketnim makazama – ostaju u onoj formi kakvu dobijaju nakon sečenja na furnirskom nožu

Sirovina iz koje se dobija plemeniti furnir, obuhvata u svetu više od 100 vrsta, od čega je 85% lišćarskih vrsta. Ukupna furnirska sirovina deli se u nekoliko grupa na osnovu svetske potrošnje sirovine za furnir. Tako imamo četinarske vrste Severne Amerike koje obuhvataju 55% ukupne svetske proizvodnje – duglazija, južni bor i tropske lišćarske vrste Afrike i Jugo-Istočne Azije – mahagoni, okume, makore, kedar, sapeli, limba, tiama, kosipo, framire, čiji obim iznosi 16 do 18% svetske proizvodnje.

Posle ovih, imamo vrste umerene klime – najviše breze sa oko 10% i bukve sa oko 2% ukupne svetske potrošnje sirovine za furnir. Sa manjim učešćem, ali često, koriste se od lišćara još: joha, topola, lipa, hrast, orah, klen i jasen sa ukupno 12% svetske proizvodnje. Od četinara još dolaze u obzir bor, jela, kedar i ariš sa ukupno 2% učešća.

Za izradu sečenih, plemenitih furnira, koriste se pre svega one vrste koje na nekom od pravaca rezanja, ističu estetska svojstva, i to pre svih, boju i teksturu. [2]

U furnirsku sirovinu od četinarskih vrsta drveta spadaju: Bor koji se seče u debljini listova furnira od 0,80 mm, jela sa debljinom od 1,00 mm i smrča koja se reže u debljinama furnira od 0,90 do 1,00 mm.

Četinari se ređe seku u furnire iz razloga velike razlike u tvrdoći između ranog i kasnog drveta, ali zbog lepe teksture, a i nedostatka ostalih sirovina za plemenite furnire, uzimaju sve više učešća u svetskoj proizvodnji.

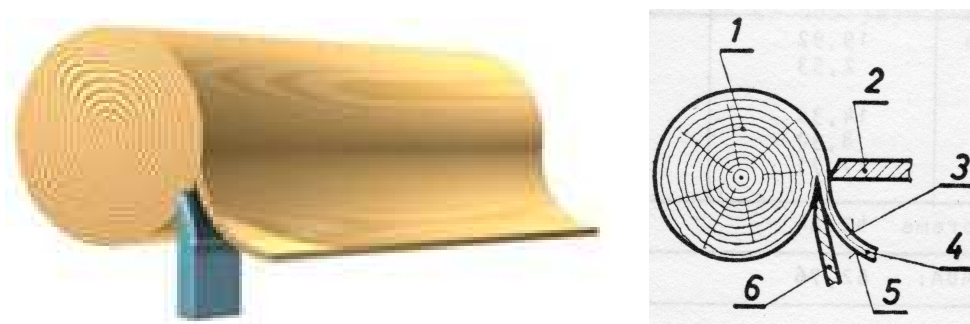
Za sečene furnire egzotičnih vrsta drveta, koristi se veliki broj vrsta, a najčešće kod nas bubinga, wenge, zebrano, makore, sapeli-mahagoni i paduk. Zbog izuzetnih estetskih svojstava zauzimaju značajno mesto u industriji proizvodnje nameštaja.

2.2. Ljušteni furniri

Kada oštrica noža prodire u trupac (u oblom stanju) paralelno sa korom ili pod vrlo malim uglom u odnosu na liniju godova, onda govorimo o ljuštenju, a furnire dobijene ovom tehnikom, nazivamo ljuštenim furnirima.

Po fizičkom obimu proizvodnje, ljušteni furniri zauzimaju svih 90% ukupne proizvodnje furnira.

Ljuštenje je, kao i sečenje, kompleksna operacija uslovljena određenim odnosom noža, pritisne grede i položajem u ljuštilici. Odnos i usvojeni termini vide se na slici 2.3.



Slika 2.3. Način dobijanja ljuštenog furnira [13]

(1) trupac; 2) pritisna greda; 3) pritisnuta strana; 4) list furnira; 5) otpuštena strana; 6) nož

Furniri dobijeni na ovaj način su centrično ljušteni furniri ili slepi furniri (u praksi se nazivaju konstrukcioni ili “blind” furniri (blind = slep, nem.).

Ljuštenjem, tehnikom spiralnog kretanja noža kroz trupac, dobijaju se spiralni ili specijalni furniri. Svi ljušteni furniri dobijaju se na ljuštilicama. [2]

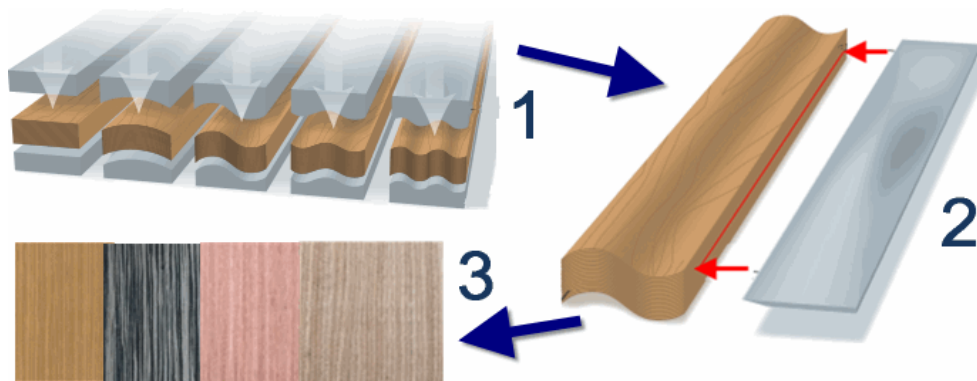
Najčešće domaće vrste koje se ljušte u slepe furnire su, od lišćara: bukva, topola, lipa, breza, i joha, a od četinara: smrča, jela, bor i ariš.

U egzotične vrste drveta koje se najčešće koriste za dobijanje ljuštenog furnira, spadaju: samba i okume.

2.3. „Fajn Lajn” (*Fine Line*) furniri

Ovo je najnovija tehnologija proizvodnje sečenih furnira. Ima velikih prednosti pri izradi garnitura za oblaganje nameštaja, jer izostaje slaganje i podešavanje tekture pojedinih listova. Seče se na nožu u uobičajenim debljinama za plemenite furnire, a suština je u tome, da se od različitih furnira lepljenjem, formira blok, pa se nakon odležavanja ovi blokovi razrezuju upravno na slepljene površine. Tako se dobijaju furnirske površine većih dimenzija i na izgled, sa godovima savršeno jednakih širina. Linije su prave (otud i ime ovim furnirima). Nazive nose prema dominirajućoj boji ovog proizvoda i prirodnog furnira. [2]

Fineline furnir je furnir koji se pravi sečenjem šper ploči koje imaju nepravilan oblik. Prvo se prave listovi običnog furnira. Ovi listovi se boje a zatim se slepljuju u talasaste šper ploče (slika 2.4. pozicija 1). Koristi se lepak koji je slične boje kao i sami listovi furnira. Dobijene talasaste šper ploče se seku ravnim sečivom na tanke listove da bi se dobio Fineline furnir (slika 2.4. pozicija 2). Rezultat je furnir koji ima specifičan dizajn koji se sastoji od linija, tj. traka (slika 2.4. pozicija 3). Danas se za furniranje nameštaja u 70% slučajeva koristi Fineline furnir.

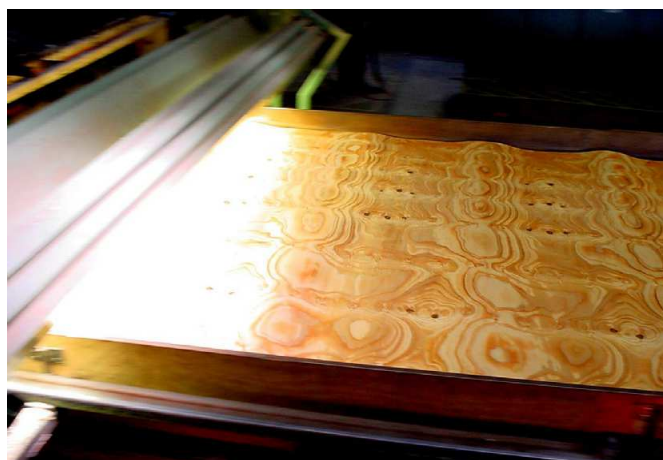


Slika 2.4. Tehnologija izrade “Fajn Lajn” (Fine Line) furnira [13]

Pored toga što je podesan pri krojenju garnitura za oblaganje površina pri izradi nameštaja, neosporan je i ekonomski momenat, jer se u bloku slepljuju i nekvalitetni furniri. U praksi se za ovu vrstu furnira prihvata termin komponirani furnir. [2]

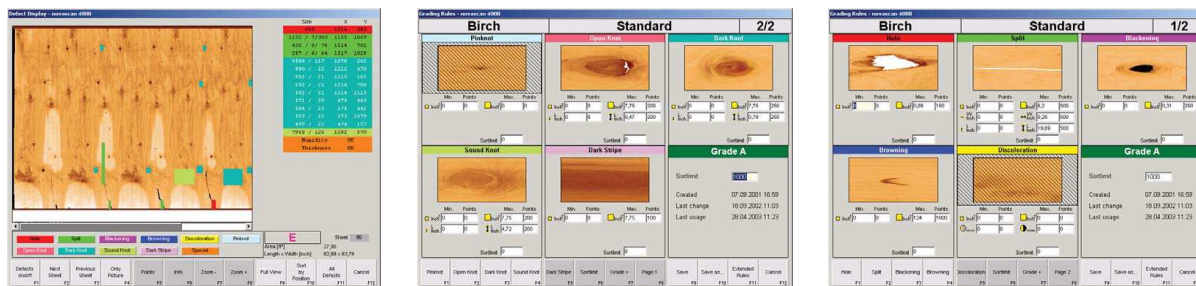
2.4. Automatska vizuelna kontrola furnira

U toku proizvodnog procesa prerade drveta, pojavljuju se štetna isparavanja i drvena prašina, koji mogu negativno delovati na zdravlje radnika. Takođe, čovek nemože u kontinuitetu, duži vremenski period, vršiti inspekciju furnira i uklanjati materijal sa greškama u proizvod. Zato se u poslednje vreme u upotrebu uvode sistemi za mašinsku vizuelnu kontrolu furnira, koji predstavljaju najsavremeniji vid kontrole proizvoda.



Slika 2.5. Automatska vizuelna kontrola furnira [35]

Q:Scan Veneer Grader je sistem za automatsku vizuelnu kontrolu, klasifikaciju i optimizaciju krojenja listova furnira. Pomoću naprednih industrijskih kamera visoke rezolucije, sistem skenira celokupni materijal na samoj proizvodnoj liniji, te detektuje pozicije, vrste i veličine svih defekata u materijalu. Na osnovu tih podataka obavlja se automatska klasifikacija i sortiranje materijala ili optimizacija krojenja radi makimalnog iskorišćenja sirovine. Camconsole korisnički panel omogućava operaterima brz i jednostavan pregled rada ili promenu parametara kontrole i klasifikacije proizvoda. Svi podaci o skeniranim količinama furnira, njegovom kvalitetu i statistici defekata, skladište se u računarsku bazu podataka radi detaljnog i efikasnog nadzora proizvodnje. [35]



Slika 2.6. Korisnički panel za automatsku vizuelnu kontrolu furnira [35]

Skeniranje furnira obavlja se pri brzinama do 2 m/sek. Listovi furnira se kontinuirano skeniraju na izlazu iz sušare i automatski im se određuje klasa kvaliteta prema zadatim vizuelnim i strukturnim karakteristikama, uz dodatnu proveru oblika i dimenzija lista. Rezultat klasifikacije se može i utisnuti na list koji se automatski sortira u odgovarajući odeljak. Kontrolom ljuštenog furnira određuje se optimalan način krojenja kako bi se iskoristio maksimum materijala uz uklanjanje što većeg broja defekata. [35]



Slika 2.7. Mašinska automatska vizuelna kontrola furnira [36]

2.5. Slojeviti proizvodi od furnira

Slojeviti proizvodi od furnira su proizvodi kod kojih je više slojeva furnira međusobno slepljeno lepkom, čime se smanjuje utezanje i bubrenje drveta, a poboljšavaju se mehanička i fizička svojstva. Slojeviti proizvodi od furnira dobijaju se presovanjem u toku tačno određenog vremena, uz određen pritisak i temperaturu. [2]

2.5.1. Furnirske (šper) ploče

Furnirska ploča je ploča koja je izrađena od najmanje tri međusobno slepljena furnirska lista, čija se drvena vlakanca najčešće ukrštaju pod pravim uglom. Prema broju slojeva, može biti troslojna (tripleks) ploča i višeslojna ili multipleks ploča (slika 2.8.).



Slika 2.8. Furnirska (šper) ploča: (gore levo troslojna, gore desno petoslojna, dole višeslojna)

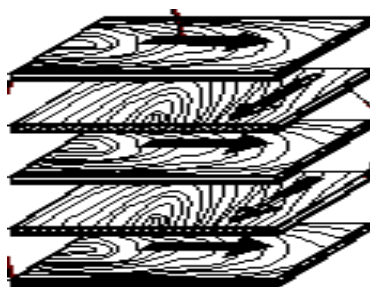
Prema vrsti drveta, mogu biti izrađene od samo jedne vrste drveta – to su obične ploče, i izrađene od dve ili više različitih vrsta – to su kombinovane furnirske ploče. Vlažnost furnirskih ploča pri isporuci, treba da je 6 – 12%.

Ako je ploča izrađena od tri sloja, najboljih je mehaničkih karakteristika, ako srednji sloj iznosi 33 – 60% od nazivne debljine te furnirske ploče. [2]

Izrada furnirskih ploča nametnuta je lošim odlikama masivnog drveta i prednostima ploča. Prednosti se ogledaju u:

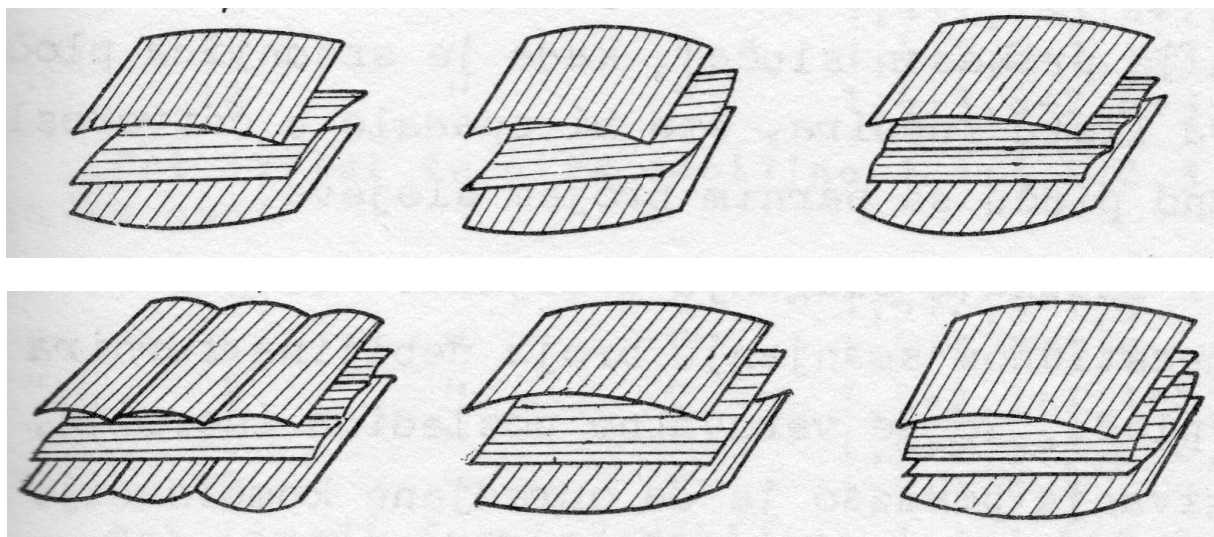
- ✚ umanjeno je utezanje i bubrenje drveta, raspucavanje i vitoperenje. Ovo je postignuto ukrštanjem slojeva furnira;
- ✚ trajnost drveta je osetno povećana, pod uticajem lepka, ukrštanja slojeva, pritiska i temperature u presi;
- ✚ poboljšana mehanička svojstva. Tako na primer, ploča debljine 6,2 mm od 5 slojeva, boljih je mehaničkih svojstava od masivne daske od 25 mm iako je daska okruglo četiri puta veće debljine;
- ✚ dobra je mogućnost oblikovanja savijanjem – primer, izrada sedišta i naslona, sportske sprave;
- ✚ čvrstoća se može skoro da izjednači u svim pravcima, naročito kod višeslojnih ploča ili kod ukrštanja pod manjim uglom od 90° (zvezdaste ploče);
- ✚ zapreminska masa furnirskih ploča, pod dejstvom pritiska i temperature u presi i upotrebom lepka, povećana je 18 – 20% u odnosu na masivno drvo;
- ✚ osetno su povećane dimenzije, a samim tim i upotrebljivost. Znamo da je širina rezanih sortimenata u zavisnosti od prečnika trupca, dok je kod ploča to nezavisno. Kombinacije i višekratno povezivanje, može da omogući dobijanje željenih dimenzija;
- ✚ izotropna svojstva su daleko veća kod ploča, što i jeste jedan od dominantnih razloga razvoja industrije furnirskih ploča.

Proizvodnja furnirskih ploča može da bude nastavak linije dobijenih ljuštenih furnira, a mogu furniri i da se nabavljaju sa strane i početi tehnološku liniju sa suvim furnirima. Najvažnije pravilo pri konstrukciji furnirskih ploča je pravilo simetrije. Osa simetrije prolazi kroz sredinu srednjeg sloja ploče. U odnosu na osu, sa obe strane moraju da budu furniri jednake debljine, da furniri jednako udaljeni od ose budu istog pravca protezanja vlakana, iste vlažnosti, iste vrste drveta, iste tehnike izrade. Furnirska ploča se izrađuje iz neparnog broja slojeva, jer bi pri izradi ploča od parnog broja, osa simetrije prolazila kroz fugu – sloj lepljenja, a ovo bi moglo da dovede do razrušavanja veze pri određenim naprezanjima. Pri slaganju u ploču, spoljni furniri se polažu tako, da im slobodna (otpuštena) strana bude ka srednjici, a lice i naličje ploče su pritisnute strane furnira. Ukoliko bi se odstupilo od pravila simetrije u bilo kom od navedenih zahteva, ploča bi se vitoperila ili krivila. Sledeće pravilo je pravilo broja slojeva i ono može da se definiše tako, što je kod jedne iste ploče, sa porastom broja slojeva, izotropnost ploče u porastu. Kod masivnog drveta vrlo je velika razlika u zateznoj čvrstoći paralelno i upravno na vlakanca. Kod furnirskih ploča, sa porastom broja slojeva, ova razlika opada. Pravilo debljine slojeva posebno se ističe kod ploča sa velikim brojem slojeva. Tanji furniri, slepljeni u furnirsku ploču, daju ploču boljih tehničkih karakteristika. U cilju povećanja kvalitetnih karakteristika furnirskih ploča, izrađuju se i zvezdaste ploče, kod kojih su furniri složeni pod manjim uglom od 15° - 60° . [2]



Slika 2.9. Konstruisanje furnirske (šper) ploče [2]

Pripremljeni furniri za ploču, pošto su uglavnom ljušteni, teže da poprime formu koju su imali u trupcu. Načine slaganja u kompoziciji troslojne furnirske ploče vidimo na slici 2.10.



Slika 2.10. Načini slaganja furnira pri konstruisanju troslojne furnirske (šper) ploče [2]

2.5.2. Specijalna (savitljiva) furnirska ploča

Svi smo navikli na to da je materijal proizveden od drveta, veoma čvrst i da se savija samo u slučaju kada se primeni specijalna tehnologija. Međutim, sa napretkom tehnologije prerade drveta, na tržištu se pojavio jedinstveni materijal pod nazivom savitljiva šperploča. Jedinstvenost ovog tipa šperploče proističe iz činjenice da se dobro savija, a u isto vreme je veoma izdržljiv materijal. Ova šperploča ima sposobnost fleksibilnosti, jer je izrađena od raznih tropskih vrsta drveta sa malom gustoćom.

U poslednjih nekoliko godina, neke kompanije su počele da prave fleksibilne, ali izdržljive šperploče od brezovog furnira, što u velikoj meri smanjuje cenu ovog materijala na tržištu. U ovom slučaju, materijal je izrađen iz jednog komada brezovog furnira, koji je dobijen poprečnim rezanjem drveta breze i koji se unakrsno postavlja. Takođe, savitljiva šperploča, može biti obložena plaštovima izrađenim od plemenitog brezovog furnira. Sa tehnološke tačke gledišta, fleksibilnost ovog materijala se dobija promenom strukture drveta prilikom hladnog ili toplog presovanja u vakuum-membran presi. [15]

Savitljiva šperploča ima gustinu u suvom stanju 310 kg/m^3 , što je mnogo manje od običnih listova furnira dobijenih od drveta breze. Kao materijal ima veoma velike prednosti. Najvažnija je otpornost na savijanje, tako da može poprimiti svaki oblik zakrivljene forme. Ima debljinu od samo 1,5 mm, može biti savijena, bez pucanja do 180° , što značajno proširuje spektar dizajniranja nameštaja, njenom upotrebom kao konstruktivnog elementa. Sledeća prednost je drugačija uniformnost kvaliteta površine. Treba napomenuti da je ovo prilično siguran, a lagan, materijal koji ima velike dekorativne osobine. Ova šperploča se lako površinski i mašinski obrađuje. Prilikom njene izrade ne pojavljuju se mrlje i neprijatni miris.

U zavisnosti od početnih kriterijuma izrade, postoje različite vrste savitljivih šperploča. Veličina materijala može biti u širini od 920 do 1220 mm, a dužina od 1540 do 2500 mm. Po broju slojeva furnira mogu biti tri sloja, četiri sloja, itd., tako da se dobijaju debljine materijala od 4 do 16 mm. Važan pokazatelj za fleksibilnost ove šperploče je njen radijus savijanja: on varira od 5 do 15 cm. U smeru fleksije razlikujemo uzdužno i poprečno savijanje listova furnira. [15]

Po načinu izrade savitljiva šperploča je furnirska ili lamelirana. Površina joj može biti neobrađena, lakirana, tonirana ili tretirana voskom. U zavisnosti od vrste drveta od koje je izrađena, razlikuju se tri vrste:

- ✚ "Seiba" proizvedena u zemljama Bliskog Istoka i u Africi,
- ✚ "Sumauma", "faveira", "parika" proizvedene u Južnoj Americi, u Brazilu
- ✚ "Keruing" proizvedena u Maloj Aziji i Indokini, najčešće u Indiji.



Slika 2.11. Različite vrste specijalne (savitljive) furnirske ploče [15]

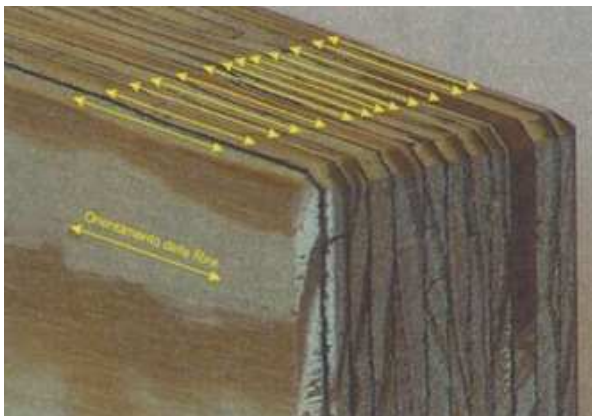
Specijalna (savitljiva) furnirska ploča se koristi u dekorativne svrhe. Ona ima široku primenu. Iskustvo pokazuje da se može uspešno koristiti u enterijeru i eksterijeru. Dizajneri su u poslednje vreme počeli da projektuju ekskluzivne komade nameštaja koji izgledaju veoma lepo i originalno.



Slika 2.12. Nameštaj izrađen upotrebom specijalne (savitljive) furnirske ploče [16]

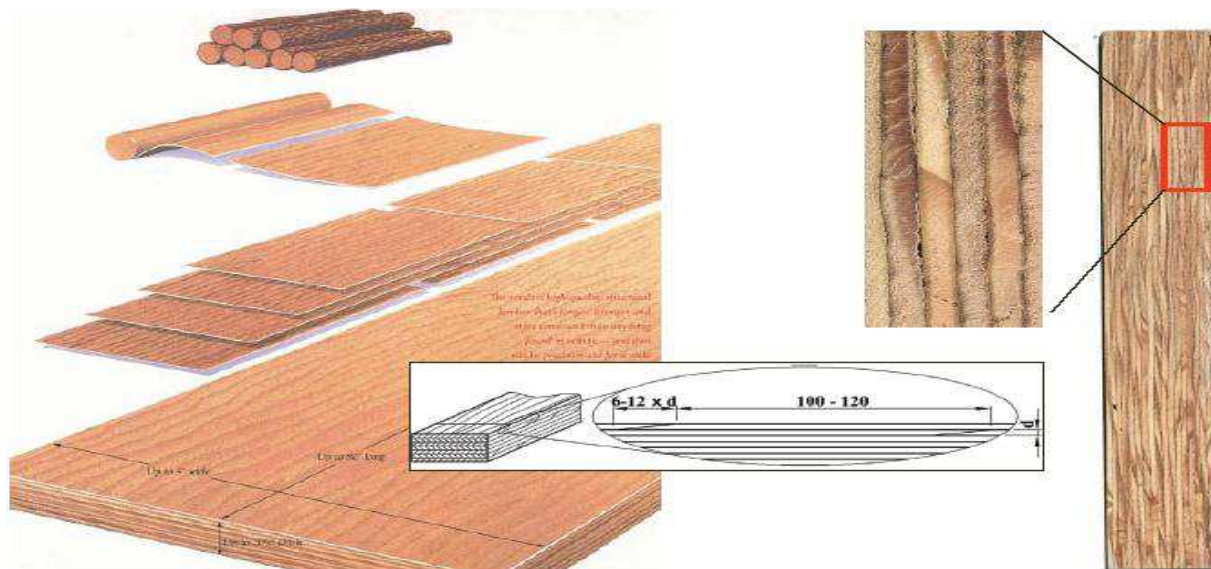
2.5.3. Slojevite ploče (lamelirani elementi iz furnira – LVL)

Proizvodnja ovih ploča počela je, u industrijskom smislu da se razvija, od 1930. godine. Cilj je da se dobije ploča većih dimenzija kod koje su izbegnute posledice anatomskih grešaka masivnog drveta. Tako na primer, ako imamo čvor, na tom mestu je drvo oslabljeno i do 60%. Međutim, ako bi taj komad isekli na 20 lista i tu grešku pomerili na veću površinu, ovaj presek bi sada bio oslabljen za samo 5%. U Nemačkoj su ove ploče poznate pod imenom Šichtholz (*Schichtholz*) i imaju različitu primenu. Ove ploče se proizvode sa specifičnim pritiskom od 15 do 30 bara. [2]



Slika 2.13. Lamelirani elementi iz furnira – LVL

Slojevite furnirske ploče se najčešće proizvode od bukovih ljuštenih furnira i to u debljinama od 0,2 do 1,5 mm. Prethodno se vrši parenje ili kuvanje oblovinе. Sušenje, obrada sljubnica i spajanje, vrši se na uobičajen način. Lepljenje se vrši fenolnim, melaminskim ili rezorcinskim lepkom. U Finskoj, slojevite furnirske ploče se proizvode iz brezovih furnira, u SAD najčešće od žute breze, u Rusiji isključivo od breze, uz natapanje furnira u fenolno lepilo ili krezol-formaldehidne smole. U novije vreme, ove ploče se proizvode od četinarskih vrsta drveta. U Nemačkoj se proizvode u dužinama do 5,0 m, širine 450 mm i debljine do 200 mm.



Slika 2.14. Konstruisanje i izrada lameliranih elemenata iz furnira – LVL [2]

Zatezna čvrstoća ovih ploča je znatno veća nego kod punog drveta, i to uzduž vlakanaca 60 do 120%, a popreko na vlakanca čak 100 do 500%. Furniri se slažu paralelno, bez ukrštanja vlakanaca, ili se svaki 10. ili 15. furnir ukršta pod uglom od 90°. Temperatura lepljenja je između 140 i 150°C, a vreme trajanja pritiska je 5 do 10 minuta osnovnog vremena, plus 1 minut na svaki mm debljine ploče. U drвноj industriji se ove ploče upotrebljavaju kao delovi stolova, stolica, kreveta, enterijera, i dr. [2]



Slika 2.15. Nameštaj izrađen od lameliranih elemenata iz furnira – LVL (kolekcija PunkAlive, proizvođač Finnforest – Finska) [17]

3. IZRADA NAMEŠTAJA SA INTARZIJOM OD FURNIRA

Intarzija je umetničko ukrašavanje predmeta od drveta umetanjem parčića drveta i drugih stvari u raznim bojama, tako da budu u istoj ravni sa podlogom. Najčešće korišćeni materijal je furnir u debljini 0,6 – 0,8 mm. Furnir se dobija obradom trupaca raznih vrsta drveta. Najčešće se koriste orah, abonos, palisander, mahagoni, ružino i kruškovo drvo.

Reč intarzija je arapskog porekla, u prevodenju znači umetanje. Već Egipćani, Grci, Rimljani i Vizantijci su koristili intarziju kao način ukrašavanja raznih predmeta. [19]

Intarzija je naročito negovana u Italiji u XV i XVI veku u Sieni, Orvientu, Toscani i Lombardiji prvenstveno sa ukrašavanjem crkvenih stolica, zidova i dr. Najpoznatiji majstori intarzije su bili Giovanni da Verona, Baccio d'Agnolo i Fra Damiano. U Nemačkoj izrada intarzije se razvijala pod uticajem Italijanskih umetnika. U Francuskoj umetnost izrade intarzije se razvijala nezavisno od okruženja. Luksuzni nameštaj u stilu Luja XV i Luja XVI ima ukrase rađene u stilu intarzije. Najpoznatiji francuski umetnik je bio André Charles Boulle rođen 1642. godine. U Holandiji umetnost intarzije je cvetala u XVI i XVII veku.

Iako je u oblikovanju nameštaja najprisutnija, intarzija je nalazila primenu i kroz izradu od nameštaja nezavisnih najrazličitijih vrsta motiva (portreta, aktova, pejisaža, objekata i građevina, mrtve prirode, amblema, heraldičkih simbola itd.), kroz intarziranje složenijih enterijerskih celina, a primenjivana je i kroz intarziranje ramova slika i ogledala, zidnih satova, kutija i škrinja, muzičkih instrumenata ili trofejnog oružja. [19]



Slika 3.1. Muzejski primerci nameštaja sa intarzijom od furnira [18]

U prošlom veku istorijat intarzije za ukrašavanje nameštaja se praktično prekida pojavom masovne proizvodnje nameštaja. Možda je to razlog što sa oduševljenjem odajemo priznanje starim majstorima zanata – umetnicima izrade intarzije. Sada se izrađuju jednostavniji motivi intarzije.



Slika 3.2. Savremeni nameštaj sa intarzijom od furnira

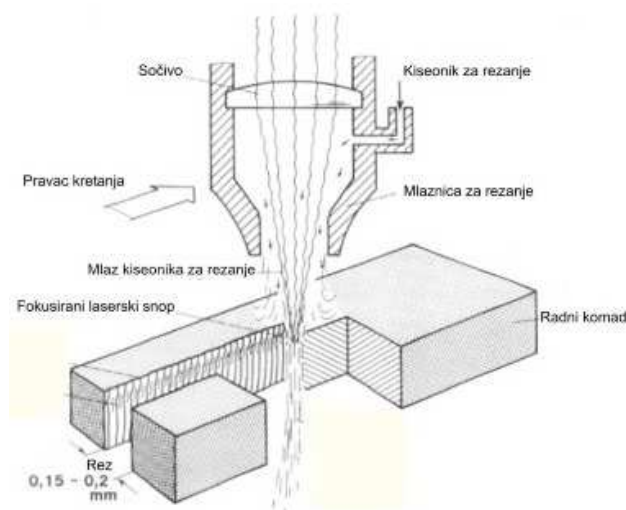
Intarzija je tehnika umetanja komadića drveta različitih oblika, veličina i od raznobojnih furnira koji kada se sklope daju trodimenzionalne slike nalik mozaicima, koje oplemenjuju predmete na poseban način. Nakon odabira određenih vrsta furnira na osnovu modela, svaki komad se zasebno seče, zatim oblikuje i obrađuje. Slika se dobija lepljenjem na podlogu ovih komada u jednu celinu. Nekada se ceo proces izvodio ručno, a danas se koriste vektorski programi za izradu modela i laseri za sečenje, ali je suština ostala ista – izuzetna veština i visoki estetski kriterijumi su i dalje neophodni da bi se od komada drveta stvorilo pravo malo umetničko delo koristeći floralnu, geometrijsku ili figuralnu ornamentiku. Simulacijom u odgovarajućem kompjuterskom programu može se dočarati finalna slika intarzirane površine i odabrati kombinacija furnira.

3.1. Lasersko sečenje furnira

Upotrebom laserske tehnologije za sečenje furnira, ubrzava se proces sečenja željenih formi za izradu novih intarziranih površina, a moguće su i replike starih intarzija. Kompjutersko navođenje ovakvih mašina garantuje maksimalnu preciznost kod sečenja i uklapanja, tako da se intarzirane površine formiraju bez potrebe za bilo kakvom doradom.

Laser od (engl. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) ili u prevodu „pojačanje svetlosti pomoću stimulisane emisije zračenja“ je izvor svetlosnog zračenja koji emituje koherentan snop fotona. Kao izvor, stabilan je po frekvenciji, talasnoj dužini i snazi. Za razliku od svetlosti koju emituju uobičajeni izvori, kao što su sijalice, laserska svetlost je uglavnom monohromatska, tj. samo jedne talasne dužine (boje) i usmerena je u uskom snopu. Snop je koherentan, što znači da su elektromagnetni talasi međusobno u istoj fazi i šire se u istom smeru. Sastavljen je od rezonatorske šupljine i aktivne sredine koja ga ispunjava. Otkriven je u SAD 1960. godine. Ranije je nazivan i Maser (engl. *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). [3]

Laserski zrak se proizvodi fenomenom stimulisane emisije. Kao prvi uslov emisije fotona je Borov uslov: tj. laserski medijum mora imati energetske nivoe čija energija (razlika energija) odgovara energiji emitovanih fotona. Drugi uslov je da većina atoma (ili molekula) bude u pobuđenom stanju. Mora se imati na umu da se u laserskom medijumu mogu događati različiti procesi interakcije elektromagnetnog zračenja i materije: najviše dolaze do izražaja apsorpcija i spontana emisija zračenja. Ukoliko se dovede deo atoma (ili molekula) laserskog medijuma u pobuđeno stanje, oni će emitovati fotone spontanom emisijom. Ti fotoni se dalje mogu apsorbovati na nepobuđenim atomima, ili izazvati stimulisanu emisiju na preostalim pobuđenim atomima. Laserski zrak se može proizvesti jedino ako je stimulisana emisija izraženija u odnosu na apsorpciju i spontanu emisiju zračenja. To se postiže inverzijom naseljenosti atoma (ili elektrona) u laserskom medijumu: broj atoma u pobuđenom stanju mora biti veći od broja atoma u osnovnom stanju. Inverzija naseljenosti se može postići samo u specifičnim slučajevima, pa se samo retki materijali mogu iskoristiti kao laserski medijumi. Inverzija naseljenosti se može postići ako u materijalu postoji metastabilno stanje. Metastabilno stanje je pobuđeno stanje, u kojem se atom (ili molekul) zadržava duže nego u normalnim pobuđenim stanjima. U laserskom medijumu mora postojati još barem jedno pobuđeno stanje, što sa osnovnim stanjem čini sistem od tri energetska nivoa - laser sa tri nivoa. U laserskom sistemu sa tri nivoa, atomi (molekul ili elektroni) se određenim načinom pobuđuju u pobuđeno stanje. Pobuđeno stanje, traje vrlo kratko i brzo se relaksira u nešto niže metastabilno stanje. Atomi (molekuli) se ne mogu brzo relaksirati u osnovno stanje, pa laserskim medijumom počinju da dominiraju atomi u metastabilnom stanju. Inverzija naseljenosti se postiže između metastabilnog i osnovnog stanja, pa se lasersko delovanje postiže prelazom između ta dva stanja. Pobuđeno stanje koje se koristi za popunjavanje metastabilnog stanja ne mora biti jedno stanje, već se može koristiti niz energetskih stanja. Laserski medijum je smešten između dva paralelna ogledala, tako da svetlosni snop koji prolazi između dva ogledala formira stojeći talas. Prostor između dva ogledala se naziva i laserska šupljina, rezonantna šupljina ili rezonator, po analogiji sa šupljinama koje se koriste u akustici prilikom rada sa zvučnim talasima. Fotoni koji nastaju spontanom emisijom u laserskom medijumu, emituju se u svim smerovima, ali samo oni koji su emitovani u smeru ogledala, će se reflektirati između ta dva ogledala i biti zarobljeni u laserskoj šupljini. Ti fotoni, koji veliki broj puta prolaze kroz laserski medijum, će izazivati stimulisanu emisiju, prilikom prolaska blizu atoma u metastabilnim stanjima u laserskom medijumu. Jedno od dva ogledala se obično pravi tako da nema koeficijent refleksije 100%, već da propušta određenu količinu svetla (obično manje od 1%), pa fotoni mogu izaći iz laserske šupljine. Na taj način, laserski snop sadrži skup koherentnih fotona, što joj daje veliki intenzitet. [3]



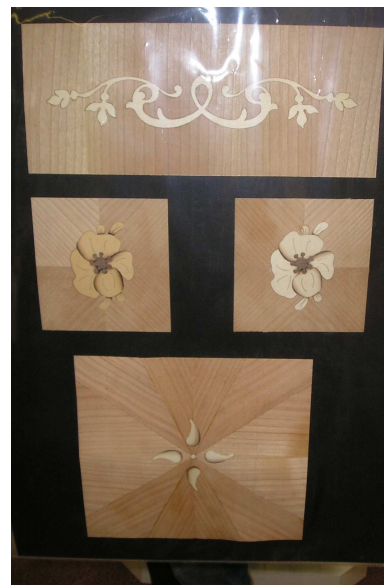
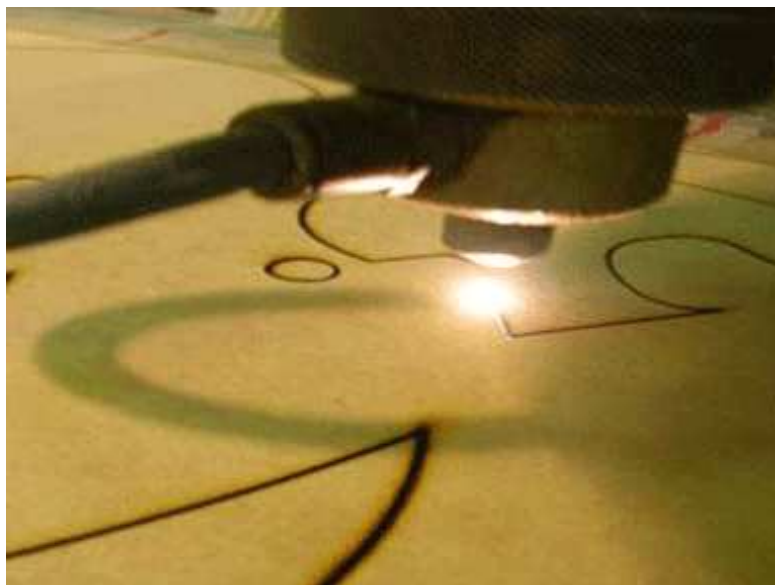
Slika 3.3. Šematski prikaz principa rezanja laserskim snopom [3]

Za lasersko sečenje furnira koristi se CO₂ laser. Ugljen dioksidni laser ili (CO₂ laser) je tip gasnog lasera koji kao izvor zračenja koristi molekule ugljen-dioksida. Prvi put je demonstriran 1964. godine u Belovim laboratorijama, (Kumar Patel) i predstavlja jedan od prvih razvijenih i najprimenjivanih gasnih lasera. To je trenutno dostupan laser sa najvećom izlaznom snagom. Vrlo je efikasan: izlazna snaga i snaga pumpanja mogu da dostignu vrednosti i do 20%. CO₂ laser proizvodi svetlosni snop u infracrvenom delu spektra sa talasnom dužinom oko 9,4 i 10,6 mikrometara.

Laserski snop se vodi do radnog komada sistemom ogledala ili optičkim vlaknima. Fokusira se na radnu površinu odgovarajućim sočivima kako bi se postigla potrebna temperatura za proces rezanja: inicijalna temperatura za početak sagorevanja. Lasersko kiseonično rezanje koristi toplotu fokusiranog laserskog snopa za inicijalno zagrevanje osnovnog materijala do temperature paljenja (između 1150 i 1200°C). Mlaz kiseonika počinje sa sagorevanjem i prateći laserski snop sagoreva osnovni materijal i izduvava ga iz zone rezanja. Laserski snop koji okružuje mlaz kiseonika vrši predgrevanje i neutrališe efekat odvođenja toplote.

Rezanje laserskim snopom je precizan postupak kod koga su dimenzione tolerancije izrezanih komada iste kao kod mehaničkih postupaka. Za vođenje laserskog snopa koriste se tradicionalne CNC mašine (za rezanje u x-y ravni) i robotske ruke (za prostorno rezanje u 3 dimenzije). Novi laserski rezači imaju tačnost pozicioniranja od 10 mikrometara i ponovljivost od 5 mikrometara. [3]

Standardna hrapavost Rz raste sa povećanjem debljina materijala, ali se smanjuje sa snagom lasera i brzinom rezanja. Pri rezanju laserom snage od 600 W, standardna hrapavost Rz je 2 µm za debljinu furnira od 2,5 mm. Ovaj postupak omogućava održavanje vrlo uskih tolerancija, često do 0,025 mm. Ovu vrstu rezanja odlikuje velika brzina, izuzetno kvalitetan i uzan rez sa ostrim prelazima na uglovima i niska toplotna disipacija.



Slika 3.4. Sečenje furnira CO₂ laserom i izgled gotovih intarzija (Elit, Italija)

Prilikom istraživanja, sečenja furnira laserom, upotrebljen je laser izlazne snage oko 600 W. Istraživanje je obavljeno u fabrici za izradu intarzija Elit u Italiji. Probe su bile bukovi furniri debljine 2,5 mm. Istraživanja su vršena uz različita stanja sadržaja vode u furniru. Utvrđeno je da karbonski sloj koji nastaje ne prodire dublje od 0,30 mm u unutrašnjost. Osim toga, sadržaj vode u furniru ne utiče bitno na brzinu pomera i kvalitet dobijene površine. Brzina rezanja ima vrlo važnu ulogu pri sečenju furnira laserom. Pri malim brzinama dolazi do jakog spaljivanja furnira na izlazu laserskog snopa iz uzorka, a pri velikim brzinama, laserska snop ne prodire kroz celi uzorak (ne dolazi do sečenja po celoj debljini uzorka). Najbolji rezultati su postignuti od 0,70 m/min. Spaljeni deo furnira bi bilo potrebno samo malo obrusiti. Širina reza merena je s tačnošću od 0,01 mm i iznosila je od 0,10 do 0,50 mm, što je u odnosu na klasične tehnologije vrlo mala širina. Greška koja se pri ovom načinu sečenja pojavljuje jeste odstupanje paralelnosti laserskog snopa (klinasti rez), a time i pravilnost reza. Ovo odstupanje se pojavljuje zbog dužine fokusa laserskog snopa u odnosu na debljinu uzorka furnira. Pri debljini uzorka od 2,5 mm ovo odstupanje se kreće oko 0,035 mm.



Slika 3.5. Lasersko sečenje bukovog furnira (Elit, Italija)

3.2. Sečenje vodenim mlazom

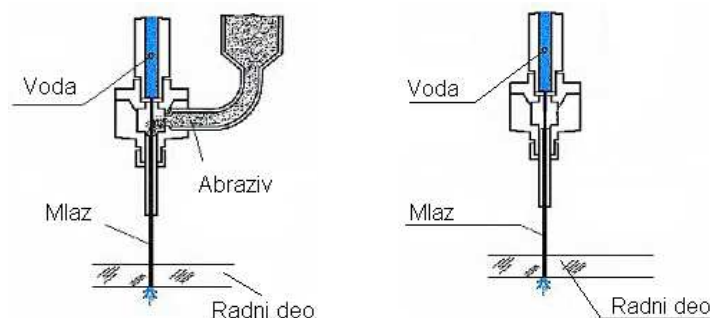
Tehnologija obrade vodenim mlazom, skraćeno WJM (*Water Jet Machining*), u osnovi koristi eroziono delovanje vodenog mlaza visokog pritiska za skidanje materijala, prvenstveno za sečenje skoro svih vrsta metalnih i nemetalnih materijala.

Sečenje vodenim mlazom (*Water Jet*) počinje da biva poznato u širim svetskim krugovima od 1980. godine. Osnovu procesa predstavlja mlaz, sastavljen od vode i abrazivnog peska, veoma malog prečnika (0,2 – 1 mm), koji se pod velikim pritiskom (u proseku 3000 bara) sudara sa površinom radnog predmeta. Voda, abraziv i mehurići vazduha kreću se supersoničnom brzinom i u kontaktu sa površinom radnog predmeta odvajaju komadiće materijala. S obzirom na to da je proces ograničen na izuzetno mali prostor dobija se rez debljine oko 0,9 mm. Prednosti sečenja vodenim mlazom su:

- + veoma precizno sečenje mlazom čiji je prečnik manji od 1 mm a tačnost rezanja $\pm 0,1$ mm;
- + rez je hladan i ne dolazi do termičkih promena u materijalu;
- + mogućnost rezanja i tvrdih i mekih materijala;
- + manja ograničenja debljine materijala;
- + nema prašine, štetnih gasova i prašine kod rezanja;
- + rezna površina je glatka i čista.

Presudan uticaj na rezultate rezanja imaju pritisak pumpe i prečnik mlaznice jer oni određuju snagu vodenog mlaza. Da bi vodeni mlaz prodro u materijal on mora svojom snagom da prekorači granicu čvrstoće materijala koji se reže. Kod rezanja vodenim mlazom radi se sa razmakom mlaznice od materijala (koji se reže) u visini od 2 do 3 mm, da bi se rezanje ostvarilo u predelu jezgra slobodnog mlaza. Ako se poveća razmak mlaznice i materijala rasipa se mlaz usled unutrašnje turbulencije i trenja vazduha u kapi, odnosno, mlaz brzo gubi energiju. Veći razmak mlaznice i materijala dovodi do pogoršanja kvaliteta rezne ivice, odnosno, do povećanja širine reza i hrapavosti rezne površine. Brzina pomaka mlaznice (brzina rezanja) bitno utiče na krajnji rezultat rezanja, sa aspekta uvedene energije u odnosu na dužinu reza. Povećanjem brzine rezanja smanjuje se dubina rezanja, tj. smanjuje se kvalitet rezane površine na račun manje uvedene energije. Sa aspekta ekonomičnosti i produktivnosti korisnik u svakom slučaju traži što veću brzinu rezanja pri niskoj potrošnji energije za sečenje odgovarajućih materijala ali ne na račun smanjenja kvaliteta reznih površina. [4]

Postoje dve vrste sečenja i to vodeno (primenjuje se kod sečenja mekših materijala) i abrazivno te su prema njima razvijene i odgovarajuće dizne za sečenje (mlaznice).



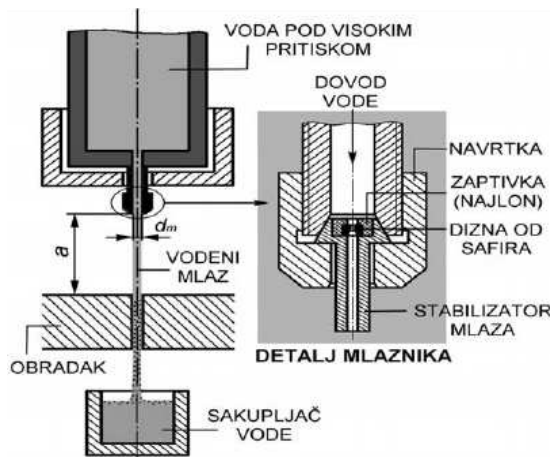
Slika 3.6. Sečenje vodenim mlazom [4]
(levo sečenje abrazivnim vodenim mlazom, desno sečenje čistim vodenim mlazom)

Mlaznica pretvara stvorenu pritisnu energiju sa što manje gubitaka u kinetičku energiju mlaza, koja se koristi za sečenje. U ovu svrhu koriste se dizne (mlaznice) od novih razvijenih materijala sa unutrašnjim prečnikom $\cong 0,7$ mm.

Posebnu važnost ima njen vek trajanja koji zavisi od:

- ✚ pritiska vode;
- ✚ kvaliteta vode;
- ✚ abraziva;
- ✚ ulazne geometrije dizne.

Voda prolazi kroz otvor dizne brzinom tri puta većom od brzine zvuka, tako da i najmanja nečistoća oštećuje diznu. Iz tog razloga ulazna voda je posebno tretirana sa grubim predfiltrima, finim filtrima i sa jonoizmenjivačkom kolonom. Da bi se održao oštar (jak, snažan) rezni mlaz u toku dužeg vremena, od najveće važnosti je nepromenjena ulazna geometrija dizne (mlaznice). Radni vek dizne pri optimalnim uslovima je oko 100 sati rada.



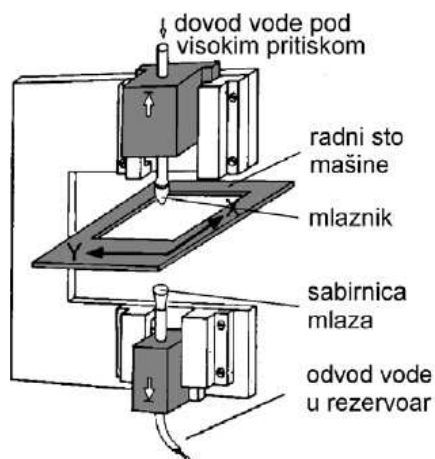
Slika 3.7. Principijelna šema i način sečenja vodenim mlazom [4]

Glava za sečenje abrazivom ima sve iste delove kao i dizna za sečenje čistom vodom, s tim što u nastavku ima priključenje koje predstavlja vod za dovod abraziva. Mešanje vode i abraziva se vrši tako što vodeni mlaz stvara podpritisak u dizni i povlači abraziv u mlaz vode.

Kada prođe kroz materijal, energiju mlaza obuzdava voda. Materijal koji se reže leži na čeličnoj rešetki koja je potopljena u vodu. Rešetka se oštećuje prilikom sečenja i menja se s vremena na vreme.

Primena mašine je skoro neograničena jer može da seče sve vrste materijala i ne postoje ograničenja u obliku. Praktično sve što može da se nacrti može da se i izreže. Nakon ovih saznanja sigurno je da mašta projekatnata dobija nove horizonte za ideje – skoro neograničene.

Mašina za sečenje vodenim mlazom se u osnovi sastoji iz dva dela: uređaja za prihvatanje mlaznika i obratka (mašina u užem smislu) i hidrauličnog uređaja za generisanje vodenog mlaza visokog pritiska. Njen najvažniji element svakako je radni sto sa ukrštenim X-Y klizačem koji najčešće poseduje CNC-upravljanje. Hidraulični uređaj za generisanje vodenog mlaza visokog pritiska, odnosno velike brzine isticanja tečnosti, predstavlja „srce i krvotok” mašine. On se sastoji iz kruga niskog pritiska i kruga visokog pritiska. [4]



Slika 3.8. Principijelna šema i izgled CNC mašine za sečenje vodenim mlazom [4]

Kod mašina za sečenje čistim vodenim mlazom, kao "alat" se koristi mlaz vode nastao isticanjem pod pritiskom. Potreban pritisak obezbeđuje pumpa visokog pritiska. Danas se u komercijalnoj upotrebi koriste pritisci do 400 MPa. Voda pod visokim pritiskom se visokopritisnim cevima dovodi do rezne glave, u kojoj se nalazi mlaznica prečnika otvora od 0,08 do 0,4 mm. Pri isticanju iz mlaznice, voda formira tanak mlaz velike brzine, do 1000 m/s, trostruko veće od brzine zvuka. Sečenje čistim vodenim mlazom nalazi primenu za sečenje furnira.

Istraživanjima sečenja furnira mlazom vode pod visokim pritiskom, koja su obavljena u firmi Inox Marelja, utvrđeno je da je širina reza iznosila oko 0,3 mm, a rubovi reza bili su pravilni i čisti. Danas se već proizvodi komercijalna kompjuterizovana oprema za krojenje tankih materijala vodom pod pritiskom, i takvi sistemi postepeno nalaze primenu i u drvenoj industriji.



Slika 3.9. Sečenje furnira vodenim mlazom

4. PROIZVODNJA NAMEŠTAJA OD SAVIJENOG SLOJEVITOG DRVETA

Od ranije je poznato, da se sve vrste drveta mogu savijati u izvesnoj meri u hladnom stanju, bez preloma, i da se obratci malih debljina (listovi furnira) mogu savijati na male poluprečnike zakrivljenosti.

Ukoliko se savijaju listovi furnira na male poluprečnike zakrivljenosti (krivine), oni će zahvaljujući svojim elastičnim svojstvima, težiti da povrate svoj prvobitni oblik, odmah po uklanjanju sile savijanja, ako se ne drže u savijenom obliku na neki drugi način. Zadržavanje listova furnira u savijenom obliku moguće je ostvariti tako što će se oni međusobno vezati. Ovaj način savijanja u praksi je poznat kao metod savijanja slojevitog (lameliranog) drveta. Postupak savijanja odvija se tako, da se na listove furnira nanosi lepak, potom se listovi slažu jedan iznad drugoga, a zatim svi istovremeno savijaju u kalupu ili šablonu. Za vreme savijanja, listovi furnira, ničim nisu na krajevima učvršćeni, već mogu slobodno da se kreću preko susednog lista. Tako savijena celina se sastoji od niza savijenih listova, koji su pričvršćeni jedan za drugi pomoću lepka. [1]

Prednosti ovog metoda savijanja u odnosu na savijanje masivnog drveta su da se mogu proizvoditi savijeni detalji većih debljina, slaganjem tankih listova, bilo koje vrste drveta, kao i da unutrašnji listovi furnira mogu biti lošijeg kvaliteta.

4.1. Izbor furnira za savijanje

Za pripremanje listova furnira u proizvodnji savijenih slojevitih elemenata, koriste se u suštini iste metode kao u proizvodnji ravnih slojevitih ploča. Svi listovi koji ulaze u konstrukciju savijenih otpresaka treba da su iste debljine, a izuzetak mogu da čine spoljni listovi otpreska koji imaju ulogu oplemenjavanja površine.

Pri izboru listova furnira treba voditi računa da na njima nije prisutan bilo kakav oblik truleži, jer je gotovo izvesno da će se na tim mestima pojaviti lomovi. Furnir, namenjen za izradu savijenih slojevitih delova, treba da je osušen na upotrebnu vlagu, u svakom slučaju sadržaj vlage ne bi trebalo da bude veći od 20%. Nije uobičajeno, izuzev u proizvodnji građevinskih elemenata i delova u brodogradnji da se u otpreske ugrađuju furnirski listovi veće debljine od 3,0 mm. Međutim, na izbor debljina furnirskih listova, kao jedan od najvažnijih faktora utiče granični (minimalni) poluprečnik krivine pri kojem se drvo može savijati, a da ne dode do lomova. Veličine graničnih poluprečnika krivina u zavisnosti od debljine i vlažnosti furnirskih listova, za nekoliko vrsta date su u tabeli 4.1. [1]

Tabela je sastavljena na bazi podataka koji su dobijeni u F.P.R. Laboratory u Londonu. Dobijeni granični poluprečnici krivine ostvareni su savijanjem furnirskih listova, navedenih karakteristika, sa maksimalnom pojavom lomova do 5% od ukupnog broja savijenih komada.

Podaci u tabeli odnose se na dobar kvalitet listova furnira, koji su slagani unakrsno.

Tabela 4.1. Minimalni poluprečnici krivine u zavisnosti od debljine i vlažnosti furnira [1]

Vrsta drveta	Debljina listova furnira (h) (mm)	Prosečan sadržaj vlage (%)	Poluprečnik krivine ($r_{\min}$) (mm)	Približan odnos h : r
Bukva (<i>Fagus sylvatica</i>)	3,2	13	112	1 : 35
Brest (<i>Ulmus hollandica</i>)	3,2	13	99	1 : 31
Hrast (<i>Quercus robur</i>)	3,2	12,5	147	1 : 46
Smrča sitka (<i>Picea sitchensis</i>)	2,6	12,2	152	1 : 58
	2,0	12,3	91	1 : 45

Na osnovu podataka iz tabele 4.1., može se izvući opšti zaključak da se listovi furnira lišćarskih vrsta mogu savijati na manje poluprečnike zakrivljenosti, nego listovi furnira iste debljine i iste vlažnosti četinarskih vrsta drveća.

Pri slaganju listova furnira u otpreske, treba voditi računa, da strana lista furnira sa sitnim pukotinama bude na konkavnoj strani otpreska. Drugim rečima da strana lista furnira sa pukotinama bude pri savijanju pod pritiskom.

Dejstvo, koje položaj ispucale strane lista furnira ima na granični poluprečnik krivine, može se videti iz podataka koje daje F.P.R. Laboratory iz Londona za smrču. Ako se ispucale deo lista furnira postavi na stranu otpreska koja je izložena pritisku, minimalni radius na koji se mogu saviti listovi furnira iznosiće 165 mm, a ako se postavi na stranu otpreska koja je izložena zatezanju $r_{\min}$ će iznositi 236 mm. U izvesnim slučajevima, gde se zahtevaju savijeni delovi srazmerno malog poluprečnika, moguće je poboljšati savojna svojstva listova furnira potapajući ih u vrelu vodu, toliko dugo da toplota dode do sredine listova. [1]

Svojstva savijenih listova furnira, kao kod masivnog drveta, mogu se poboljšati povećanjem sadržaja vlage i višim temperaturama.

4.2. Izbor i priprema lepka

Efikasnost lepljenja umnogome zavisi od pravilnog izbora, primene i svojstava lepka. Pri izboru lepka dužnu pažnju treba posvetiti troškovima lepljenja, brzini otvrdnjavanja, otpornosti na vlagu i povišene temperature i sl.

Ako se lepi u polju struje visoke frekvencije, lepkovi pored dobrih adhezivnih svojstava moraju imati stabilna svojstva i konzistenciju, veliku brzinu otvrdnjavanja pri visokim temperaturama, dobra dielektrična svojstva i veliku probojnu čvrstoću. Imajući to u vidu, prednost nad ostalim lepkovima, imaju sintetičke termoreaktivne smole, čije se otvrdnjavanje odvija pod dejstvom visoke temperature ili kombinacijom temperature i otvrdivača. Ako se zahteva otpornost na vodu najčešće se upotrebljavaju fenolni lepkovi (FF), čije otvrdnjavanje iziskuje više temperature i nešto duže vreme grejanja. [1]

U dosadašnjoj praksi najbolja svojstva pri VF lepljenju pokazali su modifikovani karbamidni lepkovi (KF), čije se vreme otvrdnjavanja, pri temperaturi od 115 - 130°C, kreće u granicama 3 do 8 sekundi.

Lepkovi sa manjim sadržajem suve materije i manjim viskozitetom, imaju manju probojnu čvrstoću i veće isparavanje pri zagrevanju. Osim toga, prilikom lepljenja sa ovim lepkovima troši se znatno više energije, a potrebna su duža vremena grejanja za njihovo otvrdnjavanje.

Lepkovi sa većim sadržajem suve materije imaju veću probojnu čvrstoću, manja vremena otvrdnjavanja i manji sadržaj vode.

Uopšte, može se reći, da su za lepljenje drveta u polju VF električne struje, pogodni lepkovi čiji sadržaj suve materije iznosi preko 60%.

Na kvalitet lepljenja, u polju VF struje, značajno utiču količina i način nanosa lepka. Pri suviše malim količinama lepka čvrstoća lepljenja je slaba, zbog male količine lepka koja difundira u okolno drvo.

Ako se nanose suviše velike količine lepka na površine koje se spajaju, jako će se navlažiti okolno drvo usled čega se smanjuje probojna čvrstoća u zoni sljubnica.

Količina lepka, koja se nanosi na sljubnice, zavisi od sadržaja suve materije u lepku. Naime, sa povećanjem suve materije potrebno je manju količinu lepka naneti na lepljene površine. U praksi se obično nanosi 140 – 200 gr/m² lepka. [1]

Za ujednačen kvalitet lepljenja veoma je važno da lepak na svim mestima bude ravnomerno nanesen, jer na mestima gde je nanešena veća količina lepka, dolazi do češćih progorevanja, a samim tim i do nejednakih čvrstoća vezivanja lepljenih slojeva.

Osim FF i KF lepkova, za lepljenje u polju VF struje primenjuju se PVAc lepkovi i u nekim slučajevima rezorcinski lepkovi (RF).

4.3. Oblikovanje lameliranih obradaka lepljenjem

Savijeni delovi izrađeni od debljeg ljuštenog furnira, najčešće 1,5 mm debijine, proizvode se tako što se na određeni broj listova nanese lepak, zatim paket postavlja u odgovarajuće šablone, koji se nalaze u hidrauličnoj presi.

Imajući u vidu da debljina ovoga paketa, može da iznosi i 20 mm sušenje (otvrdnjavanje) lepka je veoma otežano, naročito u srednjim slojevima. Kontaktno grejanje u ovom slučaju ne bi bilo efikasno, pa se, radi ubrzanja procesa, koristi VF grejanje. Uređaji za lepljenje u polju VF električne struje se sastoje iz: VF generatora, elektrode, hidraulične prese i šablona za savijanje.

S obzirom na dielektrična svojstva drveta i lepka, moguće ih je ekonomično kapacitivno zagrevati u polju električne struje čija je frekvencija jednaka ili viša od 106 Hz. Uređaji koji proizvode električnu struju ovako visoke frekvencije zovu se VF generatori. Njihova osnovna namena je da struju iz mreže od 50 Hz, pretvore u visokofrekventnu.

Snaga generatora koji se danas primenjuju kreće se u veoma širokim granicama od nekoliko stotina W, do nekoliko stotina kW. Priključuju se na uobičajeni mrežni napon od 220/380 V. U industriji nameštaja zavisno od dimenzija obradaka koji se lepe i željene brzine lepljenja upotrebljavaju se generatori snage do 15 kW.

Prilikom odabiranja generatora treba imati na umu da je selektivnost grejanja lepak - drvo izražena, ako vreme lepljenja ne traje duže od 5 min. Kada je u pitanju frekvencija može se reći da se u industriji nameštaja obično koriste generatori frekventnog područja 3 do 30 MHz. Ako se frekvencija poveća iznad 30 MHz povećaću se i energetski gubici, a neće se značajnije ubrzati proces lepljenja.

U toku procesa grejanja zbog promene dielektričnih svojstava (ϵ i $\tan \delta$) grejanog materijala, dolazi do promene opterećenja generatora. Sa promenom temperature grejanja menja se i frekvencija. Sve ovo utiče na nedostatke generatora, a to su: mala mogućnost kontrole procesa grejanja i nemogućnost regulisanja parametara lepljenja. [1]

Za praksu lepljenja je bitno da generatori imaju regulator snage i izbor frekvencije, kako bi se mogli prilagoditi racionalnoj potrošnji energije. Snaga generatora potrebna za lepljenje nekog dela računa se odvojeno za upravno i paralelno grejanje.

Za upravno grejanje snaga P (kW) se računa iz odnosa količine toplote Q (kJ) i vremena grejanja t u (sec).

$$P = \frac{Q}{t} \quad (\text{kW}) \quad (4.1)$$

Količina toplote (Q) se računa po sledećem obrascu:

$$Q = \frac{G \cdot c \cdot \Delta T}{\eta} \quad (\text{kJ}) \quad (4.2)$$

gde je:

G - masa obratka, koji se lepi u (kg);

c - specifična toplota drveta zajedno sa lepkom (kJ/kg °C);

ΔT - priraštaj temperature °C, razlika konačne i početne temperature;

η - koeficijent toplotnog iskorišćenja;

t - vreme grejanja u (s).

Masa obratka se izračunava iz njegove zapremine V i zapreminske gustine ρ .

$$G = V \cdot \rho \quad (4.3)$$

Izračunavanje potrebne snage za paralelno grejanje, obavlja se po jednom univerzalnom praktičnom obrascu. Snaga za paralelno grejanje računa se preko specifične snage potrebne za 1 cm² površine lepljenja.

$$P = s \cdot P_o \quad (4.4)$$

gde je:

s - površina lepljenja u cm²;
 P_o - specifična snaga W/cm².

Specifična snaga, pri opštim uslovima grejanja ($t = 90$ sec, $\Delta T = 100^\circ\text{C}$) iznosi od 0,1 do 1,0 W/cm².

Ako se generator koristi za dve prese, u tom slučaju za vreme dok je obradak u jednoj presi izložen dejstvu VF struje, u drugoj se obavljaju aktivnosti kao što su: pražnjenje, punjenje, otpuštanje i sl.

Polje VF struje, pri lepljenju drveta, obrazuje se među pločama radnog kondenzatora - elektrodama.

Na kvalitet lepljenja umnogome utiču oblik i konstrukcija elektroda. Oblik i konstrukciju elektroda treba rešavati za svaki konkretan slučaj, na što utiče više faktora, kao što su: položaj lepive fuge u odnosu na električno polje (paralelno, upravno ili rasejano), dimenzije i oblik lepljenog drveta, parametri generatora i dr.

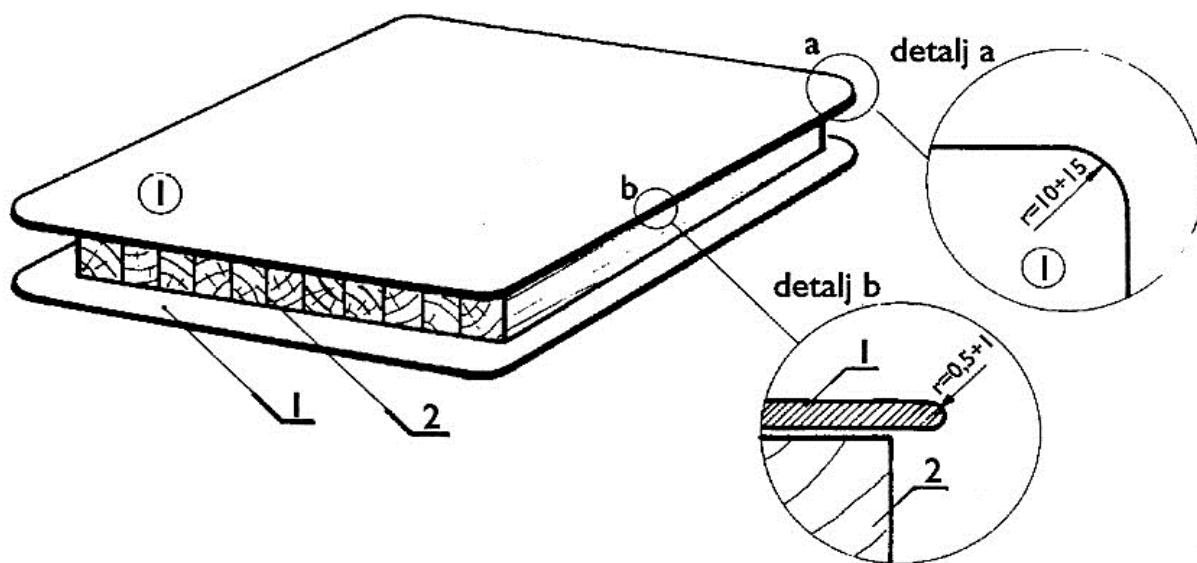
Elektrode se izrađuju od obojenih metala ili nerđajućeg čelika. Najčešće se rade iz aluminijuma, bakra ili mesinga i to u obliku lima, cevi, traka, ploča, mreže i sl.

Na elektrode od obojenih metala čvrsto se vezuje lepak, tako da pri čišćenju na njihovim površinama nastaju brazde i drugi "izrezi" na kojima se kasnije skuplja lepak što dovodi do pojave iskrenja i progorevanja.

Čelične elektrode su čvršće od elektroda od obojenih metala, lako se čiste od lepka, ali su teške i zadaju dosta teškoća pri izradi.

Debljina elektroda nema nikakvog uticaja na proces grejanja, te se obično određuje, u zavisnosti od konkretnih tehnoloških potreba. Ako se preko elektroda, prenosi pritisak na otpresak, onda njihova debljina treba da je veća. Za lepljenje različitih krivolinijskih oblika za izradu elektroda se upotrebljava veoma tanak lim, debljine od 0,1 do 0,5 mm. [1]

Naročitu pažnju treba obratiti na obradu elektroda i njihovo učvršćivanje. Svi oštri uglovi i rubovi elektroda i elemenata na kojima se pričvršćuju, moraju biti glatki i zaobljeni. Oštri rubovi izazivaju koncentraciju energije i proboje koje ona izaziva. Poluprečnik zaobljenja uglova treba da bude 10 do 15 mm, slika 4.1. detalj a, a rubova 0,5 do 1,0 mm, slika 4.1. detalj b.



Slika 4.1. Zaobljenja na elektrodama i paralelno grejanje (1) elektroda; 2) obradak [1]

Zavisno od tehnoloških potreba u praksi se primenjuju različiti oblici i položaji elektroda prema lepivoj fugi.

Ako se lepi uže i deblje drvo, uz nastojanje da se što bolje iskoristi selektivno zagrevanje lepka i drveta, koristi se paralelno električno polje (paralelno grejanje), pri lepljenju pločastih ravnih i zakrivljenih oblika primenjuje se upravno grejanje. Ako se lepe obratci po širini (izrada daščanih ploča) tada se primenjuje tzv. tačkasto lepljenje.

4.4. Šabloni za izradu otpresaka

Za oblikovanje savijenih otpresaka koriste se uređaji koji se zovu šabloni. Otpresak predstavlja lamelirani (slojeviti) obradak, sastavljen, najčešće, od neparnog broja furnirskih listova debljine 1,5 do 2,0 mm.

Šabloni za oblikovanje, s obzirom na oblik otpreska, mogu biti:

- ✚ šabloni za izradu otpresaka jednostavnog oblika i
- ✚ šabloni za izradu otpresaka složenog oblika.

Šabloni jednostavnog oblika se primenjuju za izradu otpresaka koji imaju malu i približno jednaku zakrivljenost po čitavoj debljini. Takvi oblici otpresaka najčešće se sreću kod sedišta i naslona na stolicama.

Otpreske jednostavnog oblika moguće je lepiti na hladno ili na vruće. U slučaju da se lepljenje otpresaka obavlja na hladno, otpresci se u šablon ulažu u paketu tj. po nekoliko komada istovremeno.

Šabloni za oblikovanje otpresaka jednostavnog oblika se rade u paru ili pojedinačno. Šabloni koji se rade u paru sastoje se iz dva dela: patrice (konveksnog, ispupčenog dela) i matrice (izdubljenog, konkavnog dela).

Važni konstruktivni parametri parnih šablona su:

-  poluprečnik krivine,
-  debljina otpreska i
-  širina otpreska.

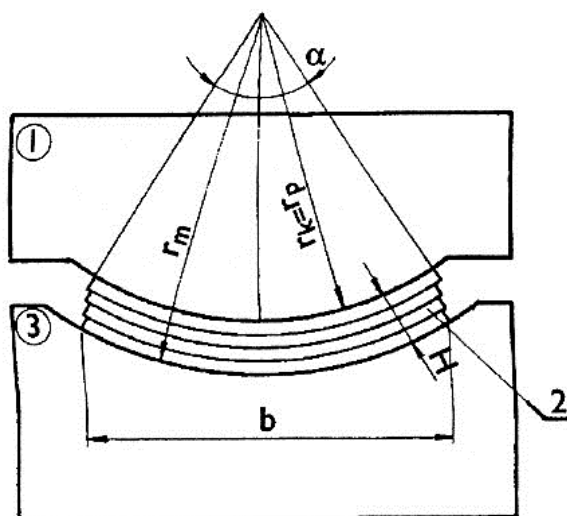
Pri konstrukciji i izradi šablona ovim parametrima treba posvetiti odgovarajuću pažnju da bi se ostvario dobar kvalitet lepljenja otpresaka.

Kada se određuje poluprečnik krivine šablona, mora se poći od činjenice, da otpresci posle lepljenja, donekle menjaju svoj prvobitni oblik. Stabilizacija oblika otpresaka (dostizanje konačnog oblika) traje do 20 dana zavisno od načina lepljenja, vrste drveta, debljine furnira i dr.

Promena oblika otpresaka se ogleda u povećanju ili smanjenju poluprečnika krivine, zbog njihovih naknadnih utezanja ili širenja. Naknadno smanjenje poluprečnika nije veće od 8%, pa se, prilikom konstrukcije šablona ne uzima u obzir.

Povećanje poluprečnika otpresaka, međutim, može da bude znatno veće, pa se sa tim pri konstrukciji šablona mora računati. Zato je poluprečnik zakrivljenosti pri konstrukciji i izradi šablona uvek manji od poluprečnika na otpresku, koji se uzima sa crteža. [1]

Prvi se zove konstruktivni poluprečnik i obeležava se r_k , a drugi nominalni, koji se obeležava sa r_m . Na slici 4.2. prikazan je šablon za izradu otpresaka jednostavnog oblika sa konstruktivnim parametrima.



Slika 4.2. Konstruktivni parametri šablona (1) patrica; 2) otpresak; 3) matrica) [1]

Konstruktivni poluprečnik r_k se izračunava po sledećem obrascu:

$$r_k = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot r_n \quad (4.5)$$

gde je:

I_n - momenat inercije svake pojedine lamele u otpresku (cm^4), a izračunava se na sledeći način:

$$I_n = \frac{b \cdot h_i^3}{12} \quad (4.6)$$

gde je:

b - širina otpreska u (cm);

h_i - debljina lamele (furnirskog lista) u (cm);

I - momenat inercije otpreska u (cm^4), a računa se iz obrasca:

$$I = \frac{b \cdot H^3}{12} \quad (4.7)$$

gde je:

H - debljina otpreska u (cm).

Poluprečnici šablona u paru (patrica i matrica) su krivine kruga i konstruišu se sa koncentričnom zakrivljenošću, tj. crtaju se iz zajedničkog centra, slika 4.2.

Na crtežu se vidi odnos između konstruktivnih poluprečnika patrice r_p i matrice r_m , odnosno:

$$r_p = r_m - H \quad (4.8)$$

gde je:

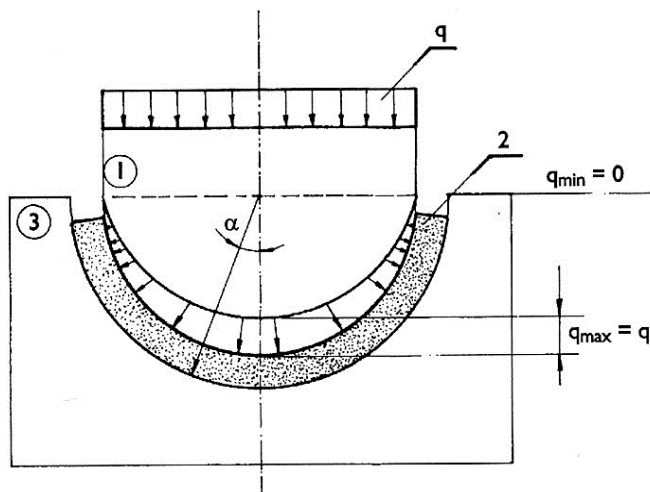
r_p - konstruktivni poluprečnik patrice u (mm);

r_m - konstruktivni poluprečnik matrice u (mm);

H - debljina otpreska u (mm).

Ovako konstruisan šablon u paru odgovara za presovanje predviđene debljine otpreska (H), pa ga je samo za tu debljinu ispravno upotrebljavati. [1]

Raspored pritiska na krivoj površini otpreska se menja srazmerno $\cos \alpha$, koji zatvara linija povučena iz centra upravno na tangentu, koja prolazi kroz posmatranu tačku na matrici, sa pravcem kretanja patrice, slika 4.3.



Slika 4.3. Raspored pritiska na površini otpreska (1) patrica; 2) otpresak; 3) matrica) [1]

Promena pritiska naročito dolazi do izražaja ukoliko se šablon koristi za neodgovarajuću debljinu otpreska, tj. za debljinu otpreska koja je veća ili manja od projektovane.

Ovo se javlja zbog promene centra konstruktivnog poluprečnika usled smanjenja ili povećanja debljine otpreska, jer se centri poluprečnika patrice i matrice više ne podudaraju, već su smaknuti za veličinu (ΔH). [1]

Šablon koji je konstruisan za izradu otpresaka debljine H , za svaku njegovu tačku važi, (slika 4.2.):

$$r_m = r_p - H \quad (4.9)$$

$$r_m - r_p - H = 0 \quad (4.10)$$

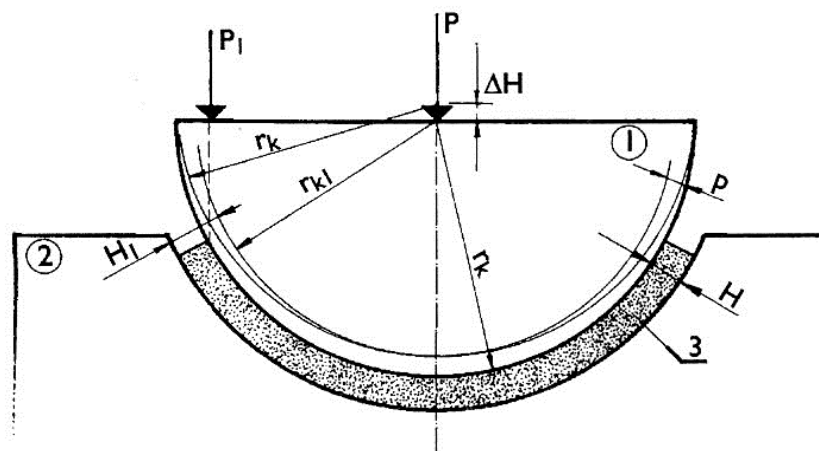
Ako se takav šablon koristi za izradu otpresaka debljine

$$H_1 = H \pm \Delta H \quad (4.11)$$

onda za svaku njegovu tačku važi, slika 4.4. i 4.5.:

$$r_m - r_p - H(1 - \cos \alpha) + H_1(1 - \cos \alpha) \approx 0 \quad (4.12)$$

Iz prednjeg proizilazi da će otpresak koji ima veću debljinu od projektovane, ako se presuje u nenamenskom šablonu, imati prevelik pritisak na krajevima, slika 4.4.



Slika 4.4. Otpresak veće debljine od projektovane (1) patrica; 2) otpresak; 3) matrica) [1]

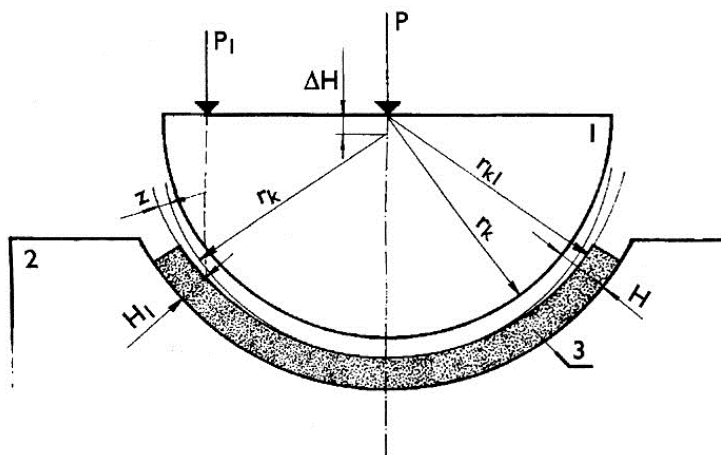
Kako se na slici 4.4. vidi, na krajevima otpreska pojaviće se preklop (p), čija se veličina može izračunati iz obrasca:

$$p \approx (H - H_1) \cdot (1 - \cos \alpha) \quad (4.13)$$

Međutim, ako se u šablonu rade otpresci čija je debljina manja od projektovane, na krajevima otpreska će se pojaviti zazor (z), koji se može izračunati korišćenjem obrasca 4.13, odnosno:

$$z \approx (H - H_1) \cdot (1 - \cos \alpha) \quad (4.14)$$

Na slici 4.5. dat je položaj tanjeg otpreska u nenamenskom šablonu, sa naznačenim zazorom na kraju otpreska.



Slika 4.5. Otpresak manje debljine od projektovane (1) patrica; 2) otpresak; 3) matrica) [1]

Kako se na slici 4.5. vidi, zazor raste od sredine šablona, prema njegovim krajevima, poprimajući vrednosti od nule do nekog maksimuma.

Već je naglašeno, da se specifični pritisak raspoređuje i menja po površini otpreska ugla (i) ($\cos(i)$), tako da za bilo koju tačku na otpresku važi:

$$q_i = q \cdot \cos \alpha \quad (4.15)$$

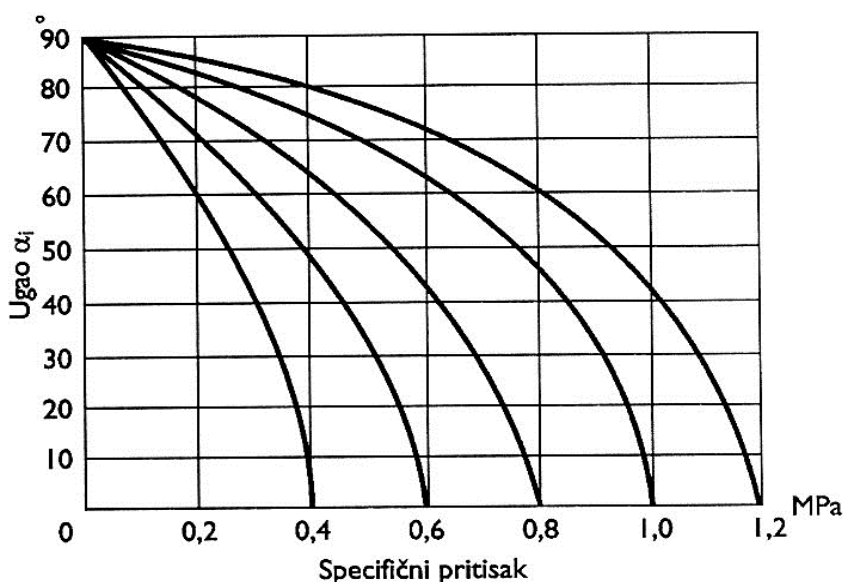
gde je:

q_i - specifični pritisak u posmatranoj tački šablona u (MPa);

q - dati (zadani) specifični pritisak u (MPa) i

α - ugao koji zatvara linija povučena iz centra upravno na tangentu, koja prolazi kroz posmatranu tačku, na matrici, sa pravcem kretanja patrice, slici 4.3.

Zavisnost specifičnog pritiska od promene ugla α_i , data je na slici 4.6.



Slika 4.6. Grafikon zavisnosti specifičnog pritiska od promene ugla α_i [1]

Na slici 4.3. vidi se, da povećanjem ugla α , specifični pritisak opada.

Odstupanje specifičnog pritiska (q) od zadanog se obično, dozvoljava u granicama (± 10 do 15%) ili $\Delta q = (\pm 0,1$ do $0,15) q$. Iz navedenog stava proizilazi da otpresak određenog konstruktivnog poluprečnika može da ima širinu koja je određena dozvoljenim padom pritiska na njegovim krajevima.

Na osnovu prednje konstatacije, dozvoljena širina otpreska se izračunava pomoću obrasca 4.16.

$$b_{doz} = 2 \cdot r_k \cdot \sin \alpha \quad (4.16)$$

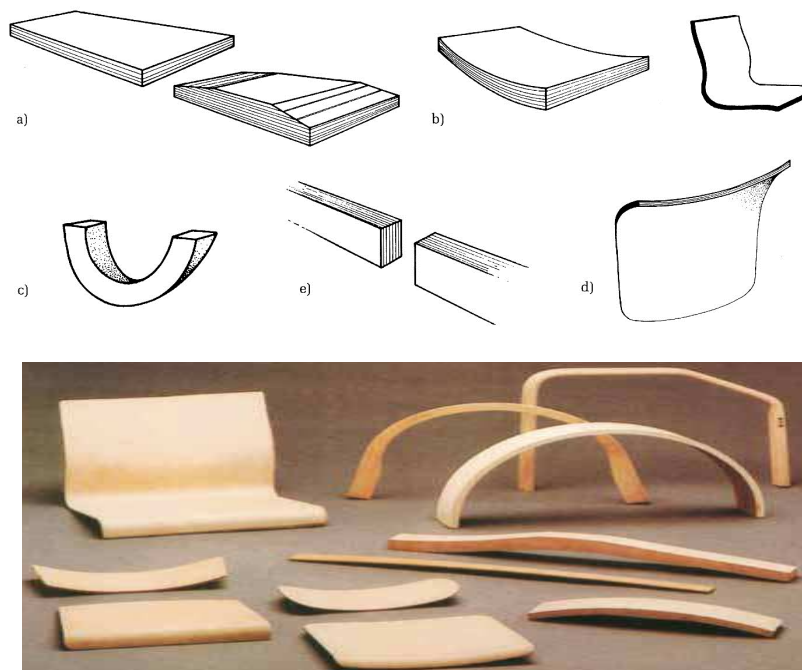
Prilikom izrade šablona u paru potrebno je osigurati da oblik patrice, krivina kruga, odgovara obliku matrice. Ukoliko je šablon izrađen nepravilno, specifični pritisak mestimično može da bude previsok, a mestimično da potpuno izostane. Ako se tokom vremena primete bilo kakva odstupanja od oblika šablona (deformacije, mehanička oštećenja i sl.), treba ga zameniti novim. [1]

Promena oblika šablona obično nastaje usled promene vlage u materijalu od kojeg je šablon izrađen. Otpresci složenog oblika mogu da budu veoma različitog oblika i izgleda.

Ove razlike se očituju preko:

- ✚ ravnomernosti preseka;
- ✚ jednoličnosti krivina;
- ✚ načina oblikovanja i
- ✚ karakteristika konture.

Kada je u pitanju ravnomernost preseka razlikuju se otpresci, jednakog i promenljivog preseka, slika 4.7. a. Krivine na otprescima mogu biti jednolične (sa istim poluprečnicima) ili raznolike (sa različitim poluprečnicima), slika 4.7. b. Otpresci mogu da budu oblikovani u jednoj, slika 4.7. c, ili u više ravni, slika 4.7. e.



Slika 4.7. Otpresci – elementi (delovi) složenog oblika [1]

Kontura otpresaka, međutim, može da bude otvorena ili zatvorena (ukružena preklopom na čelu), odnosno sa slobodnim čelima koji se naknadno sastavljaju, slika 4.7. d.

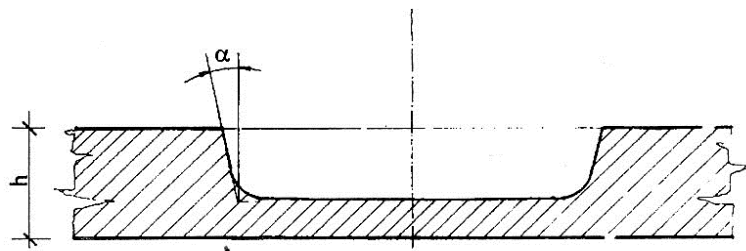
Otpresci složenog oblika se redovno lepe na vruće. U svim slučajevima gde je to moguće otpresci se lepe u blokove koji predstavljaju višekratnike (po dužini) pojedinačnih otpresaka. Blokovi se kasnije kroje na pojedinačne otpreske po širini. [1]

Šabloni složenog oblika se rade u paru, tj. sa patricom i matricom. Najvažniji konstruktivni parametri šablona za otpreske izraženog oblika su:

- ✚ poluprečnik krivine;
- ✚ debljina otpreska;
- ✚ širina otpreska;
- ✚ ugao nagiba stranica matrice i
- ✚ položaj otpreska u šablonu u odnosu na gornju površinu donje ploče stola.

Poluprečnik krivine (r) i debljina otpreska (H) utiču na konstrukciju šablona na isti način kao kod izrade šabona jednostavnog oblika.

Širina otpreska je, međutim, uslovljena njegovom nominalnom širinom i šablon se tehnološki ne može koristiti za druge širine. Ako se rade šabloni za otpreske kod kojih se pojavljuje efekat "izvlačenja" stranica, veoma je značajno da se obezbedi odgovarajući ugao nagiba bokova šablona, slika 4.8.



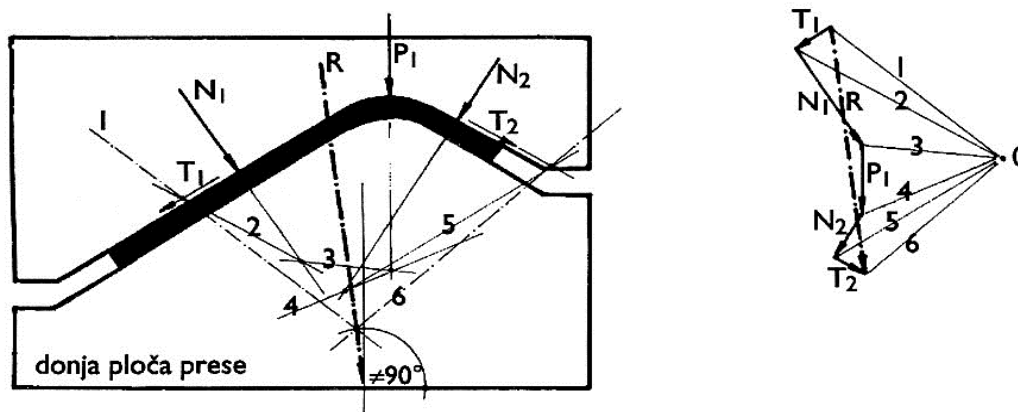
Slika 4.8. Ugao nagiba bokova matrice [1]

Ugao nagiba bokova šablona (α) raste porastom dubine izvlačenja (visina otpreska). U praksi ustanovljeni, uglovi nagiba bokova matrice, dati su u tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Uglovi nagiba bokova matrice [1]

Dubina izvlačenja (visina otpreska) (mm)	Ugao nagiba boka matrice (α) u °
6	0
60	5
180	9

Kada je u pitanju položaj otpreska u šablonu treba voditi računa da pravac rezultante svih sila koje deluju na otpresak za vreme lepljenja, bude upravan na gornju površinu donje ploče prese, slika 4.9.

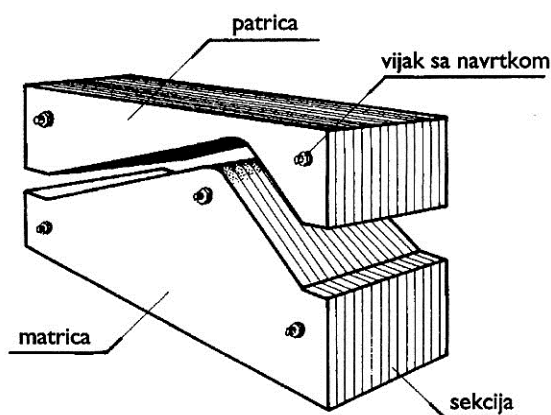


Slika 4.9. Položaj otpreska u šablonu [1]

Pri određivanju pravca rezultante u obzir se moraju uzeti intenziteti svih sila koje nastaju kao rezultat delovanja spoljašnjeg pritiska. To znači, da pri određivanju položaja rezultante treba računati sa silama koje nastaju delovanjem prese (P) i sa silama trenja koje nastaju usled trenja između površina šablona i otpreska (I). One se računaju preko koeficijenta trenja, koji iznosi 0,3 – 0,4. Intenzitet rezultante se određuje analitički, a njen pravac grafički.

Šabloni za otpresak se najčešće rade od drveta ili drvnih ploča, ali se mogu raditi i od metala i materijala na bazi sintetičkih smola.

Na slici 4.10. prikazan je šablon za izradu otpresaka jednostavnog oblika.

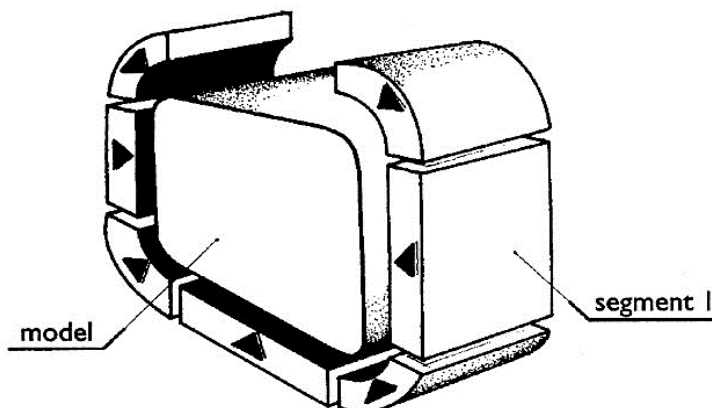


Slika 4.10. Konstrukcija šablona za izradu otpresaka jednostavnog oblika [1]

Na slici 4.10. se vidi, da je šablon sastavljen iz pojedinih sekcija koje su izrađene od masivnog drveta, stolarskih ploča ili šperploča debljine 10 do 22 mm.

Šabloni se rade tako, što se prethodno izradi jedna sekcija, pa se zatim prema njoj rade ostale. Obrada krivine se izvodi na stolnoj glodalici ili CNC mašini. Ukoliko se radi na stolnoj glodalici, kao šablon se koristi prethodno ručno izrađena sekcija. Sekcije se međusobno spajaju zavrtanjem vijaka prečnika 8 – 10 mm, odgovarajuće dužine. [1]

Na kraju je potrebno naglasiti, kada su oblici otpresaka nepovoljni i izazivaju teško savijanje u komplikovanim šablonima, pa zbog toga zahtevaju velike pritiske u presi, da je najbolje rešenje ako se umesto standardnih konstrukcija presa, koriste tzv. segmentne prese, slika 4.11.



Slika 4.11. Segmentna presa [1]

4.5. Projektovanje nameštaja od savijenog slojevitog drveta

Proizvodi od savijenog slojevitog drveta su industriji nameštaja otvorili put u treću dimenziju. Njihova proizvodnja kombinuje preciznost izrade sa savremenom tehnologijom proizvodnje. Mogu se naći u maloserijskoj i masovnoj proizvodnji. Nalaze primenu u školskim objektima, sportskim halama, kulturnim dvoranama, konferencijskim salama. Dizajneri se utrkuju u projektovanju najneobičnijih unikatnih primeraka. Najčešće se prave od bukovog, jasenovog i javorovog slepljenog furnira. Velika elastičnost omogućava formiranje različitih modela sa širokim spektrom estetskih i funkcionalnih svojstava. Izdržljivost konstrukcija je znatno povećana. Izrada nameštaja od savijenog slojevitog drveta je u velikoj meri komercijalizovala proizvodnju drvenih kalupa za dobijanje različitih oblika od slepljenih furnira. Tako oblici nameštaja dobijaju nesvakidašnji trodimenzionalni oblik.



Slika 4.12. Način dobijanja otpresaka od slojevitog drveta (Orma, Italija) [14]

Savijeno slojevito (lamelirano) drvo je sinonim za kvalitet, izdržljivost, istrajnost, udobnost i eleganciju oblika i formi koje se njime postižu. Ovaj način izrade nameštaja je veoma zahtevan, ali daje besprekorne rezultate. Njime se drvo maksimalno iskorištava, otpaci se svode na minimum, a drvo se bilo kojom drugom metodom ne može oblikovati kao talas, spirala i slično.

Lamelirano drvo zbog načina izrade daje prelepe dezene i šare jer postupak lameliranja podrazumeva lepljenje tankih komada drveta, uklapanje različitih godova i čvorova. Ukoliko se kombinuju komadi drveta različite boje, efekat će biti još snažniji, upečatljiviji i drastičniji. Na taj način se dobija "pačvork" efekat, kao da je neki komad nameštaja izrađen ušivanjem različitih kvadrata drveta. [20]

Osnovna i najznačajnija osobina lameliranog drveta jeste njegova sposobnost savijanja i uvijanja, upravo zbog samog postupka izrade koji podrazumeva parenje, grejanje, lepljenje, savijanje. Time se dobijaju komadi nameštaja poput prikazanih na slici 4.13. koji su sasvim krivi, bez i jedne prave strane, a istovremeno su veoma atraktivni i nežni.



*Slika 4.13. Nameštaj od savijenog slojevitog (lameliranog) drveta
(Aswoon®/Susan Woods Studio) [20]*

LLSTOL je vrlo jednostavna, elegantna i multi-funkcionalna salonska stolica. Ona se sastoji od dva identična elemenata "L" oblika koji se mogu lako sklapati i skladištiti u malom prostoru. Od ovakvih elemenata se, takođe, može sklopiti mali sto, klupa, ili polica. Sklapanje je veoma lako, bez dodatnih detalja ili metalnih komponenata. LLSTOL je napravljen od savijenog slojevitog bukovog drveta.

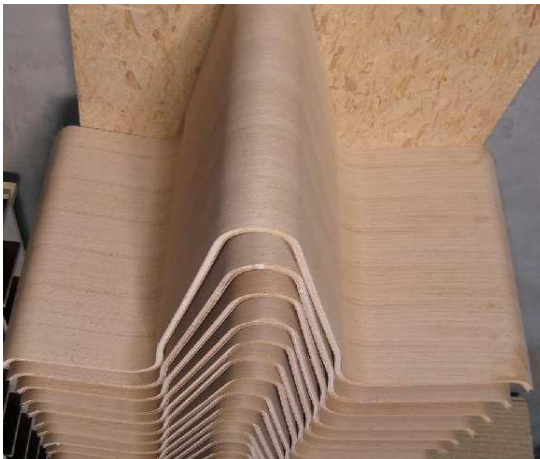
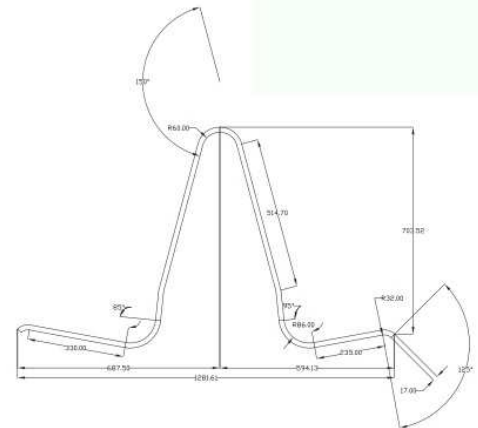
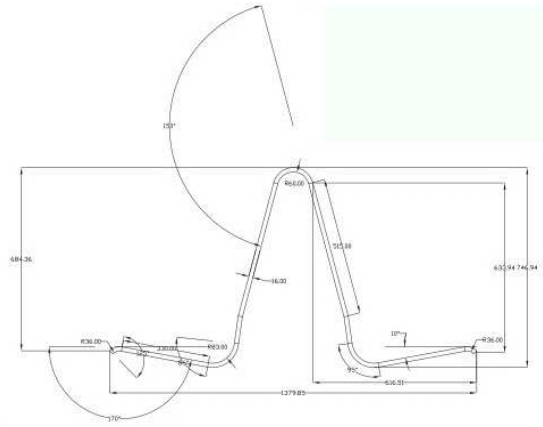
Projekat je započeo u maloj radionici za dizajn na Arhitektonskom fakultetu u Ljubljani, Slovenija. Prvi napravljeni modeli služili su za proučavanje optimalne dimenzije i ergonomije. Nakon velikog istraživanja i rada nastao je konačan "L" element. Sada se ovaj proizvod izrađuje u maloj fabrici stolova i stolica. Ona poseduje tehnologiju za izradu kalupa za savijanje slojevitog drveta i ima dugu tradiciju proizvodnje stolica. Zahvaljujući zajedničkom naporu studenata i zaposlenih u fabrici sada postoji nekoliko prototipova. [21]

Savijeno slojevito drvo je odličan materijal za izradu nameštaja. Ono je izdržljivo na jake pritiske i ima izvanredne zatezne karakteristike. To je prirodni i održivi materijal sa malim uticajem na životnu sredinu. LLSTOL je u potpunosti napravljen od savijenog slojevitog drveta i obložen prirodnim uljem. Ima mogućnost transformacije i može se koristiti za razne namene, što mu omogućava konstruktivni "L" elemenat sa svojom velikom prilagodljivošću. Njegova osnovna upotreba je kao stolica za dnevni boravak, ali se vrlo lako može transformisati u druge tipove nameštaja bez dodatnih detalja ili metalnih komponentata. Zbog svoje veličine i prilagodljivosti mnogim situacijama, stolica može da se skladišti, a zatim da se koristi u raznim prigodnim situacijama. Ova stolica je pogodna i za javne zgrade, kafiće, galerije, studentske domove, hotele, biblioteke, knjižare, itd. Osnovne dimenzije stolice su: debljina elemenata 18 mm, visina stolice 72 cm, visina sedišta 38 cm, širina sedišta 42 cm, ukupna težina stolice 9,6 kg.



Slika 4.14. LLSTOL (prototip izrađen na Arhitektonskom fakultetu u Ljubljani, Slovenija) [21]

Na osnovu dosadašnjeg saznanja o projektovanju nameštaja od savijenog slojevitog drveta, može se pristupiti modelovanju nameštaja za različite namene. Poznavajući kritične tačke opterećenja sedišta kod stolica i mogućnosti formiranja savijenih oblika, nastaju prototipovi koji se koriste u različite svrhe. Na slici 4.15. su predstavljeni načini modelovanja i projektovanja stolica za javne ustanove.



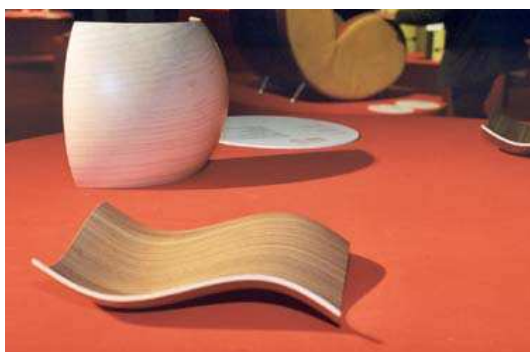
Slika 4.15. Modelovanje i projektovanje stolica od savijenog slojevitog drveta za javne ustanove

5. PROCES OBLIKOVANJA 3D FURNIRA I FURNIRSKIH PLOČA

Živimo u vremenu tri dimenzije. U svim sverama života nastaju 3D tehnologije. Zato se došlo na ideju da se proizvode trodimenzionalni furniri i furnirske ploče. Međutim, i kod ove tehnologije izrade, kao i uvek kod drveta, postavlja se pitanje anizotropije drveta, odnosno nejednakih fizičkih i mehaničkih svojstava drveta u različitim anatomskim pravcima. Iako je debljina furnira mala (najčešće 0,5 do 1,0 mm) i oni se prilikom savijanja različito ponašaju u različitim anatomskim pravcima. Kod plitkih oblika kao što su ispune za ramovske konstrukcije furniri se relativno lako savijaju. Međutim, ako želimo da napravimo neku složeniju trodimenzionalnu formu, furniri su najčešće izloženi pucanju. To isto, ali u mnogo većem stepenu se dešava i kod furnirskih ploča. Izuzetak su mehanički modifikovani furniri koji se podjednako ponašaju u svim anatomskim pravcima i mogu se savijati u složene oblike.

Danas u projektima sve više postoji potreba za savijanjem furnirskih ploča. Metode savijanja furnirskih ploča mogu biti različite, ali sve one imaju zajednički cilj a to je kako saviti ploču sa željenim radijusom a da ona zadrži oblik i da se ne ošteti. Na tržištu postoje posebne furnirske ploče namenjene za savijanje. Jedan od najjednostavnijih metoda savijanja ploča je prethodno parenje ploče u zatvorenom sudu. Obradak se stavlja u komoru za parenje i drži određeno vreme koje zavisi od debljine ploče i obično se računa tako da se za svaki centimetar debljine ploče uzima 25-30 minuta. Posle parenja, ploča se savija preko kalupa, pričvršćuje stegama ili na neki drugi način i tako drži dok se ne osuši. Ovaj metod savijanja velikim delom zavisi od kvaliteta lepka i lepljenja i uvek postoji opasnost da dođe do raslojavanja listova furnira. Drugi metod pripreme furnirske ploče je metod narezivanja ploče. Sa unutrašnje strane koja će biti okrenuta prema kalupu, pravi se serija paralelnih rezova određene dubine pomoću kružne testere ili serije kružnih testera, a da pritom dubina reza ne prelazi dve trećine debljine ploče. Lepak se nanosi na narezanu stranu u količini dovoljnoj da popuni rezove kako bi konstrukcija bila stabilnija. Ploča se stavlja u kalup sa drugom narezanom pločom, tako da su im narezane strane okrenute jedna prema drugoj i ostaju u kalupu dok lepak ne očvrstne. [22]

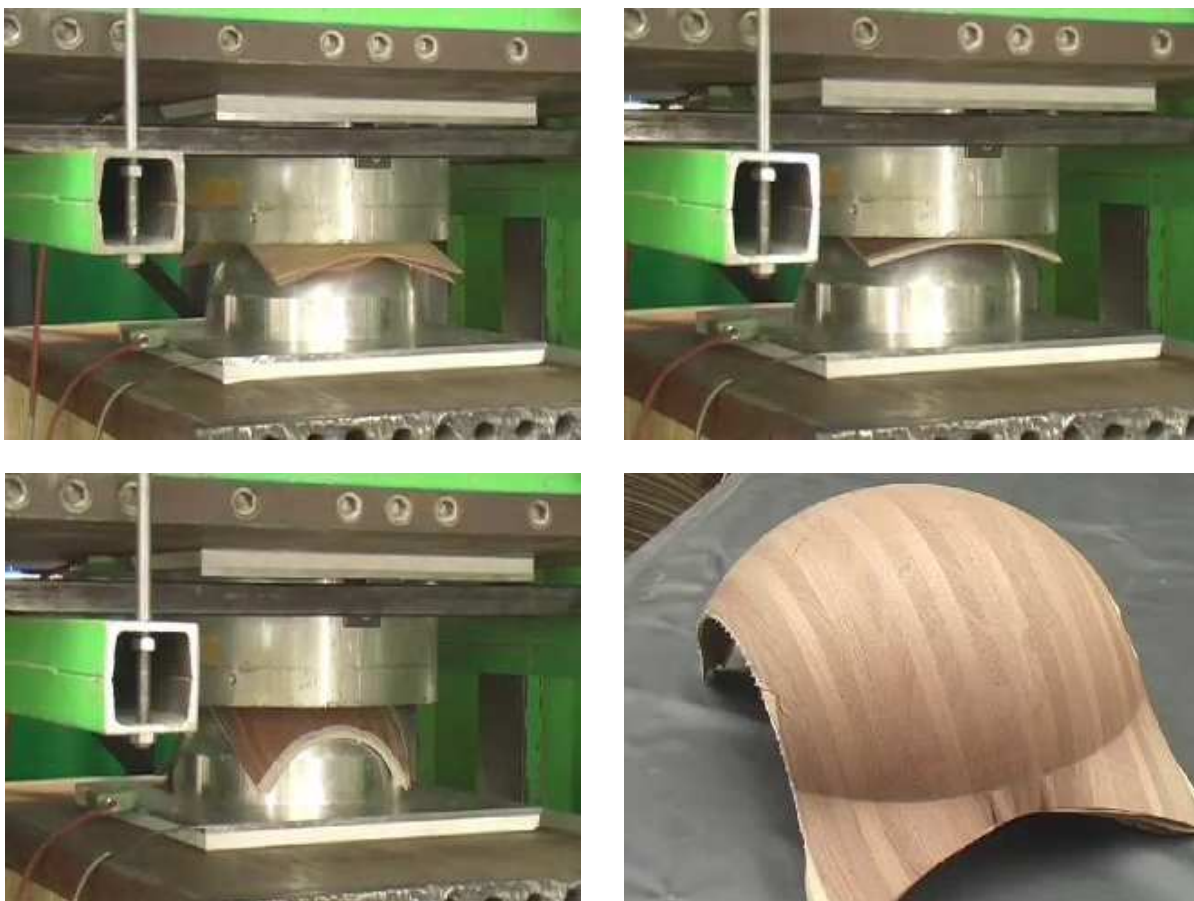
Trodimenzionalni furniri i furnirske ploče nastali su kao odgovor na povećanu tražnju za proizvodom koji se može oblikovati u kalupu u tri dimenzije, slično metalu ili plastici. I u ovome slučaju se javlja dobro poznati problem anizotropije drveta. Ovaj problem je rešen patentiranom tehnologijom mehaničke modifikacije drveta. Ovakav proizvod otvara nove mogućnosti u dizajniranju stolica, zaobljenih frontova za nameštaj u tri dimenzije, kao i za furniranje enterijera luksuznih automobila ili jahti.



Slika 5.1. Trodimenzionalni (3D) furniri i furnirske ploče [22]

Tehnologija izrade trodimenzionalnih furnira je razvijena i patentirana od strane najvećih autoriteta u ovoj oblasti. Trodimenzionalni furniri se modifikuju mehanički, tako da im tekstura ostaje sačuvana. Poledina ovih furnira je tretirana posebnim lepkovima, debljine ovih furnira su $1,15 \pm 0,5$ mm; maksimalne dužine 1300-2100 mm; maksimalne širine 980 mm.

Trodimenziionalne furnirske ploče rade se sa površinskim slojevima od ljuštenog furnira bukve, ili sečenog furnira bukve, svih vrsta oraha, hrasta ili trešnje. Unutrašnji slojevi su od ljuštenog bukovog furnira. Debljine trodimenzionalnih furnirskih ploča kreću se od 1,5 do 20 mm. Furniri se lepe u otpresak u kalupu sa patricom i matricom ili u membranskoj presi UF lepkom za vruće ili za hladno lepljenje. [23]



Slika 5.2. Tehnologija izrade trodimenzionalnih (3D) furnira i furnirskih ploča [25]

Primenom trodimenzionalnih furnira i furnirskih ploča dizajnerima se otvara široko polje za realizaciju ergonomskog dizajna. Stolica izrađena od trodimenzionalne furnirske ploče teška je samo oko 2 kilograma.



Slika 5.3. Stolica „Three skin“ [22]
(dizajner Ron Arad, Velika Britanija, proizvođač Moroso Spa, Španija)

Trodimenzionalne furnirske ploče mogu se kombinovati sa klasičnim, dvodimenzionalnim furnirskim pločama, tako što se samo neki delovi proizvoda rade od 3D furnirske ploče. Trodimenzionalni furnir se može koristiti samo kao spoljni sloj u kalupu, tako da je otpresak kvalitetniji, ima manje deformacije i grešaka.

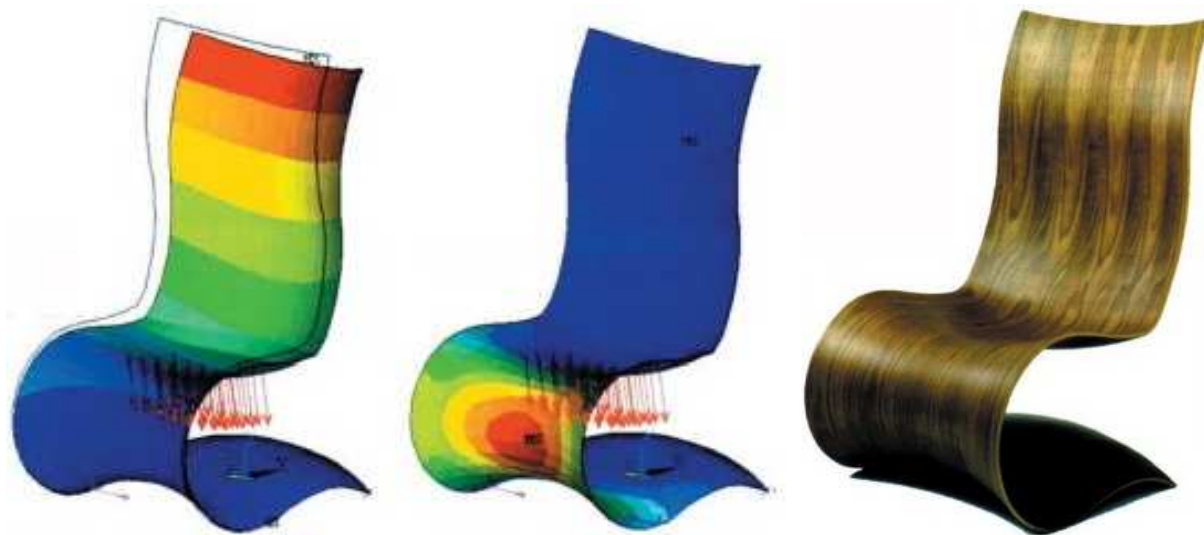
Primenom trodimenzionalnih furnira i furnirskih ploča zakoračili smo u novi svet i otvorili mogućnosti proizvodnje do sada teško zamislivih proizvoda. Time još jednom vraćamo drvo na mesto koje mu pripada kao toplom, plemenitom, ekološki čistom i obnovljivom materijalu.

Danac Claus Breinholt je dizajnirao, a italijanska firma Omp group je proizvela stolicu Loop u okviru linije Infiniti, koja se pokazala kao pravi hit među arhitektama i dizajnerima enterijera. Loop je stolica koja predstavlja evoluciju razvoja nameštaja, gde tehnološke inovacije idu ruku pod ruku s vrhunskim dizajnom. Rezultat je stolica oštih ivica, ali sofisticiranog oblika. Napravljena je pomoću specijalne 3D tehnologije savijanja drvenih otpresaka s velikom paletom završnih obrada, kako standardnih tako i egzotičnih prirodnih furnira. Loop je rezultat posebne tehnologije kojom se višeslojno obrađeno 3D drvo savija kako bi se dobila dvostruka zakrivljenost bez pucanja drveta. Rezultat toga je neverovatan plastični efekat poboljšan završnom obradom u prirodnoj ili venge boji te boji izbeljenog hrasta. Osnovne dimenzije stolice Loop su: visina stolice 809 mm; visina sedišta 478 mm; širina stolice 634 mm i dubina stolice 530 mm. [24]



Slika 5.4. Stolica „Loop“, linija Infiniti [24]
(dizajner Claus Breinholt, Danska, proizvođač Omp group, Italija)

Istraživanja buduće primene 3D furnira i furnirskih ploča su u toku. Jedan od glavnih ciljeva istraživanja je da se poveća stepen mogućih deformacija, da bi se dobili oblici sa izraženijim reljefastim konturama. Na taj način bi furnir kontinuirano pratio konture uglova i ivica izrađenih ploča.



Slika 5.5. Softverska analiza opterećenja naslona i sedišta kod stolice „XUS“
(dizajner Peter Karpf, Danska, proizvođač Iform, Švedska) [22]

6. NAJVIŠI STEPEN AUTOMATIZACIJE PROIZVODNIH PROCESA PRIMENOM ROBOTA U DRVNOJ INDUSTRIJI

Industrijski robot je računarski upravljani, reprogramabilni višenamenski manipulator koji je projektovan tako da zamenjuje čoveka u obavljanju određenih poslova. Industrijski robot omogućava pomeranje materijala, komada ili alata radi izvršavanja raznovrsnih zadataka, uključujući inspekciju, merenje, verifikaciju i proizvodnju delova, te njihovo sastavljanje u finalni proizvod. U skladu s tim, industrijski robot sastoji se od manipulatora kao mehaničkog dela koji se pokreće i upravljačkog sistema koji određuje i koordinira kretanje i delovanje robota. Manipulator je napravljen kao kinematički lanac od čvrstih segmenata spojenih pomoću zglobova koji omogućavaju rotaciono i translatorno pomeranje vrha robota. Jedan kraj robota pričvršćen je za nepokretnu osnovu, a drugi kraj je slobodan i na njemu se nalazi završni mehanizam, tj. hvataljka ili neki alat koji neposredno izvršava radni zadatak. [7]

Najvažniji parametri robota su: ponovljivost, tačnost, rezolucija, veličina radnog prostora, kao i raspodela funkcije nosivosti u okviru radnog prostora.

Ukoliko je robot doveden u određenu tačku radnog prostora u kojoj su mu zapamćene unutrašnje koordinate a zatim se iz te tačke izvede, pa mu se izda komanda da se vrati u istu tačku, greška pozicioniranja u odnosu na tačku u kojoj je prethodno bio se naziva ponovljivošću. Drugim rečima ponovljivost je rastojanje između ostvarene i željene pozicije ukoliko je robot u željenoj poziciji prethodno bio i zapamtio unutrašnje koordinate koje toj poziciji odgovaraju. Ponovljivost se definiše kao poluprečnik kruga koji obuhvata sve tako dostignute položaje.

Tačnost je rastojanje u prostoru između ostvarene i zadate (komandovane) pozicije ukoliko robot u komandovanoj poziciji nije prethodno bio.

Rezolucija je najmanji pomeraj komandovanog pokreta koji se može realizovati. Veličina rezolucije je posledica ograničenog broja bitova digitalnog upravljačkog sistema robota. Roboti imaju i za red veličina bolju ponovljivost od tačnosti.



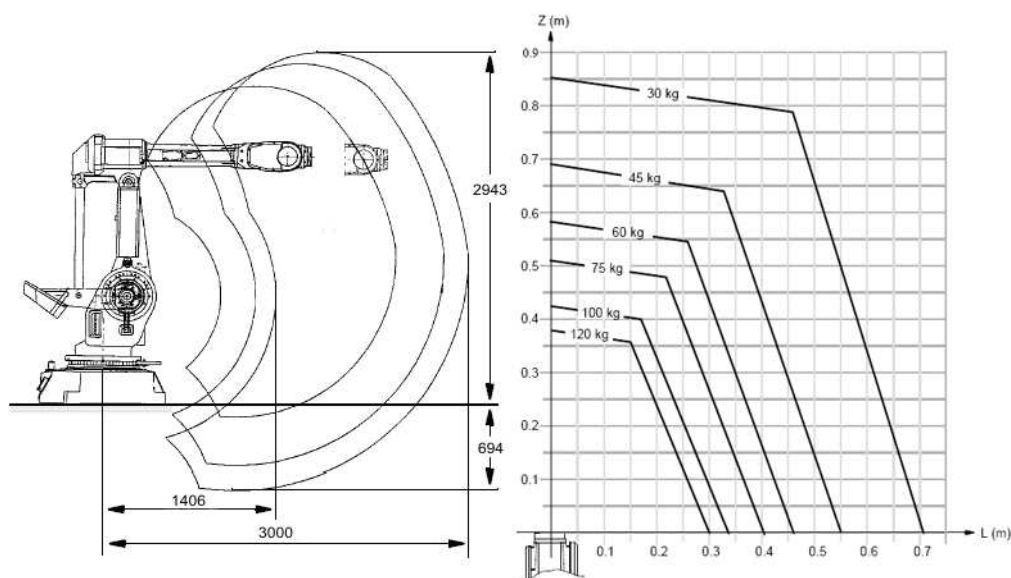
Slika 6.1. Ilustracija tačnosti i ponovljivosti industrijskih robota [7]

Kada se robot već nalazi u nekoj tački radnog prostora mogu se zapamtiti vrednosti koordinata u zglobovima (za rotacione zglobove to su uglovi, za translatorne su to linearna izduženja) kojima odgovaraju trenutni položaji segmenata. Kada se robot izvede iz te pozicije a zatim mu se komanduje da ponovo ode u istu tačku (vrednosti koordinata koje treba ostvariti su poznate) greška pozicioniranja se naziva ponovljivošću. Ukoliko se robotu komanduje da ode u tačku u kojoj prethodno nije bio i nema informaciju o koordinatama u zglobovima koji toj poziciji odgovaraju, upravljački uređaj robota mora da ih „sračuna” na osnovu kinematskog modela koji poseduje. Greška pozicioniranja je u ovom slučaju dodatno indukovana odstupanjem parametara modela od stvarnih parametara robota i naziva se tačnošću.

Radi povećanja tačnosti robota razvijeni su razni kalibracioni postupci pomoću kojih se odstupanja stvarnih parametara robota od parametara koji upravljački uređaj robota koristi minimiziraju. Ponovljivost pri tome ostaje nepromenjena. [7]

Ranije je rečeno da se radni prostor može deliti na maksimalni i potpuno operativni u zavisnosti od mogućnosti pristupanja svakoj njegovoj tački sa proizvoljnom orijentacijom hvataljke. U slučaju da je potrebno da se vodi računa o održavanju željene tačnosti položaja pod opterećenjem (slika 6.2.), radni prostor se deli na koncentrične prostore kojima se pripisuju vrednosti nosivosti robota. Tako je radni prostor pri najvećoj nosivosti (a da je i dalje obezbeđena željena tačnost pozicioniranja) daleko manji od radnog prostora neopterećenog manipulacionog robota. Vrlo često se u podacima proizvođača, samo navodi podatak o veličini radnog prostora neopterećenog robota, a tek se na osnovu posebnih zahteva daje informacija o veličini i obliku radnog prostora pod delimičnim ili maksimalnim opterećenjem.

Često se radni prostor koji odgovara određenoj tačnosti pozicioniranja u kombinaciji sa nosivošću robota prikazuje putem familije krivih za približne vrednosti nosivosti robota u vertikalnoj ravni. Ove krive su određene za maksimalnu vrednost momenta inercije po bilo kojoj od tri ose TCP koordinatnog sistema u centru mase objekta koji robot nosi. Sa slike 6.2. se vidi da je u konkretnom primeru nosivost na spoljašnjim granicama radnog prostora smanjena za 70% u odnosu na unutrašnje granice.



Slika 6.2. Radni prostor robota i maksimalno dozvoljeno opterećenje na prirubnici hvataljke na različitim pozicijama u koordinatnom sistemu osnove [7]

6.1. Senzori u industrijskoj robotici

Da bi robot sa jednostavnim pokretima mogao da izvodi složene operacije u promenljivoj okolini, neophodno je da ima određeni stepen inteligencije. Pod tim se podrazumeva da je u stanju da interpretira informacije o varijacijama u položaju radnih predmeta i o promenama u okolini i da im prilagodi svoje delovanje bez intervencije operatora. Na taj način robot proširuje autonomiju i povećava preciznost manipulativnih operacija.

Informacije se dobijaju pomoću senzora koji se ugrađuju na manipulator ili njegovu periferiju. Neposredan zadatak je da se omogući hvataljci da bez obzira na redosled i položaj radnih predmeta u radnoj oblasti izvrši potrebnu manipulaciju nad tačno određenim predmetom. Sistem automatskog upravljanja obrađuje informacije sa senzora i pomera hvataljku, pri čemu se automatski kompenzuju efekti savitljivosti manipulatora i toleransi mehaničke konstrukcije robota. Za uspešan rad robotu su potrebne kompleksne informacije o objektu: položaj, orijentacija, veličina, hrapavost, boja, temperatura, sila/moment i dr. Izdvajanje kompleksne informacije iz memnih signala sa senzora provodi se primenom biokibernetičkih principa, tj. na sličan način kao kod čoveka, pa se govori o veštačkoj ili senzorskoj percepciji. [10]

U tom smislu svi roboti pripadaju jednoj od tri generacije. Prvoj generaciji pripadaju programski roboti koji ciklično ponavljaju zadati program, uvek na isti način i u istim radnim uslovima. Pogodni su za uzimanje predmeta sa trake, za obavljanje pomoćnih operacija kod alatnih mašina, kod presovanja i sl. S obzirom da se ovi zadaci svode na tačno pozicioniranje, roboti prve generacije opremljeni su jedino senzorima unutrašnjih informacija, tj. informacija o položaju samog robota. Zbog toga su ovi roboti nefleksibilni u pogledu promene zadatka, ali su jednostavni i relativno jeftini, te je zato većina industrijskih robota ovog tipa.

Adaptivni roboti pripadaju drugoj generaciji. Pored senzora unutrašnjih informacija oni su opremljeni i senzorima spoljašnjih informacija koje se odnose na prostor i predmete u radnom okruženju robota. Zahvaljujući tome adaptivni robot može da se u većoj ili manjoj meri orijentiše u prostoru i da se prilagodi novim situacijama koje se javljaju pri obilaženju prepreka, bojenju, uzimanju predmeta sa trake koji su proizvoljno raspoređeni i orijentisani i dr. Osnovna karakteristika adaptivnih robota je da imaju definisan zadatak, ali mogu da menjaju svoje kretanje pri njegovom ostvarivanju.

Inteligentni roboti pripadaju trećoj generaciji. Njihova je osobina da u neizvesnim situacijama mogu da odlučuju i generišu neprogramirane pokrete zahvaljujući obradi kompleksnih informacija dobijenih pomoću senzora koji su i sami složeni. Prepoznavanje situacije i prilagođavanje promenljivoj okolini baziraju se na elementima veštačke inteligencije. Veći stepen inteligencije podrazumeva veću sposobnost prilagođavanja.

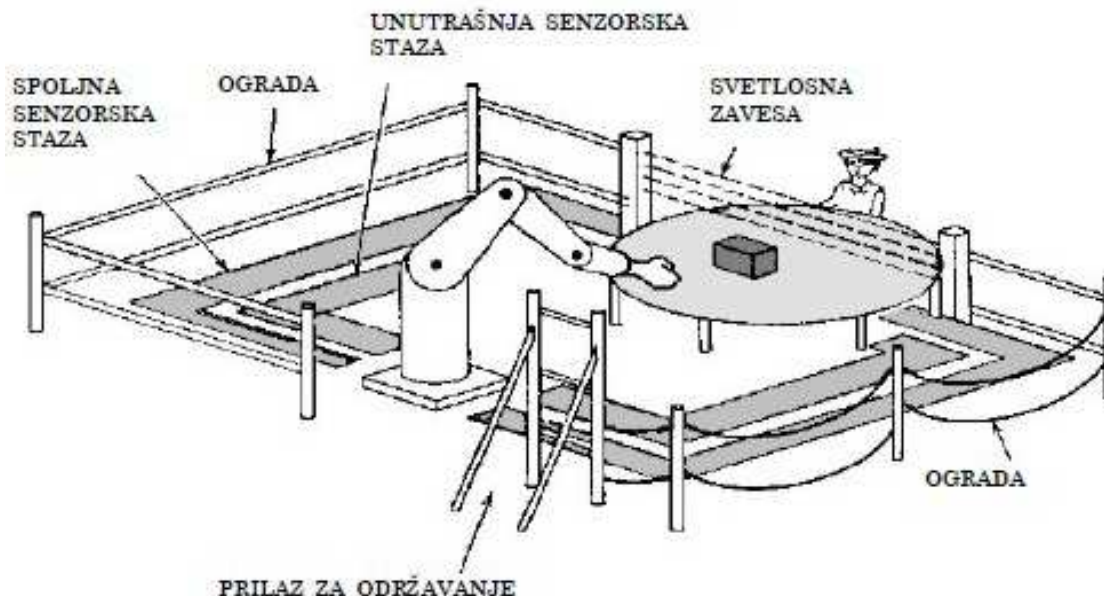
Treba napomenuti da tri navedene generacije robota ne smenjuju jedna drugu već postoje uporedo i primenjuju se u skladu sa zahtevima konkretnog zadatka.

Informacije sa senzora neophodne su pre, za vreme i posle izvršenja radnog zadatka. Pre izvršenja zadatka, na primer, delovi mogu da se transportuju do robota i ostavljaju na određenom mestu. Robot mora da zna kada da preuzme deo, odnosno kada da započne izvršenje zadatka. Ovo se može jednostavno rešiti postavljanjem infracrvenog ili optoelektronskog senzora koji će detektovati prisustvo i poziciju objekta u radnom prostoru i tu informaciju proslediti do kontrolera. U toku izvršenja radnog zadatka robot pomoću hvataljke ili vakuumske sisaljke drži objekat i prenosi ga na drugo mesto radi dalje obrade. Bez obzira koji tip šake ili alata je upotrebljen, moraju se ugraditi senzori koji „osećaju“ ili „vide“ šta se dešava na objektu, tj. detektuju njegovo prisustvo, poziciju, oblik, defekte i dr. Kada se radni zadatak obavi, objekat se transportuje na sledeću etapu obrade ili se odstranjuje kao defektan. Senzori ovde treba da daju informaciju da je hvataljka slobodna, gde je trenutno pozicionirana i koliki je broj ispravnih/neispravnih delova. [10]

Iz ove jednostavne analize zaključuje se da je generisanje informacije pomoću senzora u uskoj vezi sa funkcijom koju obavljaju. Razlikuju se sledeće senzorske funkcije:

- ✚ Detekcija prisustva objekta u radnom prostoru. Senzori sa ovom jednostavnom funkcijom imaju izlazni signal tipa on/off i obično su na svakom robotu najviše zastupljeni u poređenju sa svim drugim senzorima.
- ✚ Lociranje, tj. određivanje pozicije objekta. Ova senzorska funkcija je složenija od prethodne, jer osim prisustva objekta senzor treba da sa određenom metrološkom tačnošću utvrdi gde se objekat nalazi.
- ✚ Inspekcija je senzorska funkcija koja osim detekcije prisustva i određivanja lokacije uključuje i verifikaciju karakteristika objekta kao što su orijentacija, oblik, veličina ili boja. Za ovakvu funkciju služe senzori koji mogu da generišu određenu sliku (viziju) objekta. Takvi senzori imaju bazu podataka o karakteristikama objekta. Baza se formira u fazi obučavanja senzora i dopunjava se kasnije samostalnim učenjem pomoću posebnih softverskih programa. Ovi senzori nazivaju se inteligentnim, a primenjuju se u kontroli proizvoda na traci.
- ✚ Identifikacija je najsloženija senzorska funkcija. Realizuje se istim tipom senzora kao i inspekcija, ali je smisao da se određeni objekat sledi tokom čitavog procesa obrade, a ne samo unutar jedne faze kao kod inspekcije. Tipičan slučaj je praćenje delova počev od sortiranja i zatim na svim etapama asembliranja kako bi se nad tim delovima na svakoj etapi obavila potrebna operacija.
- ✚ Monitoring i predikcija radnih uslova podrazumevaju detekciju stanja okoline, performansi robota i svih sistema koji su na njemu ugrađeni radi zaštite od otkaza. Ako se ustanovi da neki deo sistema ne sme otkazati u toku radne operacije jer bi to dovelo do isključivanja cele proizvodne linije, celishodno je da se zamena tog dela obavi što kasnije, ali pre kritičnog trenutka. Zato se taj deo mora nadzirati da se na vreme ustanove elementi ranog upozorenja otkaza. Na primer, za bušilicu je kritični deo burgija. Jednostavan senzor bi mogao samo da indicira da je burgija slomljena, ali s obzirom na postavljeni cilj ovde je bolje ugraditi senzor preopterećenja burgije: senzor struje u motoru, senzor temperature ili senzor zvuka. Kada se informacije sa senzora prepoznaju kao nastupanje otkaza, preduzima se zaštitna akcija: uspostavlja se bezbedan način rada i zamena burgije. Ovo je tzv. prediktivno održavanje koje je složenije od preventivnog i običnog održavanja. Senzori sa funkcijom monitoringa i predikcije stanja sistema spadaju u inteligentne senzore.

- ✚ Sigurnost i zaštita. Senzori sa ovom funkcijom namenjeni su za zaštitu ljudi i okoline od robota. Robot kao višenamenska mašina može da izvodi brze i neočekivane pokrete i da razvija punu snagu u bilo kojoj tački radne oblasti, koja je mnogo veća u odnosu na osnovu robota. Da se spreče povrede ljudi i okoline neophodni su senzori sa funkcijom sigurnosti i zaštite (slika 6.3.). Posebni programi za bezbednost analiziraju informacije sa ovih senzora, ali i sa svih ostalih – bez obzira na njihovu osnovnu funkciju, tako da upravljački sistem reaguje adekvatno opasnim situacijama koje nastaju zbog ulaska čoveka u radnu zonu ili zbog izletanja komada izvan te zone u okolinu.



Slika 6.3. Zaštita radne okoline robota [10]

Za realizaciju određene funkcije robotu su potrebni odgovarajući senzori. Na primer, robotu su za inspekciju neophodni senzori za detekciju prisustva, senzori za detekciju lokacije i orijentacije, te senzori za inspekciju.

Klasifikacija senzora u robotici može se ostvariti prema različitim kriterijima. Podela na kontaktne i beskontaktne senzore jedna je od najranijih – održala se i do danas. Najpotpunija podela temelji se na kompleksnosti senzorske informacije, na osnovu čega se razlikuju tri osnovne grupe senzora:

- ✚ proksimiti senzori;
- ✚ merni senzori;
- ✚ senzori vizije: taktilne, zvučne, termičke i optičke.

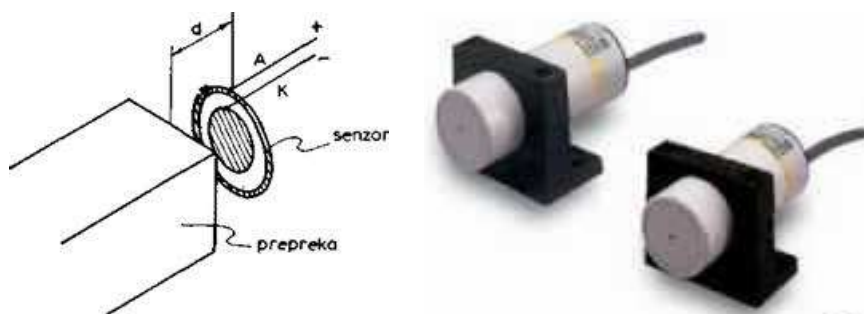
Senzori blizine imaju informacijski kapacitet od jednog bita jer je njihov izlazni signal dvonivoski. Vrednost izlaza zavisi od toga da li je udaljenost radnog predmeta manja ili veća od zadane. Proksimiti senzori i pored jednostavnosti imaju veliku primenu u kontroli referentnih faza manipulativnih procesa. [10]

Merni senzori imaju električni izlazni signal koji je u stacionarnom stanju proporcionalan merenoj fizičkoj veličini. Odlikuju se visokim metrološkim pokazateljima. Najčešće se prave kao otpornički, kapacitivni, elektromagnetski, pijezelektrični ili optoelektronski. U robotici služe za merenje:

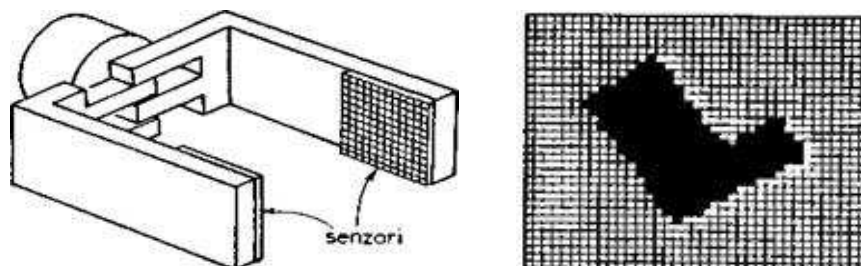
- ✚ geometrijsko-prostornih koordinata (udaljenost radnih predmeta od manipulatora, međusobna udaljenost predmeta, pozicija predmeta u radnoj oblasti, relativni položaj segmenata manipulatora, veličina predmeta);
- ✚ kinematskih veličina (translatorna i ugaona brzina, ubrzanje);
- ✚ sile (sila, moment i pritisak između dva robota, masa radnog predmeta, kontaktna sila između hvataljke i radnog predmeta);
- ✚ ostalih veličina (termička, električna, magnetska ili optička svojstva predmeta).

Senzori slike daju informaciju u obliku slike koja se odnosi na strukturu, oblik ili topologiju radnih predmeta. Za takvu informaciju tačnost ima manji značaj nego kod mernih senzora, ali je kompleksnost znatno veća. Slika se dobija kao projekcija trodimenzionalne scene na jednodimenzionalni niz ili dvodimenzionalnu matricu sastavljenih od n , odnosno $n \times n$ mernih senzora. Elektronskim skeniranjem niza/matrice nastaje serijski signal koji reprezentuje datu sliku. Skeniranje može biti i mehaničko, ali je ono mnogo sporije. Takvo skeniranje dobija se pomoću uređaja koji pomera senzorski niz ili senzorsku matricu, tako da se za jedan položaj dobija određeni segment slike.

Prema fizičkom principu na kojem se dobija slika, razlikuju se taktilna (dodirna), zvučna (ultrazvučna) i optička vizija. Termička vizija je specijalan slučaj taktilne kada postoji kontakt sa radnim predmetom i kada toplota sa predmeta na senzor prelazi kondukcijom, odnosno specijalan je slučaj optičke vizije kada se prelaz toplote od predmeta do senzora odvija radijacijom. Razvoj optičke vizije najdalje je odmakao u pogledu primene. Posebno je pogodna za beskontaktnu detekciju pozicije, orijentacije i oblika radnih predmeta, za analizu scene, za navigaciju pokretnih robota i za inspekciju proizvoda. Ultrazvučna vizija ima sličnu namenu kao i optička. U uslovima smanjene vidljivosti daje bolje rezultate od optičke, ali je od nje inferiornija zbog niže rezolucije i problema sa kontrolom ultrazvučnih signala. Taktilna vizija trenutno ima najmanju primenu, ali se od nje mnogo očekuje pošto pored detekcije pozicije, orijentacije i oblika omogućava praćenje karakteristika površine predmeta kao što su hrapavost ili tekstura. [10]



a) Kapacitivni senzor blizine



b) Površinski binarni sistem dodira

6.2. Programiranje industrijskih robota

Imajući u vidu složenost zadataka koje robot obavlja (farbanje, opsluživanje alatnih mašina, montaža delova u sklopove i sl.), te potrebu brzog prilagođavanja novim radnim zadacima, osnovni preduslov uvođenja industrijskog robota u proizvodne sisteme jeste mogućnost reprogramiranja njegovog rada.

Iz same definicije industrijskog robota kao univerzalne, višefunkcionalne, programabilne mašine za izvršavanje različitih zadataka u industriji, vidimo da je programabilnost jedna od osnovnih karakteristika.

Programabilnost ili mogućnost reprogramiranja znači da se programirana kretanja i pomoćne funkcije mogu menjati bez fizičke promene odnosno intervencije na samom robotu. Programiranje kretanja šest osa koje nisu kartezijanske što je slučaj kod većine robota čini ovaj problem mnogo složenijim nego što je to slučaj sa NU mašinama alatkama. Na složenosti doprinosi potreba uvođenja senzorskih informacija kao i potreba sinhronizacije rada sa tehnološkim okruženjem odnosno periferijom (mašine, konvejer).

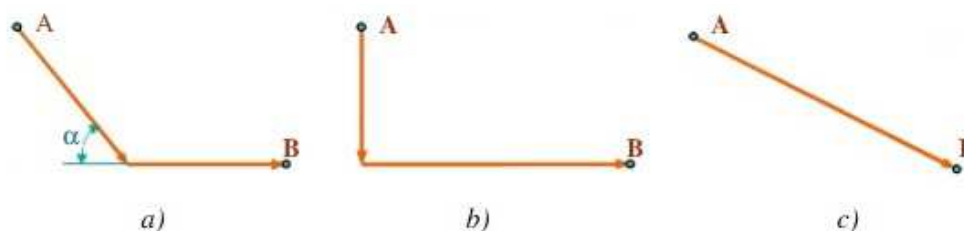
Kako bi izvršio potrebnu korisnu radnju robot mora biti programiran. Robotskim se programom najčešće definiše trajektorija koju sledi završni uređaj robota (engl. end-effector), kao i robotsko delovanje kojim se omogućuje izvođenje kompletnog radnog ciklusa. Primeri ovog delovanja su otvaranje i zatvaranje završnog uređaja, donošenje i izvođenje jednostavnih logičkih odluka, kao i komunikacija sa drugim komponentama u fleksibilnoj proizvodnoj ćeliji. Kod novijih generacija robota sve više se nastoji, umesto programiranja kretanja, programirati radni zadatak kojeg robot treba obaviti.

6.2.1. Tipovi upravljanja

U zavisnosti od nivoa sofisticiranosti upravljačke jedinice robotskog sistema, postoje dva tipa upravljanja i to:

- ✚ tačka po tačka – PTP (engl. point to point) i
- ✚ konturno ili upravljanje sa kontinuiranom putanjom – CP (engl. continuous path).

Kod robota tipa “tačka po tačka” trajektorija završnog uređaja se definiše nizom tačaka koje se nalaze na trajektoriji preko kinematike upravljanih ili spoljašnjih koordinata. Ukoliko se trajektorija definiše preko spoljašnjih koordinata, upravljačka će jedinica, primenom inverzne kinematike, izračunati odgovarajuće upravljane koordinate. Što je veći broj tačaka kojima se definiše željena trajektorija, to će kretanje završnog uređaja biti tačnije. S druge strane, veći broj tačaka znači i veći broj potrebnih izračunavanja, a njihov maksimalan broj određen je raspoloživom memorijom upravljačke jedinice. Između definisanih tačaka, zavisno od tipa robota, kretanje završnog uređaja može biti realizovano na različite načine, kao što je prikazano na slici 6.5.



Slika 6.5. Načini kretanja završnog uređaja kod PTP programiranja [6]

Na slici 6.5. prikazan je primer kretanja u ravni. U prvom prikazanom slučaju postoji simultano kretanje u svim osama do postizanja ordinate tačke B, a potom se ostvaruje kretanje samo po jednoj koordinati do dosezanja tačke B. Upravljačka struktura je relativno jednostavna, a kod ovakvog načina upravljanja po osama postoji opasnost dovodenja u koliziju sa kretanjima drugih komponenti, posebno ako je npr. robot sastavni deo fleksibilne proizvodne ćelije koju mogu činiti više NC alatnih mašina i robota.

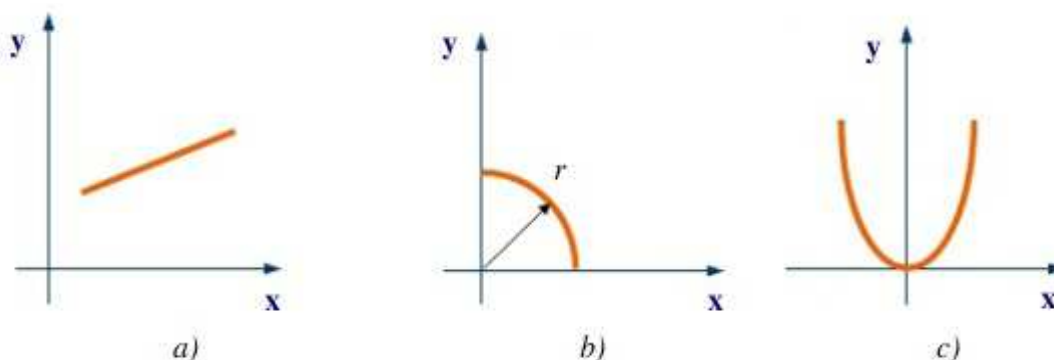
U slučaju PTP upravljanja, slika 6.5. b, kretanje se ostvaruje najpre po jednoj, pa zatim po drugoj koordinati. Ovo je najduži oblik kretanja, ali je upravljačka jedinica vrlo jednostavna.

Kod PTP upravljanja, prikazanom na slici 6.5. c, završni uređaj će najbrže, jer se kreće po najkraćoj mogućoj putanji, iz tačke A doći u tačku B. Upravljačka jedinica je složenija nego u prethodna dva slučaja. Ona mora imati ugrađenu linearnu interpolaciju kojom se utvrđuje brzina kretanja po pojedinim osama tako da se završni uređaj uvek kreće po pravoj liniji.

Upravljački sistemi CP tipa upravljaju simultanim kretanjima pojedinih osa omogućavajući da se završni uređaj kreće od jedne do druge tačke manipulacionog prostora po utvrđenoj zakonitosti.

Metod na osnovu kojeg upravljački sistemi robota, upravljanjem kretanjima osa pomera završni uređaj od jedne do druge programirane tačke naziva se interpolacijom. Interpolator, na osnovu koordinata početne i krajnje tačke, računa određeni broj međutačaka kroz koje će se kretati završni uređaj. U zavisnosti da li međutačke definišu pravac, deo kruga ili parabole postoje tri tipa interpolacije i to:

- ✚ linearna,
- ✚ kružna i
- ✚ parabolična.

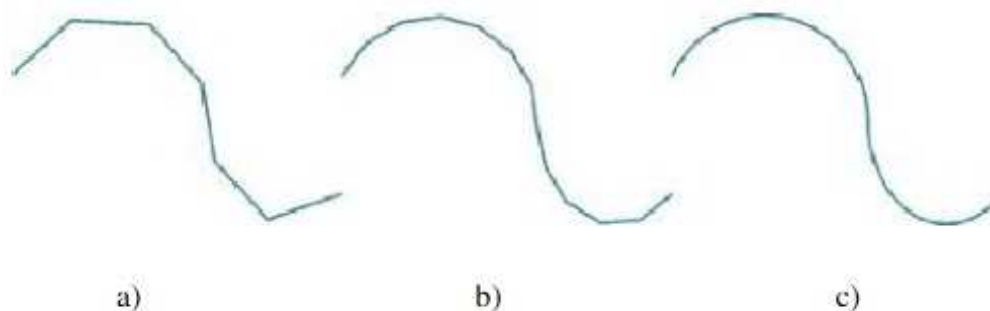


Slika 6.6. Tipovi interpolacije: a) linearna, b) kružna, c) parabolična [6]

Najveći broj robota poseduje linearnu i kružnu (slika 6.6. a i b), dok je kod nekih prisutna i parabolična interpolacija.

Linearna interpolacija je najjednostavnija. Na osnovu poznatih koordinata početne i krajnje tačke određenog segmenta trajektorije upravljačka jedinica računa koordinate međutačaka. Prolazeći kroz njih ostvaruje se pravolinijsko kretanje. Ukoliko je potrebno realizovati kretanje po krugu, kružnom luku ili nekom krivolinijskom segmentu trajektorije, delovi trajektorije biće aproksimirani pravcima, tako da je krajnja tačka jednog pravolinijskog dela ujedno prva tačka sledećeg. Što je veći broj međutačaka, to će aproksimacija krivolinijske trajektorije biti tačnija, slika 6.7.

Međutim, nedostatak ove interpolacije je potreba za izuzetno velikim brojem međutačaka, što uzrokuje i veliki broj programskih sekvenci.



Slika 6.7. Primer linearne interpolacije: a) sa šest segmenata, b) sa dvanaest segmenata, c) trajektorija koju treba realizovati [6]

Kod kružne interpolacije kretanje između dve definisane tačke trajektorije ostvaruje se po kružnom luku, koji se aproksimira malim linearnim segmentima visoke rezolucije.

Programom je potrebno definisati koordinate ciljne tačke i radijus kružnog luka. Ovaj tip interpolacije primenjuje se kod izvođenja kretanja i po pojedinim segmentima krivolinijske putanje, pri čemu se ti segmenti aproksimiraju kružnim lukovima.

Kod kretanja po slobodnoj krivoj najbolje je primeniti parabolični interpolator, primenom ovog interpolatora kretanje između tri tačke koje ne leže na pravcu odvijaće se po celoj ili delu parabole. Odnos broja međutačaka kod linearne i parabolične interpolacije za istu trajektoriju je 50:1.

6.2.2. Tipovi programiranja

Ako posmatramo robota čiji upravljački sistem raspolaže izvršnim (servosistemskim) i taktičkim nivoom upravljanja, tada zadavanje zadatka podrazumeva specificiranje kretanja mehanizma robota i radnog režima završnog uređaja. Pod ovim drugim podrazumevamo npr. otvaranje i zatvaranje hvataljke, uključivanje i brzinu obrtanja uređaja za zavrtnanje zavrtnja, uključivanje i isključivanje pištolja za prskanje boje i sl. Preciznije rečeno, radi se o postupcima kojima se robot osposobljava da izvrši traženi zadatak. Zato se često i koristi termin obučavanje robota. [8]

Kod nešto složenijih sistema, robota prve generacije, kretanje se zadavalo u obliku niza tačaka pri čemu je svaka od njih određena tj. "pamćena" uz pomoć skupa potencijometara. Svaki potencijometar pamtio je položaj jednog zgloba i to u obliku analogne naponske informacije.

Kod savremenih industrijskih robota srećemo dva osnovna načina programiranja kretanja:

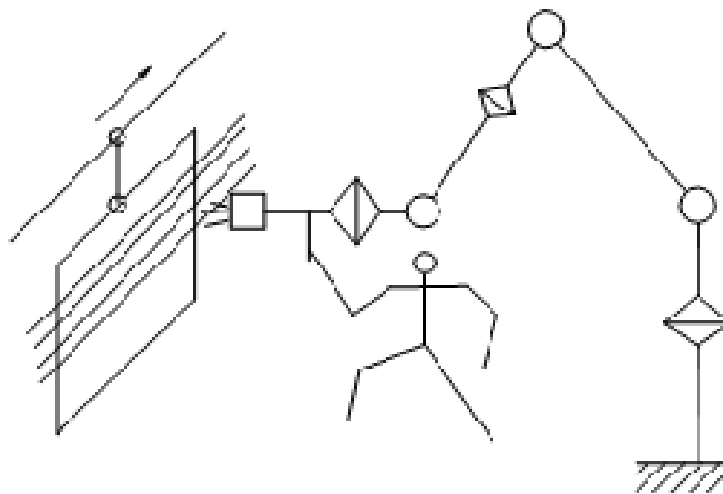
- ✚ programiranje vođenjem,
- ✚ tekstualno programiranje.

Ova dva načina, međutim, ne treba razdvajati kao dva potpuno različita koncepta koji se međusobno isključuju. Oni se često dopunjuju da bi se iskoristile prednosti svakog od njih.

Programiranje vođenjem podrazumeva da se u fazi obučavanja robot vodi putanjom koja se zahteva pri izvršenju zadatka. Tada robot pamti izvršeno kretanje i ponavlja ga kada se to od njega zahteva tj. u fazi praktičnog rada. Ovo je bila osnovna ideja, dakle obučavanje pokazivanjem, međutim pri realizaciji ovog pristupa pojavljuje se niz razlika. Tako, prema načinu vođenja razlikujemo ručno vođenje i posredno vođenje.

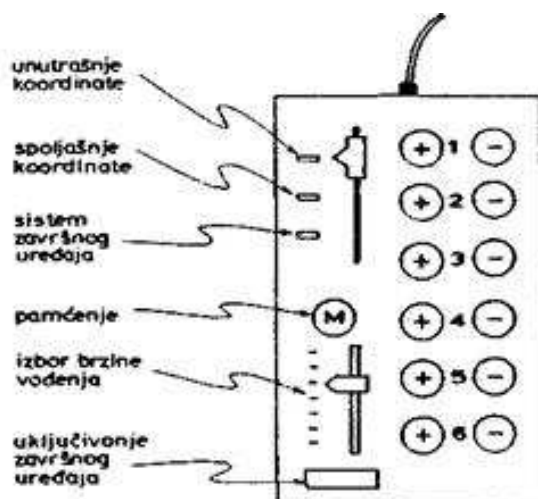
Ručno vođenje podrazumeva da čovek-operator ručno vodi završni uređaj robota onako kako on u praktičnom radu treba da se kreće. Pogodan primer je problem farbanja prskanjem. U fazi obučavanja operator pištoljem koji je učvršćen na vrhu robota radi one pokrete koje bi radio i pri ručnom farbanju. Na taj način on vodi robot koji kretanje pamti i tako se vrši obučavanje. Tokom ručnog vođenja operator uključuje i isključuje završni uređaj (npr. pištolj za prskanje) što robot takođe pamti.

U slučaju da je robot masivan i nepogodan za ručno vođenje projektuje se poseban mehanizam čija je geometrija identična sa geometrijom robota ali su mase značajno manje. Sada u fazi obučavanja operator ručno vodi ovu laganu "kopiju" robota. [8]



Slika 6.8. Šematski prikaz ručnog vođenja robota za farbanje [9]

Posredno vođenje je savremeniji način programiranja robota. Robot se kreće sledeći komande koje čovek-operator zadaje pomoću jedne vrste daljinskog upravljača (najčešći engleski termin je: teach pendant). Na ovom uređaju za obuku, koji je oblika kutije i veličine šake, nalaze se prekidači i dugmad kojima se upravlja radom robota (slika 6.9.).



Slika 6.9. Uređaj za obuku [8]

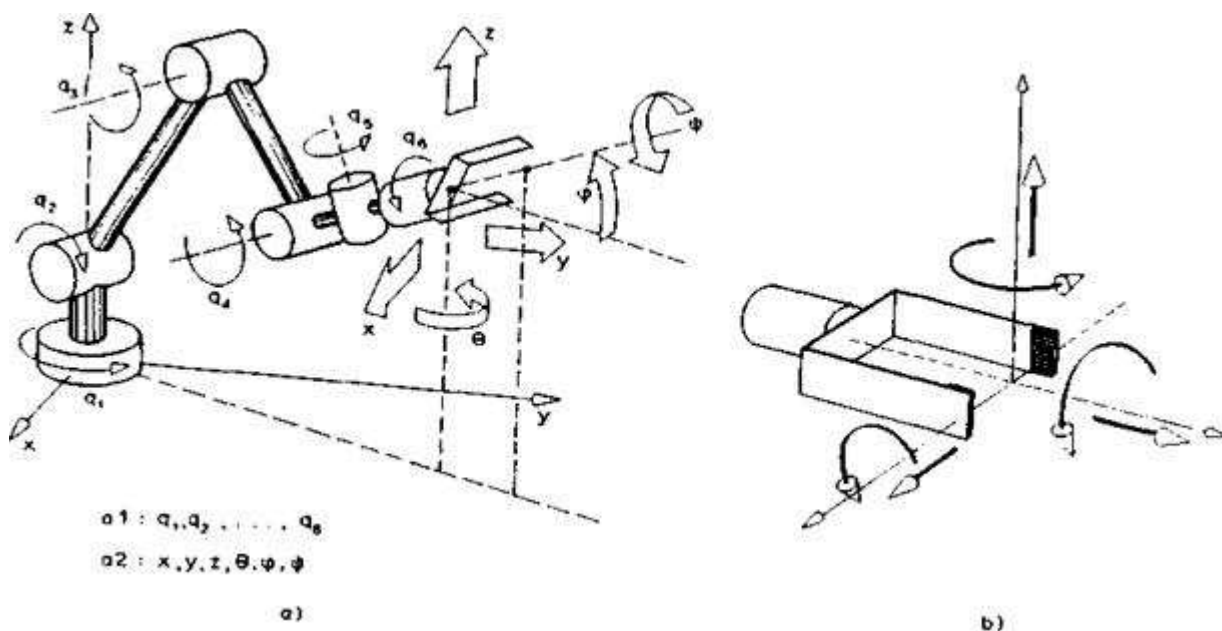
Jedan od načina za zadavanje položaja i kretanja robota je korišćenje unutrašnjih koordinata tj. pomeranja u zglobovima (slika 6.10. a1). Ako želimo da obučavamo robot na ovaj način, tada ćemo na uređaju za obuku uočiti prekidač za izbor koordinata i postaviti ga u položaj "unutrašnje koordinate". Za vođenje robota koristićemo šest parova dugmadi. Svakim parom dugmadi vodimo po jedan zglob robota. Pritiskom na dugme "+" zglob se obrće u pozitivnom smeru, a pritiskom na dugme "-" u negativnom. Na ovaj način, vođenjem jednog po jednog zgloba, dovedemo završni uređaj u položaj koji se zahteva. Taj položaj robot će zapamtiti kada se na uređaju za obuku pritisne određeno dugme ili se, pak, na tastaturi upravljačke jedinice otkuca odgovarajuća naredba za pamćenje.

Sada robot vodimo do drugog položaja koji se pamti, a postupak se ponavlja dok se u potpunosti ne definiše zadatak. Brzina vođenja može se podešavati posebnim regulatorom. Uključivanje i isključivanje završnog uređaja zadaje se pomoću odgovarajućeg prekidača na uređaju za obuku ili, pak, kucanjem naredbe na tastaturi upravljačke jedinice.

U fazi izvršenja zadatka robot se kreće od jednog do drugog zapamćenog položaja pri čemu brzina nije određena brzinom vođenja tokom obuke, već se zadaje proizvoljno korišćenjem tastature. Pri kretanju od jednog do drugog zapamćenog položaja robot pokreće sve zglobove istovremeno.

Drugi način definisanja položaja i kretanja robota je korišćenje tzv. spoljašnjih koordinata (slika 6.10. a2). U pitanju su tri Dekartove koordinate "vrha" završenog uređaja (x , y , z) i tri ugla koji određuju njegovu orijentaciju u prostoru (θ , ϕ , ψ). Ako želimo da robot vodimo na ovaj način, tada prekidač za izbor koordinata stavljamo u položaj "spoljašnje koordinate". Šest parova dugmadi na uređaju za obuku sada dobija drugačije značenje. Pritiskanjem nekog dugmeta prvog para ("+" ili "-") menja se koordinata x , a sve ostale (y , z , θ , ϕ , ψ) ostaju konstantne. Tako se svakim parom dugmadi podešava po jedna spoljašnja koordinata dok se završni uređaj ne dovede u traženi položaj koji se tada zapamti.

Treći način vođenja robota u fazi obučavanja je korišćenje koordinatnog sistema vezanog za završni uređaj (slika 6.10. b). Tada se kretanje ostvaruje u obliku translacija duž osa ovog sistema i rotacija oko tih osa. Svakako, opet se koristi istih šest parova dugmadi pri čemu se prekidač za izbor koordinata postavlja u položaj "sistem završnog uređaja".



Slika 6.10. Šematski prikaz načina vođenja robota [8]

Ukoliko zadatak zahteva upravljanje od tačke do tačke (bez zadatog kretanja između) tada je obučavanje moguće izvršiti i ručnim i posrednim vođenjem. Takvi su, na primer, zadaci prenošenja, zadaci opsluživanja mašina i sl.

Kada je u pitanju praćenje kontinualne putanje, tada je problem obučavanja složeniji. Ako je potrebno da se završni uređaj kreće pravolinijski između dve tačke, obučavanje se u ovakvom slučaju može efikasno realizovati posrednim vođenjem. Naime, sistem za obučavanje koji raspolaže mogućnošću rešavanja inverzne kinematike, po pravilu, uključuje i metodu prostorne pravolinijske interpolacije između dve zapamćene tačke.

Najsloženiji problem predstavljaju zadaci u kojima završni uređaj mora da ostvari neko krivolinijsko prostorno kretanje sa istovremenom promenom orijentacije. Današnji uređaji za posredno vođenje uglavnom ne omogućavaju da se završni uređaj vodi na ovakav način. Uređaj koji bi to omogućio očigledno bi morao biti opremljen nekom vrstom složene upravljačke palice, no takvi uređaji još nisu u široj upotrebi. Otuda se u slučaju složenog krivolinijskog kretanja završnog uređaja još uvek koristi ručno vođenje u fazi obučavanja.

Dve su glavne prenosti programiranja robota postupkom vođenja. Prva je jednostavnost: ne zahteva se nikakav složen softver kojim bi se upravljačka jedinica osposobila za obučavanje. Druga prednost je opet jednostavnost ali sa stanovišta preciznosti. Radi se o tome da ne moramo unapred znati tačne koordinate položaja u kojima završni uređaj obavlja neke operacije. Potrebno je samo znati "gde treba izvršiti operaciju", a merenje položaja se obavlja samim dovođenjem robota tj. završnog uređaja na odgovarajuće mesto.

Osnovna nepogodnost obučavanja vođenjem leži u nemogućnosti da se programiranje robota izvrši unapred. Naime, programiranje se može izvršiti tek kada se robot postavi na proizvodnu liniju. To međutim, predstavlja priličan gubitak vremena, pogotovo ako se proizvodnja obavlja u malim serijama. [8]

Kada govorimo o tekstualnom programiranju kretanja robota, obično podrazumevamo programski jezik pomoću koga čovek-operator komunicira sa robotom i zadaje mu manipulacioni zadatak.

Danas je u upotrebi čitav niz robotskih programskih jezika različitog nivoa složenosti i različite opštosti. Dok su neki jednostavniji prilagođeni određenim primenama, dotle složeniji jezici dostižu priličnu univerzalnost i mogu se koristiti za programiranje niza zadataka u robotici. Upotrebiće se jedan robotski jezik (nazvan FO-ROB) tako što se poznati programski jezik opšte namene – FORTRAN dopuni određenim naredbama i osobinama koje će ga napraviti robotskim jezikom. Jezik koji se na ovaj način formira imaće određene sličnosti sa nekim postojećim robotskim jezicima i to nekada po formi pisanja naredbi, a nekada i po njihovom smislu. [8]

Jedna od osnovnih karakteristika robotskog jezika je mogućnost da pored uobičajenih tipova konstanti i promenljivih (celobrojne i realne), radi i sa konstantama i promenljivima tipa položaja. Ovakva konstanta sadrži u sebi sve informacije o položaju robota. S obzirom na to da se položaj određuje sa šest koordinata (npr. za robot sa šest stepeni slobode), to konstanta tipa položaja sadrži šest brojnih podataka.

Položaj robota je moguće odrediti preko unutrašnjih (q) i preko spoljašnjih (X) koordinata. Otuda postoje dve vrste konstanti položaja. Oznaka:

INTER: 0.785, 0., 1.57, 1.1, 0.2, 0.31#

predstavlja konstantu položaja pri čemu INTER ukazuje da šest brojeva koji slede, razdvojeni zapetama, predstavljaju unutrašnje koordinate robota tj. $q_1 = 0.785$, $q_2 = 0.$, $q_3 = 1.57$, $q_4 = 1.1$, $q_5 = 0.2$, $q_6 = 0.31$. S druge strane kod konstante:

EXTER: 1.52, 1., 1.4, 0.785, 0.2, 1.1#

oznaka EXTER ukazuje na to da šest brojeva koji slede predstavljaju spoljašnje koordinate robota tj. $x = 1.52$, $y = 1.$, $z = 1.4$, $\Theta = 0.785$, $\phi = 0.2$, $\psi = 1.1$. Podrazumeva se da su sve veličine izražene u SI sistemu jedinica (dužine u metrima, a uglovi u radijanima).

Promenljiva tipa položaja označava se nizom alfanumeričkih znakova, na primer A12. Pri tome, slično naredbi DIMENSION, koja se koristi za vektore i matrice, u ovom slučaju se na početku programa koristi naredba POSITION kojom se ukazuje da je neka promenljiva položajna (na primer POSITION A12).

Ako želimo da nekoj položajnoj promenljivoj dodelimo određenu vrednost, tada pišemo naredbu:

A1 = # EXTER: 0., 0.5, 0.8, 0., 1.57, 0.# ,

a moguća je i naredba:

B2 = # EXTER: H1, AC3, UR, STT, SA, SB # , gde su H1, AC3,... realne promenljive koje su definisane u programu pre ove naredbe.

Kada na ovaj način zadajemo položaj robota srećemo se sa jednim značajnim problemom: potrebno je veoma precizno poznavati koordinate željenog položaja. Ovo u praktičnom radu može biti nepogodnost. Naime, u primeru opsluživanja mašine operator zna da radni predmet treba dovesti i spustiti na određeno mesto u mašini, međutim, on, po pravilu, ne zna numerički tačne koordinate te tačke. Zato se programski jezici obično formiraju tako da mogu prihvatiti i podatke dobijene posrednim vođenjem robota. Sada se položaj zadaje na taj način što se robot dovodi u željenu tačku, a zatim kuca naredba:

HERE A1 kojom se promenljivoj A1 daje vrednost trenutnog položaja robota.

Naredbe za kretanje od tačke do tačke. Kretanje robota iz trenutnog položaja u položaj određen promenljivom A1 zadaje se naredbom:

MOVE A1

Kod ove naredbe podrazumeva se da je kretanje do položaja A1 bazirano na upravljanju od tačke do tačke, tj. međupoložaji nisu bitni. Ukoliko se, međutim, želi pravolinijsko kretanje do tačke A1, naredba glasi:

MOVES A1.

Sada je potrebno precizirati i brzinu kretanja. U slučaju upravljanja od tačke do tačke pogodno je zadati vreme prelaska u novu tačku. U tu svrhu koristi se naredba TIME u obliku:

TIME 2.5 ili

TIME T u zavisnosti od toga da li vreme želimo tretirati kao konstantu (2.5 s) ili kao realnu promenljivu (T). Naredba TIME odnosi se samo na naredbu MOVE koja sledi odmah iza nje, na primer:

TIME T

MOVE B2

Zadavanje brzine kretanja robota moguće je i na drugi način koji je posebno pogodan kada se kretanje posmatra u spoljašnjim koordinatama. Tada se naredbom:

SPEED 0.8/1.57 odnosno

SPEED V/OMEG zadaje brzina vrha od 0.8 m/s i brzina promene ugaoone orijentacije od 1.57 rad/s, odnosno brzine V i OMEG.

Brzina se može zadavati i relativno, u odnosu na neku osnovnu brzinu koja se automatski postavlja na početku programa. Tako naredba:

SPEEDR 70 definiše brzinu kao 70 procenata od osnovne brzine.

Brzina definisana naredbom SPEED ili SPEEDR važi sve do nove naredbe SPEED (ili SPEEDR), tj. odnosi se na sva kretanja koja se programski definišu između dve naredbe za brzinu.

Promenljive tipa putanje. Cesto je neophodno obezbediti kretanje robota kroz određeni broj tačaka. Takvo kretanje nazivaćemo putanjom. Razlikovaćemo dve vrste putanja. Prva vrsta definiše se određenim brojem tačaka između kojih se vrši interpolacija. Promenljiva koja predstavlja takvu putanju deklarise se na početku programa naredbom:

PATH P/5/ što znači da promenljiva P predstavlja putanju definisanu sa 5 razdvojenih tačaka. U programu se ovakva putanja zadaje na primer skupom naredbom:

```
P/1/ = A1  
P /2/ = CA  
P /3/ = B  
P /4/ = A5  
P /5/ = # EXTER: 0., 1.5, 1., 0., 0., 0. #
```

čime se zadaje svaka od tačaka koje definišu putanju. Zadavanje može biti preko položajnih promenljivih (A1 CA, ...) ili preko konstanti (kao što je zadato P /5/).

Druga vrsta putanje je kontinualna i određena nizom vrlo bliskih tačaka. U tom slučaju interpolacija nije potrebna. Odgovarajuća promenljiva deklarise se na početku programa naredbom:

PATHC P.

Zadavanje ovakve putanje vrši se po pravilu uz korišćenje ručnog ili posrednog vođenja. Naredbom HE(re)PAT(h)0, tačnije naredbom:

HEPAT0 P otpočinje pamćenje putanje P, a naredbom:

HEPAT1 P se završava.

Kretanje duž putanje. Za kretanje duž putanje prve vrste koristi se naredba:

MOVEP ukoliko se želi interpolacija u unutrašnjim koordinatama, a:

MOVES P ukoliko se želi pravolinijska prostorna interpolacija. Radi dobijanja glatke putanje moguće je izvršiti i kružnu interpolaciju naredbom:

MOVER P. Tada se prva kružnica provlači kroz tačke P/1/, P/2/, P/3/, i robot prati tu putanju. Od tačke P/3/ do P/4/ robot prati novu kružnicu provučenu kroz P/2/, P/3/ i P/4/, a zatim se postupak kružne interpolacije ponavlja.

Praćenje putanje druge vrste zadaje se naredbom:

MOVEC P.

Rad završnog uređaja. Naredbe kojima se određuje rad završnog uređaja u priličnoj meri zavise od vrste uređaja. Univerzalnost naredaba se može postići jedino ako se komunikacija sa završnim uređajem svodi samo na uključivanje i isključivanje. Tada naredbom:

TOOL ON uključujemo završni uređaj (na primer: stiskanje hvataljke, uključivanje pištolja za prskanja, i sl.). Naredbom:

TOOL OFF uređaj se isključuje (širenje hvataljke, zaustavljanje tocila za brušenje i sl.).

Ako je robot opremljen hvataljkom, tada se umesto naredbi TOOL ON i TOOL OF obično koriste naredbe: CLOSEG i OPENG (CLOSED(ripper) i OPENG(ripper)). Ove naredbe ne treba mešati sa FORTRAN-skim naredbama OPEN i CLOSE koje služe za rad sa datotekama.

Naredbe za rad sa završnm uređajem mogu biti i složenije. Na primer:

CLOSEG (DISTANCE = 20 MM) je zahtev da se hvataljka skupi do razmaka prstiju od 20 mm. Naredba:

CLOSEG (FORCE = 1.2) je zahtev da se ostvari sila hvatanja od 1.2 N.

U primeru prskanja boje naredba:

TOOL ON (TIME = 15) obezbeđuje da pištolj bude uključen u trajanju od 15 sekundi.

Konačno, u primeru brušenja naredba:

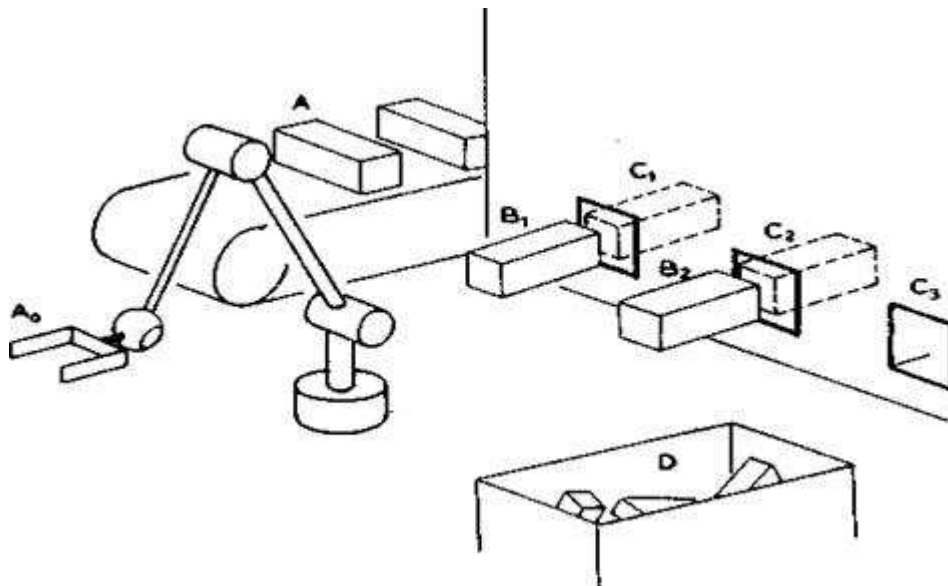
TOOL ON (SPEED = 3 KRPM, FORCE = 20) predstavlja zahtev da se tocilo okreće brzinom od 3.000 obrtaja u minuti i da se ostvari sila pritiska od 20 N.

Uočićemo da one veličine koje su izražene u SI sistemu jedinica ne zahtevaju specificiranje jedinica, dok veličine koje se zadaju u drugim jedinicama zahtevaju preciziranje jedinica (npr. MM i KRPM).

Senzorske informacije tretiraju se kao realne ili logičke promenljive. Ovo drugo se koristi u slučaju binarnih senzora.

Promenljive koje nose senzorsku iniformaciju mogu biti skalarne, vektorske ili matrične, u zavisnosti od karaktera senzora. Na primer, skalama promenljiva od-govaraće senzoru temperature, vektorska promenljiva šestokomponentnom senzoru sile, a matrična promenljiva površinskom senzoru sile.

Nakon što se pogodnim naredbama neka senzorska informacija očita i dodeli joj se određena promenljiva, stoji nam na raspolaganju niz FORTRAN-skih aritmetičkih i logičkih operacija kojima možemo izraziti uticaj senzorske informacije na dalji rad robota. [8]



Slika 6.11. Šema manipulacionog zadatka [8]

Predstavljanje primera jednostavnog robotskog programa:

```

TIME 1.
MOVE# INTER: 0., 0., 1.57, 0., 0., 0.785 #
DT = 0.1
T = 2.
DO I I= 1,10
T1 = 2 * T/3
TIME T1
MOVE# INTER: 1.57,0.785, 2.355, 0., 0.785, 0. #
T2 = T/3
TIME T2
MOVE# INTER: 0., 0., 1.57, 0., 0., 0.785 # 1    T=T - DT
  
```

Izvršavajući ovaj program robot će prvo iz svog trenutnog položaja preći u položaj $q' = (0., 0., 1.57, 0., 0., 0.785)$ za vreme 1 s. Zatim će 10 puta ponoviti ciklus kretanja iz položaja q' u položaj $q'' = (1.57, 0.785, 2.355, 0., 0.785, 0.)$ i natrag. Pri tome, vreme prelaska $q' \rightarrow q''$ je dva puta duže od vremena povratka $q'' \rightarrow q'$. Vreme jednog ciklusa smanjuje se u svakoj iteraciji za 0.1 s, polazeći od 2 s.

Na slici 6.11. prikazan je primer jednog manipulacionog zadatka. Pokretnom trakom dolaze predmeti koje je potrebno hemijski i termički obraditi. Robot kreće iz svog osnovnog položaja (A₀) i dolazi u položaj A gde hvata predmet. Sada sledi proces obrade. Robot donosi predmet u položaj B₁, a zatim ga pravolinijski uvlači u otvor C₁ za nanošenje hemijskog sloja. Nakon 2 sekunde predmet se povlači natrag u B₁. Zatim se pomera u B₂ i onda pravolinijski uvlači u otvor C₂ gde ponovo ostaje 2 sekunde. Isto se ponavlja i sa otvorom C₃, a nakon toga predmet se odlaže u kontejner D. [8]

Programski segment kojim se definiše ovaj zadatak izgledao bi ovako:

```
SPEEDR 80  (podešavanje brzine)
MOVE A     (pokret u A)
CLOSEG     (hvatanje predmeta)
MOVE B1    (pokret u B1)
MOVES C1    (uvlačenje predmeta u otvor C1)
STAY 2.     (robot stoji 2 sekunde)
MOVES B1    (izvlačenje predmeta)
```

deo programa označen sa * ponavlja se analogno za otvore C2 i C3, nakon čega se robot našao u položaju B3

```
MOVE D      (pokret do kontejnera)
OPENG       (puštanje predmeta)
MOVE A0     (povratak u osnovni položaj gde robot čeka novi predmet).
```

Neki robotski jezici radi približavanja određenim praktičnim primenama, sadrže i veoma specifične naredbe. Karakterističan je sledeći primer: Robot često rešava zadatak hvatanja predmeta tako što prvo dovede hvataljku iznad predmeta na visinu, npr., 50 mm sa orijentacijom prema dole, a zatim hvataljku spusti i uhvati predmet. Ako položaj hvatanja označimo sa A, tada treba uvesti međutačku AA vertikalno iznad A za 50 mm. Program za definisanje ovog zadatka izgledao bi ovako:

```
MOVE AA
MOVES A
CLOSEG
MOVES AA
```

nakon čega se robot našao u međupoložaju odakle vrši dalje operacije sa predmetom. Da bi se izbeglo zadavanje međupoložaja AA uvodi se naredba APPRO A50 koja označava zahtev da hvataljka priđe tački A i postavi se na 50 mm iznad nje. Program bi sada izgledao ovako:

```
APPRO A50
MOVES A
CLOSEG
DEPART 50
```

gde naredba DEPART zahteva povratak hvataljke u međupoložaj iznad A.

Još jedna specifičnost je na primer naredba:

```
MOVE A VIA B
```

kojom se zahteva da robot iz trenutnog položaja dođe u položaj A ali da u tom kretanju prođe kroz B. Ovakvo zadavanje pokreta koristi se radi izbegavanja prepreke koja se nalazi između trenutnog položaja i položaja A.

Jedna od najvažnijih specifičnosti koje odlikuju najsavremenije robotske jezike je mogućnost definisanja referentnih sistema ili, pak, mogućnost superpozicije položaja tj. uvođenje relativnog položaja.

U zadatku iz primera sa slike 6.11. zahtevano je uvođenje predmeta u tri otvora. Sam postupak uvođenja bio je identičan za svaki otvor ali se izvodi polazeći iz različitih položaja robota. Program je u primeru napisan tako da su tri puta ponavljane odgovarajuće naredbe. Jasno je da bi u slučaju većeg broja otvora ovakav način pisanja programa bio nefunkcionalan.

Jedan način za rešavanje ovog problema je definisanje referentnih sistema tako da svako uvlačenje bude zadato indentičnim skupom naredaba čime se omogućava formiranje programske petlje.

Drugi način postizanje istog cilja je uvođenje računskih operacija "sabiranja" i "oduzimanja" u skupu položajnih promenljivih. Pri ovome $A+B$ se tretira kao superpozicija tj. B se smatra relativnim položajem u odnosu na A. Ova operacija naziva se i komponovanje. Kod oduzimanja, $E=C-D$ daje relativni položaj C u odnosu na D. [8]

Prilikom pisanja programa za primer sa slike 6.11. koji koristi komponovanje i radi za K otvora, prvo uvodimo promenljivu BB kao relativni položaj tačke B2 u odnosu na B1 i uopšte B_{i+1} u odnosu na B. Takođe, uvodimo promenljivu BC koja predstavlja relativni položaj C_i u odnosu na B. Položaj B1 se zadaje u programu samo kao B. Sada program za primer sa slike 6.11. izgleda ovako:

```
SPEEDR 80
MOVE A
CLOSEG
DO 1 I=1,K
MOVE B
C=B+BC
MOVES C
STAY 2.
MOVES B
IF (I.EQ.K) GO TO 2
B =B + BB
MOVE D
OPENG MOVE A0
```

6.3. Upotreba robota u proizvodnim procesima drvne industrije

Razvojem savremenih tehnologija i usvajanje visokog stepena automatizacije, od numerickih upravljanih mašina, preko obradnih centara do fleksibilnih proizvodnih sistema otvoren je novi pristup preradi drveta i proizvodnji namještaja. Industrijski roboti u drvnoj industriji nalaze primenu u širokom spektru poslova. Najviše se koriste u linijskoj proizvodnji nameštaja za: montažu, lakiranje, lepljenje itd. Takođe se mogu koristiti i za mehaničku obradu drveta, operacije skladištenja kao i kod procesa seče primarne sirovine.

Zahvaljujući primeni industrijskih robota u drvnoj industriji danas se smanjilo vreme proizvodnje namještaja, broj radnika u preduzeću, a povećao se broj gotovih proizvoda i kvalitet proizvoda.

6.3.1. Roboti za manipulaciju predmeta

U poslovima prenosa materijala roboti su, zapravo, zamenili proste manipulacione automate. Za ovakve zadatke prenošenja predmeta sa jednog mesta na drugo često se koristi engleski termin pick-and-place (pick-and-place) operacije. U slučajevima kada radni predmeti koji dolaze imaju uvek istu orijentaciju i položaj na traci tada se obično može koristiti robot proste kinematičke konfiguracije (do četiri stepena slobode). Međutim, ukoliko položaj i orijentacija mogu da se menjaju tada se zahtevaju složenije konfiguracije (do šest stepeni slobode). U ovom drugom slučaju potreban je još i sistem za detekciju položaja i orijentacije predmeta.

Posmatrajući pitanje hvataljki, prvi zahtev je, svakako, da hvataljka odgovara predmetu koji se prenosi. Problem nastaje ukoliko pokretnom trakom stižu različiti predmeti. Tada robot mora imati hvataljku koja može hvatati sve različite predmete. U prostijim slučajevima može se koristiti obična hvataljka koja se za različite predmete stegne do odgovarajuće mere. U složenijim slučajevima koriste se različite vrste univerzalnih (prilagodljivih) hvataljki. Ako robot hvata različite predmete, tada on mora "znati" koji predmet nailazi. Taj podatak mu se može dati sa nekog od viših nivoa upravljanja, ili pak njegovo radno mesto može biti opremljeno sistemom za prepoznavanje oblika.

Složenost upravljačkog sistema zavisiće od složenosti operacije hvatanja. Ukoliko predmet u trenutku hvatanja stoji (zaustavi se traka ili mehanički graničnik zaustavi predmet), tada su mogući relativno prosti upravljački sistemi pošto se postavlja samo problem dovođenja u zadatu tačku (point - to point control). Složenije upravljanje se zahteva u slučaju hvatanja predmeta koji se kreće jer je neophodno ostvariti praćenje zadate putanje. [8]



Slika 6.12. Robot za prenošenje materijala (KUKA) [26]

Montaža i manipulacija sa robotizovanim sistemima „IRIS“ su u potpunosti automatski i kao takvi mogu raditi samostalno, bez nadzora operatera. Efikasnost, pouzdanost, fleksibilnost i jednostavnost korištenja samo su neke od specifičnih karakteristika sistema za robotsko rukovanje i pomeranje proizvoda koje pruža ovaj sistem.

Inženjerske solucije „IRIS HANDLE“ za robotsko rukovanje, montažu, manipulaciju i pomeranje proizvoda posebno dolaze do izražaja korišćenjem jednostavnog i intuitivnog programa za nadzor najnovije generacije koji je instalisan direktno na pokretnom monitoru i time daje korisniku kompletnu kontrolu nad robotizovanim sistemom (daje mogućnost da se postavljaju parametri proizvodnje, dijagnostika, kontrola održavanje, ručne kontrole, i mnogo toga drugo). Posebno se ističe brzina promene vrste proizvodnje i učenje novog oblika proizvodnje, koji može biti izrađen u par trenutaka, omogućavajući time da sistem za rukovanje, montažu i manipulaciju može biti korišćen i za proizvodnju malih količina proizvodnje (male serije). Softverski program je osmišljen kako bi se omogućilo uvođenje novog recepta za nekoliko minuta (čak i od strane osobe koja nije posebno obučena), jednostavno "samoučenjem" par bitnih pozicija i učitavanjem osnovnih dimenzija proizvoda. Robotski sistem za rukovanje, montažu i manipulaciju opremljen je programom za auto dijagnozu koji trenutno prepoznaje potencijalni kvar i prekida proizvodnju da ne bi došlo do oštećenja mašine. U slučaju pojave kvara, operater biva upozoren uz zvuk sirene i prikazom poruke sa opisom potencijalnog kvara. [27]

Robotizovana montaža i manipulacija se pravi korišćenjem komponenata od najpoznatijih proizvođača kao što su: KUKA, ABB, Comau, Fanuc, MOTOMAN i drugih.



Slika 6.13. Softverski program za robotsku manipulaciju predmeta (IRIS HANDLE) [27]

6.3.2. Roboti za paletiranje i pakovanje

Umesto pojedinačnih predmeta, prenos se često vrši u grupama smeštenim u određene spremnike. Tako dolazimo do pojma palete. Paletom nazivamo svaki prenosivi spremnik u kome su radni predmeti složeni na pravilan način (jedan pored drugog, jedan iznad drugog i sl.). Robot uzima predmete sa pokretne trake i slaže ih na paletu. Ovaj posao nazivamo paletiranje. Obrnut posao, kada robot uzima predmete sa palete i stavlja ih na traku, nazivamo depaletiranje. U ovu kategoriju poslova spadaju i zadaci pakovanja. [8]

Kada paleta stigne do mesta obrade, traka se zaustavlja. Robot uzima predmete iz palete i stavlja u mašinu (depaletiranje). Kada su svi predmeti utrošeni, traka se ponovo pokreće da bi dovela novu, punu paletu.



Slika 6.14. Robot za depaletiranje (levo) i pakovanje (desno) (Swedwood Sopron, Mađarska)

Obrnuti problem (paletiranje) javlja se kada robot obrađene predmete slaže na paletu. Zahtevi koji se postavljaju pred upravljački sistem u slučaju paletiranja složeniji su nego u slučaju prostog premeštanja predmeta. U slučaju paletiranja potrebno je pamtiiti veći broj položaja pošto svaki predmet ima svoje mesto na paleti. Međutim, s obzirom na pravilan raspored predmeta na paleti, moguće je pamtiiti samo položaj prvog, a naredne položaje izračunavati rekurzivno tj. dodajući svaki put određeni pomeraj. [8]



Slika 6.15. Robot za paletiranje (Swedwood Sopron, Mađarska)

6.3.3. Roboti za opsluživanje mašina

Mašinska obrada podrazumeva niz postupaka kojima se grubo obrađenim predmetima daje završni oblik. Zajednička karakteristika ovih postupaka je ta da se mehaničkim putem (rezanjem) uklanja višak materijala do postizanja željenog oblika i dimenzija. U pitanju su obradni postupci na strugu, glodalici, itd., kao i postupci brušenja, poliranja i sl.

Tipični obradni sistem sastoji se od mašine za obradu, transportnog sistema za dovoz i odvoz materijala i robota koji opslužuju mašinu. U savremenim pogonima sreću se, po pravilu, tzv. numerički upravljane mašine. Radi se o tome da se željeni oblik predmeta i odgovarajući rad mašine reguliše računarskim programom koji može biti zapamćen na nekoj od memorijskih jedinica (bušena traka, kartice, magnetna traka, disketa i sl.). Ako se na ovaj način formira programska biblioteka koja pokriva određeni broj različitih predmeta, tada je dovoljno signalizirati upravljačkom sistemu koji predmet nailazi i mašina će izvršiti potrebnu proceduru obrade. Tako dolazimo do mogućnosti da obradni sistem uspešno radi i sa velikim i sa malim serijama, pa čak i pojedinačnoj proizvodnji. Da bi se postigle opisane prednosti robot, kao deo obradnog sistema, mora biti programiran tako da podržava fleksibilnost cele ćelije. To se odnosi i na mehaniku robota, na primer, u smislu zahteva za hvataljkom koja odgovara određenom skupu različitih predmeta.

Što se tiče upravljanja robotom ono je u tesnoj vezi sa upravljanjem mašinom, a isto se odnosi i na upravljanje transportnim sistemom. Tako dolazimo do potreba za jedinstvenim upravljanjem celom obradnom ćelijom, gde mašina ili robot predstavljaju podsisteme.

Jedan od zahteva koji se postavljaju pred upravljački sistem je uslov kompatibilnosti sa okruženjem, odnosno mogućnost uklapanja u jedinstveno upravljanje celom proizvodnom ćelijom (obradnim centrom). Dalje, upravljački sistem bi trebalo da obezbedi i visoku ponovljivost koja se često zahteva.

Sa stanovišta geometrije, obično je neophodno da robot raspolaže sa pet do šest stepeni slobode. Takođe, potrebno je da robot, ima mogućnost jednostavne izmene hvataljke, a pogotovo mogućnost korišćenja dvojne hvataljke koja može znatno ubrzati rad. [8]

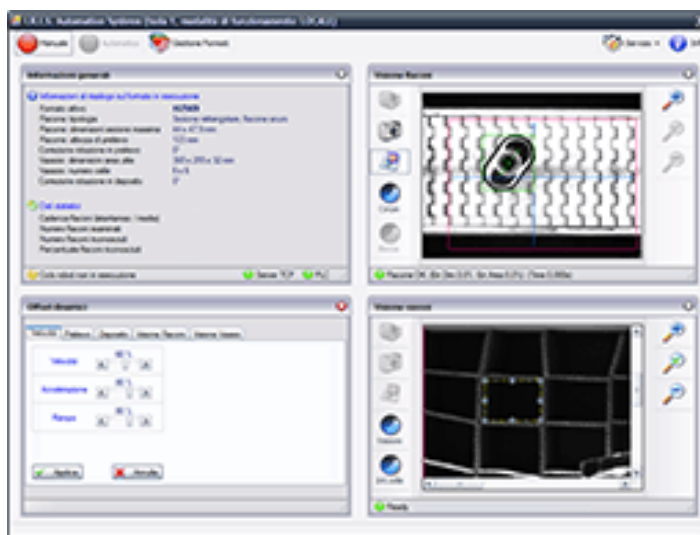


Slika 6.16. Robot za opsluživanje mašina

Robotski sistem za automatsko opsluživanje „IRIS ENS“ je ošmislen i dizajniran tako da zadovolji posebne potrebe za rukovanjem neophodno za automatsko opsluživanje automatskih mašinskih alata kao što su: obradni centri, dubilice, glodalice, prese, itd.

Robotski sistem za automatsko opsluživanje mašina je potpuno automatizovan i može raditi samostalno bez nadzora operatora. Robotski sistem se projektuje prema zahtevima kupca sa ciljem da se prilagodi na novi ili postojeći mašinski alat. U saradnji sa klijentom se bira najpogodnija vrsta opsluživanja, zatim se bira i vrsta robota (Scara, Zglobni, Kartezijanski) onaj koji najviše odgovara zahtevima za traženo opsluživanje. Procenjujući se vrsta robota, veličina i nosivost (do više stotina kilograma) proizvoda koji se manipuliše. Radi realizacije robotskog sistema za opsluživanje, koriste se roboti i komponente najpoznatijih proizvođača, kao što su Kuka, ABB, Comau, Fanuc, Adept, Kawasaki. Robot za automatsko opsluživanje mašina na zahtev, može biti opremljen video kamerama za navođenje robota koristeći softver za prepoznavanje objekata, razvijen da omogući: prepoznavanje, odabir, kontrolu, kvalitet i pogodan trenutak uzimanja proizvoda. Korisnički sistem je jednostavan i intuitivan zahvaljujući programu za parametrizaciju i samoučenje. Pomoću pokretnog upravljačkog monitora, može se odabrati u par sekundi način opsluživanja, koji može biti izabran iz više od deset miliona unapred memorisanih izbora. Na taj način, prekid proizvodnje radi promene formata je sveden na par sekundi, što čini mašinu za opsluživanje pogodnom za rad i sa malim serijama proizvodnje. [28]

Softverski program je napravljen tako da dozvoljava unošenje novog formata za opsluživanje za samo par minuta (čak i od strane radnika ne posebno pripremljenog). Robot za automatsko opsluživanje mašina je opremljen softverom za prepoznavanje mogućih greški i kvarova. Softver u slučaju pojave kvara zaustavlja dalji rad mašine (radi sprečavanja štete), upozorava radnika preko zvuka sirene i preko monitora prikazuje poruku sa opisom problema



Slika 6.17. Softverski program za robotsko automatsko opsluživanje (IRIS ENS) [28]

Kompanija Rethink Robotics predstavila je novi tip fleksibilnog industrijskog robota koji se programira u svega nekoliko minuta i ne predstavlja opasnost ljudskim radnicima oko sebe. Robot je naizgled jednostavan za korišćenje, može da uči i da se prilagodi novim okolnostima.

Baxter ima uobačajene velike robotske ruke, ali njegova glava je ekran sa spokojnim licem.

Programiranje Baxtera za bilo koju radnju na traci traje svega nekoliko minuta, uglavnom pokazivanjem, ali može i preko grafičkog interfejsa. Programirati ga može bilo ko, odnosno, nije potreban specijalista programer. Dovoljno je fleksibilan da može nastaviti raditi i ako predmeti s kojima radi i oko kojih radi nisu uvek u identičnom položaju, tj. ako se pomaknu ili prevrnu. Takođe, dovoljno je "inteligentan" da ne pokosi ljudske radnike oko sebe, pa u Rethink Robotics smatraju da ga uopšte nije potrebno stavljati u posebni kavez jer nikoga ne može povrediti. [29]



Slika 6.18. Robot za opsluživanje mašina Baxter (Rethink Robotics) [29]

6.3.4. Roboti za brušenje i poliranje

Brušenje je proces obrade kod koga se sloj materijala skida u vidu sitnih opiljaka brusnim materijalom. Često se brušenje koristi radi uklanjanja nepravilnosti ili čišćenja površina. Brusilica se sastoji od motora na čiju se izlaznu osovinu montira točak za brušenje napravljen od tvrdog zrnastog materijala.

Brušenje se može izvršiti na dva različita načina. U jednom slučaju robot nosi uređaj za brušenje i pomera ga tako da obezbedi brušenje predviđenih površina. Ovaj pristup je nužan kada se radi o radnim predmetima većih dimenzija ili težina. [8]



Slika 6.19. Robot sa uređajem za brušenje (ABB) [30]

U drugačijem pristupu robot hvata radni predmet i prinosi ga mašini tj. uređaju za brušenje koji je fiksiran (slika 6.20.). Ovo je moguće kada predmeti nisu veliki, a posebno je pogodno kada predmet zahteva obradu na više mašina. Tada se mašine grupišu oko robota i dobija se proizvodna ćelija u kojoj se završava čitav niz obrada. [8]



Slika 6.20. Robot brusi predmet na mašini za brušenje [31]

Poliranje je postupak analogan brušenju s tim što je točak za poliranje napravljen od materijala koji uklanja samo sitne neravnine na predmetu, dakle, glača ga.

Sa stanovišta geometrije robota, zadaci brušenja zahtevaju 6 stepeni slobode, a sa stanovišta upravljanja, glavni problemi javljaju se u praćenju složene kontinualne putanje i ostvarivanju zahtevane sile pritiska na površinu koja se brusi. Dopunski problem unose vibracije koje su uvek prisutne pri brušenju. [8]

6.3.5. Roboti za kontrolu proizvoda

Postupci kontrole se dele u dve osnovne grupe: kontrola geometrijskih i fizičkih osobina i funkcionalna kontrola. U prvu grupu spada kontrola dimenzija, težine, kvaliteta površine, itd. Kontrola geometrijskih i fizičkih osobina vrši se različitim vrstama senzora. Oblik i dimenzije proizvoda mogu se kontrolisati različitim vrstama vizuelnih sistema. Pored oblika i dimenzija vizuelni sistemi mogu ispitivati i kvalitet obrade površine predmeta. Laserski optički senzori koriste se za ispitivanje kvaliteta površine. Laseri se mogu koristiti i za kontrolu dimenzija.

Težina proizvoda kontroliše se korišćenjem različitih vrsta vaga. U cilju merenja sile, vage mogu imati merne trake ili neki drugi senzor. Defekti unutar materijala mogu se detektovati ultrazvučnim senzorskim uređajima.

Funkcionalna kontrola proizvoda podrazumeva testiranje onih specifičnih karakteristika koje određuju namenu i upotrebu proizvoda (funkcionalne karakteristike). Uređaji za testiranje mogu biti različite složenosti.

Automatizacija kontrole proizvoda sadrži automatsko detektovanje neispravnih predmeta i njihovo automatsko odstranjivanje sa pokretne trake. Ovi poslovi se mogu izvesti u obliku tzv. fiksne automatizacije, ili kao fleksibilni sistem koji koristi robote.

Kod kontrole geometrijskih i fizičkih karakteristika, robot može nositi merni uređaj i usmeravati ga prema proizvodu (na ona mesta gde je to potrebno). Tako se mogu detektovati nepravilnosti površina (laserom ili kamerom), dimenzije (kamerom ili taktilnim senzorom), defekti unutar materijala (ultrazvukom), itd. Ovakav postupak primenjuje se kod proizvoda većih dimenzija i to onda kada merni uređaji nisu previše teški ili kabasti.

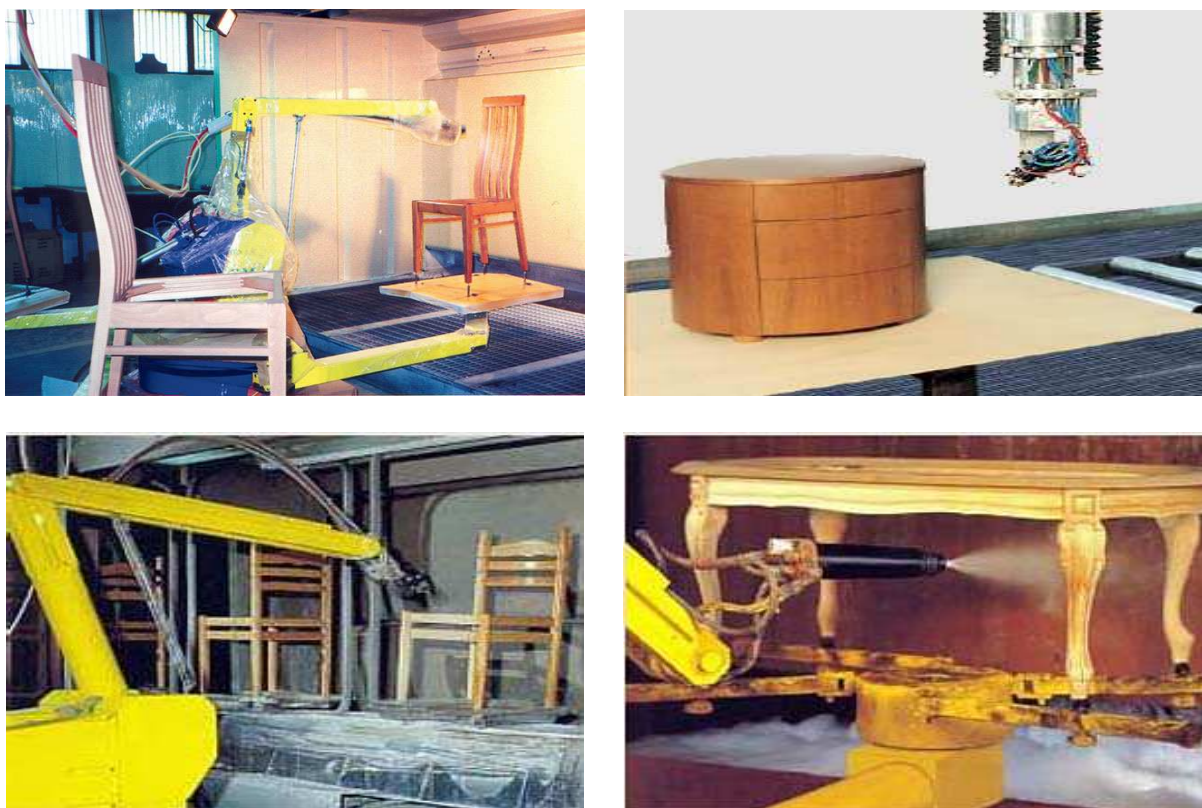
Ako su merni uređaji nepogodni za nošenje, a proizvodi relativno manji, tada se robot koristi da uhvati predmet i prinese ga mernom uređaju. [8]



Slika 6.21. Roboti za kontrolu proizvoda

6.3.6. Roboti za površinsku obradu drveta

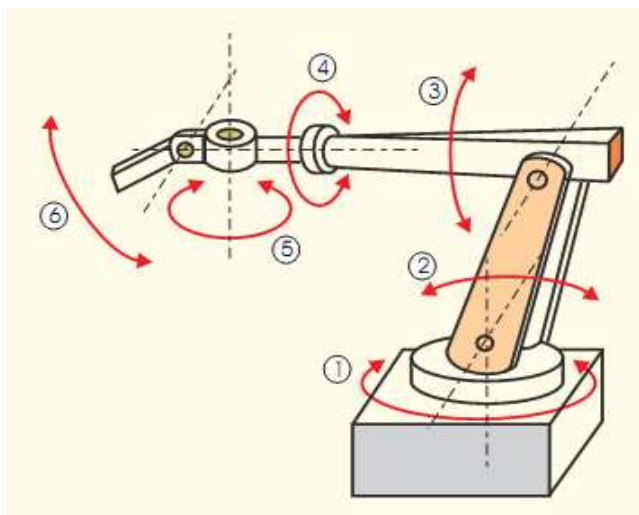
Roboti su univerzalno upotrebljivi automati za prskanje sa više osa kretanja, čiji se redosled kretanja i putanje, odnosno uglovi kretanja mogu slobodno programirati i mogu se senzorski voditi. Stoga roboti mogu da izvedu komplikovana prostorna kretanja (trodimenzionalnu obradu) (slika 6.22.). [5]



Slika 6.22. Robot za prskanje sklopljenih trodimenzionalnih proizvoda (Superfici-Elmag) [32]

Robot pogodan za prskanje sklopljenih trodimenzionalnih proizvoda, stolica ili stolova (slika 6.22.) sastoji se iz više delova (funkcionalnih celina):

1. Uređaja sa kolenastim kinematskim zglobovima – sa pogonom u Ex-zaštiti (eksplozivna zaštita), radnim prostorom kružnog oblika izvan postolja (površine postavljanja), sa 6 osa za translatorska i rotaciona kretanja (slika 6.23.), uz prikladno održavanje putanje kretanja. Brzina kretanja je određena mogućom brzinom nanošenja premaza, uz dati uslovljeni kvalitet.



Slika 6.23. Šema robota sa pokretnom rukom sa tri translatorne (2, 3, 6) i tri rotacione ose (1, 4, 5) [5]

2. Pratećih uređaja – sistemi za promenu boje, vodovi za snabdevanje i po potrebi dodatni uređaji na primer za postavljanje i skidanje predmeta obrade.
3. Upravljačke jedinice – primenjuje se upravljanje po putanjama, jer za prskanje nije pogodan sistem upravljanja tačka-na-tačku. Za upravljanje se putanja koju treba preći, iskazuje mnogim gusto postavljenim jedna do druge tačkama, čije se koordinate mere i memorišu. Uobičajen je postupak da radnik ručno vodi ruku robota duž željene trase, simulirajući sve operacije rada (slika 6.24.). Nakon toga uređaj za kontrolu memoriše sve potrebne informacije za verno ponavljanje naučenog ciklusa.

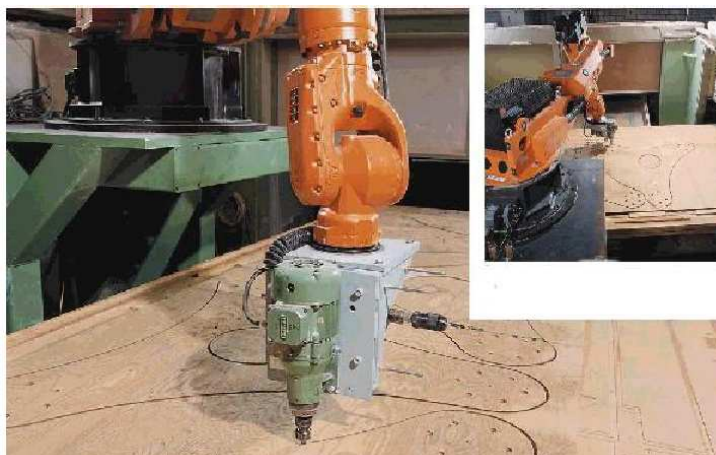
Robot može da ponavlja podučavanja primljena pri varijabilnoj brzini u odnosu na onu pri podučavanju, održavajući pri tom nepromenjenu trajektoriju. Ova mogućnost ponavljanja pri različitim brzinama koristi se za sinhronizovanje brzine robota u linijama za lakiranje u neprekidnom protoku ili za kontrolu tačne količine premaza koja treba da se nanese na predmet. U memoriju se može smestiti više programa i ciklusa koji odgovaraju pojedinim oblicima predmeta obrade, da bi zatim moglo da se pređe s jednog programa na drugi. [5]



Slika 6.24. Simulacija operacije rada pomoću ručnog vođenja robota za prskanje

6.3.7. Roboti za obradu materijala

U ovu grupu industrijskih robota spadaju oni koji obavljaju operacije rezanja, bušenja, profilisanja, itd. Obrada drveta pomoću njih se vrši upotrebom različitih završnih uređaja (end-efektora). Ovde se upotrebljavaju standardni radni alati, a takođe i nekonvencionalni, pa je tako omogućeno i sečenje drveta pomoću lasera i vodenog mlaza.



Slika 6.25. Robot za rezanje i bušenje drveta (KUKA) [26]

Kuka robot (KUKA KR 60) je dizajniran za visoko precizne operacije obrade materijala, za srednji opseg opterećenja (30-60 kg nosivosti). Ima vodom hlađeno radno vreteno HSC (do 35000 min^{-1}). Pomoću softvera KUKA CAMRob 2,0 NC podaci, koji su pripremljeni u skladu sa DIN 66215/DIN 66025, se automatski konvertuju u program robota. Robot je isplativ i upotrebljava se kao alternativa za 5-osne alatne mašine, a koristan je i u maloserijskoj proizvodnji. On vrši obradu u tačnosti od $\pm 0,3 \text{ mm}$. [26]



Slika 6.26. Profilisanje delova stolice od savijenog slojevitog drveta pomoću robota (KUKA) [26]

Savremeni roboti za sečenje pomoću lasera imaju potpuno pokretnu optičku konstrukciju. Operacije sečenja se izvode pokretima robota dok obradak stoji nepokretno baziran. Laserski robot uspostavlja laserski snop duž kontinuirane unapred programirane putanje u trodimenzionalnom prostoru, a zatim seče sa velikom tačnošću, brzinom i kvalitetom. Brzina i ubrzanje duž glavne ose, kod nove generacije laserskih robotskih sistema su 60 m/min i 23 m/s^2 . Integracija laserskog snopa u strukturu robotske ruke pruža velike prednosti u odnosu na konvencionalne sisteme sa spoljašnjim vođenjem laserskih zraka. Sva ograničenja u dostupnosti dimenzionalnim komponentama su eliminisana zbog visoke pokretljivosti i kompaktnog dizajna sa tankim zglobnim modulom. Centar izlaza laserskog snopa je na zglobu, pa 6. osa može biti izostavljena, a slobodan prostor se može koristiti za prolaz snopa. Ovo rešenje nudi sledeće prednosti: kompaktna konstrukcija zgloba robotske ruke, vrlo dobra dostupnost 3-dimenzionalnim komponentama, povoljan rotacioni rad i visok stepen slobode kretanja, velika brzina rezanja, visoka preciznosti putanje rezanja.

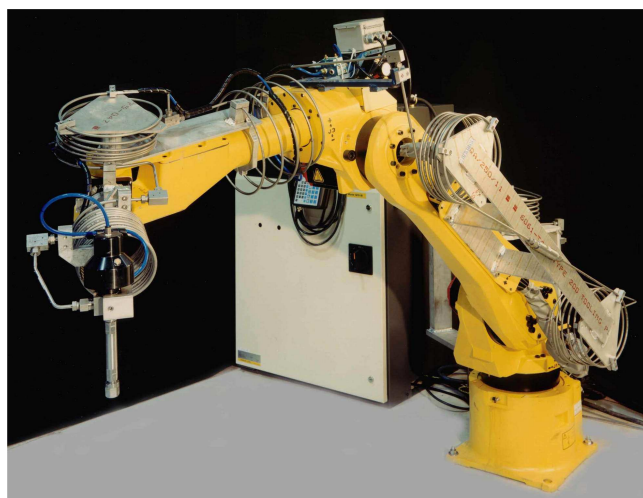
Kod robota za rezanje pomoću lasera je potrebno prilagoditi položaj fokusa objektiva, stvarnom položaju radnog predmeta. Robot je opremljen kapacitivnim senzorom na glavi za prilagođavanje pozicije i fokusiranje objektiva. Senzor je povezan sa robotskom kontrolom i može da čita pravi položaj radnog predmeta. Robot sam pomera sočivo tako da uvek bude pravilno u fokusu. Na ovaj način se dobija najbolji kvalitet reza. Programiranje se vrši putem CAD/CAM sistema, pomoću personalnog računara.

CO_2 laser se montira direktno na ruku robota sa montažnom konzolom. Izlazak laserskog snopa je dijagonalan u odnosu na njegovu osu. Preko dva podesiva ogledala, čija je površina presvučena silikonom, laserski zrak je vođen do četvrte ose robota. Na ruku robota je montiran uređaj sa dva ogledala, takođe presvučena silikonom, koji usmeravaju laserski zrak iz četvrte ose. Na izlaznom kraju ruke montirana je glava za sečenje na kojoj se tačno podešava položaj fokusa snopa, kao i položaj mlaznice za rezanje. [33]



Slika 6.27. Robot za CO_2 lasersko sečenje (Reis Robotics) [33]

Trodimenzijski oblici mogu se seći tehnologijom vodenog mlaza (WaterJet). Na ruku robota montira se uređaj za sečenje i tada je moguće vršiti obradu korišćenjem svih 6 osa. Pomoću običnog vodenog mlaza, mogu se seći drvo i furnirske ploče debljine do 10 mm. Za sečenje debljih materijala koristi se abrazivni vodeni mlaz. Kvalitet dobijenog reza zavisi od brzine sečenja. Brzina sečenja zavisi od debljine materijala i oblika konture koja se reže.



Slika 6.28. Robot za sečenje pomoću vodenog mlaza

Korporacija Flow International je proizvela sistem Mach 4r, koji se sastoji od robota za sečenje vodenim mlazom i video sistema za kontrolu rezanja. Korišćenjem ovog sistema, povećava se produktivnost rada i efikasnost rukovaoca robotom. To omogućava korisnicima da ostvare koristi od preciznog sečenja uglova različitog prečnika i maksimalnog iskorišćenja materijala prilikom brze pravolinijske obrade.

Robot je izrađen od teške livene konstrukcije sa 6 osa obrade. Preventivno održavanje je predviđeno posle 20 000 radnih sati. Domašaj mu je proširen za 3,1 m. Robot koristi najpopularniji i najbrži sistem za sečenje vodenim mlazom (*Flow International Paser® waterjet cutting system*) i to kombinuje sa optimalnom video kontrolom obrade. Dvostruka radna zona omogućava operatoru da učitava program za obradu različitih brzina, pošto je omogućena obrada više vrsta materijala. Podržano je direktno učitavanje CAD fajlova, pa nije potrebno znanje G-koda, kao pri korišćenju CNC mašina. [34]



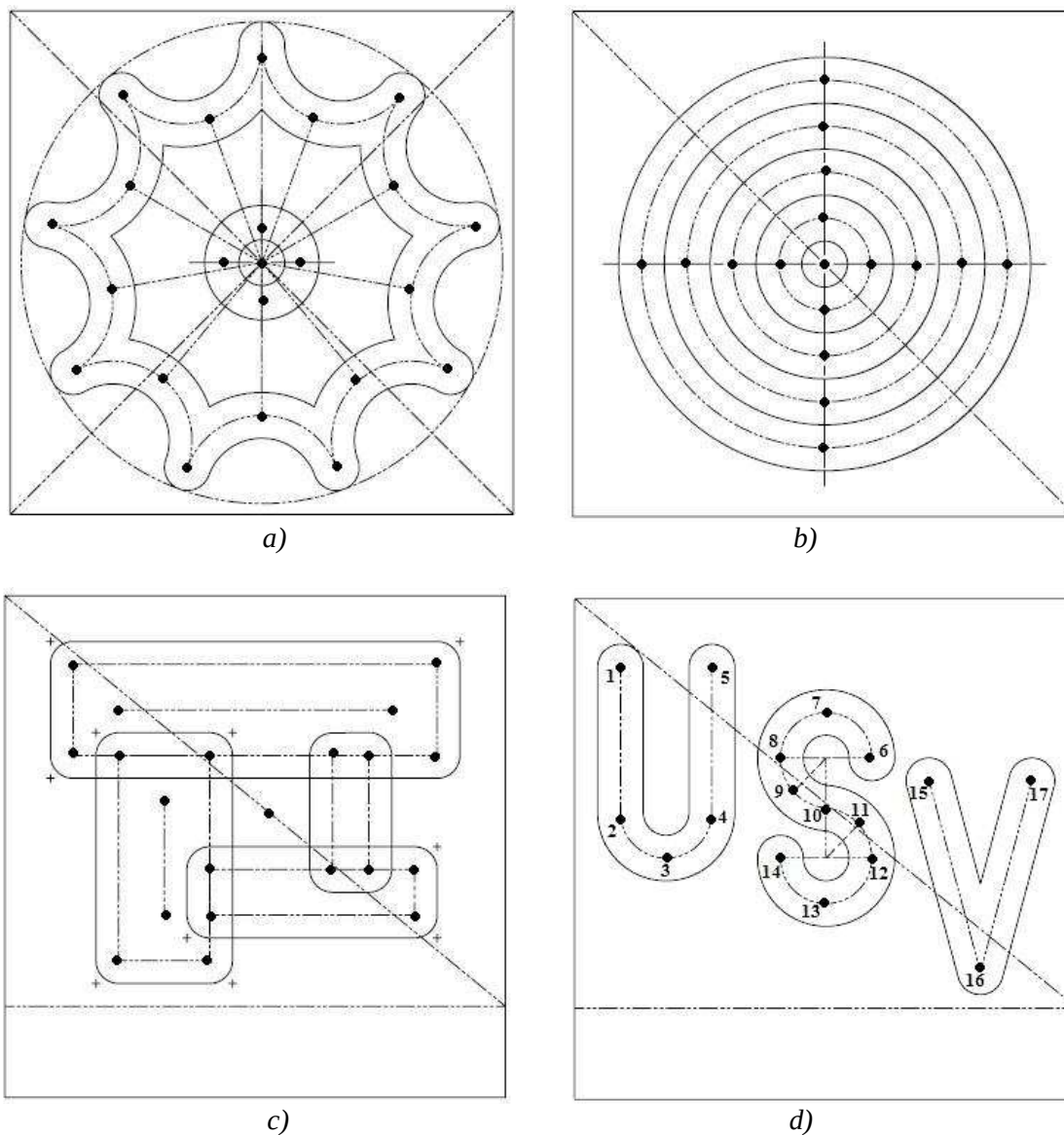
Slika 6.29. Robot za sečenje pomoću vodenog mlaza Mach 4r (Flow International) [34]

6.3.8. Roboti za izradu duboreza

Drvo je skup prirodnih vlakana i pora. Njegova svojstva i zahtevi dimenzionalnih tolerancija nakon mašinske obrade, čine ga veoma pogodnim za rad pomoću robota za izradu duboreza. Ovi roboti mogu biti programirani u standardnim CAM programima, sa posebnim dodacima prilagođenim parametrima operacije glodanja. Velika radna površina omogućava izradu predmeta većih dimenzija, kao što su skulpture i modeli, što nije moguće na klasičnim CNC mašinama.

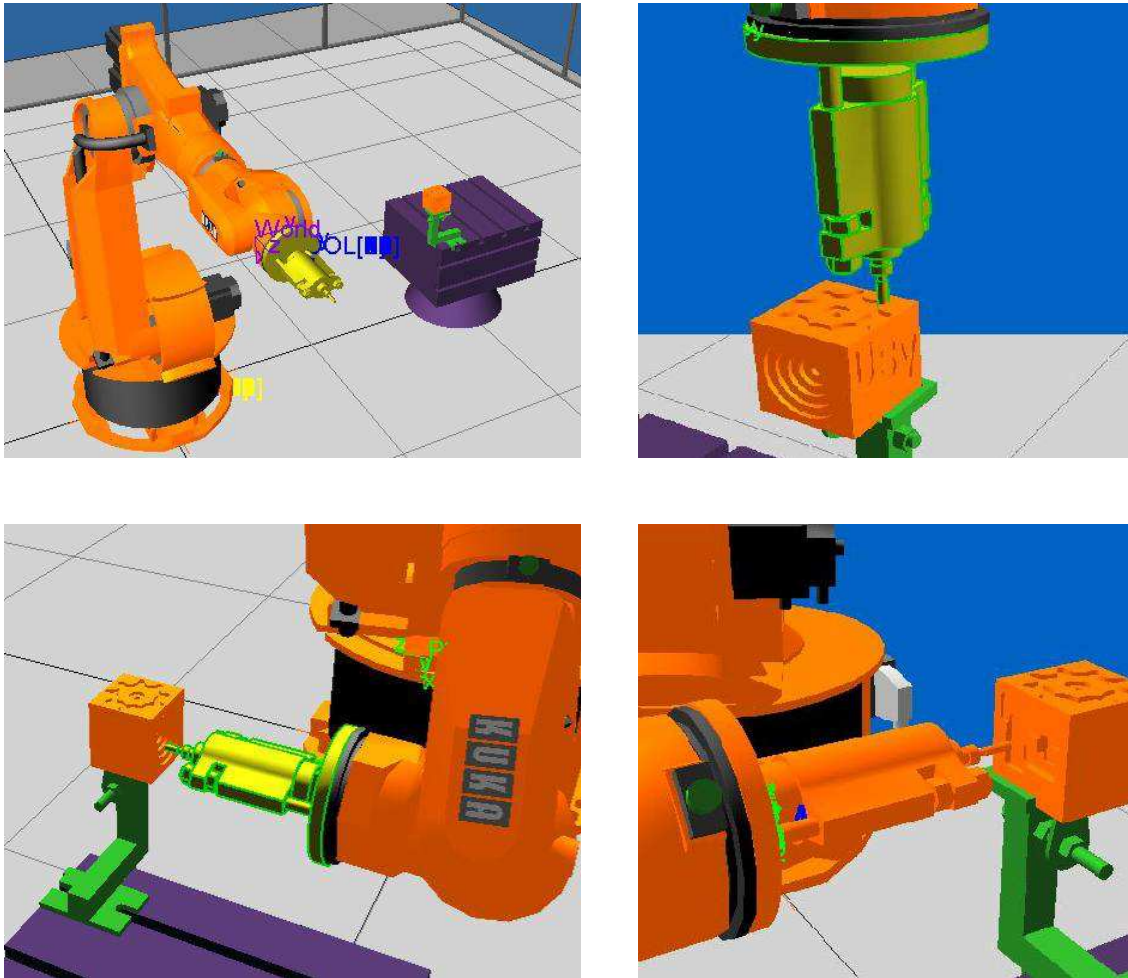
Za izradu duboreza pomoću robota važan je pravilan odabir radnog alata, koji mora biti ispravno fiksiran da ne bi dolazilo do vibracija prilikom obrade predmeta. Na taj način se povećava kvalitet izrade.

Jedan od primera izrade robotskog duboreza je obrada drvene kocke sa različitim izgledom na svakoj strani. Prvo se vrši priprema crteža i simulacija kretanja radnog alata.



Slika 6.30. Izgled putanja kretanja radnog alata

Gotovi crteži se ubacuju u program robota i pokreće se simulacija obrade. Za obradu pomoću robota firme KUKA (Kuka KR 125) koristi se softver Kuka SimPro.



Slika 6.31. Simulacija obrade pomoću softvera Kuka SimPro (Kuka KR 125) [26]

Za obradu slova "U" koriti se 5 tačaka, plus tačke ulaska i izlaska iz materijala. Linearno kretanje će se koristiti između tačaka 1 i 2, odnosno 4 i 5 i između 3 i 5 kružno pokret će se obaviti pomoću tačke 4. Sa slike 6.30. d) se vidi da robot počinje obradu od pozicije "home", u poziciji P1, onda ide pravolinijskom putanjom i ulazi u materijal, obavlja svoje prvo linearno kretanje, a zatim kružni pokret, potom vrši drugo linearno kretanje u drugom delu slova "U", u tački P7 se završava obrada i izlazi iz materijala.

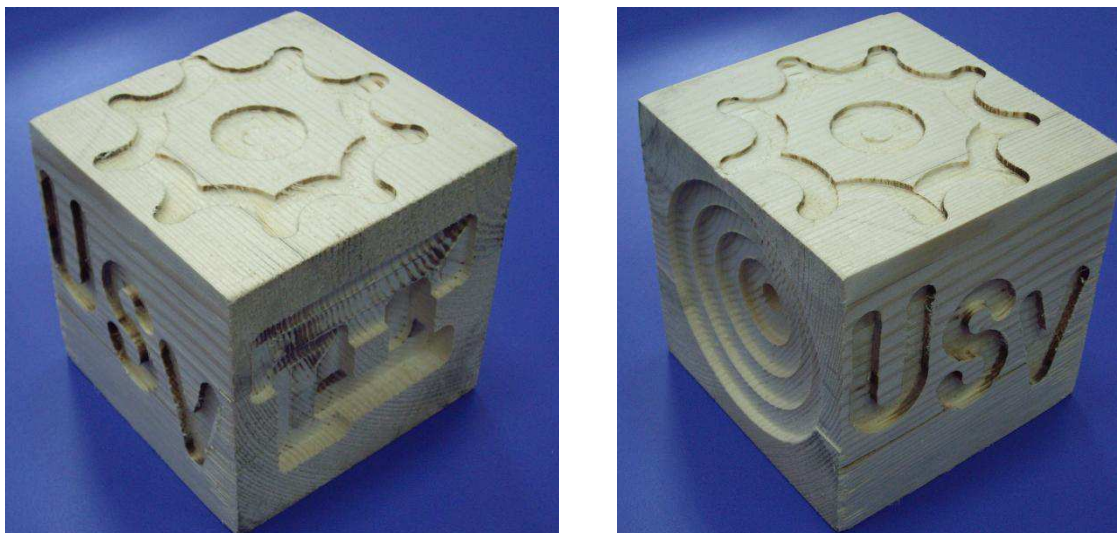
```

2
3   PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
4   PTP P1 Vel= 100 % PDAT2 Tool[13]:frezal Base[14]:frezare2
5   PTP P2 Vel= 100 % PDAT3 Tool[13]:frezal Base[14]:frezare2
6   LIN P3 Vel= 0.2 m/s CPDAT1 Tool[13]:frezal Base[14]:frezare2
7   LIN P4 Vel= 0.2 m/s CPDAT2 Tool[13]:frezal Base[14]:frezare2
8   CIRC P5 P6 Vel= 0.2 m/s CPDAT3 Tool[13]:frezal Base[14]:frezare2
9   LIN P7 Vel= 0.2 m/s CPDAT4 Tool[13]:frezal Base[14]:frezare2
10  LIN P8 Vel= 0.2 m/s CPDAT5 Tool[13]:frezal Base[14]:frezare2

```

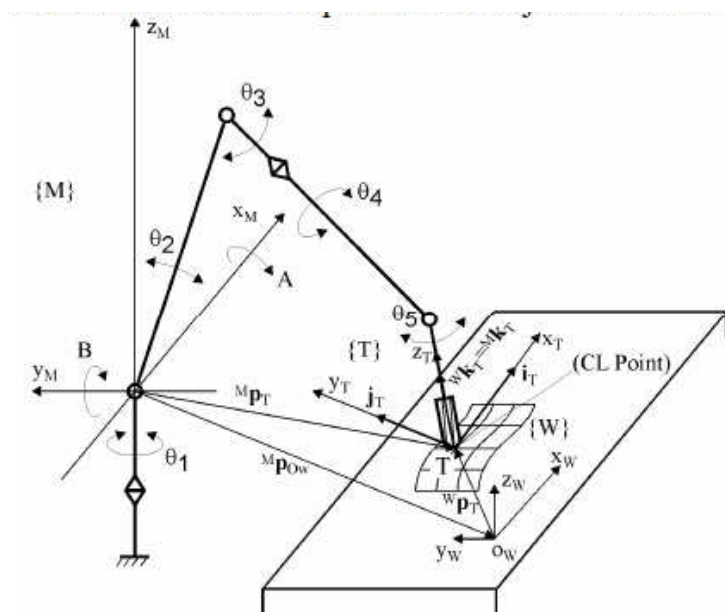
Slika 6.32. Deo robotskog programa za izradu slova „U“

Posle obavljene simulacija obrade i potvrde da je sve urađeno bez grešaka, vrši se pokretanje robotskog programa za različito dubljenje drvene kocke sa svih njenih strana.



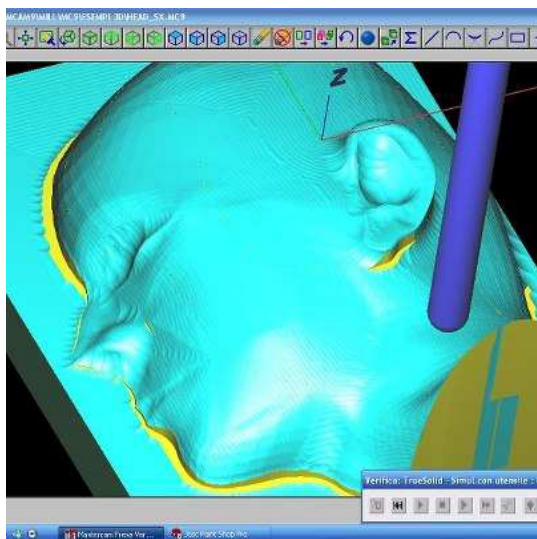
Slika 6.33. Izgled obrađene drvene kocke

Kod robota za izradu modela i skulptura razvijen je specifičan pristup modeliranja koji omogućava realizaciju sistema upravljanja i programiranja. Činjenica da sistem treba da omogući korišćenje postojećih CAD/CAM sistema to je neophodno: uspostaviti koordinatne sisteme mašine $\{M\}$, alata $\{T\}$ i obratka $\{W\}$ po konvencijama za mašine alatke, slika 6.34., definisati unutrašnje i spoljašnje koordinate, rešiti direktni i inverzni kinematički problem i definisati radni prostor. [5]



Slika 6.34. Pozicija i orijentacija alata u koordinatnom sistemu obratka $\{W\}$ i referentnom koordinatnom sistemu robota $\{M\}$ [9]

Korišćenjem rešenja direktne i inverzne kinematike razvijen je specifičan algoritam za određivanje radnog prostora pozicije i orijentacije (tzv. radni prostor veštine). Precizno određivanje radnog prostora veštine kod robota je veoma važno u cilju efikasnog korišćenja.



Slika 6.35. Simulacija i obrada modela pomoću robota za izradu duboreza [26]

Korišćenjem savremenih 7-osnih robota moguće je vršiti izradu modela i skulptura velikih dimenzija. Postolje ovih robota je pokretno, a kreće se pomoću točkova ili putem šina.



Slika 6.36. Robotska izrada modela i skulptura velikih dimenzija [26]

7. ZAKLJUČAK

Furnir predstavlja ono najplemenitije što se može proizvesti od drveta. Stručnjaci samo od najkvalitetnijih i najvrednijih stabala drveta proizvode furnir. Furnir je unikatan proizvod koji potiče iz prirode i na kojem se jasno vide oznake koje poseduje i stablo od kojeg je izrađen a to su godovi i kvrge na stablu kao i prirodna struktura i boja drveta. U svetu već postoji i zaštitni znak proizvoda izrađenih od originalnog furnira koji ističe plemenitost i prirodnost drveta od kojeg je izrađen. Na ovakvim proizvodima vidljivi su godovi stabla koji su jedinstveni i neponovljivi kao što su jedinstveni otisci ljudskih prstiju, a koji na taj način jasno identifikuju poreklo furnira. Furnir se dobija metodama sečenja, rezanja i ljuštenja.

U toku proizvodnog procesa prerade drveta, pojavljuju se štetna isparavanja i drvena prašina, koji mogu negativno delovati na zdravlje radnika. Takođe, čovek nemože u kontinuitetu, duži vremenski period, vršiti inspekciju furnira i uklanjati materijal sa greškama u proizvodu. Zato se u poslednje vreme u upotrebu uvode sistemi za mašinsku vizuelnu kontrolu furnira, koji predstavljaju najsavremeni vid kontrole proizvoda.

Skeniranje furnira obavlja se pri brzinama do 2 m/sek. Listovi furnira se kontinuirano skeniraju na izlazu iz sušare i automatski im se određuje klasa kvaliteta prema zadatim vizuelnim i strukturnim karakteristikama, uz dodatnu proveru oblika i dimenzija lista. Rezultat klasifikacije se može i utisnuti na list koji se automatski sortira u odgovarajući odeljak. Kontrolom ljuštenog furnira određuje se optimalan način krojenja kako bi se iskoristio maksimum materijala uz uklanjanje što većeg broja defekata.

Slojeviti proizvodi od furnira su proizvodi kod kojih je više slojeva furnira međusobno slepljeno lepkom, čime se smanjuje utezanje i bubrenje drveta, a poboljšavaju se mehanička i fizička svojstva. Slojeviti proizvodi od furnira dobijaju se presovanjem u toku tačno određenog vremena, uz određen pritisak i temperaturu.

Za oblikovanje nameštaja od furnira koristi se intarzija. To je umetničko ukrašavanje predmeta od drveta umetanjem parčića drveta i u raznim bojama, tako da budu u istoj ravni sa podlogom. Najčešće korišćeni materijal je furnir u debljini 0,6 – 0,8 mm. Nakon odabira određenih vrsta furnira na osnovu modela, svaki komad se zasebno seče, zatim oblikuje i obrađuje. Slika se dobija lepljenjem na podlogu ovih komada u jednu celinu. Nekada se ceo proces izvodio ručno, a danas se koriste vektorski programi za izradu modela i laseri za sečenje, ali je suština ostala ista – izuzetna veština i visoki estetski kriterijumi su i dalje neophodni da bi se od komada drveta stvorilo pravo malo umetničko delo koristeći floralnu, geometrijsku ili figuralnu ornamentiku. Simulacijom u odgovarajućem kompjuterskom programu može se dočarati finalna slika intarzirane površine i odabrati kombinacija furnira. Najsavremenija priprema i primena furnira kod proizvodnje nameštaja, prikazana je u ovom radu, na primeru Italijanskog preduzeća Elit.

Savijeno slojevito (lamelirano) drvo je sinonim za kvalitet, izdržljivost, istrajnost, udobnost i eleganciju oblika i formi koje se njime postižu. Ovaj način izrade nameštaja je veoma zahtevan, ali daje besprekorne rezultate. Njime se drvo maksimalno iskorištava, otpaci se svode na minimum, a drvo se bilo kojom drugom metodom ne može oblikovati kao talas, spirala i slično. Proizvodi od savijenog slojevitog drveta mogu se naći u maloserijskoj i masovnoj proizvodnji. Nalaze primenu u školskim objektima, sportskim halama, kulturnim dvoranama, konferencijskim salama.

Živimo u vremenu tri dimenzije. U svim sverama života nastaju 3D tehnologije. Zato se došlo na ideju da se proizvode trodimenzionalni furniri i furnirske ploče. Trodimenzionalni furniri i furnirske ploče nastali su kao odgovor na povećanu tražnju za proizvodom koji se može oblikovati u kalupu u tri dimenzije. Primenom trodimenzionalnih furnira i furnirskih ploča dizajnerima se otvara široko polje za realizaciju ergonomske dizajna. Primenom trodimenzionalnih furnira i furnirskih ploča zakoračili smo u novi svet i otvorili mogućnosti proizvodnje do sada teško zamislivih proizvoda. Time još jednom vraćamo drvo na mesto koje mu pripada kao toplom, plemenitom, ekološki čistom i obnovljivom materijalu.

Oblikovanje nameštaja od furnira i furnirskih ploča, predstavlja zahtevan i skup posao. Primenom savremenih tehnologija obrade, industriji nameštaja se otvaraju neograničene mogućnosti. Vodeći svetski dizajneri se utrkuju u kreacijama nesvakidašnjih formi, pomoću kojih ulepšavaju životni prostor.

Najvažniji parametri robota su: ponovljivost, tačnost, rezolucija, veličina radnog prostora, kao i raspodela funkcije nosivosti u okviru radnog prostora. Ponovljivost je rastojanje između ostvarene i željene pozicije ukoliko je robot u željenoj poziciji prethodno bio i zapamtio unutrašnje koordinate koje toj poziciji odgovaraju. Ponovljivost se definiše kao poluprečnik kruga koji obuhvata sve tako dostignute položaje. Tačnost je rastojanje u prostoru između ostvarene i zadate (komandovane) pozicije ukoliko robot u komandovanoj poziciji nije prethodno bio. Rezolucija je najmanji pomeraj komandovanog pokreta koji se može realizovati. Veličina rezolucije je posledica ograničenog broja bitova digitalnog upravljačkog sistema robota. Roboti imaju i za red veličina bolju ponovljivost od tačnosti.

Iz same definicije industrijskog robota kao univerzalne, višefunkcionalne, programabilne mašine za izvršavanje različitih zadataka u industriji, vidimo da je programabilnost jedna od osnovnih karakteristika. Programabilnost ili mogućnost reprogramiranja znači da se programirana kretanja i pomoćne funkcije mogu menjati bez fizičke promene odnosno intervencije na samom robotu. Programiranje kretanja šest osa koje nisu kartezijske što je slučaj kod većine robota čini ovaj problem mnogo složenijim nego što je to slučaj sa NU mašinama alatkama. Na složenosti doprinosi potreba uvođenja senzorskih informacija kao i potreba sinhronizacije rada sa tehnološkim okruženjem odnosno periferijom (mašine, konvejer).

Kako bi izvršio potrebnu korisnu radnju robot mora biti programiran. Robotskim se programom najčešće definiše trajektorija koju sledi završni uređaj robota (engl. end-effector), kao i robotsko delovanje kojim se omogućuje izvođenje kompletnog radnog ciklusa.

U zavisnosti od nivoa sofisticiranosti upravljačke jedinice robotskog sistema, postoje dva tipa upravljanja i to: tačka po tačka – PTP (engl. point to point) i konturno ili upravljanje sa kontinuiranom putanjom – CP (engl. continuous path). Kod robota tipa “tačka po tačka” trajektorija završnog uređaja se definiše nizom tačaka koje se nalaze na trajektoriji preko kinematike upravljanja ili spoljašnjih koordinata. Ukoliko se trajektorija definiše preko spoljašnjih koordinata, upravljačka će jedinica, primenom inverzne kinematike, izračunati odgovarajuće upravljane koordinate. Što je veći broj tačaka kojima se definiše željena trajektorija, to će kretanje završnog uređaja biti tačnije. Upravljački sistemi CP tipa upravljaju simultanim kretanjima pojedinih osa omogućavajući da se završni uređaj kreće od jedne do druge tačke manipulacionog prostora po utvrđenoj zakonitosti.

Kod savremenih industrijskih robota srećemo dva osnovna načina programiranja kretanja: programiranje vođenjem, tekstualno programiranje. Ova dva načina, međutim, ne treba razdvajati kao dva potpuno različita koncepta koji se međusobno isključuju. Oni se često dopunjuju da bi se iskoristile prednosti svakog od njih. Programiranje vođenjem podrazumeva da se u fazi obučavanja robot vodi putanjom koja se zahteva pri izvršenju zadatka. Tada robot pamti izvršeno kretanje i ponavlja ga kada se to od njega zahteva tj. u fazi praktičnog rada. Ovo je bila osnovna ideja, dakle obučavanje pokazivanjem, međutim pri realizaciji ovog pristupa pojavljuje se niz razlika. Tako, prema načinu vođenja razlikujemo ručno vođenje i posredno vođenje.

Ručno vođenje podrazumeva da čovek-operator ručno vodi završni uređaj robota onako kako on u praktičnom radu treba da se kreće. U slučaju da je robot masivan i nepogodan za ručno vođenje projektuje se poseban mehanizam čija je geometrija identična sa geometrijom robota ali su mase značajno manje. Sada u fazi obučavanja operator ručno vodi ovu laganu "kopiju" robota. Posredno vođenje je savremeniji način programiranja robota. Robot se kreće sledeći komande koje čovek-operator zadaje pomoću jedne vrste daljinskog upravljača (najčešći engleski termin je: teach pendant). Na ovom uređaju za obuku, koji je oblika kutije i veličine šake, nalaze se prekidači i dugmad kojima se upravlja radom robota.

Kada govorimo o tekstualnom programiranju kretanja robota, obično podrazumevamo programski jezik pomoću koga čovek-operator komunicira sa robotom i zadaje mu manipulacioni zadatak. Danas je u upotrebi čitav niz robotskih programskih jezika različitog nivoa složenosti i različite opštosti. Dok su neki jednostavniji prilagođeni određenim primenama, dotle složeniji jezici dostižu priličnu univerzalnost i mogu se koristiti za programiranje niza zadataka u robotici. Jedna od osnovnih karakteristika robotskog jezika je mogućnost da pored uobičajenih tipova konstanti i promenljivih (celobrojne i realne), radi i sa konstantama i promenljivima tipa položaja. Ovakva konstanta sadrži u sebi sve informacije o položaju robota. S obzirom na to da se položaj određuje sa šest koordinata (npr. za robot sa šest stepeni slobode), to konstanta tipa položaja sadrži šest brojnih podataka. Položaj robota je moguće odrediti preko unutrašnjih (q) i preko spoljašnjih (X) koordinata.

Razvojem savremenih tehnologija i usvajanje visokog stepena automatizacije, od numeričkih upravljanih mašina, preko obradnih centara do fleksibilnih proizvodnih sistema otvoren je novi pristup preradi drveta i proizvodnji namještaja. Industrijski roboti u drvnoj industriji nalaze primenu u širokom spektru poslova. Najviše se koriste u linijskoj proizvodnji nameštaja za: montažu, lakiranje, lepljenje itd. Takođe se mogu koristiti i za mehaničku obradu drveta, operacije skladištenja kao i kod procesa seče primarne sirovine.

U ovom radu je predstavljeno dostignuće u primeni robota, na primeru preduzeća Swedwood Sopron iz Mađarske, koje posluje u okviru Švedske grupacije za proizvodnju nameštaja IKEA. Ovde je, takođe, predstavljena najsavremenija tehnologija izrade duboreza pomoću robota.

Zahvaljujući visokom nivou automatizacije proizvodnih procesa u drvnoj industriji, danas se smanjilo vreme proizvodnje nameštaja, broj radnika u preduzeću, a povećao se broj gotovih proizvoda i kvalitet proizvoda.

8. LITERATURA

- [1] Skakić D., Krdžović A. (2002): Finalna prerada drveta, Šumarski fakultet, Beograd
- [2] Nikolić M. (2004): Furniri i slojevite ploče, Građevinska knjiga, Beograd
- [3] Ćurčić S. (2006): Nekonvencionalni postupci obrade, Tehnički fakultet, Čačak
- [4] Milikić D. (2002): Nekonvencionalni postupci obrade, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [5] Jaić M., Živanović R. (2000): Površinska obrada drveta, Šumarski fakultet, Beograd
- [6] Doleček V., Karabegović I. (2002): Robotika, Tehnički fakultet, Bihać
- [7] Borovac B., Đorđević G., Rašić M., Raković M. (2007): Industrijska robotika, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [8] Potkonjak V. (1996): Robotika, Elektrotehnički fakultet, Beograd
- [9] Milutinović D. (2000): Industrijski roboti, Mašinski fakultet, Beograd
- [10] Popović M. (1996): Senzori u robotici, Viša elektrotehnička škola, Beograd
- [11] Šuletić R. (2001): Fleksibilni proizvodni sistemi u industriji nameštaja, Šumarski fakultet, Beograd
- [12] Grladinović T. (1999): Upravljanje proizvodnim sustavima u preradi drva i proizvodnji namještaja, Šumarski fakultet, Zagreb
- [13] <http://www.lenderink.com/veneer-cuts/> (Posećeno 25. oktobra 2012.)
- [14] <http://www.ormamacchine.it/italiano/produzione/frame1.htm> (Posećeno 25. oktobra 2012.)
- [15] <http://pocap.ru/other/853-gibkaya-fanera> (Posećeno 10. novembra 2012.)
- [16] <http://inhabitat.com/milan-furniture-fair/> (Posećeno 10. novembra 2012.)
- [17] <http://www.punkalive.fi/product-cat/elementit/> (Posećeno 10. novembra 2012.)
- [18] <http://www.enterijer.rs/content/dekoracija-intarzijom> (Posećeno 11. novembra 2012.)

- [19] <http://www.zanati.org/srb/intarzija.html> (Posećeno 11. novembra 2012.)
- [20] <http://www.sredidom.com/ideja-za-uredjenje-stana/namestaj-od-lameliranog-drвета/>
(Posećeno 02. decembra 2012.)
- [21] <http://retaildesignblog.net/2012/09/12/llstol-multi-functional-lounge-chair/>
(Posećeno 03. decembra 2012.)
- [22] <http://www.reholz.de/© Reholz GmbH/index.php> (Posećeno 08. decembra 2012.)
- [23] <http://www.danzer.com/3D-Veneers/Processing-Technology.3064.0.html>
(Posećeno 08. decembra 2012.)
- [24] <http://www.tapo.hr/proizvodi/read/231/214> (Posećeno 08. decembra 2012.)
- [25] http://legno.fordaq.com/fordaq/news/Reholz_Danzer_Furnier_Formteile_Sitzmöbel_Türen_Möbel_19652.html
(Posećeno 08. decembra 2012.)
- [26] http://www.kuka-robotics.com/en/solutions/branches/wood_furniture/start.htm
(Posećeno 09. januara 2013.)
- [27] <http://www.iris-it.com/yu/proizvodi/robotika/robot-za-rukovanje-i-pomeranje-proizvoda.html>
(Posećeno 09. januara 2013.)
- [28] <http://www.iris-it.com/yu/proizvodi/robotika/opsluzivanje-masina-robotom.html>
(Posećeno 09. januara 2013.)
- [29] <http://www.automatika.rs/vesti/robotika/upoznaj-novu-generaciju-industrijskih-robota-baxter-robot-video.html>
(Posećeno 10. januara 2013.)
- [30] <http://www.abb.com/robots> (Posećeno 10. januara 2013.)
- [31] http://www.wood-unlimited.com/Lackzwischenschliff_d.htm (Posećeno 11. januara 2013.)
- [32] <http://www.elmag.it/en/Base.htm> (Posećeno 11. januara 2013.)
- [33] <http://www.reisrobotics.de/produkte/robots> (Posećeno 12. januara 2013.)
- [34] <http://news.thomasnet.com/fullstory/Robotic-Waterjet-and-Saw-System-optimizes-countertop-cutting-589082>
(Posećeno 12. januara 2013.)
- [35] <http://www.visor.hr/hr/proizvodi/drvna-industrija/> (Posećeno 23. januara 2013.)
- [36] <http://www.matrox.com/imaging/en/press/feature/wood/lumbersupport/>
(Posećeno 23. januara 2013.)

SPISAK KORIŠĆENIH OZNAKA

P	(kW)	snaga upravnog grejanja
Q	(kJ)	količina toplote
t	(sec)	vreme grejanja
G	(kg)	masa obratka
c	(kJ/kg°C)	specifična toplota drveta zajedno sa lepkom
ΔT	(°C)	priraštaj temperature, razlika konačne i početne temperature
η		koeficijent toplotnog iskorišćenja
V	(cm ³)	zapremina obratka
p		zapreminska gustina
s	(cm ²)	površina lepljenja
P_0	(W/cm ²)	specifična snaga
I_n	(cm ⁴)	momenat inercije svake pojedine lamele u otpresku
b	(cm)	širina otpreska
h_i	(cm)	debljina lamele (furnirskog lista)
I	(cm ⁴)	momenat inercije otpreska
H	(cm)	debljina otpreska
r_p	(mm)	konstruktivni poluprečnik patrice
r_m	(mm)	konstruktivni poluprečnik matrice
q_i	(MPa)	specifični pritisak u posmatranoj tački šablona
q	(MPa)	dati (zadani) specifični pritisak
α		ugao koji zatvara linija povučena iz centra upravno na tangentu
b_{doz}	(cm)	dozvoljena širina otpreska

SPISAK SLIKA

Slika 2.1.	Proizvodnja furnira	(str. 9)
Slika 2.2.	Načini dobijanja sečenog furnira	(str. 9)
Slika 2.3.	Način dobijanja ljuštenog furnira	(str. 11)
Slika 2.4.	Tehnologija izrade “Fajn Lajn” (<i>Fine Line</i>) furnira	(str. 12)
Slika 2.5.	Automatska vizuelna kontrola furnira	(str. 12)
Slika 2.6.	Korisnički panel za automatsku vizuelnu kontrolu furnira	(str. 13)
Slika 2.7.	Mašinska automatska vizuelna kontrola furnira	(str. 13)
Slika 2.8.	Furnirska (šper) ploča: (gore levo troslojna, gore desno petoslojna, dole višeslojna)	(str. 14)
Slika 2.9.	Konstruisanje furnirske (šper) ploče	(str. 15)
Slika 2.10.	Načini slaganja furnira pri konstruisanju troslojne furnirske (šper) ploče	(str. 16)
Slika 2.11.	Različite vrste specijalne (savitljive) furnirske ploče	(str. 17)
Slika 2.12.	Nameštaj izrađen upotrebom specijalne (savitljive) furnirske ploče	(str. 17)
Slika 2.13.	Lamelirani elementi iz furnira – LVL	(str. 18)
Slika 2.14.	Konstruisanje i izrada lameliranih elemenata iz furnira – LVL	(str. 19)
Slika 2.15.	Nameštaj izrađen od lameliranih elemenata iz furnira – LVL (kolekcija PunkAlive, proizvođač Finnforest – Finska)	(str. 19)
Slika 3.1.	Muzejski primerci nameštaja sa intarzijom od furnira	(str. 20)
Slika 3.2.	Savremeni nameštaj sa intarzijom od furnira	(str. 21)
Slika 3.3.	Šematski prikaz principa rezanja laserskim snopom	(str. 22)
Slika 3.4.	Sečenje furnira CO ₂ laserom i izgled gotovih intarzija (Elit, Italija)	(str. 23)
Slika 3.5.	Lasersko sečenje bukovog furnira (Elit, Italija)	(str. 24)
Slika 3.6.	Sečenje vodenim mlazom (levo sečenje abrazivnim vodenim mlazom, desno sečenje čistim vodenim mlazom)	(str. 25)
Slika 3.7.	Principijelna šema i način sečenja vodenim mlazom	(str. 26)
Slika 3.8.	Principijelna šema i izgled CNC mašine za sečenje vodenim mlazom	(str. 27)
Slika 3.9.	Sečenje furnira vodenim mlazom	(str. 27)
Slika 4.1.	Zaobljenja na elektrodama i paralelno grejanje	(str. 33)
Slika 4.2.	Konstruktivni parametri šablona	(str. 34)
Slika 4.3.	Raspored pritiska na površini otpreska	(str. 36)
Slika 4.4.	Otpresak veće debljine od projektovane	(str. 37)
Slika 4.5.	Otpresak manje debljine od projektovane	(str. 37)
Slika 4.6.	Grafikon zavisnosti specifičnog pritiska od promene ugla α_i	(str. 38)
Slika 4.7.	Otpresci – elementi (delovi) složenog oblika	(str. 39)
Slika 4.8.	Ugao nagiba bokova matrice	(str. 40)
Slika 4.9.	Položaj otpreska u šablonu	(str. 40)
Slika 4.10.	Konstrukcija šablona za izradu otpreska jednostavnog oblika	(str. 41)
Slika 4.11.	Segmentna presa	(str. 41)
Slika 4.12.	Način dobijanja otpresaka od slojevitog drveta (Orma, Italija)	(str. 42)

Slika 4.13.	Nameštaj od savijenog slojevitog (lameliranog) drveta (Aswoon®/Susan Woods Studio)	(str. 43)
Slika 4.14.	LLSTOL (prototip izrađen na Arhitektonskom fakultetu u Ljubljani, Slovenija)	(str. 44)
Slika 4.15.	Modelovanje i projektovanje stolica od savijenog slojevitog drveta za javne ustanove	(str. 45)
Slika 5.1.	Trodimenzijski (3D) furniri i furnirske ploče	(str. 46)
Slika 5.2.	Tehnologija izrade trodimenzionalnih (3D) furnira i furnirskih ploča	(str. 47)
Slika 5.3.	Stolica „Three skin“ (dizajner Ron Arad, Velika Britanija, proizvođač Moroso Spa, Španija)	(str. 48)
Slika 5.4.	Stolica „Loop“, linija Infiniti (dizajner Claus Breinholt, Danska, proizvođač Omp group, Italija)	(str. 48)
Slika 5.5.	Softverska analiza opterećenja naslona i sedišta kod stolice „XUS“ (dizajner Peter Karpf, Danska, proizvođač Iform, Švedska)	(str. 49)
Slika 6.1.	Ilustracija tačnosti i ponovljivosti industrijskih robota	(str. 50)
Slika 6.2.	Radni prostor robota i maksimalno dozvoljeno opterećenje na prirubnici hvataljke na različitim pozicijama u koordinatnom sistemu osnove	(str. 51)
Slika 6.3.	Zaštita radne okoline robota	(str. 54)
Slika 6.4.	Senzori kod industrijskih robota	(str. 55)
Slika 6.5.	Načini kretanja završnog uređaja kod PTP programiranja	(str. 57)
Slika 6.6.	Tipovi interpolacije	(str. 57)
Slika 6.7.	Primer linearne interpolacije	(str. 58)
Slika 6.8.	Šematski prikaz ručnog vođenja robota za farbanje	(str. 59)
Slika 6.9.	Uređaj za obuku	(str. 60)
Slika 6.10.	Šematski prikaz načina vođenja robota	(str. 61)
Slika 6.11.	Šema manipulacionog zadatka	(str. 66)
Slika 6.12.	Robot za prenošenje materijala (KUKA)	(str. 70)
Slika 6.13.	Softverski program za robotsku manipulaciju predmeta (IRIS HANDLE)	(str. 70)
Slika 6.14.	Robot za depaletiranje (levo) i pakovanje (desno) (Swedwood Sopron, Mađarska)	(str. 71)
Slika 6.15.	Robot za paletiranje (Swedwood Sopron, Mađarska)	(str. 71)
Slika 6.16.	Robot za opsluživanje mašina	(str. 72)
Slika 6.17.	Softverski program za robotsko automatsko opsluživanje (IRIS ENS)	(str. 73)
Slika 6.18.	Robot za opsluživanje mašina Baxter (Rethink Robotics)	(str. 74)
Slika 6.19.	Robot sa uređajem za brušenje (ABB)	(str. 75)
Slika 6.20.	Robot brusi predmet na mašini za brušenje	(str. 75)
Slika 6.21.	Roboti za kontrolu proizvoda	(str. 76)
Slika 6.22.	Robot za prskanje sklopljenih trodimenzionalnih proizvoda (Superfici-Elmag)	(str. 77)
Slika 6.23.	Šema robota sa pokretnom rukom sa tri translatorne (2, 3, 6) i tri rotacione ose (1, 4, 5)	(str. 78)
Slika 6.24.	Simulacija operacije rada pomoću ručnog vođenja robota za prskanje	(str. 78)
Slika 6.25.	Robot za rezanje i bušenje drveta (KUKA)	(str. 79)
Slika 6.26.	Profilisanje delova stolice od savijenog slojevitog drveta pomoću robota (KUKA)	(str. 79)

Slika 6.27.	Robot za CO2 lasersko sečenje (Reis Robotics)	(str. 80)
Slika 6.28.	Robot za sečenje pomoću vodenog mlaza	(str. 81)
Slika 6.29.	Robot za sečenje pomoću vodenog mlaza Mach 4r (Flow International)	(str. 81)
Slika 6.30.	Izgled putanja kretanja radnog alata	(str. 82)
Slika 6.31.	Simulacija obrade pomoću softvera Kuka SimPro (Kuka KR 125)	(str. 83)
Slika 6.32.	Deo robotskog programa za izradu slova „U“	(str. 83)
Slika 6.33.	Izgled obrađene drvene kocke	(str. 84)
Slika 6.34.	Pozicija i orijentacija alata u koordinatnom sistemu obratka {W} i referentnom koordinatnom sistemu robota {M}	(str. 84)
Slika 6.35.	Simulacija i obrada modela pomoću robota za izradu duboreza	(str. 85)
Slika 6.36.	Robotska izrada modela i skulptura velikih dimenzija	(str. 85)

SPISAK TABELA

Tabela 4.1.	Minimalni poluprečnici krivine u zavisnosti od debljine i vlažnosti furnira	(str. 29)
Tabela 4.2.	Uglovi nagiba bokova matrice	(str. 40)