1. Osnovni pojmovi i definicije

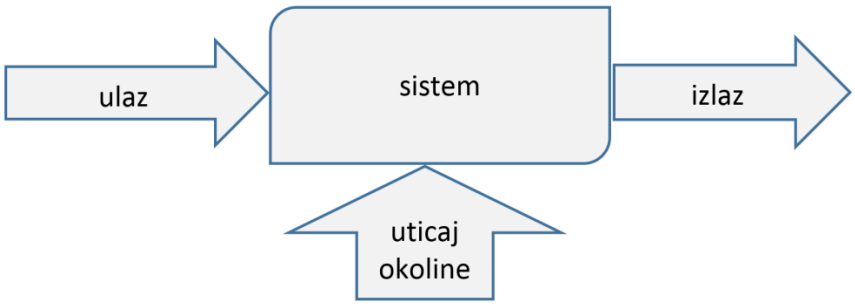
U ovom, prvom dijelu su date neke osnovne definicije, koje su potrebne za izučavanje ovog predmeta. To su definicije proizvodnje, sistema, procesa, stanja, poslovni, proizvodni, tehnološki i obradni sistem i proces te podjela sistema i tehnoloških procesa, kao i pojmovi tehnologija i metod.
Teorija sistema je nauka koja se bavi izučavanjem sistema i zakonitostima koje u njima vladaju. Nastala je iz potrebe pronalaženja takvih naučnih i praktičnih metoda pomoću kojih bi se na naučni način analizirali i rješavali problemi kod kojih tradicionalne i uobičajene metode, razvijene u drugim naučnim područjima, ne daju zadovoljavajuće rezultate [1].

1.1.Proizvodnja

Može se navesti više različitih definicija proizvodnje. Prva definicija: ***Proizvodnja*** je bitan činilac ekonomskog i društvenog razvoja, koji predstavlja kontinuirano i smišljeno djelovanje ljudi na prirodu i prirodne materije radi dobijanja proizvoda odgovarajućeg kvaliteta i vrijednosti. Druga definicija bi mogla biti: ***Proizvodnja*** je usmjerena djelatnost, koja ima za cilj dobijanje proizvoda korisnih za društvo čija struktura varira u širokim granicama, kako po vrsti tako po obimu, tačnosti i sl. U literaturnim izvorima se mogu naći i druge slične definicije.

1.2. Sistem

Sistem je skup više elemenata koji su međusobno povezani, tj. koji imaju interaktivno dejstvo. Ova definicija je prilično apstraktna, tako da se kao primjer sistema može navesti i planetarni sistem – skup više planeta povezanih silom gravitacije, a može se navesti i vrlo jednostavan sistem, kao šro je ormar – skup više dijelova povezanih vijcima ili sličnim vezama. Posmatrano na ovaj način može se reći da je i čovjek sistem, koji se opet sastoji od više podsistema, tj. sistema organa, kao što su kardiovaskularni sistem, probavni trakt, sistem organa za kretanje (kosti, zglobovi, mišići, ...) itd. Najčešći primjeri sistema su informacioni sistem, biološki sistem, proizvodni sistem, zakonski sistem, politički sistem i mnogi drugi. U ovoj knjizi posebnu pažnju ćemo posvetiti poslovnim, proizvodnim, tehnološkim i obradnim sistema.
Sistem ima ulazne fizičke veličine, izlazne veličine i fizičke veličine koje iz okoline sistema utiču na sam sistem. U sistemu se vrši transformacija ulaznih veličina i uz uticaj okoline dolazi do dobijanja izlaznih veličina iz sistema – slika 1. Može postojati povratna veza između izlaznih veličina i ulaza.



Slika 1. Šematski prikaz opšteg sistema

Stanje sistema je skup podataka o ponašanju sistema u datom presjeku i vremenu, sa ciljem predviđanja ponašanja sistema u budućnosti. To znači da je potrebno u jednom momentu snimiti sve relevantne veličine koje karakterišu sistem i skup tih podataka je stanje sistema u tom momentu. Što imamo više stanja sistema, to imamo jasniju sliku o ponašanju sistema u vremenu.

1.3. Proces

Svaki sistem u kom se događaju neke transformacije veličina ima svoj proces. ***Proces*** je dejstvo sistema, njegov aktivan rad, odnosno postupak promjene stanja elementa sistema u vremenu [2 ?]. Pri ovome se ima u vidu takva promjena stanja koja daje određen, potreban i dovoljan efekat.

1.4. Podjela sistema

Postoji više podjela sistema, tj. više kriterija za njihovu podjelu [8]. Tako se dijele prema mogućnosti uticaja čovjeka na njih, prema ponašanju stanja sistema u vremenu, prema vezi između ulaznih i izlaznih veličina, prema njihovoj strukturi i slično.

Prva podjela bi mogla biti[8] (možemo reći prema prirodi nastanka):prirodni sistemi- čovjek na njih ne može djalovati (boiloški, planetarni,...), tehnički sistemi - u osnovi to su prirodni sistemi, ali pod kontrolom čovjeka,organizacioni sistemi - kombinacija tehničkog sistema i čovjeka.

Druga podjelaprema promeni stanja u vremenu: statički sistemi i dinamički sistemi. Statički sistemi se ne mijenjaju u vremenu, tako da nemaju upravljanje, dok su dinamički sistemi oni kod kojih se stanje mijenja u funkciji vremena, što znači da se promjenom stanja transformiše i prenosi energija, materija i/ili informacije između elemenata sistema [8].

Treća podjelaprema odnosu prema okolini: otvoreni sistemi i zatvoreni sistemi. Ako postoji veza između ulaznih i izlaznih veličina, radi se o zatvorenom sistemu.

Četvrta podjela: složeni sistemi i prosti sistemi. Složeni sistemi se sastoje od podsistema (subsistema), dok se prosti sistemi ne mogu rasčlaniti na jednostavnije subsisteme.

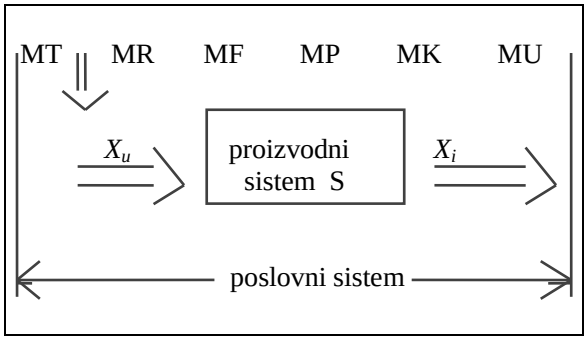
Peta podjelaprema određenosti: deterministički sistemi i nedeterministički sistemi. Kod determinističkih sistema moguće je odrediti i tačno predvidjeti buduće stanje, a nedeterministički sistemi se nazivaju još i stohastički.

Šesta podjela: stabilni sistemi i nestabilni sistemi. Stabilni sistemi imaju osobinu da se vraćaju u prethodno stanje (npr. u stanje ravnoteže) nakon prestanka djelovanja nekog spoljneg poremećajnog faktora, dok se nestabilni sistemi ne mogu vratiti u to stanje.

Moguće je napraviti i druge podjele sistema u odnosu na razne kriterije.Npr. prema vrsti ulazno-izlaznog signala možemo ih podjeliti na kontinualne i diskretne sisteme.

1.5.Poslovni sistem

Poslovni sistem predstavlja skup proizvodnih, ekonomskih i društvenih podsistema i elemenata koji povezuju okolinu (tržište) sa proizvodnim sistemima. Poslovni sistem (slika 2.) predstavlja veoma složen, ali jedinstven dinamički sistem, koji se ponaša zakonomjerno u skladu sa uticajima okoline i objedinjava dejstvo mehanizma tržišta (MT), rada (MR), proizvodnje (MP), finansiranja (MF), upravljanja (MU) i kontrole (MK), što ga čini složenim. Dakle, poslovni sistem može imati više proizvodnih sistema u svom sastavu, kao i tržište, finansije, zakone, upravu i drugo na jednom području.

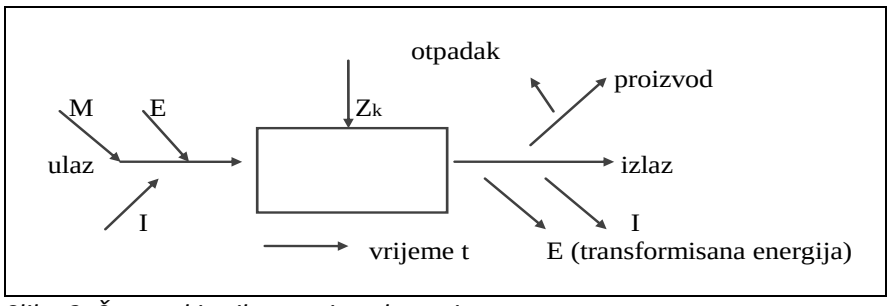


Slika 2. Šematski prikaz poslovnog sistema

U krajnjoj liniji može se pojednostavljeno reći da poslovni sistem predstavlja jednu regiju ili područje neke države sa svim proizvodnim, ekonomskim, društvenim sistemima, tržištem i slično.

1.6.Proizvodni sistem i proces

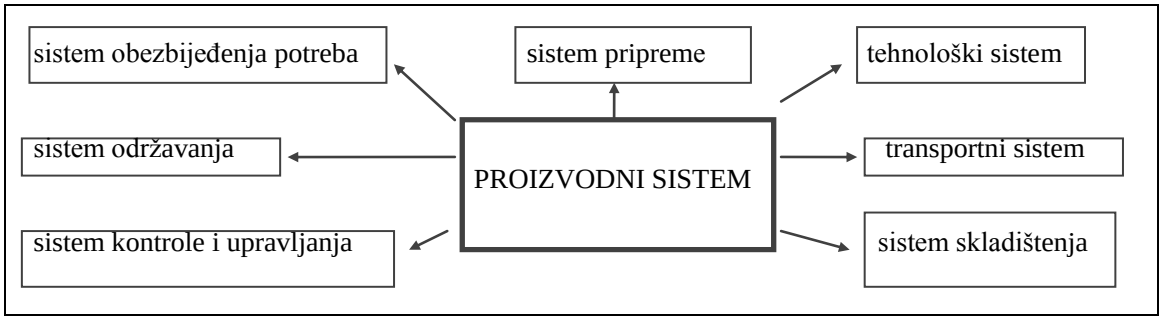
Postoji više definicija proizvodnih sistema u literaturi. Jedna od definicija je: ***Proizvodni sistem*** predstavlja skup osnovnih tehničkih sistema i ostalih tehničkih, određenih informacionih, energrtskih struktura - elemenata radnih (poslovnih) sistema uređenih na način da obezbjeđuje vršenje postavljene funkcije cilja i ostvarivanje projektovanih efekata poslovnog sistema, vezuje tehnološke sisteme, energetske i informacione strukture i učesnike u procesima rada vezama određenog stepena jačine pravca i smjera.



Oznake na slici 3:
M – materijal
E – energija
I – informacije
Z_k – uticaj okoline

Slika 3. Šematski prikaz proizvodnog sistema

Druga, često korištena, definicija glasi: ***Proizvodni sistem*** predstavlja skup sistema tehnološko - tehničkog karaktera (sistem pripreme rada, sistem transporta, skladišta, sistem kontrole, održavanja, upravljanja, snabdijevanja, skladištenja) i karaktera ljudskog rada.



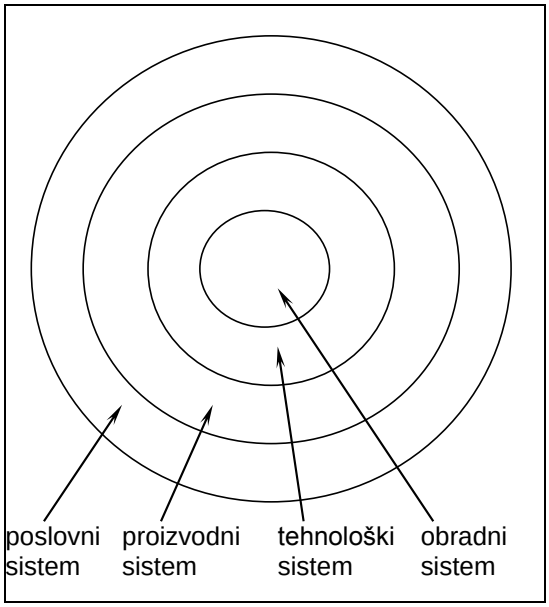
Slika 4. Podsistemi proizvodnog sistema

Na slici 4. su prikazani subsistemi proizvodnog sistema. Najjednostavnije rečeno, proizvodni sistem predstavlja jednu fabriku (tvornicu), tj. proizvodno preduzeće, sa svim pripadajućim podsistemima.
Proizvodni proces je proces rada proizvodnog sistema. To je skup svih radnji čiji je rezultat pretvaranje sirovina i polufabrikata u gotov proizvod, a vrijeme koje protekne od početka kretanja materijala iz skladišta do predaje gotovih proizvoda ili gotovih dijelova u skladište gotove robe naziva se ***proizvodni ciklus***. U proizvodnom procesu se vrši trensformacija materijala, energije i informacija u gotov proizvod [2].

1.7.Tehnološki i obradni sistem i proces

Tehnološki sistem predstavlja skup obradnih sistema koji omogućavaju izvođenje svih operacija obrade (procesa obrade) određenog proizvoda, odnosno omogućava transformaciju sirovog materijala u gotov proizvod. On je sastavljen od niza elemenata, koji započinju sa formulacijom koncepta proizvoda, a završavaju sa dobijanjem konačnog proizvoda ili sklopa. Dakle, tehnološki sistem se, pored ostalog, sastoji od više obradnih sistema. Kako se vidi sa slike 4, tehnološki sistem je jedan od podsistema proizvodnog sistema.
Obradni sistem je sistem koji izvodi određenu operaciju obrade, a elementi od kojih je sastavljen su: upravljanje (čovjek ili upravljačka jedinica, odnosno kompjuter), rad (mašina, predmet obrade, alat), kontrola (čovjek, mjerni alat ili automatska jedinica za mjerenje). Obradni sistem je dio tehnološkog sistema čiji zadatak je da izvrši određeni skup operacija obrade [8]. Najjednostavnije rečeno, obradni sistem je jedna proizvodna mašina, npr. obradni centar ili peć za termičku obradu, sa svim alatom, radnim predmetom/ima, upravljanjem i drugim elementima.
Proces rada obradnog sistema naziva se **proces obrade ili obradni proces**. **Tehnološki proces** je proces rada tehnološkog sistema. Jedna od najpotpunijih definicija koja se može naći u literaturi bi glasila [8]: *Tehnološki proces je dio proizvodnog procesa, a pod njim se podrazumijeva postupna promjena oblika, dimenzija, spoljašnjeg izgleda ili unutrašnje strukture materijala ili polufabrikata u cilju dobijanja gotovog proizvoda odgovarajućeg kvaliteta.* Dakle, ovde se spominju četiri elementa koja se u tehnološkom procesu mogu mijenjati. Prvo - to je oblik, drugo - dimenzije. Treće je spoljašnji izgled, npr. ako se vrši bojenje nekog dijela, tu nema promjene oblika, niti dimenzija (kao ni unutrašnje strukture), ali se ipak radi o operaciji koja ulazi u tehnološki proces. Četvrto je promjena unutrašnje strukture materijala – npr. pri termičkoj ili termohemiskoj

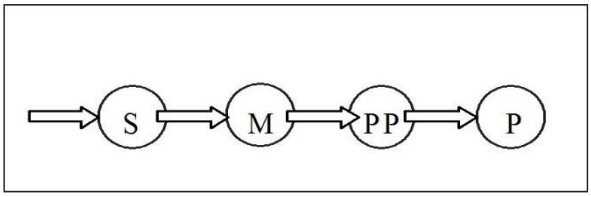
obradi. Tu skoro da nema promjene oblika i dimenzija, kao ni izgleda dijela, ali dolazi do promjene unutrašnje strukture, što za posljedicu ima dobijanje određenih svojstava materijala, tako da i ove operacije ulaze u tehnološki proces.
Poslovni sistem je širi pojam od proizvodnog sistema, tj. više proizvodnih sistema može biti sadržano u poslovnom sistemu. Proizvodni sistem je širi pojam od tehnološkog, jer, kako je već rečeno, tehnološki sistem je jedan od subsitema proizvodnog sistema. Tehnološki sistem je širi pojam od obradnog, pošto tehnološki sistem u pravilu ima više obradnih sistema. To je slikovito predstavljeno na slici 5 [8].



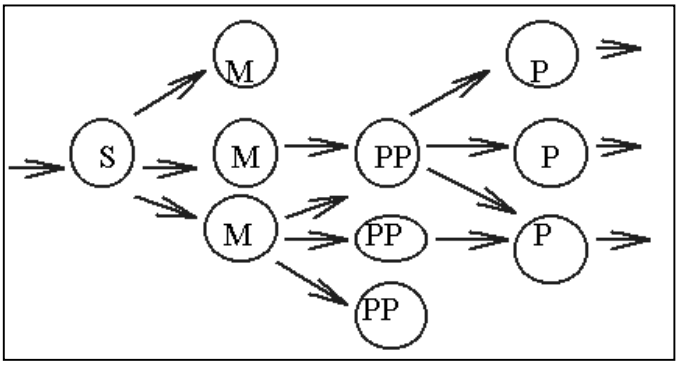
Slika 5. Hijerarhija više sistema

1.8.Vrste tehnoloških procesa

Tehnološke procese možemo klasificirati po raznim kriterijima, tako da imamo mnogo njihovih podjela. Jedna od podjela je na:tehnološke procese u proizvodnji energije, tehnološke procese u preradi materije. Tehnološki procesi u proizvodnji energije se dijele na: mehaničke, električne, hemijske, solarne, toplotne, nuklearne, a svi za cilj imaju proizvodnju energije.Tehnološki procesi u preradi materije se dijele na: mehaničke (kovanje, struganje, glodanje, bušenje,...), toplotne (isparavanje, topljenje, sušenje,...), toplotno-mehanicke (toplo valjanje,...), hemijske, biološke, fizičko-hemijske, fizičko-biološko-hemijske.
Druga podjela tehnoloških procesa je na: jednostavne, analitičke, sintetičke i mješovite.
a) Jednostavni tehnološki procesi su uglavnom jednolinijski. Tu imamo preradu jedne sirovine u cilju dobijanja materijala, poluproizvoda ili proizvoda. Na slici 6. je prikazana šema ovog tehnološkog procesa, a oznake su: S - sirovina, PP - poluproizvod, M - materijal, P - finalni proizvod.Najčešće se javlja u prehrambenoj industriji.

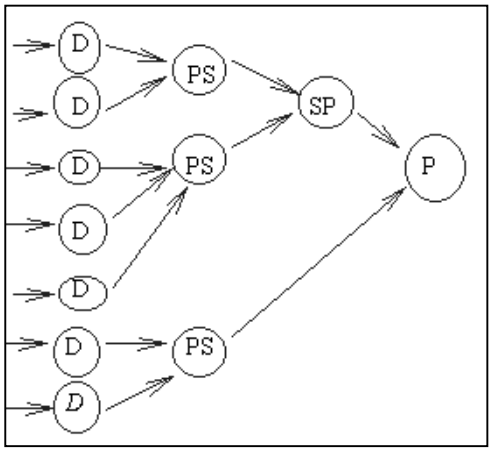


Slika 6. Šema jednostavnog tehnološkog procesa



Slika 7. Šema analitičkog tehnološkog procesa

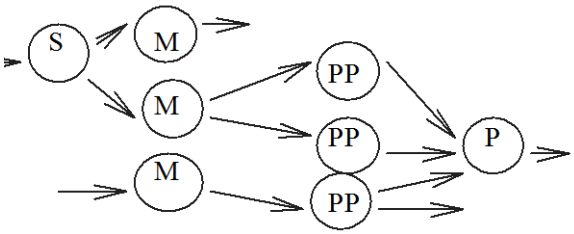
b) Analitički tehnološki proces je karakterističan kod dobijanja benzina i prerade nafte i gasa u petrohemijskoj industriji. Ovde od jedne sirovine dobijamo više materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda, što je šematski prikazano na slici 7.Tako npr. od nafte dobijamo derivate: tekući plin, benzin, dizelsko gorivo, mlazno gorivo, motorna ulja, bitumen, parafin, loživo ulje i sl. Ime je dobio od riječi analiza, što znači razlaganje na sastavne dijelove.



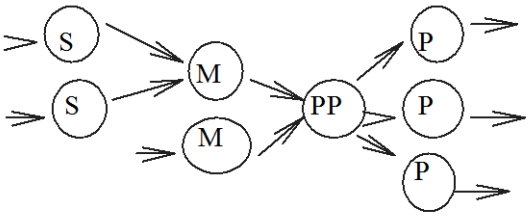
c) Sintetički tehnološki procesi su karakteristični za mašinogradnju (montaža automobila, aviona, brodova,...). Od dijelova se sklapaju podsklopovi i sklopovi, sve do gotovog proizvoda. Šematski prikaz je dat na slici 8, gdje oznake imaju slijedeće značenje: D- dijelovi, PS - podsklopovi, SP – sklopovi i P – gotov proizvod. Ime sintetički potiče od riječi sinteza, što znači sastavljanje više elemenata zajedno u cilju dobijanja cjeline.

Slika 8. Šema sintetičkog tehnološkog procesa

d) Mješoviti tehnološki procesi, koji se često javljaju u praksi kod realnih procesa. Oni predstavljaju kombinaciju prethodne tri vrste tehnoloških procesa. Mogu biti analitičko – sintetički ili sintetičko – analitički, što je šematski prikazano na slikama 9. i 10. Kod analitičko – sintetičkog najprije u procesu preovladava analiza, a zatim sinteza, dok je kod sintetičko – analitičkog obrnuto.



Slika 9. Primjer analitičko-sintetičkog procesa



Slika 10. Primjer sintetičko-analitičkog procesa

1.9. Tehnologija

Tehnologija je nauka koja se bavi proučavanjem načina izvođenja pojedinih prerada, odnosno obrada (npr. u mašinogradnji: obrade deformisanjem, livenje, obrade skidanjem strugotine, zavarivanje itd.). Tehnologija mašinogradnje, prema [6], izučava izradu mašina i uređaja zadanog kvaliteta koje su zastupljene u svim granama privrede, u količini koja je utvrđena programom proizvodnje pri najmanjem utrošku materijala, minimalnoj cijeni koštanja i visokoj produktivnosti rada maksimalno olakšanog i bezopasnog.

Tehnologija se može podijeliti na više načina, a jedan od kriterija podjele je i promjena koja nastaje pri obradi koju tehnologija proučava. Tako se tehnologija dijeli na:mehaničku,elektro,hemijsku ikombinovanu.Mehanička tehnologija proučava postupke čija je glavna kakakteristika izmjena smo spoljašnjeg oblika. Hemijska tehnologija proučava obrade pri kojim se mijenja unutrašnji hemijski sastav proizvoda, dok je promjena oblika i dimenzija zanemarljiva. Kombinovana mehaničko - hemijska tehnologija proučava obrade pri kojim se javljaju obe ove izmjene u znatnoj mjeri.

Cilj tehnologije su potpuni, razumljivi, tačni i ponovljivi tehnološki procesi kojim dobijamo proizvode zadanog kvaliteta uz maksimalne ekonomske efekte.

Kao i svaka nauka, tako se i tehnologija stalno razvija i proširuje svoja saznanja, tako da jednom projektovan tehnološki proces nije nikakva dogma [20], već se mora mijenjati prema novim saznanjima uopšte.

Obično vlada mišljenje da savremena dostignuća tehnologije kao nauke treba koristiti samo u tehnološkoj pripremi proizvodnje pri projektovanju tehnoloških procesa i u neposrednoj proizvodnji. Međutim, takav pristup neće dati najbolje ekonomske rezultate, jer dostignuća tehnologije treba maksimalno koristiti u drugim segmentima proizvodnog procesa, a pogotovo u konstruktivnoj pripremi, tj. u fazi konstruisanja proizvoda, jer se u toj fazi proizvodu "ugrađuje" njegova tehnologičnost kroz određivanje oblika, dimenzija,

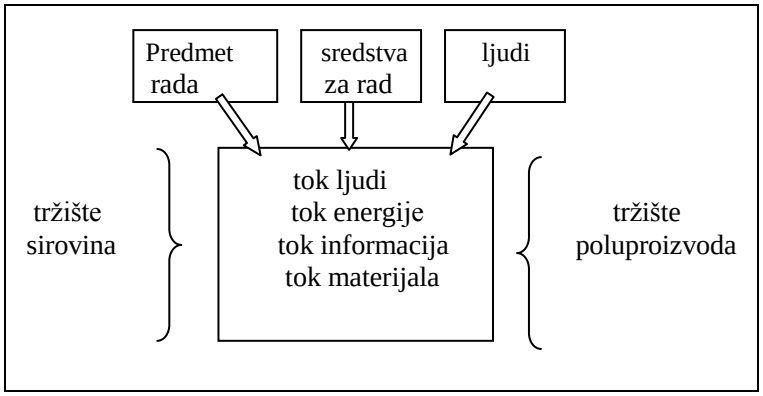
kvaliteta površinske hrapavosti, tolerancija itd. o čemu će više biti riječi u dijelu ove knjige "Tehnologičnost proizvoda".

1.10. Metod

Metod ili metoda, prema [51], predstavlja put kojim se kreće neko istraživanje, ispitivanje, zaključivanje, dokazivanje, pobijanje, eksperimentisanje ili izlaganje onoga što je utvrđeno. Taj "put" se sastoji iz ustaljenog obrazca postupanja i svrhe, tj. onoga čime se istraživanje, izlaganje okončava, te se preduzeto "putovanje" u datom slučaju smatra dovršenim.
To znači da bismo metod izrade nekog proizvoda mogli definisati kao put, tj. niz aktivnosti čiji je redosljed tačno određen, a koje imaju za cilj dobijanje proizvoda zadanog kvaliteta.
Metodologija je nauka o metodama; u moderno doba svaćena kao startna osnova za konstituciju svakog mogućeg znanja, tako da pitanje o metodi postaje načelno, prvo i najznačajnije pitanje.

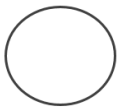
2.Osnovni tokovi u procesu reprodukcije

Reprodukcija predstavlja stalno obnavljanje procesa proizvodnje u cilju opstanka proizvodnog sistema, ali i cijelog društva, zbog potrebe stalnog dobijanja novih upotrebnih vrijednosti.
Transformacija ulaza proizvodnog sistema u izlaz se vrši dejstvom sredstava za rad, pokretanih energijom različitih vrsta, na predmete rada - materijale, na osnovu utvrđenih postupaka promjene stanja – informacije. Dakle, tu dolazi do kretanja više elemenata ovog sistema u cilju dobijanja proizvoda zadatih karakteristika i kvaliteta. Ti elementi su uglavnom sredstva za rad, materijal, ljudi, energija i informacije (npr. informacije šta uraditi na kojem obradnom sistemu, kako i kada transportovati materijal i mnoge druge). Ta kretanja elemenata imaju svoje tokove. Osnovni tokovi u procesu reprodukcije su[5]:tok ljudi,tok energije,tok informacija itok materijala. To je šematski predstavljeno na slici 11.

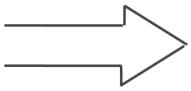


Slika 11. Osnovni tokovi u procesu reprodukcije

Da bi se proizvodnja odvijala, neophodno je jasno definisati sve tokove. a da bismo definisali tokove moramo se služiti simbolima (oznakama). Oznake su određene (dogovorene) za različite vrste tokova. Simboli za tok materijala su:

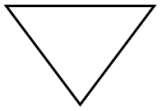


operacija obrade



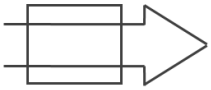
operacija prenošenja (transportovanja)

operacija izdvajanja podataka mjerenja-kontrole



operacija čekanja--skladištenje

zastoji u procesu



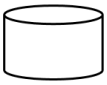
kombinovane operacije (npr. mjerenje pri transportu)

Simboli za tok informacija su:

operacija obrade (mašinska)

operacija obrade (ručna)

operacija odlučivanja



operacija skladištenja podataka (npr. u bazu podataka)

podešavanje programa

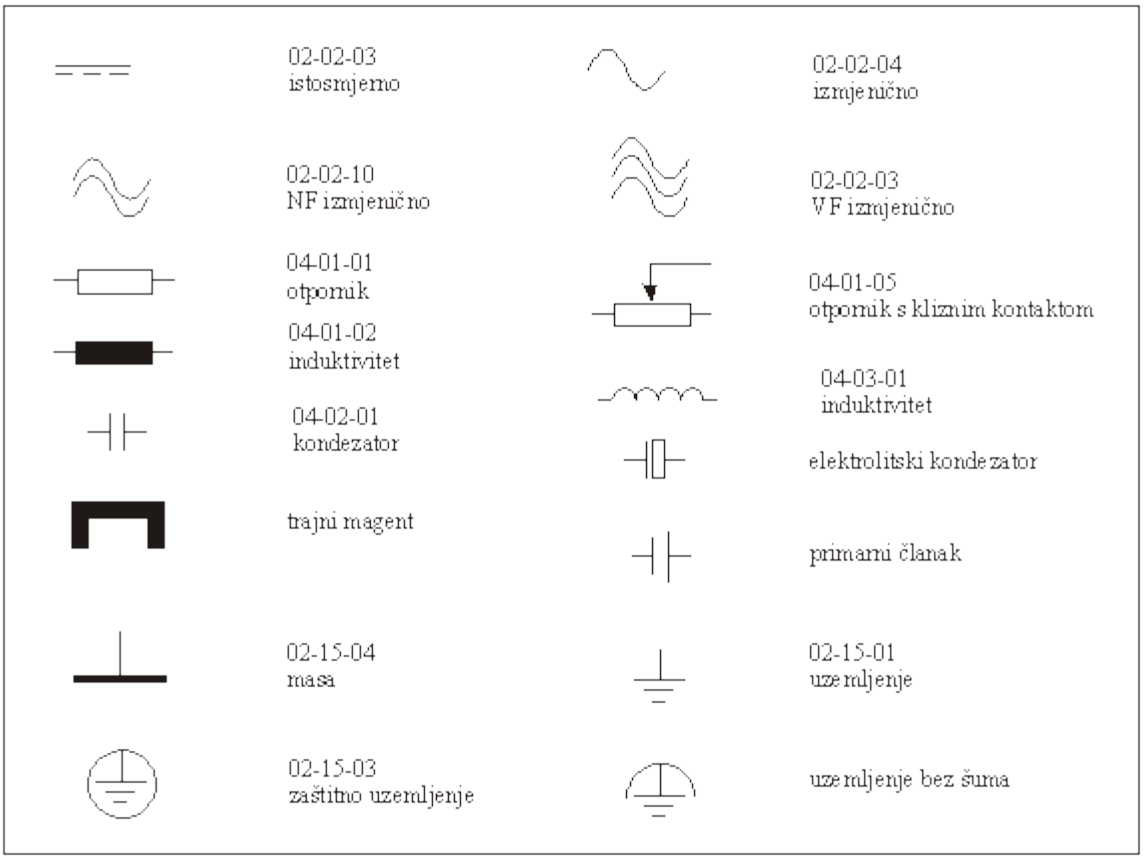
ulaz; izlaz

operacija povezivanja

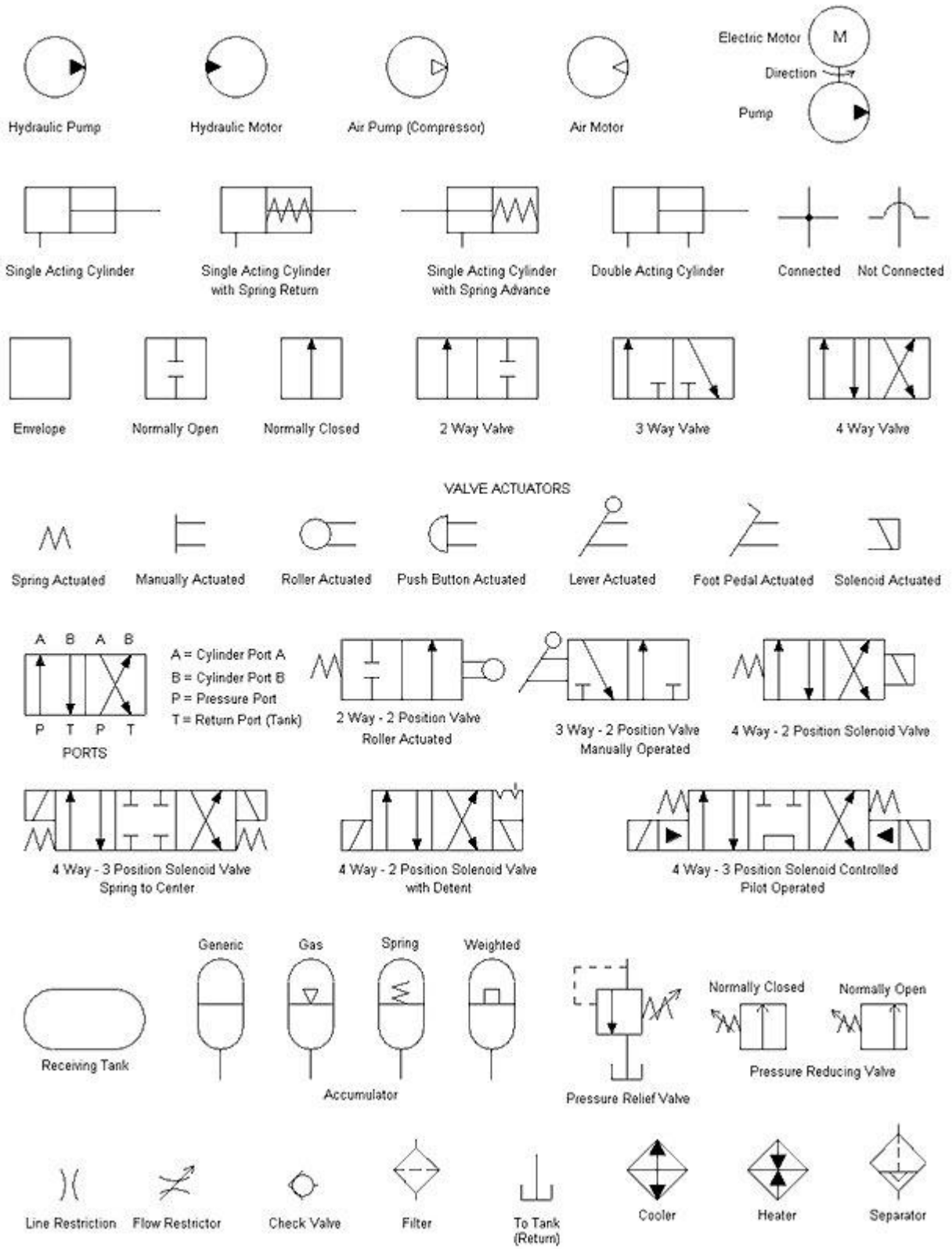
granična mjesta (početak i kraj)

operacija prenošenja

I za tok energije postoje različiti simboli za električnu energiju i energiju fluida [5]. Na slici 12. a) su dati grafički simboli osnovnih elemenata električnih krugova [54], dok su na slici 12. b) neki od osnovnih hidrauličkih simbola [55].

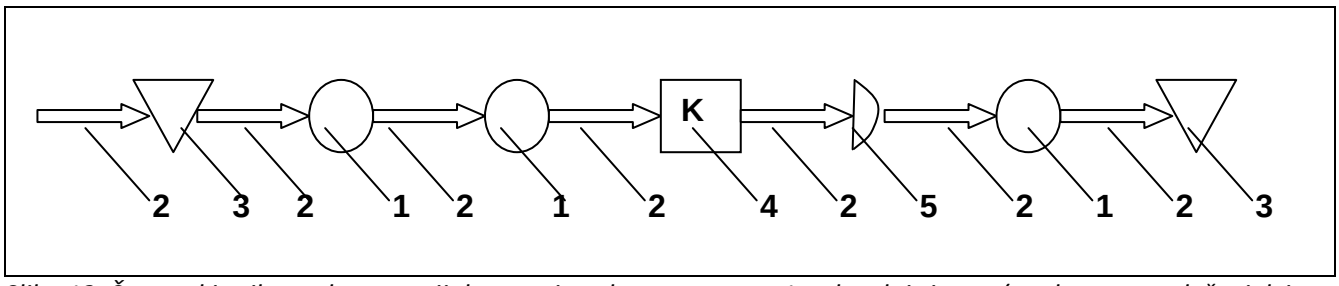


Slika 12. a) Neki od simbola za tok energije



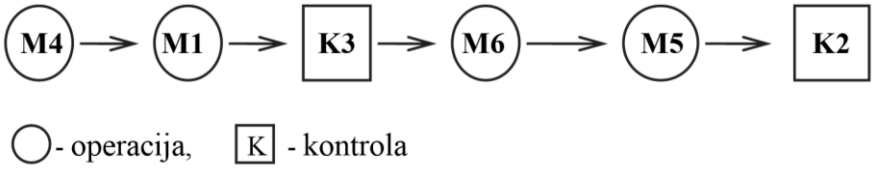
Slika 12. b) Neki od osnovnih hidrauličkih simbola

Šematski prikaz toka materijala u jednom proizvodnom procesu je dat na slici 11. Obično se u simbole upisuju oznake, npr. u simbol obradnog sistema možemo staviti oznaku M4, što znači da se ta operacija odvija na našini M4; u simbol skladištenje oznaka S3, što znači da će se skladištenje materijala vršiti u skladištu S3; u simbol kretanja oznaka T2, što znači da će se transport vršiti pomoću transportnog sredstva T2 itd.



Slika 13. Šematski prikaz toka materijala u proizvodnom procesu: 1 - obradni sistem (sredstva za rad, čovjek i predmet rada), 2 - kretanje (transport), 3 - skladištenje, 4 - kontrola, 5 - zastoj (čekanje).

Šematski prikaz toka materijala u nekom tehnološkom procesu je dat na slici 14. Tu se vidi da tehnološki proces ide od mašine M4, nakon završene operacije na M4 radni komad se transportuje na mašinu M1, a poslije te operacije se vrši kontrola na kontrolnom uređaju K3. Zatim obradak ide na operacije na mašinama M6 i M5 i na kraju tehnološki proces završava na kontrolnom uređaju K2.



Slika 14. Tok materijala tehnološkog procesa

Simboličkim šemama se mogu predstaviti svi pomenuti tokovi u procesu reprodukcije. Opšte je nastojanje da tokovi budu što jednostavniji i da daju što bolje ekonomske efekte. Zbog toga je od posebnog značaja istraživanje optimalnih oblika svih tokova, a pogotovo toka materijala i stim u vezi iznalaženje optimalne prostorne strukture (razmještaja mašina i opreme) radnog sistema. To pogotovo važi za veće proizvodne sisteme.

3. Sistem pripreme proizvodnje

Na samom početku proizvodnog ciklusa je priprema proizvodnje, a sistem pripreme ima funkciju pripreme rada proizvodnog sistema u smislu istraživanja optimalnog programa proizvodnje, konstruktivnih rješenja, postupaka obrade kao baze za rad sistema i izrade potrebnih projekata i analiza. Priprema proizvodnje određuje konstrukciju proizvoda, tehnologiju izrade i montaže, samo izvođenje i praćenje proizvodnje, kao i razne analize procesa proizvodnje u cilju njegovog poboljšanja. Proces izučavanja uzajamnih veza ulaza i izlaza proizvodnog sistema, predviđanja ponašanja i projektovanja elemenata naziva se **proces pripreme rada proizvodnog sistema,** a sistem u kojem se ovaj obavlja **sistem pripreme proizvodnje**.

U sistemu pripreme moguće je napraviti razne podjele ovog sistema po raznim kriterijima. Tako radna mjesta u procesu pripreme se dijele na:

- radna mjesta organizovanja rada (aktivnosti su: istraživanje tržišta i procesa proizvodnje, razvoj i ispitivanje prototipa, utvrđivanje raznih zavisnosti u proizvodnji),
- radna mjesta izvođenja rada (konstruisanje proizvoda, konstrukcija, uređaja, postrojenja itd, tehnološka razrada, planiranje proizvodnje, dokumentarisanje, tj. izrada sve potrebne dokumentacije u skladu sa standardima, sistemom kvaliteta i politikom firme).

Sistem pripreme se u osnovi sastoji od tri glavna dijela, a to su: konstruktivna priprema, tehnološka priprema i operativna priprema. Sva ova tri segmenta morju biti usko povezana radi ostvarivanja što boljih rezultata poslovanja proizvodnog sistema.

Konstruktivna priprema vrši proračune u cilju dobijanja oblika i dimenzija dijelova proizvoda koji se projektuje, te dobijanja konstruktivne dokumentacije, koja detaljno opisuje dijelove, sklopove i cijeli proizvod (konstrukciju). Dijelovi proizvoda, odnosno konstrukcije, postrojenja, uređaja i sl. su u radu izloženi opterećenjima, koja uzrokuju naprazanja materijala dijelova i njihove deformacije. Konstruktori moraju proračunati optimalne dimenzije i oblike dijelova i sklopova, kao i cijelog proizvoda, koje će biti dovoljene da izdrže sva opterećenja, a da budu što jeftiniji, što manje mase, zapremine, težine, itd. Nakon proračuna

izrađuje se konstruktivna dokumentacija (npr. radionički crteži, montažni crteži, sklopni crteži, ..., a tu se vrlo često izrađuju i 3D modeli, animacije i simulacije rada proizvoda i slično).
Operativna priprema se bavi organizacijom proizvodnje, brine se da svi kapaciteti proizvodnog sistema budu kontinualno uposleni, da sva predviđena proizvodnja bude realizovana na vrijeme i u planiranom roku, brine se o vođenju proizvodnje i slično.

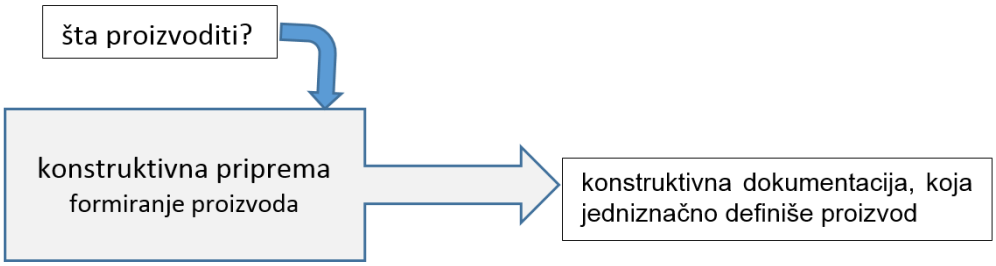
3.1.Tehnološka priprema rada

Tehnološka priprema ima više zadataka. Jedan od prvih je da odluči koje dijelove proizvoda izraditi, a koje dijelove kupiti kao gotove - Make or Buy Decision (odlučivanje izradi ili kupi). Obično se standardni dijelovi kupuju od specijalizovanih proizvođača, jer je to najčešće jeftinije od vlastite izrade. Ako neki dio nije moguće kupiti kao gotov na tržištu, a ne možemo ga izraditi u vlastitom proizvodnom sistemu, tada se on naručuje od drugog proizvodnog sistema – kooperanta. Naravno, ako se neki proizvod radi u velikim serijama, onda se provodi analiza isplativosti nabavke potrebne opreme i alata za vlastitu proizvodnju. Slijedeći zadatak tehnološke pripreme jeda za svaki dio proizvoda koji će se raditi u vlastitoj režiji odredi tehnološki proces izrade. Tehnološki proces se može razraditi samo načelno, a može se razraditi i do najsitnijih detalja. Stepen razrade (detaljnosti) tehnološkog procesa uglavnom zavisi od [4]:
- vrste i namjene projekta tehnološkog procesa – stepen razrade je najmanji kod investiciskih projekata, a stepen detaljnosti raste što je projekat bliži realizaciji (od idejnog do glavog),
- tipa proizvodnje – veći stepen razrade je što se ide više od pojedinačne, preko seriske do masovne proizvodnje,
- stalnosti proizvodnje – što je stalnost veća to je stepen razrade veći i
- nivoa stručnosti izvršioca procesa – što je stepen izvršioca veći to je stepen razrade tehnološkog procesa manji.

Tehnološka priprema treba da razradi i tehnološki proces montaže proizvoda, sve do završnih kontrola, testiranja i pakovanja. Zadatak tehnološke pripreme je i izrada tehnološke dokumentacije, što će biti objašnjeno u slijedećem dijelu knjige.
Tehnološka priprema je povezana sa ostalim segmentima proizvodnog sistema. Povezana je sa službom alata, koja mora da ima specifikaciju alata za svaki tehnološki proces, a te podatke dobija iz tehnološke dokumentacije, gdje je popisan i tačno specificiran sav alat neophodan za izradu svakog dijela. Povezana je i sa službom nabave, koja radi na osnovu normativa materijala. Iz tahnološke dokumentacije dobija sve informacije o materijalu, obliku i dimenzijama pripremaka, količini i slično. Tehnološka priprema je povezana sa proizvodnim pogonom (tehnološkim sistemom) i ona na svako radno mjesto dostavlja operacioni list (tehnološki dokument). Povezana je i sa operativnom pripremom, koja je zaduzena za upravljanje proizvodnjom. To upravljanje se vrši, pored ostalog, na osnovu tehnološke dokumentacije. Za izvršavanje ovog operativnoj pripremi trebaju 3 osnovna dokumenta (3 osnovne informacije):redoslijd operacija, radna mjesta na kojima se izvode operacije i poznavanje pripremno-završnog vremenaT_{pz} i jedinične vremenske norme t_n. Ova vremena će biti naknadno objašnjena u dijelu knjige „Tehnološko (osnovno) i pomoćno vrijeme".

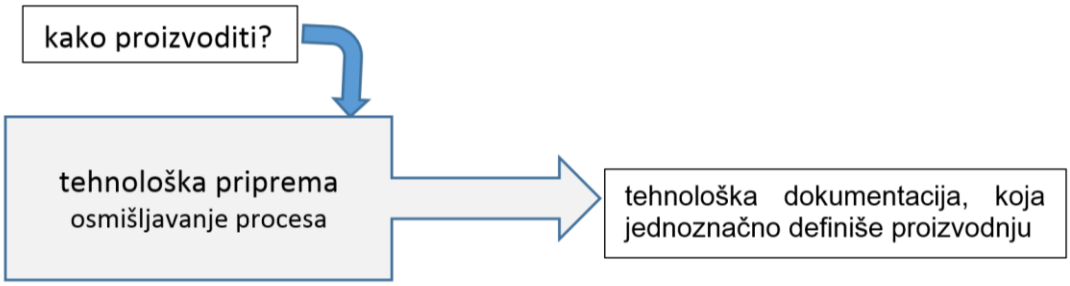
3.1.1. Mjesto i uloga tehnološke pripreme u proizvodnom sistemu

Ako se prate aktivnosti od ulaza do izlaza proizvodnog sistema moguće je uočiti nekoliko faza.
Prva fazaje konstruktivna priprema. Kada se želi proizvoditi neki proizvod u proizvodnom sistemu najprije je potrebno izraditi (ili dobiti gotovu od naručioca) konstruktivnu dokumentaciju. To znači da se u ovoj prvoj fazi daje odgovor na pitanje: šta će se proizvoditi (slika 15.)?



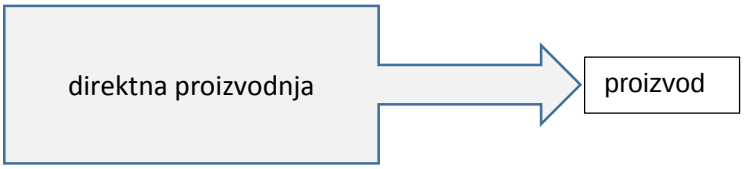
Slika 15. Faza konstruktivne pripreme

Dakle, konstruktivna dokumentacija je izlaz iz konstruktivne pripreme (iz prve faze).
Druga faza jetehnološka priprema. Na osnovu konstruktivne dokumentacije (kao ulaza u tehnološku pripremu) vrši se tehnološka priprema, kojom se dobijaju tehnološki procesi svih dijelova koji će se izrađivati i tehnološki proces montaže. Izlaz iz tehnološke pripreme je tehnološka dokumentacija, koja jednoznačno definiše proizvodnju. To znači da se u ovoj fazi daje odgovor na pitanje: kako će se proizvoditi (skila 16.)?



Slika 16. Faza tehnološke pripreme

Treća faza je direktna proizvodnja. Kada je izvršena cjelokupna priprema proizvodnje ide se u njenu realizaciju. Kod velikoseriske i masovne proizvodnje, najprije se ide na izradu probne serije i nulte serije proizvoda dok se ne rješe svi detalji i nedoumice, a zatim se kreće u stvarnu proizvodnju. Rezultat proizvodnje je neposredni materijalni proizvod (a moguće je da se dobiju i nusproizvodi).

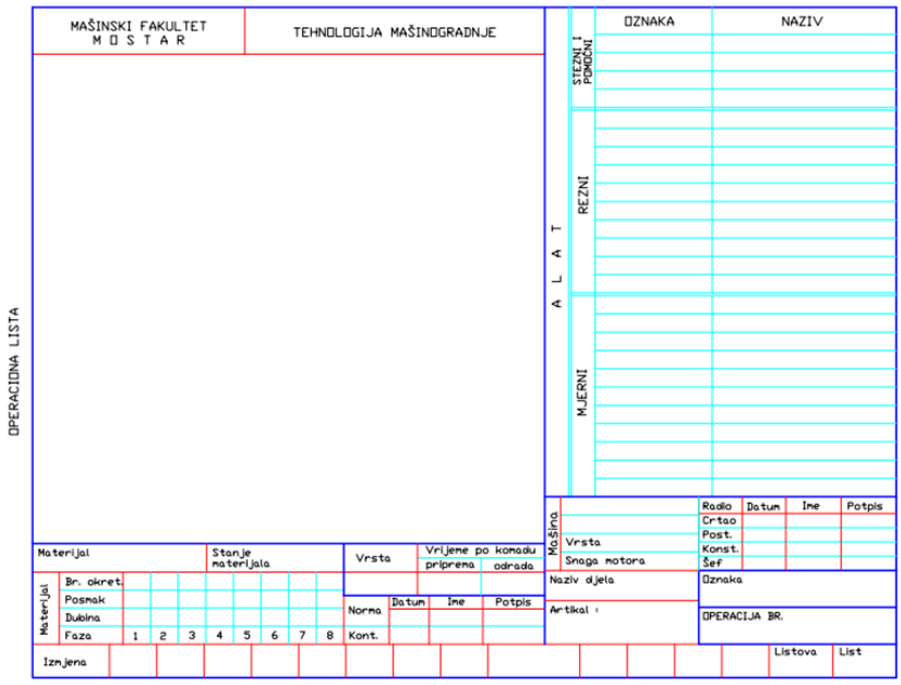


Slika 17. Faza direktne proizvodnje

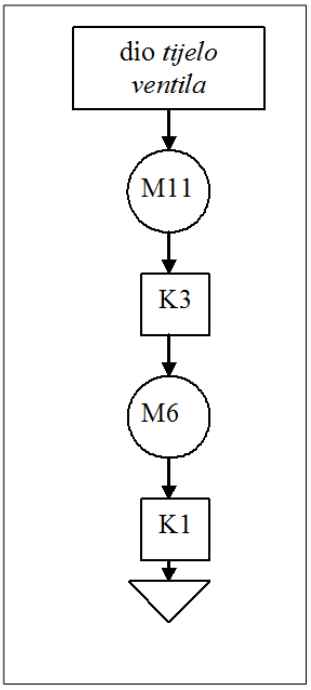
Četvrtafazajekontrola izvršenja i eventualno podešavanje, poboljšanje itd. Kada se kaže kontrola ne misli se samo na mjerenje dimenzija, nego na sveukupnu kontrolu svih veličinarelevantnih za proizvodnju. Naravno, kontrola se vrši i pri samim procesima, tj. u samoj fazi proizvodnje, a četvrta faza je završna kontrola. U ovoj fazi se dobijaju najznačajnije informacije, koje se povratnom vezom prosljeđuju u pripremu proizvodnje, tako da se može reći da je priprema proizvodnje i na početku, ali i na kraju proizvodnog ciklusa, pri čemu je operativna priprema u stalnom sadejstvu sa neposrednom proizvodnjom.

3.2.Tehnološka dokumentacija

Kako je navedeno u prethodnom dijelu, izlaz iz tahnološke pripreme je tehnološka dokumentacija. To je rezultat projektovanja tehnološkog procesa. Tehnološku dokumentaciju čini skup određenih obrazaca, odnosno lista koje u sebi sadrže sve potrebne informacije koje definišu faze i događaje transformacije određenog materijala u gotov proizvod ili dio, odnosno poluproizvod, te režime rada i sredstva sa kojim se ta transformacija izvodi, kao i potrebna vremena.
U proizvodnim sistemima se koristi različita tehnološka dokumentacija, tako da ona nije univerzalna i svaka fabrika koristi one dokumente koji joj najviše odgovaraju. Na slici 18. prikazana je nepopunjena operaciona lista kakva se najčešće koristi, a na slici 19. je karta toka procesa (pored oznaka radnih mjesta može se još upisati i vrijeme trajanja svake operacije).



Slika 18. Operaciona lista



Slika 19. Karta toka procesa

Tabela 1. Informacije u tehnološkoj dokumentaciji i podloge za njihovo dobijanje.

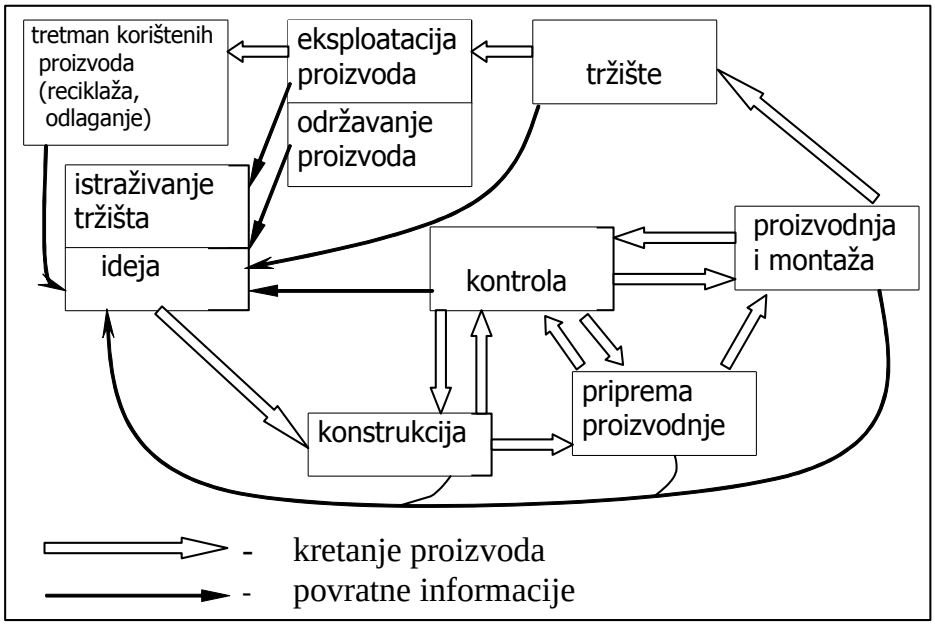
INFORMACIJE	**PODLOGE**
Podaci o materijalu (početni oblik materijala: otkivak, odlivak, šipka, cijev, razni profili, ...)	a) katalozi materijala b) datoteka materijala c) baze podataka proizvođača materijala d) web stranice i online katalozi proizvođača materijala e) direktne narudžbe od proizvođača materijala
Podaci o opremi (misli se isključivo na radno mjesto gdje ce se operacija izvesti), npr. obradni centar, transfer centar, fleksibilna tehnološka ćelija,CNC mašina, montažni sto, kontrolna jedinica,univerzalni strug, ...	a) baze podataka osnovnih sredstava (mašina, opreme, sredstava za rad, ...) b) katalozi opreme od strane proizvodjača c) web stranice proizvođača mašina i opreme
Redoslijd izvođenja aktivnosti	Tehnolog (sa svojim znanjem i ograničenjima koje mu postavlja sistem) ili ekspertni sistem (CAPP sistemi)
Podaci o alatu Alati mogu biti standardni i specijalni. Potrebno je navesti podatke o svim alatima koji se koriste u tehnološkom procesu, tj. rezni, mjerni,stezni, montažnialati, alate za obradu lima, za livenje, za deformisanje, ...	a) katalozi alata (od proizvodjača alata) b) web stranice proizvođača alata c) baza podataka o postojećem alatu u proizvodnom sistemu d) mogućnosti alatnice za izradu specijalnog alata
Režimi rada u ovisnosti od vrste tehnologije, npr. s - pomak ; v - brzina ; n - broj obrtaja , brzina zavarivanja, temperatura termičke obrade, brzina zagrijavanja na temperaturu termičke obrade, brzina hlađenja, ...	a) katalozi preporučenih rezima (koje preporučuju proizvodjači za par materijal - alat) b) optimiranje režima rada c) softveri za dobijanje režima rada
Vrijeme[1] (za koje treba da se završi odgovarajući posao) - T_{pz} (pripremno-završno vrijeme) -t_1 (jedinična norma - sa tehnološkim i pomoćnim vremenom)	a) preporučeni podaci (preporuka je u funkciji vrste opreme) b) za definisanje t_t (tehnološkog vremena) podloga su formule, a za t_p (pomoćnog vremena) tabele.

[1]Vremena u tehnološkom procesu će biti objašnjena u posebnom dijelu ove knjige.

Obično se koriste slijedeći tehnološki dokumenti [4]: karta tehnološkog procesa jednopozicionog tipa, karta tehnološkog procesa višepozicionogtipa, operaciona lista, karta toka procesa i sl.
Tehnološka dokumentacija zavisi od stepena detaljnosti razrade tehnološkog procesa i od vrste tehnoloških procesa. Od toga zavisivrsta, količina, nivo i broj informacija u tehnološkom dokumentu.Te informacije se dobijaju iz osnovnih podloga za projektovanje tehnoloških procesa obrade, dakle, podloge su izvor informacija koje tehnolozi daju u tehnološkoj dokumentaciji. U tabeli 1. prikazane su informacije i njihove podloge.
Što je veći stepen detaljnosti razrade tehnološkog procesa, to je više informacija u tehnološkoj dokumentaciji. Npr. u operacionoj listi (slika 18.) upisuju se slijedeće informacije: crtež radnog dijela nakon operacije sa podebljanim površinamakoje se obrađuju u toj operaciji (crtež po standardu tehničkog crtanja sa dovoljnim brojem projekcija, presjeka, detalja itd.), stezni, pomoćni, rezni i mjerni alat koji se koristi u toj operaciji, podaci o mašini, odnosno radnom mjestu na kojem se izvodi operacija, materijal radnog dijela, vrijeme pripreme i obrade, režimi rada u svakoj fazi operacije, naziv radnog dijela, oznaka i broj operacije, datumi i imena sa potpisima, te eventualne izmjene. Ako sve informacije za jednu operaciju ne mogu stati na jednu operacionu listu, koristi se više lista i tada se upisuje ukupan broj listova i broj tekućeg lista. Kada se ovako popunjena operaciona lista dostavi na radno mjesto (npr. na određenu mašinu za obradu) u njoj se nalaze sve informacije potrebne za izvođenje date operacije.
Informacije u tehnološkoj dokumentaciji su vrlo bitne za upravljanje proizvodnjom, tj. upravljanje materijalom, energijom, alatom, kvalitetom, itd.

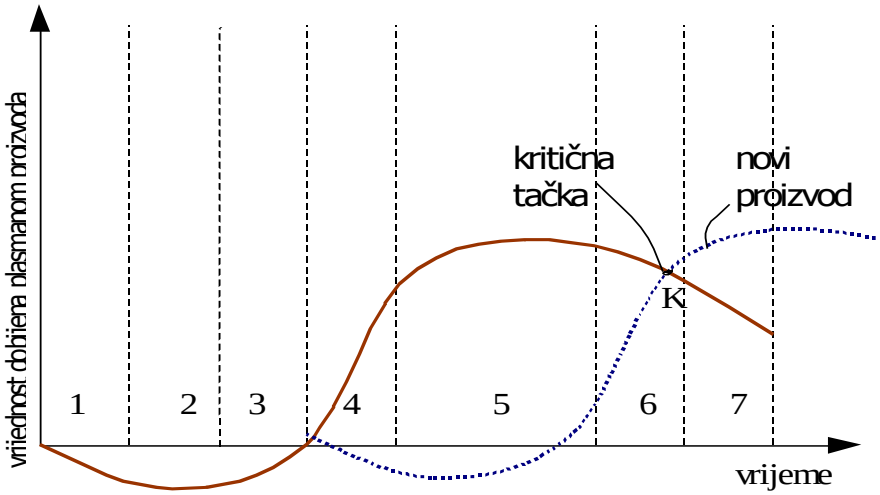
4. Proizvod

Proizvod u ekonomskom pogledu predstavlja upotrebnu vrijednost u kojoj je opredmećen ljudski rad, energija, materija, uložene informacije, kapital i slično. U mašinstvu pojam proizvoda, prema [11], se definiše kao neposredan materijalni rezultat rada proizvodnog sistema.
Proizvod može imati naturalni i robni oblik. Ako je namjenjen zadovoljavanju potreba samog proizvođača, onda ima naturalni, a ako je namjenjen razmjeni na tržištu, onda ima oblik robe. Naravno, u ovoj knjizi se razmatra proizvod namjenjen tržištu.
Dobro oblikovan proizvod [7] mora zadovoljiti kriterije: tehnologičnosti, kvaliteta, funkcionalnosti, poduzetnosti, eksploatabilnosti, estetičnosti, normativnosti, sigurnosti, ekologičnosti, recikličnosti, proizvodnosti, ergonomičnosti, tržišnosti i minimalnosti troškova proizvodnje. Osnovni kriterij proizvodnje je kvalitet, jer on prodaje proizvod na tržištu i on je instrument upravljanja proizvodnjom i plasmanom proizvoda. Zbog toga povećanje tehnologičnosti, proizvodnosti i drugih kriterija ne smije smanjivati kvalitet proizvoda.
Upravljanje kvalitetom na svjetskom tržištu se temelji na seriji standarda ISO. Preduzeća koja žele da opstanu na domaćem tržištu i da traže šansu na svjetskom tržištu trebala bi imati certificirane sisteme kvalitete po ovom standardu, jer je to jedan od bitnih preduslova za uspjeh preduzeća.
Dakle, proizvod je neposredan materijalni rezultat rada proizvodnog sistema.
Na svom životnom putu proizvod prolazi kroz više faza (slika 20.) [10]. Može se reći da manje - više svaki tehnički proizvod prolazi kroz pet osnovnih faza: konstruisanje, izrada, montaža, eksploatacija, održavanje i isključivanje proizvoda iz upotrebe.



Slika 20. Faze kroz koje proizvod prolazi na svom životnom putu [10]

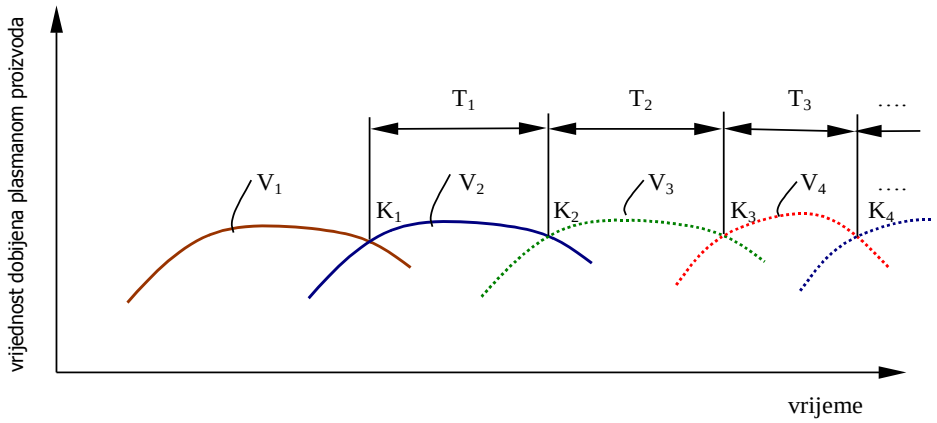
Najprije se istraživanjem tržišta i već proizvedenih sličnih proizvoda, ako ih ima, dolazi do ideje i u službi razvoja proizvoda izrađuje se idejna skica, izrada 3D modela pomoću računara, vrši numerička analiza, analiza tehnologičnosti, izrada i ispitivanje prototipa, te dobija finalna konstrukcija. Zatim se vrši priprema proizvodnje, te sama proizvodnja i montaža, a sve to uz stalnu i kontinuiranu kontrolu. Tako dobiven proizvod dalje ide na tržište, gdje nalazi kupca i dolazi do eksploatacije proizvoda i njegovog održavanja, da bi na kraju došao u fazu odlaganja na otpad i eventualne reciklaže. Informacije dobijene iz svih ovih faza su neophodne za stvaranje novog proizvoda ili nove varijante proizvoda, koja će biti bolja po gore navedenim kriterijumima. Osim navedenih faza, život svakog proizvoda se može posmatrati i relacijom između vrijednosti dobijene plasmanom proizvoda i vremena (slika 21.), pa se na taj način dobija više faza [11]: 1-istraživanje i donošenje odluke, 2-razvoj, 3-uvođenje, 4-rast plasmana, 5-stabilnost plasmana, 6-zasićenje i 7-pad plasmana.



Slika 21. Faze životnog ciklusa proizvoda u dijagramu: vrijednost dobijena plasmanom - vrijeme [11]

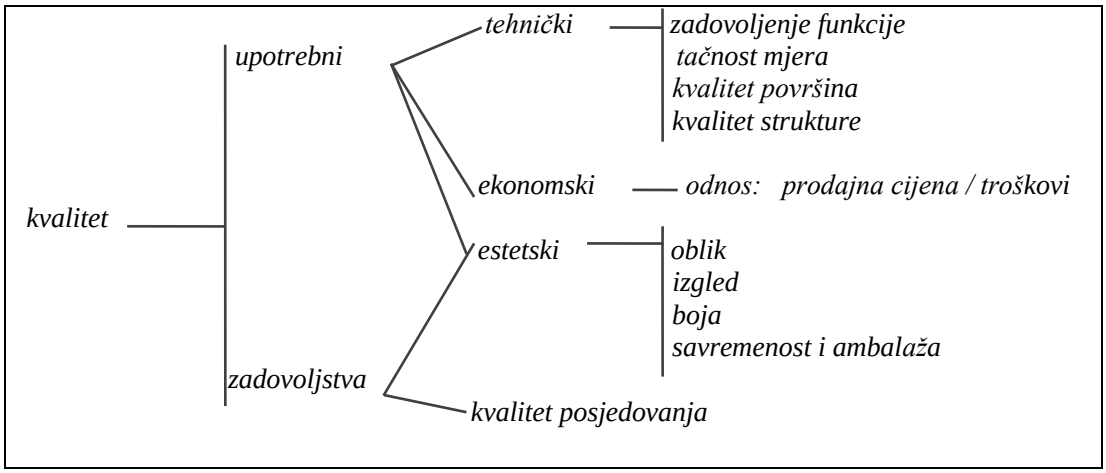
Prva faza predviđa istraživanje tržišta i donošenje odluke koji proizvod proizvoditi. Naravno, besmisleno je proizvoditi proizvod koji se ne može prodati na tržištu i treba težiti proizvodnji proizvoda koji će u narednom periodu biti što više traženi. Nakon prve faze prelazi se na razvoj tog proizvoda, pripremu proizvodnje, neposrednu proizvodnju i tada nastupa treća faza uvođenje proizvoda na tržište. U četvrtoj fazi proizvodi dožive veći ili manji rast plasmana i na slici 21. vidimo da tek u ovoj fazi vrijednost dobijena plasmanom proizvoda na tržištu postaje pozitivna, a to znači da je u prethodnim fazama bila negativna, tj. ulaganja su bila

veća od dobiti. Peta faza je obično najduža i tu je vrijednost dobijena plasmanom približno konstantna, da bi u slijedećoj fazi došlo do zasićenja tržišta tim proizvodom, tako da se kupci više okreću kupovini drugih proizvoda ili drugih varijanti tog proizvoda. Sedma faza je pad plasmana, kada vrijednost dobijena plasmanom proizvoda naglo pada.
Kada dođe do zasićenja proizvoda na tržištu potrebno je da je novi proizvod ili nova poboljšana varijanta proizvoda već u fazi rasta plasmana, kako bi se zadržala proizvodnja sa profitom. to znači da je mnogo ranije trebalo krenuti sa razvojem novog (ili nove varijante) proizvoda. Kritična tačka na slici 21. je presjek krive starog proizvoda i novog proizvoda (odnosno stare i nove varijante proizvoda). Ako posmatramo krive vrijednosti i uvođenje novih varijanti proizvoda kroz duži vremenski period, uočavamo da razmak između kritičnih tačaka postaje sve manji, kao na slici 22, tako da danas tržište zahtjeva sve raznovrsnije proizvode i traži proizvod - varijantu. Jednostavnije rečeno, na savremenom tržištu se ne može jedan proizvod proizvoditi i prodavati vrlo dugo. Potrebno je da proizvodni sistemi kontinuirano plasiraju na tržište nove i poboljšane varijante proizvoda, odnosno nove proizvode. Zbog toga je odjel istraživanja i razvoja (R&D – Research and Development) u proizvodnim sistemima vrlo važan segment.



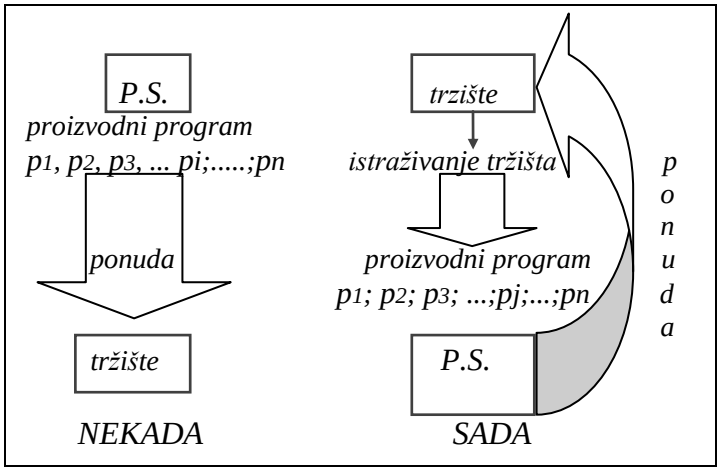
Slika 22. Skraćenje perioda između kritičnih tačaka (T1>T2>T3>...)

Osamdesetih godina dvadesetog vijeka u svijetu se počinje pojavljivati izraz "Design for Excellence" (DFX) [30], u prevodu "Konstruisanje za odličnost", koji predstavlja skup aktivnosti konstruisanja koji ima za cilj dobijanje proizvoda pogodnih za sve navedene faze životnog ciklusa proizvoda u smislu postizanja najnižih troškova i najkraćeg vremena. Tako se DFX sastoji od više dijelova, kao što su: "Design for Manufacturing" (DFM) - konstruisanje za izradu; "Design for Assembly" - konstruisanje za montažu; "Design for Maintanance and Reliability" - konstruisanje za održavanje i pouzdanost; "Design for Environment" - konstruisanje za okolinu itd. Posljednjih godina nastoje se razviti metode koje omogućuju pomenuto konstruisanje u odnosu na svaku fazu životnog ciklusa proizvoda. Više ovih, gore navedenih, dijelova se mogu zajedničkim imenom nazvati “konstruisanje za proizvodnju”.
Prilikom konstruisanja proizvoda, dakle, treba voditi računa (osim zadovoljenja funkcije koju proizvod vrši u datim uslovima) i o njegovoj proizvodnji, montaži, održavanju, reciklaži, a tu su od posebnog značaja uslovi kvaliteta. Na slici 23. prikazane su komponente kvaliteta proizvoda.U više literaturnih izvora (npr. [9]) može se naći da su komponente kvaliteta proizvoda kao na slici 23.
Pogodnost proizvoda u cjelini i svih njegovih dijelova za izradu, montažu, eksploataciju, održavanje i reciklažu se naziva i tehnologičnost [10].



Slika 23. Komponente kvaliteta proizvoda

Proizvod je kao podloga za postavljanje procesa rada u proizvodnom sistemu. Program proizvodnje predstavlja skup proizvoda koji se proizvode u proizvodnom sistemu. Kada se donosi odluka o proizvodnom programu jednog proizvodnog sistema, potrebno je izvršiti istraživanje tržišta i na osnovu detaljnih analiza odrediti proizvodni program, tj. artikle (proizvode) koji će se proizvoditi u proizvodnom sistemu. Zatim kreće sa procesom proizvodnje, a to znači od pripreme proizvodnje do plasmana poizvoda na tržište. Nema smisla proizvoditi proizvode ili varijante proizvoda koji se ne mogu prodati na tržištu ili koji se teško plasiraju.Taj prilaz u oblikovanju programa proizvodnje je prikazan na slici 24. Nekada (pogotovo u socijalističkoj dogovornoj ekonomiji) se polazilo od proizvodnog programa, a danas se najprije vrši istraživanje tržišta.

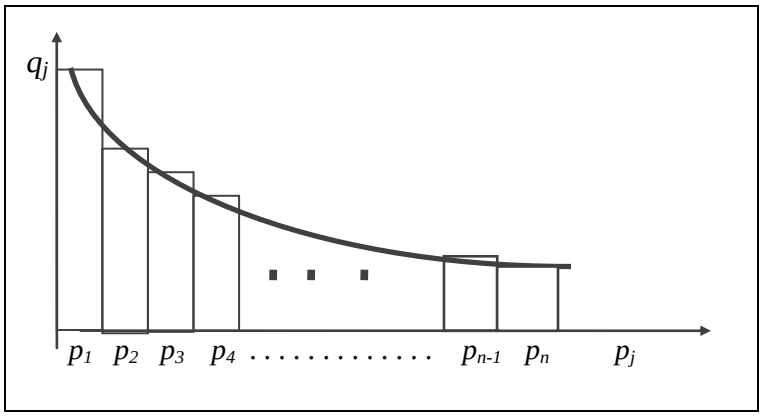


Slika 24.Novi prilaz u oblikovanju proizvodnog programa

4.1.Proizvodni program i količina proizvoda

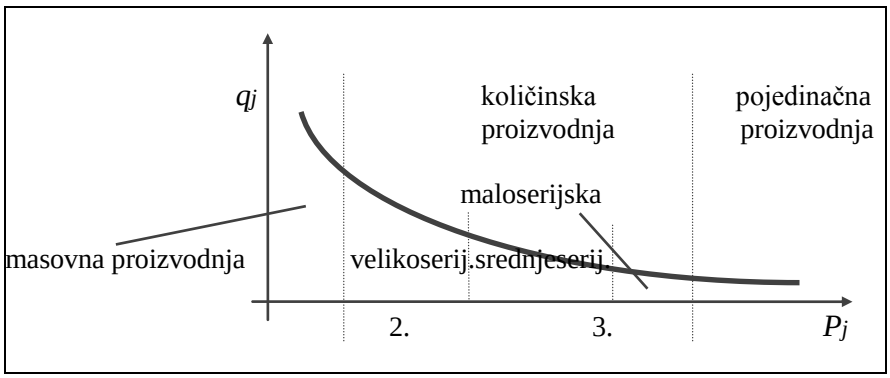
Proizvodni program, kako je već rečeno, predstavlja skup proizvoda p_j (j=1, 2, ... n), koji su dobijeni radom proizvodnog sistema, a koje možemo nazvati i asortiman proizvoda jednog proizvodnog sistema. Program je određen parametrima:strukture programa (asortimana) *pj* i brojem jedinica proizvoda (količinom) q_j. Dakle, q_1 je količina u kojoj se proizvodi proizvod p_1, q_2 je količina u kojoj se proizvodi proizvod p_2 i tako redom. Količina q_j se iskazuje kao: količina (kom./god.); težina (MN/god.) ili novčana vrijednost (novčanih jedinica/god.).

Ako na horizontalnu osu dijagrama nanesemo proizvode, tako da na prvo mjesto stavimo proizvod sa najvećom količinomq_j, a zatim redom proizvode sa sve manjom količinom i povežemo kontinualnom krivom linijom te količine, dobijamo dijagram zavisnosti količine od asortimana (slika 25.). Na vertikalnoj osi je količina$q_j$tako da će biti $q_1 > q_2 > .... > q_n$.



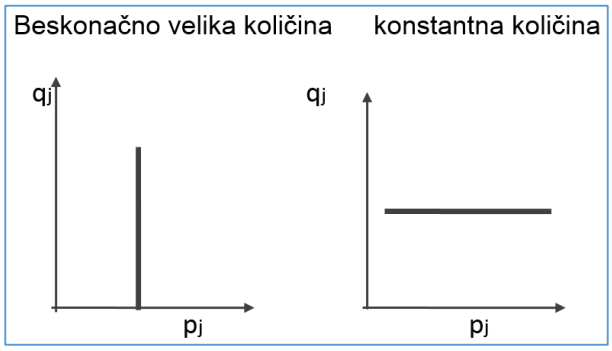
Slika 25.Dijagram zavisnosti količine od asortimana.

Zavisnost p_j - q_j predstavlja osnovnu opštu zavisnost za izbor i određivanje tipa proizvodnje, odnosno tipa proizvodnog sistema. Tipovi proizvodnje su: pojedinačna, serijska i masovna, dok serijska može biti maloserijska, srednjeserijska ili velikoserijska. Na slici 26. prikazan je dijagram p_j - q_j i područja raznih tipova proizvodnje.



Slika 26.Dijagram sa područjima različitih tipova proizvodnje.

Sa dijagrama se može viditi koji proizvodi se proizvode masovnom proizvodnjom, koji raznim tipovima seriske proizvodnje, a koji pojedinačnom proizvodnjom.
Teoretski posmatrano, ako bi se ogroman (neograničeno veliki) broj proizvoda proizvodio u istoj količini u nekom proizvodnom sistemu, tada bi kriva u dijagramu postala prava paralelna sa horizontalnom osom (apscisom) (slika 27.). Ako bi se vrlo mali broj proizvoda (ili samo jedan) proizvodio u neograničenim količinama,tada bi kriva u dijagramu postala prava paralelna sa vertikalnom osom (ordinatom) (slika 27.). U realnim proizvodnim sistemima dijagram uglavmon ima oblik sličan onom na slikama 25. i 26.



Slika 27. Razni slučajevi dijagrama pj - qj

Kako je već rečeno detaljnost razrade tehnološkog procesa zavisi i od tipa proizvodnje – veći stepen razrade je što se ide više od pojedinačne, preko seriske do masovne proizvodnje, tako da se pomoću ovog dijagrama

može donijeti odluka koji proizvod će imati veći, a koji manji stepen razrade.Na bazi dijagrama pj - qj moguće je izvršiti izbor tipa proizvodnog sistema. Moguće je izvršiti i podjelu programa na grupe sličnih proizvoda po nekoj od osnova.

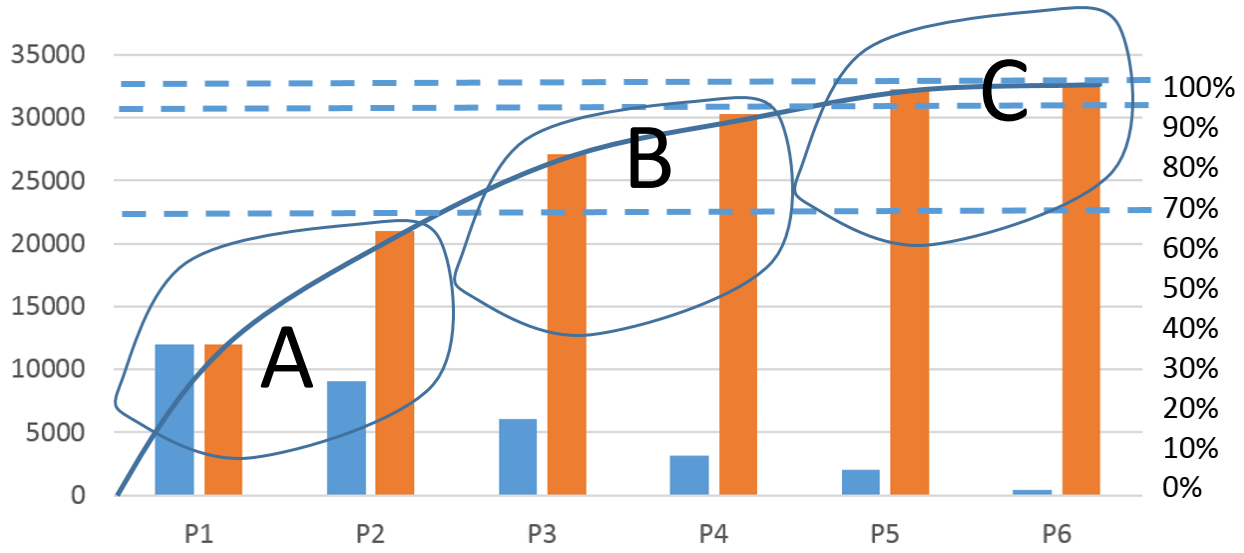
4.2. Analiza proizvodnog programa

Posebno pogodna analiza je Pareto dijagram iliABC metoda [14]. Provodi se sa aspekta količine, težine, vrijednosti ili nekog drugog kriterija. Ako npr. uzmemo troškove proizvodnje proizvoda kao kriterij za grupisanje svih proizvoda iz proizvodnog asortimana, onda na dijagramu na horizontalnoj osi nanosimo proizvode od onog koji ima najveće troškove do onog koji ima najmanje. U tabeli 2. su navedeni troškovi proizvodnje za 6 proizvoda koji se proizvode u nekom proizvodnom sistemu (od P1 do P6). Kumulativne troškove dobijamo tako da sabiremo troškove slijedećeg proizvoda sa prethodnim.

Tabela 2. Primjer Pareto metode (Troškovi izraženi u novčanim jedinicama)

Proizvodi	Troškovi	Kumulativno	Procenti
P1	12009	12009	36,62%
P2	9045	21054	64,21%
P3	6087	27141	82,77%
P4	3180	30321	92,47%
P5	1990	32311	98,54%
P6	480	32791	100,00%

Na slici 28. prikazani su podaci iz tabele 2. u vidu dijagrama. Grupa A obuhvata 70% - 80% kumulativnog iznosa i ona predstavlja grupu veoma uticajnih svojstava i karakteristika. Grupa B obuhvata 90% - 95% kumulativnog iznosa i ona predstavlja grupu uticajnih svojstava i karakteristika. Grupa C obuhvata preostali dio do 100% kumulativnog iznosa i ona predstavlja grupu manje uticajnih svojstava i karakteristika.



Slika 28. Dijagram za primjer primjene Pareto metode

Sa slike 28. se vidi da u ovom primjeru proizvodi P1 i P2 ulaze u grupu A i to su najvažniji proizvodi iz asortimana sa aspekta proizvodnih troškova, tako da pri razradi njihovog tehnološkog procesa treba posebno obratiti pažnju. Proizvodi P2 i P3 ulaze u grupu B i oni su manje važni, dok proizvodi P5 i P6 su vrlo malo važni (nevažni) u pogledu troškova proizvodnje.

Ovametoda je pogodna za izbor proizvoda predstavnika sa različitih aspekata (kriterija) i njom se vrši svođenje cijelog asortimana na predstavnike.

Pored ovogvrši se i mnogo drugih analiza proizvodnog programa i analiza veličina relevantnih za postavljanje i razvoj procesa rada radnih sistema.

Tako imamo analizuprograma proizvodnje sa stanovišta učestalosti promjena samog programa i promjena tehnološkog procesa pojedinih proizvoda. Tu je i analiza struktura dijelova u programu proizvodnje po obliku površina, zatim struktura dimenzija po osnovnim dimenzijama dijelova koji se proizvode, struktura dijelova po kvalitetu propisanom konstruktivnom dokumentacijom, kao i struktura dijelova po vrsti materijala od kojih se izrađuju.Proizvodni program se postavlja za neki vremenski period (2 god, 5 god. i sl.), pa mora biti zato uzet za uslove budućeg perioda.

4.3.Tip proizvodnje

Razrada tehnološkog procesa u velikoj mjeri zavisi od tipa proizvodnje. U dijelu 4.1. je rečeno da zavisnost p_j - q_j predstavlja osnovnu opštu zavisnost za izbor i određivanje tipa proizvodnje. Kojim tipom proizvodnje se proizvodi neki proizvod u proizvodnom sistemu može se odrediti i računski, primjenom odgovarajućih matematskih obrazaca i uslova. Kao mjera na osnovu koje se može zaključiti o kojem se tipu radi može se uzeti koeficijent serijnosti iskazan relacijom [8, 11]:

$$K_{ser} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} t_{ii}}{R} \tag{1}$$

gdje je t_{ii} – vrijeme i-te operacije, gdje imamo ukupno *m* operacija u procesu i *R* – ritam proizvodnje, koji se računa po obrascu:

$$R = \frac{K_k}{q_j} \tag{2}$$

gdje je K_k – koristan kapacitet i q_j – količina proizvodnje za određeni vramenski interval. Korisni kapacitet K_k se računa tako što se za određeni vremenski period (najčešće godina dana) izračuna koliko sata su proizvodni kapaciteti na raspolaganju za proizvodnju. Npr. ako se računa za godinu, onda uzimamo broj radnih dana i množimo ga sa brojem smjena u danu, zatim množimo sa brojem radnih sata u smjeni, te na kraju množimo sa koeficijentom iskorištenja radnog vremena, koji uzima u obzir sve realne gubitke zbog kojih se ukupno raspoloživo vrijeme za proizvodnju u stvarnosti smanjuje.

Ako se prethodni obrazac (za *R*) uvrsti u obrazac za koeficijent serijnosti, dobija se:

$$K_{ser} = \frac{q_j \sum_{i=1}^{i=m} t_{ii}}{K_k} \tag{3}$$

Koeficijent serijnosti teoretski može biti manji, jednak ili veći od jedan, tj. $\frac{q_j \sum_{i=1}^{i=m} t_{ii}}{K_k} \gtreqless 1$. U praksi K_{ser} može biti veći ili manji od jedan. Odavde se može dobiti i da ukupno vrijeme izrade može biti: $\sum_{i=1}^{m} t_{ii} \gtreqless \frac{K_k}{q_j}$, tj. $\sum_{i=1}^{m} t_{ii} \gtreqless R$.

Ako se poznaje veličina K_{ser} može se odrediti tip proizvodnje po slijedećim kriterijima:

a) $K_{ser}<1$ ili $\sum t_{ii} < R$, tj. nije zadovoljen uslov neprekidnosti proizvodnje, što znači da imamo maloserisku proizvodnju. Dakle, u proizvodnji imamo prekide – proizvodnja nije kontinuirana.

b) $K_{ser}>1$ ili $\sum t_{ii} > R$, tj.proizvodnja je neprekidna, odnosno seriska. Dakle, u proizvodnja je bez prekida– kontinuirana.

Da bi se utvrdilo o kojoj se seriskoj proizvodnji radi treba uzeti dopunski kriterijum najdužeg vremena trajanja operacije (t_{imax}), a to znači od svih *m* operacija posmatramo najdužu.

- za $\frac{t_{i\max}}{R} < 1$ ili $t_{imax} < R$ radi se o srednje seriskoj proizvodnji

- za $\frac{t_{i\max}}{R} > 1$ ili $t_{imax} > R$ radi se o velikoseriskoj proizvodnji

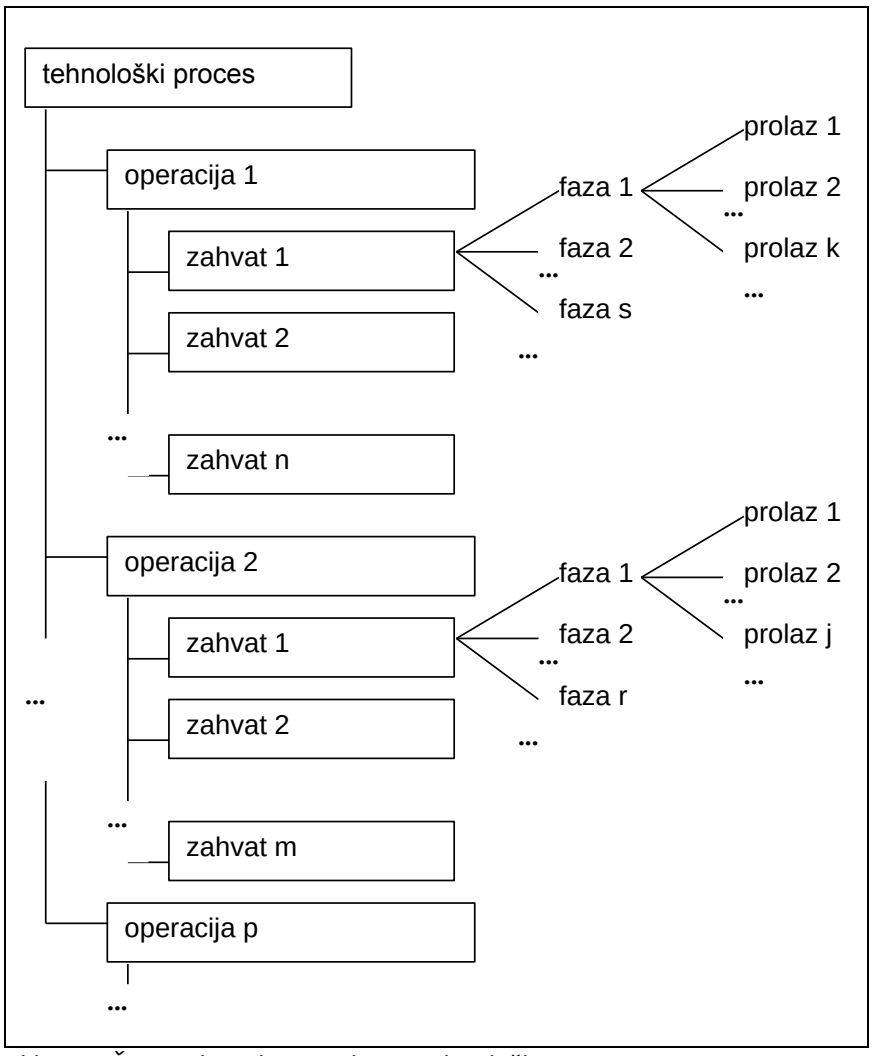
c) K_{ser}>>1 (koeficijent serijnosti je mnogo veći od jedan) ivrijeme trajanja najkraće operacije je veće ili jednako ritmu proizvodnje$t_{imin} \geq R$, radi se o masovnoj proizvodnji neprekidnog tipa. U ovom slučaju je obično potrebno da se na mjestima dužih operacija uvedu dva ili više radnih mjesta, kako bi se na svim radnim mjestima dobilo približno jednako vrijeme, a to znači da je potrebno izvršiti sinhronizaciju vremena trajanja operacija na svim radnim mjestima.

PRIMJER 1:
Odrediti tip proizvodnje ako je količina proizvoda q_j=30000kom/god; korisni kapacitet radnog sistema K_k=3000h/god; dužine trajanja operacija izrade proizvoda su: t_1=2,5h; t_2=3h; t_3=5h i t_4=2h. Izračunati o kom tipu proizvodnje se radi!
Rješenje:
R=K_k/q_j=3000/30000=0,1h/kom
Kser= $\frac{\sum t_{ii}}{R} = \frac{12,5}{0,1} = 125$ kom >1 seriska proizvodnja
K_{ser}>>1 ili $t_{imin} \geq R$, radi se o masovnoj proizvodnji neprekidnog tipa

PRIMJER 2:
Izračunati o kom tipu proizvodnje se radi, ako se proizvodi proizvod u 4 operacije, čije je trajanje: t_1=2,5h; t_2=1,5h; t_3=3h i t_4=1,4h. Proizvodi se 300komada proizvoda u godini, a korisni kapacitet je K_k=1800h/god.
Rješenje:
R=K_k/q_j=1800/300=6 h/kom
Kser= $\frac{\sum t_{ii}}{R} = \frac{8,4}{6} = 1,4$ kom >1 seriska proizvodnja
dopunski kriterij: t_{imax}=3h< R, radi se o srednjeseriskoj proizvodnji.

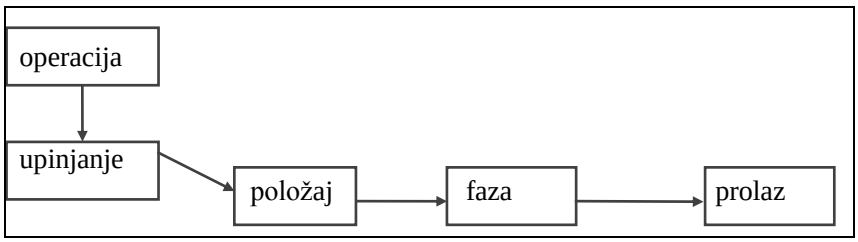
5.Struktura tehnološkog procesa

U različitim proizvodnim sistemima postoji i različita nomenklatura sastavnih dijelova tehnološkog procesa. Ipak, najčešće se tehnološki proces u mašinogradnji sastoji od više operacija, operacije od jednog ili više zahvata, zahvati od faza, a faze od jednog ili više prolaza što je šematski prikazano na slici 29.
Operacija je osnovna jedinica tehnološkog procesa. Pod operacijom se podrazumjeva izvođenje određenog posla na unaprijed definisanom radnom mjestu, sa unaprijed definisanim alatima. Uglavnom se u literaturi koriste dvije definicije sastavnih dijelova operacije. Prva od njih podrazumjeva dijelove: zahvat, faza i prolaz.
Zahvat je vremenski interval unutar kojeg se obavljaju odgovarajuće aktivnosti, a odnose se na period između dva stezanja komada (baziranja).
Pod fazom se podrazumjeva obrada jedne površine jednim alatom, ili većeg broja površina jednim alatom, ili većeg broja površina blokom alata, pri čemu se režimi rada ne mijenjaju.
Prolaz je skidanje sloja materijala, tako da jedna faza može imati jedan ili više zahvata.



Slika 29. Šematski prikaz strukture tehnološkog procesa – 1. varijanta

Druga definicija u literaturi podrazumjeva da se operacija sastoji od: upinjanja, položaja, faza i prolaza (slika 30.).*Upinjanje*predstavlja skup svih poslova koji se obavljaju između dva postavljanja i stezanja radnog komada.Unutar jednog stezanja možemo imati veći broj položaja. Npr. ako radni komad postavimo i stegnemo u podioni aparat, sve što radimo na obratku ulazi u to upinjanje, dok svako okretanje radnog premeta u podionom aparatu predstavlja jedan položaj. Dakle, upinjanje može imati jedan ili više položaja.



Slika 30. Šematski prikaz strukture tehnološkog procesa – 2. varijanta

6.Vrijeme u tehnološkom procesu

Kada se vrši tehnološka priprema proizvodnje neophodno je izračunati vrijeme potrebno za tehnološki proces. U pojedinačnoj i maloseriskoj proizvodnji vrijeme se određuje približno, tj. ugrubo, često na osnovu sličnih tehnoloških procesa koji su već rađeni. Što se više ide prema velikoseriskoj i masovnoj proizvodnji to je i vrijeme potrebno tačnije odrediti. Određivanje vremena je u uskoj vezi sa strukturom tehnološkog procesa, jer proces možemo podijeliti na njegove sastavne dijelove i onda računati vrijeme svakog dijela.

Kod izrade serije komada potrebno je vrijeme za pripremu svih radnih mjesta (obradnih sistema) za tu seriju i vrijeme za dovođenje radnih mjesta u prijašnje stanje (čišćenje, podmazivanje, predaju dokumentacije, alata itd.) nakon proizvodnje serije i to je pripremno-završno vrijeme t_{pz}. Iz ovog se vidi da se t_{pz} sastoji iz dva dijela: pripremno i završno vrijeme. Ono se određuje najčešće tako da se sve aktivnosti na pripremi radnih mjesta za izradu serije i aktivnosti nakon izrade popišu, a zatim se iz tabela, u kojim se nalaze iskustveni podaci iz prakse, uzimaju preporučena vremena trajanja svake od popisanih aktivnosti. Sabiranjem svih vremena aktivnosti dobija se t_{pz}. Osim ovog načina mogu se koristiti i razne metode za određivanje vremena, kao što su metoda trenutnih zapažanja [9] i metoda unaprijed određenih vremena.

Vrijeme izrade serije komada *ti* se računa kao umnožak broja komada u seriji n i vremena izrade jednog komada – komadnog vremena t_k: $t_i = n \cdot t_k$

Komadno vrijeme se sastoji od sume vremena svih operacija tehnološkog procesa izrade nekog dijela i vremena transporta između radnih mjesta (stim da se vremena transporta mogu preklapati sa vremenima obrade dijela).

Jedinična norma $t_1$je vrijeme koje je potrebno da se u normalnim uslovima obradi jedan komad nekog dijela koji se proizvodi na jednom radnom mjestu, npr. na jednom obradnom sistemu (peći za termičku obradu, CNC strugu, brusilici, radnom mjestu za eloksiranje itd.). Oznaka je t_1, a računa se po obrascu:

$$t_1 = (t_t + t_p)(1 + k_d) \tag{4}$$

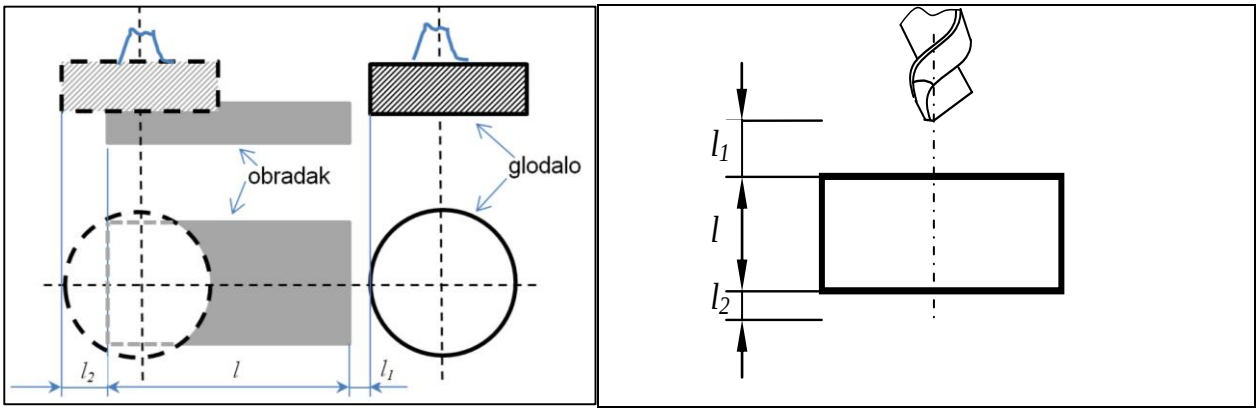
gdje je: t_t - tehnološko vrijeme, a to je vrijeme pri kojem dolazi do transformacije materijala, dakle, alat je direktno u kontaktu sa materijalom;t_p - pomoćno vrijeme za obavljanje aktivnosti koje moramo izvršiti da bismo mogli obaviti aktivnosti koje ulaze u tehnološko vrijemet_t; a k_d - dodatni koeficijent koji se dodaje da bi se uzelo u obzir sporedno vrijeme [20], u koje ulazi vrijeme za odmor, prirodne potrebe, vrijeme za posluživanje radnog mjesta (čišćenje, predaja smjene, podmazivanje, zamjena zatupljenog alata, odstranjivanje otpada (strugotine) i slično. Osim sporednog vremena k_d uzima u obzir i raznorazne organizacijske propusta.k_d uzima vrijednosti od 0,18 do 0,20 po preporukama, ali obično u praksi k_d=0,25 do 0,58. To znači da se vrijeme izrade u realnom tehnološkom procesu uvećaje od 25% do 58% zbog raznih nedostataka i propusta.

Da bi se izračunala jedinična norma potrebno je izračunati tehnološko i pomoćno vrijeme.

Tehnološko vrijeme (u literaturi se naziva i osnovno, a obilježava se $t_t$ili$t_o$ilit_d) računa se opštom formulom:

$$t_t = \frac{L}{sn} \cdot i \text{ [min]} \tag{5}$$

gdje je: *L*[mm] - dužina koju alat prelazi u obradi, *i* - broj prolaza u fazi, *s*[mm/o]– korak (posmak) i *n*[o/min] - broj obrtaja. Dužina*L* se sastoji od tri dijela: ulaza alata pri obradi, dužine puta kojeg prelazi alat, a koja zavisi od dimenzije obratka i izlaza alata. Dakle, $L = l_1 + l + l_2$, gdje je l_1 – ulaz alata (rastojanje na koje alat mora da se zaustavi pri brzom hodu, da ne bi udario u radni predmet pri početku obrade), l_2 – izlaz alata (dužina za koju alat mora izaći iz radnog predmeta pri obradi, da bi obradak bio obrađen), *l* – dužina za obradu. Ove dužine su prikazane na slici 31. za primjer čeonog glodanja gornje površine obratka i izrade prolazne rupe (otvora) zavojnom burgijom.



Slika 31. Dužine pri obradi čeonim glodanjem i bušenjem zavojnom burgijom.

Za svaku vrstu obrade se može odrediti l_1i l_2, odnosno izrazi za l_1i l_2 na osnovu geometrije i tehnologije, tako da se u nekoj literaturi mogu naći gotovi obrasci za ove dužine [20].
Pomoćno vrijeme t_p je vrijeme koje je potrebno za razne aktivnosti koje su neophodne da bi se izvršio tehnološki proces, a ne ulaze u tehnološko vrijeme, kao što su: upravljanje mašinom, pomakom, rashladnim sredstvima, priborom, indeksacija (namještanje i podešavanje svih potrebnih dijelova mašine i uređaja, kao npr. stola mašine, podionih aparata, pomjeranje komada u novi položaj),kontrola (mjerenje) izmjena alata, okretanje i stezanje radnog predmeta i slično.Ovo je neophodno da bi se moglo izvršiti tehnološko vrijeme (obrada). Kada popišemo sve aktivnosti pomoćnog vremena, iz tabela dobijamo preporučene vrijednosti vremena svake aktivnosti. Te vrijednosti su dobijene iskustvom mjereći vrijeme pojedinačnih elementarnih aktivnosti u praksi. Sabirući te vrijednosti dobijamo t_p.

6.1. Mogućnosti smanjenja vremena izrade

U tehnološkim procesima uvijek nastojimo da da vrijeme bude što kraće (naravno uz zadovoljavajući kvalitet i što manje troškove). Tehnološko vrijeme se skraćuje primjenom visoko proizvodnih obradnih sistema, alata i režima obrade, smanjenjem broja prolaza, dodataka za obradu i faza pri obradi. Skraćenje t_p se vrši smanjenjem vremena praznog hoda (veća brzina praznog hoda), umanjenjem vremena postavljanja i skidanja radnog predmeta, bržom i automatskom zamjenom alata, te skraćenjem drugih navedenih aktivnosti koje ulaze u t_p.
Za analizu vremena koriste se šeme obrade koje pokazuju kako se odvijaju pojedine faze i koliko se dijelova istovremeno obrađuje. Postoje:
- jednopozicione šeme (u momentu posmatranja radi se jedan predmet) i
- višepozicione šeme(u momentu posmatranja radi se više predmeta).
I jednopozicione i višepozicione šeme mogu biti: redosljedne, paralelne i kombinovane. Kod redosljednih šema faze se ne preklapaju, nego se odvijaju redosljedom, jedna poslije druge, kod paralelnih šema sve faze se odvijaju istovremeno, dok kombinovane predstavljaju obradu kod koje se istovremeno odvija nekoliko faza, a zatim slijedeća grupa faza, a te grupe se smjenjuju jedna za drugom.

6.1.1.Jednopozicione šeme obrade

- Redosljedna šema obrade

Tehnološka vremena (t_{ti}) pojedinačnih faza se ne preklapaju, tako da je za*n* faza: $t_t = \sum_{i=1}^{n} t_{ti}$

- Paralelna šema obrade

Ako se istovremeno odvijaju sve faze, jasno je da je vrijeme t_t jednako vremenu limitirajuće (najduže) faze t_{tl}, tj.$t_t = t_{tl}$.
- Paralelno - redoslijedna šema obrade

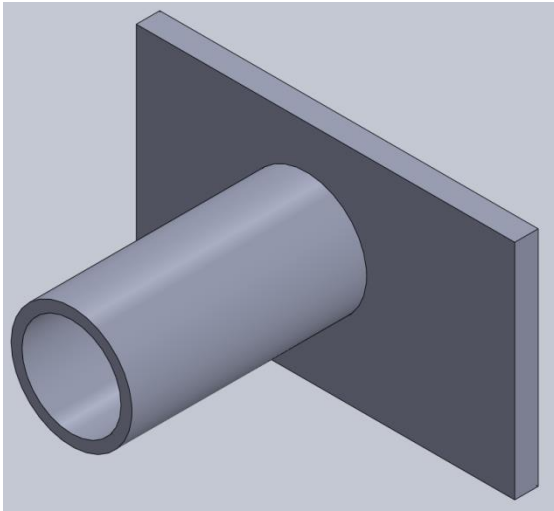
Nekoliko se površina obrađuje istovremeno, zatim dolazi slijedeća grupa faza itd do posljednje grupe faza. Ako tih grupa faza ima *m*, tada je ukupno tehnološko vrijeme jednako zbiru limitirajućih (najdužih) faza u svakoj grupi: $t_t = \sum_{i=1}^{m} t_{tli}$, gdje je *m*broj redosljednih grupa faza, a t_{tli} je limitirajuća faza i-te grupe.

6.1.2.Višepozicione šeme obrade

Tu imamo istovremenu obradu više radnih predmeta. Vrijeme obrade komada kod višepozicione šeme obrade se određuje dijeljenjem opšte utrošenog vremena brojem komada koji se istovremeno obrađuju (z), tj. r*edosljedna šema obrade :* $t_t = \sum_{i=1}^{n} t_{ti} / z$, paralelna šema obrade :$t_t = t_{tl}/z$,paralelno - redoslijedna šema obrade: $t_t = \sum_{i=1}^{m} t_{tli} / z$.

Vrijeme izrade se, takođe, može smanjiti preklapanjem tehnološkog t_t i pomoćnog t_p vremena [6].Npr. kod obradnog centra koji ima višepozicioni okretni sto, na jednoj poziciji se vrši obrada dijela, dok se na drugoj poziciji u isto vrijeme obrađeni komad skida, a neobrađeni novi komad za obradu postavlja.

PRIMJER 1:
Cijev prečnika 20 mm potrebno je REL[2] postupkom zavarivanja zavariti za ploču (slika 32.). Koliko je tehnološko (osnovno) vrijeme, ako je l_1=l_2=2mm i brzina zavarivanja v=2 mm/s?



Slika 32. *Šema obrade za primjer 1*

Rješenje:
v = 2 mm/s ; l_1=l_2=2mm
$L = l_1 + l + l_2$; dužinu l ćemo dobiti kao obim kruga prečnika 20 mm: $l = O = d \cdot \pi$
Tehnološko vrijeme se dobije ako se dužina puta elektrode L podjeli sa brzinom zavarivanja v:

$$t_t = \frac{L}{v} = \frac{l_1 + d \cdot \pi + l_2}{v} = \frac{2 + 20 \cdot \pi + 2}{2} = 33{,}4 \text{ [s]}$$

PRIMJER 2:
Izračunati tehnološko (osnovno) vrijeme pri bušenju slijepe rupe, ako je dubina rupe *l*=10 mm, broj obrtaja burgije *n*=1000 o/min, korak pri obradi *s*=0,01 mm/o; ulaz burgije l_1=2 mm.
Rješenje:

$$t_t = \frac{L}{sn} \cdot i = \frac{10 + 2 + 0}{0{,}01 \cdot 1000} = 1{,}2 \text{ min}$$

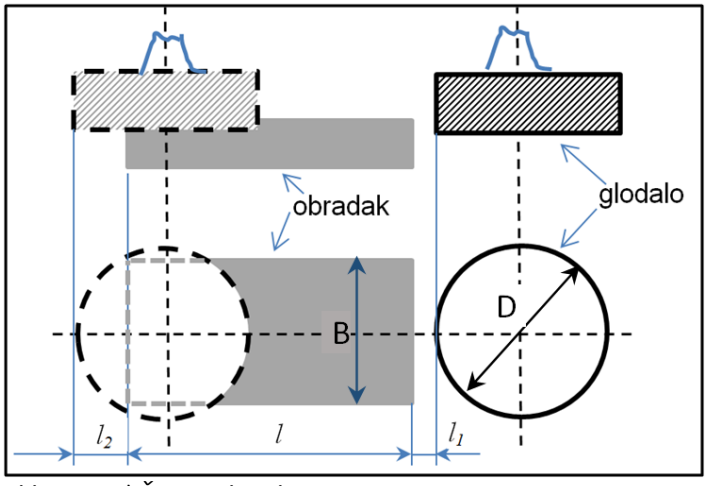
PRIMJER 3:
Dio se na mašini izrađuje u 5 faza: t_{t1}=9min; t_{t2}=3,4min; t_{t3}=9,6min; t_{t4}=6min; t_{t5}=7min. Koliko je ukupno tehnološko vrijeme, ako se sve faze odvijaju paralelno?
Rješenje:
$t_t = t_{tl} = t_{t3}$= 9,6min

PRIMJER 4:
Na slici 33. a) prikazana je šema obrade glodanjem glodalom prečnika D=60mm. Obradak je širok B=40mm. Kolika treba biti najmanja dužina l_2 da bi se obradila cijela gornja površina obradka?
Rješenje:
Ako se pogled odozgo na radni predmet na slici 33. a) uveća, dobija se slika 33. b) na kojoj treba uočiti šrafirani pravougli trougao. Sa slike 33. b) se dobija:
l_2=*D/2-X*

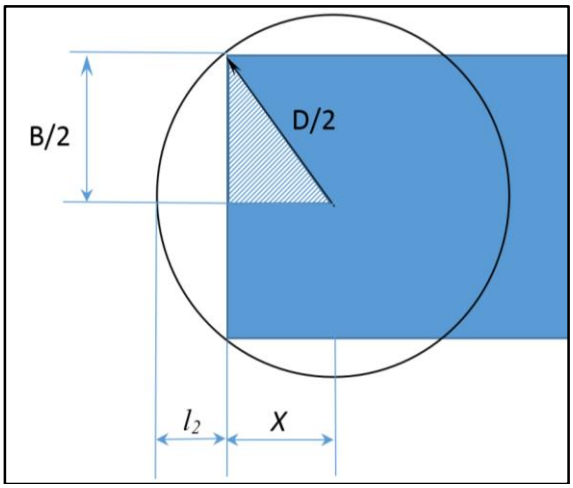
[2] REL – ručno elektrolučno zavarivanje

$$X = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2} = 22{,}36\ mm$$

$l_2 = D/2 - X$ = 30 – 22,36 = 7,64 mm



Slika 33. a) Šema obrade za primjer 4



b) Skica za rješenje primjera 4

7. Proces rada proizvodnog sistema

Proces rada proizvodnog sistema predstavlja skup progresivnih promjena stanja predmeta rada u vremenu [11]. Kada se posmatra neki obradak od početka proizvodnje do kraja, onda se može uočiti promjena dimenzija, oblika, unutrašnje strukture, izgleda, položaja, tj. mjesta na kojim se obradak nalazi u proizvodnji i sve to čini promjene stanja predmeta rada u vremenu. Cilj ovog procesa je dobijanje neposrednih materijalnih proizvoda za tržište. Promjene stanja uslovljene su utroškom resursa proizvodnog sistema - materije, energije i informacija, te vremena. U osnovi postoji veliki broj mogućih varijanti procesa rada pri izradi nekog radnog predmeta. To znači da proizvodni sistem može na više načina proizvesti isti proizvod. Postavlja se pitanje kako iznaći optimalnu varijantu. Da bi se došlo do odgovora neophodno je proći kroz tri koraka realizovanja optimalne varijante procesa rada.

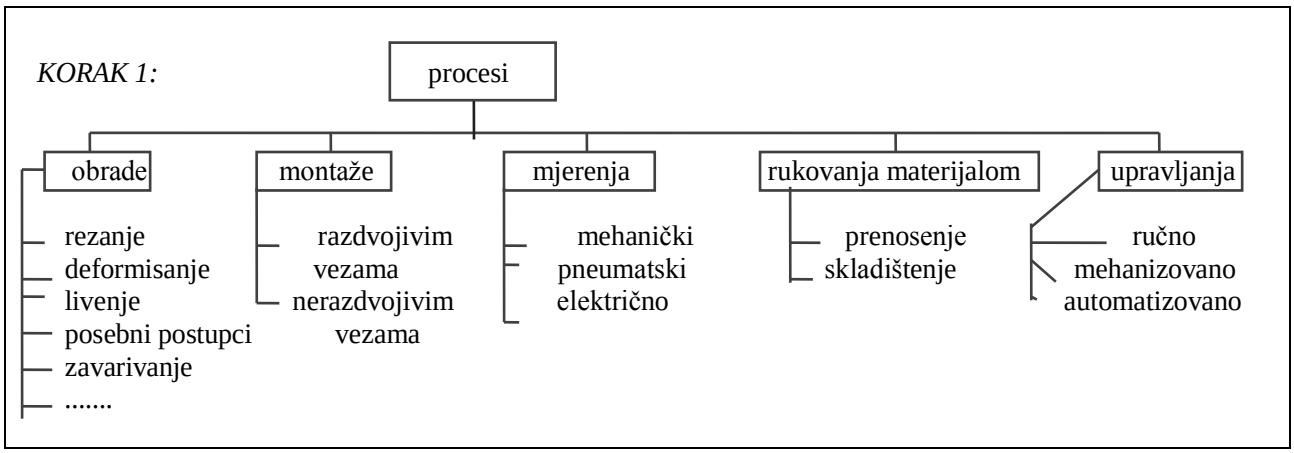
7.1. Koraci realizovanja optimalne varijante procesa rada

Da bi se došlo do optimalne varijante procesa rada potrebno je izvršiti produbljenu analizu zahtjeva kvaliteta proizvoda koji se izrađuje, analizu željenih efekata poslovanja proizvodnog sistema, analizu raspoloživih tehnoloških kapaciteta i prostornih struktura proizvodnog sistema, tj. postojećeg rasporeda opreme i ostalih kapaciteta. Analiza se izvodi se u tri koraka [11]:

1. korak - izbor osnovne varijante procesa rada,
2. korak - izbor varijante postupaka izrade predmeta rada,
3. korak - određivanje elemenata operacije izrade.

7.1.1.Izbor osnovne varijante procesa rada - *KORAK 1*

Postoji veliki broj mogućih procesa obrade, montaže, mjerenja i kontrole, rukovanja i slično, kako je to prikazano šematski na slici 34.



Slika 34. Osnovne varijante procesa.

Svi zahtjevi koji se postavljaju pred proizvode proizvodnog sistema uglavnom se mogu uraditi ovim procesima. Strukturna šema varijante procesa rada je data na slici 35. [11]. Na slici se vidi da postoji veći broj mogućih varijanti obrade, montaže, transporta, kontrole i drugih postupaka neophodnih za dobijanje gotovog proizvoda. Potrebno je da za svaki red u tabeli na slici 35. (za svaki proces) odaberemo najpovoljniju od raspoloživih varijanti. Ukupan broj mogućih varijanti je [11]:

$$V_{pr} = \prod_{\nu=1}^{r} \nu_{p\nu} \quad \text{[varijanti]} \tag{6}$$

Ovo čini postupak optimalnog izbora vrlo komplikovan, jer na raspolaganju stoji vrlo veliki broj mogućih varijanti od kojih je potrebno odabrati jednu. Na slici 35. strelicama su prikazane odabrane varijante postupaka pri procesu rada, tako da strelice spajaju optimalne varijante obrade, montaže, transporta i drugih postupaka u procesu proizvodnje proizvoda.

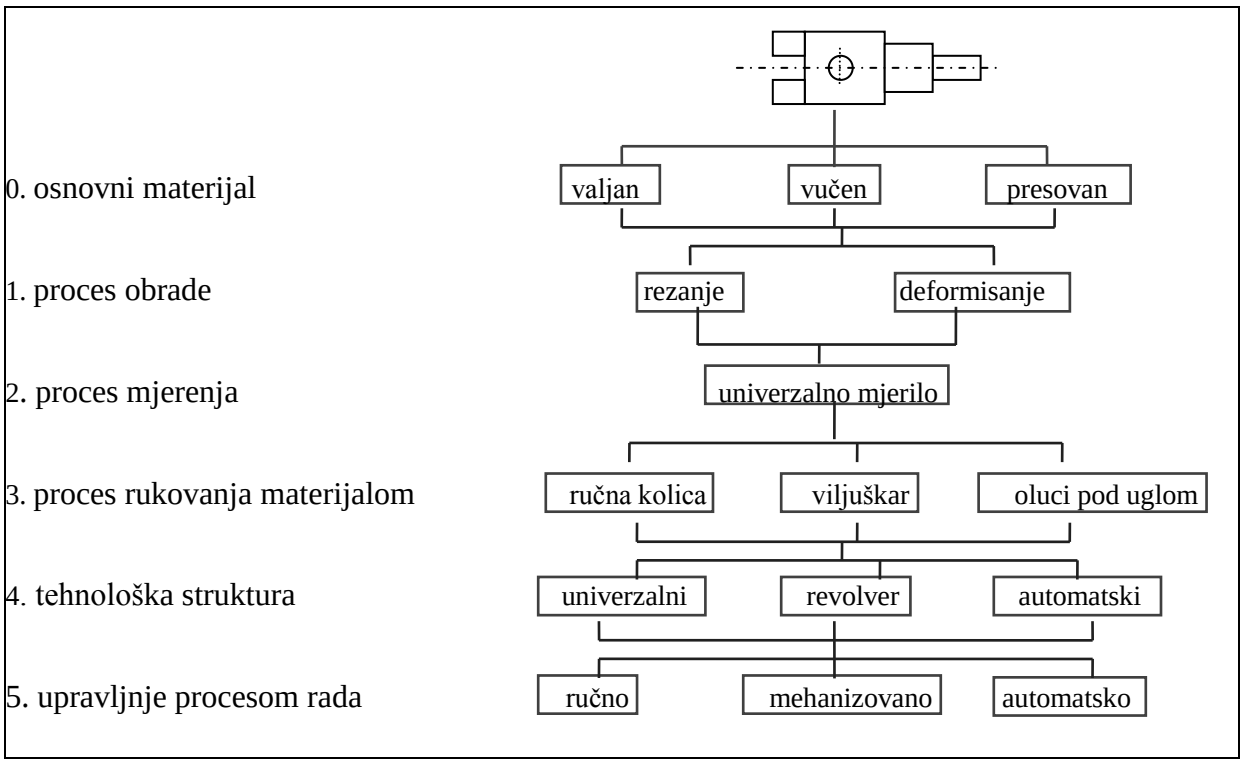
proces rada	varijanta procesa rada						
	1	2	3	....	p	.....	r
1 obrada	V11	V12	V13		V1p		V1r
2 montaza	V21	V22	V23		V2p		V2r
3 transport	V31	V32	V33		V3p		V3r
.	.	.	.		.		.
i i-ti postupak	Vi1	Vi2	Vi3		Vip		Vir
i+1 upravljanje			Vi+1,3				Vi+1,r
z ostali postupci	Vz	Vz2	Vz3		Vzi		Vzr

Slika 35. Strukturna šema varijante procesa [11].

Slika 36. prikazuje primjer mogućih varijanti pri proizvodnji nekog mašinskog dijela prema [11]. U prvom koraku je potrebno izabrati optimalnu varijantu od ponuđenih mogućih. Za primjer na slici 36. formula (6) za ukupan broj mogućih varijanti bi bila:

$$V_{pr} = 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 162$$

Dakle, postoje 162 moguće varijante. U nekom proizvodnom sistemu optimalna bi mogla biti varijanta: osnovni materijal – vučena šipka, proces obrade – obrade rezanjem, proces mjerenja – univerzalnim mjerilom, proces rukovanja materijalom – viljuškarom, tehnološka struktura – univerzalne mašine, upravljanje procesom rada – ručno. Predložena varijanta je optimalna kada ima najniže troškove ili najkraće vrijeme, a osim ova dva (najčešća) kriterija mogu se pojaviti još neki, kao npr. najbolji kvalitet, najbolje iskorištenje proizvodnih kapaciteta itd.



Slika 36. Moguće varijante procesa radapri izradi radnog dijela [11]

7.1.2.Izbor varijante postupka izrade predmeta rada - *KORAK 2*

U drugom koraku se od mogućih varijanti obrade za svaku operaciju odabire optimalna, kako je to šematski prikazano na slici 37. [11]. Potrebno je i ovde da se za svaki red u tabeli na slici 37. (za svaku operaciju) odaberemo najpovoljniju od raspoloživih varijanti.

Analogno formuli (6) broj mogućih varijanti postupka izrade predmeta rada :

$$V_{pi} = \prod_{i=1}^{m} v_{if} \quad \text{[varijanti]} \qquad (7)$$

gdje je *m* - broj operacija, *f* - broj varijanti struktura tehnološkog sistema za svaku operaciju.

operacija obrade	varijante postupka izrade						
	1	2	3		f ...		w
1	V11	V12	V13		V1f		V1w
2	V21	V22	V23		V2f		V2w
3	V31	V32	V33		V3f		V3w
…							
i	Vi1	Vi2	Vi3		Vif		Viw
i+1	Vi+11	Vi+12	Vi+13		Vi+1f		Vi+1w
...							
m	Vm1	Vm2	Vm3		Vmf		Vmw

Slika 37. Strukturna šema varijante postupka izrade.

Kriterijumi za izbor varijanti su: zahtijevi kvaliteta, količina u programu, stepen podijele rada, projektovani efekti radnog sistema (efekti koje radni sistem mora ostvariti u narednom periodu).

7.1.3.Određivanje elemenata operacije izrade (zahvata, faza, prolaza i sl.) - *KORAK 3*

Nakon prva dva koraka neophodno je izvršiti produbljenu analizu elemenata operacija izrade u smislu [11]:

- određivanja elemenata operacije rada - zahvata i redoslijeda izvođenja,

- izbora tehnoloških baza (površina, osa, tačaka u kojim se obradak oslanja pri obradi) i osiguranje kvaliteta izrade,
- izbora optimalnih režima rada i zahtijeva parametara tehnološkog sistema,
- utvrđivanje kategorije rada po zanimanju i stručnosti (potrebne radne snage),
- određivanje osnovnih podloga za izbor univerzalnih alata i projektovanje pribora i, eventualno, specijalnih alata,
- izbor sredstava za hlađenje i podmazivanje,
- utvrđivanje vremenskih standarda.

Tehnolozi u tehnološkoj pripremi proizvodnje određuju redoslijed obrade. Postoji vrlo veliki broj mogućih varijanti izrade dijelova. Naravno, one varijante koje su u konkretnom proizvodnom sistemu neprimjenjive (npr. proizvodni sistem nema potreben mašine, opremu, alate i sl.) se ne razmatraju, a od ostalih mogućih varijanti treba naći optimalnu za predviđenu količinu proizvoda. Tehnološki proces se sastoji iz niza operacija koje imaju različitu strukturu, pri čemu se svaka operacija može izvesti različitim metodama obrade, odnosno na različitim mašinama. Izbor optimalnog redosljeda od posebnog je značaja obzirom na troškove proizvodnje. Za klasičan predmet obrade u mašinskoj industriji redoslijed je najčešće slijedeci:

1.-obrada baza za pozicioniranje,
2.-gruba obrada osnovnih površina,
3.-gruba obrada pomoćnih površina,
4.-poluzavršna obrada osnovnih površina,
5.-završna obrada pomoćnih površina,
6.-termička obrada,
7. -drugostepene obrade vezane za termičku obradu,
8. -završna obrada osnovnih površina,
9. -obrada vezana za kvalitet osnovnih površina,
10.-drugostepene obrade vezane za čvrstoću, tvrdoću i druge termičke zahtijeve
11.-završna kontrola.

Dakle, ovo je najčešći redoslijed, što ne znači da se neke od ovih obrada ne mogu potpuno izbaciti ili zamjeniti u zavisnosti od potreba konkretnog tehnološkog procesa realnog obratka. Pored ovog može se u tehnološki proces izrade ubaciti i: dotjerivanje, pranje, međufazne kontrole, još neke termičke obrade, površinska zaštita i sl.

S obzirom na strukturu tehnološkog procesa (dio 5. ove knjige) operacije izrade se mogu izvoditi istovremeno, tj. paralelno ili redno, tj. seriski, a moguća je i kombinacija da se grupa operacija odvija paralelno, dok se te grupe smjenjuju redno, tj. redno-paralelno. Takođe, i faze unutar operacija se mogu izvoditi istovremeno, tj. paralelno ili redno, tj. seriski, kao i redno-paralelno. To znači da teoretski postoji devet mogućih kombinacija redoslijeda obrade: operacije, kao i faze unutar operacije se mogu smjenjivari redno, paralelno ili redno-paralelno, što je tabelarno prikazano na slici 38.

kombinacije	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
redoslijed operacija	*R*	*R*	*R*	*P*	*P*	*P*	*RP*	*RP*	*RP*
redoslijed faza (unutar oper.)	*R*	*P*	*RP*	*R*	*P*	*PR*	*R*	*P*	*RP*

R - redno
P - paralelno
RP - redno-paralelno

Slika 38. Moguće kombinacije redosljeda obrade.

8. Koncentracija i diferencijacija operacija

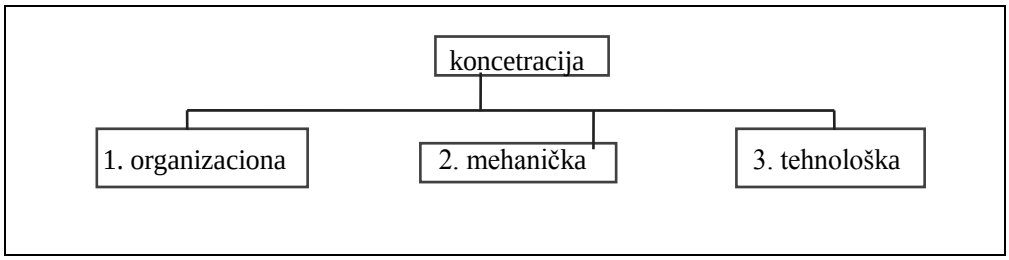
Koncetracija operacija je spajanje obrada što većeg broja površina na jednoj mašini, tj. Pretvaranje više operacija u jednu, tako da se umjesto obrade na više radnih mjesta obrada izvodi na jednom radnom mjestu. Pri tome se vrši ušteda u transportovanju radnog predmeta, tako da se smanjuje ukupno vrijeme tehnološkog procesa, a povećaje se i tačnost obrade, zbog manjeg broja sezanja i baziranja komada. Krajnja granica koncetracije operacija je obavljanje kompletne obrade na jednoj mašini (radnom mjestu). Cilj koncentracije operacija je smanjenje vremena izrade i povećanje tačnosti obrade. Ovde je korisno napomenuti da

savremeni obradni centri mogu vršiti različite vrste obrada, npr. bušenje, glodanje, struganje, brušenje itd. na jednom obradnom sistemu. Takođe, sve više se koriste tehnologije aditivnih obrada, kao što je trodimenzionalno printanje, koje omogućuju dobijanje relativno složenih geometriskih oblika na jednom obradnom sistemu.

Diferencijacija operacija je rasčlanjivanje obrade na što veći broj prostih operacija. Granični slučaj diferencijacije operacija je pretvaranje svake faze u operaciju. Cilj diferencijacije operacija je jeftina oprema, lakše podešavanje mašina, smanjenje pomoćnog vremena i korištenje radne snage niže kvalifikacije.

Koncentracja i diferencijacija operacija su, dakle, suprotni pojmovi i aktivnosti, međutim, nekada treba izvršiti koncentraciju, a nekada diferencijaciju operacija. Generalno koncentracija se vrši kada se nastoji skratiti vrijeme obrade, povećati tačnost pogotovo kod pojedinačne i maloseriske proizvodnje. Diferencijacija operacija se vrši kod masovne proizvodnje, pogotovo kod proizvodnje u liniji, tako da se cijeli tehnološki proces podjeli na vrlo jednostavne operacije koje se izvode na radnim mjestima poredanim u liniju prema redosljedu obrade, a na tim radnim mjestima se koristi priučena radna snaga (zbog jednostavnosti operacija), te jeftina i jednostavna oprema. Sve operacije tada imaju približno jednaka vremena, jer je izvršena sinhronizacija vremena obrade. Takt linije je vrijeme koje je potrebno da se na bilo kom radmon mjestu izvrši obrada jednog komada i nakon svakog takta sa linije izlazi jedan gotov (završen) dio, odnosno proizvod.

Razlikuju se tri vida koncetracije operacija: organizaciona, mehanička i tehnološka (slika, 39.).



Slika 39. Vidovi koncentracije operacija.

Organizaciona koncentracija operacja predstavlja spajanje više operacija koje se obavljaju na sličnim ili istim mašinama u jednu. Tehnološki proces se ne mjenja, ali se mjenja samo vrijeme obrade. Kod mehaničke spajaju se poslovi koji se inače rade iz većeg broja zahvata u jedan zahvat, tako da se smanjuje pomoćno vrijeme t_p, a povećava tačnost obrade.Tehnološka koncentracija operacija spaja više prolaza u jedan tehnološki složeniji prolaz, korištenjem više alata istovremeno.

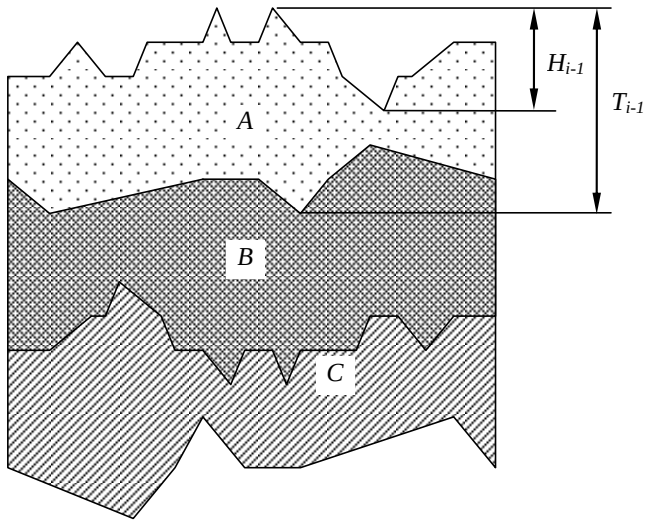
Osim pomenute podjele, postoji i podjela na koncentraciju nultog, prvog, drugog reda i maksimalni stepen koncentracije operacija. Koncentracija nultog reda je kada, ustvari, nama koncentracije operacija, tako da se operacije redosljedno smjenjuju – kada završi jedna operacija počinje slijedeća. Vrijeme je ovde jednako zbiru vremena svih operacija. Kod koncentracije prvog reda po nekoliko operacija se izvodi istovremeno. Kada se završi jedna ukrupnjena – složena operacija (koja se sastoji od dvije ili više elementarnih), nastavlja se slijedeća, tako da je ovdje vrijeme jednako zbiru vremena ukrupnjenih operacija. Naravno, to vrijeme je manje od vremena pri koncentraciji nultog reda za isti tehnološki proces. Koncentracija drugog reda se javlja ako imamo obradu na višepozicionim mašinama. Tada se na svakom radnom mjestu istovremeno obrađuje više radnih predmeta. To znači da se i vrijeme izrade skraćuje za *z* puta, gdje je *z* broj radnih predmeta koji se istovremeno obrađuju. Maksimalni stepen koncentracije operacija nsataje objedinjavanjem najvišeg reda, ako je moguće. Sastoji se u povezivanju višepozicionih mašina u jedan sklop, što dovodi do dobijanja transfer mašine s obzirom da se predmet obrade izrađuje tako da se istovremeno obavljaju sve elementarne operacije. To je maksimalna koncetracija operacija, gdje se cijeli proces obavlja na jednom mjestu i istovremeno se obrađuje više radnih predmeta. Vrijeme obrade biće kraće što je izvršen viši stepen koncentracije.

9. Dodaci za obradu

Dodatak za obradu je sloj materijala koji se skida u procesu mehaničke obrade u cilju postizanja zadate tačnosti dimenzija, položaja površina i detalja na dijelu, tačnosti oblika i kvaliteta obrađene površine. Vrlo je važno da dodatak za obradu bude optimalan, jer veliki dodaci uzrokuju i velike troškove njihovog skidanja, a sa druge strane premali dodaci onemogućuju dobijanje tačnih dimenzija, oblika i kvaliteta obrađene površine. Troškovi usljed velikog dodatka za obradu pogotovo dolaze do izražaja pri serijskoj i masovnoj proizvodnji. Postoje dvije metode za određivanje dodatka za obradu [6]:

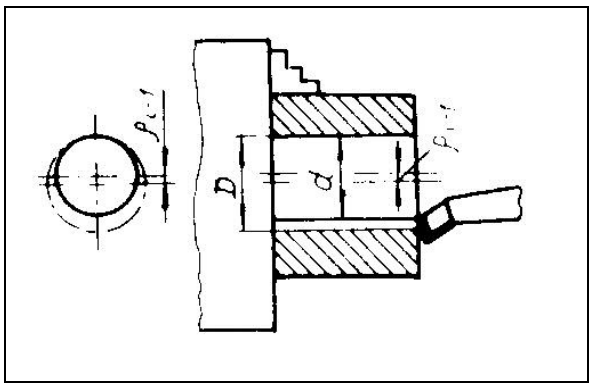
1. **Opitno – statistička metoda**. Metoda dolazi do dodataka za obradu na osnovu sređenih podataka dobijenih za različite vrste obrade na bazi iskustva. Sređeni podaci su dati u obliku tablica ili u obliku baza podataka, gdje se upotrebom računara dobijaju preporučeni dodaci za obradu. Pri ovoj metodi veličina dodatka za obradu uglavnom zavisi od nominalnih dimenzija radnog predmeta, vrste obrade (glodanje, brušenje, rendisanje, ..., unutrašnja obrada, vanjska obrada, poprečna obrada, ...), oblika pripremka (kovani, liveni, ...) , kvaliteta površine koji treba postići obradom i finoće obrade (gruba, čista, fina obrada) itd.
2. **Računsko-analitička**. Metoda dolazi do dodataka za obradu računski za konkretne uslove obrade.Ovaj metod je tačniji. Veličina dodatka treba biti takva da se pri njegovom skidanju odstrane greške obrade i oštećenja površinskog sloja, dobijena prethodnom tehnološkom fazom, kao i greške postavljanja radnog predmeta pri datoj obradi [6]. Primjena ove metode je opravdana kod velikih serija i masovne proizvodnje.

Veličinu minimalnog dodatka za obradu određuju sljedeći faktori: - H_{i-1} - hrapavost, tj. visina neravnina iz predhodne faze obrade date površine (slika 40.); - T_{i-1} - veličina defektnog sloja iz predhodne faze (slika 40.); - ρ_{i-1} –prostorna odstupanja položaja obrađene površine u odnosu na bazne površine (površine oslanjanja) (slika 41.); - Δ_{pi} - greške postavljanja. Greške postavljanja, pri određivanju dodatka za obradu je veličina za koju se pomjera posmatrana površina usljed stezanja komada (obradka), a zbog netačnosti njegovih baznih površina, netačnosti izrade i trošenja elemenata za postavljanje pribora, kao i greške provjeravanja pri individualnom postavljanju obratka [6].

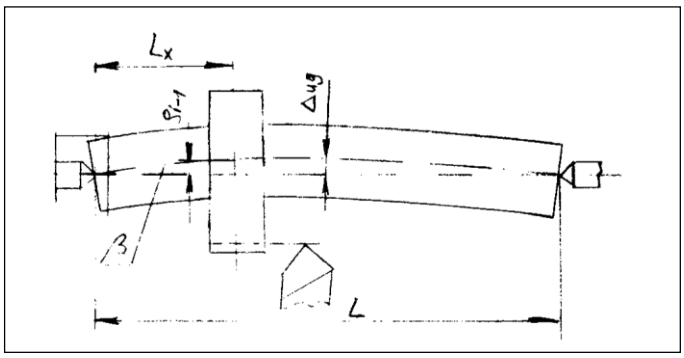


Slika 40. Hrapavost Hi-1 i Ti-1 veličina defektnog sloja iz predhodne faze na uvećanom prikazu presjeka obratka [6].

Na slici 40. su prikazani slojevi na uvećanom presjeku radnog predmeta, gdje je sa A označen oštećeni sloj u prethodnoj obradi (oštećen uticajem toplote i djelovanja alata u obradi) sa neravninama. Sloj B je dio površinskog sloja koji će se odstraniti u obradi, dok je sloj C osnovna struktura materijala.



Slika 41. Prostorno odstupanje položaja obrađene površine – ρi-1 [6].



Slika 42. Izračunavanje veličine ρi-1 [6].

Veličina minimalnog dodatka za obradu se određuje pomoću računske metode tako da se postavi odgovarajući matematski model za konkretan obradak i uslove obrade. Tako npr. na slici 42 obrađuje se vratilo sa diskom. Uslijed sila stezanja između šiljaka dolazi do stvaranja ugiba Δ_g na sredini vratila. Taj ugib se pomoću formula iz otpornosti materijala može odrediti, a kako znamo dužinu vratila L i dužinu od početka vratila do sredine disa L_x, možemo odrediti i veličinu ρ_{i-1}:

$$\rho_{i-1} = tg\beta \cdot L_x = \frac{2\Delta_{ug} L_x}{L}$$, gdje je $$tg\beta = \frac{\Delta_{ug}}{\frac{L}{2}}$$ sa slike

do veličine ρ_{i-1} dolazimo preko veličina Δ_{ug}, L_x i L. Na sličan način dobijamo i ostale veličine (***H_{i-1}*** **,** ***T_{i-1}*** **,** ***Δ_{p1}***), a zatim u zavisnosti od vrste obrade postavljamo jednačinu za minimalni dodatak za obradu. Npr. za uzastopnu obradu suprotnih površina dodatak za obradu na jednu stranu će biti [6]:

$$z_{1\min} = H_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_{pi}$$

9. Baze i baziranje

Ako posmatramo dio nekog proizvoda (neke mašine, uređaja, konstrukcije, postrojenja i sl.), na njemu možemo uočiti više ili manje detalja. Svi ti detalji, odnosno elementi dijela moraju biti jasno definisani, tj. definisan njihov položaj, oblik, veličina itd. Baze su površine, linije ili tačke u odnosu na koje se vrši definisanje elemenata nekog proizvoda, odnosno dijela proizvoda.

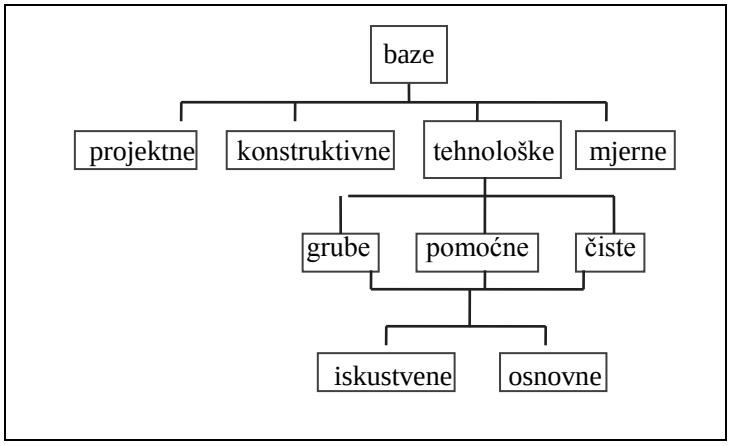
9.1.Vrste baza

Prema karakteru svoje namjene baze se dijele na: projektne, konstruktivne, tehnološke i mjerne. Tehnološke se, opet, dijele na: grube, pomoćne i čiste ili na: iskustvene i osnovne (slika 43.).

Projektne baze služe za određivanje izračunatog položaja (detalja i sklopa) u odnosu na drugi detalj i sklop u proizvodu pri projektovanju. Konstruktivne baze su površine linije ili tačke u odnosu na koje nanosimo kote i dozvoljena odstupanja, koja definišu oblik i dimenzije predmeta. Tehnološke baze predstavljaju skup površina, linija ili tačaka u odnosu na koje se predmet orjentiše u toku obrade. Mjerne baze su one u odnosu na koje vršimo mjerenje pri izradi i kontroli.

Gruba baza je ona koja se koristi u prvoj operaciji obrade, kada nema obrađene površine u prethodnoj operaciji. One služe za dobijanje pomočne tehnološke baze, a često i čiste (završne). Pomoćnu tehnološku bazu dobijamo prethodnom obradom, kao i čistu, s tom razlikom što čistu bazu više ne obrađujemo. Primjer čiste baze imamo kod postavljenja cilindričnog radnog predmeta na trn, gdje se površina najprije izbuši, pa obradi (npr. unutrašnjim struganjem) i zatim koristi kao čista baza.

Osnovne baze su one koje su predviđene konstrukcijom dijela, a vrše određenu ulogu pri radu dijela u proizvodu, dakle, imaju određenu funkciju u proizvodu, dok su iskustvene površine koje su specijalno izrađene na dijelu radi obrade drugih površina [6]. Površine koje predstavljaju iskustvene baze nisu potrebne radnom predmetu za njegovu funkciju u proizvodu za koji je namjenjen, ali su potrebne za njegovu izradu. Nakon obrade se mogu odstraniti.



Slika 43. Podjela baza

Primjer baza za jedan radni predmet je dat na slici 44. Potrebno je glodanjem obraditi površine B, da bi se dobile dimenzije A i C sa tolerancijom δ_A δ_C respektivno. Tu su označene slijedeće površine na radnom predmetu:

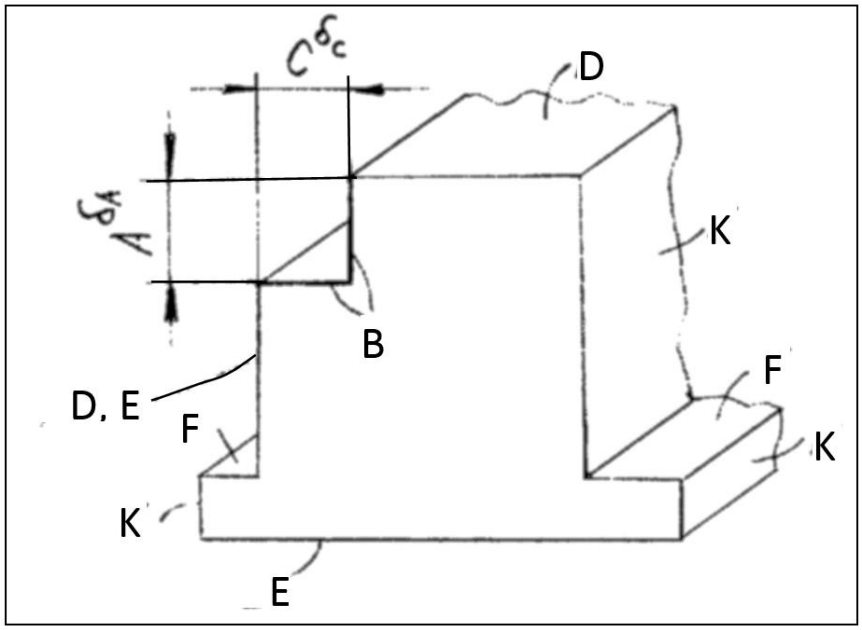
B - obrađivane površine,

D - mjerna baza od koje se mjere dimenzije A i C (gornja i lijeva bočna površina),

E - tehnološka baza (površina na koju se oslanja radni predmet na sto glodalice),

F - površine koje primaju djelovanje steznih uređaja,

K - slobodne površine (površine na dijelu koje pri ovoj obradi nemaju značaj).



Slika 44. Baze na radnom predmetu [6]

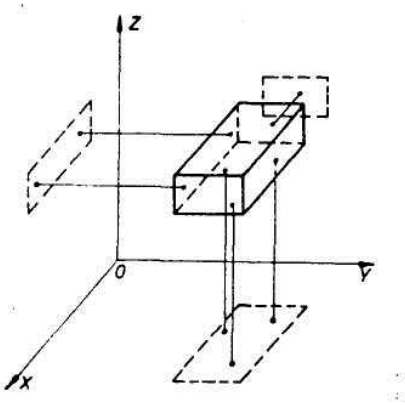
9.2. Šeme baziranja [13]

Osnovna funkcija steznog pribora jeste pouzdano baziranje i stezanje radnog komada. Pri izvođenju obrade sile rezanja prenose se sa alata na predmet obrade i stezni pribor. Položaj predmeta obrade u steznom priboru mora biti jednoznačno određen odnosno predmet obrade se u steznom priboru treba oslanjati, bazirati i centrirati po tačno definisanim površinama, linijama i tačkama. Izbor površina, linija, osa ili tačaka za baziranje zavisi prvenstveno od faktora vezanih za:

predmet obrade,
mogućnost izvođenja proizvodne operacije i
mogućnost stezanja.

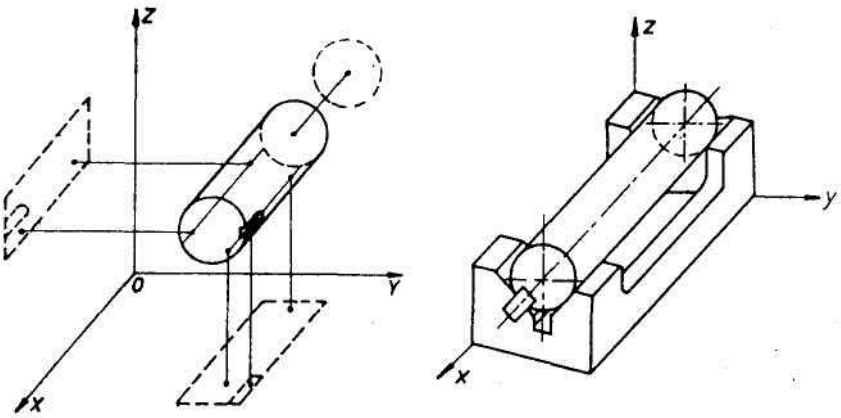
Obrada dijelova sastoji se iz pojedinačnih operacija definisanih tehnološkim procesom izrade, na primjer: odsijecanje, glodanje određenih površina, bušenje, brušenje. Svaka operacija ili zahvat vezan je za ostvarivanje određene kote, kvaliteta obrađene površine i slično. Svaki dio (mašinski element) definisan je određenim kotama, tolerancijama i zahtjevima o pitanju kvaliteta obrađene površine. Konstruktivni crtež elementa predstavlja polaznu osnovu za definisanje tehnološkog procesa izrade istog i osnovu za izbor površina, linija i tačaka za baziranje pri izradi konstrukcije pomoćnog pribora. Pri izboru baza takođe treba voditi računa o mogućnosti izvođenja obrade, odnosno o orjentaciji površine koja se obrađuje u odnosu na baznu površinu. Pored toga treba voditi računa i o mogućnosti izvođenja stezanja po izabranim baznim površinama. Izabrane površine za baziranje, centriranje i graničenje treba da omoguće ostvarenje određenih kota, tolerancija i kvaliteta obrađene površine uz mogućnost izvođenja procesa obrade po jednoj ili više površina pri maksimalno pouzdanom stezanju radnog komada.
Dakle, pri razradi tehnološkog postupka za radni predmet,veoma je važan izbor baza na radnom predmetu. Od tog izbora zavisit će konstrukcija pomoćnog pribora, u kojem se na ispravan način locira radni predmet. Elementima za baziranje odredjuje se jednoznačan položaj obratka u priboru i taj položaj, u toku procesa obrade, ne smije da se mijenja. Broj oslonaca i način oslanjanja obratka zavisi od oblika obratka i vrste obrade. S obzirom da je položaj tijela u prostoru određen sa 6 koordinata, ono ima šest stepeni slobode kretanja (tri translacije i tri rotacije). Da bi tijelo bilo u položaju relativnog mirovanja neophodno je da mu se oduzmu svih šest stepeni slobode. Za odredjivanje čvrstog položaja radnog predmeta neophodno je postojanje šest oslonih tačaka. Više od šest oslonih tačaka smanjuje tačnost obrade. Za njihov razmještaj potrebne su tri površine. U zavisnosti od oblika i veličine radnog predmeta te tačke se mogu različito rasporediti na površine. Na primjer, kod prizmatičnih radnih predmeta, tri oslone tačke razmještaju se na površinu koja ima najveće dimenzije. Ako bismo sa donje strane stavili 4 ili više oslonaca radni predmet bi i dalje ležao na tri oslonca,

jer je nemoguće idealno tačno izraditi oslonce da su svi u istoj ravni. Ostale oslonce obradak ne bi dodirivao dok se ne bi djelovalo silom stezanja sa gornje strane, kada bi došlo do njegove deformacije. Dvije oslone tačke razmještaju se na površinu sa najvećom dužinom i jedna oslona tačka na površinu najmanjih dimenzija (Slika 45.). Za stezanje potrebne su 3 sile koje djeluju nasuprot oslonca, ali u praksi je dovoljna i jedna sila.

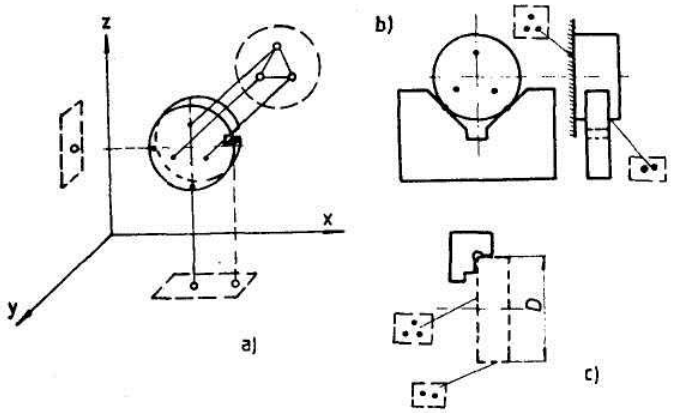


Slika 45. Baziranje prizmatičnih obradaka [13]

Površina koja obratku oduzima tri stepena slobode naziva se osnovna baza, a to je površina sa najvećim dimenzijama i koja određuje najstabilniji položaj obratka u pomoćnom priboru.
Povećanje broja oslonaca ne samo da neće poboljšati uslove postavljanja nego će ih pogoršati, jer ni obradak, ni pribor ne mogu biti idealnih dimenzija [6].
Radni predmeti cilindričnog oblika mogu biti veće ili manje dužine. Baziranje dugih cilindričnih predmeta vrši se prema šemi prikazanoj na slici 46. Sa po dva oslonca u dvije ravni X0Z i X0Y oduzima se četiri stepena slobode kretanja, peti stepen slobode kretanja oduzima se sa jednim osloncem u ravni ZOY.
Šesti stepen slobode, obrtanje oko sopstvene ose, oduzima se formiranjem na obratku žljeba za klin ili sa ispustom koji se kasnije uklanja sa obratka, a služi za vezu odnosno igra ulogu šestog oslonca.
Na cilindričnim predmetima, čija je dužina manja od prečnika (disk, zupčanik, spojnica itd.), šest oslonih tačaka razmještaju se na sljedeći način: tri na čeonoj površini, koja ima funkciju osnovne baze, dvije na cilindričnoj površini koja oduzima dva stepena slobode (mogućnost pomjeranja u pravcu dviju uzajamno okomitih osa), usljed čega površina nosi naziv dvojna oslona, ili baza za centriranje, i jedna tačka na jednoj od površina kanala za klin, koja ima funkciju oslone baze (Slika 47. a).



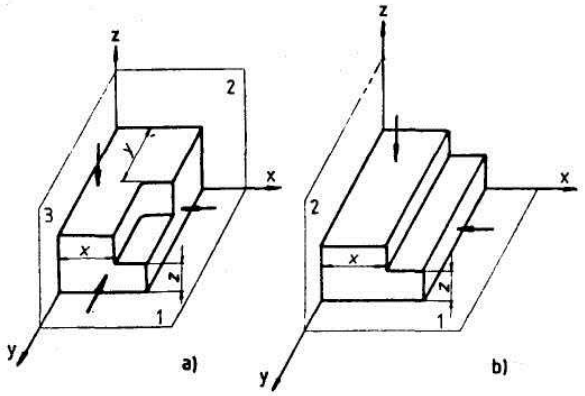
Slika 46. Baziranje cilindričnih radnih predmeta [13]



Slika 47. Šema baziranja kratkih cilindričnih predmeta [13]

9.2.1. Nepotpuno i potpuno baziranje

U cilju dobijanja tačnih dimenzija i ako se tačnost mora postići u tri pravca po x, y i z osama baziranje se mora izvesti tako da se radnom predmetu oduzmu svih šest stepeni slobode. To znači da se radni predmet mora potpuno bazirati, što je slučaj kod izrade žljeba za klin (Slika 48. a) gdje se glodanjem moraju ostvariti tri veličine: x, y i z, a oslanjanje je ostvareno u ravnima 1,2 i 3.



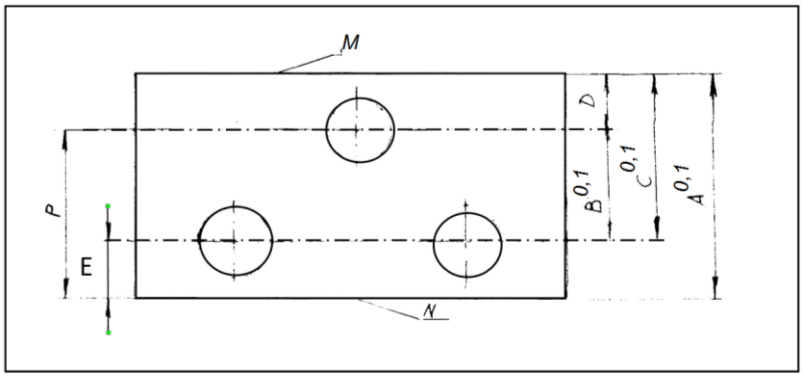
Slika 48. Potpuno i nepotpuno baziranje [13]

U primjeru na Slici 48. b i s obzirom da se na radnom predmetu traže samo dvije veličine x i z, dovoljno je baziranje u dvije ravni 1 i 2. Ograničenje sa čeone strane može biti izvedeno proizvoljno. Ovakav način baziranja je nepotpuno baziranje. [13]

9.3. Principi postojanosti i sjedinjavanja baza

Princip postojanosti baza podrazumijeva da jedanput izabrana površina služi za bazu i u ostalim operacijama. Tada greške uzajamnog položaja površina, koje nastaju u koordinatnim dimenzijama od jedne tehnološke baze, zavise samo od grešaka obrade i regulisanja (podešavanja), a ne zavise od grešaka postavljanja i šeme baziranja [6]. Ovaj princip dobija na značenju u uslovima koncetracije operacija.

Princip postojanosti baza se može ilustrovati slijedećim primjerom (slika 43.):



Slika 49. Primjerom primjene principa postojanosti baza.

Vrši se izrada tri provrta na radnim komadu na bušilici. Tačnost izrade svih provrta je: $0{,}05[mm]$, što znači da sistemska greška na bušilici ne može biti veća od 0,05mm.
Ako pri izradi provrta za bazu uzmemo površinu M i zadržimo je kao tehnološku bazu za izradu svih provrta, tada će maksimalna moguća greška dimenzije B biti:
$\Delta B = \Delta C + \Delta D = 0{,}05 + 0{,}05 = 0{,}1[mm]$ - što zadovoljava, jer maksimalno dozvoljeno odstupanja dimenzije B je 0,1 mm (slika 43.).
Ako pri izradi provrta za bazu uzmemo površinu N i zadržimo je kao tehnološku bazu za izradu svih provrta, tada će maksimalna moguća greška dimenzije B biti:
$\Delta B = \Delta E + \Delta P = 0{,}05 + 0{,}05 = 0{,}1[mm]$ - što opet zadovoljava, jer će se dobiti dobri rezultati u odnosu na konstruktivni crtez.
Ako se za izradu gornjeg provrta uzme jedna npr. M površina, a za izradu donjih druga npr. N površina za bazu, tada će maksimalna moguća greška dimenzije B biti:
$\Delta B = \Delta A + \Delta E + \Delta D = 0{,}1 + 0{,}05 + 0{,}05 = 0{,}2[mm]$ - što ne zadovoljava, jer je moguća greška pri izradi veća od dozvoljenog odstupanja na crtežu. U ovom trećem slučaju nije poštovan princip postojanosti baza, pa je došlo do greške.

Princip sjedinjavanja baza podrazumijeva sjedinjavanje konstruktivne i tehnološke baze, čime se izbjegava greška baziranja. Definisanje konstruktivne i tehnološke baze utiće na redoslijed operacija. Vrlo je važno u fazi konstruisanja dijelova da se uzima u obzir tehnologija izrade i da se odmah u toj fazi definišu konstruktivne baze koje će se poklapati sa tehnološkim bazama pri izradi. Dakle, bitna je saradnja konstruktora i tehnologa.

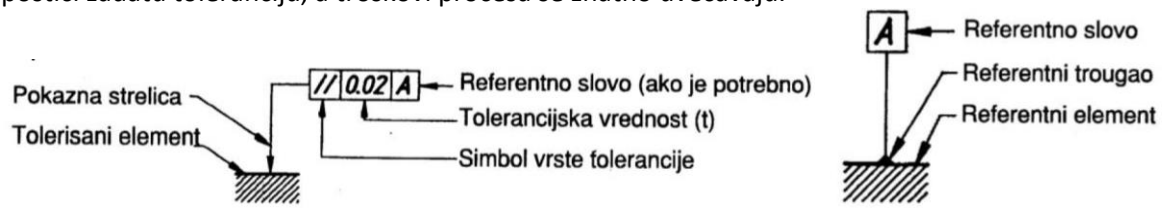
9.4.Greške pri baziranju

Prilikom baziranja javljaju se greške i to:
-greške nepravilnog izbora baza;
-greške stezanja;
-greške steznih alata
Greške nepravilnog izbora baza se javljaju usljed nepoklapanja tehnoloških i mjernih baza [6]. Greške stezanja nastaju zbog promjene mjera usljed napona i deformacija koji nastaje kao posljedica sila stezanja, a greške steznih alata zbog habanja pojedinih dijelova tog alata usljed upotrebe, netačnosti izrade alata i slično.

10. Tačnost izrađenog proizvoda i njegova pouzdanost

Tačnost je stepen podudarnosti izrađenog proizvoda (mašina, sklop, detalj, dio) sa njegovim unaprijed utvrđenim protitipom ili uzorkom, tj. sa njegovim dimenzijama, oblikom, mehaničkim i fizičkim osobinama. Postoji tačnost dimenzija, oblika, uzajamnog položaja i površinske hrapavosti.
Što se tiče tačnosti dimenzija, svaka dimenzija na obradku ima svoju toleranciju izrade, čak i slobodne kote. Što je uža tolerancija, to ju je teže postići, a troškovi izrade eksponencijalno rastu sa smanjenjem tolerancija.

Tačnost oblika i uzajamnog položaja je definisana tolerancijama oblika i položaja. Vrste ovih telerancija su: pravost, ravnost, kružnost, cilindričnost, oblik linije, oblik površine, ravnost obrtanja, kružnost obrtanja, paralelnost, upravnost, nagib, lokacija, simetričnost, koaksijalnost. Oznaka tolerancije oblika i položaja je data na radioničkom crtežu dijela i ima simbol vrste tolerancije, tolerancisku vrijednost, a ako je potrebno i referentno slovo, koje označava referentnu površinu (Slika 50.). Što je manja toleranciska vrijednost to je teže postići zadatu toleranciju, a troškovi procesa se znatno uvećavaju.



Slika 50. Tolerancija oblika i položaja [22]

Površinska hrapavost je klasificirana u više klasa hrapavosti od N1 (najmanja hrapavost) do N12 (najveća hrapavost). Koja se klasa hrapavosti može postići kojom obradom prikazano je u Tabeli 3 [21].
Tehnološki proces izrade dijela zavisi od tačnosti dimenzija, oblika, uzajamnog položaja i površinske hrapavosti. Npr. ako imamo neki prečnik sa tolerancijom od nekoliko mikrometara, tada obično moramo osim struganja tog prečnika, vršiti i brušenje, pri čemu se skida vrlo mali dodatak za obradu da bi se postigla mjera između donje i gornje granične mjere (u tolerantnom području). Ako taj isti prečnik ima toleranciju 0,1mm, tada se njegova obrada može obaviti na strugu, bez brušenja, što je mnogo jeftinije i brže.

Tabela 3. Stepeni i klase hrapavosti površina u zavisnosti od obrada [21]

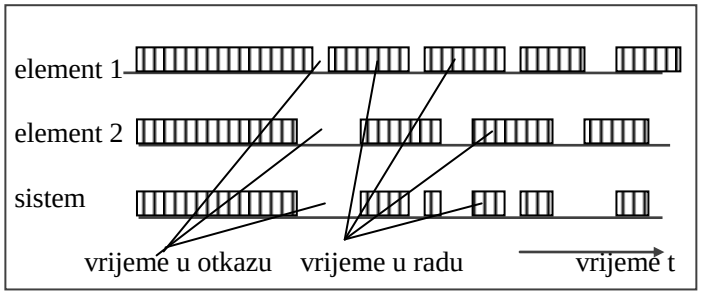
Stupanj hrapavosti			N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	
Razred hrapavosti		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R_a [μm]		0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100
R_z [μm]		0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200	400
Ručna obrada	grubo turpijanje										■	■	■	■	■
	fino turpijanje							■	■	■	■				
Lijevanje	u pijesku													■	■
	u kokili										■	■	■	■	■
Kovanje	toplo, slobodno														■
	toplo, u ukovnju										■	■	■	■	■
	hladno, u ukovnju								■	■	■				
Valjanje	toplo										■	■	■	■	■
	hladno					■	■	■	■	■	■				
Pjeskarenje												■	■	■	■
Tokarenje	grubo								■	■	■	■	■	■	■
	fino					■	■	■	■	■					
Blanjanje	grubo											■	■	■	■
	fino								■	■	■	■			
Provlačenje	grubo											■	■	■	■
	fino								■	■	■	■			
Glodanje	grubo									■	■	■	■		
	fino						■	■	■	■					
Bušenje											■	■	■	■	■
Razvrtavanje						■	■	■	■	■	■				
Brušenje	grubo								■	■	■	■	■		
	fino				■	■	■	■	■						
Poliranje	mehaničko				■	■	■	■							
	električno		■	■	■	■	■								
Honanje, lepanje			■	■	■	■	■	■	■						
Superfiniš		■	■	■	■										

Vjerovatnoća da će proizvod uspješno vršiti funkciju kriterija u projektovanom vremenu i datim uslovima okoline se naziva **pouzdanost**. Za definisanje ili predviđanje pouzdanosti elemenata sistema (dijelova

proizvoda) najčešće se koriste slijedeće karakteristike: vjerovatnoća rada bez neispravnosti, srednje vrijeme rada do pojave otkaza, učestalost pojave neispravnosti i njihova brzina pojavljivanja. Da bi se došlo do ovih veličina neophodno je duži vremenski period pratiti rad jednog sistema (proizvoda, postrojenja, mašine, konstrukcije i sl.) u fazi eksploatacije i uredno bilježiti sve pojave značajne za pouzdanost (otkazi, zastoji, kvarovi itd. sa svim detaljima). U fazi eksploatacije pomenutih sistema neophodno je vršiti njihovo održavanje. Održavanje je skup aktivnosti koje se poduzimaju kako bi se određeni objekt održavanja doveo u ispravno stanje ili održao što duže u ispravnom stanju, a sve zbog toga da može kvalitetno obavljati svoju funkciju [1]. Kako se održavanje mašina i opreme izučava u posebnom predmetu, ovde će se dati samo osnovni pojmovi i definicije potrebni za pouzdanost proizvoda.
Terotehnologija je stručno područje koje u sebi objedinjuje problematiku upravljanja, finansija, tehničkih i ostalih disciplina primijenjenih za opremu u cilju dobrog gospodarenja za vrijeme ekonomskog vijeka trajanja te opreme [1]. Zastoj je vremenski interval kad oprema ne radi iz više razloga, nedostatak repromaterijala, kvar, uticaj ljudskog faktora itd. KVAR je svaki lom, deformacija, istrošenje, začepljenje, izgaranje elektromotora i slično što dovodi do nepravilnog rada ili do potpunog prestanka rada opreme. Slaba (kritična) mjesta su pozicije ili sklopovi čija je frekvencija ili učestalost kvarova veća od uobičajene [1].

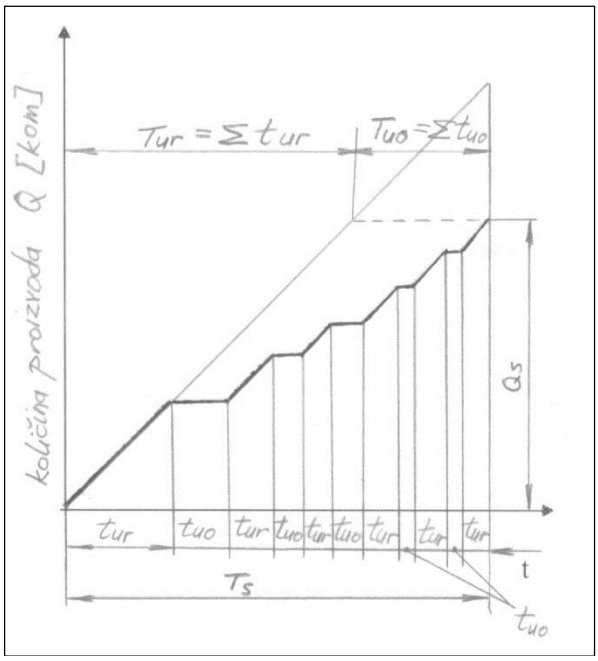
10.1.Vremenska slika stanja

Vremenska slika stanja daje prikaz koliko je pojedini element (dio, sklop, podsklop, ...) i cijeli sistem (proizvod) bio u radu, a koliko je vremenski trajao period otkaza tog dijela dok nakon opravke nije ponovo stupio u rad. Na slici 51. prikazana je vremenska slika stanja za najjednostavniji sistem koji ima samo dva elementa. Kada su oba elementa u radu, tada je i sistem u radu. Na horizontalnoj osi je vrijeme, a šrafirana područja predstavljaju vrijeme u radu. Ostalo vrijeme posmatrani element je u otkazu, a nakon opravke ponovo stupa u stanje u radu. Vremenska slika stanja služi kao osnova za dobijanje relevantnih podataka i veličina za održavanje mašina i opreme, kao što su navedene veličine: vjerovatnoća rada bez neispravnosti, srednje vrijeme rada do pojave otkaza, učestalost pojave neispravnosti i njihova brzina pojavljivanja, ali i mnoge druge veličine.



Slika 51. Vremenska slika stanja za sistem sa dva elementa.

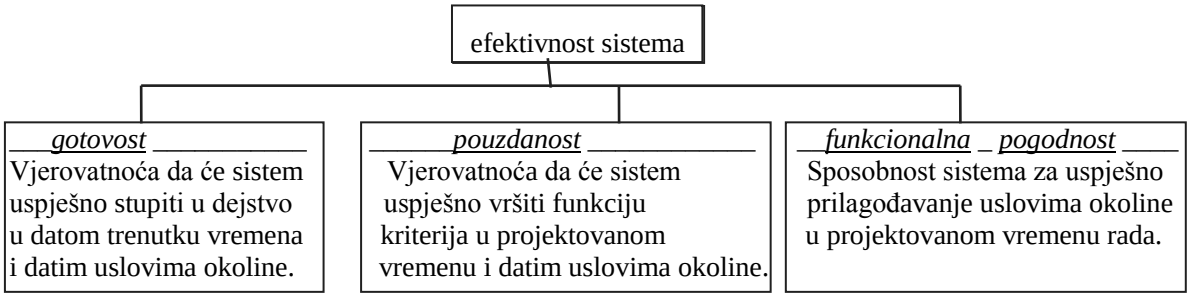
Posmatrajmo rad jedne proizvodne mašine na kojoj se proizvode neki dijelovi. Na slici 52. prikazan je dijagram na čijoj vertikalnoj osi je nanesena količina proizvoda koju proizvodi neka mašina, a na horizontalnoj osi je vrijeme. T_s je ukupno posmatrano vrijeme rada te mašine, t_{ur} je vrijeme u radu, a t_{uo} je vrijeme koje je mašina provela u otkazu. Naravno, kada je mašina u otkazu nema proizvodnje na njoj, pa je ukupna proizvedena količina proizvoda Q_s. T_{ur} je ukupno vrijeme u radu, a T_{uo} je ukupno vrijeme u otkazu. Iz ovog dijagrama možemo utvrditi koliki su gubici u proizvodnosti usljed otkaza.



Slika 52. Dijagram količina proizvoda – vrijeme.

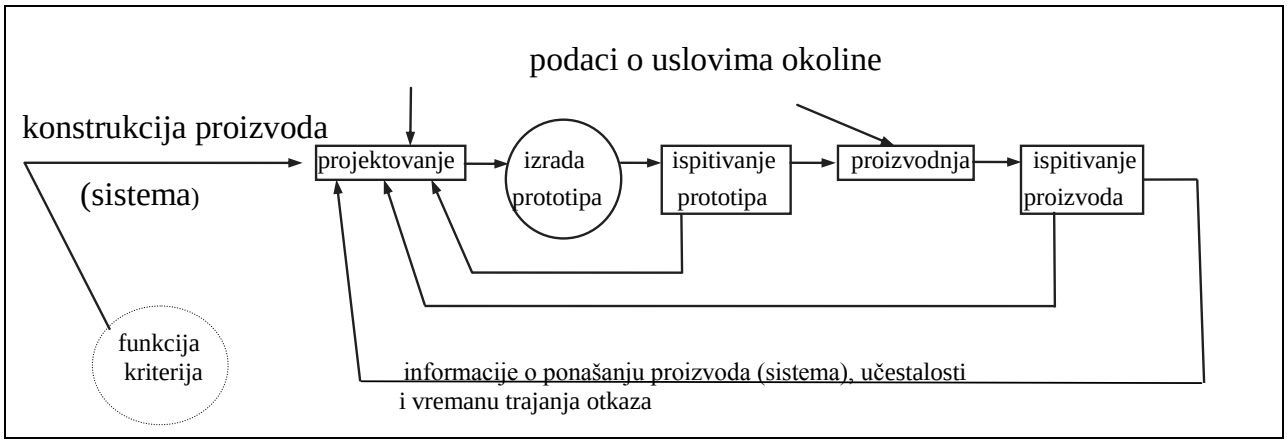
10.2.Efektivnost

Kompetno područje koje obuhvata tačnost i pouzdanost je efektivnost sistema. Efektivnost sistema se sastoji od gotovosti, pouzdanosti i funkcionalne pogodnosti proizvoda [11].
To su tri elementa efektivnosti sistema, a na slijedećoj šemi su date definicije tih elemenata:



Slika 53. Elementi efektivnosti sistema.

Pri izučavanju problema efektivnosti treba uočiti razliku između efektivnosti i kvaliteta proizvoda. Efektivnost proizvoda je vjerovatnoća da će proizvod u određenom vremenskom periodu i određenim uslovima rada vršiti svoju funkciju. Kvalitet proizvoda je mjera u kojoj proizvod ispunjava predviđene zahtjeve. Dakle, efektivnost je vezana za vrijeme (dinamička veličina), a kvalitet ne (statička veličina). Efektivnost je vezana za vremenski interval održavanja kvaliteta. Kvalitet može biti ocjenjen po završetku izrade, a efektivnost tek u vremenu eksploatacije.
Način ostvarivanja efikasnosti sistema je prikazan šematski na slici 54. Informacije o ponašanju proizvoda u eksploataciji su vrlo bitne za unaprjeđenje konstrukcije proizvoda u smislu izbjegavanja uzroka pojave otkaza i otklanjanja slabih mjesta.



Slika 54. Način ostvarivanja efikasnosti sistema.

Efektivnost sistema je očito funkcija vremena, a na slici 46. se vidi da se sastoji od tri dijela. Funkciju efektivnosti sistema možemo obilježiti sa *Es(t)*, tako da je:

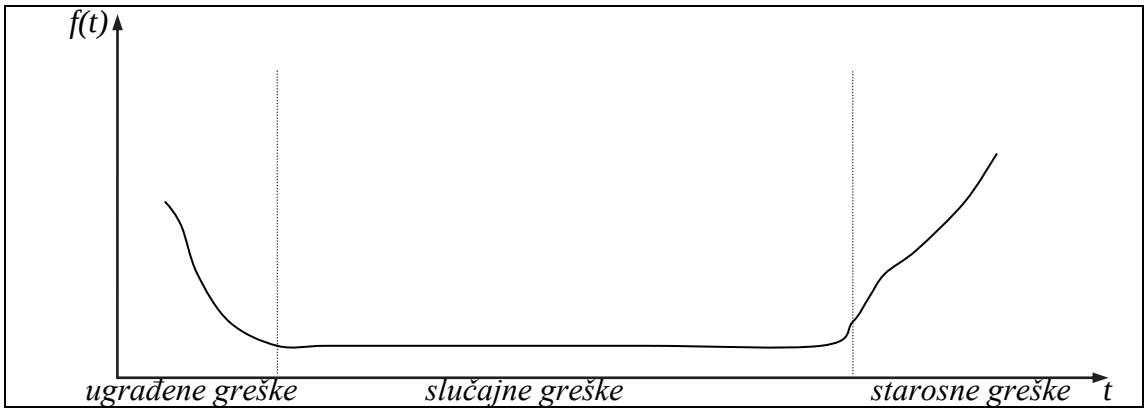
$$Es(t) = G(t) \,.\, R(t) \,.\, Fp$$

gdje je *G(t)* - gotovost, *R(t)* - pouzdanost, *Fp* - funkcionalna pogodnost. Pošto je *Es* vjerovatnoća, to njena vrijednost mora biti između 0 i 1, tj. $0 < Es < 1$. To isto važi i za *G(t), R(t)* i *Fp*. Ako uzmemo za primjer automobil i ako želimo izračunati njegovu gotovost, to možemo učiniti na osnovu podataka dobijenih duži vremenski period. Gotovost je vjerovatnoća da će automobil ispravno stupiti u dejstvo kada ga upalimo (pokrenemo motor automobila). Npr. ako od 10000 paljenja automobil ispravno stupio u dejstvo 9980 puta, a 20 puta se nije ispravno pokrenuo, tada je gotovost 0,998.

Osim ovih veličina u održavanju u terotehnologiji se koriste i druge veličine, od kojih su najvažnije:

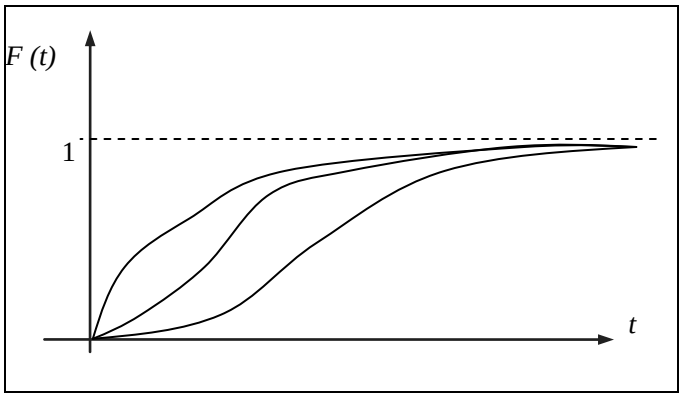
- vjerovatnoća da će sistem biti u otkazu *F(t)* (suprotna veličina od pouzdanosti, tako da je $F(t) + R(t) = 1$ - drugim riječima sistem mora biti ili u otkazu ili u radu, pa je zbir vjerovatnoća da će sistem biti u radu i u otkazu jednak jedinici, što je vjerovatnoća sigurnog događaja),
- Funkcija gustine pojava stanja u otkazu f*(t)*,
- Funkcija gustine pojava stanja u radu: $\rho(t)$,
- Intenzivnost otkaza $\lambda(t)$ itd.

Do pojave otkaza dolazi iz 3 grupe razloga, zbog grešaka ugrađenih u proizvod pri njegovoj proizvodnji, zbog slučajnih grešaka do kojih dolazi pri njegovoj eksploataciji i zbog grešaka koje nastaju usljed starosti proizvoda nakon dužeg vremena eksploatacije. Prva grupa grešaka se javlja na samom početku korištenja proizvoda, druga u dugoj fazi korištenja, a treća nakon dužeg vremena eksploatacije, tako da u dijagramu, gdje je na vertikalnoj osi f(t), a na horizontalnoj vrijeme dobijamo graf kao na slici 55.



Slika 55. Grafik funkcije f(t).

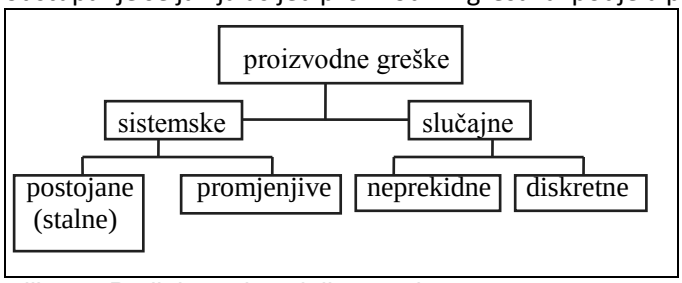
Grafik funkcije *F(t)* je prikazan na slici 56.



Slika 56. Grafik funkcije F(t).

11. Tačnost tehnološkog procesa

Tačnost tehnološkog procesa je stepen odstupanja ostvarenog tehnološkog procesa od projektovanog, a to odstupanje se javlja usljed proizvodnih grešaka. podjela proizvodnih grešaka je šematski prikazana na slici 57.

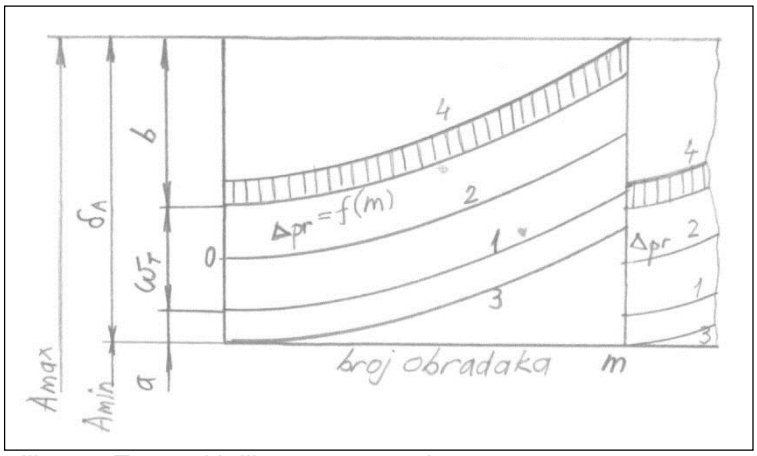


Slika 57.Podjela proizvodnih grešaka.

Sistemske greške su greške vezane za mašinu, alat, pribor i opremu koja se koristi u tehnološkom procesu. Postojane ili stalne sistemske greške su uvijek jednake i ne mjenjaju se. Svi dijelovi opreme stare, habaju se, troše se, javlja se zamor materijala uslijed dinamičkih opterećenja i sl. i sve to dovodi do postepenog povećanja sistemskih grešaka, a to su promjenljive sistemske greške.
Slučajne greške nastaju uslijed djelovanja mnoštva faktora koji utiču na proces, kao što su vlažnost, temperatura, uticaj toplote, prašine, zagađenja i mnogi drugi faktori. Sve ove faktore je nemoguće uzeti u obzir i napraviti matematski model kojim bi se njihov uticaj izračunao. Zog toga se uticaj svih ovih faktora statistički obrađuje, a ove slučajne greške se dijele na neprekidne ili kontinuirane i diskterne ili prekidne.
Obezbjeđenje tačnosti izrade se vrši: probnim prolazima, predhodnom pripremom tehnološkog sistema i njegovim podešavanjem za automatsko dobijanje dimenzija, primjenom mehanizma za automatsku kontrolu i podešavanjem mašine, alata i pribora, automatskim detektovanjem tolerancije rezne oštrice alata i sl.

11.1. Teoretski dijagram tačnosti

Da bismo izvršili podešavanje sistema mašina - alat - pribor – obradak (MAPO) i obezbjedili dobijanje što većeg broja tačnih komada pri proizvodnji služimo se teoretskim dijagramom tačnosti. Na horizontalnoj osi teoretskog dijagrama tačnosti je nanesen broj obrađenih dijelova, a na vertikalnoj osi je dimenzija koja se postiže sa njenom tolerancijom kao razlikom maksimalne A_{max} i minimalne A_{min} granične mjere. Na minimalnu graničnu dimenziju A_{min} se nanosi veličina stalne sistemske grešake a (greške mjerenja ili greške regulisanja). Zatim dolazi polje rasipanja dimenzija $\omega_T=6\sigma_T$ u okviru kojeg se nalazi dimenzija A gotovo svih izrađenih dijelova (po zakonu normalne raspodjele). σ_T je standardna devijacija. To polje ω_T obuhvata sve slučajne greške. Tačka O je sredina tog polja. Na kraj tog polja se dodaje, radi sigurnosti, još i polje rezervne tačnosti (šrafirano polje na slici 58.). Prilikom izrade obradaka usljed djelovanja promjenljivih sistemskih grešaka (trošenje oštrice alata) polje ω_T se po krivim 1, 2, 3, i 4 približava dimenziji A_{max}. Prema tome, polje b na dijagramu je polje promjenljivih sistemskih grešaka. Kada kriva 4 dostigne A_{max} potrebno je ponovno podešavanje sistema mašina - alat - pribor - obradak (MAPO). To se događa nakon obrade m komada. Uvijek nastojimo da je taj broj obrađenih komada m između dva podešavanja što veći.

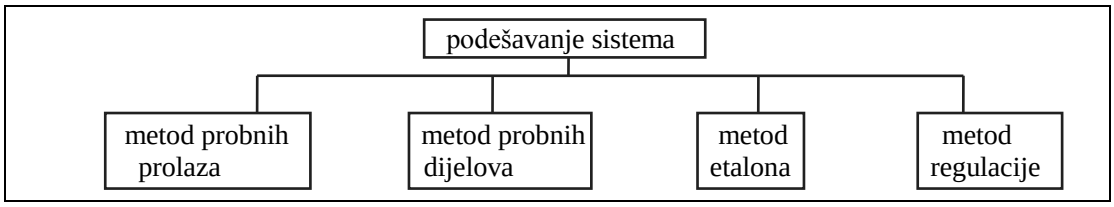


Slika 58. Teoretski dijagram tačnosti.

Veličine koje su prikazane na dijagramu tačnosti (Slika 58.) su:
δ_A *– tolerantno polje dimenzije A,*
a - veličina stalnih sistemskih grešaka (Δ_{mj} ili Δ_r u nekoj literaturi)
ω_T - polje rasipanja dimenzija usljed slučajnih grešaka
$\Delta_{pr} = f(m)$ - pokazuje djelovanje promjenjivih sistemskih grešaka (trošenje oštrice alata i trošenje pribora)
šifrirano polje predstavlja polje rezervne tačnosti,
Radna dimenzija na koju treba podesiti sistem MAPO da bi se dobio što veći broj obrađenih komada u granicama tolerancije je: $A_r = A_{min} + a + 3\sigma_T$

11.2. Metode podešavanja tehnološkog sistema mašina - alat - pribor - obradak

Podešavanje tehnološkog sistema mašina - alat - pribor – obradak se vrši u cilju dobijanja potrebne tačnosti obrađenih detalja i dobijanje što je moguće više upotrebljivih detalja, koji se obrađuju do prvog međupodešavanja sistema. Metode koje se za to koriste su prikazane na slici 59.

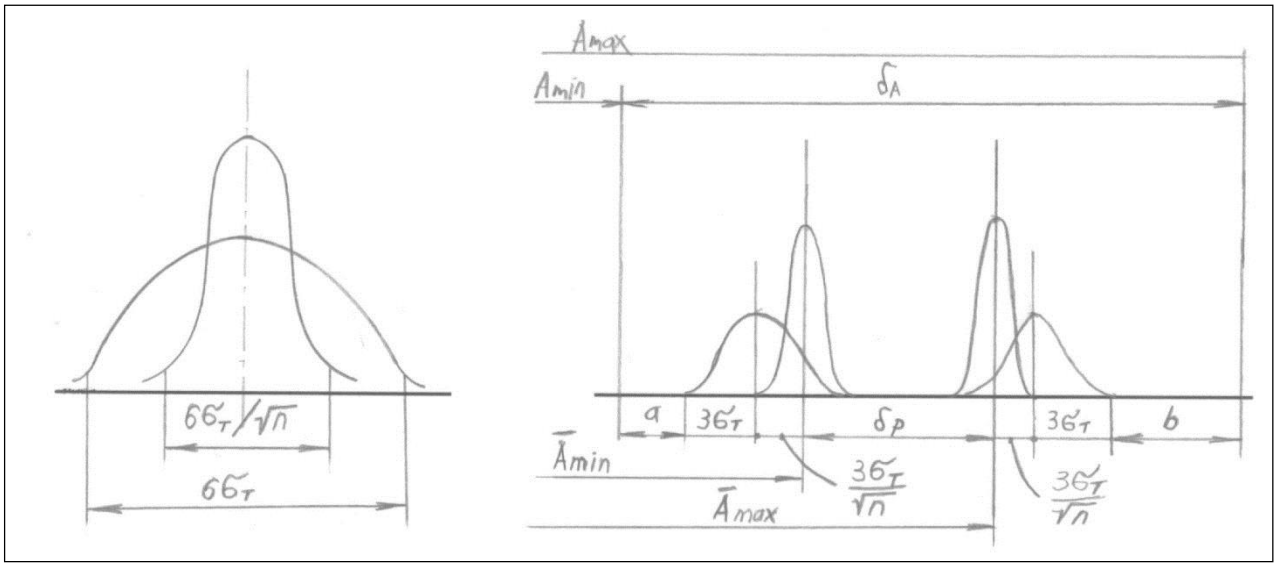


Slika 59. Metode podešavanja sistema MAPO.

Kod metoda probnih prolaza tačnost podešavanja se vrši na osnovu jednog dijela i na tom dijelu se radi jedan ili više probnih prolaza u cilju dobijanja dimenzija podešavanja. Radna dimenzija :

$$A_r = A_{sr} = \frac{A_{max} + A_{min}}{2}$$

Nedostatak je što se ne može suditi na osnovu jednog dijela, a tačnost zavisi od stručnosti radnika. Primjenjuje se u uslovima maloserijske proizvodnje. Prednost je što se može obezbijediti tačnost i kod sistema sa većim greškama [6].
Metod probnih dijelova se primjenjuje tako da se iz osnovnog skupa uzima uzorak od n komada i statistički obrađuje. Tačnost se procjenjuje na bazi dvije krive (slika 60.).



Slika 60. Dozvoljeno odstupanje za kompenzaciju greške podešavanja metodom probnih dijelova.

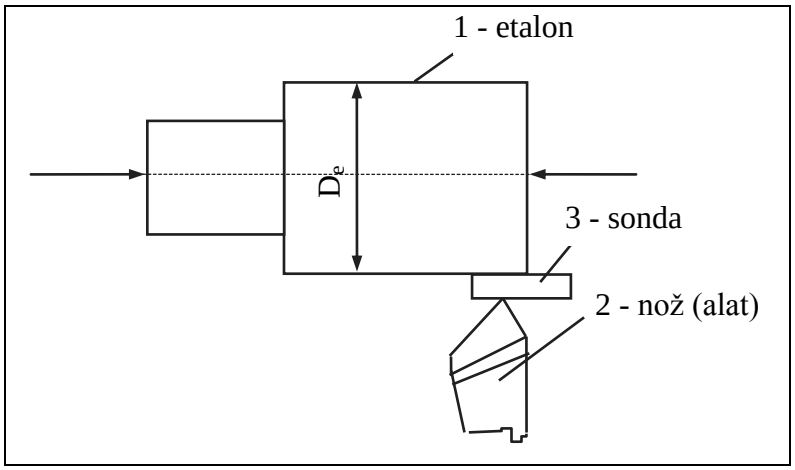
σ_T je standardna devijacija i na slici je prikazana normalna kriva raspodjele za obradke ($6\sigma_T$) i za uzorak od n komada ($6\sigma_T/\sqrt{n}$). Radnu dimenziju prilikom podešavanja treba postaviti između $\overline{A}_{\min}$ i $\overline{A}_{\max}$. Donja i gornja granična mjera za radnu dimenziju se dobijaju iz obrazaca:

$$\overline{A}_{\min} \geq A_{\min} + a + 3\sigma_T + \frac{3\sigma_T}{\sqrt{n}} = A_{\min} + a + 3\sigma_T\left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right)$$

$$\overline{A}_{\max} \leq A_{\max} - b - 3\sigma_T - \frac{3\sigma_T}{\sqrt{n}} = A_{\max} - b - 3\sigma_T\left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right)$$

$\delta_p = \overline{A}_{\max} - \overline{A}_{\min}$ - dozvoljeno odstupanje za kompenzaciju greške podešavanja.

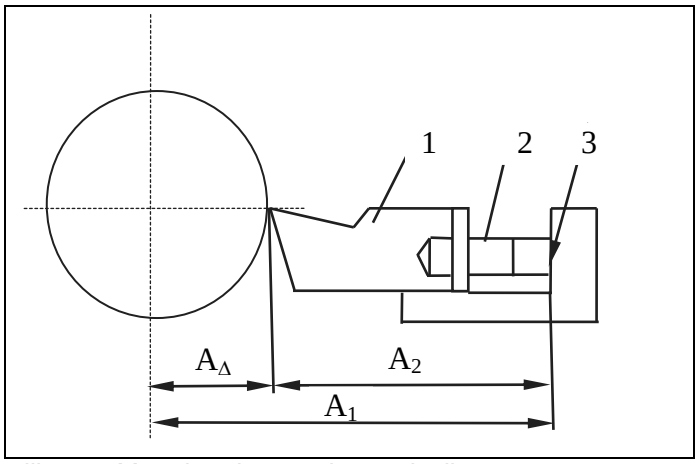
Radna dimenzija mora biti u polju δ_p (Slika 60.) [6].



Slika 61. Metod etalona.

Metod etalona koristi ranije obrađeni detalj ili specijalno izrađeni etalon. Etalon je mjera, mjerilo ili mjerni sistem namijenjen određivanju, pohranjivanju i reprodukciji neke mjerne jedinice radi prenošenja njene vrijednosti na druga mjerila da bi mogla poslužiti kao referentna vrijednost. Ovu definiciju etalona možemo pojednostaviti za potrebe metoda podešavanja sistema MAPO i reći da je etalon tijelo koje otjelotvoruje dimenziju koju želimo postići. Alati se dovode radnim ivicama do odgovarajuće površine. Na slici 61. označeni su etalon 1, alat 2, i sonda 3. Sonda se koristi za podešavanje da nebi došlo do oštećenja etalona, koji je skup,

tako da se etalon 1 koristi za obradu detalja na raznim sistemima MAPO. Dimenzije etalona se mogu naći analitički ili, tačnije, statistički [6].



Slika 62. Metod podešavanja regulacijom.

Kod metoda podešavanja regulacijom podešavanje se vrši isto kao i u predhodnoj metodi, s tim što se učvršćivanje alata vrši u specijalnim držačima i višealatnim blokovima, koji dozvoljavaju regulisanje položaja alata. Bitno je obezbijediti tačnu dimenziju A_2. Ona se u početku traži analitički, a zatim precizira statistički. Oznake na slici 56. su: 1 - nož, 2 - zavojni uređaj, 3 - bazna površina. Pomoću zavojnog uređaja nož se može pomjerati da bi se postigla tražena vrijednost dimenzije A2, a time i zadatog prečnika komada. Ova metoda se široko primjenjuje u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji.

12. Tehnologičnost proizvoda

Tehnologičnost proizvoda je definisana u više literaturnih izvora. Tako npr. u [11] ''tehnologičnost proizvoda je mjera potrebnog napora za proizvodnju prema konstruktivnoj dokumentaciji''. Prema [6] "pod pojmom tehnologičnosti konstrukcije se podrazumjeva ispunjavanje uslova i metoda projektovanja i konstruisanja, tako da konstrukcija mašine (uređaja ili proizvoda) pri ostvarivanju njenih eksploatacionih osobina, obezbjeđuje minimalno vrijeme (obim) izrade, manje i jeftinije količine utrošenog materijala, minimalnu cijenu koštanja, kao i brzo osvajanje proizvodnje uz korištenje savremenih proizvodnih metoda obrade i montaže". "Tehnologičnim se smatra proizvod oblikovan tako da omogućava uštedu u vremenu izrade, primjenu opreme nižeg stepena složenosti, nižu kvalifikaciju radne snage, užu strukturu radne snage po vrsti, uštede u materijalu, veću sigurnost procesa u pogledu rukovanja, primjenu tipiziranih kontejnera za transport, lakše uskladištenje, veću brzinu u utovarnim i istovarnim radovima i druge prednosti" [29]. Pored ovih u literaturi nailazimo i na druge slične definicije.

Detaljnije o tehnologičnosti i metodama za povećanje tehnologičnosti se može naći u [10], a ovde će se navesti osnovni pojmovi i definicije.

Od pravilnog definisanja pojma tehnologičnosti zavisi i pravilno sagledavanje problema tehnologičnosti. Proizvod u svom životnom ciklusu prolazi kroz slijedeće faze: konstruisanje, priprema proizvodnje i izrada, montaža, eksploatacija sa održavanjem i otklanjanje iz upotrebe poslije faze eksploatacije uz eventualnu reciklažu. Pri razmatranju tehnologičnosti potrebno je uzeti u obzir sve navedene faze. Definicije tehnologičnosti u literaturi uzimaju jednu ili samo neke faze, tako da ni pristupi problemu tehnologičnosti nisu sveobuhvatni, tj. kompleksni, nego parcijalni. Prema tome, tehnologičnost proizvoda bi se trebala definisati kao pogodnost proizvoda u cjelini i svih njegovih dijelova za izradu, montažu, eksploataciju, održavanje, deponovanje poslije faze eksploatacije i reciklažu u smislu smanjenja troškova i vremena izrade, montaže, održavanja itd.

Pri konstruisanju nastaje više mogućih varijanti proizvoda koje zadovoljavaju funkciju, a izrada i montaža, kao i održavanje u eksploataciji i isključivanje iz upotrebe tih proizvoda zahtjevaju određene troškove koji su različiti za različite varijante. Potrebno je odabrati varijantu koja zadovoljava funkciju i kvalitet proizvoda, a

ima najmanje troškove izrade, montaže, održavanja i deponovanja - reciklaže, tj. najpovoljniju varijantu u tehničkom i ekonomskom pogledu. To se postiže detaljnom analizom tehnologičnosti svake varijante, razmatranja tehnologičnosti proizvoda od najranije faze konstruisanja, te stalnom saradnjom konstruktora i tehnologa.
Povećanjem tehnologičnosti proizvoda u neizmjenjenom proizvodnom sistemu može se povećati produktivnost do 25%, a smanjiti cijena do 10% [6].
U procesu konstruisanja konstruktori ugrađuju u proizvod njegovu tehnologičnost određujući oblik, dimenzije i sl. proizvodu i njegovim dijelovima. Ispitivanja [26] su pokazala da odluke donijete u procesu konstruisanja određuju 70% troškova proizvodnje nekog proizvoda, dok odluke donijete u proizvodnji svega 20%. Odluke donijete u prvih 5% procesa konstruisanja proizvoda određuju većinu proizvodnih troškova, karakteristika proizvodnje i kvaliteta proizvoda [26]. Prema podacima konsalting firme "Boothroyd Dewhurst" povećanjem tehnologičnosti proizvoda u pogledu montaže u fazi konstruisanja može se smanjiti vrijeme montaže za čak 61%, greške pri montaži proizvoda za 68%, a opravke pri održavanju za 57%.
Povećanjem tehnologičnosti, dakle, pored smanjenja troškova izrade i montaže, skraćuje se i vrijeme razvoja proizvoda od ideje do primjene, što je veoma važno za savremene uslove poslovanja, za brze izmjene asortimana proizvoda u skladu sa potrebama današnjeg turbulentnog tržišta.
Pojam tehnologičnosti proizvoda je relativan [6], jer jedan te isti proizvod može biti tehnologičan za neki proizvodni sistem, dok je za drugi proizvodni sistem malo tehnologičan ili netehnologičan. Na to naročito utiče razvoj opreme, sredstava za proizvodnju i metoda obrade i montaže, tako da proizvod koji je ranije bio netehnologičan može biti potpuno tehnologičan korištenjem novih metoda i sredstava obrade i montaže.
Ne postoje neka apsolutno i opšte prihvaćena mjerila za određivanje tehnologičnosti, nego se obično koriste upoređivanja sa sličnim već proizvedenim proizvodima i/ili se koriste priručnici za konstruktore u kojima je dato mnogo preporuka i savjeta za tehnički ispravno konstruktivno oblikovanje. Često se to prepušta intuiciji i sposobnosti konstruktora. Ovi načini su, naravno, vrlo nepouzdani, te se zbog toga u svijetu u posljednjih nekoliko godina čine napori na iznalaženju metoda koje će konstruktorima omogućiti konstruisanje tehnologičnih proizvoda, odnosno iznalaženje najpovoljnije varijante proizvoda u pogledu tehnologičnosti.

12.1. Tehnologičnost proizvoda po pojedinim fazama životnog ciklusa

Osamdesetih godina dvadesetog vijeka u svijetu se počinje pojavljivati izraz "Design for Excellence" (DFX), u prevodu "Konstruisanje za odličnost", koji predstavlja skup aktivnosti konstruisanja koji ima za cilj dobijanje proizvoda pogodnih za sve navedene faze životnog ciklusa proizvoda u smislu postizanja najnižih troškova i najkraćeg vremena. Tako se DFX sastoji od više dijelova, kao što su: "Design for Manufacturing" (DFM) - Konstruisanje za izradu; "Design for Assembly" - Konstruisanje za montažu; "Design for Maintanance and Reliability" - Konstruisanje za održavanje i pouzdanost; "Design for Environment" - Konstruisanje za okolinu itd. Posljednjih godina nastoje se razviti metode koje omogućuju pomenuto konstruisanje u odnosu na svaku fazu životnog ciklusa proizvoda.

12.1.1. Faza konstruisanja

Pod konstruisanjem treba razumjeti misaonu realizaciju tehničke ideje u praktično izvediv, upotrebljiv i ekonomski opravdan, tehnički proizvod [39].
U procesu konstruisanja proizvoda i njegovih dijelova određuju se: dimenzije, oblik, materijal, kvalitet tačnosti mjera, kvalitet obrade površina, tačnost oblika i položaja i sl., a izbor odnosno proračun svih ovih veličina diktira veličinu troškova koji će se pojaviti u slijedećim fazama životnog vijeka proizvoda. Zbog toga je ova faza najznačajnija sa stanovišta tehnologičnosti proizvoda. U fazi konstruisanja u proizvod se ugrađuje njegova tehnologičnost, tj. pogodnost za izradu, montažu, održavanje i isključenje iz upotrebe - deponovanje i reciklažu, tako da se prema konstruktivnoj dokumentaciji, koja predstavlja izlaz iz procesa konstruisanja, može utvrditi ta tehnologičnost.
Međutim, analizu tehnologičnosti ne treba provoditi poslije, nego u toku procesa konstruisanja. Svaka izmjena koja se na proizvodu kasnije, poslije faze konstruisanja, želi izvršiti stvara dodatne troškove. Zbog toga je potrebno da se od samog početka procesa konstruisanja, pored funkcionalnosti proizvoda i poštovanja ostalih principa konstruisanja, ima na umu i analiza tehnologičnosti proizvoda. Da bi se postiglo konstruisanje tehnologičnih proizvoda neophodno je da konstruktori permanentno sarađuju sa tehnolozima, što se na današnjem stepenu razvoja tehnike najbolje može postići primjenom računara u svim segmentima

proizvodnog sistema, međusobno povezanih u mrežu - intranet, čime se informacije i virtualna dokumentacija prenose vrlo brzo i lako.

12.1.2. Faza izrade

Nakon faze konstruisanja konstruktivna dokumentacija dolazi u tehnološku pripremu proizvodnje, koja ima zadatak da na osnovu te dokumentacije definiše kako izraditi proizvod. Pri tome treba razraditi tehnološke procese sa svim operacijama, zahvatima i fazama, odrediti režime obrada, potrebne mašine i opremu za obradu, alat, pribor, izračunati potrebno vrijeme za operacije, izradu serija, pripremno-završno vrijeme, izraditi potrebne programe za NC mašine uz simulaciju na računaru i izraditi tehnološku dokumentaciju. Na osnovu te dokumentacije vrši se izrada.

Ako u procesu konstruisanja nije došlo do saradnje konstruktora i tehnologa i ako se nije vršila analiza tehnologičnosti proizvoda i njegovih dijelova, onda će doći do velikih poteškoća kod izrade. To se manifestuje u nemogućnosti obavljanja nekih operacija, visokim troškovima izrade alata i/ili pribora za obradu, predugog vremena potrebnog za pojedine operacije, otežanim prihvatanjem, orjentacijom i stezanjem dijela pri izradi i raznim drugim poteškoćama, koje su se mogle izbjeći pravilnim pristupom problemu tehnologičnosti u fazi konstruisanja. Konstruisanje proizvoda pogodnih za izradu u posljednje vrijeme se naziva "Design for Manufacturing" (DFM).

12.1.3. Faza montaže

Svaka mašina, uređaj i mnogi drugi proizvodi su sastavljeni, zavisno od namjene i funkcije od manjeg ili većeg broja dijelova povezanih u jednu cjelinu, tako da svaki od njih izvršava tačno određen zadatak. Proces montaže je dio procesa proizvodnje u okviru koga se od sastavnih dijelova izrađuju složeni dijelovi - sklopovi i proizvod u cjelini. To je završna etapa izrade proizvoda.

Mašinski dio ili detalj je osnovni dio mašine ili bilo kog drugog sličnog proizvoda, koji se bez razaranja ne može rastaviti na jednostavnije dijelove, npr. vijak, zupčanik, vratilo, čivija, osovina, osigurač itd. Bazni dio je onaj osnovni element od kojeg počinje proces montaže sklopa, a analogno tome, bazni sklop je onaj sklop od kojeg počinje proces montaže gotovog proizvoda. Na bazni dio se montiraju ostali dijelovi i/ili sklopovi, po utvrđenom redosljedu i na taj način se dobija gotov proizvod.

U prvom koraku definisanja tehnološkog procesa montaže vrši se analiza i ocjena pogodnosti, tj. tehnologičnosti proizvoda za montažu. Ta analiza mora da se provede ne samo prije faze montaže, nego i prije izrade, jer ako bi se tek u fazi montaže utvrdilo da je zbog nemogućnosti ili otežane montaže na proizvodu potrebno izvršiti konstruktivne izmjene, tada bi troškovi izmjena bili neprihvatljivo veliki. Zbog toga je potrebno od početka faze konstruisanja analizirati i tehnologičnost u pogledu montaže. Konstruisanje proizvoda pogodnih za montažu u posljednje vrijeme se naziva "Design for Assembly" (DFA).

12.1.4. Faza održavanja - eksploatacije

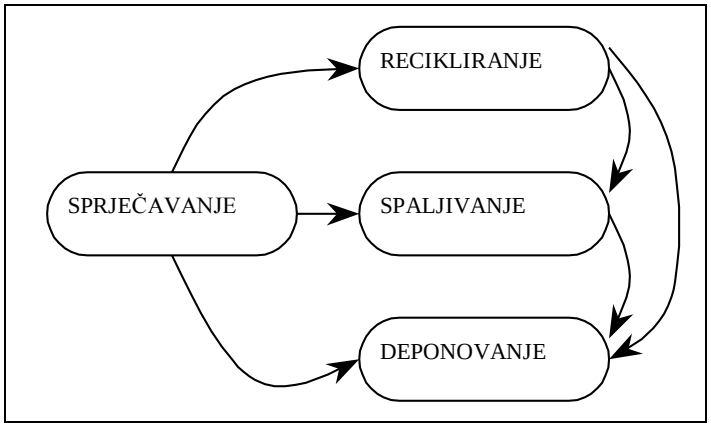
Nakon izrade i montaže proizvod dolazi na tržište, gdje nalazi kupca, koji proizvod stavlja u eksploataciju, tj. koristi ga. Da bi se proizvod mogao eksploatisati u predviđenom vremenu neophodno je da bude funkcionalno podoban i neophodno je njegovo održavanje. U literaturi se može naći više definicija održavanja, koje se uglavnom odnose samo na održavanje sredstava za rad u proizvodnom sistemu, a zajedničko svim definicijama je da je to skup aktivnosti ili dio poslovnog sistema koji obezbjeđuju funkcionalnost sredstava za rad. Prema tome, cilj održavanja je obezbjeđenje funkcionalnosti sredstava za rad prema zahtjevima funkcije proizvodnje, u datim uslovima, uz minimalne troškove i angažovanje sredstava [14].

U ovoj knjizi posmatramo proizvod, bilo da je to neko sredstvo za proizvodnju ili neki drugi tehnički proizvod i bilo da se on koristi u proizvodnom sistemu ili ne, pa bi se **održavanje proizvoda** moglo definisati kao skup svih aktivnosti koje obezbjeđuju funkcionalnost proizvoda.

Tehnologičnost proizvoda u fazi eksploatacije se naziva još i eksploataciona tehnologičnost, a predstavlja funkcionalnu podobnost proizvoda, kao i njegovu pogodnost za posluživanje u radu, remont, tj. opravke, jednom riječju za održavanje. Ova tehnologičnost se u raznim literaturnim izvorima naziva još i efikasnost, a u nekim i efektivnost proizvoda, što je detaljno obrađeno u [16], gdje se naziva uspješnost funkcije održavanja. Uspješnost funkcije održavanja je pokazatelj postizanja cilja funkcije održavanja u određenom vremenu, uslovima okoline i uz određene troškove. Pri tome cilj funkcije održavanja predstavlja obezbjeđenje

mogućnosti funkcionisanja proizvoda u skladu sa njegovom namjenom, zahtjevima osnovnog korisnika proizvoda i sa ciljem sistema čiji je proizvod element [16].
Troškovi prethodnih faza konstruisanja, izrade i montaže utiču na cijenu proizvoda i ti troškovi su direktno vezani za proizvodni sistem u kome proizvod nastaje. Nakon ovih faza, kako je već rečeno proizvod se plasira na tržište, a zatim ga kupac koristi, tako da troškovi nastali u fazi eksploatacije - održavanja ne ulaze u troškove proizvodnog sistema, nego kupca. Zbog toga se često u fazi konstruisanja pri konstruktivnom osmišljavanju i oblikovanju proizvoda ne uzima dovoljno u obzir funkcionalna podobnost i pogodnost za održavanje, što je pogrešan pristup, jer iako troškovi funkcionisanja i održavanja idu na teret kupca, oni se kao bumerang vraćaju proizvođaču, zbog toga što proizvodi koji nisu pogodni za održavanje imaju niži kvalitet, te brzo dolazi do pada plasmana na tržištu, gdje se ne mogu realizovati i životni ciklus je kratak.
Često troškovi svih vidova održavanja proizvoda u cjelokupnom vremenu eksploatacije prevazilaze troškove njegove proizvodnje. Sve ovo ukazuje na važnost eksploatacione tehnologičnosti. Konstruisanje proizvoda pogodnih za eksploataciju u posljednje vrijeme se naziva "Design for Reliability and Maintanance " (DFRM).

12.1.5. Faza otklanjanja iz upotrebe - reciklaža
Nakon faze eksploatacije za proizvod nastupa faza otklanjanja iz upotrebe. Posljednjih godina u svijetu je došlo do ekološkog osvještavanja ljudi, tako da su u mnogim, prije svega razvijenim, zemljama donijeti zakoni o zaštiti čovjekove sredine, koji zabranjuju korištenje štetnih materija za živi svijet, kao i njihovo odlaganje, te regulišu niz problema iz ove oblasti. Ti zakoni uglavnom počivaju na principu "Polluter pays" - onaj ko zagađuje plaća, tako da troškovi deponovanja idu na teret krajnjeg korisnika proizvoda. Standardi ISO 14000 regulišu ovu oblast poštovanja ekološkog okruženja.
Prema [25], “prvi i osnovni princip racionalnog pristupa upravljanja čvrstim otpacima bio bi sprječavanje nastajanja otpadaka. Ovo bi se moglo postići u tehnologijama, odnosno proizvodima sa malo otpadaka, odnosno s manje opasnim i lakše razgradivim otpacima.” Na slici 63. prikazan je sistem zbrinjavanja čvrstih otpadaka.
Recikliranje otpada se vrši: sabiranjem, sortiranjem, obradom prikupljenih materijala (mehanička, hemijska i biološka obrada) i dobijanju sirovina, proizvoda ili energije jednim od načina obrade. Dobijene sirovine i proizvode dijelimo na: metalni dio koji ide na preradu u livnice, zavisno od vrste metala; plastični granulat; tekstilna vlakna; stakleni krš, prah ili granulat; kompost sa ili bez dodataka i gorivo, briketi, bale ili biološki gorivi plin.



Slika 63. Sistem zbrinjavanja čvrstih otpadaka [25]

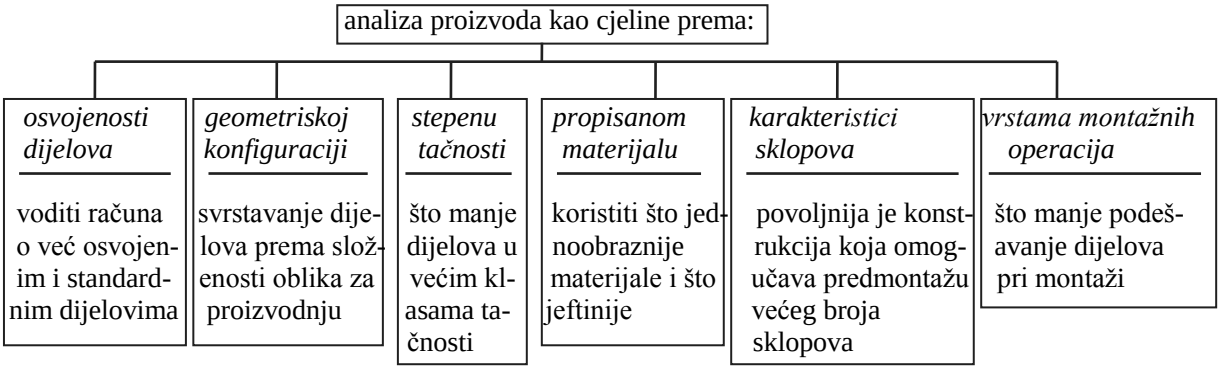
Spaljivanje čvrstih otpadaka treba vršiti sa ciljem dobijanja električne struje, toplote, energije, te troske i pepela, koji se mogu koristiti kao mineralno đubrivo i slično.
Tehnologičnost proizvoda u pogledu ove životne faze predstavlja pogodnost proizvoda za njegovo otklanjanje iz upotrebe u smislu da se što veći broj dijelova proizvoda može reciklirati, a preostali dijelovi treba da budu što je moguće manji onečišćivači. Zato treba koristiti materijale pogodne za reciklažu i biorazgradive materijale. Ova tehnologičnost proizvoda se u literaturi naziva i recikličnost (Engl. Reciclability). Konstruisanje proizvoda pogodnih za otklanjanje iz upotrebe u posljednje vrijeme se naziva "Design for Environment" (DFE).

12.2. Razmatranje i unapređenje tehnologičnosti proizvoda

U posljednje vrijeme se pojavilo više metoda za analizu tehnologičnosti [10], a većina njih vrši analizu proizvoda u cjelini i analizu svakog njegovog dijela u pogledu tehnologičnosti. Nakon analize potrebno je razmotriti mogućnosti poboljšanja.

12.2.1.Analiza proizvoda u cjelini

Analiza proizvoda se koristi za donošenje odluke o tehnologičnosti konstrukcije i može se izvršiti analiziranje konstrukcije prema slijedećoj šemi:



Analiza proizvoda prema osvojenosti dijelova se vrši sa ciljem korištenja što više standardnih i već osvojenih dijelova, dijelova koji su se već proizvodili i koristili u drugim proizvodima i konstrukcijama. Naravno, što je više ovih dijelova u proizvodu, to su manji troškovi i vrijeme proizvodnje.

Analiza proizvoda prema geometriskoj konfiguraciji ima za cilj da dijelovi proizvoda imaju što jednostavniji oblik, a da i dalje mogu vršiti svoju funkciju i obezbjediti potreban kvalitet proizvoda. Što su dijelovi jednostavnije geometrije, to su niži troškovi i vrijeme proizvodnje.

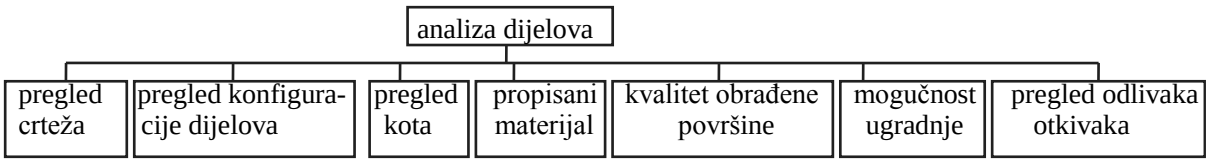
Analiza proizvoda prema stepenu tačnosti se provodi da bi se utvrdilo koji dijelovi spadaju u koje klase tačnosti, a zatim se analizira mogućnost da se neki dijelovi rade u klasi manje tačnosti, ako to dozvoljava njihova funkcija u proizvodu i zahtjevi kvaliteta. Troškovi proizvodnje eksponencijalno rastu sa povećanjem klase tačnosti.

Ako u proizvodu koristimo materijale dijelova koji su jednoobrazni, jeftini, već osvojeni (poznati su režimi obrade i obradivost tih materijala, jer je već vršena njihova proizvodnja), tada će i proizvodnja biti brža i lakša, pa se to razmatra kod analize proizvoda prema propisanom materijalu.

Analiza proizvoda prema karakteristici sklopova i prema vrsti montažnih operacija se vrši radi utvrđivanja vrste spojeva i načina spajanja svih dijelova i sklopova pri montaži. Pri tome treba težiti da se što je moguće više sklopova sklapa nezavisno, a zatim da se ti sklopovi ugrađuju u proizvod (npr. montaža na principu šasije na koju se dodaju ostali sklopovi, dijelovi itd.). Treba izbjegavati spojeve koje je teško automatizovati, kao npr. vijčane spojeve, sa izuzetkom samourezujućih vijaka. Najpogodniji za montažu su uskočni spojevi, koji se danas masovno koriste kod montaže dijelova od plastičnih masa. Treba težiti da se u procesu montaže vrši što je moguće manje podešavanja, ali nekada (najčešće kod pojedinačne proizvodnje) se svjesno odstupa od potpune zamjenljivosti pri izradi dijelova kada je jeftinije izvršiti upasivanje dijelova pri montaži.

12.2.2.Analiza dijelova

Analiza dijelova se može izvršiti prema slijedećoj šemi:

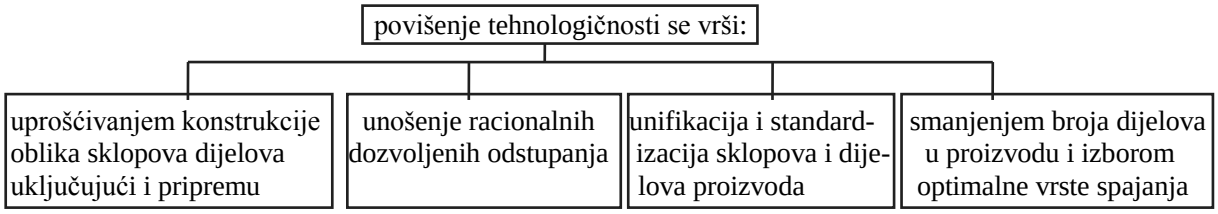


Za svaki dio proizvoda se vrši pregled crteža, konfiguracije dijelova, kota sa dozvoljenim odstupanjima dimenzija, oblika i položaja, pregled materijala dijela, kvaliteta hrapavosti svih površina na dijelu, pregled mogućnosti ugradnje i početne sirovine za dobijanje dijela, npr. otkivka, odlivka, šipke, raznih profila i sl. od kojih se dio treba

napraviti. Cijela ova analiza svakog dijela ima za cilj da se sagleda mogućnost poboljšanja određenih karakteristika dijela, kako bi dio bio tehnologičniji.

12.2.3.Povećanje tehnologičnosti

Povećanje tehnologičnosti se može izvršiti prema slijedećoj šemi:



Postoji više metoda za analizu i povećanje tehnologičnosti proizvoda: Vodič za konstruisanje u pogledu tehnologičnosti, Metoda djelomičnih i kompleksnih pokazatelja, Komparativna višeparametarska metoda, Metode preporuka dobijenih iskustvom, Metode pogodnosti za montažu, Metode pogodnosti za održavanje i Metoda pogodnosti za reciklažu, IMACS, Kvantitativna metoda ocjene pogodnosti proizvoda za automatsku montažu, Boothroyd-Dewhurst DFA Method, Hitachi Assembly Evaluation Method, Ukupna metoda za ocjenu i povećanje tehnologičnosti, IIS-DFA metod itd. Više o ovim metodama je dato u knjizi [10].

13. Tipska i grupna tehnologija

Kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje vrlo je teško primjeniti visokoproduktivne metode u proizvodnji. Kod maloserijske ili pojedinačne proizvodnje nije isplativo detaljno razrađivati tehnološke procese. Ti tehnološki procesi se samo načelno definišu, a visokokvalifikovanom radniku na radnom mjestu se prepušta izrada i montaža. To može dovesti do znatnih problema pri proizvodnji, pa se došlo na ideju da se razrade tehnološki procesi za grupe dijelova koji su slični, tj. primijeniti metod grupne obrade. Cilj ovog je [43]: smanjenje troškova tehnološke pripreme, skraćenje vremena razvoja alata i uređaja, uvođenje moderne proizvodne opreme, pretvaranje maloseriske u srednjeserisku ili velikoserisku proizvodnju, odbacivanje neopravdane raznovrsnosti tehnoloških procesa unifikacijom i grupisanjem, povećanje efikasnosti procesa obrade primjenom obradnih sistema veće proizvodnosti, smanjenje tpz i tp, planiranje procesa grupne obrade, smanjenje vremena tehnološke pripreme, poboljšanje konstrukcije primjenom tehnološkog klasifikatora (o klasifikatorima će više biti rječi u nastavku teksta), primjenom grupne tehnologije i baza podataka povezati CAD/CAPP/CAM sistem.

Za realizaciju tipizacije tehnoloških procesa potrebno je:

1 - obezbijediti dovoljne količine sličnih dijelova za pokrivanje instalisanih kapaciteta (opreme i sredstava proizvodnog sistema),

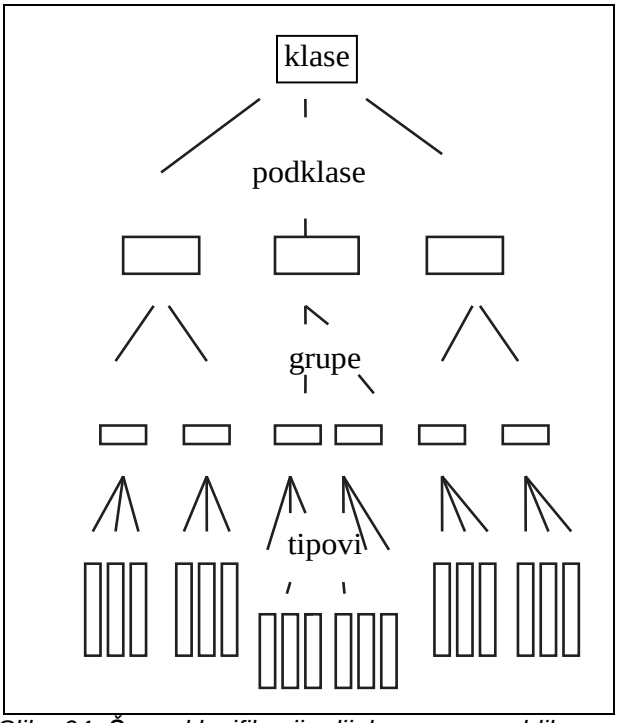
2 - razraditi organizacione uslove, koji omogućavaju racionalnu eksploataciju specijalizovanih tehnoloških linija,

3 – razraditi jedinstvene tehnološke planske dokumente (sistem klasifikacije dijelova – klasifikatori dijelova, izrada tehnoloških normativa, jedinstveni sistemi planiranja).

Najprije se krenulo sa grupisanjem dijelova prema geometriskoj sličnosti. Dr A. P. Sokolovski u Rusiji je predložio i rukovodio izradom tipizacije tehnoloških procesa [6]. Ideja tipizacije zasnovana je na klasifikaciji tehnoloških procesa, za koju je osnovna podjela dijelova na klase, podklase, grupe i tipove. Tu se radi o **tipskoj tehnologiji**.

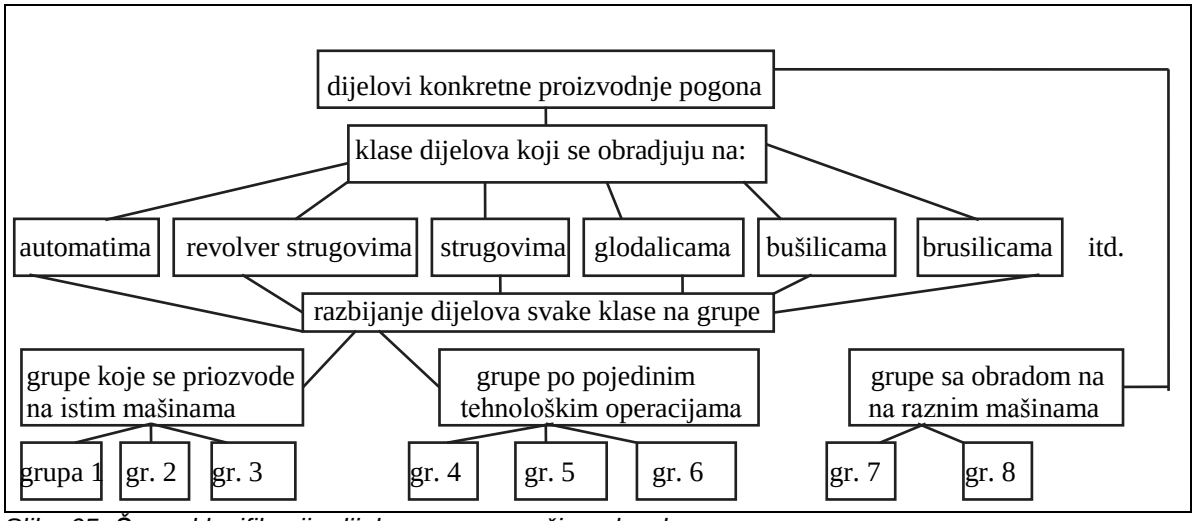
Klasa je skup dijelova karakterisanih istim osnovnim tehnološkim problemima, koji su odlučujući u uslovima određene konfiguracije tih dijelova. Stepen klasifikacije može biti različit i vrši se dok se ne dobiju dijelovi čiji će tehnološki procesi biti srodni.

Dijelovi koji u uslovima iste proizvodne sredine imaju zajednicki plan obrade osnovnih površina su **tipovi**. To je posljednji stepen klasifikacije. Dakle, kod tipske tehnologije dijelovi se svrstavaju u klase, podklase, grupe i tipove prema sličnosti svog geometrijskog oblika, tako da dobijamo npr. klasu cilindričnih dijelova, klasu prizmatičnih dijelova itd. Dijelovi koji pripadaju istom tipu u jednom proizvodnom sistemu imaju vrlo slične osnovne površine, pa je time i plan obrade tih površina isti. Šema klasifikacije dijelova prema obliku je prikazana na slici 64.



Slika 64: Šema klasifikacije dijelova prema obliku

S.P. Mitorofanov [44] je drugi naučnik koji se također bavio ovim problemima i on je postavio temelje **grupne tehnologije**. Zadržao je principe sličnosti, ali grupišući dijelove po opremi na kojoj se pojedine operacije izvode, što je razlika u odnosu na tipsku tehnologiju. Dakle, kod grupne tehnologije moguće je da u istoj grupi imamo više dijelova različitog oblika, koji na sebi imaju iste ili slične detalje, koji se rade istim operacijama (na istorodnim mašinama). Ovdje imamo jedinstvo redoslijeda faza u operacijama, a kod tipske jedinstvo redoslijeda operacija. To znači da dijelovi koji mogu biti različitog oblika imaju na sebi jedan ili više detalja koji se rade istom operacijom. Šematski prikaz klasifikacije dijelova prema načinu obrade je dat na slici 65.

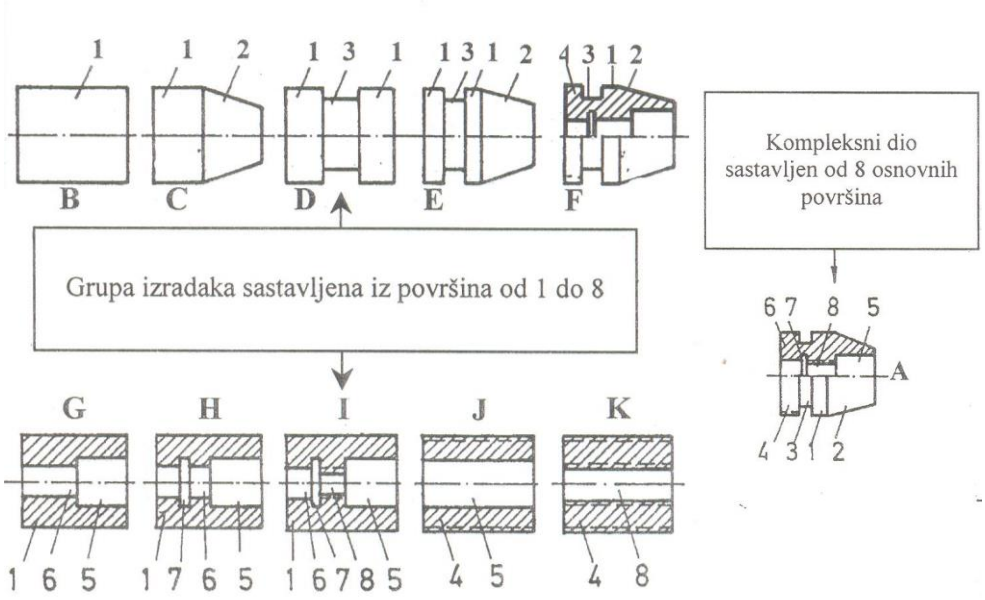


Slika 65: Šema klasifikacije dijelova prema načinu obrade

13.1.Kompleksni dio

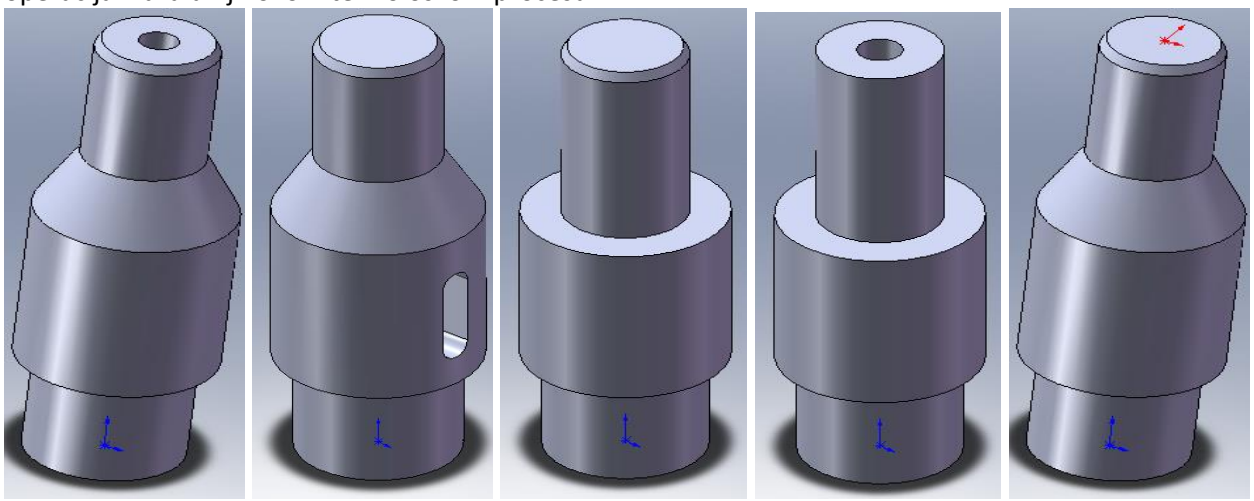
Kompleksni dio je predstavnik grupe dijelova. **Stvarni** kompleksni dio je stvarni dio iz grupe, a **vještački** je nastao od površina dijelova iz grupe i od površina koje su neophodne kada ne postoji stvarni kompleksni dio. Kompleksni dio mora imati sve površine koje se nalaze na dijelovima iz grupe. On služi da bi se za njega izradio tehnološki proces izrade i tada nije potrebno razrađivati tehnološki proces za ostale dijelove iz grupe. Tehnološki proces za kompleksni dio, sa neznatnim dopunskim preudešavanjem mašina, primjenjuje se za izradu bilo kojeg dijela grupe.

PRIMJER 1: Na slici 66. prikazano je 10 dijelova koji pripadaju jednoj grupi. To su dijelovi B, C, D, E, F, G, H, I, J i K. Na njima možemo uočiti 8 različitih detalja, koji su na slici 66. označeni od 1 do 8. Dio A ima svih 8 detalja i to je kompleksni dio. Kada se razradi tehnološki proces izrade komplesnog dijela, svi ostali dijelovi iz grupe se rade po tom tehnološkom procesu, samo što se izostavljaju obrade onih detalja koji ne postoje na dijelu.



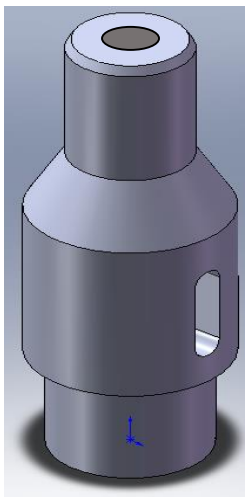
Slika 66. Primjer kompleksnog dijela za 10 dijelova grupe [37]

PRIMJER 2: Nacrtajte kompleksni dio za slijedećih pet dijelova (slika 67.) i tabelarno prikažite redoslijed operacija i faza u njihovom tehnološkom procesu.



Slika 67. Pet dijelova koji pripadaju istoj grupi

Nijedan od 5 dijelova iz grupe nema sve detalje, tako da ne postoji stvarni kompleksni dio, pa je potrebno nacrtati vještački kompleksni dio. On je prikazan na slici 68.



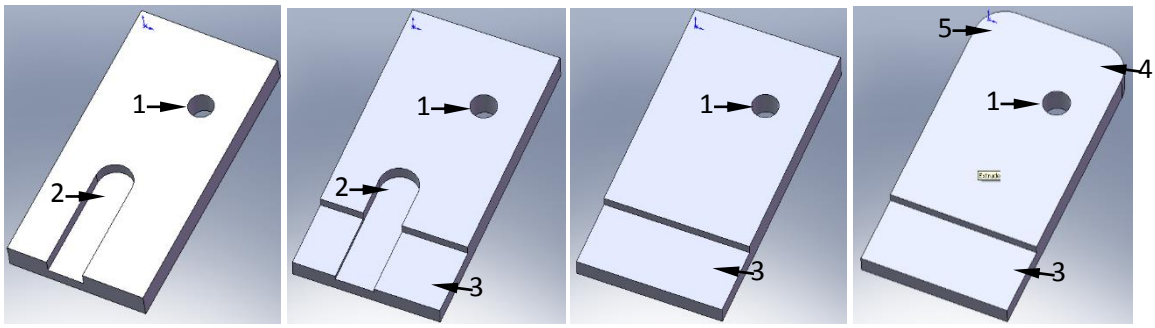
Slika 68. Kompleksni dio

U tabeli 3. dat je redoslijed operacija i faza tehnološkog procesa izrade kompleksnog dijela (1. kolona u tabeli). Za dijelove iz grupe u tabeli 3. je stavljen znak x za one faze koje su u tehnološkom procesu izrade tog dijela, a znak – za faze koje nisu u tehnološkom procesu izrade tog dijela, tako da tabela 3. daje redoslijed operacija i faza izrade svih dijelova iz grpe.

Tabela 3. Redoslijed operacija i faza u tehnološkom procesu kompleksnog dijela i dijelova iz grupe

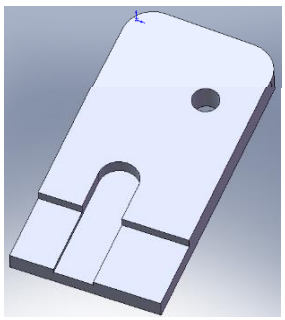
kompleksni dio	1. dio	2. dio	3. dio	4. dio	5. dio
Operacija struganje – 1. zahvat					
vanjsko uzdužno struganje na najveći Φ	x	x	x	x	x
vanjsko uzdužno struganje na manji Φ	x	x	x	x	x
izrada konusa	x	x	-	-	x
obaranje ivice	x	x	x	-	x
bušenje centralne rupe	x	-	-	x	-
odsjecanje komada	x	x	x	x	x
Operacija struganje – 2. zahvat					
vanjsko uzdužno struganje na manji Φ sa druge strane	x	x	x	x	x
Operacija glodanje – 1. zahvat					
glodanje žlijeba za klin	-	x	-	-	-

PRIMJER 3: Za grupu od 4 dijelova nacrtati kompleksni dio u izometriji (3D).



Slika 69. Dijelovi koji pripadaju jednoj grupi

Da bi se dobio kompleksni dio potrebno je uočiti detalje na dijelu. Rupu možemo označiti sa 1, žlijeb sa polukružnim krajem 2, rameni žlijeb 3 i zaobljenja 4 i 5. Kompleksni dio (slika 70.) mora imati sve pomenute detalje.



Slika 70. Kompleksni dio

13.2.Klasifikatori dijelova

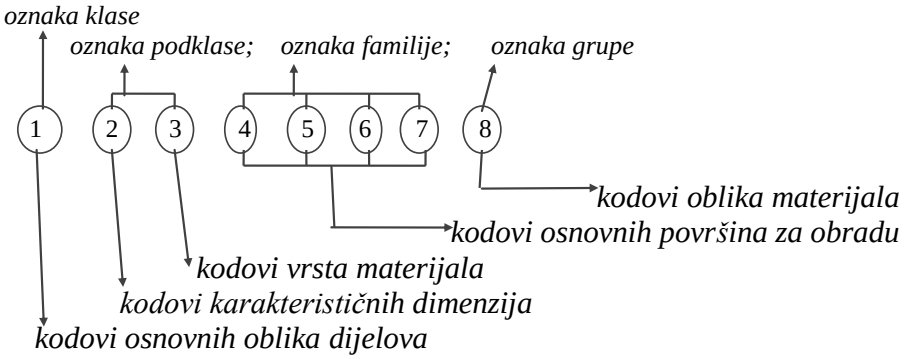
Uglavnom se koriste dvije metode klasifikacije dijelova: vizuelna i metoda kodiranja. Metoda kodiranja je tačnija, pa se ova metoda uglavnom koristi tako što se upotrebljavaju klasifikatori dijelova. Da bismo mogli ostvariti tipsku ili grupnu tehnologiju moramo imati klasifikatore dijelova za dobijanje grupa ili tipova. To su tehnička uputstva ili standardi, kojima se dijelovi razvrstavaju sa ciljem dobijanja klasa, podklasa, grupa i tipova. Suština klasifikacije je da se dobije za svaki dio klasifikacijski broj sa odgovarajućim brojem cifara. Taj broj opisno zamjenjuje date karakteristike dijelova. Postoje različiti klasifikatori npr. "ENERGOINVEST" - Sarajevo, "BRATSTVO" - Travnik, "NITMAS" - Petrograd, Rusija, IAMA (Institut za alatne mašine i Alate) Beograd, WZL-THL AACHEN, Njemačka itd. Zajedničko za sve klasifikatore je da se dobija klasifikacijski broj, a razlika je u različitom broju cifara (8; 14; 9; 15; ...). Ako je broj cifara mali tada se vrši uopštavanje, a ako je broj cifara veliki onda dobijamo individualne dijelove.

Klasifikatori predviđaju postupnost u klasifikaciji i može se kategorizirati u 4 koraka, npr. za klasifikator dijelova IAMA:

1 - klase dijelova (razvrstavanje dijelova po opštoj geometrijskoj sličnosti),
2 - podklase dijelova (karakterišu se osnovnim dimenzijama i materijalom),
3 - familija dijelova (dijelovi sa istim glavnim površinama za obradu),
4 – grupa dijelova (vrsta početnog oblika materijala, npr. šipka, odlivak, odkivak,...).

13.2.1. Klasifikator dijelova IAMA

IAMA (Institut za alatne mašine i Alate) Beograd je napravio klasifikator koji se sastoji od 8 jednocifrenih brojeva. Na mjestu svakog broja mogu biti cifre: 0, 1, 2, ... , 9. Klasifikacija dijelova se vrši na osnovu šeme na slici 71.



Slika 71. Klasifikator dijelova IAMA

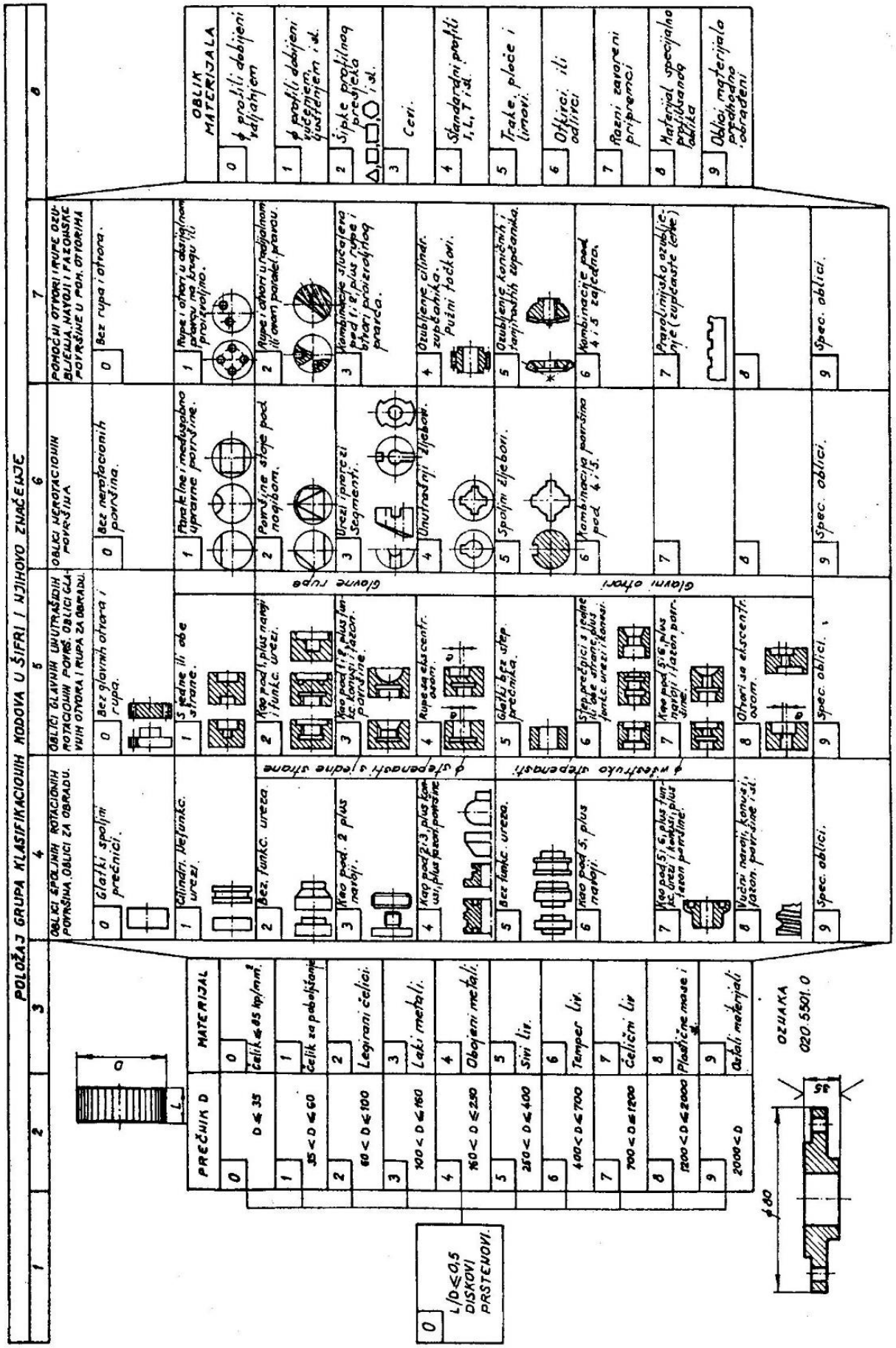
Dakle, prva cifra predstavlja oznaku klase dijela i ona se dobija iz tabele 4. [37] u zavisnosti od osnovnog oblika dijela. Tako npr. ako je dio pripremak ili dio koji je obrađen postupkom bez odvajanja strugotine (npr. livenjem, kovanjem i slično), iz tabele dobijamo na prvom mjestu cifru 8. Ako je dio disk sa odnosom dužine i prečnika manjim ili jednakim 0,5; tada na prvom mjestu imamo cifru 0.

Tabela 4. Kodovi klasa klasifikatora IAMA [37]

				Kod za klasu	Dimenzione karakteristike ili opis		Skice, definicije veličina
SKUP SVIH DIJELOVA MAŠINSKIH KONSTRUKCIJA	IZRAĐENO OBRADOM ODVAJANJEM STRUGOTINE	Rotacioni	Simetrični	0	Diskovi, prstenovi	L/D ≤ 0,5	D i L su minimalne dimenzije omotača cilindra u koji se može smjestiti tijelo dobijeno okretanjem rotacionog dijela oko svoje ose obrtanja.
				1	Oblice i Čahure	D ≤ 20; 0,5 < L/D ≤ 4	
						20 < D ≤ 40; 0,5 < L/D ≤ 3	
						40 < D ≤ 200; 0,5< L/D ≤2	
						200 < D; 0,5 < L/D ≤ 1	
				2	Osovine	D ≤ 20; L/D > 4	
						20 < D ≤ 40; L/D > 3	
						40 < D ≤ 200; L/D > 2	
						200 < D; L/D > 1	
			Nesimetrični	3	Kraći rotacioni dijelovi sa eksc. površinama	D ≤ 40; L/D ≤ 3	
						D > 40; L/D ≤ 2	
				4	Osovine sa ekscentričnim površinama	do D ≤ 40; L/D > 3	
						D > 40; L/D > 2	
		Nerotacioni		5	Dugi dijelovi a/b >3; b > c		a, b i c su minimalne dimenzije omotača paralelopipeda u koji se može smjestiti nerotacioni dio.
				6	Niski dijelovi a/b ≤ 3; b/c ≥ 2		
				7	Prostorni dijelovi a/b ≤ 3; c ≤ b < 2c		
	SVI OSTALI DIJELOVI			8	Pripremci i dijelovi izrađeni postupcima bez odvajanja strugotine		
				9	Specijalni dijelovi i dijelovi sa specijalnom tehnologijom izrade		

Ako je na prvom mjestu cifra 0, tada se za dobijanje ostalih cifara koristi tabela 5. Iz te tabele se dobija preostalih 7 cifara. Na dnu tabele 5. je dat crtež jednog dijela i njegova oznaka 020.5501.0 kao ilustracija, tj. primjer. Na drugom mjestu za taj dio je cifra 2, jer je prečnik dijela između 60 i 100mm. Iz tabele 5. su dobijene i ostale oznake, npr. na četrvrtom mjestu je oznaka 5, jer dio ima glatku unutrašnju površinu (otvor) bez stepenastih prečnika itd.

Tabela 5. Cifre klasifikatora IAMA kada je na prvom mjestu cifra 0



Na ovaj način dobijamo klasifikacioni broj i dijelovi koji imaju iste ili slične klasifikacione brojeve su i geometriski slični i imaju slične probleme u tehnološkom procesu izrade.

13.2.2. Klasifikator dijelova WZL-THL AACHEN
Klasifikator se sastoji iz dva dijela, prethodnog i završnog.
Prethodni dio se sastoji od 5 mjesta i to:
1. mjesto - klasa dijelova u funkciji oblika i odnosa osnovnih mjera
2. mjesto - osnovni spoljašnji oblik za klase 0 do 2, a za ostale klase osnovni oblik dijelova
3. mjesto - unutrašnji oblik površine
4. mjesto - ravne površine dijelova
5. mjesto - pomoćne površine kao što su pomoćni otvori, rupe, ozubljene i slične površine
Završni dio sadrži:
6. mjesto - osnovne dimenzije
7. mjesto - vrsta materijala
8. mjesto - polazni oblik materijala
9. mjasto - tačnost predmeta obrade
Kao i kod klasifikatora IAMA i ovde se koriste tabele iz kojih se dobijaju cifre. Ovaj klasifikacioni sistem, iako teško obuhvata dijelove složenih oblika, predstavlja dovoljnu podlogu za klasifikaciju najvećeg broja dijelova u mašinstvu.

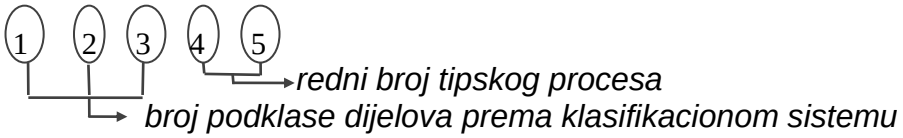
Osim navedenih postoji još mnogo klasifikaciskih sistema, kao npr. Opitz klasifikator za rotacione dijelove, TU LSHN NIITMAŠ, itd.

13.3.Tehnološke i operaciske grupe dijelova

Pod **tipskim tehnološkim procesom** se obuhvata tehnološko rješenje izrade grupe geometrijski sličnih dijelova koji imaju u osnovi zajednički plan obrade koji se ostvaruje preko istih operacija, na istom skupu mašina i istim redoslijedom obrade. Dijelovi koji se obrađuju po jednom tipskom postupku mogu zahtijevati određeni broj individualnih operacija za konačnu obradu, odnosno dijelovi mogu imati sve ili samo neke od faza obrade iz tipskog tehnološkog procesa. To se najbolje vidi u Primjeru 2 u dijelu *13.1. Kompleksni dio*. Teoretski ili čisti tipski proces se može projektovati za familiju istih ili sličnih dijelova.
Tehnološka grupa dijelova se sastoji od niza sličnih dijelova, koji nose iste ili slične klasifikacione brojeve dobijene upotrebom klasifikatora dijelova.
Grupni tehnološki procesi obuhvataju tehnološka rješenja izrade grupe dijelova koji imaju zajednički plan izrade za jednu operaciju koja se izvodi na jednoj mašini uz pomoć jednog osnovnog podešavanja mašine, pribora i alata. Grupni tehnološki proces obično ima više zahvata (stezanja) i faza, a pojedini dijelovi u svom tehnološkom procesu izrade uzimaju neke ili sve od tih faza u zavisnosti od detalja na dijelu koji se obrađuju u toj operaciji.
Operacijske grupe dijelova obuhvataju one dijelove raznih klasifikacijskih i tehnoloških grupa, koji se mogu obrađivati na zajedničkoj grupnoj operaciji: strugovima, glodalicama, pećima za termičku obradu i sl.

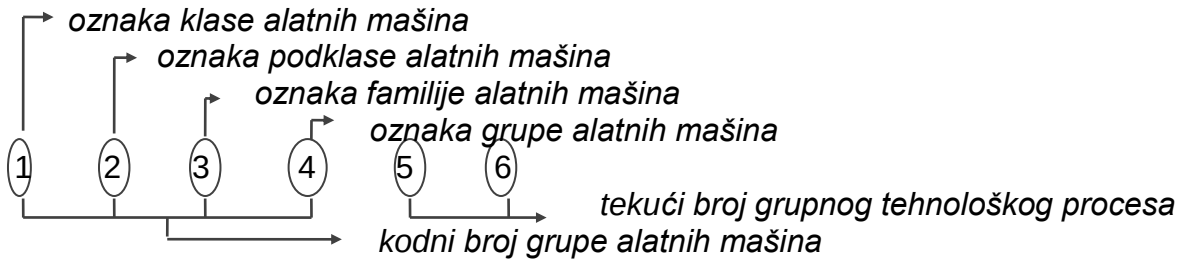
13.4.Brojno obilježavanje tehnoloskog procesa

Brojno obilježavanje tipskog tehnološkog procesa najčešće koristi kod koji se sastoji od 5 cifara, gdje prve tri predstavljaju broj podklase dijelova prema klasifikacionom sistemu, a zadnje dvije predstavljaju redni broj tipskog procesa. Broj podklase pokazuje na koje radne predmete se tehnološki proces odnosi.
Na slijedećoj šemi je prikazano brojno obilježavanje tipskog tehnološkog procesa:



Brojno obilježavanje grupnih tehnoloških procesa najčešće koristi kod koji se sastoji od 6 cifara, gdje prve 4 cifre pokazuju oznaku, odnosno broj grupe alatnih mašina na kojim se operacije odvijaju, a posljednje dvije

cifre su redni broj grupnog tehnološkog procesa. Na slijedećoj šemi prikazano je brojno obilježavanje grupnog tehnološkog procesa:



14. Proces montaže

14. 1. Pojam, nastanak i razvoj procesa montaže

Riječ montaža je francuskog porijekla i francuska riječ "montage" u prevodu znači sklapanje, slaganje, podizanje. Montaža se javlja već u vrijeme kada je čovjek počeo da koristi alate koji se sastoje od više dijelova. Tada se po prvi put javlja potreba za procesom montaže.

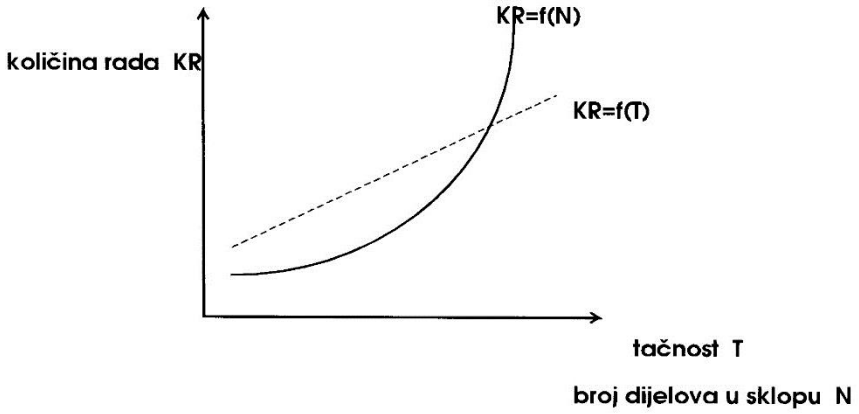
Industrijska revolucija počinje pronalaskom parne mašine i tada, razvojem mehanizama za brzu i tačnu izradu dijelova jednostavnijeg geometrijskog oblika, dolazi do porasta udjela rada u montaži. Dolazi do nastanka i razvoja velikog broja raznih tipova obradnih sistema, jer se povećao asortiman i broj sastavnih dijelova koje je trebalo proizvesti. Udio rada koji je morao biti uložen u proces montaže neprekidno je rastao zbog povećanja složenosti uređaja koji su se proizvodili. Tako je u daljem naučno - tehničkom razvoju došlo do izdvajanja dvije osnovne tendencije.

Prva tendencija je da je razvijen veliki broj novih proizvoda, koji imaju viši stepen složenosti i veću prednost u odnosu na dotadašnje, a to se ogleda u povećanju broja sastavnih dijelova sklopova. Ovako složeni proizvodi se uglavnom proizvode u maloserijskoj ili srednjeserijskoj proizvodnji. Udio rada i vremena montaže kod ove tendencije izrazito raste.

Druga tendencija je da se neki proizvodi proizvode u velikim količinama, a to je uglavnom roba široke potrošnje, elektronskih i elektro-tehničkih proizvoda. Ovi proizvodi se proizvode masovnom proizvodnjom. Razvoj obrade plastičnom deformacijom kao i obrade livenjem i zavarivanjem omogućilo je da se dijelovi, koji se sastoje od više sastavnih elemenata, izrađuju u konačnom obliku u jednom komadu. To je dovelo do pojednostavljenja procesa montaže. Također, otkrića poluprovodnika i otkrića na polju mikroelektronike su pojednostavila proces montaže.

U posljednje vrijeme se sve više koriste visokosofisticirani uređaji, koji su relativno malih dimenzija, a sastoje se od većeg broja računarskih i elektronskih komponenti, kao što su tableti, laptopi, pametni telefoni, dlanovnici, i razni drugi uređaji, čiji je proces montaže dosta zahtjevan.

Tačnost i broj dijelova utiču na količinu rada utrošenog u montaži, a time i na vrijeme montaže. Ta funkcionalna zavisnost je prikazana na slici 72.



Slika 72. Zavisnost količine rada od tačnosti i broja dijelova u sklopu.

Kako se vidi na slici 72. količina rada u funkciji tačnosti raste pravoliniski sa rastom tačnosti, a količina rada u funkciji broja dijelova za montažu raste eksponencijalno.
Kod proizvoda koji će u budućnosti biti složeniji može se očekivati povećanje vremena i rada potrebnog za montažu, pa je potrebna racionalizacija procesa montaže, to jest prelazak na viši stepen mehanizacije i automatizacije proizvodnje. Vrijeme montaže je najmanje kod masovne, a idući prema pojedinačnoj proizvodnji procentualno učešće vremena montaže u ukupnom vremenu izrade proizvoda se povećava.

14. 2. Definicija montaže i osnovni pojmovi

Proces montaže se može definisati kao dio procesa proizvodnje u okviru koga se od sastavnih dijelova izgrađuju složeni dijelovi - sklopovi. Proces montaže je završna etapa izrade mašina, uređaja i drugih složenih proizvoda. Prelazeći sa pojedinačne prema masovnoj proizvodnji prelazimo od koncentracije na diferencijaciju montažnih operacija.
Svaka mašina, uređaj i drugi proizvodi, zavisno od namjene i funkcije sastavljeni su od manjeg ili većeg broja dijelova skladno povezanih u jednu cijelinu, tako da svaki od njih izvršava tačno određeni zadatak. Prema tome, svaki uređaj i mašinu možemo raščlaniti na mašinske grupe, podgrupe, sklopove, podsklopove i dijelove ili detalje.
Mašinski dio ili detalj je osnovni dio mašine ili bilo kog drugog složenog proizvoda koji se bez razaranja ne može rastaviti na jednostavnije dijelove, npr. vijak, zupčanik, vratilo, čivija, osovina, osigurač itd. Svaki mašinski dio ispunjava određeni zadatak i ulazi u podsklopove, sklopove, podgrupe i grupe. Broj dijelova koji ulaze u sastav jednog proizvoda varira od nekoliko desetina i stotina, pa čak i nekoliko hiljada.
Podsklop predstavlja skup dva ili više različitih dijelova spojenih u jednu cijelinu, a koji, skupa sa drugim dijelovima, formiraju sklopove. To je naprimjer zupčanik postavljen na vratilo, klip sa klipnim prstenovima postavljen na klipnjaču i slično.
Sklop je skup više mašinskih dijelova i podsklopova koji u podgrupi i grupi dijelova ima određenu funkciju i zadatak. Sklopovi se razlikuju po dimenzijama, veličinama i zadacima koje obavljaju, a to su, naprimjer, kotrljajno ležište, klizno ležište, elastični zglob itd.
Mašinska podgrupa ili grupa je skup više sklopova, podsklopova i dijelova koji su povezani zajedničkom funkcijom. Podgrupe ili grupe predstavljaju osnovne cjeline neke mašine ili uređaja. Grupe su npr. motor, reduktor, pumpa, mjenjač, uređaj za upravljanje i slično. U vezi sa ovom podjelom i montažu možemo podijeliti na montažu podsklopova, sklopova, grupa i podgrupa.
U pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji proces montaže obavljaju visokokvalifikovani i kvalifikovani radnici, a u serijskoj i masovnoj proizvodnji radna snaga niže kvalifikacije. Za montažu pri maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji koristi se uglavnom univerzalni alat i pribor, dok pri serijskoj i masovnoj proizvodnji specijalna oprema. U velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji moguće je izvršiti automatizaciju i mehanizaciju procesa montaže. Razlaganje proizvoda na sklopove, podsklopove, grupe i podgrupe omogućava razlaganje operacije montaže tako da se ona obavlja na više radnih mjesta. To je opravdano za serijsku i masovnu proizvodnju, a u pojedinačnoj proizvodnji raščlanjivanje operacije montaže nije opravdano. Montaža se tada obavlja na jednom mjestu, a ovo naročito ima opravdanja pri montaži teških predmeta, gdje bi transport od jednog do drugog mjesta stvarao dosta problema. Dakle, ovde se radi o koncentraciji montažnih operacija. Najbolji primjeri za to su montaža broda, aviona itd.
Kod velikoserijske proizvodnje potrebno je izvršiti diferencijaciju montažnih operacija, montaža se vrši na više radnih mjesta, montiraju se zasebni sklopovi koji se ugrađuju u podgrupe i grupe. Na ovaj način se skraćuje proces montaže. Radna mjesta za montažu su uglavnom specijalizovana i opremljena specijalnom opremom. Na takvim radnim mjestima operacije montaže se stalno ponavljaju, pa ih mogu obavljati priučeni radnici. To sve dovodi do skraćenja vremena i troškova montaže.
Pri masovnoj proizvodnji montaža proizvoda zauzima vrlo važno mjesto. Ovde se montaža obavlja na specijalizovanim radnim mjestima, pomoću specijalnih alata i pribora, a koriste se trake ili konvejeri tako da dijelovi kontinualno ili periodično idu od jednog do drugog radnog mjesta za montažu. Ovde je potrebno da vrijeme trajanja operacija montaže na svim radnim mjestima bude približno jednako, pa na onim mjestima gdje je potrebno više vremena možemo zaposliti više radnika ili više opreme i slično. Takt montaže je

utrošeno vrijeme za montažu na jednom radnom mjestu. Nakon svakog takta montaže sa trake izlazi jedan gotov proizvod.

14. 3. Projektovanje tehnološkog procesa montaže

Tehnološki proces montaže predstavlja dio proizvodnog procesa, a obuhvata spajanje, povezivanje i fiksiranje detalja da bi se dobio gotov proizvod. Proces montaže u proizvodnom procesu je vrlo važan zbog uložene velike vrijednosti materijala, rada i sredstava za rad pri proizvodnji dijelova koji se montiraju.

14. 3. 1. Montažne jedinice

Montažna jedinica je podsklop, sklop ili detalj tehnološki zaokružen (ne mora biti i konstruktivno), tako da se bez teškoća uklapa u više montažne jedinice. Podsklop može biti prvog, drugog ili višeg reda. Onaj podsklop koji direktno ulazi u sklop (gotov proizvod) naziva se podsklop prvog reda, a podsklop koji ulazi u podsklop prvog reda je podsklop drugog reda i tako redom. Za podsklop drugog reda podsklop prvog reda predstavlja višu montažnu jedinicu, a za podsklop prvog reda sklop predstavlja višu montažnu jedinicu. Bazni dio je onaj osnovni elemenat od kojeg počinje proces montaže sklopa. Analogno tome bazni sklop je onaj sklop od kojeg počinje proces montaže podgrupe, grupe ili gotovog proizvoda.

14. 3. 2. Polazni podaci za projektovanje tehnološkog procesa montaže

U polazne podatke za projektovanje tehnološkog procesa montaže spadaju: montažni nacrti, tehnički uslovi prijema proizvoda, obim proizvodnje i rokovi isporuke.

Montažni nacrti daju konstrukciju proizvoda i ovi crteži moraju sadržati neophodne projekcije, detalje, presjeke i poglede, broj dijelova i sklopova proizvoda, te njihovu specifikaciju, zatim definisane lance dimenzija mjera koji su potrebni za montažu, podatke o težini dijelova, sklopova, proizvoda i sl. Prije razrade tehnološkog procesa montaže potrebno je detaljno proučiti montažne nacrte, izvršiti njihovu tehnološku kontrolu, te proučiti tehničke uslove prijema proizvoda.

Tehnički uslovi prijema proizvoda moraju sadržavati: podatke o kvalitetu spajanja koje je potrebno postići, o tačnosti montaže, o hermetičnosti i krutosti spojeva, potrebnu tačnost uravnoteženja rotirajućih dijelova i sl.

Obim proizvodnje utiče na stepen razrade tehnološkog procesa montaže. Što je veći obim proizvodnje, to je stepen razrade tehnološkog procesa montaže veći. Pri malom obimu se obično stepen razrade ograničava na opštu skicu montažnih operacija, odnosno na šemu montaže, koja će biti objašnjena u daljem tekstu.

Prilikom projektovanja procesa montaže potrebno je posjedovati priručnike, normative materijala, kataloge montažne opreme, alata i pribora za montažu, preporuke za poboljšanje tehnologičnosti konstrukcije proizvoda, normative za normiranje rada i ranija rješenja tehnološkog procesa montaže sličnih dijelova.

14.3.3. Tehnologičnost konstrukcije u pogledu montaže

Konstrukcija je tehnologična ako su dijelovi, podsklopovi, sklopovi i grupe tako konstruisani da ih pri datim uslovima proizvodnje, pri određenom broju komada, možemo brzo i jednostavno osvojiti i da je proizvodnja tih dijelova, podsklopova, sklopova i grupa brza i jeftina. Pri ocjeni tehnologičnosti jedne konstrukcije treba, pored tehničke, uzeti u obzir i ekonomsku stranu procesa proizvodnje.

Da bi konstrukcija bila tehnologična mora ispunjavati slijedeće uslove:

- ✓ jednostavna izrada i kratko vrijeme proizvodnje,
- ✓ da sadrži što veći broj standardnih i unificiranih dijelova, sklopova, podsklopova i grupa,
- ✓ da se pri izradi koristi što manje tehnološke opreme,
- ✓ da su operacije lako izvodljive i jednostavne,
- ✓ da se koriste jeftini i lako dostupni materijali.

Da bi konstrukcija bila tehnologična i u pogledu montaže nameću se, pored ovih i sljedeći uslovi:
montaža podsklopova, sklopova, podgrupa i grupa i gotovog proizvoda mora biti jednostavna, bez većeg broja operacija, dorade i upasivanja pojedinih dijelova,

- ✓ konstrukcija mora biti podesna za diferencijaciju operacija montaže i da se montaža može obavljati na više radnih mjesta,
- ✓ da se pri montaži koristi jednostavna i jeftina oprema,
- ✓ da se pri montaži koristi radna snaga niže kvalifikacije,

- ✓ da se može uvesti automatizacija procesa montaže.

Pogodnost proizvoda za montažu je određena oblikom proizvoda, vrstom materijala, funkcijama koje proizvod treba da realizuje i principom rada koji je usvojen za ostvarivanje ovih funkcija. O tehnologičnosti proizvoda u pogledu montaže bilo je riječi i u dijelovima 12.1. i 12.1.3. ove knjige.

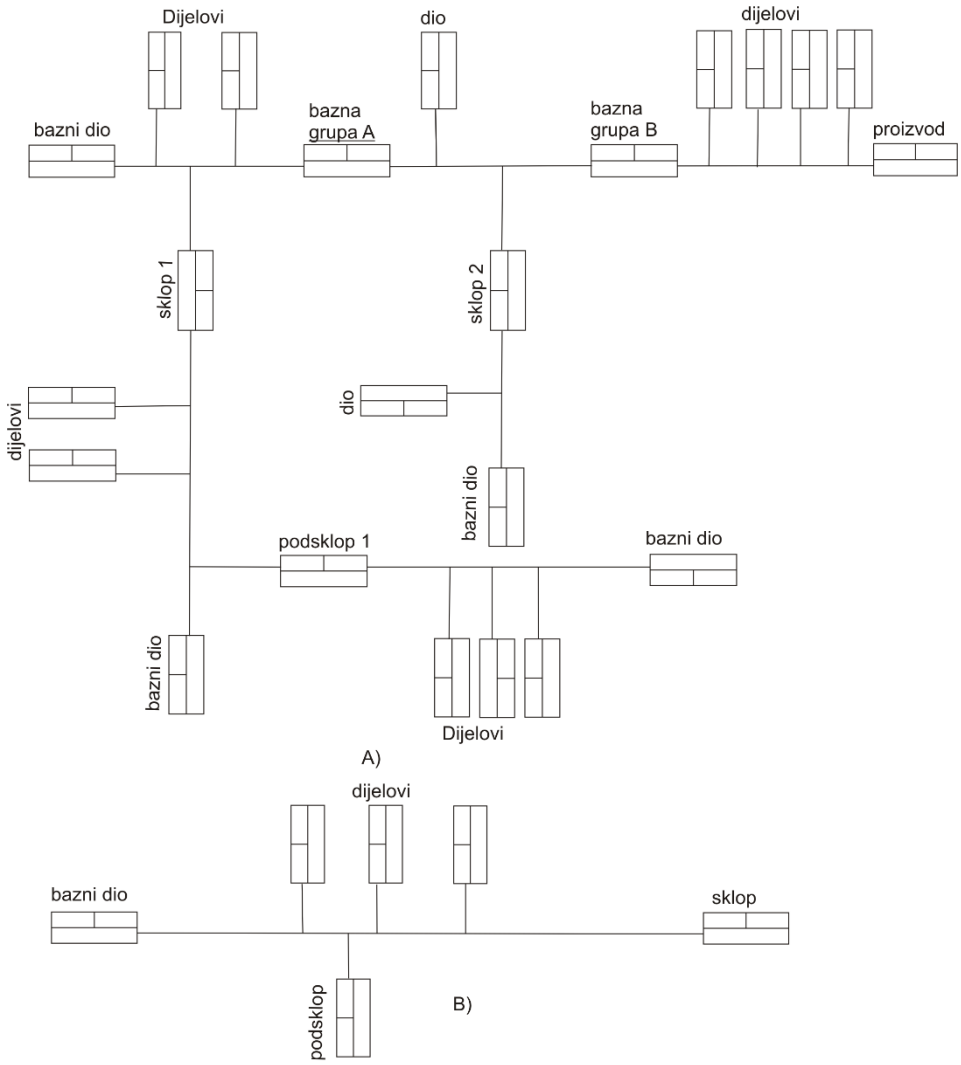
14.3.4. Izrada šeme montaže

Kod projektovanja tehnološkog procesa montaže neophodno je izraditi šemu sklapanja odnosno šemu montaže [6]. Na osnovu nje se može lako i pregledno ustanoviti koji dijelovi tvore sklopove, a koji sklopovi i dijelovi tvore gotov proizvod. U ovoj šemi svaki dio, sklop ili podsklop je predstavljen jednim pravougaonikom, koji najčešće izgleda kao na slici 73.a) i slici 73.b). U ove pravougaonike su upisani sljedeći podaci: brojčana oznaka pozicije, naziv pozicije, brojčana oznaka montažne jedinice, montažna operacija, broj komada i slično.

Slika 73. Podaci o montažnim jedinicama za šemu montaže.

Izgled šeme montaže prikazan je na slici 74.A) i B). Tehnološka šema montaže može da bude tehnološka šema opšte montaže, koja se odnosi na cijeli proizvod i prikazana je na slici 74.A), ili tehnološka šema sklopne montaže, koja se razrađuje za pojedine sklopove u slučaju veće složenosti proizvoda i prikazana je na slici 74.B). U pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji tehnološka šema montaže služi i kao tehnološki proces montaže, tako da monter sam razvija proces sastavljanja prema sastavnom crtežu i montažnoj šemi. Za složenije proizvode u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji je potrebno izraditi šemu montaže za svaki sklop upravo iz razloga što ona ujedno služi za tehnološki proces montaže. U masovnoj i velikoserijskoj proizvodnji treba pored šema montaže izraditi i uslove montaže. U njih se upisuju operacije i faze montaže na određenom radnom mjestu montaže, kao i potrebni alati i pribori, odnosno pomagala za montažu. U šemi montaže proces montaže se označava horizontalnim pravim linijama i odvija se od baznog detalja do konačnog proizvoda, odnosno sklopa. Iznad ove horizontalne linije unose se svi elementi onako kako dolaze po redosljedu montaže, koji neposredno ulaze u proizvod, a ispod linije svi podsklopovi i sklopovi koji ulaze u proizvod.

Ako proizvod ima više lanaca dimenzija, montaža u tom slučaju počinje od najodgovornijeg i najsloženijeg lanca, a svaki lanac se završava zaključnom karikom [6, 17].



Slika 74. Tehnološka šema montaže: šema opšte montaže A), šema sklopne montaže B).

14. 4. Podjela montaže

Postoji više podjela montaže, a ovde će se navesti dvije podjele.

1). Montaža se prema predmetu montaže dijeli na: sklopnu i opštu.

Sklopna montaža je montaža grupa i podgrupa sklopa, a opšta montaža je montaža proizvoda u cjelinu.

2) Prema organizacionom obliku, montaža može biti: stacionarna i tekuća (pokretna).

Stacionarna montaža je ona kod koje se objekat montaže ne pomjera. Primjenjuje se u pojedinačnoj i u serijskoj proizvodnji, ako je proizvod težak ili osjetljiv na pomjeranje. Stacionarni oblik montaže se dijeli na: montažu sa koncentracijom operacija i montažu sa diferencijacijom operacija.

Kod montaže sa koncentracijom operacija, radna mjesta su opremljena univerzalnim alatom, radna snaga je visokokvalifikovana, a ciklus montaže traje relativno dugo.

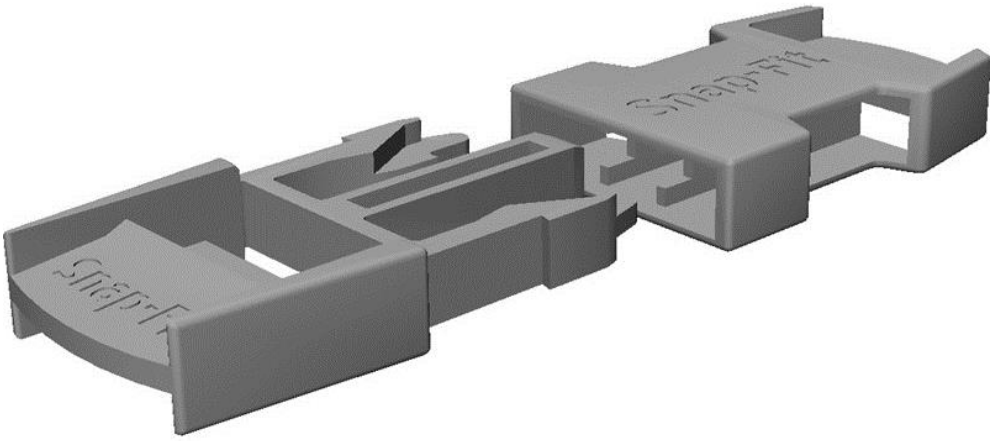
Primjenjuje se u individualnoj proizvodnji. Brigadna metoda montaže je prvi vid diferencijacije operacija, jer ovdje jedna grupa radnika radi jednu grupu poslova, druga grupa - drugu itd. Obično jedna grupa montira jedan sklop. Primjenjuje se u maloserijskoj proizvodnji.

Tekuća montaža je takav oblik, kod kojeg se radni predmet (predmet montaže) pomjera sa jednog na drugo radno mjesto, koje ima definisane poslove, a vrijeme posla je usklađeno sa ostalim mjestima (radna mjesta imaju isti takt montaže). Svako radno mjesto je snabdjeveno potrebnim, često specijalnim alatom, riješen je transport, a radna snaga je priučena.

14. 5. Struktura tehnološkog procesa montaže

Operacije montaže se mogu podijeliti na: pripremne operacije, operacije sastavljanja i završne operacije. Pripremne operacije se javljaju kod maloserijske i pojedinačne proizvodnje. Produžavaju trajanje ciklusa

montaže, ali su ponekad jeftinije od obrade, kojom se obrzbjeđuje potpuna zamjenjivost. Operacije sastavljanja mogu biti: zavarivanje, lemljenje, Ijepljenje, zakivanje, spajanje pomoću navojnih spojeva, spajanje valjanjem ivica, presovanje, spajanje uskočnim spojevima. Pri projektovanju i konstruisanju proizvoda, uređaja, konstrukcija, naprava i sl. treba izbjegavati one vrste spojeva koje je teško automatizovati, kao što su spojevi ostvareni pomoću vijka i navrtke. Umjesto toga bolje je koristiti uskočne spojeve (slika 74.), samorežuće vijke i sl.

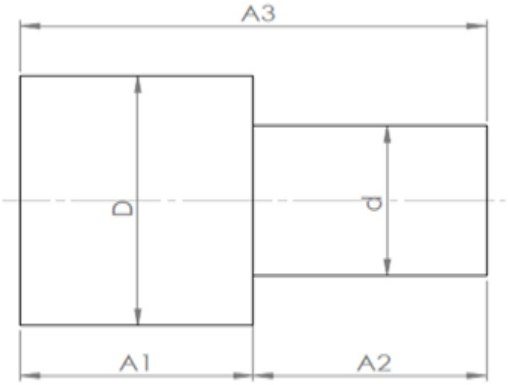


Slika 75. Primjer uskočnog spoja [31]

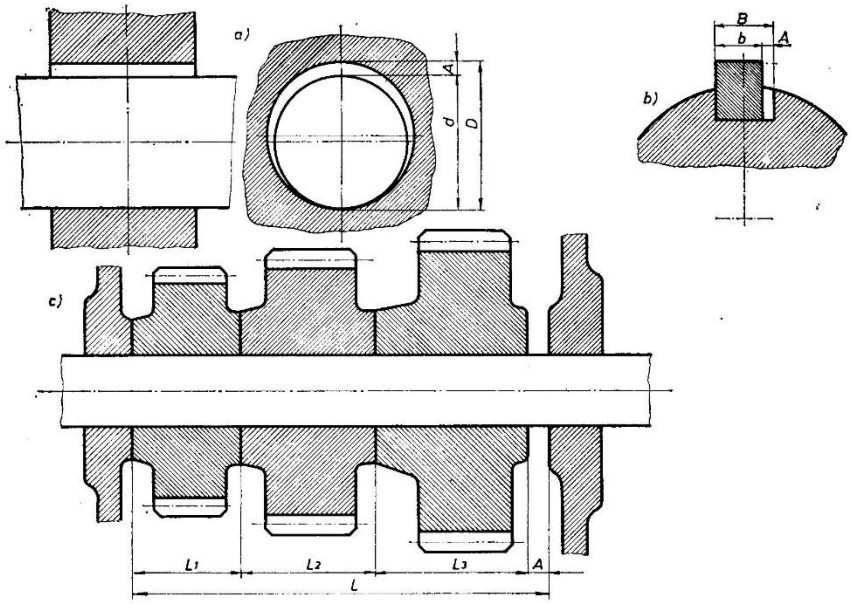
Završne operacije montaže su ispitivanje proizvoda radi utvrđivanja njegovih pogonskih karakteristika i funkcionisanja svih elemenata i mehanizama.
Vrijeme montaže se određuje raščlanjivanjem postupka na zahvate, za koje se snimanjem dobiju vremena (ili su već ranije dobijena, tj. unaprijed utvrđena).
Alat za montažu zavisi od izabrane metode, vrste operacija i obima proizvodnje.
Kontrola montaže se vrši u cilju određivanja točnosti oblika i relativnog položaja. Poslije kontrole, vrši se regulisanje i ispitivanje proizvoda.

14.6. Lanac dimenzija

Lanac dimenzija je zatvoreni lanac uzajamno povezanih veličina koje se odnose na jedan ili više detalja dijela, a koje određuju uzajamni položaj površina ili osa tih detalja. Ako posmatramo više dijelova u sklopu, tada je lanac dimenzija zatvoreni krug uzajamno povezanih veličina koje se odnose na više dijelova sa njihovim površinama i/ili osama (slika 77.). Svaka veličina u lancu, odnosno elementi detalja ili sklopa koji obrazuju lanac, se naziva karikom lanca (slika 76.).

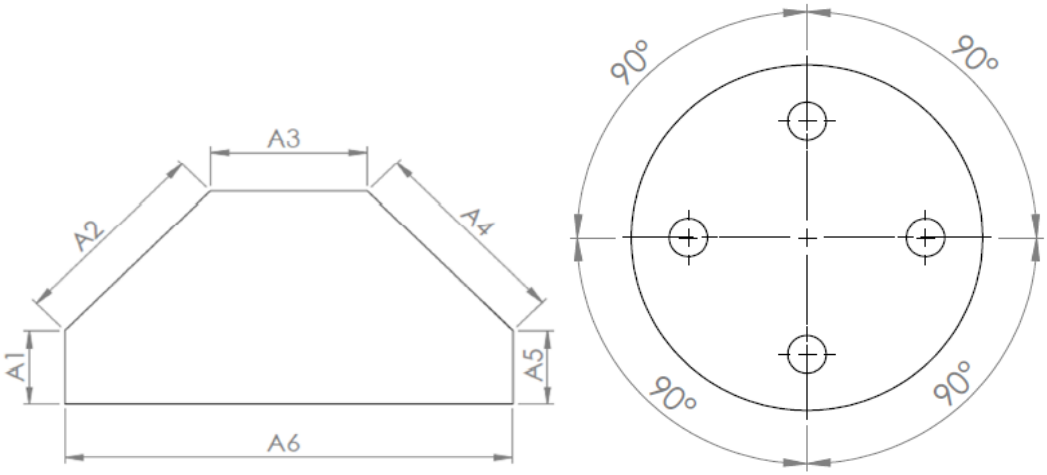


Slika 76: Linearni lanac sa linijskim dimenzijama i paralelnim karikama [33]



Slika 77. Lanci dimenzija kod sklopova (A je zaključna karika lanca) [34]

Prema rasporedu veličina koje ulaze u lanac, lanci dimenzija se mogu podijeliti na: linearne, površinske, prostorne i ugaone (veličine lanca su dimenzije uglova) (slika 78.). U mašinskim konstrukcijama najčešće nailazimo na linearne lance dimenzija.
Linearni lanci dimenzija mogu biti: sa linijskim dimenzijama i paralelnim karikama; sa linijskim dimenzijama i neparalelnim karikama i sa ugaonim dimenzijama.



Slika 78. Linearni lanac sa linijskim dimenzijama i neparalelnim karikama i sa sa ugaonim dimenzijama [6]

Najmanji broj karika u lancu je tri. Karike se dijele na sastavne i zaključne ili polazne. Zaključnom karikom se zatvara lanac (to je posljednja karika u procesu obrade ili montaže). Karika lanca dimenzija, po čijoj nominalnoj dimenziji i dozvoljenom odstupanju se određuju nominalne dimenzije i odstupanja ostalih karika, se naziva polaznom karikom.
Polazna karika lanca dimenzija za tehnologa je ona dimenzija čije ostvarenje, sa dozvoljenim odstupanjem, je neophodno obezbjediti tehnološkim rješenjem pri izradi i montaži. Nasuprot tome, zaključna karika se ne kontroliše pri izradi proizvoda i ona se dobije u procesu ostvarivanja sastavnih karika u lancu dimenzija.
Sastavne karike mogu biti uvećavajuće ili umanjujuće, prema tome da li uvećavaju ili umanjuju dimenziju zaključne (polazne) karike svojim uvećavanjem. Pravilnost proračuna lanca dimenzija zavisi od pravilnog iznalaženja uvećavajućih i umanjujućih kota.

Opšte pravilo [6] za iznalaženje uvećavajućih i umanjujućih karika sadržano je u sastavnoj jednačini nominalnih dimenzija, koja veže sve članove lanca dimenzija, a čije rješenje daje nominalnu dimenziju zaključne karike. Tada svi članovi na desnoj strani jednačine sa znakom plus su uvećavajuće, a sa znakom minus umanjujuće karike. Uvećavajuće karike lanca dimenzija pogodno je označavati strjelicom usmjerenom u desno, a umanjujuće obrnuto.

Prema slici 76. za slučaj kada je karika A_2 zaključna, prema crtežu je: $A_3=A_2+A_1$, odakle je $A_2 = A_3-A_1$

Karika A_2 je uvećavajuća,a karika A_1 umanjujuća.

U općem slučaju, za bilo koji broj članova lanca dimenzija, ako je nazivna mjera zaključne karike A_Δ, tada je jednačina nominalnih dimenzija:

$$A_\Delta = \sum_{I=1}^{k} Ai - \sum_{k+1}^{m-1} Ai$$

gdje je k broj uvećavajućih, a m ukupan broj karika. Nazivna mjera zaključne karike A_Δ ravna je razlici zbira nazivnih mjera svih uvećavajućih karika A_i (strjelica u desno) i zbira svih umanjujućih karika A_i (strjelica u lijevo).

Prilikom rješavanja lanca dimenzija neophodno je ustanoviti stepen uticaja sastavnih karika na zaključnu (polaznu) kariku. Vrijednost svake karike se množi sa prenosnim odnosom ξ, koji se javlja u proizvodnji.

Kod lanca sa paralelnim karikama za uvećavajuće karike ξ = +1, a za umanjujuće ξ = -1. Neparalelne sastavne karike u ravni se projektuju na pravac zaključne (polazne) karike, a prenosni odnos je tada ravan kosinusima ugla između pravaca karika.

Na slici 76., ako je karika A_2 zaključna, tada treba početi sa rezanjem komada na dimenziju A_3 i obradom manjeg prečnika d, držeći se zadane tačnosti, dolazimo do dimenzije A_1.

Ako zaključna karika ima opšti karakter, tada se bira nešto veća dimenzija obratka. Obradi se dio sa manjim prečnikom na dužinu A_2, zatim se gotov komad reže zadržavajući dimenziju A_1. Tada je dimenzija A_3 zaključna karika.

Pri proračunu lanca dimenzija, za obezbjeđenje kvaliteta izrade i montaže proizvoda, neophodno je, pored nominalnih dimenzija (koje se mogu sabirati algebarski) uzeti u obzir dozvoljena odstupanja od nazivne mjere (sabiranje tehnoloških dimenzija). Dozvoljena odstupanja pojedinih karika lanca moraju se odrediti u zavisnosti od dozvoljenih odstupanja ostalih karika lanca, odnosno dozvoljenog odstupanja lanca (zaključne karike). Granične vrijednosti zaključne karike A_2 (slika 76.) zavise od graničnih vrijednosti sastavnih karika A_1 i A_3, odnosno :

$$A_2^{max} = A_3^{max} – A_1^{min} \; ; \; A_2^{min} = A_3^{min} – A_1^{max}$$

odakle se dobije:

$$A_2^{max} – A_2^{min} = (A_3^{max} – A_3^{min}) + (A_1^{max} – A_1^{min})$$

Za lanac dimenzija sa „m“ karika, od kojih „k“ uvećavajućih sastavnih karika, razlika graničnih vrijednosti zaključne (polazne) karike je ravna sumi graničnih vrijednosti sastavnih uvećavajućih i umanjujućih karika.

$$A_\Delta^{max} – A_\Delta^{min} = (\sum_{i=1}^{k} Ai\ max - \sum_{i=1}^{k} Ai\ min) + (\sum_{k+1}^{m-1} Ai\ max - \sum_{k+1}^{m-1} Ai\ min)$$

Navedene razlike graničnih vrijednosti su dozvoljena odstupanja dimenzija, te se jednačina može napisati u obliku :

$$\delta A_2 = \delta A_3 + \delta A_1$$

a za m karika:

$$\delta A_\Delta = \sum_{i=1}^{k} \delta Ai + \sum_{k+1}^{m-1} \delta Ai = \sum_{i=1}^{m-1} \delta Ai$$

Za proračun dozvoljenih odstupanja polja dimenzija u općem slučaju i za proračun dozvoljenih odstupanja karika ravnih lanaca dimenzija sa paralelnim rasporedom karika koristi se izraz:

$$\delta\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \delta i$$

Tako se dobije da je dozvoljeno odstupanje zaključne karike ravno sumi dozvoljenih odstupanja sastavnih karika lanca dimenzija. [6]

Lanci dimenzija se primjenjuju: kod montaže da bismo riješili pitanje zamjenljivosti dijelova [34], kod određivanja dimenzija obratka po operacijama, izračunavanja parcijalne i ukupne greške obrade, regulisanja obradnog sistema, proračuna dodataka za obradu, određivanja tehnoloških mjera kada se tehnološke i konstruktivne baze ne poklapaju, itd.

Pri projektovanju tehnološkog procesa često se ne postižu poklapanja tehnoloških i konstruktivnih baza, zbog čega se javlja greška baziranja. Obzirom da su tehnološke i konstruktivne mjere i tolerancije međusobno povezane, to je vrlo lako uspostaviti matematičku vezu koja će u procesu obrade osigurati propisani nivo tačnosti konstruktivnih mjera i tolerancija i pored toga što nije postignuto jedinstvo baza. Veza se obično definiše primjenom metoda apsolutne ili nepotpune zamjenjivosti.

Kod rješavanja tehnoloških mjernih nizova potrebno je voditi računa o izboru završnog člana, jer ukoliko se odabere neodgovarajući završni član dolazi do pojave greške u konačnom rezultatu. Za završni član se obično odredi neka konstruktivna mjera koja će se u toku obrade ili kontrole obavezno postići. Izbor završnog člana ovisi i o redu izvođenja tehnologije obrade [37].

Kao primjer lanca dimenzija pri montaži možemo uzeti postavljanje tri zupčanika na vratilo i obezbjeđenje zazora A na slici 77 c) [34]. Ako je dimenzija $L=70^{+0.2}_{-0,0}$ i ako dimenzije zupčanika imaju slijedeće vrijednosti: $L_1=17^{+0.1}_{-0,2}$; $L_2=20^{+0.06}_{-0,04}$; $L_1=30^{+0.4}_{-0,4}$.

Ako su sva tri zupčanika izrađena sa najvećom dozvoljenom mjerom i ako uzmemo da je dimenzija L minimalna, tada dobijamo minimalnu veličinu dimenzije A:

L_{min}- (17,1 + 20,06 + 30,4)= 70 - 67,56 = 2,44 mm.

Ako su sva tri zupčanika izrađena sa najmanjom dozvoljenom mjerom i ako uzmemo da je dimenzija L maksimalna, tada dobijamo maksimalnu veličinu dimenzije A:

L_{max}- (16,8 + 19,96 + 29,6)= 70,2- 66,36=3,84 mm.

Dakle, dimenzija A mora biti između 2,44 i 3,84 mm. Ako se propišu manje tolerancije za dimenziju A, mogu nastati problemi pri montaži.

Pri montaži dijelova mogu se koristiti različite metode, a to su: metoda potpune zamjenljivosti dijelova, metoda nepotpune zamjenljivosti dijelova, metoda montaže uz upotrebu kompenzatora i metoda montaže upasivanjem i prilagođavanjem [34].

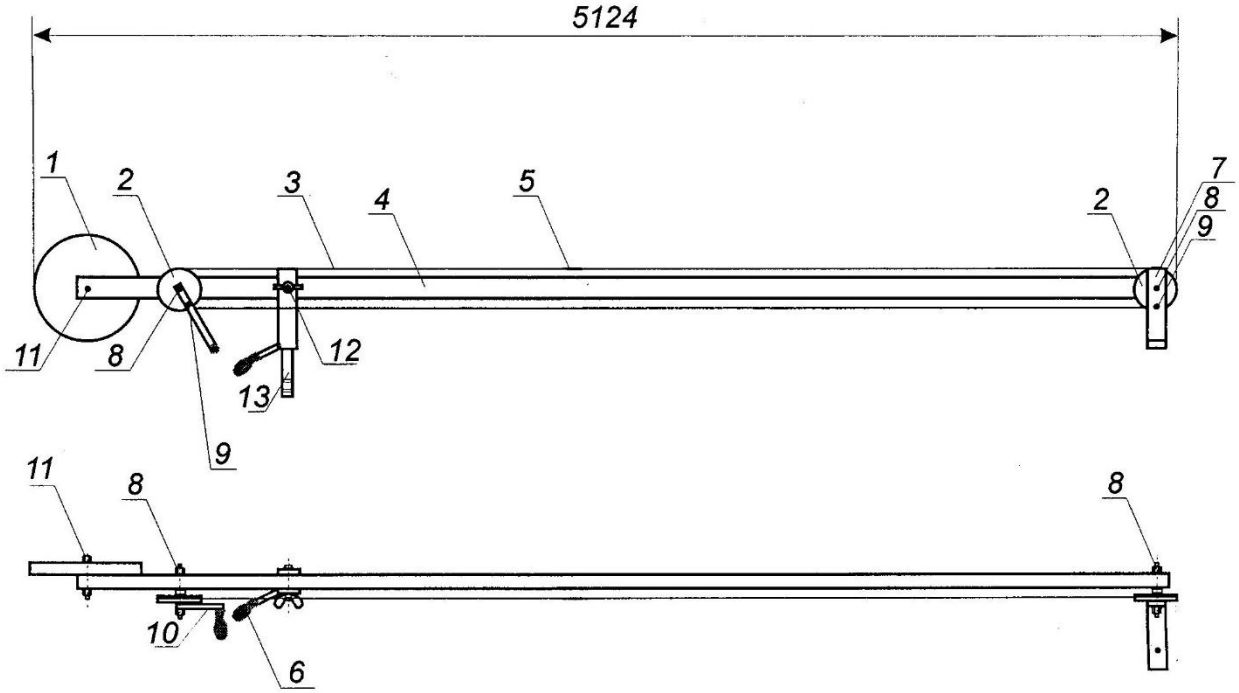
Mjerni lanac predstavlja zatvorenu konturu mjera, te je veoma bitno naznačiti da se tolerancija pojedinih mjera u lancu ne može izvoditi nezavisno od tolerancija ostalih mjera lanca. Pravilan način dimenzionisanja dijelova i proizvoda je od velikog značaja, jer time osiguravamo pravilno izrađene dijelove koji vrše svoju funkciju, te štedimo vrijeme.

15. PRIMJERI TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE DIJELOVA

U ovom poglavlju data su dva primjera tehnoloških procesa izrade dijelova, od kojih se za izradu prvog koriste tehnologije deformisanja (savijanje), rezanja (skidanje strugotine) i zavarivanja (REL). Za izradu drugog dijela koriste se tehnologije rezanja (skidanje strugotine), te termohemiska i termička obrada.

15.1. Tehnološki proces izrade dijela „Viljuška“

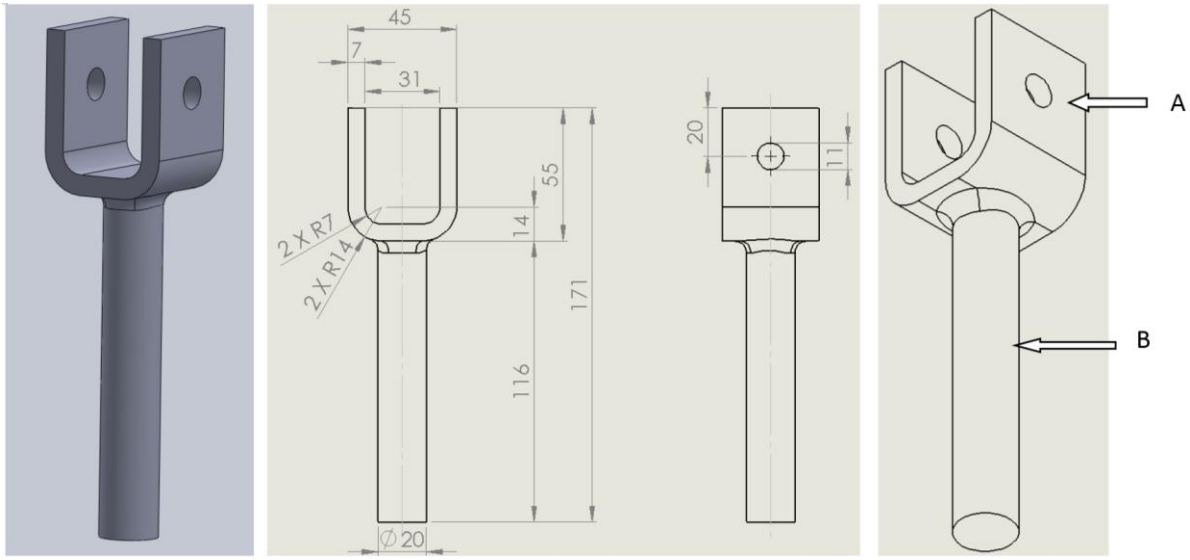
Na slici 79. prikazana je konstrukcija „Krana za kameru“. Ovaj proizvod služi da se na njega postavi kamera za snimanje videa (na dio pozicija 7) i omogućuje da se ručno pomjera dok snima, kako bi se pri snimanju dobili zanimljivi kadrovi pokretne kamere. Kamera se pri tom može kretati u raznim smjerovima, npr. gore-dole, lijevo desno sa svim kombinacijama ovih kretanja.



1. **Teg**
2. **Remenica**
3. **Čelično uže**
4. **Nosač**
5. **Spojnica užeta**
6. **Ručka viljuške**
7. **Nosač kamere**
8. **Sklop osovina remenice**
9. **Vijak M8**
10. **Ručka remenice**
11. **Vijak sa navrtkom M10**
12. **Vijak sa leptir navrtkom**
13. **Viljuška**

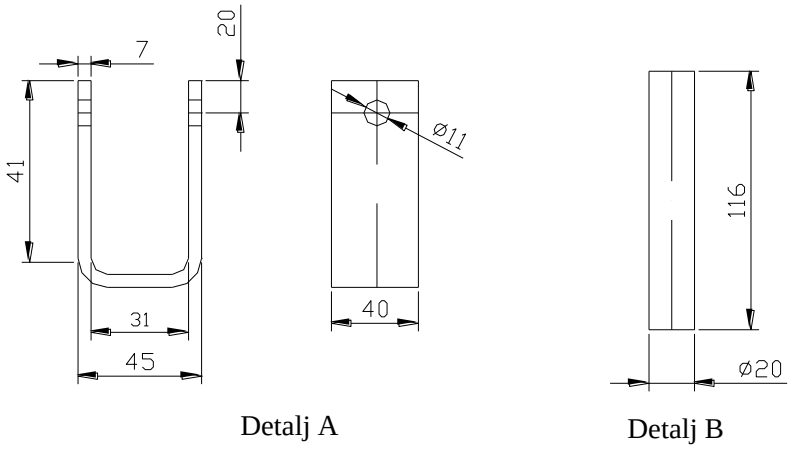
Slika 79. Kran kamere sa pozicijama dijelova

Ovde nas ne zanima funkcija ovog proizvoda, jer je zadatak napisati tehnološki proces izrade dijela „Viljuška“ – pozicija 13. Trodimenzionalni model dijela i njegov crtež sa dimenzijama su dati na slici 80. Kvalitet površina je N10, a sve mjere imaju slobodne tolerancije (tabela 7.). Da bi se izradio ovaj dio neophodno je najprije napraviti detalj A (slika 80.) koji se radi od čelične trake savijanjem i obradom rezanjem, zatim napraviti detalj B (slika 80.), te na kraju ta dva detalja zavariti.



Slika 80. Dio „Viljuška“

Glavne dimenzije detalja A i B su date na slici 81.



Slika 81. Detalji A i B od kojih se zavarivanjem dobija „Viljuška“

15.1.1. Tehnološki proces izrade detalja A

15.1.1.1. Izbor početnog oblika materijala

Usvajamo čeličnu traku Č. 0645 dužine 3 [m], širine 40 [mm].

Razvijena dužina komada:

$L = l_1 + l_2 + l_3 + \pi(R + \chi \cdot s)$ prema [32]

gdje je: ϕ – ugao savijanja; R – vanjski prečnik savijanja; r – unutrašnji prečnik savijanja; χ – koeficijent; s – debljina materijala

χ = 0,41 za r/s = 1 prema [32]

$L = 41 + 41 + 17 + 3{,}14(14 + 0{,}41 \cdot 7) = 152$ [mm]

15.1.1.2. Izbor mašina za obradu

Da bi se izradio detalj A potrebno je ispilati komad na razvijenu dužinu, izvršiti savijanja na presi i izbušiti dvije rupe prečnika ϕ11mm. Za to su potrebne slijedeće tri mašine:

- Mašina za testerisanje sa kružnom testerom TK 400
- Presa Apkant Cematek HPO – 63T
- Radijalna bušilica BRB-2 "Prvomajska"

15.1.1.3. Popis operacija i faza

OPERACIJA 10 – pilanje

Prva faza: Pilanje čelične trake širine b = 40 [mm], na dužini L = 152 [mm]
Kontrola

OPERACIJA 20 – savijanje

Prva faza: Savijanje čelične trake 152 x 40 x 7, ugao savijanja ϕ = 90^0
Kontrola

OPERACIJA 30 – bušenje

Prva faza: Bušenje rupe Ø 11 [mm] na dužini 20 [mm]
Druga faza: Bušenje rupe Ø 11 [mm] na dužini 20 [mm]
Kontrola

15.1.1.4. Izbor alata

- Kružna testera od brzoreznog čelika, ϕ 100 x 0,8; JUS K. D2. 150
- Alat za savijanje dvostrukog ugaonika
- Zavojna burgija sa cilindričnom drškom, kratka, prečnika d = 11 [mm], od brzoreznog čelika, JUS K.D3. 020

15.1.1.5. Izbor režima obrade

Orjentacione vrijednosti preporučenih režima rada možemo uzeti iz raznih tabela iz literature, priručnika, softvera sa preporučenim režimima rada i slično. Tabela 6. [20] daje orjentacione vrijednosti za razne materijale i razne vrste obrada.

Tabela 6. Orjentacione vrijednosti režima obrade za razne materijale i razne vrste obrada [20]

v - brzina rezanja m/s s' – pomak mm/min s – pomak mm/o

Materijal	Dubina reza	Obrada	Vretenasto		Valjčano		Čeono-valjčano		Pločasto		Glod. glava		Spiralno svrdlo		Razvrtači		Upuštači		Narezno svrdlo		Tokarenje				Strojna oprema		Cirkular	
																					Br. čelik		vidia S2					
			v	s'	v	s'	v	s'	v	s'	v	s'	v	s	v	s	v	s	v	s	v	s	v	s	v	s'	v	s
do 500	1	Fina	0,42	100	0,36	70	0,42	80	0,36	40	2,70	250	0,42	0,08	0,10	0,20					0,70	0,5	3,30	0,1				
N/mm^2	3	Sred.	0,33	50	0,33	115	0,36	120	0,33	100	1,70	200	0,58	0,25	0,10	0,6	0,25	0,5	0,33	-	0,50	0,5	2,20	0,3	0,83	10	0,83	25
Č.0445	5	Gruba	0,27	30	0,30	80	0,37	80	0,30	60	1,00	180	0,50	0,40	0,10	0,8					0,33	1,0	1,20	0,5				
500-700	1	Fina	0,33	60	0,30	50	0,33	60	0,30	25	2,50	240	0,33	0,08	0,20	0,2					0,50	0,1	2,75	0,1				
N/mm^2	3	Sred.	0,27	30	0,27	90	0,30	80	0,27	70	1,50	180	0,50	0,25	0,20	0,5	0,30	0,5	0,27	-	0,40	0,5	1,50	0,3	0,70	8	0,92	20
Č.0645	5	Gruba	0,20	20	0,23	60	0,20	50	0,23	40	0,80	150	0,42	0,40	0,20	0,8					0,33	1,0	0,75	0,5				
700-900	1	Fina	0,27	50	0,22	40	0,23	35	0,22	16	1,50	160	0,30	0,04	0,13	0,1					0,42	0,1	1,80	0,1				
N/mm^2	3	Sred.	0,20	25	0,17	70	0,20	50	0,17	60	1,00	150	0,36	0,22	0,13	0,3	0,25	0,4	0,17	-	0,33	0,5	1,20	0,3	0,50	6	0,83	15
Č.0745	5	Gruba	0,18	15	0,13	40	0,17	35	0,13	30	0,70	130	0,25	0,35	0,13	0,6					0,25	1,0	0,70	0,5				
900-1050	1	Fina	0,22	40	0,17	25	0,17	2 5	0,17	10	1,25	150	0,25	0,04	0,08	0,1					0,33	0,1	1,25	0,1				
N/mm^2	3	Sred.	0,17	15	0,13	40	0,13	25	0,13	30	0,83	140	0,33	0,20	0,08	0,2	0,17	0,3	0,13	-	0,27	0,5	0,83	0,3	0,33	4	0,70	10
Č.4150	5	Gruba	0,15	10	0,12	20	0,10	20	0,12	20	0,50	120	0,20	0,25	0,08	0,4					0,20	1,0	0,33	0,5				
1050-1150	1	Fina	0,20	30	0,15	20	0,15	20	0,15	10	1,08	100	0,20	0,03	0,07	0,1					0,25	0,1	0,70	0,1				
N/mm^2	3	Sred.	0,13	12	0,12	30	0,12	20	0,12	20	0,70	80	0,25	0,15	0,07	0,2	0,13	0,2	0,08	-	0,20	0,5	0,58	0,3	0,25	3	0,42	8
Č.6882	5	Gruba	0,12	8	0,10	15	0,08	15	0,10	15	0,42	60	0,17	0,20	0,07	0,4					0,13	1,0	0,33	0,5				
Čelični liv	1	Fina	0,27	70	0,27	60	0,27	80	0,25	25	1,30	130	0,30	0,04	0,13	0,2					0,33	0,1	2,00	0,1				
ČL	3	Sred.	0,20	40	0,22	90	0,22	90	0,20	90	0,92	130	0,36	0,20	0,13	0,6	0,17	0,3	0,07	-	0,25	0,5	1,50	0,3	-	-	-	-
	5	Gruba	0,20	30	0,17	70	0,17	55	0,17	40	0,58	130	0,25	0,30	0,13	0,8					0,17	1,0	0,83	0,5				
Sivi liv	1	Fina	0,30	100	0,33	80	0,33	80	0,30	50	1,50	200	0,27	0,08	0,17	0,2					0,60	0,2	1,70	0,1				
SL	3	Sred.	0,27	80	0,27	130	0,27	100	0,23	120	1,00	180	0,30	0,35	0,17	0,6	0,20	0,4	0,17	-	0,42	0,5	1,00	0,3	0,42	5	0,58	30
	5	Gruba	0,23	40	0,20	100	0,22	80	0,20	80	0,70	160	0,23	0,40	0,17	1,0					0,30	1,0	0,50	0,5				
Mesing	1	Fina	0,75	80	0,70	100	0,70	80	0,58	40	4,20	250	0,75	0,1	0,25	0,2					0,83	0,2	5,67	0,2				
Bronca	3	Sred.	0,50	60	0,50	160	0,58	100	0,50	150	3,60	200	0,92	0,35	0,25	0,6	0,25	0,6	0,23	-	0,58	0,5	4,00	0,4	1,70	20	2,50	20
	5	Gruba	0,42	40	0,42	100	0,50	80	0,42	70	3,00	180	0,70	0,4	0,25	1,0					0,42	1,0	2,00	0,6				
	1	Fina	2,30	100	3,30	120	4,20	90	3,00	60	6,67	280	1,70	0,1	0,42	0,5					3,30	0,2	13,3	0,2				
Aluminij	3	Sred.	2,00	90	3,00	180	3,30	120	2,50	200	5,00	250	1,70	0,4	0,42	1	0,70	0,8	0,70	-	2,50	0,5	8,30	0,4	5,00	50	8,30	20
	5	Gruba	2,00	50	2,50	150	3,00	70	2,50	80	3,30	200	1,20	0,65	0,42	2					1,70	1,0	3,30	0,6				

OPERACIJA 10

Za Č.0645 za obradu na cirkularu (pilanje) iz tabele 6. dobijamo v = 0,92[m/s] i s´ = 20 [mm/min].

v = 0,92[m/s]= 55,2 [m/min]	$n = \frac{1000\,v}{D\,\pi}$	n = 175,80 [o/min]
d = 100 [mm]		Usvaja se n = 176 [o/min]
s´ = 20 [mm/min]	$s = \frac{s`}{n}$	s = 0,11 [mm/o]

OPERACIJA 20

Poluprečnik neutralne naponske linije (ρ_n): $\rho_n = \sqrt{R \cdot r} = 9{,}9$ [mm]

Reducirani poluprečnik krivine: $\rho_r = \frac{\rho_n}{s} = 1{,}41$ [mm]

Pošto je $\rho_r = 1{,}41 < 5$ ovaj problem spada u područje čisto plastičnog savijanja.

Moment savijanja računamo po obrascu [32]: $M = \sigma_v \frac{bs^2}{4} = 350 \frac{40 \cdot 49}{4} = 171500$ [Nmm]

Sila savijanja se računa po obrascu [32]: $F = \frac{4M}{L} = 19600 = 19055{,}5$ [N]

Sila prese: F_p = 1,3 F = 1,3 x 19,05 = 24,7 [KN]

OPERACIJA 30

Prva faza i druga faza imaju iste režime obrade. Iz tabele 6. za Č.0645 za obradu bušenje dobijamo v i s:

v = 0,33[m/s]= 19,8 [m/min]	$n = \frac{1000\,v}{D\,\pi}$	n = 573,25 [o/min]
d = 11 [mm]		Usvaja se n = 573 [o/min]
s = 0,08 [mm/o]		

15.1.1.6. Proračun vremena obrade

OPERACIJA 10

l = 40 [mm]; l_1 = 4,175 [mm]; l_2 = 2 [mm]

Tehnološko ili glavno vrijeme: $t_g = \frac{l + l_1 + l_2}{n\,s}$ = 2,36 [min]

Pomoćno vrijeme se dobije kada se saberu vremena svih pojedinačnih pomoćnih aktivnosti: t_p = 4,03 [min]

Jedinična norma: $t_1 = (t_g + t_p)\,(1 + k_d)$ = 8,02 [min]

OPERACIJA 20

Ako pređeni put podjelimo sa brzinom dobićemo tehnološko vrijeme: $t_g = \frac{s}{v} = \frac{0{,}48[m]}{8\left[\frac{m}{min}\right]} = 0{,}06$ [min]

Pomoćno vrijeme: t_p = 1,10 [min]

Jedinična norma: $t_1 = (t_g + t_p)\,(1 + k_d)$ = (0,06 + 1,10) x 1,25 = 1,45 [min]

OPERACIJA 30

Prva faza: $t_g = \frac{l + l_1 + l_2}{n\,s}$ = 0,196 [min]

Druga faza: $t_g = \frac{l + l_1 + l_2}{n\,s}$ = 0,196 [min]

Pomoćno vrijeme: t_p = 1,16 [min]

Jedinična norma:

$t_1 = (\Sigma t_g + t_p)\,(1 + k_d)$ = (0,39+1,16)(1+0,25) = 1,94 [min]

Tabela 7. Tolerancije slobodnih mjera prema standardu ISO 2768

TOLERANCIJE NETOLERISANIH MJERA ZA DUŽINE									
		Dužinske mjere							
Klasa tolerancije		Područje nazivnih mjera / u mm /							
oznaka	obrada	0,5 do 3	od 3 do 6	od 6 do 30	od 30 do 120	od 120 do 400	od 400 do 1000	od 1000 do 2000	od 2000 do 4000
f	fina	± 0,05	± 0.05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-
m	srednja	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	gruba	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	vrlo gr.	-	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

15.1.2. Tehnološki proces izrade detalja B

15.1.2.1. Izbor početnog oblika materijala

Dodatake za obradu dobijamo iz tabela u koje su pohranjeni iskustveno dobijeni podaci, a te tabele možemo naci u raznim priručnicima, npr. [46] i knjigama, npr. [34, 35], te na internetu, npr. [45].

δ_1 – dodatak za grubu obradu δ_1 = 2,50 [mm]
δ_2 – dodatak za čistu obradu δ_2 = 0,75 [mm]
Ukupna širina šipke L = 20 + 2,5 + 0,75 = 23,25 [mm]. Proizvođači materijala daju u svojim katalozima i na web stranicama dimenzije i stanje raznih polufabrikata i sirovog materijala. Tako usvajamo čeličnu šipku okruglog presjeka Č. 0645; Ø25 [mm], dužine 6 [m].

15.1.2..2. Izbor mašina za obradu

- Univerzalni strug "Prvomajska"
- Uređaj za REL zavarivanje

15.1.2.3. Popis operacija i faza

OPERACIJA 10 – struganje

Prva faza:	Čeono poravnavanje površine šipke Ø 25 [mm]
Druga faza:	Uzdužno struganje sa Ø 25 [mm] na Ø 22,5 [mm], na dužini 116 [mm]
Treća faza:	Uzdužno struganje sa Ø 22,5 [mm] na Ø 20,75 [mm], na dužini 116 [mm]
Četvrta faza:	Uzdužno fino struganje sa Ø 20,75 [mm] na Ø20 [mm], na dužini 116 [mm]
Peta faza:	Odsijecanje komada obezbjeđujući dužinu L = 116 [mm]
Pomoćna faza:	Kontrola

OPERACIJA 20 – zavarivanje

Prva faza:	Zavarivanje komada Ø 20[mm] (detalj B) za dvostruki ugaonik (detalj A)
Druga faza:	Kontrola

15.1.2.4. Izbor alata

- Ravni nož za grubu obradu JUS K.C1 051 P20
- Ravni nož za finu obradu JUS K.C1 052 P20
- Ravni nož za odsijecanje JUS K.C1 057 P20
- Obložena elektroda za zavarivanje 110R

15.1.2.5. Izbor režima obrade

OPERACIJA 10
Podaci iz tabele 6. za materijal Č.0645 i alat od tvrdog metala Vidia S2:
Prva faza:

v = 45 [m/min]	$n = \frac{1000\,v}{D\,\pi}$	n = 573,25 [o/min]
d = 25 [mm]		Usvajamo n = 573 [o/min]
s = 0,5 [mm/o]		

Druga faza:

v = 45 [m/min]	$n = \frac{1000\,v}{D\,\pi}$	n = 573,25 [o/min]
d = 25 [mm]		Usvajamo n = 573 [o/min]
s = 0,5 [mm/o]		

Treća faza:

v = 45 [m/min]	$n = \frac{1000\,v}{D\,\pi}$	n = 636,94 [o/min]
d = 22,5 [mm]		Usvajamo n = 637 [o/min]
s = 0,5 [mm/o]		

Četvrta faza:

v = 90 [m/min]	$n = \frac{1000\,v}{D\,\pi}$	n = 1381,42 [o/min]
d = 20,25 [mm]		Usvajamo n = 1381 [o/min]
s = 0,3 [mm/o]		

Peta faza:

v = 45 [m/min]	$n = \frac{1000\,v}{D\,\pi}$	n = 716,56 [o/min]
d = 20 [mm]		Usvajamo n = 717 [o/min]
s = 0,5 [mm/o]		

OPERACIJA 20
Brzina zavarivanja: v = 1,5 ÷ 2,5 [mm/s] Usvajamo v = 2 [mm/s]
Zavarivanje se izvodi elektrodom prečnika Ø 2,5 [mm], i sa jačinom struje 70 [A].

3.10.6. Proračun vremena obrade

OPERACIJA 10
Prema obrascu (5) u 6. dijelu ove knjige:

Prva faza:

$$t_g = \frac{l + l_1 + l_2}{n\,s} = 0{,}056 \text{ [min]}$$

Druga faza:

$$t_g = \frac{l + l_1 + l_2}{n\,s} = 0{,}48 \text{ [min]}$$

Treća faza:

$$t_g = \frac{l + l_1 + l_2}{n\,s} = 0{,}38 \text{ [min]}$$

Četvrta faza:

$$t_g = \frac{l + l_1 + l_2}{n\,s} = 0{,}24 \text{ [min]}$$

Peta faza:

$$t_g = \frac{l + l_1 + l_2}{n\,s} = 0{,}056 \text{ [min]}$$

Pomoćno vrijeme se dobije kada se saberu vremena svih pojedinačnih pomoćnih aktivnosti: t_p = 1,43 [min]
Jedinična norma (obrazac (4) u 6. dijelu ove knjige):
$t_1 = (t_g + t_p)\,(1 + k_d)$ = 3,29 [min]

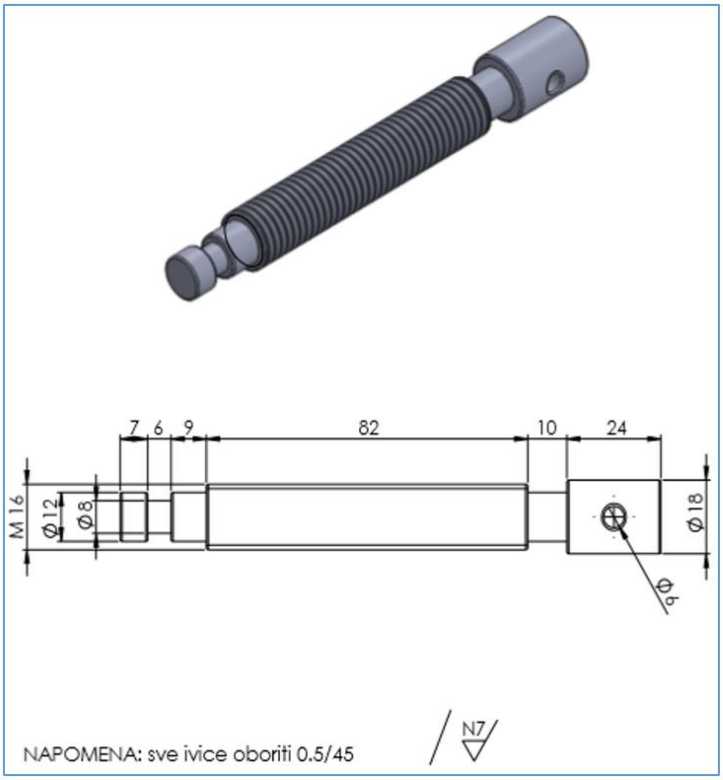
OPERACIJA 20
Tehnološko (glavno) vrijeme se dobije kada se obim podjeli sa brzinom (pošto je brzina zavarivanja konstantna):

$$t_g = \frac{O}{v} = \frac{d\pi}{v} = \frac{20 \cdot 3{,}14}{2} = 31{,}4 \text{ [s]}$$

t_p = 2 [min]
Jedinična norma:
$t = (t_g + t_p)\,(1 + k_d)$ = 2,89 [min]

15.2. Tehnološki proces izrade dijela „vijak čeljusti“

Na slici 82. prikazan je dio „vijak čeljusti“ za koji je potrebno dati tehnološki proces izrade. Dio je od materijala Č.1220.



Slika 82. Radionički crtež i fotografija dijela „vijak čeljusti“

15.2.1. Izbor početnog oblika materijala

Dodaci za obradu: za grubu δ_1 = 2,6 mm; za čistu δ_2 = 1,0 mm; za finu δ_3 = 0,4 mm

18mm + 2,6 + 1 + 0,4 = 22mm. Biramo šipku kružnog poprečnog presjeka Φ 22 mm.

15.2.2. Izbor mašina za izradu

1. Univerzalni strug: Potisje Ada; ukupna snaga 15 kW; korak 1000 mm/min; raspon šiljka (konjića) 800 mm; podesivi broj obrtaja 20 – 2240 o/min.

2. Bušilica: Stlolna bušilica Knuth; ukupna snaga 8 kW; max. broj obrtaja 3000 o/min; dimenzije 800 x 800 x 400 mm.

Peć za termičku obradu - ELEKTROSANITARIJ

15.2.3. Izbor mjernog alata

Pomično mjerilo (digitalno); Komparator tačnosti (centraž); Mjerač za korak navoja (kalibri); Etaloni (za mjerenje širine žljebova).

15.2.4. Popis svih operacija, zahvata i faza;

<u>Operacija 10</u> – Struganje

<u>Zahvat 1</u>

Baziranje,

Faza 1 – poravnavanje čela i zabušivanje rupe zabušivačem;

Faza 2 – gruba uzdužna obrada Φ 22 mm. na Φ 19 na dužinu 114 mm.

Faza 3 – gruba uzdužna obrada Φ 19 na Φ 13,9 na dužinu 22 mm.

Faza 4 – fina uzdužna obrada sa Φ13,9 na Φ12 mm. na dužinu 22 mm.

Faza 5 – obrada žljeba sa Φ12 na na Φ8 mm.

Faza 6 – obrada žljeba sa Φ19 na Φ 12 mm.

Faza 7 – gruba uzdužna obrada sa Φ22 na Φ 19,4 mm. na dužinu 24 mm.

Faza 8 – fina uzdužna obrada sa Φ 19,4 na Φ 18 mm. na dužinu 24 mm.
Faza 9 – izrada navoja M16 na dužinu 82 mm.
Faza 10 – obaranje ivica 0,5 / 45°.
Faza 11 – odsjecanje na strugu na dužinu 138 mm.
Operacija 20 - Bušenje
Zahvat 1
Baziranje;
Faza 1 – bušenje otvora Φ6 burgijom na prečniku Φ 18 mm.
Faza 2 – upuštanje rupe upuštačem.
Operacija 30 – Cementacija, kaljenje i otpuštanje

15.2.5. Izbor alata za obradu
Operacija 10 - struganje
Strugarski nož poliprečnika zaobljenja R 0,5 mm JUS.K.C1.051;
Strugarski nož za poprečnu obradu JUS.K.C.1.026;
Nož za žljeb širine 6 mm. JUS.K.C1.026;
Nož za žljeb širine 10 mm. JUS.K.C1.026;
Profilni nož za izradu navoja JUS.K.C1.013;
Zabušivač JUS.K.D3.061.
Operacija 20 – bušenje
Burgija prečnika Φ 6 mm. JUS.K.D3.023;
Upuštač JUS.K.D3.061.

15.2.6. Izbor režima rada
Materijal Č.1220 ima zateznu čvrstoću 590 N/mm^2. U tabeli 6. za čelik koji ima zateznu čvrstoću između 500 i 700 N/mm^2 i alat od brzoreznog čelika dobiju se orjentacione vrijednosti brzine v i koraka s pri obradi.
Operacija 10 – struganje
Zahvat 1
Faza 1 – v = 0,33 m/s = 0,33m/s ·60 s/min = 19,8 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 287 obr/min, s=1 mm/o.
Faza 2- v = 19,8 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 332 obr/min, s = 1 mm/o.
Faza 3 - v = 19,8 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 332 obr/min, s = 1 mm/o.
Faza 4 - v = 0,5 m/s = 0,5m/s ·60 s/min = 30 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 687 obr/ min, s =0,1 mm/o.
Faza 5 - v = 0,4 m/s = 0,4m/s ·60 s/min = 24 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 849 obr/min, s = 0,5 mm/o.
Faza 6 - v = 24 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 849 obr/min, s = 0,5 mm/o.
Faza 7 – v = 19,8 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 287 obr/min, s=1 mm/o.
Faza 8 - v = 30 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 492 obr/min, s = 0,1 mm/o.
Faza 9 - v = 0,27 m/s = 0,27m/s ·60 s/min = 16,2m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 322 obr/min.
Kod obrade navoja korak pri obradi je jednak koraku navoja. Iz tablica za metričke navoje za M16 korak je P=2mm, pa je: s = P =2 mm/o.
Faza 10 – v = 19,8 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 525 obr/ min,s =1 mm/o.
Faza 11 – v = 19,8 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 287 obr/min, s=1 mm/o.
Operacija 20 – bušenje
Zahvat 1
Faza 1 – v = 0,33 m/s = 0,33m/s ·60 s/min = 19,8 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 1050 o/min, s=0,08 mm/o.
Faza 2 – v= 0,3 m/s = 0,3m/s ·60 s/min = 18 m/min, n = $\frac{1000\,v}{D\pi}$ = 955 o/min, s=0,5 mm/o.

15.2.7. Određivanje vremena izrade;

Operacija 10 – struganje;

Zahvat 1

Faza 1: $t_{t1} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{13}{287} =$ 0,05 min. $L = \frac{D}{2} + l_1 + l_2 = 13$mm

$l_1 = 0,5 – 2 = 1$ mm – ulaz alata

$l_2 = 1 – 5 = 1$ mm - izlaz alata

Faza 2: $t_{t2} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{115}{332} = 0,35$ min. $L = l + l_1 + l_2 = 115$ mm

Faza 3: $t_{t3} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{23}{332} = 0,07$ min. $L = l + l_1 + l_2 = 23$ mm

$l_2 = 0$ mm

Faza 4: $t_{t4} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{23}{68,7} = 0,34$ min. $L = l + l_1 + l_2 = 23$ mm

$l_2 = 0$ mm

Faza 5: $t_{t5} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{4}{425} = 0,01$ min. $L = \frac{D-d}{2} + l_1 = \frac{12-8}{2} = 2 + 2 = 4$mm

$l_2 = 0$ mm

Faza 6: $t_{t6} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{4.5}{425} = 0,01$ min. $L = \frac{D-d}{2} + l_1 = \frac{19-12}{2} = 3,5 + 1 =$ 4,5mm; $l_2 = 0$ mm.

Faza 7: $t_{t7} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{26}{287} = 0,09$ min. $L = l + l_1 + l_2 = 26$ mm.

Faza 8: $t_{t8} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{26}{49,2} = 0,53$ min. $L = l + l_1 + l_2 = 26$ mm.

Faza 9: $t_{t9} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{84}{644} \cdot 10 = 1,30$ min. $L = l + l_1 + l_2 = 84$ mm.

Faza 10: $t_{t10} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{1,8}{525} = 0,15$ min. $L = f \cdot tg\alpha + l_1 + l_2$

Faza 11: $t_{t11} = \frac{L}{n\,x\,s} \cdot i = \frac{13}{287} = 0,05$ min. $L = \frac{D}{2} + l_1 + l_2 = 13$ mm.

$\sum t_t =$ 2,95min

Pomoćno vrijeme t_p:

Stezanje komada .....0,8 min;

Izmjena alata.....4,5 min;

Uključivanje mašine.....0,6 min;

Isključivanje mašine.....0,6 min;

Centriranje komada.....0,9 min;

Uklj. Rashladnog sredstva.....0,1 min;

Isklj. Rashladnog sredstva.....0,1 min;

Mjerenje radnog komada i kontrola.....2,9 min;

ukupno = 10,5min

$\sum t_p = 10,5$ min

Jedinična norma: $(t_1)_{10} = \left(\sum t_t + \sum t_p\right) \cdot (1 + kd)$ $k_d = 0,25$.

$(t_1)_{10} = (2,95 + 10,5) \cdot (1 + 0,25) = 16,82$min

Operacija 20 - bušenje

Zahvat1

Faza 1: $t_{t1} = \frac{l+l_{1+l_2}}{n*s} * i = \frac{18+5,26}{1050*0,08} = 0,28$ min

$l_1 = \frac{D}{2} \cdot ctg\,\Phi + (0,5 – 2) = 3 \cdot 0,42 + 1 = 2,26$mm

$l_2 = 3$mm.

Faza 2: $t_{t2} = \frac{l+l_1}{n*s} * i = \frac{1+1,21}{955*0,5} = 0,004$ min

$l_1 = \frac{D-d}{2} * ctg\,\Phi + (0,5 – 2) = 1,21$ mm

Pomoćno vrijeme t_p:

Stezanje komada .....0,8 min;

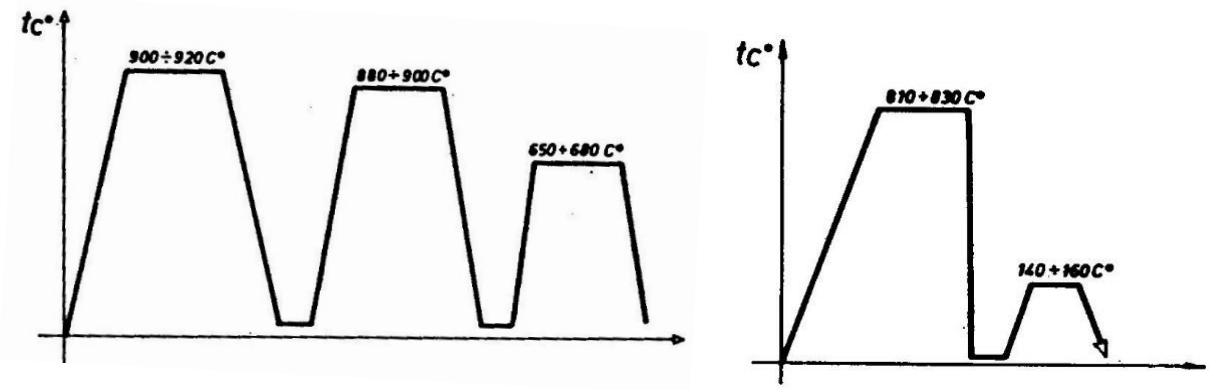
Izmjena alata.....1 min;

Uključivanje mašine.....0,2 min;

Isključivanje mašine.....0,2 min;

Centriranje alata.....0,5 min;
Uklj. Rashladnog sredstva.....0,1 min;
Isklj. Rashladnog sredstva.....0,1 min;
Mjerenje radnog komada i kontrola.....1 min;
ukupno = 3,9min
jedinična norma: $(t_1)_{20} = \left(\sum t_t + \sum t_p\right) \cdot (1 + kd)$
$(t_1)_{20} = (0{,}284 + 3{,}9) * (1 + 0{,}25) = 5{,}23$min
Ukupno vrijeme za obradu na obe operacije obrade rezanjem: 22,05min.

Operacija 30 – Cementacija, kaljenje i otpuštanje
Cementacija se vrši na dubini 0,8mm. U peć za termohemisku obradu moguće je postaviti više radnih predmeta upakovane u sanduk sa prahom za cementaciju. Prah je sastava 85-90% drveni ugalj i 10-15% Na_2CO_3 [34]. U sanduk se postave i epruvete koje služe za kontrolu termohemiskog procesa, tj. na njima se može utvrditi dubina cementiranog sloja.
Sanduk sa dijelovima se u peći lagano zagrijava do 600°C. Zatim se povećava brzina zagrijavanja do temperature cementacije 900°C do 920°C. Na ovoj temperaturi dijelovi se žare u peći 6 do 7 sati. Nakon toga se sanduk vadi iz peći i lagano hladi na mirnom vazduhu ili skupa sa peći (dakle, mala brzina hlađenja). Nakon hlađenja dijelovi se vade i dobro očiste. Zatim se ponovo pakuju u sanduk sa već upotrebljenim prahom za cementaciju, sanduk se stavlja u peć i ponovo zagrijava na temperaturu 880°C do 900°C radi kalenja. Vrijeme držanja na ovoj temperaturi je 30min. Nakon toga dijelovi se vade, čiste i potapaju u ulje da bi se izvršilo prvo kaljenje [34]. Dio sada ima sitnozrnastu strukturu u sredini, a po površini vrlo tvrdu, okaljenu cementovanu površinu, koja se ne može obrađivati rezanjem.

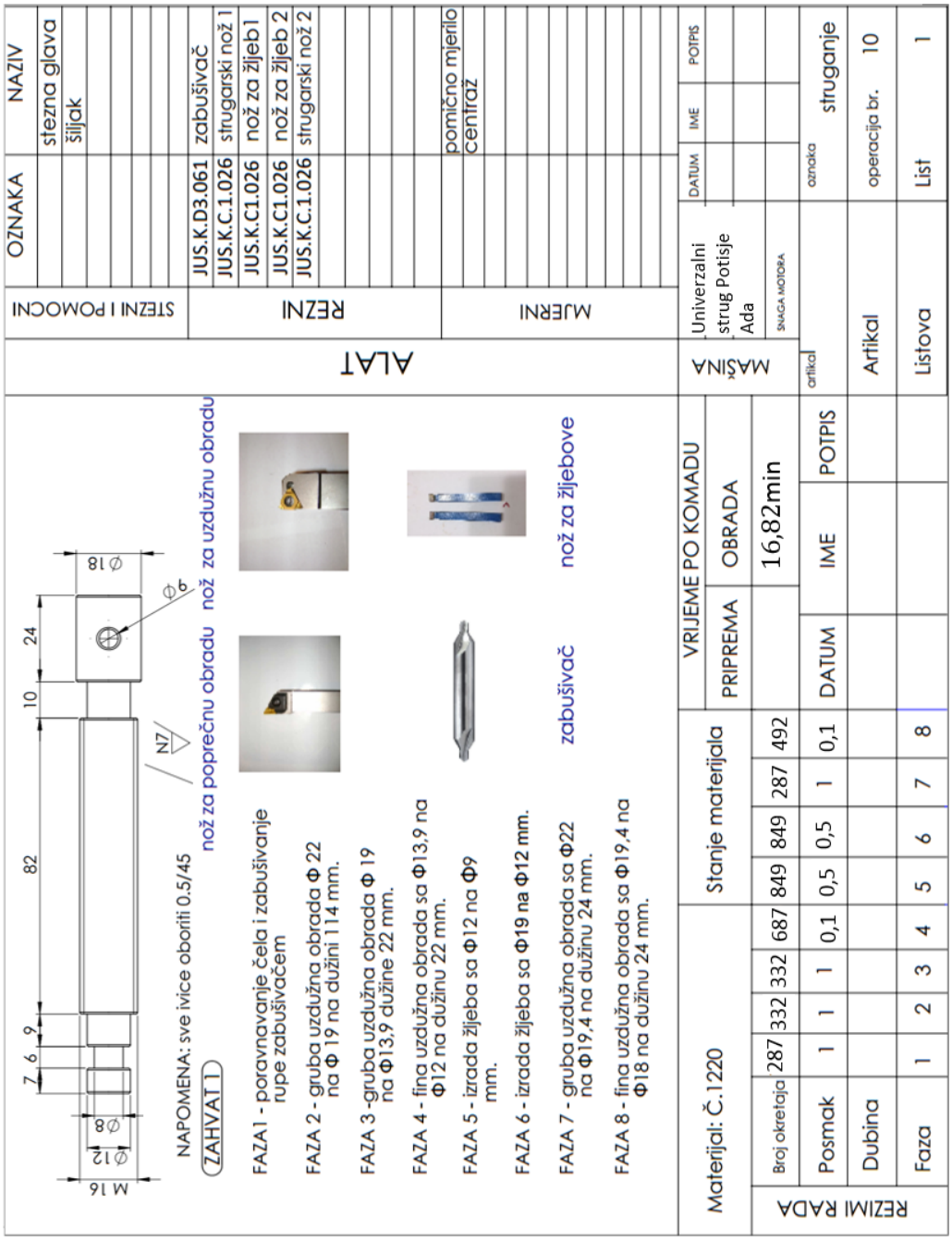


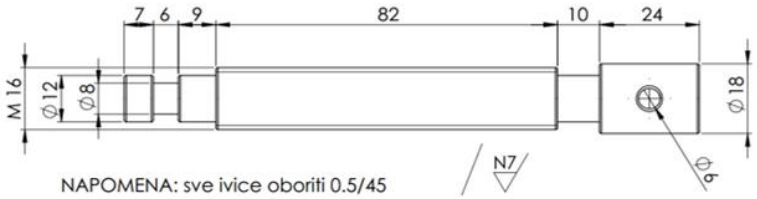
Slika 83. Dijagram termičke obrade cementacije, prvog kaljenja i mekog žarenja, te dijagram drugog kaljenja i otpuštanja [34]

Ako se na dijelu trebaju obrađivati rezanjem još neke površine, tada je neophodno izvršiti meko žarenje. Dijelovi se ponovo stavljaju u sanduke okružene već korištenim prahom za cementaciju. Sanduk se u peći zagrijava na temperaturu mekog žarenja između 650°C i 680°C. Dijelovi se drže na ovoj temperaturi 3 sata i nakon toga peć se isključuje, a dijelovi u sanduku se hlade zajedno sa peći. Nakon vađenja i čišćenja dijelova, vrši se kontrola termohemiske obrade na epruvetama. Epruvete se poprečno presjeku, presjek se izbrusi i ispolira, te nagriza razblaženom kiselinom. Cementirana površina je tamnija od osnovnog materijala presjeka i može se pod mikroskopom (ili drugim uređajem) izmjeriti.
Zatim se vrši kaljenje dijela, tako što se dio zagrije za 30 min. do temperature između 810°C i 830°C, drži na toj temperaturi 5 do 8 min. i ohladi u ulju [34].
Otpuštanje se vrši u cilju umanjenja površinskih napona u površinskom – cementovanom sloju. Dio se zagrije na temperaturu između 140°C i 160°C u ulju i drži na toj temperaturi jedan sat.

15.2.8. Tehnološka dokumentacija
Na osnovu razrađenog tehnološkog procesa izrade dijela pristupa se izradi tehnološke dokumentacije. U ovom primjeru popunjene su operacione liste. Za prvu operaciju – struganje napravljene su dvije operacione

liste, na prvoj je 8 faza, a na drugoj preostale 3 faze prve operacije. Ova dva lista zajedno predstavljaju operacionu listu za prvu operaciju. U nastavku su data dva lista prve operacione lista.
Za ostale operacije (operacija 20 - bušenje i operacija 30 - Cementacija, kaljenje i otpuštanje) potrebno je, takođe, popuniti operacione liste.





NAPOMENA: sve ivice oboriti 0.5/45

nož za navoj

FAZA 9 - izrada navoja M16 na dužinu 82 mm.

FAZA 10 - obaranje ivica 0.5/45

FAZA 11 - odsjecanje na stugu na dužinu 138 mm.

nož za odsjecanje

ALAT		OZNAKA	NAZIV
	STEZNI I POMOCNI		stezna glava
			stega
	REZNI	JUS.K.C1.013	nož za navoj
		JUS.K.C1.060	nož za odsjecanje
	MJERNI		pomično mjerilo
			kalibri
			centraž

Materijal: Č.1220					Stanje materijala				VRIJEME PO KOMADU		
									PRIPREMA	OBRADA	
REZIMI RADA	Broj okretaja	322	525	287						16,82min	
	Posmak	2	1	1					DATUM	IME	POTPIS
	Dubina										
	Faza	9	10	11							

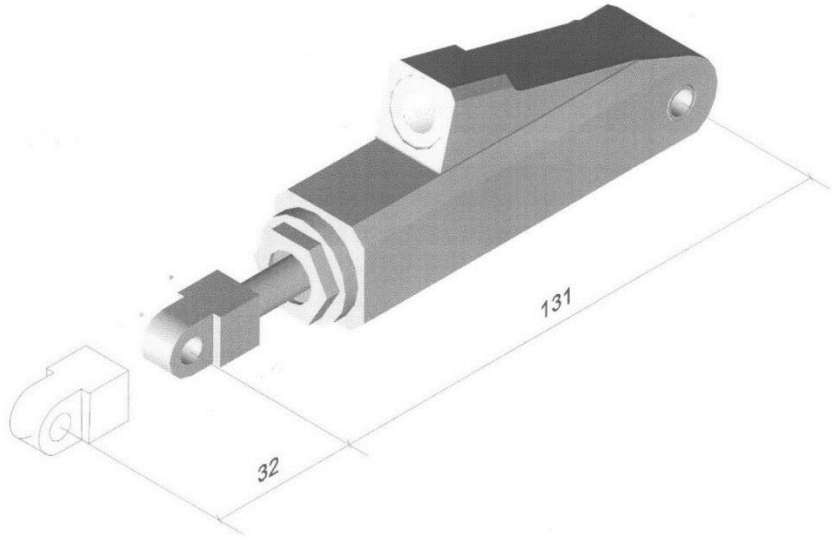
MAŠINA		DATUM	IME	POTPIS
	Univerzalni strug Potisje Ada			
	SNAGA MOTORA			
artikal		oznaka	struganje bušenje	
Artikal		operacija br.	10	
Listova		List	2	

16. Primjeri tehnološkog procesa montaže proizvoda

U ovom dijelu knjige su data četiri primjera tehnološkog procesa montaže proizvoda. Za dva proizvoda je detaljno razrađen tehnološki proces montaže sa izračunatim vremenima. Za preostala dva proizvoda je data samo šema montaže. Kod posljednjeg proizvoda šema montaže se dobila na osnovu kompjuterske simulacije procesa montaže, gdje je primjenom softvera napravljena animacija procesa.

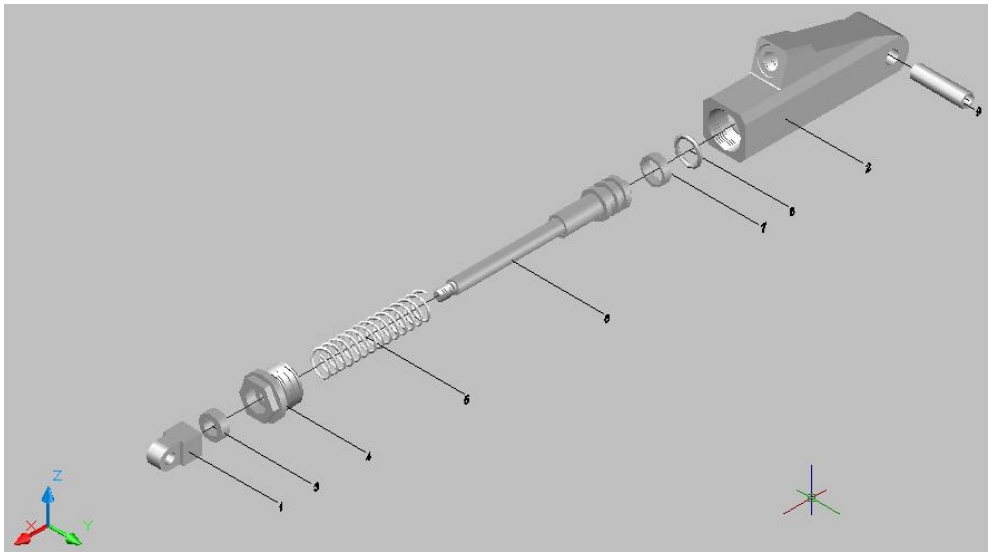
16.1. Tehnološki proces montaže sklopa pokretača

Trodimenzionalni izgled pokretača je prikazan na slici 84, a na slici 85. su dati dijelovi ovog proizvoda. To su: Uška, Tijelo pokretača, Slydring, Poklopac, Opruga, Klip, Slydring, O-prsten i Čaura.



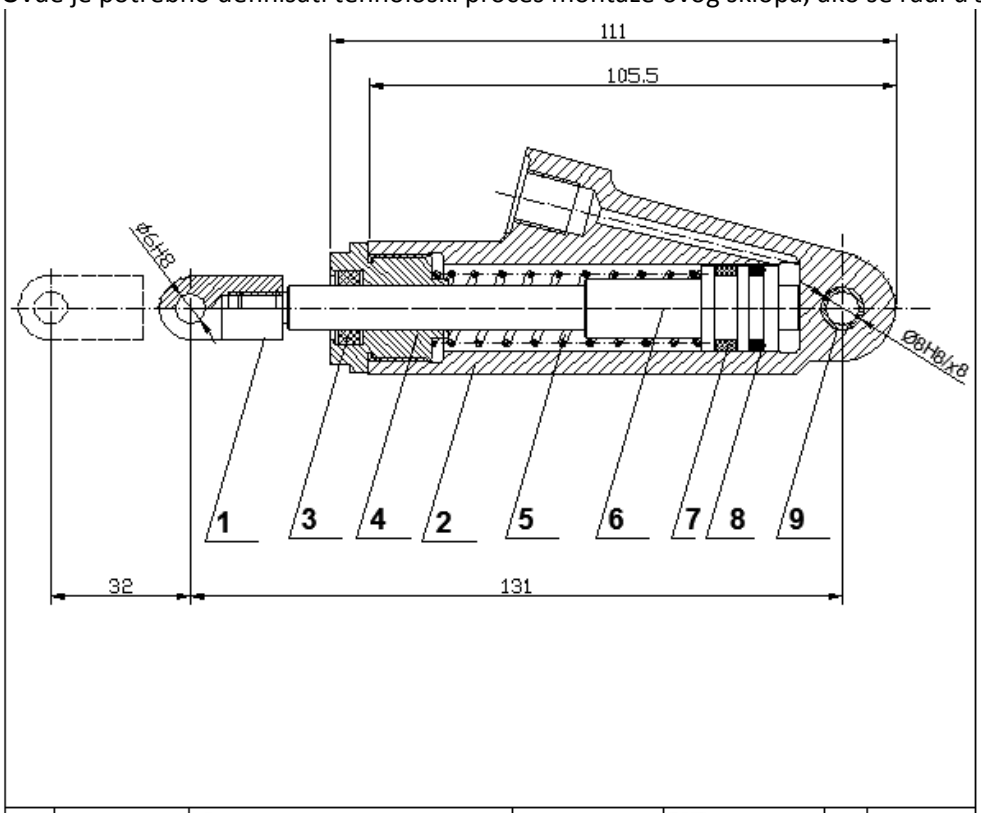
Slika 84. Izgled sklopa pokretača

Nazivi i pozicije dijelova se mogu viditi na sklopnom crtežu (Slika 86.). Princip rada je slijedeći: hidrauličko ulje pod pritiskom se uvodi kroz tijelo pokretača (pozicija 2 na sklopnom crtežu - Slika 86.) i dolazi sa prednje strane klipa (pozicija 6), koji se pomjera sabijajući oprugu (5). Kada pritisak ulja opadne pod dejstvom opruge klip se vraća nazad i ukupan hod klipa je 32mm (Slika 84.). *Pokretač* je uškom (1) i čaurom (9) vezan za druge dijelove konstrukcije u koju se ugrađuje ovaj pokretač. Da bi pokretač mogao raditi napaja se hidrauličkim uljem pod pritiskom dobijenim od sistema za snabdjevanje hidrauličkom energijom. Taj sistem je mobilni baterijski hidraulični agregat male mase i dimenzija.



Slika 85. Rastavljen sklop pokretača sa svim dijelovima

Ovde je potrebno definisati tehnološki proces montaže ovog sklopa, ako se radi u seriji od 3000 komada.



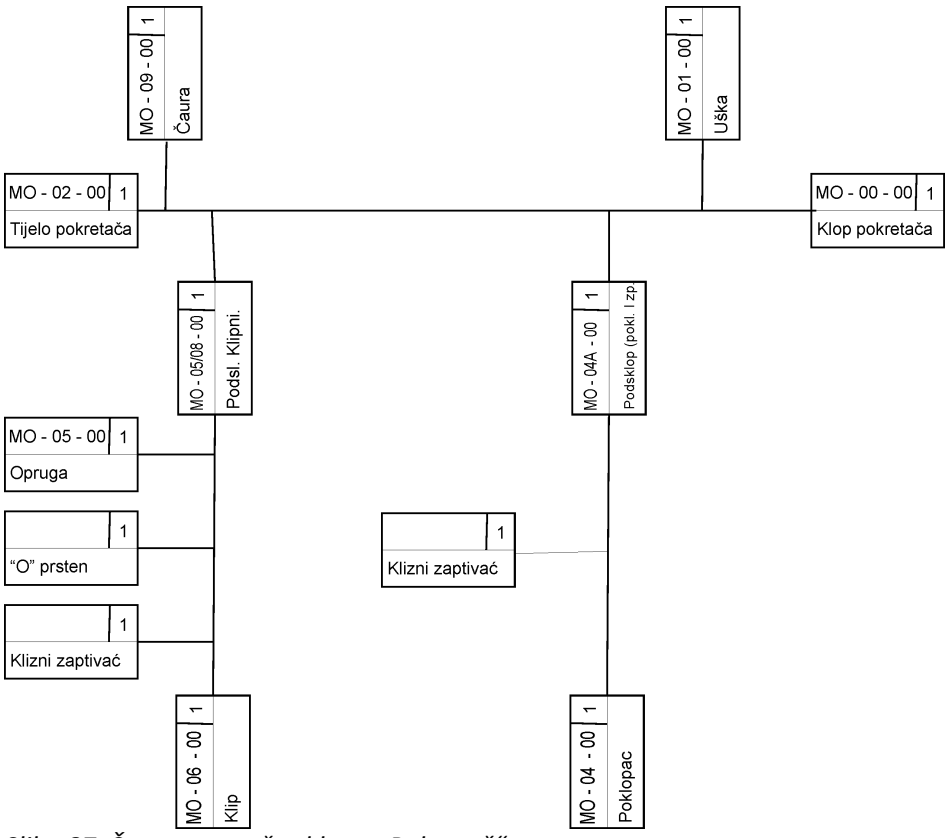
Poz.	Ozn. dijela	Naziv-oblik i veličina	Standard Oznaka crteža	Materijal Primjedbe	Kom.	Napomena
9	MO - 09 - 00	Čaura		BM5		
8		"O"prsten	11.3x2.4			80NBR14.1
7		Slydring				Standardni dio
6	MO - 06 - 00	Klip		Č.4730		
5	MO - 05 - 00	Opruga		Ø1.4DIN20760		
4	MO - 04 - 00	Poklopac		Cu60ZnPb		
3		Slydring				Standardni dio
2	MO - 02 - 00	Tijelo pokretača		AlZn5Mg1		
1	MO - 01 - 00	Uška		Č.1530		

Veza MO-00-00	toleranc. slob mjera	Površ. kv. hrap.	Mjerilo M1:1	Masa kg/kom	
			Materijal: AlZn5Mg1		
	Datum	Ime	Naziv crteža:		

Slika 86. Sklopni crtež „Pokretača“

Najprije je potrebno nacrtati šemu montaže (Slika 87.). Za bazni dio uzima se tijelo pokretača – pozicija 2. Kada bi se ovaj pokretač radio u pojedinačnoj ili maloseriskoj proizvodnji, tada bi šema montaže bila dovoljna da se po njoj proizvod montira. Detaljnija razrada tehnološkog procesa ovog proizvoda ne bi bila ekonomski opravdana.

Međutim, ovaj proizvod se radi u seriji od n=3000 komada, pa je potrebno detaljno razraditi tehnološki proces montaže.



Slika 87. Šema montaže sklopa „Pokretač“

6.1.1. Određivanje broja i redoslijeda operacija

Svaki spoj linija na šemi montaže predstavlja jednu operaciju montaže. Sa slike 87. se vidi da imamo 8 operacija, međutim, neke operacije su složenije, pa se moraju rastaviti na jednostavnije, tako da su u Tabeli 8. prikazane sve operacije – ukupno 11. Dakle, ako bi se tehnološki proces montaže ovog proizvoda odvijao na traci, tada bismo imali 11 radnih mjesta. Međutim, pošto se ne radi o masovnoj proizvodnji, raspored radnih mjesta neće biti u liniji, nego kao na slici 89., kako će to biti objašnjeno u nastavku.

Tabela 8. Operacije montaže sklopa Pokretača

Red. br.	OPERACIJA
010	Postavljanje čaure (MO – 09 – 00) u tijelo pokretača (MO – 02 – 00) i postavljanje istih u stegu na presi
020	Upresovavanje čaure (MO – 09 – 00) u tijelo pokretača (MO – 02 – 00), skidanje i odlaganje podsklopa (MO – 02/09 – 00)
030	Postavljanje podsklopa (MO – 02/09 – 00) u stegu na stolu za montažu
040	Postavljanje kliznog zaptivača na klip (MO – 06 – 00)
050	Postavljanje "O" prstena na klip (MO – 06 – 00)
060	Postavljanje opruge (MO – 05 – 00)
070	Postavljanje podsklopa (MO – 05/08 – 00) u podsklop (MO – 02/09 – 00)
080	Ugradnja kliznog zaptivača u poklopac (MO - 04 – 00)
090	Uvrtanje podsklopa (MO – 04A – 00) u bazni podsklop (MO – 02/09 – 00)
100	Navrtanje uške (MO – 01 – 00) na klip (MO – 06 – 00)
110	Odpuštanje i odlaganje sklopa pokretača (MO – 00 – 00)

6.1.2. Analiza vremena montaže za izvršenje pojedinačnih operacija montaže

6.1.2.1. Jedinična vremena operacija montaže

Koristeći se metodom poznatih vremena [47] izvršiti će se izračunavanje vremena za svaku operaciju montaže ponaosob.

Metoda poznatih vremena je metoda iskustvenog karaktera, gdje su vremena izvršenja pojedinačnih pokreta (izražena u TMU) dobijena praćenjem i snimanjem, pri tome uzimajući u obzir stepen uklopivosti, težinu, način hvatanja, izuzimanja, prenošenja, itd., svakog dijela proizvoda, kao i koeficijente djelovanja okoline i zamora [47], a što je sve dato u prilogu na kraju ove knjige kao tabelarni prikaz jediničnih vremena.

<u>010 Postavljanje čaure (MO – 09 – 00) u tijelo pokretača (Mo – 02 – 00) i postavljanje istih u stegu na presi</u>

U Tabeli 9. prikazani su pokreti pri operaciji 010. Iz tabela datih u prilogu ove knjige, prema [47], dobijaju se vremena TMU za svaki pokret. Neki pokreti desne i lijeve ruke se odvijaju istovremeno, pa se uzima onaj pokret koji je duži. Normalno vrijeme, dato u posljednjem redu tabele 9, operacije 010 se dobija kada se saberu TMU vremena pokreta.

Tabela 9. Pokreti pri operaciji 010

Opis rada Lijeve šake		**Oznaka pokreta**	**TMU**	**Oznaka pokreta**		**Opis rada desne šake**
Dosegnuti do tijela pokretača	18,4	R50B	18,4	R20B	10,0	Dosegnuti do čaure
Uhvatiti	5,6	G3	7,3	G1C1	7,3	Uhvatiti
Prenijeti	18,0	M50B	18,0	M20B	10,5	Prenijeti
Zakrenuti	5,4	T90S	5,4			
			16,2	P2SE	16,2	Postaviti
Postaviti	43	P3SE	43			
Stegnuti	63,5	SP3SE	63,5			
Normalno vrijeme			171,8			

Osnovno tehnološko vrijeme montaže za prvu operaciju t_{10} u sekundama se dobije množenjem normalnog vremena operacije sa 0,036:

t_{10} = 171,8*0,036 = 6,18 sec

Pomoćno vrijeme montaže za prvu operaciju t_{1p}:

Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU · 0,036 = 0,26 sec

Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju

T/D·15,2=60/50·15,2=18,2 TMU

18,2·0,036=0,66 sec

Pokret LM 50 – označava pokret noge ili podkoljenice za 50 cm.

(7,1 + 35·1,2)·0,036=1,76 sec

Dopunsko vrijeme montaže za prvu operaciju t_{1d}:

K_n – koeficijent zamora za sjedenje ili stajanje uz rukovanje alatima ili predmetima za teret koji treba svaladati do 5 KG iz tabele u prilogu ove knjige dobijamo K_n=0,11.

K_a – koeficijent dodatnog vremena djelovanja okoline. Za normalnu okolinu temperature 20°C iz tabele u prilogu ove knjige dobijamo K_a=1,20.

Jedinično vrijeme prve operacije montaže: $t_{11} = t_{1o}+t_{1p}+t_{1d}$

t_{11} = (6,18 + 0,26 + 0,66 + 1,76)*(1+K_a*K_n) = 8,86*1,132 =10,3 sec

020 Upresovanje čaure (MO – 09 – 00) u tijelo pokretača (MO – 02 – 00), skidanje i odlaganje podsklopa (MO –02/09 – 00)

Zbog presovanog sklopa (ø8H8/x8) potrebno je izvršiti proračun sile pritiska prese [48]. Sila prese:

$$F_p = S \times p_{\max} \times \mu_p$$

gdje je: S-dodirna površina presovanja, p_{max}-maksimalni pritisak presovanja, μ_p-koeficijent trenja dodirnih površina (μ_p=0,1).

$$S = d \times \pi \times l = 8 \times \pi \times 25 = 628{,}32 mm^2 = 628{,}32 \times 10^{-6} m^2$$

gdje je: d-dodirni prečnik, l-dužina dodirivanja.
Maksimalni pritisak presovanja

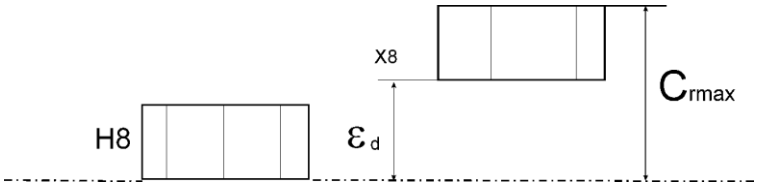
$$p_{\max} = \frac{C_{r\max}}{(\xi_e + \xi_i)d}$$

gdje je: C_{rmax}- maksimalni preklop, ξ_e ξ_i - koeficijenti koji zavise od vrste materijala i odnosa prečnika za tijelo pokretača, d- unutrašnji prečnik, D - vanjski prečnik.

$$\varphi_e = \frac{d}{D} = \frac{8}{20} = 0{,}4$$

Za čauru $\varphi_i = \frac{6}{8} = 0{,}75$

Na slici 88. prikazan je položaj tolerantnih polja H8 i x8.



Slika 88. Tolerantna polja H8 i x8.

Donje odstupanje, tolerancija T i maksimalni preklop:

$$\varepsilon_d = 34 \mu m$$

$$T = 22 \mu m$$

$$C_{r\max} = \varepsilon_d + T = 56 \mu m = 56 \times 10^{-6} m$$

Maksimalni pritisak presovanja i sila prese:

$$p_{\max} = \frac{56 \times 10^{-6} m}{(17+30) \times 10^{-12} \times 8 \times 10^{-3}} = 0{,}14 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$$

$$F_p = S \times p_{\max} \times \mu_p = 628{,}32 \times 10^{-6} \times 0{,}14 \times 10^9 \times 0{,}1 = 8{,}792 \times 10^3 N$$

$$F_p = 8{,}79 kN$$

U tabeli 10. dati su pokreti obe ruke pri operaciji 020, kao i vremena TMU.

Tabela 10. Pokreti pri operaciji 020

Opis rada lijeve šake		**Oznaka pokreta**	**TMU**	**Oznaka pokreta**		**Opis rada desne šake**
Dosegnuti (do prekidača za radni hod prese)	10,0	R20B	18,4	R50B	18,4	Dosegnuti (do prekidača za radni hod prese)
Postaviti (na prekidač prese)	5,6	P1SE	5,6	P1SE	5,6	Postaviti (na prekidač prese)
Uključiti	5,6	U1SE	5,6	U1SE	5,6	Uključiti
Otpustiti	2,0	RL1	2,0	RL1	2,0	Otpustiti
Dosegnuti (do podsklopa)	7,8	R20A	10,0	R20B	10,0	Dosegnuti (do ručice stege)
Uhvatiti (podsklop)	3,5	G1B	7,3	G1C1	7,3	Uhvatiti (ručicu stege)
			54	P1S3	54	Popustiti (odvijati stegu radi vađenja podsk.)
Prenijeti	18	M50B	18			
Odpustiti	2,0	RL1	2,0			
Normalno vrijeme			122,9			

t_{20} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{20} = 122,9*0,036 = 4,42 sec
t_{2p} – pomoćno vrijeme montaže:
Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju
T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU
18,2*0,036=0,66 sec
Pokret LM 50 – označava pokret noge ili podkoljenice za 50 cm.
(7,1 + 35*1,2)*0,036=1,76 sec
TBC1 – okretanje tijela za 45 do 90 stepeni
18,6*0,036=0,67 sec

t_{2d} – dopunsko vrijeme montaže: K_n – koeficijent zamora za sjedenje ili stajanje uz rukovanje alatima ili predmetima za teret koji treba svaladati do 5 KG K_n=0,11;
K_a – koeficijent dodatnog vremena djelovanja okoline. Za normalnu okolinu temperature 20°C: K_a=1,20.
Jedinično vrijeme druge operacije montaže: $t_{12} = t_{2o}+t_{2p}+t_{2d}$
t_{12} = (6,18+0,26+0,66+1,76+0,67)*(1+Ka*Kn) = 7,77*1,132 =9,45 sec

030 Postavljanje podsklopa (MO – 02/09 – 00) u stegu na stolu za montažu

Tabela 11. Pokreti pri operaciji 030

Opis rada lijeve šake	**Oznaka pokreta**	**TMU**	**Oznaka pokreta**	**Opis rada desne šake**	**Napomena**
Dosegnuti do podsklopa	R50B	18,4			
Hvatanje	G1A	2,0			
Prenošenje	M50B	18,0	R20B	Dosegnuti do stege	
Postavljanje	P1SE	5,6	G1A	Hvatanje	
Otpuštanje		61,7	S3SE	Stezanje	46,5+4,2*2+3,0+ +(1,0+(0,3*0,2))*46,5
Otpuštanje	RL1	2,0	RL1	Otpuštanje	0
Normalno vrijeme		107,7			

t_{30} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{30} = 107,7*0,036 =3,88 sec
t_{3p} – pomoćno vrijeme montaže:
*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju
T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU
18,2*0,036=0,66 sec
Pokret LM 50 – označava pokret noge ili podkoljenice za 50 cm.
(7,1 + 35*1,2)*0,036=1,76 sec
TBC1 – okretanje tijela za 45 do 90 stepeni
18,6*0,036=0,67 sec
t_{3d} – dopunsko vrijeme montaže: K_n – koeficijent zamora za sjedenje ili stajanje uz rukovanje alatima ili predmetima za teret koji treba svaladati do 5 KG: K_n=0,11.
Za normalnu okolinu temperature 20°C: *Ka*=1,20.
$t_{13} = t_{3o}+t_{3p}+t_{3d}$
t_{13} = (3,88+0,26+0,66+1,76+0,67)*(1+Ka*Kn) = 7,23*1,132 =8,18 sec

040 Postavljanje kliznog zaptivača na klip (MO – 06 – 00)

Tabela 12. Pokreti pri operaciji 040

Opis rada lijeve šake		**Oznaka pokreta**	**TMU**	**Oznaka pokreta**		**Opis rada desne šake**
Dosegnuti do klipa	18,4	R50B	18,4	R20B	10,0	Dosegnuti do kliznog zaptivača
Uhvatiti	7,3	G4P1	10,8	G1C3	10,8	Uhvatiti
Prenijeti	18,0	M50B	18,0	M20B	10,5	Prenijeti
			16,2	P2SE	16,2	Postaviti
			2,0	RL1	2,0	Otpustiti
Normalno vrijeme			65,4			

t_{40} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{40} =65,4*0,036 =2,35 sec
t_{4p} – pomoćno vrijeme montaže:
*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju
T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU
18,2*0,036=0,66 sec
Pokreti stopala – savijanje u članku:
8,5*0,036=0,3 sec
t_{4d} – dopunsko vrijeme montaže:
K_n =0,11.
K_a=1,20.

$t_{14} = t_{4o}+t_{4p}+t_{4d}$
t_{14} = (2,35+0,26+0,66+0,3)*(1+Ka*Kn) =3,57*1,132 =4,04 sec

<u>050 Postavljanje "O" prstena na klip (MO – 06 – 00)</u>

Tabela 13. Pokreti pri operaciji 050

Pokret	**Oznaka**	**Opis pokreta**	**Oznaka**	**TMU**
Posezanje	R	Posegnuti do "O" prstena	R20B	10,0
Uhvatiti	G	Uhvatiti "O" prsten	G1C3	10,8
Prenijeti	M	Prenijeti "O" prsten do klipa	M20B	10,5
Postaviti	P	Postaviti "O" prsten do klipa	P2SE	16,2
Otpustiti	RL	Otpustiti "O" prsten iz ruke	RL1	2,0
Normalno vrijeme				49,5

t_{50} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{50} =49,5*0,036 =1,78 sec
t_{5p} – pomoćno vrijeme montaže:
*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju
T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU
18,2*0,036=0,66 sec
Pokreti stopala – savijanje u članku:
8,5*0,036=0,3 sec
t_{5d} – dopunsko vrijeme montaže:
K_n =0,11.
K_a =1,20.

$t_{15} = t_{5o}+t_{5p}+t_{5d}$
t_{15} = (1,78+0,26+0,66+0,3)*(1+Ka*Kn) =3,0*1,132 =3,4 sec

060 Postavljanje opruge (MO – 05 – 00) na klip (MO – 06 – 00)

Tabela 14. Pokreti pri operaciji 060

Pokret	**Oznaka**	**Opis pokreta**	**Oznaka Pokreta**	**TMU**	**Prilog Br.**
Dosezanje	R	Dosegnuti (oprugu) na udaljenosti 30 cm	R30B	9,9	XIV
Hvatanje	G	Hvatanje sa dizanjem	G4B	9,1	XVI
Prenošenje	M	Prenijeti predmet do mjesta klipa	M30B	13,3	XV
Postavljanje	P	Postavljanje opruge na klip	P1SE	5,6	XVII
Otpustiti	RL	Puštanje opruge iz ruke	RL1	2,0	XVII
Normalno vrijeme				39,9	

t_{60} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{60} =39,9*0,036 =1,44 sec

t_{6p} – pomoćno vrijeme montaže:
*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju
T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU
18,2*0,036=0,66 sec
Pokreti stopala – savijanje u članku:
8,5*0,036=0,3 sec
t_{6d} – dopunsko vrijeme montaže:
K_n =0,11.
K_a=*1,20.*

$t_{16} = t_{6o}+t_{6p}+t_{6d}$
t_{16} = (1,44+0,26+0,66+0,3)*(1+Ka*Kn) =2,64*1,132 =2,99 sec

070 Postavljanje podsklopa (MO – 05/08 – 00) u podsklop (MO – 02/09 – 00)

Tabela 15. Pokreti pri operaciji 070

Pokret	**Oznaka pokreta**	**Opis pokreta**	**Oznaka pokreta**	**TMU**	**Prilog Br.**
Prenošenje	M	Prenijeti podsklop do baznog podsklopa	M30CB	5,0	XV
Postaviti	P	Ubaciti (MO – 05/08 – 00) u (MO – 02/09 – 00)	P1SE	15,1	XVII
Otpustiti	RL	Otpustiti	RL1	2,0	XV
Normalno vrijeme				22,1	

t_{70} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{70} =22,1*0,036 =0,8 sec
t_{7p} – pomoćno vrijeme montaže:
*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*
Pokreti stopala – savijanje u članku: 8,5*0,036=0,3 sec

t_{7d} – dopunsko vrijeme montaže:
K_n =0,11.
K_a=1,20.

$t_{17} = t_{7o}+t_{7p}+t_{7d}$
t_{17} = (0,8+0,26+0,3)*(1+ka*kn) =1,36*1,132 =1,54 sec

<u>080 Ugradnja kliznog zaptivača u poklopac (MO – 04 – 00)</u>

Tabela 16. Pokreti pri operaciji 080

Opis rada lijeve šake		**Oznaka Pokreta**	**TMU**	Oznaka pokreta		**Opis rada desne šake**
Dosegnuti do poklopca	18,4	R50B	18,4	R20B	10,0	Dosegnuti do kliznog zaptivača
Uhvatiti	7,3	G1C1	10,8	G1C3	10,8	Uhvatiti
Prenijeti	18,6	M50CB	18,6	M20C	11,7	Prenijeti
Postaviti	5,6	P1SE	5,6	P1SE	5,6	Postaviti
Otpustiti	2,0	RL1	2,0			
Normalno vrijeme			55,4			

t_{80} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{80} =55,4*0,036 =1,99 sec
t_{8p} – pomoćno vrijeme montaže:
*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju
T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU
18,2*0,036=0,66 sec
Pokreti stopala – savijanje u članku:
8,5*0,036=0,3 sec
t_{8d} – dopunsko vrijeme montaže:
K_n =0,11.
K_a=1,20.

$t_{18} = t_{8o}+t_{8p}+t_{8d}$
t_{18} = (1,99+0,26+0,66+0,3)*(1+Ka*Kn) =3,21*1,132 =3,63 sec

090 Uvrtanje podsklopa (MO – 04A – 00) u bazni podsklop (MO – 02/09 – 00)

Tabela 17. Pokreti pri operaciji 090

Pokret	**Opis pokreta**	**Oznaka**	TMU
Prenošenje	Prenijeti podsklop do stegnutog baznog podsklopa	R20CB	9,4
Postavljanje	Postavljanje uz ručno uvrtanje podsklopa u tijelo pokretača	P2SE	43
Uzimanje ključa OK 18			
Dosegnuti	Dosegnuti do ključa na montažnom stolu	R20B	10,0
Uhvatiti	Uhvatiti ključ OK 18	G1D	3,5
Prenijeti	Prenijeti ključ do podsklopa	M20C	11,7
Postaviti	Postaviti ključ na poklopac	P1SE	5,6
Uvrnuti	Uvrnuti poklopac sa kliznim zaptivačem u tijelo pokretača	UP3SE	93,5
Napomena	Treći stepen uklapanja – 46,5 TMU Dubina uvrtanja S=8mm – 23,4 Primjena sile (AS)=1+(0,3*0,5)*46,5=7,8 Zadržavanje (min)=4,2 3*4,2=12,6 Otpuštanje prestanak sile 3,0 ABP=AP+G2=46,5+46,8=93,6		
Odlaganje ključa OK 18			
Prenošenje	Prenošenje ključa do montažnog stola	M20B01	10,5
Puštanje	Otpustiti ključ na stol	RL1	2,0
Vratiti ruku		R20A	7,8
Normalno vrijeme			197,1

t_{90} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{90} = 197,1*0,036 = 7,1 sec
t_{9p} – pomoćno vrijeme montaže:
*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju
T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU
18,2*0,036=0,66 sec
Pokret LM 50 – označava pokret noge ili podkoljenice za 50 cm.
(7,1 + 35*1,2)*0,036=1,76 sec
TBC1 – okretanje tijela za 45 do 90 stepeni
18,6*0,036=0,67 sec
Pokret stopala – savijanje u članku
8,5*0,036=0,3 sec
t_{9d} – dopunsko vrijeme montaže:
K_n =0,11.
K_a=1,20.

$t_{19} = t_{9o}+t_{9p}+t_{9d}$
t_{19} =(7,1+0,26+0,66+1,76+0,67+0,3)*(1+Ka*Kn) =10,75*1,132 =12,17 sec

<u>100 Navrtanje uške (MO – 01 – 00) na klip (MO – 06 – 00)</u>

Tabela 18. Pokreti pri operaciji 100

Opis rada lijeve šake		**Oznaka pokreta**	**TMU**	**Oznaka pokreta**		**Opis rada desne šake**
Dosegnuti do ključa	10,0	R20B	17,0	R50B	17,0	Dosegnuti do uške
Uhvatiti	2,0	G1A	2,0	G1A	2,0	Uhvatiti
Prenijeti	7,1	M20C	15,4	M50C	15,4	Prenijeti
			43	P3S	43	Postaviti (ručno uvrnuti)
Postaviti ključ na ušku	5,6	P1SE	5,6	G1A	2,0	Prihvatiti ključ
			77,3	P3SAP	14,2+3,1+8,4+ +3,0+48,6	Navrnuti ušku na klip
			10,5	M20B	10,5	Prenošenje ključa
			2,0	RL1	2,0	Otpustiti
			7,8	R20A	7,8	Vratiti ruku
Normalno vrijeme			180,6			

t_{100} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{100} = 180,6*0,036 =6,5 sec
t_{10p} – pomoćno vrijeme montaže:
*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju
T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU
18,2*0,036=0,66 sec
TBC1 – okretanje tijela za 45 do 90 stepeni
18,6*0,036=0,67 sec
Pokret stopala – savijanje u članku
8,5*0,036=0,3 sec
t_{10d} – dopunsko vrijeme montaže: K_n =0,11; K_a=1,20.

$t_{110} = t_{100}+t_{10p}+t_{10d}$
t_{110} =(6,5+0,26+0,66+0,67+0,3)*(1+Ka*Kn) =8,39*1,132 =9,5 sec

110 Odpuštanje i odlaganje sklopa pokretača (MO – 00 – 00)

Tabela 19. Pokreti pri operaciji 110

Pokret	**Oznaka**	**Opis pokreta**	**Oznaka**	**TMU**
Dosezanje	R	Dosezanje do sklopa i do ručke stege	R30A	9.5
Odvijanje	O	Odvijanje skinutog sklopa	G1A	5,6+8,4+3,0+3,0
Hvatanje	G	Uzimanje skinutog sklopa	G1A	2,0
Prenošenje	M	Ruka u pokretu prenošenje do kutije	M50B	15,4
Otpustiti	RL	Ispuštanje sklopa u kutiju	RL1	2,0
Spustiti ruku	R30E	Spuštanje ruke zbog sljedećeg pokreta	R30E	11,7
Normalno vrijeme				60,6

t_{110} – osnovno tehnološko vrijeme montaže: t_{110} =60,6*0,036 =2,18 sec
t_{11p} – pomoćno vrijeme montaže:
*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju
T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU
18,2*0,036=0,66 sec
TBC1 – okretanje tijela za 45 do 90 stepeni
18,6*0,036=0,67 sec
Pokret stopala – savijanje u članku
8,5*0,036=0,3 sec
t_{11d} – dopunsko vrijeme montaže: K_n =0,11; K_a=1,20.
$t_{111} = t_{110}+t_{11p}+t_{11d}$
t_{111} =(2,18+0,26+0,66+0,67+0,3)*(1+Ka*Kn) =4,07*1,132 =4,61 sec

U tabeli 20. dat je pregled svih vremena svih operacija montaže Pokretača.
Tabela 20. Vremena svih operacija montaže Pokretača

Oznaka operacije	Opis operacije	TMU	t_{io}	t_{ip}	t_{id}	t_{ii}
010	Postavljanje čaure u tijelo pokretača i postavljanje istih u presu	171,8	6,18	2,68	1,44	10,3
020	Upresovanje čaure u tijelo pokretača skidanje i odlaganje	122,9	4,42	3,35	1,68	9,45
030	Postavljanje podsklopa u stegu	107,7	3,88	3,35	0,95	8,18
040	Postavljanje kliznog zaptivača na klip	65,4	2,35	1,22	0,47	4,04
050	Postavljanje "O" prstena na klip	49,5	1,78	1,22	0,41	3,4
060	Postavljanje opruge na klip	39,9	1,44	1,22	0,35	2,99
070	Postavljanje podsklopa (MO – 05/08 – 00) u podsklop (MO	22,1	0,80	0,56	0,18	1,54
080	Ugradnja kliznog zaptivača u poklopac	55,4	1,99	1,22	0,42	3,63
090	Postavljanje podsklopa (MO – 04A – 00) u bazni podsklop (MO – 01/09 – 00)	197,1	7,1	3,65	1,42	12,17
100	Navrtanje uške (MO – 01 – 00) na klip (MO – 06 – 00)	180,6	6,5	1,89	1,11	9,5
110	Otpuštanje i odlaganje sklopa pokretača	60,6	2,18	1,89	0,54	4,61
	$\sum$	1073,0	38,62	22,25	8,97	69,84

Iz gornje tabele vidi se da je vrijeme montaže jednog proizvoda:

$$t_{ip} = \sum_{i=1}^{11} t_{ii} = 69{,}84 \langle \text{sec}/\, kom \rangle \,.$$

Za seriju od n=3000 kom:

$$t_{is} = n \sum_{i=1}^{11} t_{ii} = 3000 \times 69{,}84 = 209520 \langle \text{sec}/\, ser \rangle$$

$$t_{ip} = 58{,}2 \langle h / ser \rangle$$

Uzimajući u obzir iskorištenje radnog vremena u jednoj smjeni od maksimalno sedam efektivnih sati, pokazuje se da se serija može uraditi za 8,3 smjene.

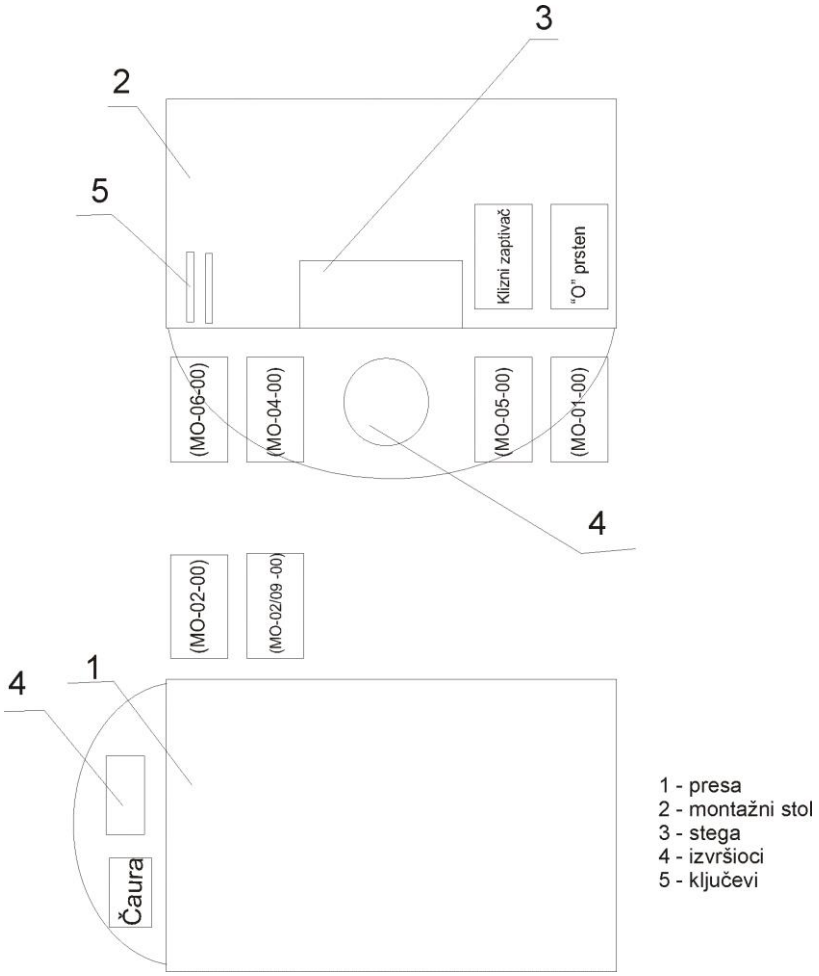
6.1.2.2. Određivanje pripremno-završnih vremena montaže

Na ova vremena potrebno je još proračunati pripremno-završna vremena:

$$t_{pz} = t_{pzo} + t_{pzd} \langle \text{sec}/\, ser \rangle$$

gdje su: t_{pzo}- osnovno pripremno-završno vrijeme, t_{pzd}-dopunsko pripremno-završno vrijeme.

Uzimajući u obzir da se montažno odjeljenje nalazi između međuskladišta gotovih dijelova i skladišta gotovih proizvoda na udaljenosti od po 10 m, da se prevoz vrši električnim kolicima i da se raspored kutija sa dijelovima vrši prema prikazanoj slici 89., moguće je primjenom metode poznatih vremena [47] izračunati pripremno-završno vrijeme.



Slika 89. Skica rasporeda radnih mjesta pri montaži sklopa Pokretača

<u>Postavljanje (utovar) pojedinačnih dijelova na sredstvo unutrašnjeg transporta:</u>

Tabela 21. Pokreti kod postavljanja pojedinačnih dijelova na električna kolica za transport

Pokret	**Oznaka**	**Opis pokreta**	**Oznaka**	**TMU**
Dosezanje	R	Dosezanje do kutije sa dijelom (uška)	R50B	18,4
Hvatanje	G	Uhvatiti kutiju sa dijelom	G3	5,6
Prenijeti	M	Prenijeti kutiju na transportno sredstvo	M50B	18,0
Otpustiti	RL	Ispuštanje kutije na transportno sredstvo	RL1	2,0
Normalno vrijeme				34

01. t^u_{pz1} – osnovno pripremno-završno vrijeme utovara: t^u_{pz1}=34*0,036 =1,22 sec

t^u_{pzd1} – dopunsko pripremno-završno vrijeme utovara:

*Vrijeme fokusiranja oka 7,3 TMU * 0,036 = 0,26 sec*

Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju:

T/D*15,2=60/50*15,2=18,2 TMU

18,2*0,036=0,66 sec

Pokret LM 50 – označava pokret noge ili podkoljenice za 50 cm.

(7,1 + 35*1,2)*0,036=1,76 sec

TBC1 – okretanje tijela za 45 do 90 stepeni

18,6*0,036=0,67 sec

Dopunsko vrijeme:

K_n – koeficijent zamora pri podizanju-skidanju tereta sa raznih visina. Za G=15-20 kg i visinu do 40 cm K_n=0,30. K_a=1,20.

t^u_{p1} = (1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,36=6,2 sec

Kod utovara ostalih kutija ponavljaju se svi pokreti samo je razlika u težini pojedinih kutija pa se mijenja samo koeficijent K_n ,tako da je:

02. K_n za G=30-35 kg i visinu do 40cm K_n=0,40.

t^u_{p2} = (1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,48=6,76 sec

03. Klizni zaptivači pozicija 3 i 7 nalaze se u istoj kutiji.

Za G=5-10 kg K_n=0,25

t^u_{p3} =(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,3=5,94 sec

04. Za G=15-20 kg K_n=0,30

t^u_{p4} =(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,36=6,2 sec

05. Za G=5-10 kg K_n=0,25

t^u_{p5} =(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,3=5,94 sec

06. Za G=35-40 kg K_n=0,44

t^u_{p6} =(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,53=6.99 sec

07. Za G<5 kg K_n=0,24

t^u_{p7} = (1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,288=5,89 sec

08. Za G=5-10 kg K_n=0,25

t^u_{p8}=(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,3=5,94 sec

Nakon utovara prave se dva hoda radi dolaska na platformu voznih kolica – 15,0 TMU po jednom hodu: 15,0*2*0,36=30*0,036=1,1 sec.
Prevoz-radni hod 50 m u minuti (0,83 m/sec)

za udaljenost od 10 m: $t = \frac{s}{v} = \frac{10}{0{,}83} = 12\,\text{sec}$

Vrijeme istovara

Vrijeme istovara pojedinačnih kutija sa dijelovima je isto izuzev kutije sa poklopcima, "O" prstenovima i kliznim zaptivačima, koji se dižu na visinu od 80 cm, zbog čega je koeficijent K_n drugačiji i za poklopac K_n =0,27, za "O" prsten K_n=0,18 i za klizni zaptivač K_n=0,20.

t^i_{p1}=(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,36=6,2 sec

t^i_{p2}=(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,48=6,76 sec

t^i_{p3}=(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,24=5,67 sec

t^i_{p4}=(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,312=6,0 sec

t^i_{p5}=(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,3=5,94 sec

t^i_{p6}=(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,53=6.99 sec

t^i_{p7}=(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,216=5,56 sec

t^i_{p8}=(1,22+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+K_a*K_n)=4,57*1,3=5,94 sec

Pri istovaru jednog dijela dijelova do prese, a drugog do montažnog stola pravimo šest koraka.
15,0*6*0,36=90*0,036=3,24 sec

Prevoz-povratni hod: 60 m u minuti (1 m/sec).

$t = \frac{s}{v} = \frac{10}{1} = 10\,\text{sec}$

ukupno vrijeme: t_{pz1}=124,16 sec/smjeni

Utovar, prevoz i skladištenje montiranog sklopa (Montirani sklopovi se nalaze u dvije kutije)

Tabela 22. Pokreti kod postavljanja montiranog sklopa na električna kolica za transport

Pokret	**Oznaka**	**Opis pokreta**	**Oznaka**	**TMU**
Dosezanje	R	Dosezanje do kutije sa sklopom	R50B	18,4
Hvatanje	G	Uhvatiti kutiju sa sklopom	G3	5,6
Prenijeti	M	Prenijeti kutiju na transportno sredstvo	M50B	18,0
Otpustiti	RL	Ispuštanje kutije na transportno sredstvo	RL1	2,0
Normalno vrijeme				34

Vrijeme fokusiranja 0,26 sec
Vrijeme za koje oko pređe putanju od 60 cm – 0,66 sec

LM 50 – 1,76 sec
TBC1 – 0,76 sec
Dva koraka 0,54 sec
Koeficijent spuštanja tereta za G=35-40 kg i visinu od 40 do 80 cm K_n=0,44.
Vrijeme utovara za jednu kutiju:
t_{u1}=(1,22+0,26+0,66+1,76+0,67+0,54)*(1+1,2*0,44)=5,11*1,528=7,8 sec
Istovjetno je vrijeme pri utovaru je i druge kutije, tj. t_{u2}=7,8 sec
Tako da je ukupno vrijeme utovara t_u=15,6 sec.
Vrijeme prevoza je: t_{pr} =12 sec
Isti pokreti su kod istovara i spuštanja kutija sa montiranim sklopovima, tj. t_i=15,6 sec
Vrijeme prevoza u povratnom hodu t_{prp}=10 sec

Tako da je ukupno pripremno vrijeme (za jednu smjenu)
t_{pz2}=15,6+12+15,6+10=53,2 sec/smjeni

Uključivanje (isključivanje) prese

Tabela 23. Pokreti kod uključivanja prese

Pokret	**Oznaka**	**Opis pokreta**	**Oznaka**	**TMU**
Dosezanje	R	Dosegnuti do prekidača prese	R50B	18,4
Postavljanje	P	Postaviti ruku na prekidač	P1SE	5,6
Uključiti	U	Staviti presu pod električni napon	U1SE	5,6
Otpustiti	RL	Skinuti ruku s prekidača	RL1	2,0
Normalno vrijeme				29,6

Vrijeme fokusiranja 0,26 sec
Vrijeme za koje oko pređe putanju od 60 cm – 0,66 sec
LM 50 – 1,76 sec
TBC1 – 0,76 sec
t_{up}-vrijeme uključivanja prese
t_{up}=(1,07+0,66+0,26+1,67+0,67)*(1+1,2*0,11)=4,43*1,132=5 sec
Isti postupak je kod isključivanja prese, tj.
t_{ip}-vrijem isključivanja prese: t_{ip}=5 sec
pa je: t_{pp}-ukupno vrijeme prese: t_{pp}=t_{ip}+t_{up}=10 sec/smjeni
Ukupno pripremno vrijeme:
t_{pz}=t_{pz1}+t_{pz2}+t_{pp}
t_{pz}=124,16+53,2+10
t_{pz}=187,36 (sec/smjeni)

Kako je za tehnološki proces montaže sklopa potrebno 8,3 (smjene) tj. 9 puta treba ponoviti sve postupke (izuzev kod istovara i utovara jedne kutije kod t_{pz2}=37,2), to je:
t_{pz}=187,36*8+171,76
t_{pz}=1498,88+171,76=1671(sec/ser)
t_{pz}=0,46 (h/ser)

Vrijeme montaže 3000 proizvoda:

$$t_n = t_{pz} + n\sum_{i=1}^{11} t_{ii}$$

$$t_{3000} = t_{pz} + 3000\sum_{i=1}^{11} t_{ii}$$

$$t_{3000} = 0{,}46 + 58{,}2$$

$$t_{3000} = 58{,}66\langle h / ser\rangle$$

16.2. Tehnološki proces montaže mobilnog telefonskog aparata

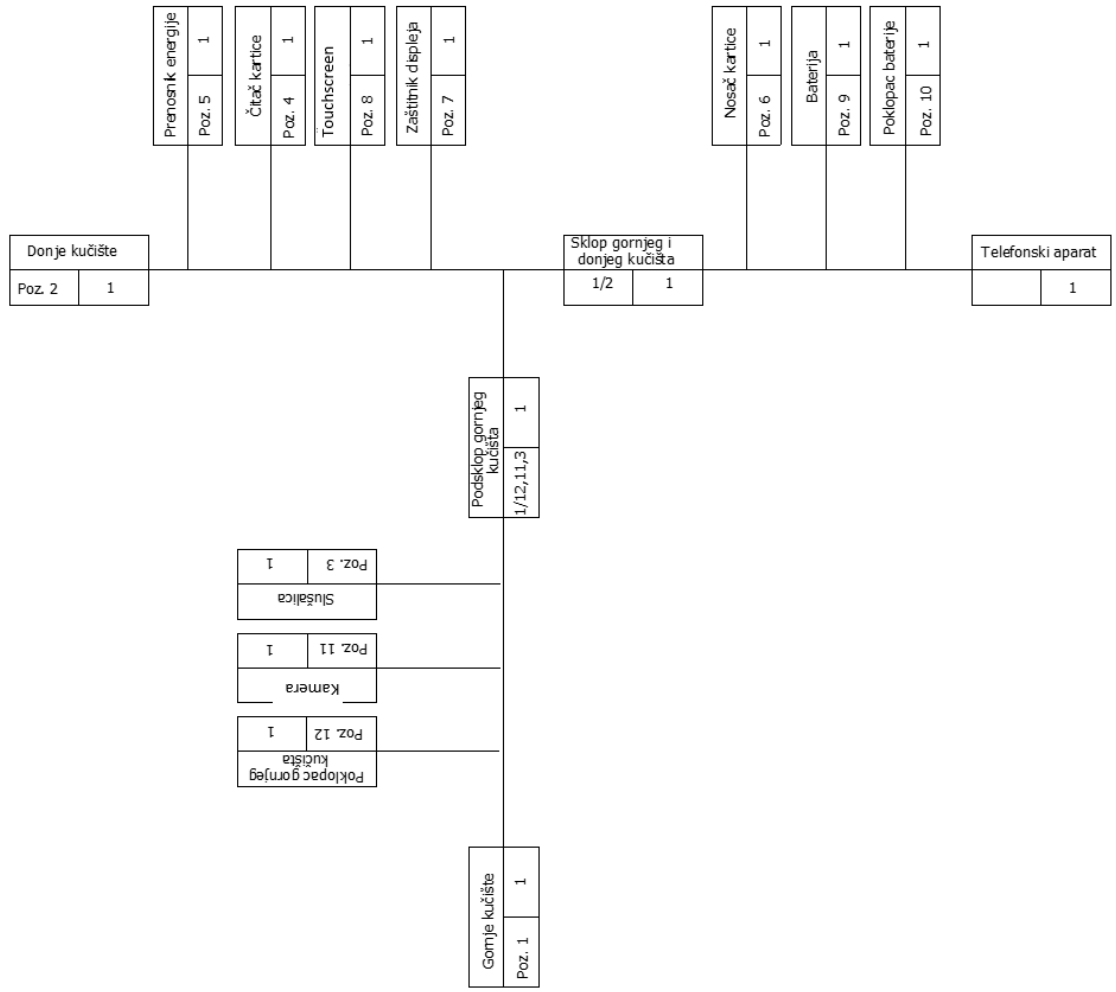
Potrebno je definisati tehnološki proces montaže mobilnog telefonskog aparata, ako se radi u seriji od 50000 komada. U tabeli 24. navedeni su osnovni podaci o dijelovima mobitela koji se montiraju.

Tabela 24. Dijelovi mobilnog telefonskog aparata

Naziv dijela	**Oznaka dijela**	**Broj dijelova**
Gornje kučište	Pozicija 1	1
Donje kučište	Pozicija 2	1
Čitač kartice	Pozicija 3	1
Slušalica	Pozicija 4	1
Prenosnik energije	Pozicija 5	1
Nosač kartice	Pozicija 6	1
Zaštitnik displeja	Pozicija 7	1
Touchscreen	Pozicija 8	1
Baterija	Pozicija 9	1
Poklopac baterije	Pozicija 10	1
Kamera	Pozicija 11	1
Poklopac gornjeg kučišta	Pozicija 12	1

16.2.1. Izrada šeme procesa montaže mobilnog telefonskog aparata

Na slici 90. prikazana je šema montaže mobitela. Sa šeme se vidi da imamo 11 operacija spajanja (sastavljanja) i odlaganje montiranog mobitela kao posljednja, dvanaesta operacija.



Slika 90. Šema procesa montaže mobilnog telefonskog aparata

U tabeli 25. dat je popis svih operacija montaže.

Tabela 25. Operacije procesa montaže mobilnog telefonskog aparata

Redni broj	OPERACIJA
010	Postavljanje prenosnika energije (poz 5) u donje kučište (poz 2)
020	Postavljanje čitača kartice (poz 4) u donje kučište (poz 2)
030	Postavljanje touchscreen-a (poz 8) u donje kučište (poz 2)
040	Postavljanje zaštitnika displeja (poz 7) na displej i odlaganje donjeg kučišta
050	Postavljanje poklopca gornjeg kučišta (poz 12) na gornje kučište (poz 1)
060	Postavljanje kamere (poz 11) u gornje kučište (poz 1)
070	Postavljanje slušalice (poz 3) u gornje kučište (poz 1)
080	Postavljanje podsklopa (1/12,11,3) u bazni podsklop (2/5,4,8,7)
090	Postavljanje nosača kartice (poz 6) u sklop (2/1)
100	Postavljanje baterije (poz 9) u sklop (2/1)
110	Postavljanje poklopca baterije (poz 10) u sklop (2/1)
120	Odlaganje gotovog telefonskog aparata

16.2.2. Izračun vremena montaže za izvršenje pojedinačnih operacija

I u ovom primjeru za određivanje vremena operacija montaže koristiće se metoda poznatih vremena [47]. Za primjenu ove metode poslužiće nam tabele iz Priloga ove knjige.

Operacija 010
Postavljanje prenosnika energije (poz 5) u donje kučište (poz 2)

Tabela 26. Pokreti kod operacije 010 - postavljanje prenosnika energije

Opis rada lijeve šake	*	Oznaka pokreta	TMU	Oznaka pokreta	*	Opis rada desne šake
Dosegnuti do donjeg kučišta	13,0	R50A	19,6	R50D	19,6	Dosegnuti do prenosnika energije
Uhvatiti	2,0	G1A	3,5	G1B	3,5	Uhvatiti
Prenijeti	18,0	M50B	18,0	M50B	18,0	Prenijeti
			21,8	P2SD	26,6	Postaviti
			2,0	RL1	2,0	Otpustiti
			5,6	G2	5,6	Hvatanje kučišta radi prenosa
Spustiti ruku	9,2	R20E	21,8	M50C	21,8	Odložiti
			16,5	R50E	16,5	Vratiti ruku
Normalno vrijeme t_n			113,6			

Zbir vremenskih vrijednosti ograničavajućih pokreta predstavlja normalno vrijeme (t_{n1}) koje za operaciju 010 iznosi: $t_{n1} = 113{,}6 \cdot 0{,}036 = 4{,}08s$

Pomoćno vrijeme montaže (t_{p1})je:
Vrijeme fokusiranja oka:
$7{,}3 \cdot TMU \cdot 0{,}036 = 0{,}26s$
Vrijeme za koje oko pređe određenu putanju:

$$\frac{T}{D} \cdot 15{,}2 = \frac{60}{50} \cdot 15{,}2 = 18{,}24 \cdot TMU$$

$$18{,}24 \cdot 0{,}036 = 0{,}65s$$

Uzimajući okolnosti pod kojima se izvodi operacija 010 stavrno vrijeme montaže (t_{s1}) je:

$$t_{s1} = (t_{n1} + t_{p1}) \cdot (1 + K_a \cdot K_n)$$

$$t_{s1} = (4{,}08 + 0{,}91) \cdot (1 + 1{,}3 \cdot 0{,}11) = 5{,}70s$$

K_a =1,30 - koeficijent dodatnog vremena djelovanja okoline,

K_n = 0,11 - koeficijent zamora za sjedenje ili stajanje uz rukovanje alatima i predmetima,gdje treba savladati teret do 5 daN,

K_d = 0,20 - dopunski koeficijent dodatnog vremena.

Norma vrijeme (t_{11}) montaže izračunavamo prema obrascu:

$$t_{11} = t_{s1}(1 + K_d)$$

$$t_{11} = 5{,}70 \cdot (1 + 0{,}20) = 6{,}84s$$

Na isti način kako je dobijeno norma vrijeme za operaciju 010 mogu se naći vremena svih ostalih operacija. Ta vremena su tabelarno prikazana u Tabeli 27, gdje je dato i ukupno vrijeme.

Tabela 27. Vremena pojedinačnih operacija montaže

Oznaka operacije	Opis operacije	TMU	t_{ni}	t_{si}	t_{1i}
010	Postavljanje prenosnika energije (poz 5) u donje kučište (poz 2)	113,6	4,08	5,70	6,84
020	Postavljanje čitača kartice (poz 4) u donje kučište (poz 2)	115,7	4,16	5,79	6,95
030	Postavljanje touchscreen-a (poz 8) u donje kučište (poz 2)	99,5	3,58	5,13	6,15
040	Postavljanje zaštitnika displeja (poz 7) na displej i odlaganje donjeg kučišta	110,1	3,96	5,56	6,67
050	Postavljanje poklopca gornjeg kučišta (poz 12) na gornje kučište (poz 1)	133,5	4,80	6,53	7,84
060	Postavljanje kamere (poz 11) u gornje kučište (poz 1)	150,1	5,40	7,21	8,65
070	Postavljanje slušalice (poz 3) u gornje kučište (poz 1)	105,9	3,81	5,39	6,47
080	Postavljanje podsklopa (1/12,11,3) u bazni podsklop (2/5,4,8,7)	152,06	5,47	7,29	8,75
090	Postavljanje nosača kartice (poz 6) u bazni sklop (2/1)	150,20	5,40	7,21	8,66
100	Postavljanje baterije (poz 9) u bazni sklop (2/1)	101,6	3,65	5,22	6,26
110	Postavljanje poklopca baterije (poz 10) u sklop (2/1)	106,8	3,84	5,43	6,52
120	Odlaganje gotovog telefonskog aparata	48,9	1,76	3,05	3,66
∑		1387,96	49,91	69,52	83,42

Iz tabele 27. vidi se da je vrijeme montaže na jednom proizvodu:

$$t_{ip} = \sum_{i=1}^{12} t_{ii} = 83{,}42\left(\frac{s}{kom.}\right)$$

Pošto se radi o velikoj seriji (50000 komada), montaža se vrši na traci (tekuća montaža), kao na slici 91. U tabeli 3. se vidi da je najduža operacija 080 i traje 8,75 (s), tako da je takt montaže 9 (s). To znači da nakon svakih 9 (s) sa trake izlazi jedan montiran proizvod. Smjena ima 7 (h), a to je 420 (min), odnosno 25200 (s). Na početku smjene potrebno je 83,42 (s) da izađe prvi proizvod, a nakon toga svakih 9 (s) izlazi po jedan proizvod.

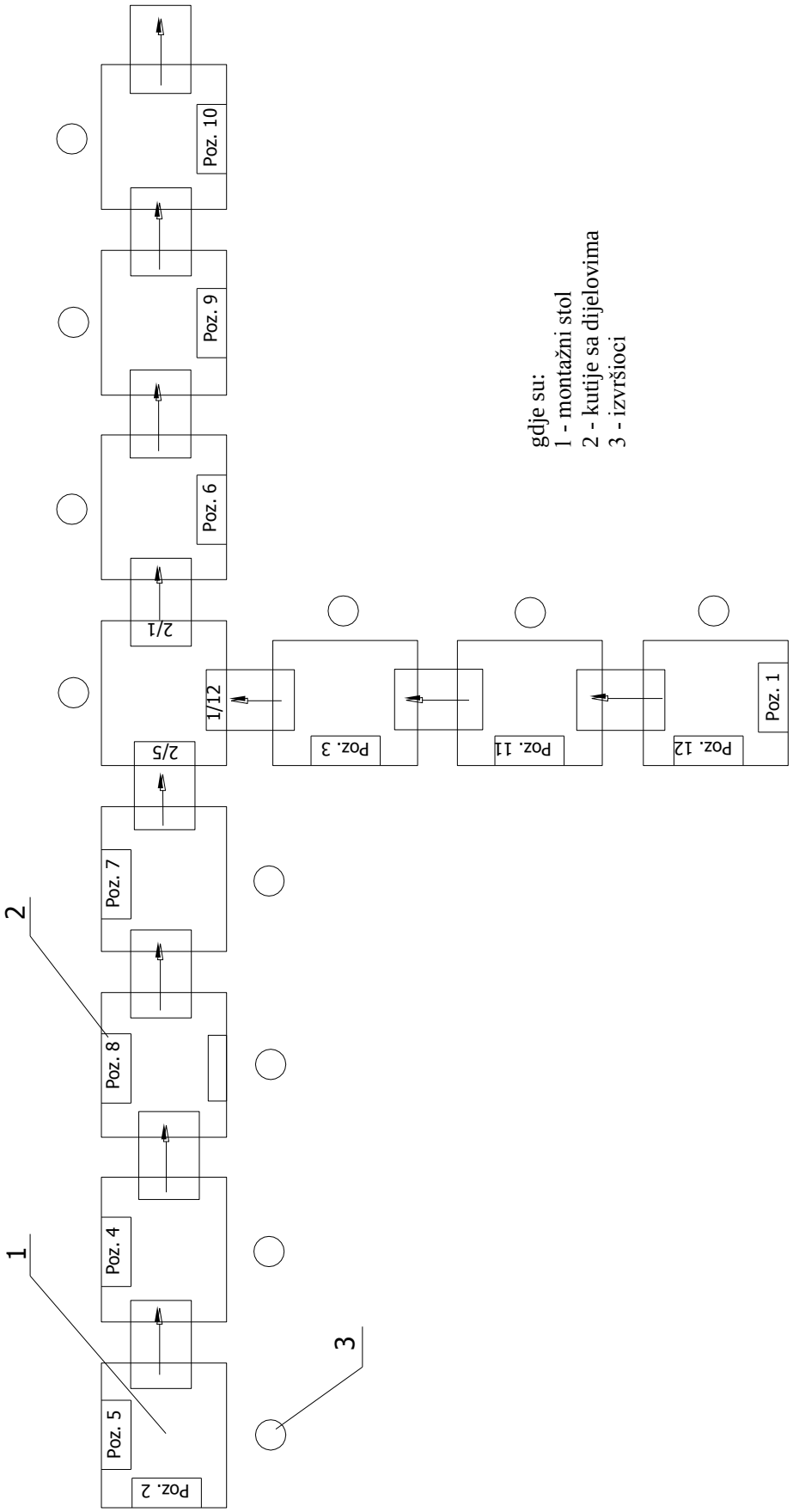
Dakle, za jednu smjenu se montira:

$$\left[\frac{(25200 - 83{,}42)}{9}\right] + 1 = 2791\left(\frac{kom}{smjeni}\right)$$

Serija od 50000 komada se montira za:

$$\frac{50000}{2791} = 17{,}91 \approx 18(smjena)$$

Prema tome potrebno je 18 smjena za montažu.



Slika 91. Skica rasporeda radnih mjesta pri montaži mobilnog telefonskog aparata

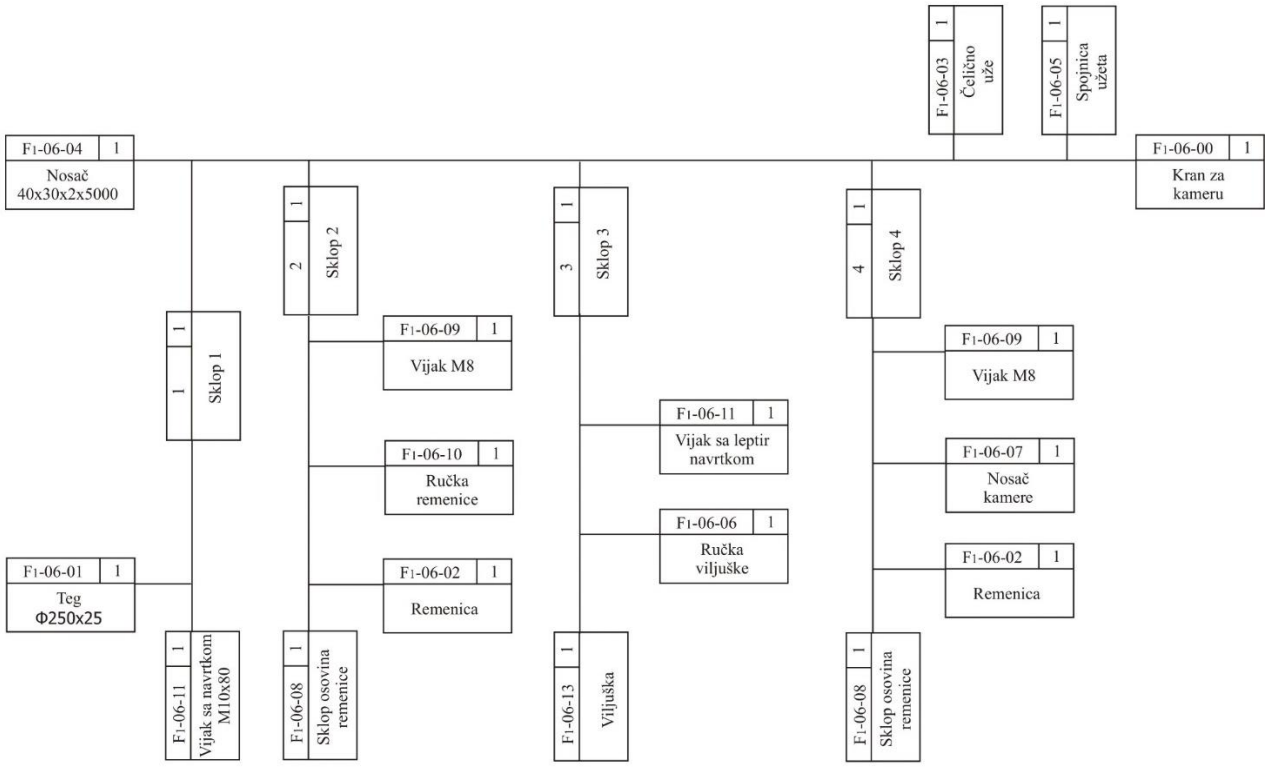
16.3. Tehnološki proces montaže proizvoda Kran za kameru

Kran za kameru je prikazan na slici 79. Potrebno je izraditi jedan kran, tako da se radi o pojedinačnoj proizvodnji i za montažu potrebno je samo izraditi šemu montaže. Opredjeljujemo se za stacionarnu montažu, zbog tipa proizvodnje – pojedinačna proizvodnja.
Struktura proizvoda Kran za kameru je data u Tabeli 28:

Tabela 28. Dijelovi Krana za kameru

NAZIV DIJELA	BROJ KOMADA	OZNAKA DIJELA
Teg Ø250 x 25	1	F1-06-01
Remenica Ø100	2	F1-06-02
Čelično uže Ø4	1	F1-06-03
Nosač 40 x 30 x 2 x 5000	1	F1-06-04
Spojnica užeta	1	F1-06-05
Ručka viljuške	1	F1-06-06
Nosač kamere	1	F1-06-07
Sklop osovina remenice	2	F1-06-08
Vijak M8	2	F1-06-09
Ručka remenice	1	F1-06-10
Vijak sa navrtkom M10 x 80	1	F1-06-11
Vijak sa leptir navrtkom	1	F1-06-12
Viljuška	1	F1-06-13

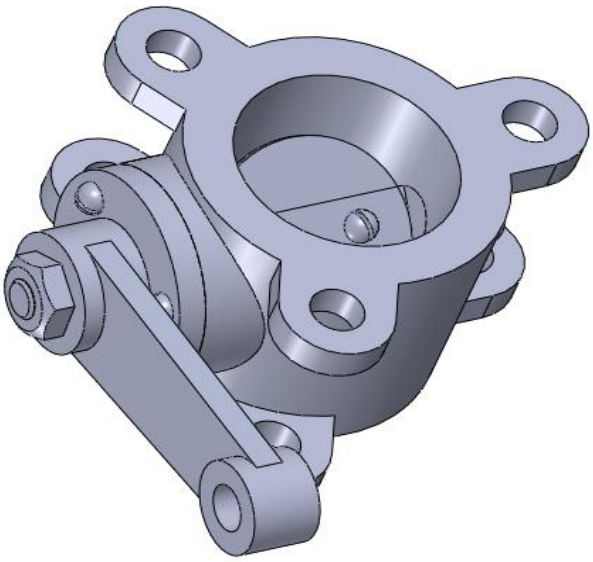
Bazni dio za montažu je dio Nosač 40 x 30 x 2 x 5000. Na njega se montiraju sklopovi 1, 2, 3 i 4 i Čelično uže Ø4 i Spojnica užeta. Šema montaže je prikazana na slici 92.



Slika 92. Šema montaže Krana za kameru

16.4. Primjer izrade šeme montaže sklopa pomoću softverske animacije

Danas postoji mnoštvo aplikativnih softvera koji se mogu koristiti u raznim fazama proizvodnje i pripreme proizvodnje. Tako i u tehnološkoj pripremi možemo koristiti softvere za razne analize. Softveri za 3D modeliranje, koji imaju modul za animaciju mogu vrlo dobro poslužiti za simulaciju montaže dijelova sklopa. Animacijom možemo virtualno sastavljati dijelove i mijenjati njihov redoslijed sastavljanja dok ne dobijemo optimalan, te na osnovu toga možemo napraviti šemu montaže. U ovom primjeru će biti prikazan postupak izrade šeme procesa montaže uređaja „Leptir ventil“ (Slika 93.) pomoću animacije u softveru SolidWorks.

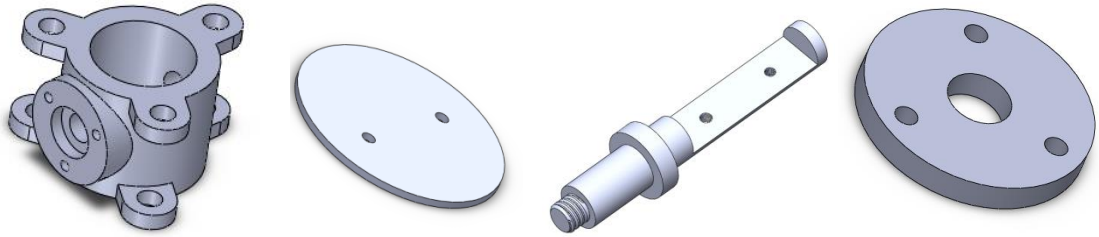


Slika 93. Leptir ventil

Leptir ventil je uređaj iz porodice ventila koji služi za izolaciju i kontrolu protoka tvari poput zraka, gasa, pare ili tečnosti kroz cijev. Leptir ventil je jedan od najčešće korištenih vrsta ventila na tržištu. Ovi ventili zahtijevaju vrlo malo održavanja, a iznimno su izdržljivi.

16.4.1. Izrada 3D modela dijelova i sklopa

Leptir ventil koji je prikazan u ovom primjeru se sastoji od komponenata koje su date na slici 94. Sve komponente su prethodno modelirane u SolidWorks-u u modulu za 3D modeliranje dijelova (Part) i snimljeni su kao datoteke sa ekstenzijom *.sldprt*. Sklop ima 8 dijelova i to su: Tijelo ventila, Disk ploča (leptir), Osovina, Držač osovine, Ručka, Zavrtanj A, Zavrtanj B, Navrtka.



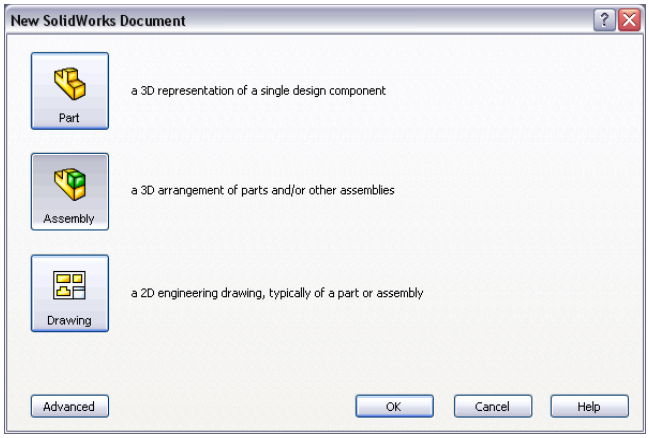
Tijelo ventila *Disk ploča(leptir)* *Osovina* *Držač osovine*

Ručka *Zavrtanj A* *Zavrtanj B* *Navrtka*

Slika 94. Dijelovi ventila

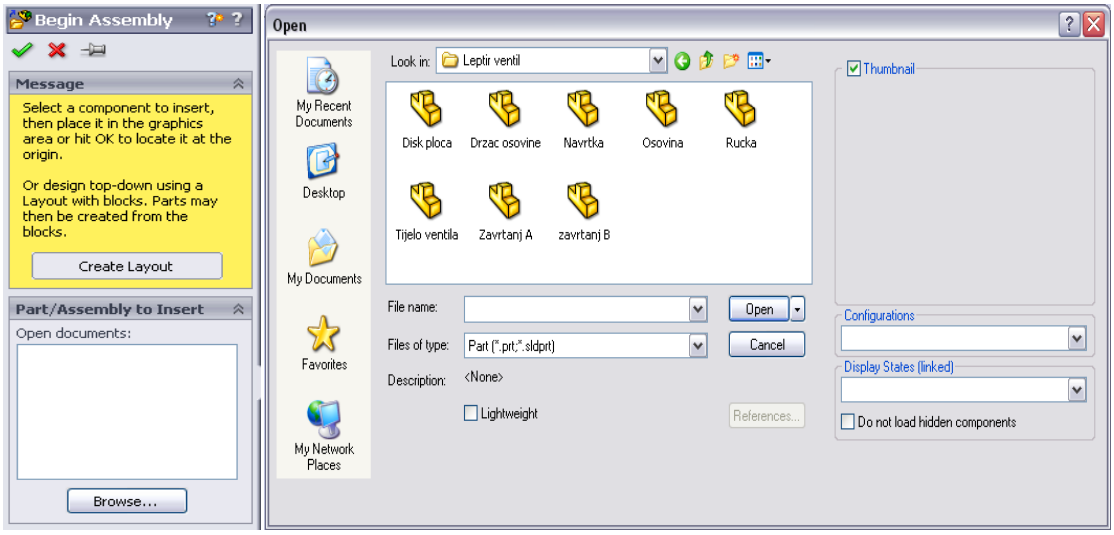
Uklapanje komponenata i izrada animacije sklopa se vrši pomoću odgovarajućih alatki u režimu rada **Assembly (Sklapanje).**

Nakon pokretanja softvera SolidWorks automaski se otvara okvir za dijalog **New SolidWorks Document (Novi SolidWorks dokument)**. Potrebno je odabrati režim rada **Assembly** i kliknuti na dugme **OK** (Slika 95.).



Slika 95. Režimi rada u SolidWorks-u

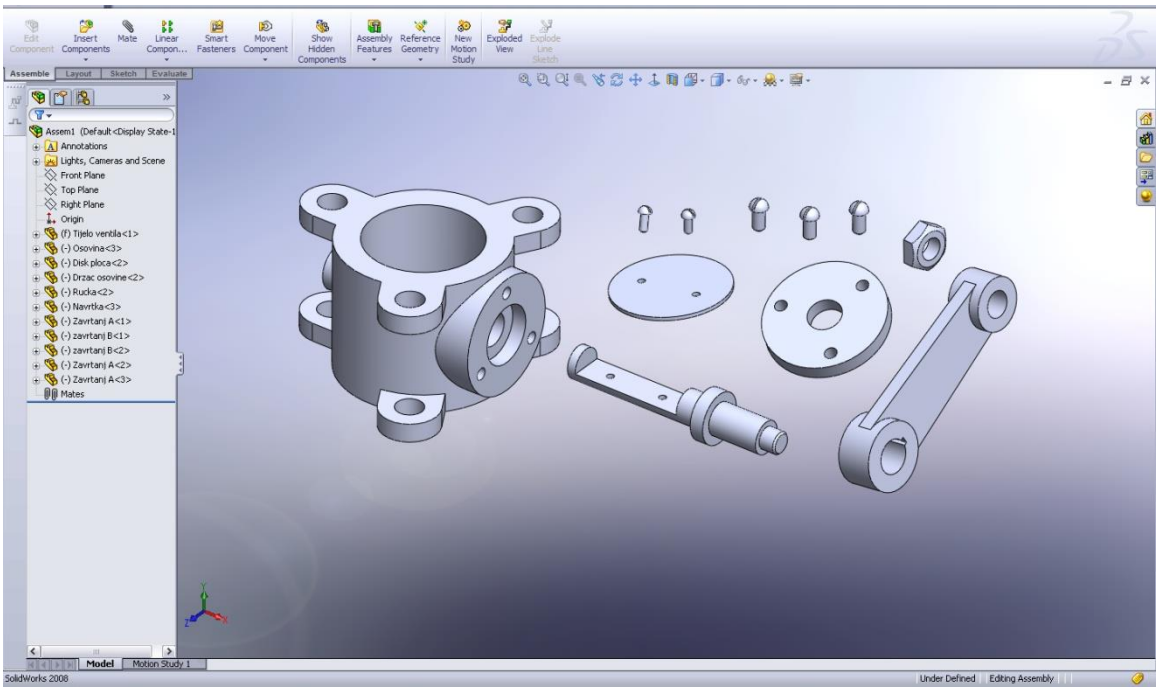
Nakon toga se aktivira prozor za postavljanje komponenata u dokument sklopa **Insert Component PropertyManager** (Slika 96.a). Pritiskom na dugme **Browse** otvoriće se okvir za dijalog **Open**. Potrebno je odabrati folder u kome su snimljene komponente, izabrati određenu komponentu i pritisnuti dugme **Open** (Slika 8.b). Postupak se ponavlja za svaku komponentu.



a) b)

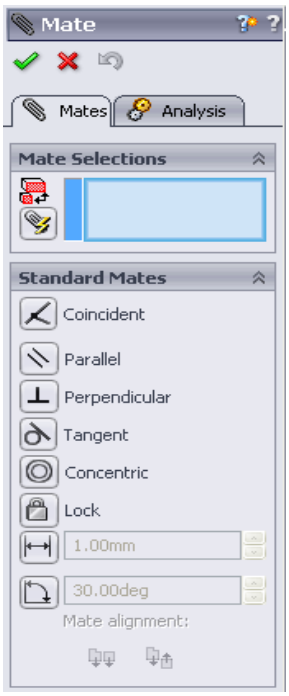
Slika 96. Dodavanje dijelova za sklop

Nakon što su sve komponente postavljene u dokument sklopa (Slika 97.), može se pristupiti postupku uklapanja komponenti čime se ograničava njihova sloboda kretanja u skladu sa zahtjevima sklopa pomoću uslova uparivanja ili uklapanja.



Slika 97. Dijelovi Leptir ventila

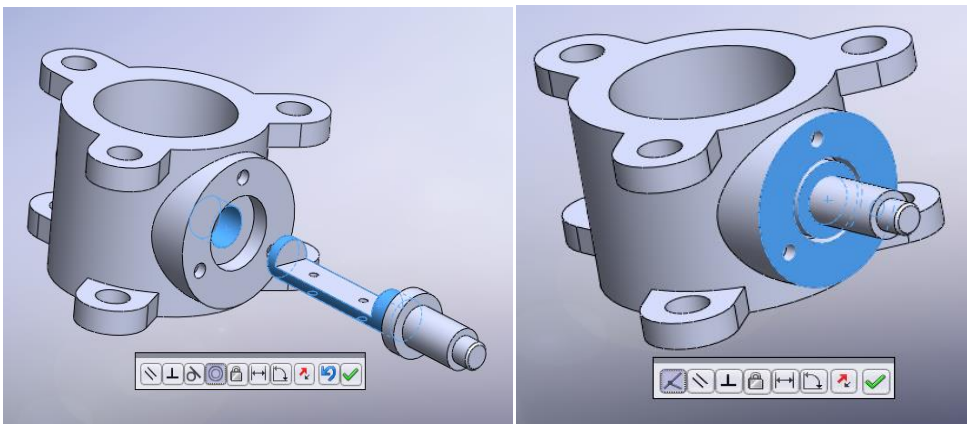
Uklapanje komponenti u ovom primjeru se vrši pomoću alatke **Mate PropertyManager** (Slika 98.). Klikom na dugme **Mate**, koje se nalazi na panou **Assemblies ComandManager**, otvara se paleta alatke **Mate** (Slika 98.) sa prikazom standardnih uslova koji se koriste prilikom uklapanja komponenti.



Slika 98.

Redoslijed spajanja komponenti možemo proizvoljno odabrati i napraviti animaciju sklapanja, a zatim viditi da li je izvediva ta montaža i da li je redoslijed logičan, te vršiti izmjene dok ne dodjemo do optimalnog redoslijeda. U prvom koraku sklapaju se komponente Tijelo ventila i Osovina. Potrebno je odabrati uslov

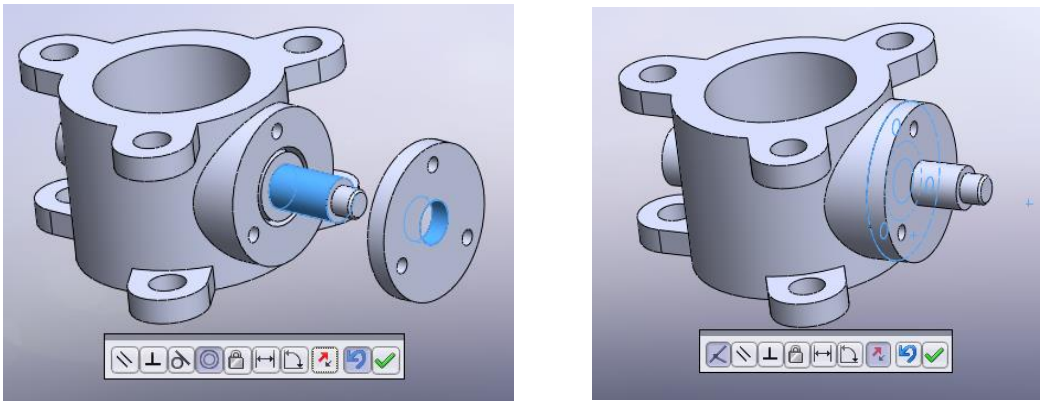
uklapanja **Concentric**, odabrati prikazane površine (Slika 99.a) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate**, a nakon toga odabrati uslov uklapanja **Coincident**, odabrati površine (Slika 99.b) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate**.



a) b)

Slika 99.

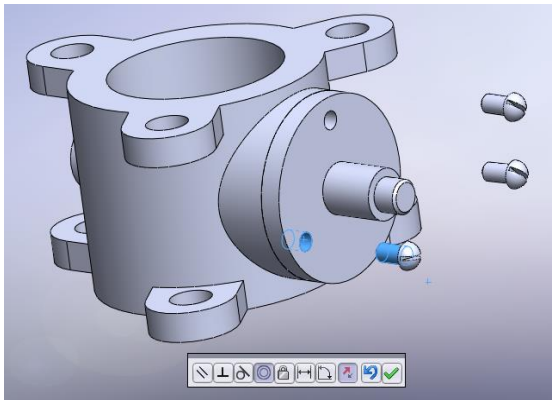
U drugom koraku dodaje se komponenta Držač osovine. Potrebno je odabrati uslov uklapanja **Concentric**, odabrati prikazane površine (Slika 100.a) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate** , a nakon toga odabrati uslov uklapanja **Coincident**, odabrati površine (Slika 100.b) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate**.



a) b)

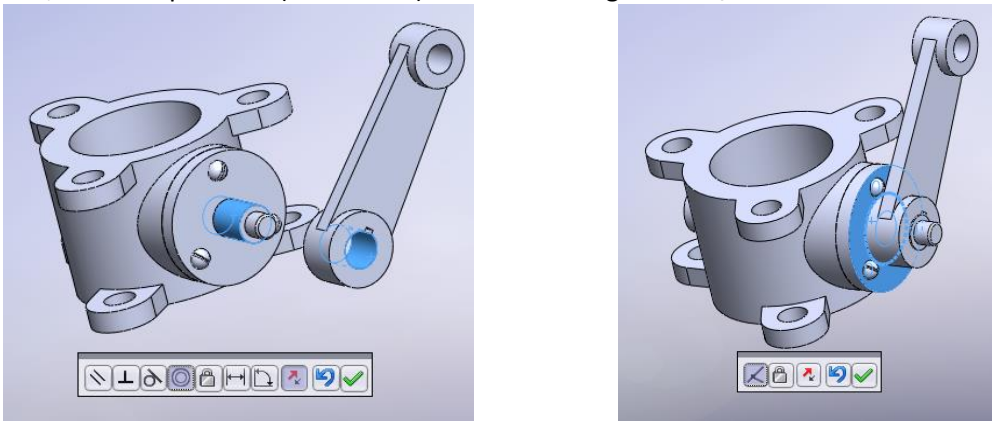
Slika 100.

U trećem koraku dadaje se komponenta Zavrtanj A. Potrebno je odabrati uslov uklapanja **Concentric**, odabrati prikazane površine (Slika 101) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate**. Postupak je identičan i za sva tri komada komponente **Zavrtanj A** .



Slika 101.

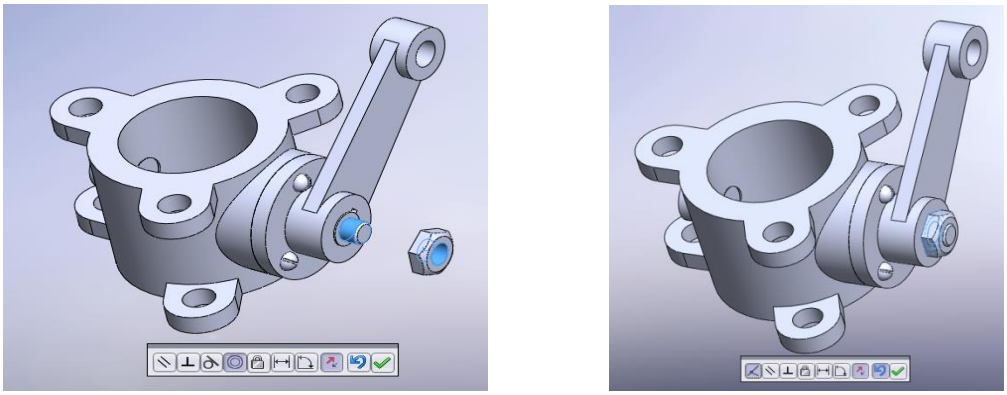
U četvrtom koraku dodaje se komponenta Ručka. Potrebno je odabrati uslov uklapanja **Concentric**, odabrati prikazane površine (Slika 102.a) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate** , a nakon toga odabrati uslov uklapanja **Coincident**, odabrati površine (Slika 102.b) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate**.



a) b)

Slika 102.

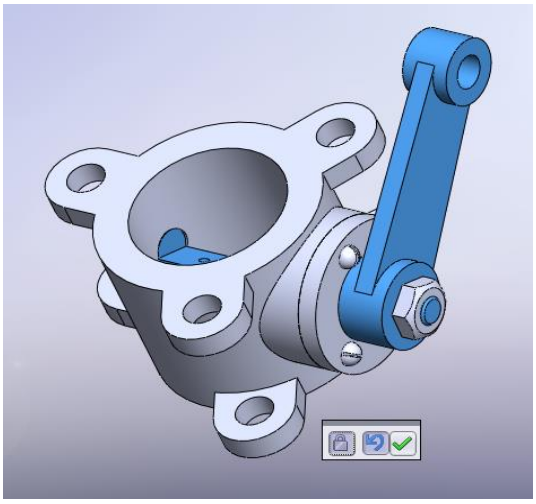
U petom koraku dodaje se komponenta Navrtka. Potrebno je odabrati uslov uklapanja **Concentric**, odabrati prikazane površine (Slika 103.a) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate** , a nakon toga odabrati uslov uklapanja **Coincident**, odabrati površine (Slika 103.b) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate**.



a) b)

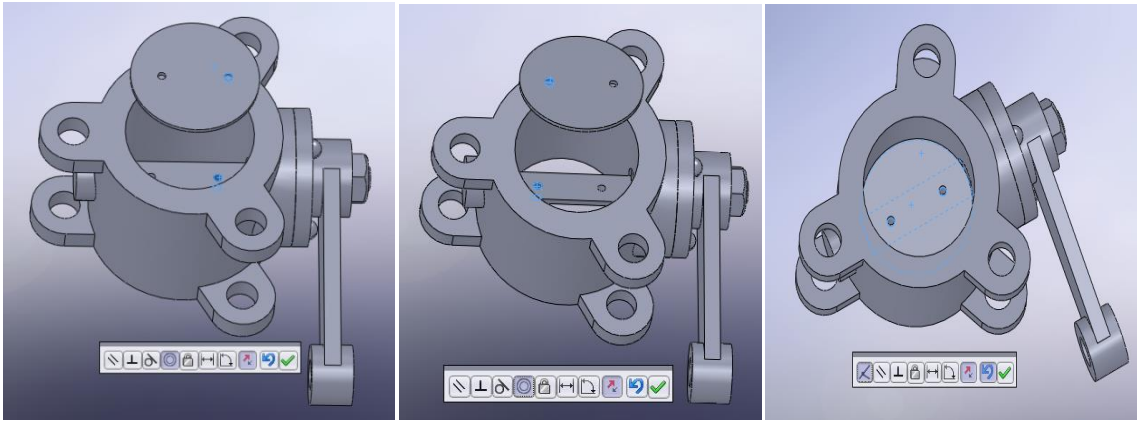
Slika 103.

U šestom koraku se fiksira veza između komponenti Osovina i Ručka. Potrebno je odabrati uslov uklapanja **Lock (Zaključati)**, odabrati prikazane površine (Slika 104.) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate**.



Slika 104.

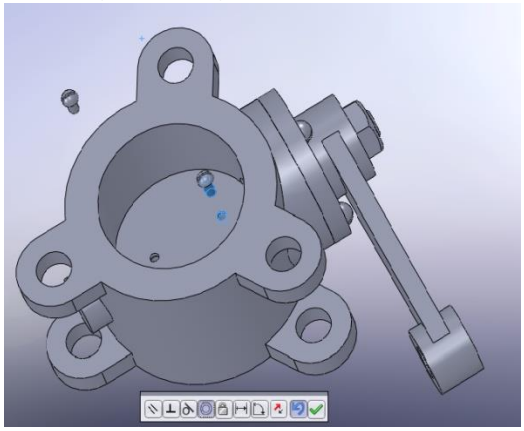
U sedmom koraku dodaje se komponenta Disk ploča. Potrebno je odabrati uslov uklapanja **Concentric**, odabrati prikazane površine (Slika 105.a) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate**. Isti postupak se ponavlja za postavljanje uslova **Concentric** za drugu rupu (Slika 105.b). Nakon toga potrebno je odabrati uslov uklapanja **Coincident** i odabrati prikazane površine (Slika 105.c) da bi se komponenta **Disk ploča** uklopila na odgovarajuće mjesto.



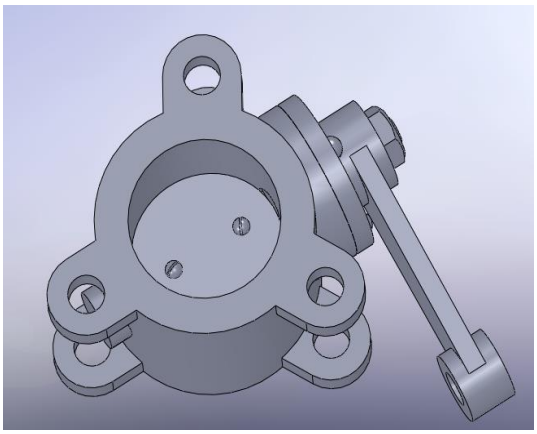
a) b) c)

Slika 105.

U osmom koraku dodaje se komponenta Zavrtanj B. Potrebno je odabrati uslov uklapanja **Concentric**, odabrati prikazane površine (Slika 106.) i kliknuti na dugme **Add/Finish mate**. Postupak je identičan i za drugi komad komponente **Zavrtanj B**. Uklapanjem komponente **Zavrtanj B** virtualna montaža sklopa „Leptir ventil“ je završena (Slika 107.).

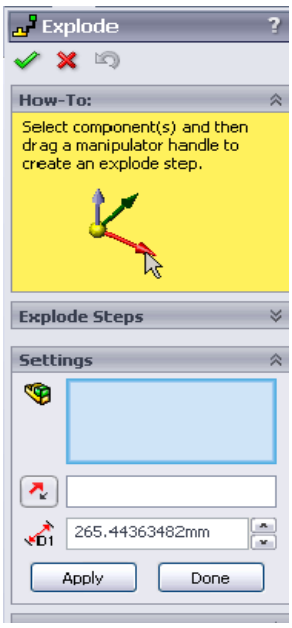


Slika 106.

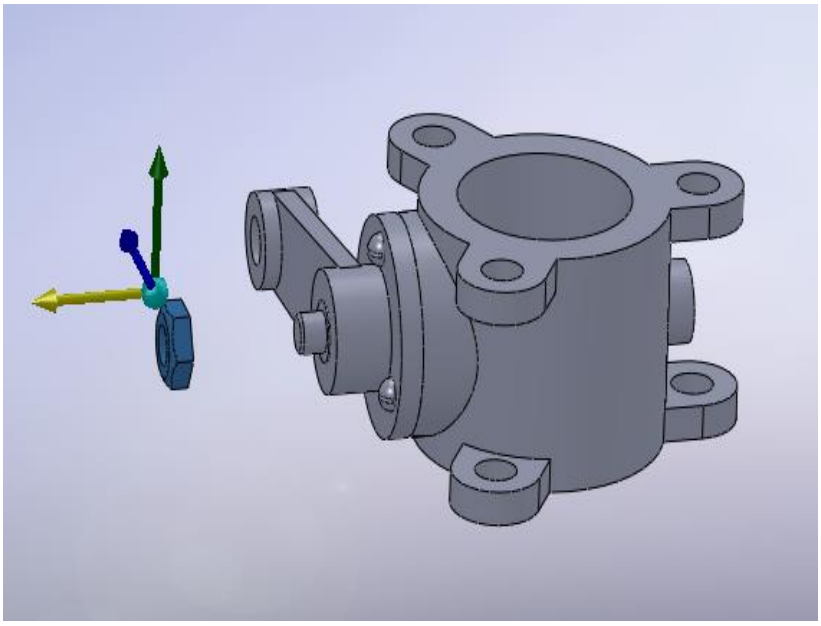


Slika 107.

Uklapanje svih komponenti je završeno i potrebno je napraviti rastavljeno stanje sklopa pritiskom na tipku **Exploded view**, koja se nalazi na panou **Assemblies ComandManager**, kada se otvara pano **Explode PropertyManager** (Slika 108.) koji omogućava rastavljanje sklopa pomoću manipulatora. Potrebno je odabrati komponentu koju treba rastaviti. Na ekranu će biti prikazan manipulator pomoću kojeg se komponenta može pomjerati po pravcima zadanih osa (Slika 109.).

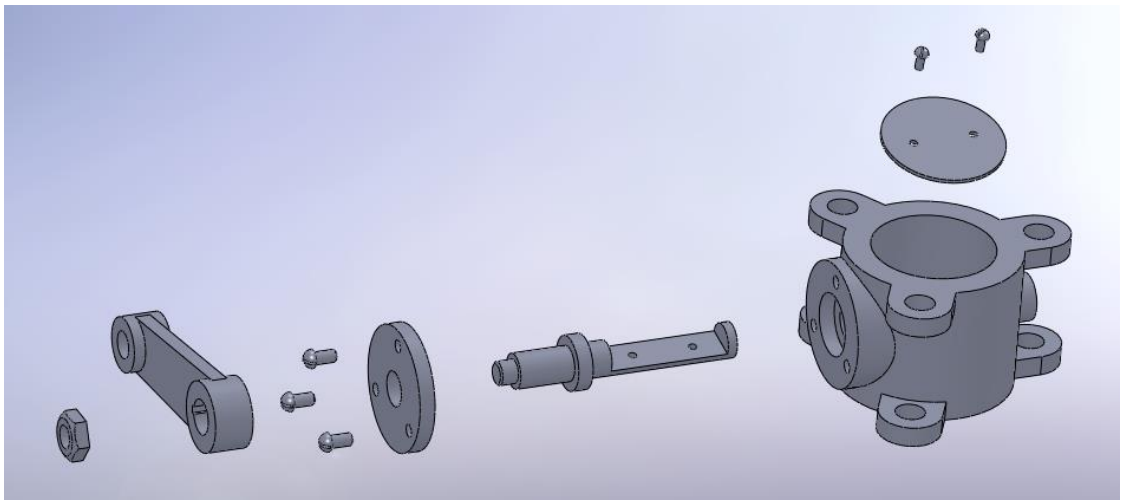


Slika 108.



Slika 109.

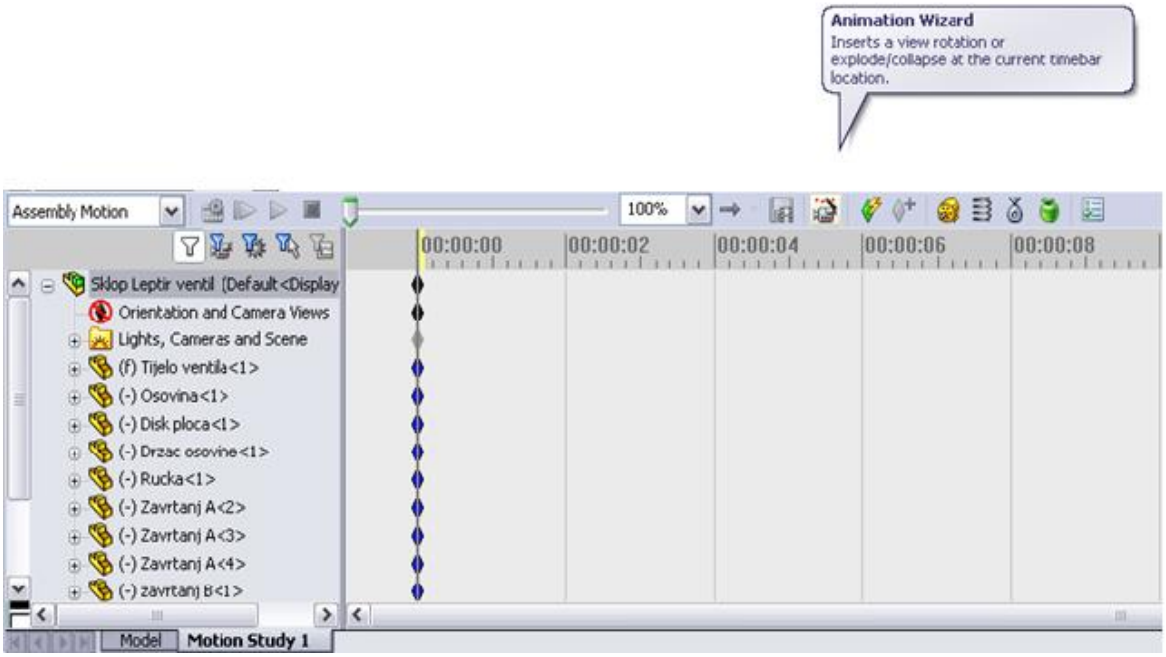
Nakon pomjeranja svake komponente sklopa pomoću manupulatora, konačan izgled rastavljenog sklopa prikazan je na Slici 110.



Slika 110. Rastavljeno stanje sklopa

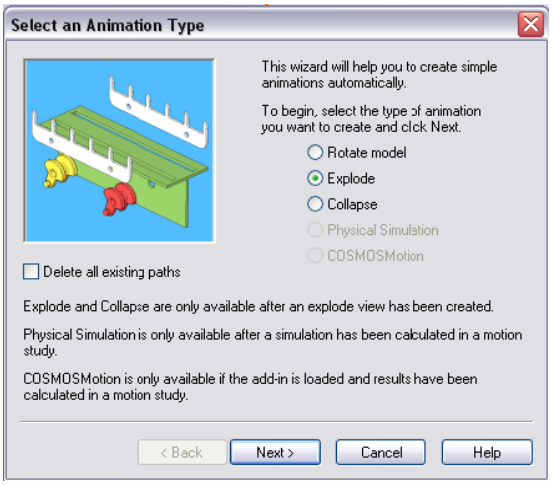
16.4.2. Izrada animacije montaže

Animacija montaže sklopa se vrši pomoću **Animation Wizard (Čarobnjak za animaciju)** koje se nalazi na paleti alata **Motion Study** (Slika 111).

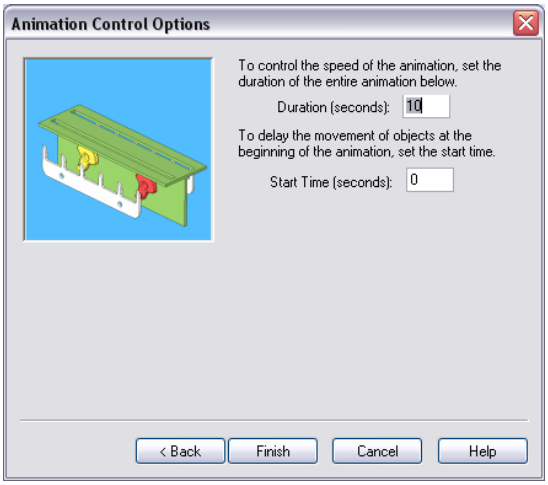


Slika 111. Animation Wizard na paleti alata Motion Study

Klikom na dugme **Animation Wizard** otvara se okvir za dijalog gdje je potrebno odabrati tip animacije **Explode** (rastavljanje sklopa) i pritisnuti na dugme **Next** (Slika 112.). U slijedećem koraku čarobnjaka potrebno je unijeti ukupno vrijeme animacije i vrijeme početka animacije na sljedeći način. Ovde ćemo u polje **Duration (seconds)** unijeti vrijednost „10“, a u polje **Start Time (seconds)** unijeti vrijednost „0“ i pritisnuti na dugme **Finish** (Slika 113.). Na ovaj način definisano je ukupno vrijeme trajanja animacije rastavljanja sklopa od deset sekunda i početak animacije od nula sekunda.

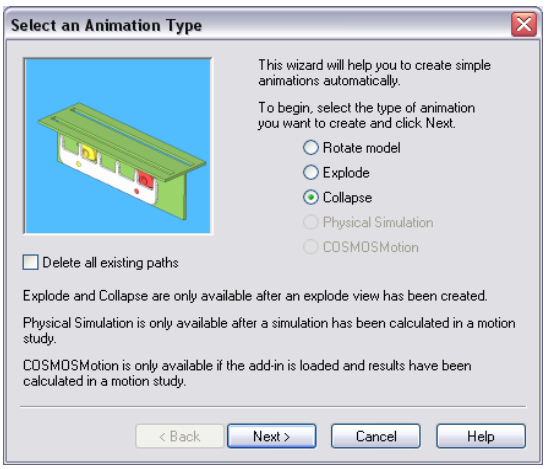


Slika 112.

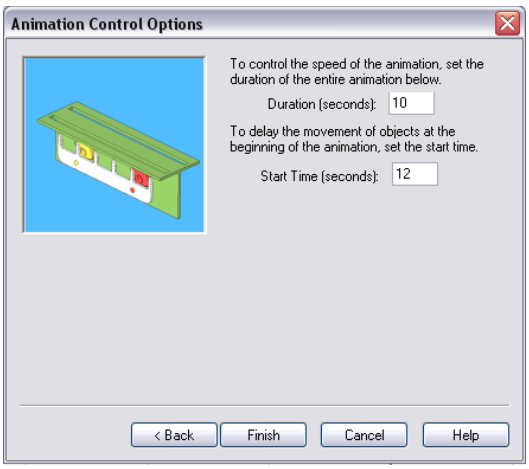


Slika 113.

Animiranje rastavljanja sklopa je završeno, nakon čega je potrebno animirati sastavljanje sklopa. Animiranje sastavljanja sklopa se također vrši pritiskom na dugme **Animation Wizard**. Otvara se okvir za dijalog gdje je potrebno odabrati tip animacije **Collapse** (sastavljanje sklopa) i pritisnuti na dugme **Next** (Slika 114.). Sada se otvara novi okvir za dijalog gdje je potrebno unijeti ukupno vrijeme animacije i vrijeme početka animacije na sljedeći način: u polje **Duration (seconds)** unijeti vrijednost „10“, a u polje **Start Time (seconds)** unijeti vrijednost „12“ i pritisnuti na dugme **Finish** (Slika 115.). Na ovaj način definisano je ukupno vrijeme trajanja animacije sastavljanja sklopa od deset sekunda i početak animacije sastavljanja nakon dvanaest sekunda.

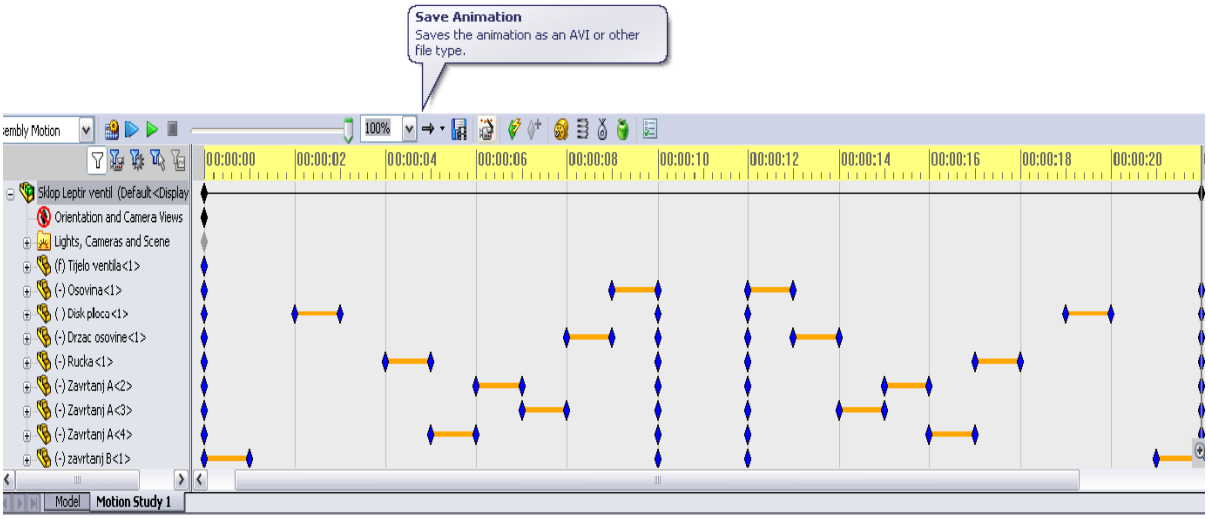


Slika 114.



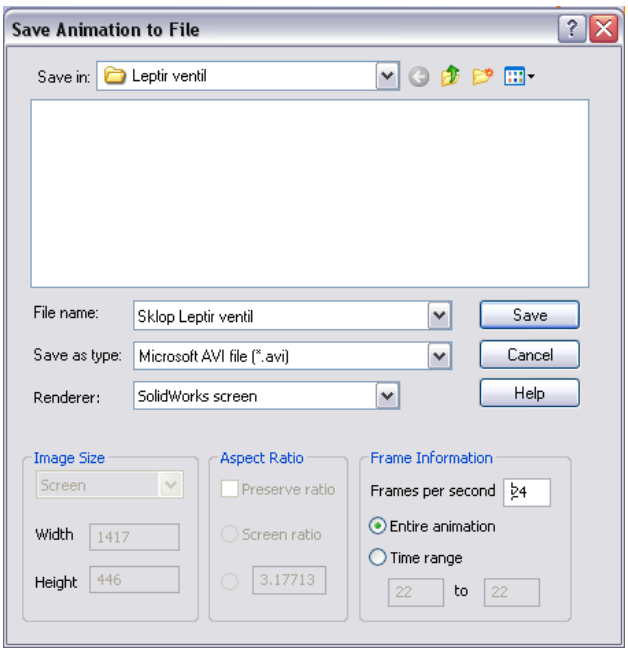
Slika 115.

Animiranje rastavljanja i sastavljanja sklopa je završeno. Ukupno vrijeme animacije iznosi 22 sekunde. Animaciju je sada potrebno spasiti na neku jedinicu za pohranu podataka, npr. tvrdi disk kao datoteku sa ekstenzijom *.avi*. Snimanje animacije sklopa se vrši pritiskom na dugme **Save Animation (Snimi animaciju)** koje se nalazi na paleti alata **Motion Study** (Slika 116.).



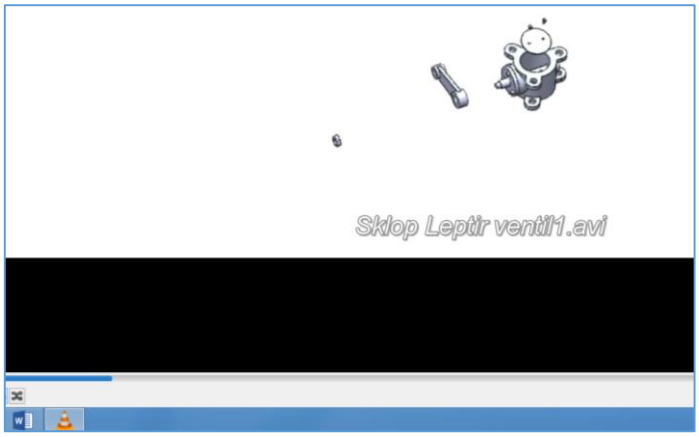
Slika 116.

Pritiskom na dugme **Save Animation**, otvara se okvir za dijalog gdje je potrebno odabrati lokaciju na tvrdom disku gdje će datoteka biti snimljena, ime datoteke, tip datoteke i kvalitet datoteke na sljedeći način (Slika 30) . U polju **Save in** potrebno je odabrati željenu lokaciju za snimanje datoteke. U polje **File name (Ime datoteke)** unijeti „Sklop Leptir ventil“. U polju **Save as type (Snimi kao tip)** odabrati **„**Microsoft AVI file“. U polje **Frames per secound (Frejmovi po sekundi)** potrebno je unijeti vrijednost „24“ i pritisnuti na dugme **Save (Snimi)**.



Slika 117.

Kada se pokrene .avi datoteka na ekranu monitora se može posmatrati montaža (Slika 118.). Tu je moguće uočiti nelogičnosti, ako ih ima i moguća poboljšanja procesa. Ako redoslijed montaže nije dobar (npr. neki dio koji se montira je zaklonjen drugim dijelom i ne može se montirati), potrebno je ponovo napraviti novi redoslijed sklapanja i ponoviti izradu animacije.



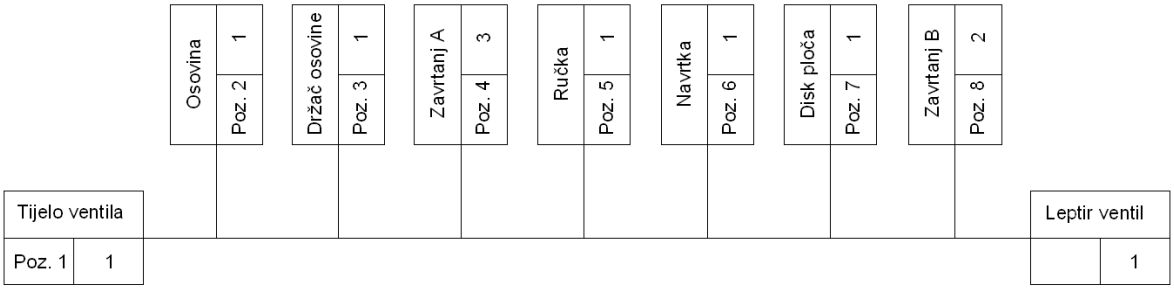
Slika 118. Animacija procesa montaže na ekranu

16.4.3. Izrada šeme procesa montaže uređaja Leptir ventil

Svi dijelovi od kojih se sastoji uređaj Leptir ventil dati su u tabeli 29. Na osnovu animacije sastavljanja i rastavljanja sklopa urađene u ovom primjeru, vrlo lako je uočiti koji dio se uzima kao bazni, tj. polazni prilikom procesa montaže i kojim redoslijedom se montiraju ostali dijelovi sklopa. Iz animacije zaključujemo da je bazni dio Tijelo ventila, dok se ostali dijelovi montiraju sljedećim redoslijedom: Osovina, Držač osovine, Zavrtanj A (3 komada), Ručka, Navrtka, Disk polča i Zavrtanj B (2 komada). Šema procesa montaže leptir ventila je prikazana na slici 119.

Tabela 29. Dijelovi Leptir ventila

Naziv dijela	Oznaka dijela	Broj komada
Tijelo ventila	Pozicija 1	1
Osovina	Pozicija 2	1
Držač osovine	Pozicija 3	1
Zavrtanj A	Pozicija 4	3
Ručka	Pozicija 5	1
Navrtka	Pozicija 6	1
Disk ploča	Pozicija 7	1
Zavrtanj B	Pozicija 8	2



Slika 119. Šema procesa montaže proizvoda Leptir ventil

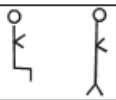
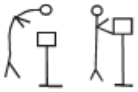
LITERATURA

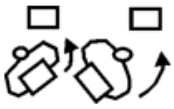
[1] Nadrljanski Đ, TEORIJA SUSTAVA I UPRAVLJANJA, ISBN: 978-953-336-055-3, izdavač Redak, 2013.
[2] Kalajdžić M, Tehnologija mašinogradnje,ISBN: 86-7083-190-2, Mašinski fakultet Beograd, VII izd, 1998,
[3] El Wakil S. D, 1998, "Processes and Design for Manufacturing", Second edition, PWS Publishing Company, Boston, MA, USA,
[4] Brdarević S, "Projektovanje proizvodnih sistema", Mašinski fakultet u Zenici, Zenica,1996.
[5] Brdarević S, "Održavanje sredstava za rad", Mašinski fakultet, Zenica, 1996,
[6] Hadžiomerović N., 1981, "Tehnologija mašinogradnje", Mašinski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić" u Mostaru,
[7] Jurković M., Karabegović I., 1998, "Razvoj i oblikovanje novih proizvoda od ideje do primjene", Međunarodni skup DIR'98, Bihać, Zbornik radova,
[8] Mečanin V., Jurković M., Višekruna V., 1988, "Tehnološki procesi automatske proizvodnje", Svjetlost, Sarajevo,
[9] Jovanović A, Mihajlović I, ŽivkovićŽ, Upravljanje proizvodnjom, Tehnički fakultet u Boru, 2005.
[10] Tiro D, Kevelj J, "Konstruisanje za proizvodnju", Mašinski fakultet Mostar, ISBN 9958-9470-6-4, 2005,
[11] Zelenović D., "Projektovanje proizvodnih sistema", Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2003,
[12] Zelenović D., "Proizvodni sistemi - zbirka zadataka", Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 1972,
[13] Kevelj J, „Konstrukcije alata i pribora za obradu rezanjem“, Mašinski fakultet Mostar, 2009.
[14] Klarić S, Pobrić S, 2009, Upravljanje kvalitetom, Mašinski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić" u Mostaru, ISBN 978-9958-604-40-9
[15] http://www.tvz.hr/strojarstvo/strojarstvo.html
[16] Brdarević S., 1985, "Određivanje uspješnosti funkcije održavanja", Mašinski fakultet u Zenici, Zenica,
[17] Ćosić I., Zelenović D., 1991, "Montažni sistemi", Nauka, Beograd, ISBN 8676210454,
[18] Otašević V., Ćorić B. i drugi autori, 1989, “Organizacija i ekonomika proizvodnje”, Informator, Zagreb,
[19] Majdandžić N., 1997, "Računalom integrirana proizvodnja", Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osjeku, Strojarski fakultet u Slavonskom brodu, ISBN 9536048116
[20] Vodenik F., Gačnik V., 1990, “Projektiranje proizvodnih procesa”, Tehnička knjiga, Zagreb,
[21] http://hr.wikipedia.org/wiki/Hrapavost_povr%C5%A1ine
[22] Milošević M., “Tolerancije u Solid Works-u”, E-learning of Engineering Graphics, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet
[23] Jurković M., 1999, "Matematičko modeliranje inžinjerskih procesa i sistema", Mašinski fakultet Bihać, Bihać,
[24] Ćosić I., 1991, "Montažni sistemi - zbirka zadataka", Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad,
[25] Omanović M., 1991, “Problemi zaštite okoline u proizvodnji i preradi metala”, Dom štampe, Zenica,
[26] Boothroyd Dewhurst Home Page, http// www.dfma.com
[27] Sebastijanović S., Tufekčić Dž., 1998, "Održavanje", Fakultet elektrotehnike i mašinstva u Tuzli, Tuzla,
[28] Adamović Z., Todorović J., Jeftić M., 1988, "Organizacija održavanja", OMO, Beograd
[29] Crow K., 1996, "Design for Manufacturability Imperative", DRM Associates
[30] Ćosić I., Anišić Z., 2001, "IIS -DFA Software for Rating and Enhancment of the Design for Assembly Suitability", Proceedings of the 2nd International Conference "Business Systems Management - UPS 2001", 31st May - 2nd June, Mostar
[31] http://www.3dcadbrowser.com/download.aspx?3dmodel=59112
[32] Musafija, B., Obrada metala plastičnom deformacijom, Svjetlost Sarajevo, 1970.
[33] Stanić, J., Osnovi teorije mjernih lanaca, Mašinski fakultet Beograd, 1990.
[34] Simeunović, Z., Proizvodni procesi, Svjetlost, Sarajevo, 1985.
[35] GačnikV, VodenikF, 1990, "Projektiranje tehnoloških procesa", Tehnička knjiga, Zagreb,
[36] Tufekčić Dž, Jurković M, Šelo R, Osmanović J, 2001, "Programiranje na CNC mašinama", JU Univerzitet u Tuzli, Tuzla,
[37] Jurković M, Tufekčić Dž, 2000, "Tehnološki procesi - projektiranje i modeliranje", JU Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet, Tuzla,
[38] ***, 1986, "Mala enciklopedija Prosveta", Prosveta, Beograd,

[39] Oberšmit E., 1983, "Osnove konstruisanja - tehnološki ispravno konstruktivno oblikovanje strojnih dijelova", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb,
[40] Majdandžić N, Lujić R, Matičević G, Šimunović G, Majdandžić I, 2001, "Upravljanje proizvodnjom", Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osjeku, Strojarski fakultet u Slavonskom brodu,
[41] http://lab405.fesb.hr/igraf/Frames/fP1_11.htm
[42] http://www.wadeinstruments.com/ez_schematics_pro/description.htm
[43] http://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1359365462-0-tehnolokapripremaproizvodnje_10_2012_2013.pdf
[44] Mitrofanov, S.P., „Naučni temelji grupne tehnologije“, Privreda, Zagreb, 1964.
[45] https://www.sfsb.hr/~isvalina/Tablice%20za%20PiUP.pdf
[46] Kraut, B, Strojarski priručnik, Sajema d.o.o., ISBN 9789537370022, Zagreb, 2009.
[47] Majstorović V., „Organizacije i ekonomike proizvodnje - zbirka zadataka“, Mašinski fakultet Univerziteta „Džemal Bijedić“ Mostar, 1988.
[48] Vitas D., „Osnovi mašinskih konstrukcija“, Mašinski fakultet Beograd, Naučna knjiga, 1984.

PRILOG

Tabele za primjenu Metode poznatih vremena

	KOEFICIJENT DADATNOG VREMENA							
Način rada	KOEFICIJENT ZAMORA Kn							
1. Sjedanje ili stajanje uz rukovanje alatima ili predmetima			Teret koji treba savladati /dan/					
	do 5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29
2. Vršenje rada u klečećem ili ležećem položaju			Teret koji treba savladati /dan/					
	do 5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
	0,30	0,33	0,35	0,37	0,42	0,42	0,44	0,47
3. Vršenje rada u ležećem stavu			Teret koji treba savladati /dan/					
	do 5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
	0,41	0,44	0,46	0,45	0,51	0,54	0,56	0,59
4. Podizanje-skidanje tereta sa raznih visina			Teret koji treba podignuti /dan/					
	do 5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
do 40 cm	0,24	0,25	0,27	0,30	0,33	0,36	0,40	0,44
od 40 do 80 cm	0,18	0,20	0,23	0,26	0,30	0,34	0,38	0,44
od 80 do 120 cm	0,15	0,17	0,20	0,24	0,28	0,33	0,39	0,46
od 120 do 160 cm	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30	0,37	0,44	0,53
od 160 do 180 cm	0,17	0,19	0,22	0,27	0,34	0,42	0,52	-

Način rada		KOEFICIJENT ZAMORA						Kn	
5. Pomicanje ili vučenje tertea na raznim visinama		Teret koji treba savladati /daN/							
Visina na kojoj je teret	Trajanje rada	Do 5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	
Do 40 cm	kratko	0,18	0,19	0,22	0,24	0,27	0,30	0,33	-
	dugo	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,42	-
40 do 80 cm	kratko	0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,27	0,31	-
	dugo	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,34	0,38	-
80 do 120 cm	kratko	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,23	0,26	-
	dugo	0,13	0,16	0,19	0,22	0,26	0,31	0,37	-
120 do 160 cm	kratko	0,11	0,13	0,15	0,18	0,21	0,24	0,28	-
	dugo	0,13	0,16	0,20	0,24	0,29	0,36		-
60 do 180 cm	kratko	0,13	0,15	0,18	0,22	0,27	-	-	-
	dugo	0,16	0,20	0,29		-	-	-	-
6. Prebacivati teret rotiranjem		 Teret koji treba prebaciti /daN/							
Visina na kojoj je teret	Način rada	do 5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
do 40 cm	mala	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43
	velika	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,42	0,45
40 do 80 cm	mala	0,21	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,38
	velika	0,22	0,25	0,27	0,30	0,33	0,36	0,35	0,43
80 do 120 cm	mala	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,26	0,29	0,39
	velika	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,39
120 do 160 cm	mala	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31	0,36
	velika	0,18	0,21	0,23	0,26	0,30	0,34	0,39	-
160 do 180 cm	mala	0,17	0,19	0,22	0,24	0,28	0,33	0,39	-
	velika	0,20	0,23	0,25	0,28	0,32	0,37	0,44	-

		Koeficijenti dodatnog vremena Koeficijenti djelovanja okoline			K_a
Opis utjecajnosti na okolinu					
Zaprašenost	Zadimljenost	Zagađenost neugodnim mirisom	Zasićenost rasprašin. i parama	Efektivna Temperat. t_e ^{0}C	Koeficijent
Normalna				18 18,5 19	1,00 1,05 1,10
				19,5 20 20,5	1,15 1,20 1,25
				21 21,5 22	1,3 1,35 1,4
Uočljiva	Mala	Neznatna		22,5 23 23,5	1,45 1,50 1,55
Dobra uočljiva	Uočljiva	Mala	Jedna uočljiva	24 24,5 25	1,65 1,75 1,85
Znatna	Dobra uočljiva	Uočljiva	Neznatna	25,5 26 26,5	1,95 2.05 2,10
Velika	Znatna	Dobra uočljiva	Mala	27 27,5 28	2,15 2,25 2,35
Vrlo velika	Velika	Znatna	Uočljiva	28,5 29 29,5	2,45 2,55 2,70
	Vrlo velika	Velika	Dobro uočljiva	30 30,5 31	2,85 3,00 3,15
Gotovo nepodnoš.	Gotovo Nepodnošl.	Vrlo velika	Znatna	31,5 32 32,5	3,3 3,5 3,7
		Gotovo nepodnoš.	Velika	33 33,5 34	3.9 4,15 4,4
Nepodnoš.	Nepodnoš.	Nepodnoš.	Vrlo velika	34,5 35 35,5	4,65 5,0 5,4

t°c na suhom	Relativna vlažnost zraka u vlažnoj prostoriji																			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	18	18,5	18,5	18,5	19
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	18,5	18,5	19	19	19	19	19	19,5	20
23	-	-	-	-	18	18	18	18	18,5	18,5	19	19,5	19,5	19,5	20	20	20	20,5	20,5	21
24	-	-	-	18	18,5	18,5	19	19	19,5	19,5	20	20	20,5	20,5	21	21	22,5	21,5	21,5	22
25	18	18,5	18,5	19	19	19	20	20	20	20,5	21	21	21	21,5	21,5	22	22,5	22,5	22,5	23
26	18,5	19	19	19,5	19,5	20	20,5	21	21	21,5	21,5	22	22	22,5	22,5	23	23,5	23,5	24	24
27	19	20	20	20	20,5	21	21,5	22	22	22,5	22,5	23	23	23,5	23,5	24	24,5	24,5	25	25
28	19,5	20,5	20,5	21	21,5	21,5	22	22,5	22,5	23	23	23,5	24	24,5	24,5	25	25	25,5	26	26
29	20	21	21,5	21,5	22	22	22,5	23	23,5	24	24	24,5	25	25	25,5	26	26	26,5	26,5	27
30	20,5	21,5	22	22	22,5	23	23,5	24	24	24,5	25	25,5	25,5	26	26	26,5	27	27	27,5	28
31	21	22	22,5	23	23	23	24	24,5	25	25,5	26	26	26,5	26,5	27	27,5	28	28	28,5	29
32	21,5	22,5	23	23,5	24	24,5	24,5	25	25,5	26	26,5	26,5	27	27,5	28	28,5	28,5	29	29,5	30
32	22	23	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29	29,5	30	31	31,5
34	22,5	23,5	24,5	25	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31	32	33
35	23,5	24,5	25	25,5	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31	31,5	32,5	33	34
36	24	25	25,5	26	26,5	26,5	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31,5	32	32,5	33	33,5	34	35
37	24,5	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31,5	32	32,5	33	33,5	34	35	36
38	25	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31,5	32	32,5	33	33,5	34	35	36	37
39	25,5	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	31	31,5	32	32,5	33	33,5	34	35	36	37	38
40	26,5	27	27,5	29	28,5	29	29,5	30	31	31,5	32	32,5	33	33,5	34	35	36	37	38	

Koeficijent dodatnog vremena

Odjeljenje efektivne temperature

DALJINA PRENO-ŠENJA (cm)	VRIJEME U TMU JEDINICAMA				RUKA U POKRETU	
	A	B	C ili D	E	A	B
Do 2	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6	1,6
4	3,4	3,4	5,1	3,2	3,0	2,4
6	2,5	4,5	6,3	4,4	3,9	3,1
8	5,5	5,5	7,5	5,3	4,6	3,7
10	6,1	6,3	8,4	6,5	4,8	4,3
12	6,4	7,4	9,1	7,3	5,2	4,8
14	6,8	8,2	9,7	7,8	5,5	5,4
16	7,1	9,8	10,3	8,2	5,8	5,9
18	7,5	9,4	10,5	8,7	6,1	6,5
20	7,8	10,0	11,4	9,2	6,3	7,1
22	8,1	10,5	11,9	9,7	6,8	7,7
24	8,8	2,0	2,0	2,0	7,1	8,2
26	8,8	11,7	13,0	10,7	7,4	8,8
28	9,2	12,2	13,6	11,7	7,7	9,4
30	9,5	12,8	14,1	11,7	8,0	9,9
35	10,4	14,2	15,5	12,9	8,8	11,4
40	11,3	15,6	16,8	14,1	9,6	12,8
45	12,1	17,0	18,2	15,3	10,4	14,2
50	13,0	18,4	19,6	16,5	11.2	15,7
55	13,9	19,8	20,9	17,8	12,0	17,1
60	14,7	21,2	22,3	19,0	12,8	18,5
65	15,6	22,6	23,6	20,2	13,5	19,9
70	16,5	24,1	25,0	21,4	14,3	21,4
75	17,3	25,5	26,4	22,6	15,1	22,8
80	18,2	26,9	27,7	23,9	15,9	24,2

SLUČAJ I OPIS
A DOSEGNUTI DO PREDMETA KOJI JE POSTAVLJEN NA ODREĐENO MJESTO, ILI DO PREDMETA U DRUGOJ RUCI ILI NA KOME DRUGA RUKA LEŽI
B DOEGNUTI DO JEDNOG PREDMETA KOJI SE NALAZI NA MJESTU KOJI MOŽE NEZNATNO DA SE MIJENJA OD CIKLUSA DO CIKLUSA
C DOSEGNUTI DO PREDMETA KOJI JE IZMJEŠAN SA GRUPOM DRUGIH PREDMETIMA ZBOG ČEGA JE POTREBNO TRAŽENJE I ODABIRANJE
D DOSEGNUTI DO NEKOG VRLO MALOG PREDMETA KOJI ZAHTIJEVA VRLO PRECIZNO HVATANJE
E DOEGNUTI DO NEKOG NEODREĐENOG MJESTA RADI POSTAVLJANJA ŠAKE U POLOŽAJ ZA KRATKU RELAKSACIJU TIJELA ILI RADI SLJEDEĆEG POKRETA ILI PO STRANI

DALJINA PRENOŠENJA (cm)	VRIJEME U TMU JEDINICAMA				DODATNO VRIJEME ZA TERET			SLUČAJ I OPIS
	Ruka u pokretu							
	A	B	C	B	Težina /daN/ do	Faktor	Konstantna TMU	
DO 2	2,0	2,0	2,0	1,7	1	1,00	0,0	A PRENIJET PREDMET U DRUGU RUKU ILI DO GRANIČNIKA
4	3,1	4,0	4,5	2,8	2	1,04	1,6	
6	4,1	5,0	5,8	3,1	4	1,07	2,8	
8	5,1	5,9	6,9	3,7	6	1,12	4,3	
10	6,0	6,8	7,9	4,3	8	1,17	5,8	
12	6,9	7,7	8,8	4,9	10	1,22	7,3	
14	7,7	8,5	9,8	5,4	12	1,27	8,8	
16	8,3	9,2	10,5	6,0	14	1,32	10,4	B PRENIJET PREDMET DO PRIBLIŽO-NO OD PREDNJEG MJESTA ILI NA NEKO NEODRE-ĐENO MJESTO
18	9,0	9,8	11,1	6,5	16	1,36	11,9	
20	9,6	10,5	11,7	7,1	18	1,41	13,4	
22	10,2	11,2	12,4	7,6	20	1,46	14,9	
24	10,8	11,8	13,0	8,2	22	1,51	16,4	
26	11,5	12,3	13,7	8,7				
28	12,1	12,8	14,4	9,3				
30	12,7	13,3	15,1	9,8				
35	14,3	14,5	16,8	11,2				
40	15,8	15,6	18,5	12,6				C PRENIJET PREDMET DO TAČNO ODREĐE-NOG MJESTA
45	17,4	16,8	20,1	14,0				
50	19,0	18,0	21,8	15,4				
55	20,5	19,2	23,5	16,8				
60	22,1	20,4	25,2	18,2				
65	23,6	21,6	26,9	19,5				
70	25,2	22,8	28,6	20,9				
75	26,7	24,0	30.3	22,3				
80	28,3	25,2	32,0	23,7				

T E Ž I N A		VRIJEME U TMU JEDINICAMA ZA STEPEN OKRETANJA OD										
		35°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
MALA 0,0 do 0,9 daN	S	2,8	3,5	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8	7,4	8,1	8,7	9,4
SREDNJA do 4,5 daN	M	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5	9,6	10,6	11.6	12,7	13,7	14,8
VELIKA 4,6 DO 15,8	L	8,4	10,5	12,3	14,4	16,2	18,3	20,4	22,2	24,3	26,1	28,2
PRIMJENITI PRITISAK SLUČAJ 1-16,2 TMU PRIMJENITI PRITISAK SLUČAJ 2-10,6 TMU												

HVATANJE - G

SLUČAJ	VRIJEME TMU	O P I S
1A	2,0	HVATANJE SA DIZANJEM – mali, srednji ili veliki predmet koji se lahko hvata
1B	3,5	Vrlo mali predmet ili predmet koji leži na ravnoj površini
1C1	7,3	Smetnje pri hvatanju sa dna i sa sa jedne strane predmeta koji imaju skoro cilindričan oblik, prečnika manjeg od 1,2 cm
1C2	8,7	Smetnje pri hvatanju sa dna i sa jedne strane predmeta koji imaju skoro cilindričan oblik, prečnika 0,6 do 1,2 cm
1C3	10,8	Smetnje pri hvatanju sa dna i sa jedne strane predmeta koji imaju skoro cilindričan oblik, prečnika manjeg od 0,6
2	5,6	Ponovno hvatanje
3	5,6	Hvatanje radiprenosa
4A	7,3	Predmet izmješan sa drugim predmetima pa je potrebno traženje i odabiranje, veći od 2,5x2,5x2,5 cm
4B	9,1	Predmet izmješan sa drugim predmetima pa je potrebno traženje i odabiranje, veći od 0,6x0,6x0,3 do 2,5x2,5x2,5 cm
4C	12,9	Predmet izmješan sa drugim predmetima pa je potrebno traženje i odabiranje, manji od 0,6x0,6x0,3 cm
5	0,0	Hvatanje sa dodirom, klizajuće ili pomoću ruke

STEPEN UKLAPANJA		SIMETRIČNOST	L LAKO ZA RUKOVANJE	D TEŠKO ZA RUKOVANJE
1-KOMOTNO	NIJE POTREBAN PRITISAK	SIMETRIČNO S	5,6	11,2
		POLUSIMETRIČNO SS	9,1	14,7
		NESIMETRIČNO NS	10,4	16,0
2-PRIBLIŽNO	POTREBAN MALI PRITISAK	SIMETRIČNO S	16,2	21,8
		POLUSIMETRIČNO SS	19,7	25,3
		NESIMETRIČNO NS	21,0	26,6
3-TAČNO	POTREBAN VELIKI PRITISAK	SIMETRIČNO S	43,0	48,6
		POLUSIMETRIČNO SS	46,5	52,1
		NESIMETRIČNO NS	47,8	53,4

PUŠTANJE RL

SLUČAJ	VRIJEME TMU	O P I S
1	2,0	Normalno puštanje koje se vrši otvaranjem prstiju kao nezavisan pokret
2	0,0	Puštanje – dodir prekinut

ODVAJANJE - D

STEPEN UKLAPANJA	LAKO ZA RUKOVANJE	TEŠKO ZA RUKOVANJE
1-komotno - vrlo mali napor koji se objedinjuje sa narednim pokretom	4,0	5,7
2-približno-normalan napor, slab trzaj	7,5	11,8
3-tačno – znatan napor, ruka se osjetno trza	22,9	34,7

STEPEN UKLAPANJA I RAZMAK	SIMETRI-ČNOST	SAMO PO-RAVNATI	DUBINA UVLAČENJA (NA 6mm)			
			0	2	4	6
21 3,80 – 8,88 mm	S	3,0	3,4	6,6	7,7	8,8
	SS	3,0	10,3	13,5	14,6	5,7
	NS	4,8	15,5	18,7	19,8	0,9
22 0,63 – 3,78 mm	S	7,2	7,2	11.9	13.0	14,2
	SS	8,0	14,9	19,6	14,6	21,9
	NS	9,5	20,2	24,9	26,0	27,2
23* 0,12 – 0,60 mm	S	9,5	9,5	16,3	18,7	21,0
	SS	10,4	17,3	24,1	26,5	28,8
	NS	12,2	22,9	29,7	32,1	34,4
*VEZIVANJE – dodati očitani broj koji se odnosi na primjeniti pritisak TEŠKO RUKOVANJE – dodati očitani broj koji se odnosi na C2						
**Odrediti simetričnost pomoću geometrijskih osobina, s tim što se ne treba koristiti ako je predmet orijentiran prija prethodnog prenošenja						

PRIMJENITI PRITISAK – AP (dopunski podaci)

Primjeniti silu (AS) = 1,0+(0,3*daN)*TMU za teret do 4,5 daN = 4,0 TMU za 4,5 daN I više	
Zadržavanje, minimalno (DM) = 4,2 TMU	Otpuštanje – prestanak sile (RLP) = 3,0 TMU
AP = AF + Dwell + RLF	APB = AP + G2

VRIJEME ZA KOJE OKO PREĐE ODREĐENU PUANJU = $\frac{T}{D}.15\ ,2$ VRIJEME FOKUSIRANJA OKA =7,3 TMU	gdje je: T – daljina između krajnjih tačaka putanje oka D – okomito odstojanje od oka do linije putanje T

POKRETI TIJELA, NOGE I STOPALA

OPIS	OZNAKA	DALJINA	VRIJEME TMU
Pokreti stopala – savijanje	FM	do 10 cm	8,5
u članku	FMP		19,1
s velikim	LM	do 15 cm	7,1
pritiskom	svaki dalji cm		1,2
Pokret noge ili podkoljenice			
Korak u stranu	SS-C1	manje od 30 cm	Uzeti vrijeme pokreta dosegnuti ili pomjeriti
- slučaj 1 – završava se kad ispružena noga dodirne pod		30 cm	17,0
		svaki dalji cm	0,6
- slučaj 2 – druga noga mora dodirnuti pod prije slijedećeg pokreta	SSC2	30 cm	34,1
		svaki dalji cm	1,1
Savijanje, saginjanje ili Klečenje na jednom mjestu	B,S KOK		29,0
Podizanje	AB,AS AKOK		31,9
Klečenje na podu na oba Koljena	KBK		69,4
Podizanje	AKBK		76,7
Sjedenje	SIT		34,7
Ustajanje iz sjedećeg pol.	STD		43,4
Okretanje tijela za 45 do 90 stepeni			
slučaj 1 – završava se kad ispružena noga dodirne pod	TBC 1		18,6
slučaj 2 – druga noga mora dodirnuti pod prije sljedećeg pokreta	TBC 2		37,2
HODANJE	W-FT	Po pokretu stope	5,3
HODANJE	W-P	Po koraku	15,0