

## 5 REZALNA ORODJA

### 5.1 ORODNI SISTEMI

Učinkovitost in zanesljivost orodnega sistema odločilno vplivata na produktivnost posameznih obdelovalnih strojev. Učinkovitost je definirana z rezalno hitrostjo, podajanjem, presekom in volumnom odrezkov in z izdelovalnim časom oziroma količino izdelanih izdelkov. Ločimo tehnološko in geometrijsko zanesljivost orodja.

Tehnološka zanesljivost orodja pove, pri katerih rezalnih pogojih še ne nastopi povečana obraba orodja ali njegov zlom, kar bistveno vpliva na izdelovalne čase in količino izdelanih izdelkov. Merimo jo v efektivnem času uporabe orodja.

Geometrijska zanesljivost orodja pomeni nespremenljivo geometrijo orodja in izmere med obdelavo. Orodja so običajno vnaprej nastavljena, NC-program pa te izmere upošteva. Če med obdelavo pride do spremembe geometrije orodja, se spremenijo tudi mere obdelovanca. Pri modernih CNC-strojih lahko razne geometrijske odstopke upoštevamo tudi med obdelavo, in sicer tako, da izvedemo korekture gibanja orodja [3].

Izvedba orodnih sistemov je odvisna od vrste obdelave (vrtanje, struženje, frezanje ...) ter od konstrukcijskih posebnosti posameznega obdelovalnega stroja.

Zahteve, ki jih mora izpolnjevati orodni sistem, so:

- hitro in varno rokovanje,
- možnost prednastavljanja orodij,
- velika ponovljivost pri izmenjavi orodij,
- zbiranje podatkov o orodjih v orodni podatkovni bazi in upravljanje z njimi,
- nadzor orodij.

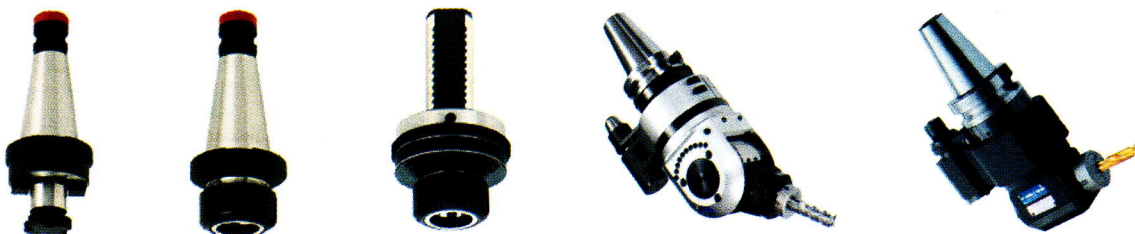
V orodni sistem spadajo:

- orodja,
- vpenjalne priprave za vstavljanje orodij v vreteno stroja,
- držala orodij,
- orodna skladišča,
- naprave za menjavo orodij,
- sistem za računalniško upravljanje orodij.

Vpenjalne priprave so lahko različnih tipov, predvsem pa morajo biti prilagojene obliki vpenjalne izvrtine na vretenu stroja, ki pa je večinoma standardizirana po ISO oziroma DIN standardu. V grobem lahko te priprave razdelimo na priprave za stružilna orodja ter priprave za vrtalna in frezalna orodja.

Na CNC-stružnicah uporabljamo dva orodna sistema, in sicer indeksirani orodni revolver in orodni magazin v povezavi z izmenjevalno napravo. Orodni revolver je lahko zvezdaste, ploščate ali bobnaste oblike. Orodni magazin omogoča hranjenje večjega števila orodij z minimalnim tveganjem glede kolizije v delovnem območju obdelovalnega CNC-stroja. CNC-stružnice, ki imajo numerično krmiljeno glavno vreteno (os C), lahko uporabljajo v revolverski glavi gnana orodja.

Na vrtalno-frezalnih CNC-strojih je najvažnejši element orodnega sistema vpenjalni trn. Obstajajo različne izvedbe vpenjalnih trnov, ki se med seboj razlikujejo v konusih, vprijemnih žlebovih za avtomatsko menjavo orodja, referenčnih točkah za orientacijo orodja in vrsti sistemov vpenjanja v vreteno obdelovalnega stroja.



Slika 22: Vrste vpenjalnih priprav za orodja



**Slika 23: Orodni sistemi (frezalni stroj – levo, stružnica – desno) [22]**

## 5.2 ORODJA

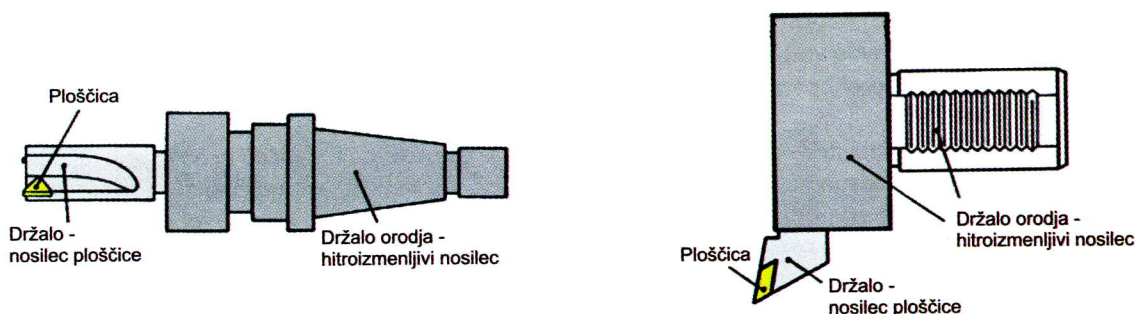
Za obdelavo na CNC-strojih uporabljamo sodobna rezalna orodja, ki so sestavljena iz držala in menjalnih rezalnih ploščic različnih oblik. Ploščice mehansko pritrdimo na držala različnih oblik, le-te pa v hitromenjalni nosilec orodja ali revolversko glavo (na stružnicah) ter trne ali stročnice (na frezalnih strojih). Držala in ploščice same se po obliki in velikosti prilagajajo vrsti delovne operacije in geometrijskim oblikam obdelovanca in surovca ter so večinoma standardizirana po ISO in DIN standardu.

Izbira pravilnega materiala za orodje se kaže v večji konkurenčnosti, to je v večji produktivnosti, boljši kakovosti in manjših stroških. Zahteve do orodij so raznolike, vsak orodni material ima svoje zakonitosti, ki ga postavljajo v ospredje za določeno uporabo. Na izbiro pravilnega materiala vplivajo naslednje zahteve:

- trdota orodja mora biti večja od trdote obdelovanca,
- čim večja temperaturna trdota,
- čim manjša nagnjenost k obrabi,
- čim večja žilavost,
- čim manjše trenje med orodjem in obdelovancem,
- čim nižja cena.

Na mehanske in fizikalne lastnosti orodnega materiala močno vpliva predvsem povišana temperatura zaradi toplote, ki nastaja v rezalnem procesu. Povišana temperatura vpliva predvsem na padec trdote. Za obdelavo jekla in drugih kovinskih materialov imamo na voljo paleto številnih orodnih materialov. Rezilna orodja so tako danes narejena iz orodnih jekel, hitroreznih jekel, karbidnih trdin, oslojenih orodnih materialov, cermetov, keramike, polikristalnega kubičnega borovega nitrda in polikristalnega diamanta. Vsi ti materiali se zelo razlikujejo tako v žilavosti kot v obrabni sposobnosti in temperaturni trdoti.

Proizvajalci orodij ponujajo veliko paleto vpenjalnih sistemov in orodij iz različnih rezalnih materialov ter različnih geometrij. Katalogi so lahko v knjižni obliki, na zgoščenkah ali pa so dostopni preko spleta v različnih oblikah.

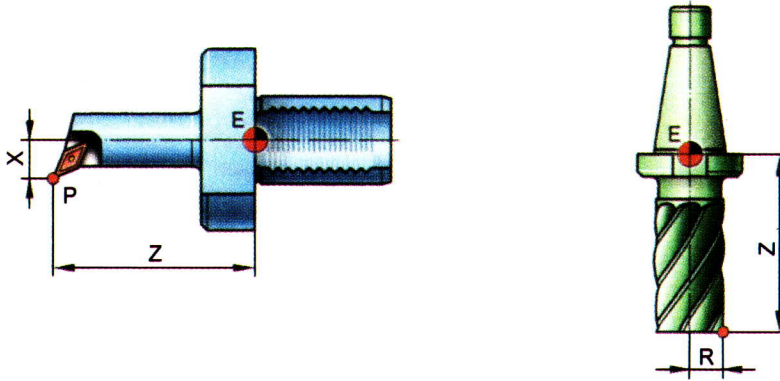


**Slika 24: Sistem priprave orodja**



### 5.3 UMERJANJE ORODJA

Glede na geometrijsko obliko obdelovanca uporabljamo različna rezalna orodja, zato jih moramo pred uporabo izmeriti v smeri posamezne osi oziroma jim izmeriti lego rezalnega roba glede na referenčno točko vpenjalne priprave oziroma vpenjanja orodja (E, N, T). Ko je orodje pritrjeno v vreteno, mora krmilnik vsa navodila za pomike korigirati glede na rezalni rob. S tem lahko vnaprej podano konturo obdelovanca programiramo neodvisno od vstavljenega orodja.



**Slika 25: Vpetje stružnega noža (levo) in frezala (desno) ter referenčne točke**

Orodja lahko izmerimo na več načinov, in sicer:

- na stroju samem ali
- izven stroja na posebnih merilnih mestih (prednastavljanje).

Na stroju samem orodje izmerimo tako, da ga vpneemo na njegovo mesto in nato izmerimo lego konice oziroma rezalnega roba mehansko, optično ali elektronsko. Včasih so se umerjanju orodja na samem stroju izogibali, ker je bil postopek dolgotrajen, stroj pa je miroval in ni bil ekonomičen. Z uporabo elektronskih merilnih sistemov (merilne roke) na sodobnih CNC-strojih je umerjanje orodja postalo zelo hitro in natančno. V teh primerih je elektronski merilni sistem povezan s krmilnikom, izmerjene vrednosti orodja pa se takoj prenesejo v pomnilnik krmilnika. Orodja se umerjajo tik pred uporabo, kar še dodatno poveča točnost izdelka.

Najpogostejši način umerjanja orodij pa je prednastavljanje, ki poteka izven stroja na posebnih napravah za umerjanje. Na merilnem mestu imamo prijemalo, ki je podobno prijemalu na stroju, kamor vpneemo orodje skupaj s hitroizmenljivim držalom. Umerjanje lahko poteka mehansko, optično, večinoma pa elektronsko. Osnovo za prednastavitev orodja predstavlja orodni list, v katerega vpišemo vrsto orodja, tip držala, tip rezalne ploščice, mere orodja in tehnološke podatke. Na osnovi orodnega lista se vpišejo podatki o orodju v krmilnik stroja. Če je merilno mesto povezano z računalnikom CNC-stroja ali DNC-računalnikom, se podatki o orodju avtomatsko shranijo v pomnilnik stroja ali računalnika.

Za izvedbo prednastavitve rezalnih orodij in avtomatsko zamenjavo orodij mora imeti vsako orodje svoje držalo. Držalo je sestavljeno iz [3]:

- dela za vlaganje, namestitvev in pritrdjevanje rezalne ploščice,
- dela za kodiranje (čip), ki nosi informacijo o orodju,
- dela za vlaganje v glavno vreteno naprav za prednastavitev ali skladiščenje orodja,
- dela za pritrditev in prenos vrtilnega momenta.

Zanesljivo in natančno prednastavitev orodja omogočimo s tem, da zagotovimo natančen in enak prijem držala orodja na stroju in napravi za prednastavitev ter tudi ujemanje ničelne točke držala z ničelno točko stroja. Tak način umerjanja omogoča stalno delovanje stroja, gospodarnejše ravnanje z orodji, nadzor obrabe orodij in zalog.

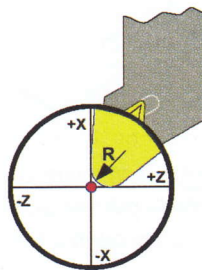
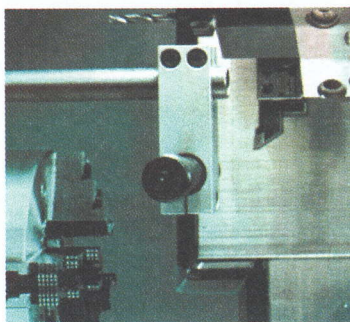
### 5.3.1 MEHANSKO UMERJANJE

Mehanski način umerjanja je najmanj točen in je zastarel. Točnost takšnega umerjanja znaša od 0.1 mm za merjenje s šablono do 0.01 mm za merjenje z merilno uro. Mehansko umerjamo orodja s pomočjo šablon, nonija, merilne ure, merilnih kladic, mikrometra, delovnega prototipa, z dotikom na obdelovanec.

### 5.3.2 OPTIČNO UMERJANJE

Optično umerjanje orodja je natančnejše. Izvajamo ga z optičnimi pripravami ali okularji. Razširjena sta dva načina optičnega prednastavljanja:

- s pomočjo nitnega križa optičnega merilnika – V okularju merilnika vidimo križ, konico noža pa moramo nastaviti v sredino križa, šele nato fiksiramo nož v držalu. Držalo noža in optični merilnik sta nepomična. Nato odčitamo ali shranimo vrednosti za korekcijo orodja.
- s pomočjo pomične merilne priprave – Nož najprej vpneemo v hitroizmenljivo držalo, ga nastavimo po višini in ga vpneemo v merilno mesto. Nato pomikamo optični merilnik ali orodje toliko časa, da dobimo ustrezno sliko v okularju. Na koncu samo odčitamo ali shranimo oddaljenost vrha orodja od referenčne točke vpenjala v krmilnik.

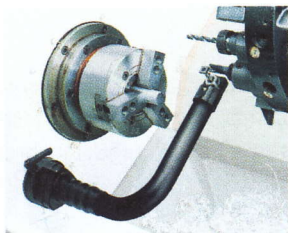
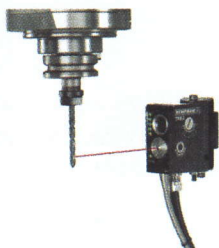


Slika 26: Optično umerjanje

### 5.3.3 ELEKTRONSKO UMERJANJE

V merilno napravo vpneemo orodje z držalom. Z merilnimi senzorji (infrardeči, ultrazvočni, laser ...) merilna naprava določi lego rezalnega roba oziroma konice. Odčitamo mero, shranimo vrednost v krmilnik stroja ali pa se vrednost prenese direktno v krmilnik stroja.

Večina CNC-stružnic je danes opremljena z visoko natančnimi odstranljivimi ali fiksiranimi rokami za elektronsko umerjanje, ki se izvaja kar na stroju. Po zamenjavi orodja se le-to približa elektronskemu senzorju, ki ga umeri ter nato prične obdelovati z izbranim orodjem. Orodja se lahko elektronsko umerijo s kontaktom senzorja na orodje ali pa brezkontaktno s pomočjo laserja. Prednost tega načina umerjanja je v tem, da gredo podatki o korekciji orodja direktno v krmilnik, so zelo točni in jih ni potrebno posebej vnašati.



Slika 27: Naprave za elektronsko umerjanje orodij

## 5.4 PARAMETRI ODREZOVANJA

K parametrom odrezovanja prištevamo:

- rezalno hitrost,
- število vrtljajev glavnega vretena,
- podajanje,
- globino odrezovanja materiala.

Parametri odrezovanja močno vplivajo na obrabo orodja, s tem pa na kakovost površine in točnost končnega izdelka. Orodja se obrabljajo tudi zaradi loma, mehanskega abrazivnega delovanja materiala obdelovanca, zvarjanja z materialom obdelovanca, oksidacije orodja ter difuzijskih pojavov med materialom orodja in obdelovanca.

Različni proizvajalci orodij pogosto navajajo podatke o priporočljivih parametrih za delo z določenimi vrstami orodja. CNC-stroji pa zahtevajo točno določene parametre, ki jih tudi vnaprej vpišemo v program ter jih med delom ne moremo poljubno spreminjati. Omejeni smo tudi z močjo motorja ali dovoljeno odzivno silo, zato z iskanjem optimalnih parametrov odrezovanja želimo zmanjšati obrabo orodja, zagotoviti ustrezno kakovost površine, točnost izdelkov in čim manjše stroške obdelave.

Pri določanju potrebnih parametrov obdelave običajno najprej določimo ustrezno rezalno hitrost, ki je odvisna od [5]:

- materiala obdelovanca,
- materiala orodja,
- podajanja,
- globine rezanja,
- oblike orodja,
- obstojnosti orodja.

Poleg naštetega na rezalno hitrost vplivajo tudi izbira hladilnega sredstva, konstrukcija obdelovalnega stroja, vrste obdelave ... Fina obdelava zahteva manjše globine rezanja in višje rezalne hitrosti kot groba. Če uporabljamo hladilna sredstva, lahko rezalne hitrosti pri orodjih iz karbidnih trdin povečamo za 10 %, pri hitroreznih orodjih pa za 40 %.

Najugodnejše je, če najdemo za določeno kombinacijo tisto rezalno hitrost, ki je najbolj ekonomična; z večjo rezalno hitrostjo namreč stroški obdelave padajo, stroški orodja pa naraščajo.

V praksi najprej izberemo ustrezno obstojnost orodja, nato pa glede na material obdelovanca in orodja ter podajanja še priporočeno rezalno hitrost.

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \rightarrow n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d}$$

$v_c$  ..... rezalna hitrost [m/min]

$d$  ..... premer obdelovanca (struženje) oziroma orodja (frezanje) [mm]

$n$  ..... število vrtljajev glavnega vretena [ $\text{min}^{-1}$ ]

Podajanje je gibanje orodja, ki nam potiska orodja pod material, ki ga je še potrebno odrezati. Glede na smer gibanja orodja je podajanje lahko vzdolžno, prečno ter podajanje v globino. Velikost podajanja določa zahtevana kakovost obdelave, material obdelovanca in orodja ter vrsta dela. Pri fini obdelavi je podajalna hitrost običajno nižja kot pri grobi obdelavi.

$$v_f = n \cdot f \quad \text{struženje}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad \text{frezanje}$$

$v_f$  ..... podajalna hitrost [mm/min]

$f$  ..... podajanje [mm/vrt]

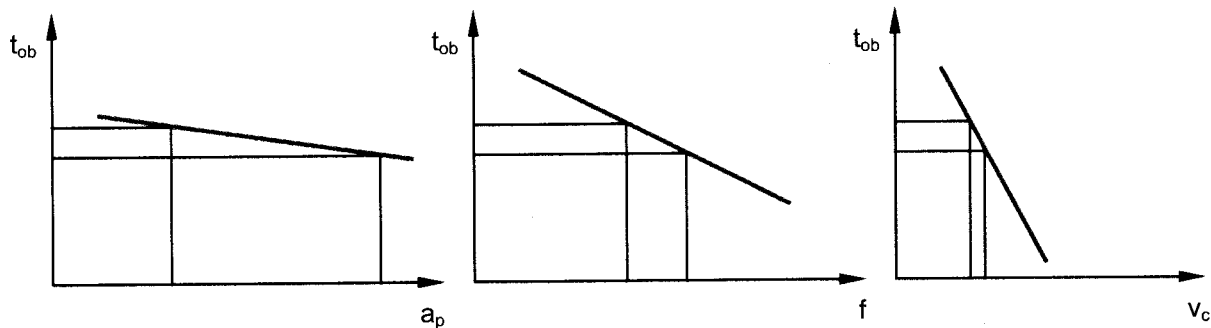
$f_z$  ..... podajanje na zob [mm/zob]

$z$  ..... število zob frezala

Globino reza določimo predvsem glede na moč motorja in izbrano podajanje ter glede na material orodja in obdelovanca. Priporočljiva razmerja med globino reza in podajanjem za različne vrste obdelovalnega materiala so dobljena eksperimentalno ter jih najdemo v tabelah proizvajalcev orodij.

Kakovost površine je praviloma predpisana z tehniško dokumentacijo obdelovanca, pri izdelavi dosežena kakovost pa je odvisna od oblike orodja, rezalne hitrosti, materiala obdelovanca, delovnih razmer, hlajenja in mazanja ter izvedbe stroja. Pri struženju in čelnem frezanju je teoretična hrapavost oziroma kakovost površine določena z obliko konice orodja in izbrano velikostjo podajanja, pri obodnem frezanju pa s polmerom orodja in velikostjo podajanja na en zob ( $f_z$ ). Dejanska dosežena kakovost površine je odvisna od kakovosti rezalnega roba orodja (če je orodje ostro, je boljša), v veliki meri pa tudi od lastnosti obdelovanega materiala (pri mehkem materialu in majhni rezalni hitrosti je slabša, pri toplotno utrjenem pa boljša). Pri prevelikem zmanjšanju globine rezanja se kakovost površine ne izboljša, saj se odrezek ne tvori več, ker prihaja do odrivanja orodja.

Obstojnost orodja je definirana kot čas efektivnega dela orodja do obrabe, po kateri delo ni več smotrno. Na obrabo in obstojnost orodja pri odrezovanju vpliva več dejavnikov. Glavni dejavnik pri tem je toplota, ki nastaja pri odrezovanju. Ker je nastanek toplote v glavnem odvisen od rezalne hitrosti, je odvisno od nje opredeljena tudi obstojnost orodja. Obstojnost se spremeni tudi, če se spremenijo debelina in globina odrezka ali velikost podajanja.



**Slika 28: Vpliv globine rezanja ( $a_p$ ), podajanja ( $f$ ) in rezalne hitrosti ( $v_c$ ) na obstojnost orodja ( $t_{ob}$ )**

Grafi prikazujejo odvisnost posameznih parametrov odrezovanja glede na obstojnost orodja. Iz grafov je razvidno, da na obstojnost orodja najmanj vpliva globina rezanja, najbolj pa rezalna hitrost. V praksi tako poskušamo najti optimalno kombinacijo rezalnih parametrov in s tem posredno vplivati na stroške izdelave izdelka. Pri tem moramo upoštevati tudi druge parametre, ki vplivajo na sam potek izdelave.

Vsi ti parametri so običajno prikazani v obliki tabel in diagramov v priročnikih ali katalogih proizvajalcev strojev, orodij in materiala.