

Tumačenje mjerenih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva

Grahovac, Domagoj

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:593001>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



zir.nsk.hr



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Tehnički fakultet u Puli



Domagoj Grahovac

Tumačenje mjerenih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva

Diplomski rad

Pula, rujan, 2023.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Tehnički fakultet u Puli



Domagoj Grahovac

Tumačenje mjerenih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva

Diplomski rad

JMBAG: 0303076356, redovan student

Studijski smjer: Strojarsstvo, računalno inženjerstvo

Predmet: Mjerenja u proizvodnji

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Strojarsstvo

Znanstvena grana: Strojarsstvo

Mentor: doc. dr. sc. Marko Kršulja

Pula, rujan, 2023.

ZAHVALA

„Veliku zahvalnost želim izraziti osobama koje su me podržale i bile uz mene tijekom izrade ovog diplomskog rada. Prije svega, želim se zahvaliti mentoru doc.dr.sc. Marku Kršulji za njegovu dragocjenu pomoć u pronalaženju relevantne literature, dodatnih informacija i savjeta. Njegovo strpljenje i posvećenost uvijek su bili prisutni, pružajući mi vrednovane smjernice tijekom cijelog procesa.

Također, posebno bih se htio zahvaliti svojoj djevojci i dragim prijateljima koji su me uvijek podržavali. Bez njihove podrške, ovo putovanje studija ne bi bilo tako lako i zabavno. Njihovo prisustvo i podrška dodatno su obogatili moje iskustvo.

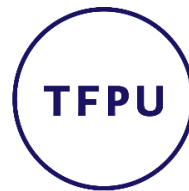
Posebna zahvalnost ide i mojoj obitelji koja me je uvijek podržavala i usmjeravala na pravi put. Njihova podrška i ljubav činili su moj uspjeh mogućim.

Naposljetku, najveću zaslugu pripisujem svojim roditeljima, koji su uvijek bili tu za mene bez obzira na sve izazove i radosti života. Njihova stalna podrška i prisutnost bili su temelj mog postignuća i iskustva koje sam stekao.

Duboko sam zahvalan svim tim osobama na njihovoj podršci i uvjerenju u mene. Bez njih, ovaj diplomski rad ne bi bio moguć, niti bih dosegao sve što sam dosad postigao i doživio“.

S iskrenom zahvalnošću,

Domagoj Grahovac



Tehnički fakultet u Puli

doc. dr. sc. Marko Kršulja
(Ime i prezime nastavnika)

Mjerenja u proizvodnji
(Predmet)

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

TEHNIČKI FAKULTET U PULI

ZADATAK TEME DIPLOMSKOG RADA

Pristupniku Domagoju Grahovcu

MBS: 41-PS

Studentu - Tehničkog fakulteta u Puli izdaje se zadatak za diplomski rad – tema diplomskog rada pod nazivom:

Tumačenje mjerenih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva

Sadržaj zadatka: Održavanje alatnih strojeva ima ključnu ulogu u osiguravanju njihove pouzdanosti, radne učinkovitosti i produženju životnog vijeka u industrijskom okruženju. Tradicionalni pristup održavanju temelji se na redovitom održavanju prema predefiniranim vremenskim intervalima ili broju radnih sati, što može biti neučinkovito i skupo. Tumačenje mjerenih pokazatelja dobiva sve veći značaj kao način optimizacije održavanja. Kroz analizu podataka o stanju strojeva i interpretaciju mjerenih pokazatelja, moguće je pravovremeno planirati intervencije, optimizirati raspored održavanja i smanjiti ukupne troškove održavanja alatnih strojeva. Ovaj istraživački rad ima za cilj istražiti metode tumačenja mjerenih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva te potvrditi hipotezu da će efektivno tumačenje pokazatelja rezultirati smanjenjem zastoja, optimizacijom rasporeda održavanja i smanjenjem troškova. Rezultati ovog istraživanja imaju praktičnu primjenu u industrijskim postrojenjima.

Rad obraditi sukladno odredbama Pravilnika o diplomskom radu Sveučilišta u Puli.

Redovni, Strojarsstvo

Datum: rujan, 2023.

Potpis nastavnika _____



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Domagoj Grahovac, kandidat za magistar inženjer strojarstva ovime izjavljujem da je ovaj diplomski rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio diplomskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, rujan, 2023. godine



IZJAVA
o korištenju autorskog djela

Ja, Domagoj Grahovac dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj diplomski rad pod nazivom „Tumačenje mjerenih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva “ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu sa Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama. Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

Student

U Puli, rujan, 2023.

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu istražena je važnost mjerenja i tumačenja pokazatelja performansi alatnih strojeva te njihov utjecaj na održavanje, produktivnost i troškove. Cilj istraživanja bio je razviti dublje razumijevanje ove teme i pružiti smjernice za optimizaciju održavanja i smanjenje troškova.

U radu su detaljno analizirane hipoteze postavljene na početku istraživanja. Prvom hipotezom potvrđuje da praćenje relevantnih pokazatelja performansi omogućuje pravovremenu intervenciju i optimizaciju održavanja alatnih strojeva, što rezultira smanjenjem neaktivnosti strojeva i povećanjem produktivnosti. Druga hipoteza ističe važnost pravilnog tumačenja mjernih pokazatelja u održavanju alatnih strojeva, jer to pruža vrijedne informacije o stanju strojeva i potrebi za intervencijom, što dovodi do produženja radnog vijeka strojeva i smanjenja troškova zamjene. Treća hipoteza naglašava korisnost tehnologija pametnog održavanja, kao što su senzori praćenja i analiza podataka, za efikasnije planiranje održavanja i smanjenje troškova kvarova. Istraživanje se također usredotočilo na razliku između numerički upravljanih (NC) i računalno numerički upravljanih (CNC) strojeva te na njihove prednosti i ograničenja. Također su istraženi dijelovi alatnih strojeva, poput pogonskog, prijenosnog, izvršnog i upravljačkog dijela, te njihova međusobna povezanost i utjecaj na ukupnu funkcionalnost strojeva. Metode održavanja alatnih strojeva, kao što su korektivno, preventivno i prediktivno održavanje, također su proučavane, s naglaskom na njihove prednosti i nedostatke.

Kroz sveobuhvatnu analizu, istraživanje je identificiralo najbolje prakse u održavanju alatnih strojeva i pružilo smjernice za poboljšanje performansi i smanjenje troškova održavanja. Saznali smo da je praćenje pokazatelja performansi ključno za optimizaciju održavanja, pravilno tumačenje mjernih pokazatelja pruža vrijedne informacije, a implementacija tehnologija pametnog održavanja omogućuje efikasnije planiranje intervencija. Ovi rezultati imaju značajnu primjenu u industriji, omogućujući poboljšanje produktivnosti, smanjenje troškova održavanja i produženje radnog vijeka alatnih strojeva.

Ključne riječi: mjerenje, alatni strojevi, održavanje, proizvodnja

SUMMARY

This master's thesis explores the importance of measuring and interpreting performance indicators of machine tools and their impact on maintenance, productivity, and costs. The research objective was to develop a deeper understanding of this topic and provide guidelines for optimizing maintenance and reducing costs.

The study thoroughly analyzes the hypotheses formulated at the beginning of the research. The first hypothesis confirms that monitoring relevant performance indicators enables timely intervention and optimization of the maintenance of machine tools, resulting in reduced machine downtime and increased productivity. The second hypothesis highlights the importance of proper interpretation of measurement indicators in the maintenance of machine tools, as it provides valuable information about machine conditions and the need for intervention, leading to extended machine lifespan and reduced replacement costs. The third hypothesis emphasizes the usefulness of smart maintenance technologies, such as monitoring sensors and data analysis, for more efficient maintenance planning and reduced breakdown costs. The research also focuses on the difference between numerically controlled (NC) and computer numerically controlled (CNC) machines, examining their advantages and limitations. Additionally, it investigates various components of machine tools, such as the drive, transmission, executive, and control parts, along with their interconnections and impact on overall machine functionality. Maintenance methods for machine tools, including corrective, preventive, and predictive maintenance, are also studied, with an emphasis on their advantages and disadvantages.

Through a comprehensive analysis, the research identifies best practices in machine tool maintenance and provides guidelines for improving performance and reducing maintenance costs. It reveals that monitoring performance indicators is crucial for maintenance optimization, proper interpretation of measurement indicators yields valuable information, and the implementation of smart maintenance technologies enables more efficient intervention planning. These findings have significant applications in the industry, enabling productivity improvements, maintenance cost reductions, and extended machine tool lifespan.

Keywords: measurement, machine tools, maintenance, production

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Predmet istraživanja	1
1.2. Ciljevi istraživanja	1
1.3. Hipoteza	2
1.4. Metode istraživanja.....	2
1.5. Struktura rada.....	3
2. Povijesni razvoj alatnih strojeva	5
2.1. Razvoj tokarskih alatnih strojeva	7
2.2. Razvoj bušaćih alatnih strojeva	9
2.3. Razvoj glodaćih alatnih strojeva	10
3. Alatni strojevi	15
3.1. NC i CNC strojevi	17
3.1.1. Razlika između NC-a i CNC-a.....	18
3.2. Dijelovi alatnih strojeva.....	19
3.2.1. Pogonski dio	19
3.2.2. Prijenosni dio (snage, momenta i sile)	20
3.2.3. Izvršni ili radni dio	20
3.2.4. Upravljački dio.....	20
3.3. Podjela alatnih strojeva	20
3.3.1. Strojevi za preoblikovanje deformacijom.....	21
3.3.2. Strojevi sa skidanjem strugotine alatima definirane geometrije	21
3.3.3. Strojevi sa skidanjem strugotine alatima nedefinirane geometrije.....	28
3.3.4. Strojevi sa skidanjem strugotine alatima bez oštrica.....	30
3.4. Primjena alatnih strojeva	31
3.5. Radni vijek alatnih strojeva	33

4.	Održavanje alatnih strojeva	35
4.1.	Metode održavanja	35
4.1.1.	Metoda korektivnog održavanja	35
4.1.2.	Metoda preventivnog održavanja	37
4.1.3.	Metoda prediktivnog održavanja	40
4.2.	Načini održavanja organizacije službe održavanja	41
4.2.1.	Centralno održavanje (centralizirano)	41
4.2.2.	Pojedinačno održavanje (decentralizirano)	42
4.2.3.	Kombinirano održavanje	42
4.2.4.	Kooperativno održavanje	42
4.3.	Ciljevi službe održavanja	42
4.4.	Aktivnosti službe održavanja	43
4.5.	Radionica održavanja	43
4.6.	Planiranje održavanja	44
4.6.1.	Godišnji plan održavanja	46
4.7.	Dokumentacija u održavanju	47
4.7.1.	Konstruktivna dokumentacija	47
4.7.2.	Tehnološka dokumentacija	49
4.7.3.	Radna dokumentacija	51
5.	Tumačenje mjerenih pokazatelja u održavanju	52
5.1.	Primjer rješavanja problema u industriji	57
5.2.	Primjer izrade cilindrične osovine	59
6.	Troškovi održavanja	64
7.	Zaključak	68
	LITERATURA	70
	POPIS SLIKA I TABLICA	72

1. Uvod

Tema diplomskog rada je „Tumačenje mjerenih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva“. Održavanje alatnih strojeva predstavlja poseban proizvodni sustav koji je organiziran i opremljen na način da može pružati dio usluga za potrebe neposredne organizacije proizvodnog rada. Temeljna zadaća održavanja jest stalno održavanje svih učinaka radne opreme u optimalnim granicama kako bi se postiglo što bolje tehničko i ekonomsko iskorištenje u proizvodnom procesu.

1.1. Predmet istraživanja

Kao što već navedeno, predmet istraživanja ovog diplomskog rada je tumačenje mjernih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva. Predmet ovog diplomskog rada je tumačenje mjernih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva. Alatni strojevi imaju ključnu ulogu u industrijskim procesima proizvodnje, pružajući precizno oblikovanje, bušenje i obradu materijala. Učinkovito održavanje alatnih strojeva ključno je za osiguranje njihove dugotrajnosti, pouzdanosti i optimalne radne performanse.

1.2. Ciljevi istraživanja

Cilj ovog diplomskog rada je istražiti temu "Tumačenje mjernih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva" kako bi se razvila dublja razumijevanja važnosti praćenja i interpretacije tih pokazatelja. Kroz analizu povijesnog razvoja alatnih strojeva, proučavanje različitih vrsta alatnih strojeva i njihovih dijelova te istraživanje metoda održavanja, istraživanje će se fokusirati na razumijevanje ključnih aspekata tumačenja mjernih pokazatelja u svrhu optimizacije održavanja alatnih strojeva. Specifični ciljevi ovog istraživanja uključuju istraživanje povijesnog razvoja alatnih strojeva, analizu različitih metoda održavanja, proučavanje organizacije službe održavanja alatnih strojeva te razvijanje sustava za mjerenje i tumačenje pokazatelja. Kroz postizanje tih ciljeva, očekuje se da će se identificirati najbolje prakse u održavanju alatnih strojeva i pružiti smjernice za poboljšanje performansi i smanjenje troškova održavanja.

U nastavku ovog diplomskog rada, bit će prikazani detaljni rezultati istraživanja, analize i zaključci koji će pridonijeti daljnjem razumijevanju tumačenja mjernih pokazatelja u kontekstu održavanja alatnih strojeva.

Kroz rad dati će se odgovori na temeljna pitanja:

1. Koje su ključne vrste alatnih strojeva i koje su njihove karakteristike i primjene?

2. Kakva je razlika između NC (Numerički upravljani) i CNC (Računalno numerički upravljani) strojeva te koje su prednosti i ograničenja svake vrste?
3. Kako su dijelovi alatnih strojeva, poput pogonskog dijela, prijenosnog dijela, izvršnog dijela i upravljačkog dijela, povezani i kako utječu na ukupnu funkcionalnost strojeva?
4. Koje su metode održavanja alatnih strojeva i koje su prednosti i nedostaci svake metode (korektivno, preventivno, prediktivno održavanje)?

1.3. Hipoteza

Temeljem navedenog problema istraživanja i predmeta istraživanja postavljaju se sljedeće hipoteze:

H1: Mjerenje i tumačenje odgovarajućih pokazatelja performansi alatnih strojeva omogućuje optimizaciju održavanja, smanjenje vremena neaktivnosti i povećanje produktivnosti.

H2: Pravilno tumačenje mjernih pokazatelja u održavanju alatnih strojeva može pružiti vrijedne informacije o stanju strojeva i potrebi za intervencijom, što dovodi do povećanja radnog vijeka strojeva i smanjenja troškova zamjene.

H3: Korištenje tehnologija pametnog održavanja, poput senzora praćenja i analize podataka, omogućuje efikasnije planiranje održavanja alatnih strojeva i smanjenje troškova kvarova.

1.4. Metode istraživanja

Pri provođenju istraživanja o temi, osnovni izvori informacija bili su relevantna znanstveno-stručna literatura u području strojarstva, uključujući knjige, znanstvene radove, istraživačke radove i internetske stranice. Za izradu diplomskog rada korištene su različite metode kao što su deduktivna metoda, metoda analize, metoda sinteze, metoda specijalizacije, metoda dokazivanja i metoda deskripcije, među ostalima. Također, istraživanje je uključivalo analizu sekundarnih podataka koji su bili objavljeni u znanstvenim časopisima, publikacijama i znanstvenim radovima. Deduktivnom metodom su se objašnjavali zakoni i činjenice, testirale hipoteze i dokazivale postavljene teze. Analitičkom metodom su se razložili i objasnili kompleksni pojmovi i zaključci. Metoda deskripcije je korištena u početnoj fazi istraživanja radi opisa procesa, činjenica i predmeta istraživanja. Metodom sinteze se povezivala znanstvena teorija strojarstva s primjerima. Metoda dokazivanja, kao temeljna metoda, obuhvaćala je sve druge metode te se koristila za utvrđivanje točnosti iznesenih tvrdnji.

1.5. Struktura rada

U uvodnom djelu rada prikazuje se tema "Tumačenje mjerenih pokazatelja pri održavanju alatnih strojeva" s naglaskom na važnost održavanja strojeva radi postizanja optimalnog tehničkog i ekonomskog iskorištenja u proizvodnom procesu. Također se iznose ciljevi istraživanja, uključujući razumijevanje tumačenja pokazatelja, analizu metoda održavanja i razvoj smjernica za optimizaciju održavanja alatnih strojeva. U poglavlju broj dva se govori o razvoju alatnih strojeva, s naglaskom na tokarilice, bušeeće alatne strojeve i glodalice. Prikazuje se povijest razvoja ovih strojeva kroz različite periode i tehnološke napretke. Tokarilice su se razvile tijekom prve industrijske revolucije, a koristile su se različite verzije tokarilica, poput tokarilica s motkom i tokarilica s lukom. Bušeeći strojevi su se također razvili za vojne potrebe i napredovali su u preciznosti obrade. Glodalice su se pojavile kasnije, a razvoj kliznog sustava i univerzalnih strojeva omogućili su veću fleksibilnost i preciznost obrade. Uvođenje računalnih sustava u alatnice omogućilo je povećanje točnosti strojeva, a razvoj numerički upravljanih strojeva omogućio je promjenu obrade na samom stroju i veću fleksibilnost.

U trećem poglavlju se govori o alatnim strojevima i njihovoj ulozi u oblikovanju i obradi proizvoda pomoću alata. Razlikuju se alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica i strojevi za obradu deformacijom. Opisani su različiti tipovi alatnih strojeva, kao što su blanjalice, tokarilice, glodalice, bušilice, pile, brusilice, strojevi za honanje, lepanje, poliranje, kao i nekonvencionalni strojevi koji koriste elektrokemijske i ultrazvučne metode obrade. Također se opisuje povijest alatnih strojeva, od ručne obrade materijala do upotrebe parnog stroja i kasnije električnih motora za pogon strojeva. Prikazuje se razvoj alatnih strojeva tijekom 18., 19. i 20. stoljeća, uključujući poboljšanja u produktivnosti, preciznosti obrade i automatizaciji proizvodnje. Poglavlje također obuhvaća NC (numeričko upravljanje) i CNC (računalno numeričko upravljanje) strojeve, opisujući njihove razlike i prednosti CNC sustava koji omogućuju programabilnost i fleksibilnost u obradi. Sljedeće poglavlje govori o važnosti održavanja i samoodržavanja nove generacije alatnih strojeva. Pravilno održavanje omogućuje obnovu i poboljšanje radne opreme te sprječava smanjenje učinkovitosti i kvarove. Održavanje strojeva je ključno za poboljšanje kvalitete i izbjegavanje zastoja

u proizvodnom procesu, čime se smanjuju troškovi. Upravljanje strojevima i uređajima obuhvaća radnje restauratora i upravitelja sredstava rada s ciljem sprječavanja i otklanjanja kvarova. Poglavlje također opisuje dvije metode održavanja - korektivno održavanje i preventivno održavanje. Korektivno održavanje se temelji na otklanjanju kvarova nakon što se dogode, dok preventivno održavanje uključuje planirane intervencije kako bi se spriječila oštećenja i kvarovi. Obje metode imaju svoje prednosti i nedostatke, a aktivnosti održavanja obuhvaćaju pregled, zamjenu dijelova, praćenje stanja i druge preventivne postupke.

Peto poglavlje govori o tome kako mjerenje pokazatelja u održavanju alatnih strojeva je ključno za praćenje performansi i identifikaciju problema. Odabir tehnologije za obradu poluproizvoda zahtijeva razmatranje dizajna, kompatibilnosti, dostupnih metoda, troškova i kvalitete. Održavanje oštrice, prilagodba parametara rezanja i provjera dosjeda smanjuju zatupljenje i poboljšavaju točnost obrade. Preciznost i točnost su bitni za postizanje željenih rezultata te isto tako projektiranje procesa predstavlja ključan za uspjeh u radnom okruženju. U šestom poglavlju se ističe važnost održavanja alatnih strojeva i organiziranja pomoći u aktivnostima, s obzirom na visoke troškove životnog vijeka stroja koji su raspoređeni tijekom vijeka trajanja. Troškovi održavanja ovise o intenzitetu održavanja, a cilj je postići optimalnu ravnotežu između troškova održavanja i troškova zastoja, kako bi se smanjila smanjena učinkovitost strojeva, kašnjenja i viši direktni troškovi proizvodnje. U zaključnom dijelu diplomskog rada, sažeto su prikazani rezultati istraživanja i dani odgovori na postavljene ciljeve. Iznesena je sinteza glavnih spoznaja koje su obuhvaćene u radu.

2. Povijesni razvoj alatnih strojeva

Alatni strojevi razvijeni su tijekom prve industrijske revolucije, a glavna pokretačka snaga bio je parni stroj. To je omogućilo razvoj industrijske proizvodnje. Povijest razvoja alatnih strojeva i automatizacije njihovog rada prikazana je u tablici br.1.

Tablica 1. Povijesni razvoj alatnih strojeva

1769.	Parni stroj – James Watt
1775.	Stroj za obradbu cilindara – J.Wilkinson
1792.	Prvi tokarski stroj sa vučnim navojnim vretenom
1818.	Stroj za glodanje – Eli Whitney
1833.	Planska brusilica – J.W.Stone
1835.	Glodalica za zupčanike – Lewis
1840.	Stolne i stupne bušilice, radijalne bušilice
1850.	Revolver tokarilica
1862.	Univerzalna glodalica – Brown
1862.	Dugohodna blanja – Zimmermann
1865.	Univerzalna brusilica - Brown & Sharpe
1880.	Jednovretni tokarski automati
1893.	Četverovretni tokarski automat
1900.	Brzorezni čelik – novi rezni materijal
1925.	Sinterirani tvrdi metal – početak većih brzina rezanja metala
1940.	Početak korištenja računala za rješavanje proizvodnih zadataka
1947.	Pokretanje ideje za razvoj NUMERIČKOG UPRAVLJANJA – J.T.Parsons
1948.	Početak razvoja numeričkog upravljanja na MIT u USA
1953.	Izrađen prototip numerički upravljane vertikalne glodalice Hydro – Tel
1955.	Početak primjene novog reznog materijala OKSID KERAMIKE
1955.	Na izložbi u Chicagu prikazan prvi numerički upravljani stroj
1956.	Početak primjene numerički upravljanih strojeva u industriji USA

1956.	Početak izrade prvog numerički upravljanoj stroja u Engleskoj
1957.	Počela izrada prve numerički upravljane horizontalne bušilice u Njemačkoj – Schiess
1957.	Uvođenje programskog jezika APT
1962.	Početak korištenja digitalnog računala za automatsko crtanje CAD
1963.	Primjena izravnog numeričkog upravljanja DNC
1968.	Izgrađen prvi Fleksibilni proizvodni sustav "MOLINS 24" – Engleska
1969.	Početak primjene numerički upravljanih strojeva u domaćoj industriji - Prvomajska
1971.	Izrađena prva numerički upravljana glodalica G-301 u Prvomajskoj izložena na BIAM-71
1973.	Proizvedena prva transfer linija u Prvomajskoj 11
1978.	Rasprostranjena upotreba industrijskih robota u svijetu
1980.	Proizveden prvi obradni centar u Prvomajskoj, vlastita konstrukcija
1981.	Primjena LASER-a za automatsko mjerenje dimenzija
1982.	Ispitan laboratorijski prototip vlastitog upravljačkog računala MINA-1 ETFPrvomajska
1983.	Primijenjen umjetni vid
1984.	Proizvedena prva fleksibilna transfer linija u Prvomajskoj
1984.	Primjena programskog paketa CAD/CAM
1987.	Primjena adaptivnog upravljanja – optimizacija procesa
1988.	Pušten u rad prvi FOS za obradbu kutijastih dijelova u Prvomajskoj
1988.	Primijenjen prvi CIM sustav u Japanu
1990.	Skeniranje dijelova
1991.	Primjena inteligentnih robota
1992.	Počinje era inteligentnih proizvodnih sustava
21 st.	Obrada prevučeni alatima
21 st.	Upotreba senzora pri obradi
21 st.	Suha, tvrda i visokobrzinska obrada
21 st.	Ekspertni sustavi u funkciji programiranja
21 st.	Istovremena višeosna obrada

Izvor: Samostalna izrada prema knjizi autora Miroslav Krelža: Tehnička enciklopedija, Alatni strojevi

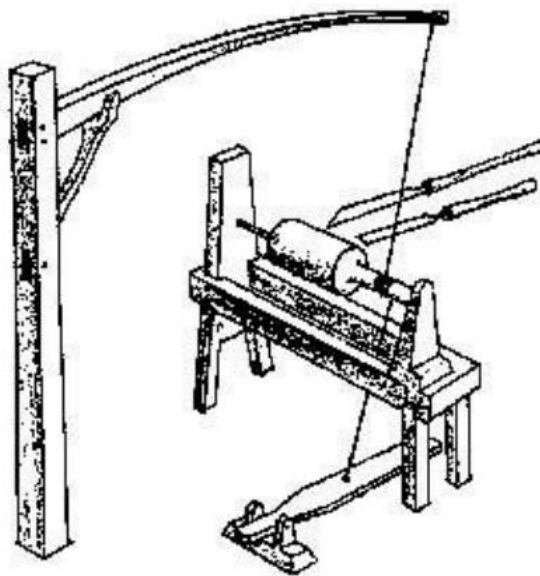
2.1. Razvoj tokarskih alatnih strojeva

Tokarski stroj je drevni stroj koji potječe iz starog Egipta i poznato je da se koristio u Asiriji i staroj Grčkoj. Porijeklo tokarilice seže oko 1300 godina prije naše ere (srednji vijek), kada su stari Egipćani razvili tokarski stroj u kojem je jedan čovjek okretao komad drveta užetom, dok je drugi koristio oštar alat za oblikovanje drveta. Stari Rimljani dodali su rotirajući luk egipatskom dizajnu.¹ U srednjem su se vijeku koristile dvije verzije tokarilica:

- tokarilica s motkom,
- tokarilica s lukom.

Kod tokarilice s motkom, uže je omotano oko osovine i vezano je na jednom kraju za kraj stupa učvršćenog na osovini. Povlačenjem drugog kraja užeta prema dolje rotira se osovina i savija stup koji kada se ispravi, okreće osovinu u suprotnom smjeru. Prikaz ovakvog tipa tokarilice (slika br.1), dok je kod tokarilice s lukom, osovinu okretalo pramčano uže omotano oko nje.

Slika 1. Tokarilica s motkom



Izvor: <https://www.pinterest.com/pin/103090278957178960/> (Pristupljeno 13.02.2023.)

Zatim je postojala i horizontalna bušilica koja je najraniji prethodnik tokarilice

¹ <https://yourwoodlathe.com/history-of-lathe/> (Pristupljeno 15.03.2023.)

instalirane 1722. godine u Royal Woolwich Arsenalu. Pokretali su ga konji. Njegova primarna svrha bila je proizvodnja topova korištenih u ratu Sjedinjenih Država u kasnom 18. stoljeću. Glavna značajka stroja je princip kako radi. Tijekom strojne obrade alat miruje, a obradak se pomiče, što ga čini prvom pretečom tokarilice. Prikaz ovakvog tipa bušilice nalazi se na slici ispod.²

Slika 2. Horizontalna bušilica u Woolwich-u



Izvor: <https://blog.mmi-direct.com/machining-history-lathe-the-mother-of-all-tools> (Pristupljeno 13.02.2023.)

Tijekom prve industrijske revolucije mehanička energija stvorena vodom ili parom prenosila se na tokarski stroj pomoću spojne osovine, što ga je činilo bržim i lakšim za rad. Tokarilice za obradu metala postale su teži strojevi s debljim i tvrdim dijelovima. Druga industrijska revolucija (druga polovica 19. stoljeća i početkom 20. stoljeća) donijela je nove znanstvene spoznaje i brojna tehnička otkrića. Otkriće nafte, izum klipnog motora te izum načina proizvodnje čelika od lijevanog željeza potaknuli su razvoj teške industrije. Sva ta otkrića omogućila su razvoj tokarskih alatnih strojeva. Upotreba ovih strojeva postala je još veća zbog njihovog velikog utjecaja u brodogradnji, za automobilsku i zrakoplovnu industriju.

Od 1950-ih, pa sve do danas u tokarske alatnice uvode se računalni sustavi, što povećava točnost samog stroja. U sljedećih trideset godina, revolucija osobnih

² <https://ravimachines.com/history-of-lathe-machine/>

računala iz godine u godinu imala je velik utjecaj na razvoj alatnih strojeva za strugove. Dodavanjem NC jedinice (numerički upravljane) klasični tokarski stroj postaje NC tokarski stroj. Ovi numerički upravljani tokarski strojevi izvodili su strojnu obradu prema programu očitanom s bušenih kartica, a taj se program nije mogao mijenjati. Daljnjim razvojem upravljanja i dodavanjem mikroprocesora u sustav došlo se do CNC alatnih strojeva, koji su omogućili promjenu obrade na samom stroju, čime je povećana fleksibilnost samog stroja.

2.2. Razvoj bušućih alatnih strojeva

Prvi proizvođač strojeva za bušenje je Da Vinci stroj za bušenje, poznat kao "majka strojeva". Kada je riječ o bušilicama, prva stvar o kojoj moramo govoriti je Da Vinci. Ovaj legendarni lik mogao bi biti projektant prve metalurške rupe. Bušilicu koju je dizajnirao pokreće voda ili nožna papučica, alat za bušenje se okreće blizu obratka, a obradak je pričvršćen na mobilnu platformu koju pokreće dizalica. Godine 1540. drugi čovjek, slikar naslikao je sliku vatrometa, koja je također imala isti crtež kao i svrdlo. U to vrijeme svrdlo ili stroj za bušenje se uglavnom koristilo za izradu šupljih odljevaka. Prva bušilica (Wilkinson, 1775.) napravljena je za obradu topničkih oruđa. U 17. stoljeću, zbog vojnih potreba, razvoj topničke industrije bio je vrlo brz. Izrada topničkog oružja postala je veliki problem koji ljudi moraju riješiti.

Slika 3. Prikaz stare ručne bušilice



Izvor: <http://hr.xtarh.com/rucna-busilica/> (Pristupljeno 18.02.2023.)

Točnije, Wilkinsonova bušilica je vrsta bušilice koja može precizno mehanizirati topništvo. To je vrsta šuplje cilindrične šipke za bušenje s oba kraja postavljena na ležajeve. Bušilica je dala važan doprinos Wattovom parnom stroju. Da nije bilo parnog stroja, prvi val industrijske revolucije ne bi se dogodio. Dijelove parnog stroja nije tako lako izraditi kao stolar koji obrađuje drvo. Specijalni oblici od metala, a zahtjevi za preciznošću obrade su visoki, što je nemoguće bez odgovarajuće tehničke opreme. Na primjer, u proizvodnji cilindra i klipova parnih strojeva može se izmjeriti i odrezati točnost vanjskog promjera potrebnog u procesu proizvodnje klipa izvana, ali nije lako zadovoljiti zahtjeve točnosti unutarnjeg promjera klipa. U proizvodnji parnog stroja Smeatonu je najteži dio za strojnu obradu cilindar. Vrlo je teško cirkularizirati veliki cilindar. Stoga je Smeaton u Kareninoj ljevaonici napravio poseban alatni stroj za rezanje unutarnjeg kruga cilindra. Ovu bušilicu pokreće vodeni kotač i ima oštricu na prednjem kraju duge osovine. Glodalo se može okretati u cilindru tako da se može obrađivati njegov unutarnji krug. Budući da se glodalo nalazi na prednjem kraju duge osovine, dolazi do deformacije osovine, što vrlo otežava strojnu obradu istinski okruglog cilindra. Stoga je Smeaton nekoliko puta morao promijeniti položaj cilindra.

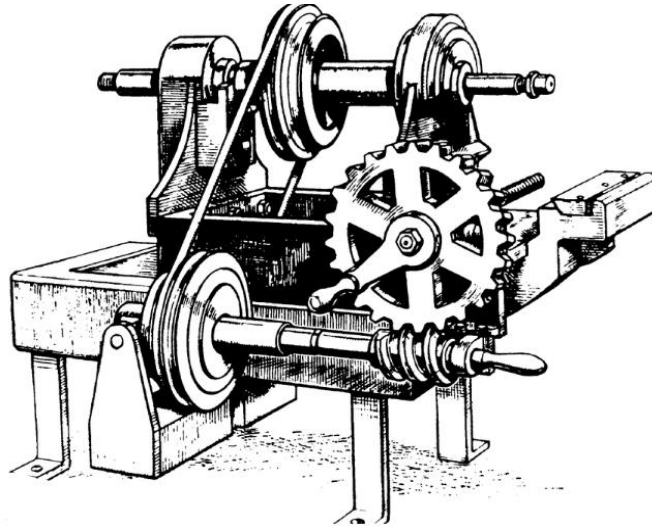
Stroj za bušenje koji je izumio Wilkinson 1775. odigralo je važnu ulogu u ovom problemu. Ova vrsta bušenja koristi vodeni kotač za rotiranje cilindra materijala i njegovo pomicanje do središnjeg rezača. Zbog relativnog pomicanja između oštrice i materijala, materijal se probija u cilindričnu rupu s velikom preciznošću. U to se vrijeme bušilica koristila za izradu cilindra promjera 72 inča, a pogreška nije bila veća od novčića od šest penija. Velika je greška ako je suditi po današnjoj tehnologiji, ali nije lako doći do te razine u uvjetima tadašnjeg vremena. U desetljećima koja su uslijedila, Wilkinsonov stroj za pretvorbu znatno je poboljšan. Godine 1885. Hutton iz Engleske napravio je stolnu bušilicu koja je postala prototip moderne bušilice.

2.3. Razvoj glodaćih alatnih strojeva

Glodalica kao posebna klasa alatnih strojeva prvi put se pojavljuje 1814. i 1818. godine zahvaljujući Eli Whitneyju (jednom od privatnih proizvođača oružja) s proizvodnjom prve prave glodalice (slika br.4). Kasne 1920-e, kao i razdoblje nakon 1814. godine, bili su ključni trenuci u povijesti alatnih strojeva sve do 1818., kada je nekoliko pionira tog vremena (Fox, Murray i Roberts) razvilo strojeve za blanjanje, a kao i kod glodalica,

rad se obavlja u različitim radionicama, što je iz raznih razloga nedokumentirano. Tih ranih godina glodanje se često smatralo jednostavnom grubom obradom nakon koje slijedi ručna završna obrada. Važnija od same razmjene bila je ideja o smanjenju ručne obrade.

Slika 4. Prva prava glodalica zahvaljujući Eli Whitneyju



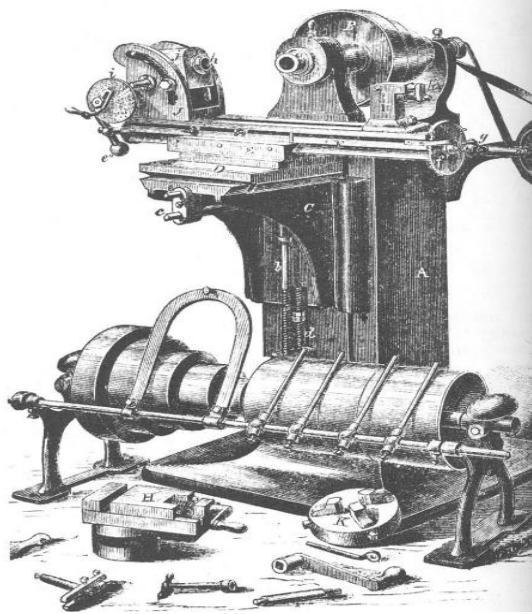
Izvor: https://www.researchgate.net/figure/First-milling-machine-Eli-Whitney-about-1820_fig4_281630566 (Pristupljeno 18.02.2023.)

Od 1840. do 1860. godine, ovo je razdoblje zapamćeno po nizu pogrešaka u projektiranju alatnih strojeva za glodanje. Projektanti nisu uspjeli razviti jednostavan i učinkovit klizni sustav karakterističnih osi glodanja X, Y i Z (ranije nazivanih uzdužno, poprečno i okomito). Ideje za vertikalne pozicije bile su nerazvijene ili odbačene. Vreteno Lincoln Millera moglo bi se podići ili spustiti, ali izvorna ideja koja stoji iza takvog pozicioniranja bila je postavljanje vretena, a zatim ga premjestiti. Česta promjena lokacije tijekom rada nije bila moguća. Kao i kod tokarilice, to je bio masovni, ponavljajući strojni alat, sa svakim vještim stezanjem slijedi prilično niska vještina rada.

Godine 1860. Joseph R. Brown dizajnirao je "univerzalni tokarski stroj" (slika br.5), koji je bio vrlo uspješan od prve prodaje u ožujku 1862. godine. Problem gibanja po tri osi je riješen (tj. osi, koje sada nazivamo X, Y, Z) mnogo lakše nego prije. Spiralno glodanje moguće je indeksiranjem glave u skladu s brzinom rezanja stola. Njegov stroj bi se mogao opisati kao "univerzalan" jer je bio opremljen za sve radove, čak i u alatnicama te nije bio ograničen u primjeni kao glodalica prethodne izvedbe. Brown je

također razvio i patentirao 1864. godine uzorak oblikovanih grebena gdje je bilo uzastopno oštih zuba koji ne mijenjaju geometriju kalupa. Godina 1860.-a otvorila je mogućnost napretka i najave modernih alata za glodanje.

Slika 5. Univerzalna glodalica, R. Brown 1862. godine

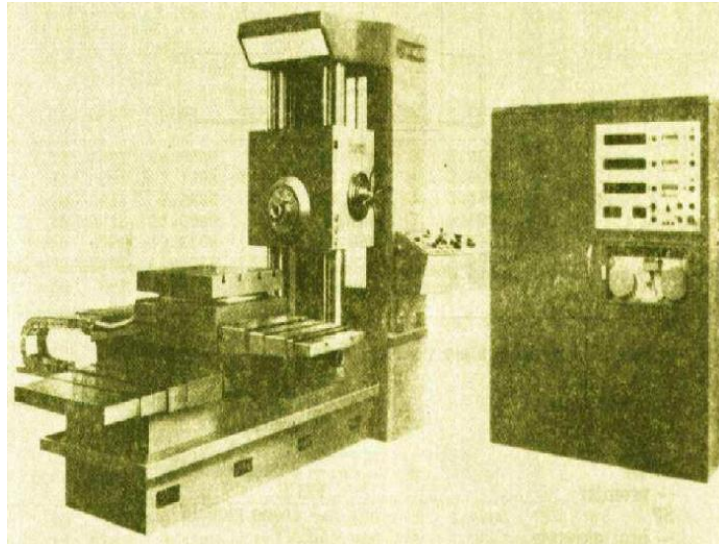


Izvor: <https://www.rapiddirect.com/blog/cnc-history/> (Pristupljeno 18.02.2023.)

Pedesetih godina prošlog stoljeća numeričko upravljanje polako se seli iz laboratorija na radno mjesto kao komercijalna uporaba. Tijekom prvog desetljeća imao je prilično ograničen utjecaj izvan zrakoplovne industrije. U našoj zemlji tvornica "PRVOMAJSKA" iz Zagreba prva je 1969. godine kupila numerički upravljaju konzolnu glodalicu (SHARMANN FB100 s DEKAMAT upravljanjem) (slika br.6) te je sama započela serijsku proizvodnju numerički upravljanih strojeva 1978. godine.³

³ Zdravko Blažević, „Programiranje CNC tokarilice i glodalice“, Virovitica 2004

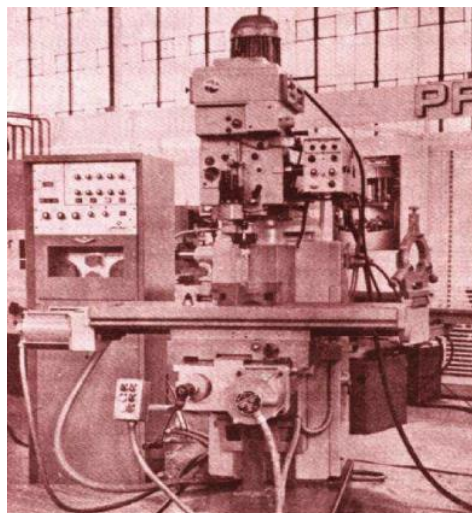
Slika 6. Prva NC glodalica u Hrvatskoj, Prvomajska 1969. Godine



Izvor: https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/skripta_cnc_-_blazevic.compressed.pdf (Pristupljeno 20.02.2023.)

Na slici br.7 prikaz je prve glodalice G 301 NC izložene na Zagrebačkom velesajmu 1971. godine.

Slika 7. Prva izložena NC glodalica u Hrvatskoj, Zagrebački velesajam 1971. Godine



Izvor: https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/skripta_cnc_-_blazevic.compressed.pdf (Pristupljeno 20.02.2023.)

No u 1960-ima i 1970-ima NC je evoluirao u CNC, kao i mediji za pohranu podataka i unos, a računalna snaga i memorija računala stalno su rasle. NC i CNC alatni strojevi

postupno su se proširili iz okruženja velikih korporacija i uglavnom iz zrakoplovne industrije na razinu srednjih poduzeća i širokog spektra proizvoda. Drastičan napredak u upravljanju NC i CNC alatnim strojevima iz temelja je promijenio način proizvodnje. Od 1980. do danas, računala i CNC alatni strojevi brzo se razvijaju. Revolucija osobnih računala imala je veliki utjecaj na ovaj razvoj. Radionice sa sitnim alatom do kraja 1980-ih imalo je stolna računala i CNC alatne strojeve, što je između ostalog i omogućilo uspon CNC glodanja kao hobija.

3. Alatni strojevi

Alatni strojevi su strojevi koji oblikuju ili obrađuju proizvode pomoću alata. Razlikuju se alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica i strojevi za obradu deformacijom. Svi strojevi za obradu imaju naprave za stezanje ili stezanje obratka i naprave za podupiranje alata, kojima se osigurava željeni položaj alata i obratka. Prije industrijske revolucije materijali su se uglavnom obrađivali ručno ili se za pogon jednostavnih strojeva koristila snaga vode. Izumom parnog stroja stvoren je pouzdan i pokretljiv izvor mehaničke energije za pogon strojeva, kasnije su za pogon korišteni elektromotori. Za vrijeme 18. i 19. stoljeća, izgrađena je većina osnovnih alatnih strojeva. Krajem 19. stoljeća alatni strojevi postaju osnova masovne proizvodnje i razvoja industrijskog društva. Tijekom 20. stoljeća uvedena su mnoga poboljšanja, posebice u odnosu na povećanu produktivnost i preciznost obrade, te elektroničko upravljanje i automatizaciju proizvodnje. Razvijaju se različite vrste nekonvencionalnih metoda obrade temeljenih na elektrokemijskim i ultrazvučnim osnovama. Osobito je važan razvoj visokodinamičnih i brzih alatnih strojeva s kojima se vrijeme obrade može smanjiti za faktor 5 do 10. Alatni strojevi za obradu odvajanjem strugotine dijele se na strojeve koji rade s alatima definirane geometrije s jednom ili više reznih oštrica, a to su:

- blanjalice,
- tokarilice,
- glodalice,
- bušilice i
- pile.

i strojeve koji rade s alatima neodređene geometrije, a jedni od takvih su:

- brusilice,
- strojevi za honanje,
- lijepljenje i
- poliranje.

i nekonvencionalni strojevi koji rade uz pomoć vodenog mlaza, ionske zrake, lasera, ultrazvuka, erozije i elektrokemijske strojne obrade. Alatni strojevi za oblikovanje rade primjenom energije (klipne i vretenaste preše), sile (hidrauličke preše) ili kretanja alata

(mehaničke preše). Danas je konstrukcija i uporaba alatnih strojeva sve više odgovornost inženjera mehatronike, stručnjaka koji posjeduju vještine i znanja iz područja strojarstva, elektrotehnike, računarstva itd. U klasičnom procesu obrade alat bi trebao biti mnogo tvrdi od obratka. Moderni materijali su vrlo tvrdi, posebno u zrakoplovnoj industriji (npr. visokolegirani čelici i legure na bazi nikla) i stoga su razvijene alternativne i nekonvencionalne metode obrade: elektronski snop, snop iona inertnog plina, visokofrekventna električna iskra, galvansko taljenje, laser, plazma, ultrazvuk, vodeni mlaz i kemija. topiti. Na primjer, kod obrade ionskim ili elektronskim snopom, elektroni visoke energije ili ioni plemenitog plina (argon) usmjereni su na radni komad, kod elektrokemijske i elektroerozijske obrade, električni naboj ubrzava otapanje obratka prolaskom kroz medij kroz uski otvor, kod ultrazvučne obrade vibrirajuće tekućine, abraziv odvaja čestice od obratka itd.

Tokarilica ili tokarski stroj najrašireniji je alatni stroj koji može proizvoditi rotirajuće dijelove. Izradak ili obradak se okreće i izvodi glavno kretanje u stroju, dok se alati kreću linearno u svim smjerovima. **Glodalica** je stroj koji uglavnom obrađuje ravne površine, ali također vrši bušenje i obradu složenih prostornih krivulja. Glavno kretanje je rotacijsko i izvodi ga alat, dok se izradak kreće linearno u svim smjerovima. Glodalice se široko koriste u metalnoj industriji za izradu zupčanika, kalupa, vijaka, spiralnih površina itd. **Blanjalica** je stroj za obradu pretežno ravnih površina. Glavno linearno gibanje izvodi alat, s povratnim hodom bez utjecaja na dio. **Bušilica** je alatni stroj za izradu rupa (bušenje, proširenje, upuštanje i razvrtanje). Glavno rotacijsko vreteno stroja za bušenje može se okretati i istovremeno se kretati linearno duž osi rotacije. **Brusilica** je alatni stroj namijenjen rotacijskom kretanju alata za brušenje, dok smično kretanje izvodi izradak. Glavno kretanje izvodi brusna ploča izrađena od abrazivnih zrna čija veličina ovisi o željenoj kvaliteti površine.

Prije industrijske revolucije materijali su se uglavnom obrađivali ručno ili se za pogon jednostavnih strojeva koristila snaga vode, vjetra, ljudski ili životinjski rad. Izumom parnog stroja stvoren je siguran i prenosiv izvor mehaničke energije za pogon strojeva, a potom su se za pogon počeli koristiti električni motori. Po završetku osamnaestog i početkom devetnaestog stoljeća, izgrađena je većina osnovnih alatnih strojeva. Potkraj 19. stoljeća alatni strojevi postaju osnova industrijske proizvodnje, dok su tijekom dvadesetog stoljeća uvedena mnoga poboljšanja; povećana je produktivnost i preciznost obrade korištenjem glavnog računala i automatizacije proizvodnje kao i

većom organizacijom proizvodnje.

Suvremeni alatni strojevi mogu proizvoditi proizvode s točnošću od $\pm 0,0025$ mm, a specijalni strojevi $\pm 0,00005$ mm. Relativna razlika između brzine gibanja oštrice reznog alata i izratka (glavno pomicanje) naziva se brzina rezanja, a relativna brzina posmaka alata prema izratku (pomoćno pomicanje ili posmak) naziva se brzinu rezanja. Tijekom rezanja stvara se toplina i temperatura raste, pa je potrebno hlađenje kako bi se poboljšala izdržljivost i produktivnost alata. Samo kod obrade velikom brzinom, gdje se toplina raspršuje s odvojenim česticama, a alat i radni komad ostaju relativno hladni, to nije potrebno u istoj mjeri.

3.1. NC i CNC strojevi

NC (numeričko upravljanje) sustavi koriste fiksne logičke funkcije za upravljanje alatnim strojem ili procesom obrade. NC određuje kontrolu kretanja stroja i raznih funkcija pomoću uputa koje su predstavljene nizom brojeva.⁴Elektronički upravljački sustavi pokreću ove NC-ove. Iako ne možemo mijenjati funkcije u NC-u, što znači da nije programabilan zbog ožičenja upravljačke logike i smatra se ožičenim. Vanjski mediji kao što su papirna traka ili magnetska traka koriste se za slanje instrukcija NC strojevima. On čita podatke s ove vrpce i obrađuje ih korak po korak, koji se pohranjuju u memoriju kontrolnog sustava, poznatu kao "spremište međuspremnika". Stoga, kada stroj radi na bloku naredbi, on čita sljedeći blok s vrpce i pohranjuje ga u memoriju kontrolnog sustava stroja. Referentna točka NC stroja je fizička točka ili položaj na stroju koji se koristi kao početna referenca za izvođenje operacija obrade. Točka se postavlja na osnovi stroja ili na radnoj površini te se koristi kao osnova za određivanje koordinata i putanje obrade. Korištenjem NC stroja omogućuje se precizna kontrola pokreta i brzine obrade, što rezultira točnijim i ponovljivijim rezultatima. NC strojevi se često koriste u industriji za različite vrste obrade, poput rezanja, bušenja, glodanja, tokarenja i brušenja, kako bi se postigla visoka kvaliteta i produktivnost u proizvodnji.

CNC (računalno numeričko upravljanje) kako i sam naziv govori, nastaje spajanjem računala s numeričkim upravljanjem. Koristi interne mikroprocesore (računala) sastavljene od memorijskih registara. Memorijski registri pohranjuju razne rutine koje

⁴ Danijela Pezer: Programiranje CNC Strojeva: Sinumerik 840D; Priručnik. Sveučilište u Splitu, Split, 2022.

mogu uspješno manipulirati logičkim funkcijama, što predstavlja značajnu razliku od NC sustava. Omogućava operateru stroja da modificira program direktno na upravljačkoj jedinici, što je i vrlo zgodno za CNC strojeve. Dakle, CNC strojevi imaju uglavnom iste dijelove kao i stari ručni strojevi, samo što je sada dodana računalna upravljačka jedinica.

Najvažnije vrste CNC strojeva su:

- glodalice i obradni centri,
- tokarilice i tokarski centri,
- bušilice,
- erozimati,
- štance,
- plinske i plazma rezačice,
- rezanje vodom i laserom,
- brusilice,
- strojevi za zavarivanje i
- strojevi za savijanje.

3.1.1. Razlika između NC-a i CNC-a

NC (numeričko upravljanje) i CNC (računalno numeričko upravljanje) sustavi su implementirani s različitim alatima za obradu u različitim industrijama i tvornicama. Ove se kontrole uglavnom razlikuju po tome što je NC tradicionalna kontrola koja omogućuje korištenje prethodno snimljenih podataka u procesu obrade. Umjesto toga, CNC ide korak dalje nudeći više fleksibilnosti i snage. CNC-ovi mogu obrađivati logičke funkcije. Napredak tehnologije ponudio je mogućnosti automatizacije proizvodnje masovnih jedinica, a to je bilo korisno za velike industrije. Jedinice masovne proizvodnje u tim industrijama koriste automatske strojeve ili prijenosne linije i posebne strojeve, jer je broj potrebnih artikala ogroman bez varijacija. U slučaju da je za tekuće zahtjeve proizvoda potrebna različita raznolikost komponenti (npr. posebna ili serijska proizvodnja), koriste se strojevi za sve namjene. Ovi konvencionalni strojevi opće namjene zahtijevaju vještog operatera koji će osigurati ulazne podatke za strojeve. Posao operatera nije samo rukovanje strojem, već i obrada informacija kao što su: čitanje crteža i provjera mjerenja. Razlike su prikazane danom tablicom br.2.

Tablica 2. Razlike NC-a i CNC-a

Usporedba	NC	CNC
Namjena	Numeričko upravljanje	Računalno numeričko upravljanje
Ulazni mehanizam	Bušenje trake i bušenje karte	Program se napaja uz pomoć tipkovnice
Modifikacija u programima stroja	Promjenom podataka na bušenim kartama	Može se postići korištenjem računala
Promjena parametara rada	Nije moguće	Moguće je promijeniti
Memorija za pohranu uputa	Nije dostupno	Prisutna je u računalu
Trošak	Jeftinije	Vrlo skupo
Potrebno održavanje	Nisko	Visoko
Točnost	Umjereno točan	Opsežno točan
Operateri	Moraju biti visoko vješti	Nije potrebna visoka vještina
Fleksibilnost	Manje	Više
Potrošnja vremena	Zahtijeva više vremena	Treba manje vremena

Izvor: Peter Berry (2021.). Razlika između NC i CNC. Internet literatura, dostupno na:

<https://hr1.surveillancepackages.com/difference-between-nc-and-cnc-28d2a> (Pristupljeno

21.02.2023.)

3.2. Dijelovi alatnih strojeva

3.2.1. Pogonski dio

Pogonski dio se mijenjao tijekom stoljeća kako je tehnologija napredovala. Jedan od prvih pogona bio je pogon na snazi životinja, kasnije su korišteni voda i vjetar. U industrijskoj revoluciji počeo se koristiti parni stroj, a nakon toga, zahvaljujući Nikoli Tesli, danas imamo trofazni elektromotor koji je osnovni motor svih alatnih strojeva. Elektromotor je električni stroj koji pretvara električnu energiju u mehanički rad.

Elektromotor s tri faze je kavezni asinkroni elektromotor koji se dosta brzo razvio i njegova se upotreba širi po cijelom svijetu. Prije nije bilo moguće precizno kontrolirati brzinu te razvoj elektronike danas omogućuje kontrolu pokretanja, brzine i momenta

trofaznih kaveznih asinkronih elektromotora.

3.2.2. Prijenosni dio (snage, momenta i sile)

Sila, okretni moment i prijenos snage mijenjali su se tijekom stoljeća s promjenama primarnih pokretača i povećanjem snage motora ovisno o potrebnoj pretvorbi mehaničkog rada kroz napredak tehnologije. Tehnologija je usko povezana s nastankom alata koji se upotrebljavaju u izradi nekoga proizvoda te predstavlja znanost koja proučava primjenu znanja i vještina te organizaciju proizvodnje tehničkih tvorevina.⁵ Pogoni su prijenosnici momenta i snage i mogu biti reduktori (smanjuju brzinu, ali povećavaju snagu) ili multiplikatori. Prema vrsti kretanja gonjenog elementa dijele se na rotacijske i translacijske (pravocrtne) pogone. Ovisno o načinu rada dijelimo ih na električne, mehaničke i hidraulične. Na temelju omjera dijelimo ih na pogone s konstantnim ili promjenjivim omjerom.

3.2.3. Izvršni ili radni dio

Izvršni ili radni dio sastoji se od raznih alata i opreme. Alati su sredstva u izravnom kontaktu s predmetom koji se obrađuje, transformiraju ga ili mijenjaju njegove dimenzije ili svojstva. Uređaji su pomoćna sredstva koja se koriste tijekom proizvodnje, ali ne obrađuju izravno predmet, već su uključeni kao samostalne naprave ili dijelovi alatnog stroja.

3.2.4. Upravljački dio

Upravljački dio alatnog stroja služi za upravljanje kretanjama alata i izratka te za odabir parametara obrade.

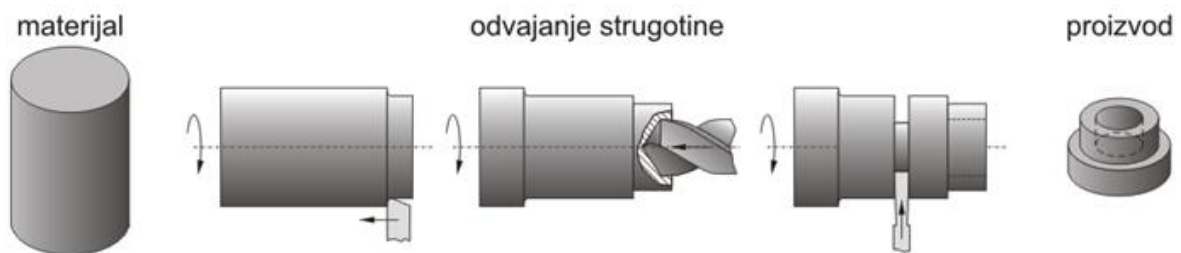
3.3. Podjela alatnih strojeva

Razlikujemo vrste strojeva, strojeve prema vrsti materijala kojeg se obrađuje (obrada metala, drva, plastičnih masa i slično) te razlikujemo strojeve prema načinu oblikovanja i izmjeni dimenzija (sa skidanjem strugotina, bez skidanja strugotina, preoblikovanje deformacijom i korekcijom, specijalni strojevi itd.). Svi strojevi koriste snagu elektromotora kako bi zamijenili ljudski rad i sve procesne materijale s odgovarajućim

⁵ <https://hr.izzi.digital/DOS/16318/16327.html> (pristupljeno 17.03.2023.)

alatima. Svi obradni strojevi imaju naprave za stezanje ili pridržavanje obratka i uređaje za nošenje alata kojima se osigurava siguran položaj alata i obratka za vrijeme obrade. Kada je riječ o ovakvoj vrsti podjele alata, tada govorimo o odvajanju strugotine, točnije načinu oblikovanja nekog proizvoda odvajanjem čestica iliti strojnoj obradi (slika br.8). Geometrija oblika i površine dijelova ovisi o geometriji alata i međusobnim kretnjama obrađenog dijela alata, koji odvaja strugotinu od komada obrade.

Slika 8. Prikaz nastanka proizvoda odvajanjem strugotina



Izvor: <https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20I/01-Uvod.pdf> (Pristupljeno 21.02.2023.)

3.3.1. Strojevi za preoblikovanje deformacijom

Pod ovu skupinu spadaju strojevi za obradu s garantiranom energijom: batovi i vijčane preše, strojevi za obradu s garantiranom silom: hidraulična preša s protokom ili s akumulatorom tlaka te strojevi za obradu sa zagarantiranim hodom: mehaničke preše koje su koljenaste, ekscentarske i višepolužne.

3.3.2. Strojevi sa skidanjem strugotine alatima definirane geometrije

Pod ovakvu skupinu spadaju alati za **piljenje** (okvirno, tračno i kružno), alati za **blanjanje** (dugohodno, kratkohodno i dubljenje), alati za **tokarenje** prema obliku obrađene površine (okruglo, poprečno, konusno, utorno, oblikovno, neokruglo, tokarenje navoja) te univerzalne, karusel, revolver, automatske jednovretene, čeone tokarilice. Spadaju alati za **glodanje** prema obliku glodala (valjkasta, čeona, vretenasta s ravnom ili loptastom čelnom plohom, pločasta s pravokutnim ili profilnim poprečnim presjekom) te pilasta glodala, ovalna glodala i glodala posebnih oblika. Prema obliku obrađene površine (ravno ili plansko, okretno - okruglo i neokruglo, profilno glodanje utora raznih profila i modulno glodanje, ovalno i oblikovno). S obzirom na smjer alata u odnosu na obradak (protusmjerno i istosmjerno) te glodalice

(univerzalne, horizontalne i vertikalne). Spadaju alati za **bušenje** (spiralna svrdla, svrdla za središnje uvrte te posebna svrdla za duboko bušenje) te bušilice(stupne, radijalne). Spadaju strojevi za **upuštanje, razvrtanje i provlačenje** (igle za vanjsku i unutarnju obradu), a isto tako spadaju i prema načinu rada (provlačenje vučenjem - tanke igle i provlačenje tlačenjem - deblje igle).

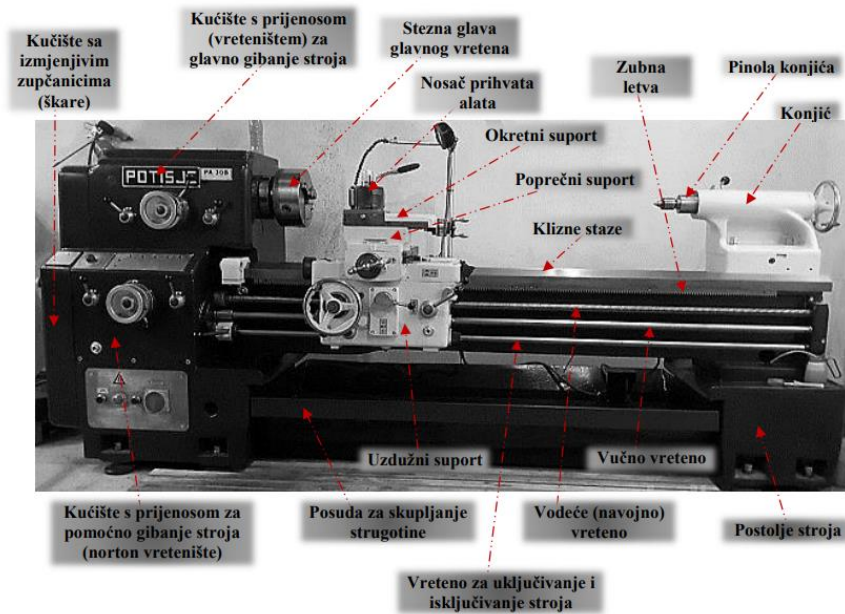
TOKARILICE

Tokarilice su najrašireniji alatni strojevi u obradi odvajanja čestica s najrazličitijim mogućnostima primjene i obrade u proizvodnji. Izradak u tokarilici stegnut je u steznoj glavi koja je pričvršćena na glavnu os stroja i okreće se zajedno s njom ili između dva šiljka, jednog šiljka smještenog u steznoj glavi, a drugog na konjicu stroja. Glavna zadaća tokarilice je odvajanje čestica materijala pomoću alata za rezanje (noža) s oštricom. Obradom na tokarskom stroju dobivaju se osnosimetrični predmeti kružnog presjeka. Pri takvoj obradi predmet obrade izvodi glavno kružno gibanje, dok se alat koji se nalazi u držaču oštrice kreće zajedno s držačem stroja i izvodi pravocrtno pomoćno gibanje. Pomoćno kretanje noža ovisi o glavnom kretanju i provodi se kontinuirano. S jednim okretajem glavnog vretena, nož se kreće u određenom koraku, to kretanje se naziva posmak stroja i mjeri se u mm/okretu. Na (slici br.9) nalazi se prikaz jedne univerzalne tokarilice ili tokarskog stroja te označeni elementi i sklopovi koja ona kao takva sadrži.

Prema konstrukciji i glavnim svojstvima , tokarilice se dijele na:

- tokarilice sa šiljcima (obične i univerzalne tokarilice),
- čeone tokarilice,
- vertikalne (karusel) tokarilice,
- revolverске tokarilice,
- višerezne tokarilice,
- kopirne tokarilice,
- poluautomati i automati,
- tokarilice specijalne namjene,
- CNC tokarilice.

Slika 9. Univerzalni tokarski stroj



Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Tokarilica> (Pristupljeno 22.02.2023.)

Danas se sve češće koristi CNC tokarilica (slika br. 10). Imaju jedno ili dva vretena (stezne glave), jedan ili dva nastavka za revolver. Alati se mogu isporučivati sa ili bez napajanja, pogona. Oni s pogonskim alatima pretvaraju se u obradne centre. Jednostavno programiranje omogućuje strojnu obradu složenih dijelova. Složeniji detalji mogu se programirati pomoću CAD-CAM tehnologije.

Slika 10. CNC tokarilica



Izvor: <https://bernardandcompany.com/siemens-and-biglia-offer-full-flexibility-in-new-quattro-series-of-turning-centers/> (Pristupljeno 22.02.2023.)

BUŠILICE

Bušilice su alatni strojevi za obradu odvajanja čestica koji koriste alat za bušenje novih cilindričnih rupa i modificiranje postojećih. Za bušenje rupa koriste se svrdla, a najčešća su spiralna oblika. Glavno kretanje je kružno i izvodi ga alat. Alat također vrši pomoćno pravocrtno kretanje u smjeru osi rotacije. Izradak je fiksiran na stolu i stoji mirno. Osim bušenja i zabušivanja novih rupa te izrade provrta, možete izvoditi i druge operacije obrade postojećih rupa u bušotinama, a neki od takvih su: bušenje, proširivanje (prethodi operaciji razvrtanja), razvrtanje, zabušivanje, upuštanje provrta (konusno), razvrtanje konusa, urezivanje navoja, vanjsko (ravno) upuštanje te upuštanje provrta (ravno).

Vrste bušilica prema konstrukcijskoj izvedbi:

- stolne i stolno-stupne bušilice,
- stupne bušilice,
- radijalne bušilice (slika br.11),
- koordinatne bušilice,
- agregatne bušilice,
- redne bušilice,
- horizontalne bušilice te
- viševretene bušilice.

Slika 11. Prikaz radialne bušilice



Izvor: <https://metal-kovis.hr/> (Pristupljeno 23.02.2022.)

Isto tako postoje i CNC bušilice kao što je već i prije spomenuto. Ovaj alat se koristi u mnogim domaćinstvima, sastavni je dio pomagala u raznim industrijama. Najčešće su jednostavne, ručne bušilice, a uz njih postoje još i koordinatne ili numerički upravljane bušilice (slika br.12).

Slika 12. CNC bušilica



Izvor: <https://www.indiantradebird.com/pune/cnc-profile-cutting-machines/ITB-35A8C473> (Pristupljeno 23.02.2023.)

GLODALICE

Glodalice su alatni strojevi za odvajanje čestica. Glodalice su namijene izradi raznovrsnih profilisanih ravnih i zakrivljenih površina.⁶ Kod obrade na glodalici alat (npr. Glodalo) ima više oštrica i vrši glavno kružno kretanje, dok predmet obrade vrši pomoćno pravocrtno kretanje. Alat je učvršćen u držaču s konusnom drškom, koji je uglavnom fiksiran za glavno strojno vreteno. Na glodalicu se može montirati jedan ili više alata istovremeno, što omogućava realizaciju simultane obrade. Stoga je uporaba glodalica u proizvodnji široko rasprostranjena. Odobrenja alatnih strojeva su standardizirana. Glodalice koriste se za izradu ravnih površina, kontura, raznih kosina, okruglih oblika, glodanje vanjskih i unutarnjih navoja itd. Nedavno su glodalice gotovo zamijenile kratkohodne i dugohodne blanjalice zbog povećane produktivnosti i preciznosti. Radni komad mora biti stegnut na stolu za glodanje i osiguran od pomicanja tijekom cijele obrade. Osiguranje od pomicanja tijekom obrade na glodalici postiže se na nekoliko načina. Stezanje izratka zatezačima na stolu glodalice ili u uređaju, stezanje u čeljusti škripca, u čeljusti stezne glave ili u čeljusti stezne glave razdjelne glave uređaja i korištenjem konusnog trna između zubaca.

Vrste glodalica prema izvedbi i položaju radnog vretena:

- vertikalne glodalice,
- horizontalne glodalice,
- univerzalne glodalice (slika br.13),
- portalne glodalice i
- specijalne glodalice.

⁶ https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/alatni_strojevi_za_obradu_drвета.pdf (pristupljeno 12.03.2023.)

Slika 13. Prikaz univerzalne glodalice



Izvor: <https://metal-kovis.hr/webshop/price/12441/glodalica-prvomajska-guk-1p-obnovljena>

(Pristupljeno 25.02.2023.)

Nisu sve oštrice ovog alata uključene u isto vrijeme. Kao takvo, glodanje je složenija operacija od tokarenja ili bušenja zbog većeg broja oštrica alata i varijabilnog dijela strugotine koji se uklanja s pojedinačnih zuba tijekom strojne obrade. Također postoje CNC glodalice (slika br.14).

Slika 14. CNC glodalica



Izvor: <https://machines.co.nz/product/pinnacle-vertical-machining-centre-lv-116126/> (Pristupljeno

25.02.2023.)

3.3.3. *Strojevi sa skidanjem strugotine alatima nedefinirane geometrije*

U ovakvu skupinu strojeva spada **brušenje** prema načinu obrade rezne površine brusa (jednorezni dijamant, višerezni dijamant, višerezno okretni dijamant, blok s dijamantnom prevlakom, dijamantna rolica, tlačna rolica. Ubrajaju se još i **superfiniš**, **honanje** te **lepanje** (prisilno lepanje, lepanje mlazom, lepanje umakanjem i lepanje glađenjem ili poliranje).

BRUŠENJE

Brušenje je vrlo precizan proces odvajanja (rezanja) čestica koji se koristi za finu i vrlo često završnu obradu površina, vrlo često tvrdih i ravnih, cilindričnih ili složenih oblika. Za najčešće konvencionalno brušenje, dodatak brusnog materijala je 0,1 do 0,2 mm. Moguća klasa hrapavosti površine je N3 - N6, a nosivost površine je do 40%. Izvodi se na alatnim strojevima, uglavnom brusnim pločama, gdje je glavno (režno) kretanje kružno, kontinuirano i vezano za alat. Režno kretanje je glavno i njegov oblik ovisi o vrsti brušenja. Alat za brušenje je brusilica s više oštih oštrica. Noževi se oslanjaju na brusna zrna koja čine neodređenu geometriju reznog dijela i osnovni su dio brusne ploče. Najčešće korištena brusna zrna su: korund (Al₂O₃), silicijev karbid (SiC), kubni bor nitrid (CBN) i polikristalni dijamant (PCD).

Prema kinematici postupka brušenje dijelimo na:

- istosmjerno i protusmjerno

Prema položaju reznih oštrica na brusu:

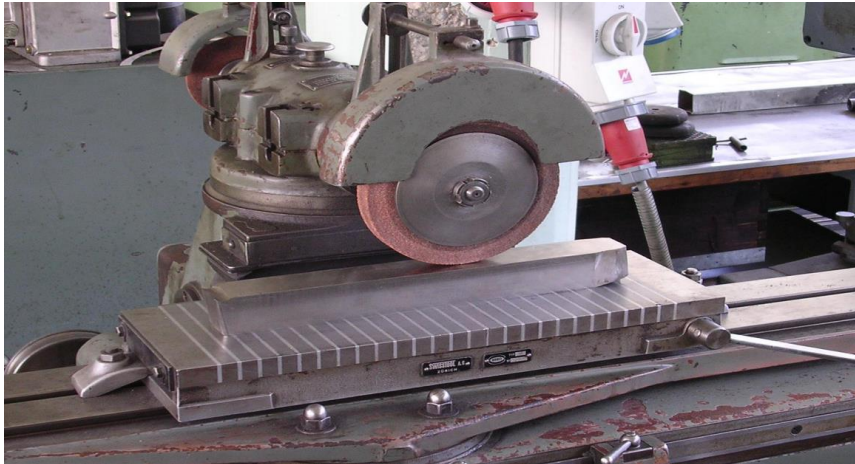
- obodno i čeono

Prema obliku obrađene površine:

- okruglo (vanjsko i unutarnje), ravno (obodno i čeono) i brušenje složenih površina

Na slici br.15 je prikaz jedne vrste brušenja.

Slika 15. Vanjsko obodno ravno brušenje



Izvor:

http://titan.fsb.hr/~mklaic/ODOO_dio_obrada_odvajanjem/Predavanja/10.PREDAVANJE_ODIOO-w2.pdf (Pristupljeno 25.02. 2023)

Brušenjem se postižu vrlo visoke točnosti obrade i vrlo visoka kvaliteta obrađene površine, a tome još veću pažnju daju CNC brusilice (slika br.16).

Slika 16. CNC brusilica za ravno brušenje



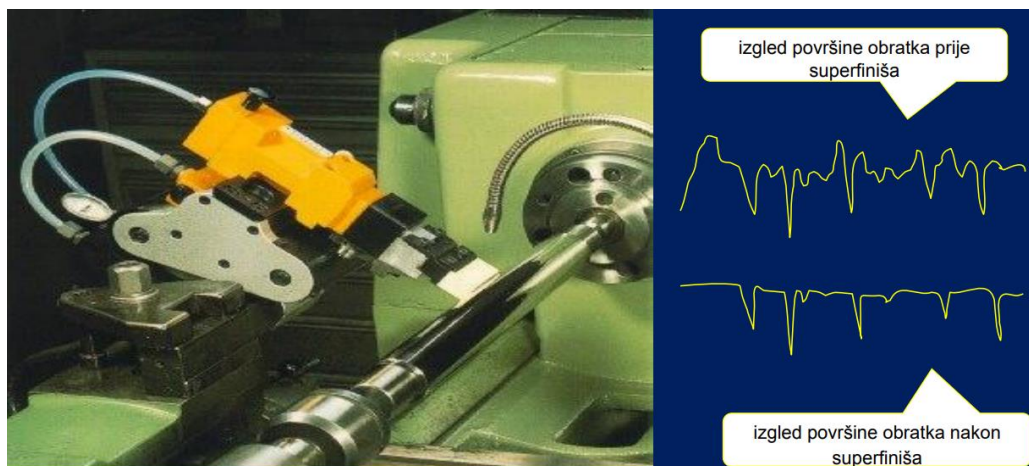
Izvor: <https://my.mech.utah.edu/~me7960/lectures/Topic1-ExamplesOfPrecisionMachineDesigns.pdf>

(Pristupljeno 25.02.2023.)

SUPERFINIŠ

Superfinaši ili kratkotrajno honanje je završni postupak odvajanja čestica (rezanjem) koji se koristi za vrlo finu završnu obradu (N1-N3) i za povećanje nosivosti (do 95%) vanjskih kružnih površina. Za razliku od drugih obrada, mehanička obrada se sastoji u izrezivanju (uklanjanju) samo gornjeg dijela nesavršenosti preostalih nakon prethodne obrade (običnog brušenja). Glavno režno kretanje je ravno oscilirajuće kretanje alata. Kretanje probijanjem je jednostavno uzdužno kretanje alata i istovremeno kružno kretanje izratka. Alat Superfinaš (slika br.17) je brusni element dimenzija 30 x 50 x 80 mm s većim brojem reznih noževa. Noževi su postavljeni na brusna zrna koja tvore neodređenu geometriju reznog dijela i osnovna su komponenta reznog elementa (zrnatost 300 -500). Obavezna je uporaba SHIP-a (smjesa mineralnog ulja i petroleja ili samo petroleja).

Slika 17. Prikaz superfinaša i krivuljni izgled površine obratka prije i nakon obrade



Izvor: <https://kovt.uniza.sk/files/projekty/kega022-2017/en/3-superfinishing.pdf> (Pristupljeno 26.02.2023.)

3.3.4. Strojevi sa skidanjem strugotine alatima bez oštrica

U ovakve tipove strojeva spadaju elektrokemijska obrada, elektroerozijska obrada (obrada žigom i žicom) te obrada laserom i vodenim mlazom.

HONANJE

Honanje je završni postupak odvajanja čestica (rezanja) koji se koristi za superfinaš (N2-N5) i povećanje nosivosti (do 95 %) unutarnjih kružnih površina. Za razliku od

drugih obrada, mehanička obrada se sastoji u izrezivanju (uklanjanju) samo gornjeg dijela nesavršenosti preostalih nakon prethodne obrade brušenja. Glavno kretanje rezanja je rotacija alata. Režno gibanje je uzdužno linearno gibanje alata u određenom omjeru prema glavnom gibanju. Alat za honanje (slika br.18) je glava honanja s hidrauličkom ili mehaničkom podjelom segmenata za brušenje. Segmenti za mljevenje također se mogu zaključati, u ovom slučaju se oblik rupe može malo korigirati. Noževi za rezanje nalaze se na brusnim zrcima, koja imaju nedefiniranu geometriju reznog dijela i koji čine osnovnu komponentu brusnog segmenta (zrnatost 300 - 500). Obavezna je uporaba SHIP-a (mješavina mineralnog ulja i petroleja ili samo petroleja).

Slika 18. Prikaz honanja

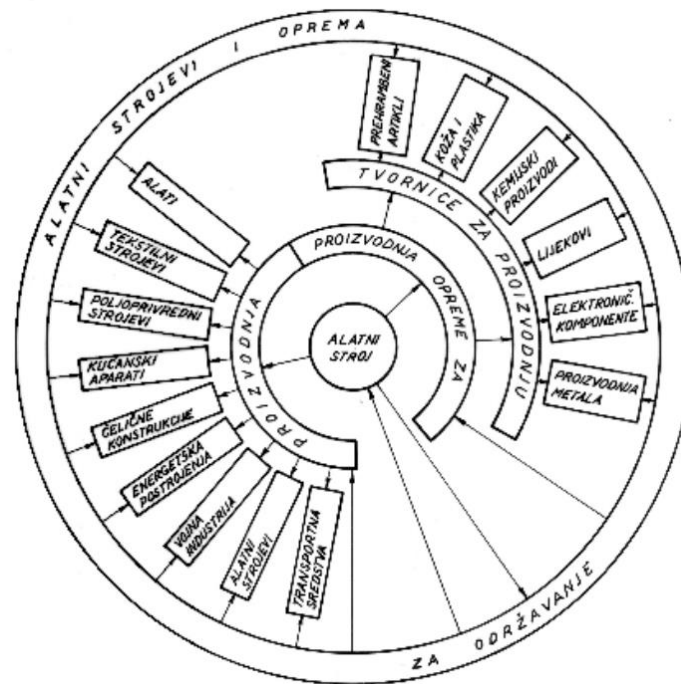


Izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=EiXDjiO8SiE> (Pristupljeno 26.02.2023.)

3.4. Primjena alatnih strojeva

Alatni strojevi imaju veliku ulogu i primjena im je na svakom koraku. Svaki alatni stroj služi za nešto i to uvelike pomaže u proizvodnji. Industrija i je gospodarska djelatnost koja koristi strojeve i mehanizirane procese rada za postizanje masovne i standardizirane proizvodnje, pa je do velike važnosti i koristi uloga alatnih strojeva. Svaki alatni stroj služi za nešto, pa time i doprinosi velikom učinku u proizvodnji.

Slika 19. Primjena alatnih strojeva u gospodarstvu i svakodnevnom životu



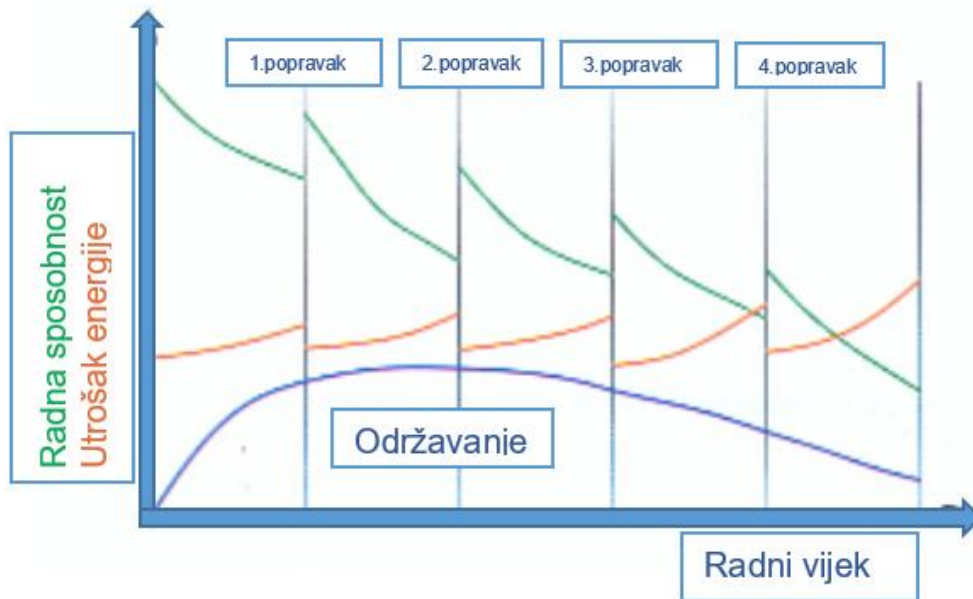
Izvor: Zoran Kalinić: Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga Zagreb, 1997, slika prvi put prikazana 1978. u Eindhovenu na Skupštini Međunarodne Akademije za Proizvodne znanosti

U središtu opisa (slika br.19) je alatni stroj koji se može koristiti za izravnu proizvodnju različitih proizvoda. U lijevoj grani polukruga prikazane su samo neke od proizvodnji, kao što su prijevozna sredstva, elektrane, kućanski aparati, poljoprivredni strojevi, oružje itd. Desni polukrug prikazuje upotrebu alatnih strojeva u proizvodnji opreme i drugih proizvodnih pogona za izradu serijskih proizvoda iz elektroindustrije, farmaceutske industrije, kemijske industrije, koža, plastika, hrana, itd. Kružna kruna pokriva sve opisane aktivnosti, sa alatnim strojevima spomenutim u funkciji održavanja. Ako želimo sve što smo proizveli održati u uporabnom stanju, potreban nam je alatni stroj i alat za održavanje. Nema šanse da su zrakoplovi, automobili, elektrane, ceste i alatni strojevi nepouzdana za korištenje kada nije redovito održavano. Od posebne je važnosti činjenica da se alatni strojevi proizvode i servisiraju u tvrtki. Alatni strojevi uvijek se mogu obnoviti i reciklirati. Ova činjenica govori o posebnoj prednosti nacija koje imaju vlastitu proizvodnju alatnih strojeva.

3.5. Radni vijek alatnih strojeva

Vijek trajanja strojeva je vrijeme u kojem ti strojevi ispune, obavljaju svoju funkciju. Operativni životni vijek ovisi o nekoliko čimbenika, od kojih su najvažniji pravilno rukovanje, redovito održavanje i kvalitetni popravci. Kako bi alatni stroj imao što duži radni vijek i kako bi se smanjila opterećenja, sve više se koriste nove tehnologije obrade kao što su brza, suha ili tvrda obrada. Ovi tretmani su bolji i za okoliš i za strojara, ali su alati nešto skuplji. Takvi alati su obloženi slojevima metala, vrijeme između izmjena alata je duže, intervali održavanja su duži, jer je danas cilj proizvodnje da stroj bude što više u upotrebi sa što manje održavanja. Učestalost održavanja stroja i njegovo trajanje ovisi o obliku i vremenu korištenja. Alatni strojevi prije remonta rade dvadesetak godina, nakon čega se odlučuje je li bolje kupiti novi ili generalno popraviti stari. U nekim alatnicama, gdje je proizvodnja po narudžbi češća i gdje brzina nije bitna, a stroj ne radi stalno, redovitim održavanjem može se produljiti vijek trajanja i do četrdesetak godina. Da bi zadovoljio kriterije, mora biti proizveden što je moguće više u što kraćem vremenu. Tvrtke su prisiljene kupovati nove strojeve koji imaju puno veću produktivnost (kom/h), zbog čega se sve više starih strojeva povlači, a ne zato što im je istekao vijek trajanja, nego zato što su spori i nisu namijenjeni povećanju masovne proizvodnje. Na tržište dolaze nove tehnike i tehnologije obrade, ključna je brzina, vrijeme, kompaktnost stroja i na kraju njegova ekonomičnost. I sami proizvođači strojeva znaju da je svejedno hoće li alat trajati za pet, deset ili petnaest godina, važno je da zadovolji visoku produktivnost, jer oni sami znaju da će nakon nekoliko godina doći novi zahtjevi od korisnika koji više nisu zadovoljni performansama trenutnih strojeva. Stari strojevi (misli se na one proizvedene do ranih 1990-ih) napravljeni su da traju, a novi se zamjenjuju svakih nekoliko godina zbog složenijih dijelova, povećane upotrebe softvera i elektronike koji smanjuju korisni životni vijek samog stroja. Iako su servisni intervali novih strojeva dulji (osim strojeva iz Kine, koji su izrađeni od recikliranog materijala), kompliciraniji su za otklanjanje grešaka i održavanje te je potrebno sve više obučenog osoblja.

Slika 20. Prikaz radnog vijeka stroja



Izvor: <https://strojarskaradionica.wordpress.com/tag/zivotni-vijek-stroja/> (Pristupljeno 26.02.2023.)

Iz slike br.20 se vidi da su radna sposobnost strojeva i utrošak energije neposredno vezani uz organizirano održavanje i da se organiziranim održavanjem produljuje radni vijek stroja.

4. Održavanje alatnih strojeva

Pojavom nove generacije alatnih strojeva složenije izvedbe javlja se potreba za njihovim održavanjem ili samoodržavanjem. Održavanje treba shvatiti ozbiljno kako daljnji razvoj gospodarstva ne bi stagnirao, jer je pravilnim održavanjem moguće obnoviti i poboljšati radnu opremu. Organizacija održavanja strojeva izuzetno je važna, inače se smanjuje učinkovitost rada stroja, a u slučaju kvara čovjek više služi stroju, nego što stroj služi čovjeku. Održavanje je bitno za poboljšanje kvalitete i izbjegavanje zastoja u proizvodnom procesu, odgađajući gotove proizvode i smanjujući troškove zastoja. Upravljanje strojevima i uređajima skup je radnji koje obavljaju restauratori i upravitelji sredstava rada, a čija je zadaća spriječiti i otkloniti kvarove u tehničkom sustavu. Zadaća rada strojeva i opreme je osigurati tehničko stanje, otpornost radnih sredstava uz održavanje tehnološke ispravnosti uz postizanje planiranog roka uporabe bez naglih prekida. Osnovna zadaća održavanja je pregledima i preventivnim mjerama otkriti i otkloniti oštećenja koja mogu dovesti do kvarova. U slučaju kvara na dijelovima stroja i sustava, kvar se mora otkloniti što je brže moguće kako bi se spriječili kvarovi i minimizirala kašnjenja u proizvodnji. Svrha održavanja strojeva i opreme je:

- smanjiti vrijeme i broj prekida u proizvodnom ciklusu pravodobnim i pažljivim izvođenjem aktivnosti održavanja,
- minimizirati troškove rada i materijala te
- smanjiti broj zastoja strojeva uzrokovanih kvarovima

Ničeg od ovog ne bi bilo da ne postoje metode održavanja, koje imaju svoju svrhu i pomoću kojih se određuje i zna vrijeme i reakcija na određeni kvar ili zastoj.

4.1. Metode održavanja

Težnja je svakog poduzeća poslovati sa što manjim zastojima proizvodnje i sa što nižim troškovima. U tom smislu, održavanje radnih sredstava mora biti ekonomično i u isto vrijeme kvalitetno pa će poduzeće biti konkurentno na tržištu.⁷

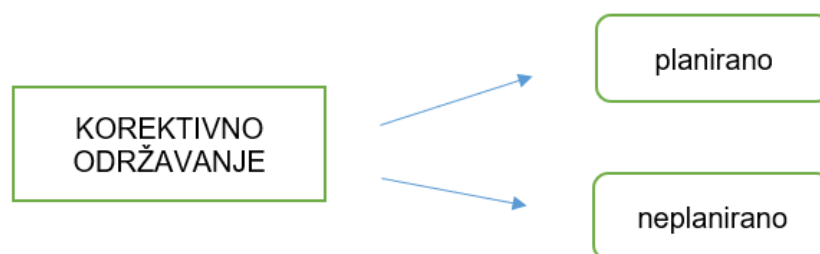
4.1.1. Metoda korektivnog održavanja

Korektivno održavanje ili strategija kvarova znači otklanjanje kvarova i oštećenja nakon

⁷ Budimir Mijović, Održavanje strojeva i uređaja. Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2019.

što su se dogodili. Ovo pokriva istrošene ili već oštećene dijelove uređaja i vraća sustav u stanje u kojem može obavljati predviđenu funkciju. Ovaj tip održavanja temelji se na motu "ne diraj, vidi kako radi". S ovim održavanjem, preventivno održavanje je svedeno na minimum i sustav radi sve dok komponenta ne otkáže. Najgora posljedica kvara je prestanak rada stroja. Ovo je najčešći način održavanja koji se danas koristi i izgleda najjeftiniji. Cijena redovnog održavanja u ovom slučaju je jednaka nuli, tj. nema naknada za rutinsko održavanje. Održavanje se provodi tek nakon kvara, a često se kod kvara jednog dijela oštećuju i okolni dijelovi i oprema. Također, kod ovog načina održavanja upitna je pouzdanost sustava, koja izravno ovisi o pouzdanosti najslabijeg elementa. Zastoj se ne može predvidjeti niti vrijeme potrebno za popravak sustava. Kod ovakvog načina održavanja, kako bi se izbjegli dugotrajni zastoji zbog kvarova, jedina mogućnost je držati sve dijelove postrojenja u rezervi, što značajno povećava troškove održavanja. Iz navedenog proizlazi da se najveći i najskuplji sustavi ne mogu servisirati ovim načinom održavanja, već se servisiraju individualnim metodama preventivnog održavanja. Ova metoda se koristi za manje, jeftinije stavke, na primjer, propulzijski sustavi zrakoplova podvrgnuti su preventivnom održavanju, dok je hladnjak za piće u zrakoplovu podvrgnut korektivnom održavanju. Korištenje korektivnog održavanja prihvatljivo je kada posljedice kvara nisu dovoljno značajne da zahtijevaju korištenje planiranog održavanja (preventivnog ili prediktivnog). Korektivno održavanje je vrlo često i neplanirano, ali se za pojedine zadatke održavanja izrađuju i planovi održavanja.

Slika 21. Podjela korektivnog održavanja



Izvor: Samostalna izrada prema knjizi autora Zoran Kalinić: Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga Zagreb, 1997

Korektivno održavanje može biti planirano i neplanirano. Planirani su oni koji se izvode strategijom čekanja, gdje se oprema namjerno i svjesno ostavlja da radi sve dok se ne

dogodi kvar, a neplanirani su kada su izostavljene druge strategije održavanja ili je vlasnik nemaran i zanemari opremu. Prednosti korektivnog održavanja su maksimalna dostupnost stroja između gašenja ili prekida, minimalno planiranje (bez održavanja ili rasporeda održavanja dok ne otkaže). Nedostaci ovakvog tipa su neplanirana zaustavljanja, sigurnosni rizik, veći gubici u proizvodnji, dulja vremena popravka, više osoblja za održavanje, nedostatak nadzora i pouzdanosti u radu postrojenja itd.

4.1.2. Metoda preventivnog održavanja

Preventivno održavanje također je poznato i kao redoviti te planirani servis koji je na snazi prema fiksnom rasporedu. Sastoji se od izvođenja niza intervencija prema planiranom planu prije nego što dođe do oštećenja ili kvara. Temelji se na motu „bolje spriječiti nego liječiti“. To znači stalnu brigu i održavanje sustava. Na taj način sustav održava zadovoljavajuće karakteristike performansi sustavnim praćenjem, otkrivanjem i ispravljanjem potencijalne greške prije nego što se dogodi. Prioritet ove vrste održavanja je uspostaviti i provesti određenu razinu održavanja opreme kako bi se ona redovito i pravovremeno održavala. Takav sistemski pristup zahtijeva pregled stroja čak i ako strojevi nemaju uzrok ili nekakve naznake kvara. Ovo održavanje je izuzetno složeno, iako kada se senzori postave na prava mjesta, iz prikupljenih podataka o parametrima rada možemo prikupiti i analizirati stanje, kreirati odgovarajući servisni model i procijeniti buduće kvarove. Pomaže smanjiti vjerojatnost kvara, produžiti vijek trajanja stroja i povećati pouzdanost implementacijom preventivnih postupaka.

Preventivno održavanje ima prednosti i nedostatke u usporedbi s korektivnim održavanjem.

Prednosti su:

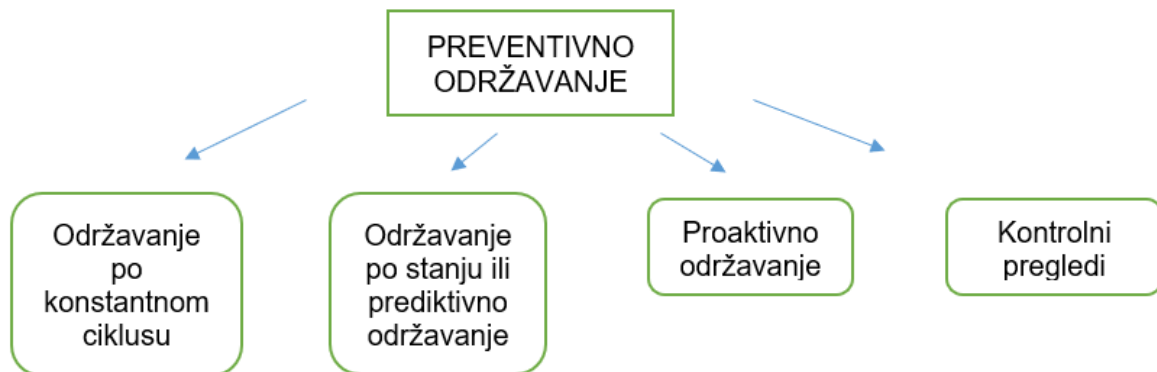
- povećana pouzdanost radne opreme i sustava,
- mogućnost planiranja vremena održavanja,
- mogućnost predviđanja troškova održavanja i time lakšu kontrolu.

Nedostaci su:

- povećani troškovi održavanja (teoretski, ali često ne i u stvarnosti, kvar uređaja tijekom popravka često dovodi do znatno viših troškova),
- povećana vjerojatnost kvara uređaja zbog pogreške ljudskog operatera,
- visoki troškovi održavanja zbog često nepotrebne zamjene dijelova

Aktivnosti i zadaci koji se obavljaju su česti i zahtijevaju utvrđen plan i raspored za rad. Glavna podjela preventivnog održavanja (slika br.22) je održavanje po konstantnom ciklusu, praćenje stanja ili prediktivno održavanje, proaktivno održavanje te naknadne inspekcije ili kontrolni pregledi.

Slika 22. Podjela preventivnog održavanja



Izvor: Samostalna izrada prema knjizi autora Zoran Kalinić: Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga Zagreb, 1997

Održavanje po konstantnom ciklusu je vrsta održavanja, također poznata kao plansko-preventivno održavanje, koje se izvodi na temelju prethodno utvrđenih uputa i postupaka. Zadaci održavanja provode se po planu, prema nekim specifičnim kriterijima rada kao što su vrijeme, prijeđena udaljenost, broj uključenih i isključenih postrojenja, količina proizvedenih proizvoda itd. Uključuje aktivnosti kao što su pregledi, čišćenje i pranje, podmazivanje i zamjena rezervnih dijelova. To su aktivnosti koje se provode kako bi se otkrile i spriječile pogreške koje mogu dovesti do oštećenja i kvarova. Provođenjem ovakvog tipa održavanja smanjuje se pojava oštećenja, kvarova i havarija, usklađuje raspored održavanja s planom proizvodnje i ostale slične radnje. Isto tako povećavaju se troškovi održavanja, budući da je vrijeme između i za vrijeme preventivnog održavanja kraće od zastoja (smanjuje se vrijeme rada stroja između pauza), također se može dogoditi i da stvarno stanje sustava odstupa od preporuka i standarda koji su definirani na način da se planirano preventivno održavanje provodi uz ostale strategije održavanja.

Proaktivno održavanje se u određenoj mjeri može klasificirati kao preventivno održavanje, jer poduzima mjere za sprječavanje kvarova i radi na uklanjanju izvora kvara. Cilj proaktivnog održavanja je promatrati zastoje kao nešto što se može predvidjeti i eliminirati prije nego što se dogodi. Metode proaktivnog održavanja su:

- analiza uzroka korijena kvarova,
- analiza uzroka i posljedica kvarova,
- održavanje usmjereno ka pouzdanosti.

Analiza uzroka korijena kvarova neuspjeha kao takvog je logična, strukturirana i deduktivna tehnika koja može otkriti temeljne uzroke koji su doveli do istog. Svrha ovakve analize je pružiti dovoljno informacija o uzrocima kvarova kako bi se omogućile točne i odgovarajuće protumjere. Izvodi se u situacijama kada se oprema često kvari. Kada neki uređaji zakažu, potrebno je pronaći uzrok greške kako se ista greška ne bi ponovila u budućnosti. **Analiza uzroka i posljedica kvarova** je metoda kojom se identificiraju svi mogući kvarovi i analiziraju njihove posljedice. Idealno, ova metoda počinje na samom početku životnog ciklusa uređaja, od koncepta i dizajna do kraja životnog vijeka. Provodi se na način da se kvarovi vrednuju prema kriterijima ozbiljnosti, učestalosti i težine detekcije, odnosno za svaki kvar prioritete vrijednosti RPN rizika (umnožak ozbiljnosti, učestalosti i težine otkrivanja) određen za svaki neuspjeh. Na temelju dobivenog RPN-a procjenjuju se troškovi rizika i uspoređuju s troškovima mjera za otklanjanje rizika, na temelju čega se donosi odluka o daljnjim mjerama. **Održavanje usmjereno ka pouzdanosti** ima za cilj osigurati dostupnost i pouzdanost opreme ili dijelova koji najviše utječu na implementaciju funkcionalnosti sustava. Iz tog slijedi da je održavanje usmjereno pouzdanosti proces sistematičnog određivanja što sve moramo poduzeti kako bi osigurali da fizička imovina nastavi funkcionirati prema svojoj namjeni i raditi što vlasnici žele da radi.⁸ Provedba ove strategije sastoji se od postavljanja i odgovaranja na sedam pitanja po standardu SAE JA1011. Ovakav standard opisuje važnost funkcije promatranog dijela i kako dio možda neće obavljati svoju funkciju, uzrok kvara, posljedice kvara, kako predvidjeti i spriječiti kvar i što učiniti kada metoda dođe do kvara, a ne može se odrediti odgovarajuće održavanje.

⁸ <https://strojarskaradionica.wordpress.com/2019/01/17/odrzavanje-usmjereno-prema-pouzdanosti-recenzija-prirucnika/> (pristupljeno 12.03.2023.)

Kontrolni pregledi služe za utvrđivanje funkcionalne i tehničke ispravnosti sredstava za rad, a provode ih ispitivači javnih tijela ili specijaliziranih tvrtki koje rade prema posebnim zakonskim propisima. Mogu se provjeriti prijevozna sredstva, aparati za gašenje požara, električne instalacije i sl.

4.1.3. Metoda prediktivnog održavanja

Prediktivno održavanje je održavanje koje još ima naziv i održavanje prema stanju te koje se zbog svoje važnosti često naziva novom posebnom strategijom održavanja. Definira se kao vrsta održavanja koja naglašava rano predviđanje kvarova. To je dijagnostički proces u kojem utvrđujemo stanje, "zdravlje" svakog dijela tehničkog sustava, koji možemo mjeriti i čije ponašanje kontroliramo kroz određene parametre. Ovo održavanje se provodi kada određeni indikatori ukazuju na to da će sustav, stroj ili uređaj otkazati ili kada indikatori pokazuju smanjenje performansi uređaja. Prediktivno održavanje bilo kojeg proizvodnog pogona treba poboljšati tako da uključuje četiri različita elementa sustava koji odgovaraju na pitanja tko, što, kako i koliko. Tko ima koristi od prediktivnog održavanja? Korisnici strojeva i osoblje za održavanje su u prvom planu. Kada je proizvođač stroja odgovoran za prognozu, također će se baviti upravljanjem i zahvatima prediktivnog održavanja. Strategija za točno određivanje kada je stroju potrebno održavanje je osigurati da nije potrebno ni previše ni premalo održavanja. Ovo optimizira korištenje resursa za održavanje, smanjuje zastoje u proizvodnji i povećava produktivnost. Tehnike za takvo održavanje su analiza vibracija, termografija i analiza ulja. Dobar program može identificirati potrebne popravke prije nego li postanu skupi ili dovedu do katastrofalnog kvara. Prediktivno održavanje pomaže nam da točnije odredimo koliko je vremena preostalo prije nego što se stroj pokvari i prestane raditi te možemo planirati zastoje, troškove održavanja i količine proizvoda. Ovo je radi praćenja istrošenosti dijelova kako bi se rezervni dijelovi pripremili prije nego što se pokažu kako bi se mogli na vrijeme zamijeniti. Za veću učinkovitost i smanjenje troškova, vlasniku omogućuje postavljanje korektivnih radnji.

4.2. Načini održavanja organizacije službe održavanja

Održavanje radnih resursa dio je proizvodnog procesa koji služi svojoj svrsi održavanja tehnološke opreme u proizvodnim uvjetima. To znači da održavanje dovodi i održava ljudske resurse u potrebnoj radnoj sposobnosti. U alate spadaju i alatni strojevi svih metalurških pogona. Održavanje opreme za rad podrazumijeva stalnu provjeru opreme za rad, provođenje ciljanih popravaka i provođenje preventivnih mjera za izbjegavanje zastoja u proizvodnom procesu. Također pomaže u postizanju sveobuhvatnog cilja servisne funkcije, a to je osigurati optimalnu dostupnost opreme kupljene i instalirane u proizvodnim tvrtkama po najnižoj mogućoj cijeni. Zadaća službe je održavanje opreme za rad u proizvodnom stanju. Osim toga, ova radna jedinica društva vrši usavršavanje sredstava za rad ili mijenja njihovu funkciju, izrađuje nova sredstva za rad te se bavi opskrbom električne energije i drugim energentima (voda, para, komprimirani zrak, plin i ostalo). Ovisno o vrsti i veličini poduzeća te vrsti strojeva i opreme koja zahtijeva održavanje te stupnju kvalifikacijske strukture za radnike automatizacije, služba održavanja može biti organizirana kao centralizirana, pojedinačna ili kombinirana, a održavanje se povjerava vanjskim suradnicima ili kooperantima. Svaki organizacijski tip je za sebe poseban te čini održavanje na razini na kojoj mora biti. Ciljevi službe mogu se podijeliti na tehničko-tehnološke i ekonomske.

4.2.1. Centralno održavanje (centralizirano)

Tip organizacijske usluge održavanja da u poduzeću postoji samo jedna jedinica službe održavanja. Ovako sastavljena usluga omogućuje i lakšu implementaciju standardizacije i tipizacije, brže usvajanje novih tehnoloških praksi te mogućnost udruživanja stručnjaka. U takvoj radnoj skupini svi stečajni stručnjaci radne skupine vrlo brzo rješavaju problem, vrlo brzo i učinkovito djeluju na otklanjanju stečaja. Postoje i nedostaci u ovom načinu održavanja, a to je inertnost u odnosu na slučaj iznenadnih zaustavljanja, gdje mogu nastati konfliktne situacije između održavanja i izravne proizvodnje, a samim tim i loše praćenje statusa proizvodnje radne opreme. Osim toga, zbog loše povezanosti s drugim odjelima i lošeg praćenja ljudskih resursa, centralizirano održavanje slabo reagira na iznenadne kvarove, što rezultira zastojima u proizvodnji.

4.2.2. Pojedinačno održavanje (decentralizirano)

Takav oblik organizacijske usluge da svaka proizvodnja ili odjel ima svoju jedinicu za održavanje. Praćenje stanja opreme za rad je odlično, kao i odgovor na iznenadne kvarove, ali ove jedinice održavanja nisu u mogućnosti otkloniti sve kvarove zbog nedostatka dovoljno stručnih radnika, pa je potrebno angažirati vanjske stručnjake, koji poskupljuju cjelokupnu proizvodnju i održavanje. Jedina prednost je što se neki zaposlenici mogu specijalizirati za servisiranje određenih strojeva, što im pomaže da nastave koristiti isti stroj.

4.2.3. Kombinirano održavanje

Kombinacija je prednosti centraliziranog i decentraliziranog održavanja. Proizvodni odjeli imaju vlastite radionice za održavanje s minimalnim brojem zaposlenika koji vrlo brzo reagiraju na iznenadne kvarove i dobro poznaju stanje strojeva, njihovih komponenti i dijelova te ujedno vode računa o cjelokupnoj dokumentaciji stroja. U slučaju kvarova koji se ne mogu otkloniti ili većih radova na održavanju, pozivaju se stručnjaci centralnog održavanja te se stroj ili uređaj šalje u centralne servisne radionice.

4.2.4. Kooperativno održavanje

Vrsta je održavanja u kojoj se održavanje opreme za rad u cijelosti ili djelomično povjerava specijaliziranim radnim organizacijama. Ova vrsta održavanja primjenjiva je kada radna organizacija nema potrebno osoblje, kada je tvrtka premala da bi organizirala uslugu održavanja, kada je trošak vanjskih radnika manji, a učinkovitost održavanja veća.

4.3. Ciljevi službe održavanja

Kao što je već prije rečeno, ciljevi službe mogu se podijeliti na tehničko-tehnološke i ekonomske.

Tehničko-tehnološki ciljevi održavanja su:

- održavanje radne sposobnosti tehnološke opreme na potrebnoj razini,
- uvođenje inovacija i unapređenje radnih sredstava,
- produljenje vijeka trajanja tehnološke opreme,
- postizanje bolje kvalitete obrade proizvoda,
- ravnomjernije i brže odvijanje proizvodnog procesa.

Ekonomski ciljevi održavanja su:

- racionalno korištenje radnih resursa,
- povećana produktivnost,
- smanjeni troškovi proizvodnje,
- veće uštede u samom procesu održavanja.

4.4. Aktivnosti službe održavanja

Radovi koji se izvode nad radnim sredstvima radi njihovog održavanja u tvorničkom stanju su:

- popravak neočekivanih kvarova,
- preventivni pregledi, čišćenje i podmazivanje,
- pronalaženje i otklanjanje slabih mjesta,
- kontrolni pregledi i
- planirani popravci (mali, srednji i veliki).

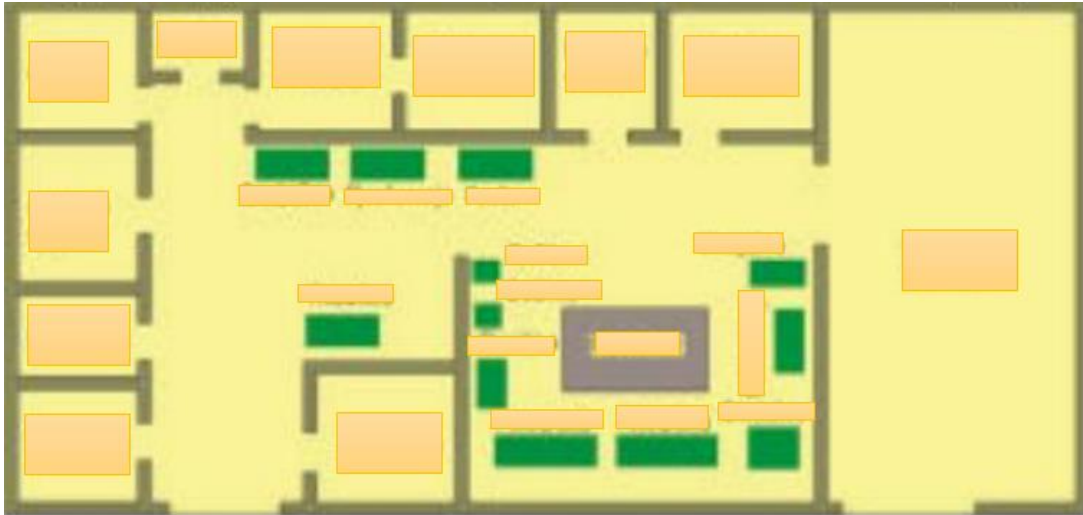
Svi radovi osim popravaka neočekivanih kvarova obavljaju se prema godišnjim i višegodišnjim planovima održavanja.⁹

4.5. Radionica održavanja

Radionica za održavanje je građevna cjelina u kojoj se obavljaju popravci i ažurira oprema za rad. Takva radionica uključuje radionice ručne i mehaničke obrade, radionice posebne strojne obrade, elektromehaničke radionice i druge radionice potrebne za održavanje ljudskih resursa određenog poduzeća. Radionica ima alatnicu, spremište rezervnih dijelova, sanitarne čvorove i salu za sastanke. Svaka radionica ima voditelja koji je odgovoran za pravovremeno izvršenje zaprimljenih narudžbi. Na slici br.23 shematski je prikazan tip radionice sa njezinim prostorijama tj. rasporedom.

⁹ <https://www.kalinic.info/strucni/organizacija%20odrzavanja%20strojeva%20i%20opreme.pdf>
(pristupljeno 16.03.2023.)

Slika 23. Prikaz rasporeda radionice strojarskog održavanja



Izvor: Samostalna izrada prema knjizi autora Zoran Kalinić: Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga Zagreb, 1997

4.6. Planiranje održavanja

Da bi se započelo s razvojem plana održavanja, važno je imenovati grupu ljudi koji će biti odgovorni za izradu plana. Najčešće je jedna osoba imenovana da vodi grupu kako bi nadgledala razvoj i osigurala da sve ide prema planu. Vrlo važna aktivnost održavanja je planiranje svih radova održavanja. Planiranje održavanja temelji se na poznavanju svih relevantnih podataka i činjenica o sustavu za koji se izrađuje plan održavanja. Prvo se mora izraditi osnovni plan i postaviti potrebne odjele održavanje nakon čega slijedi raspored održavanja. Kod planiranja potrebno je poznavati sve potrebne podatke, informacije i sadržaj za određeni stroj za koji se razvija plan održavanja. Za izradu godišnjeg plana održavanja stroja poželjno je imati:

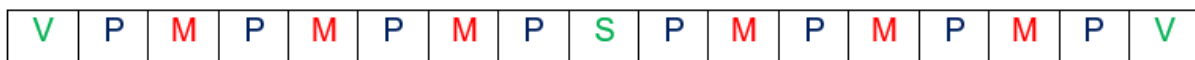
- opise uporabe proizvoda,
- potrebne informacije za rad stroja i njegovu uporabu,
- osnovne upute za uporabu i održavanje,
- upute za podmazivanje stroja,
- kartice za ispitivanje stroja,
- podaci o izvršenim popravcima unesenih u kartice stroja,
- potrebne informacije o tome kako i na koji način se treba prevodi stroj,
- podaci o uklanjanju automobila iz proizvodnje,
- dodatne informacije o dijelovima,

- informacije o priboru,
- standardi potrebni za obavljanje specifičnih zadataka održavanja i
- ostali važni podaci potrebni za popravak i rad stroja.¹⁰

Svaki od ovih navedenih podataka se može dobiti od proizvođača stroja, na osnovu kojih se za svaki stroj kreira ciklus održavanja. Ciklus održavanja alatnog stroja je vrijeme mjereno između dva velika popravka stroja, mjereno u satima koje stroj provede u neposrednoj proizvodnji. Ovo vrijeme ovisi o vrsti, namjeni i težini stroja i izračunava se pomoću posebnih formula. Za strojeve ispod 10 000 kg, ciklus održavanja je približno 25 000 radnih sati. Ako je poznato da stroj radi približno 2000 sati po smjeni godišnje, tada će taj stroj biti podvrgnut velikom remontu svakih 12,5 godina ($T = 25000/2000 = 12.5$). Prema izračunima $T = 12$ godina za ciklus obnove, prosječni remont trebao bi biti 6 godina rada stroja.

Primjer: ako se pretpostavi da su potrebna tri manja popravka između velikog i srednjeg popravka u ciklusu održavanja, a preventivni pregled se provodi između svakog popravka, ciklus održavanja ima svoj tijek kao što je prikazano na slici br.24.

Slika 24. Redoslijed popravaka i pregleda jednog ciklusa održavanja; V(veliki pregled), M(mali pregled), S(srednji pregled) i P(preventivni pregled)



Izvor: Samostalna izrada prema knjizi autora Zoran Kalinić: Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga Zagreb, 1997

U ovom primjeru, 12-godišnji ciklus održavanja sastoji se od 9 popravaka. Zbog podjele, vrijeme između dva popravka je 1.5 godina ili 18 mjeseci, a vrijeme između popravka i remonta je 9 mjeseci. To je unos podataka koji se inače unose u tablicu ciklusa održavanja, prikaz (tablica br.3).

Na ovakav identičan način izrađuju se i planovi održavanja zgrada, električnih, toplinskih i drugih instalacija. Svi planovi održavanja povezani su s godišnjim planom održavanja gdje se može vidjeti koji će strojevi biti povučeni iz proizvodnje i koliko će

¹⁰ Izvor: Kalinić, Zoran (1997). Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga, Zagreb (str. 25)

koštati njihovo održavanje. Ovakvi podaci su vrlo korisni za proizvodnju, koji omogućuju programiranje tempa proizvodnje i tempa isporuke gotovih proizvoda.

Tablica 3. Prikaz ciklusa održavanja i evidencije popravaka

CIKLUS ODRŽAVANJA																	
Stroj		Vrsta					Tip					Broj					
		Proizvođač					God. proizvodnje					Dobavljač					
Datum zadnjeg popravka							Veliki popravak					Srednji popravak				Mali popravak	
Planirano		V	P	M	P	M	P	M	P	S	P	M	P	M	P	M	P
	Mjesec	1.	9.	6.	3.	12.	9.	6.	3.	12.	9.	6.	3.	12.	9.	6.	3.
	Godina	2010.	2010.	2011.	2012.	2012.	2013.	2014.	2015.	2015.	2016.	2017.	2018.	2018.	2019.	2020.	2021.
	Sati																
Ostvareno	Mjesec																
	Godina																
	Sati																
EVIDENCIJA POPRAVKA																	
Datum							Opis kvara					Primjedba					

Izvor: Samostalna izrada već postojeće norme

4.6.1. Godišnji plan održavanja

Ovakav plan treba obuhvaćati:

- sve potrebne podatke o vlasniku stroja,
- mjesečni plan održavanja,
- podatke o mjestu troškova,
- podatke o vrsti poslova održavanja s pojedinom radnom opremom i proizvodnim linijama,
- podatke o troškovima materijala i rada te
- planove potrebnih sati rada za održavanje na pojedinim mjestima održavanja,

- planove koliko dugo je neki stroj u zastoju zbog planiranih poslova održavanja.

Godišnji plan održavanja kakav svaka tvrtka koja upravlja alatnim strojeva treba imati (slika br.25).

Slika 25. Prikaz godišnjeg plana održavanja

PODUZEĆE:		GODIŠNJI PLAN ODRŽAVANJA				POGON			TEHNOLOŠKA LINIJA			GODINA			LIST ____ OD ____							
Sredstvo za održavanje		Zastoji po mjesecima (h)				Strojarsko održavanje			Elektro održavanje			Građevinsko održavanje			Ostalo održavanje			Vanjski izvođači		UKUPNO		
Redni broj	NAZIV SREDSTVA	1	2	3	4	Ukupno zastoja (h)		Sati rada (h)	Trošk. rada (kuna)	Trošk. mat. (kuna)	Sati rada (h)	Trošk. rada (kuna)	Trošk. mat. (kuna)	Sati rada (h)	Trošk. rada (kuna)	Trošk. mat. (kuna)	Sati rada (h)	Trošk. rada (kuna)	Trošk. mat. (kuna)	Troškovi usluga (kuna)	SATI RADA	TROŠKOVI
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	2					4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Sastavio:	Pregledao:	Naručilac:	UKUPNO																			

Izvor: <http://calameo.download/00274089243e5012c994b> (Pristupljeno 27.02.2023.)

4.7. Dokumentacija u održavanju

Dokumentacija u održavanju služi za pohranu, prikupljanje i prijenos podataka o strojevima, izvršenim popravcima i postupcima određenih popravaka. U održavanju koristi se različita dokumentacija koja prema svom sadržaju i obliku može biti:

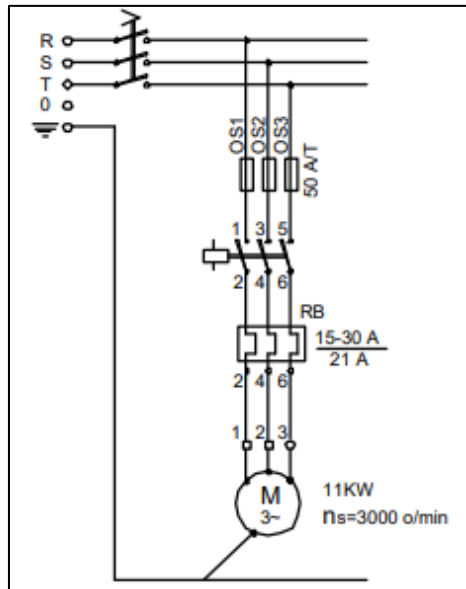
- konstrukcijska,
- tehnološka,
- radna.

4.7.1. Konstrukcijska dokumentacija

Konstrukcijska dokumentacija se izrađuje u uredima za konstruiranje. Ovakav tip dokumentacije uključuje sklopne crteže stroja, crteže rezervnih dijelova, sheme električnih i drugih instalacija te kinematičke sheme. Shema električnih instalacija (slika br. 26) pokazuje u pojednostavljenom obliku kako su električni uređaji spojeni na stroj.

Prema tim shemama, električari provode održavanje električnih instalacija. Isto vrijedi i za hidrauličke, pneumatske i druge instalacije.

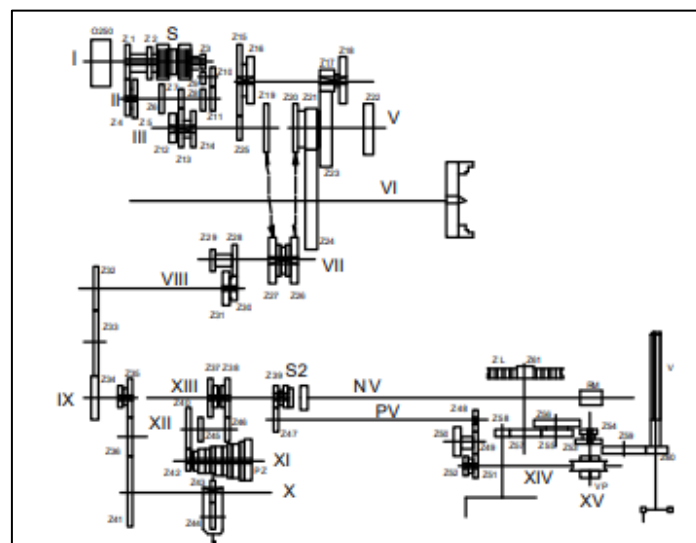
Slika 26. Prikaz sheme električne instalacije (spajanje trofaznog elektromotora)



Izvor: <https://dokumen.tips/documents/elektrotehnik6pdf.html> (Pristupljeno 27.02.2023.)

Kinematičke sheme u pojednostavljenom obliku prikazuju međusobnu ovisnost različitih elemenata prijenosnika snage (slika br.27).

Slika 27. Prikaz kinematičke sheme



Izvor: <https://www.kalinic.info/udzbenici/automatizacija/automatizacija.htm> (Pristupljeno 27.02.2023.)

4.7.2. Tehnološka dokumentacija

Tehnološka dokumentacija je niz dokumenata koji definiraju faze razvoja proizvoda i sredstva potrebna za njihovu proizvodnju na stroju. Ovakav tip dokumentacije obuhvaća sljedeće dokumente: list za podmazivanje, upute za redovno održavanje, katalog rezervnih dijelova, popis preventivnih pregleda, postupak tehnološkog popravka, kontrolni list i druge dokumente specifične za pojedine strojeve. Karta za podmazivanje (slika br. 28) je dokument prema kojem se provodi podmazivanje pojedinih strojeva i uređaja. Ovaj list sadrži crtež stroja sa svim informacijama potrebnim za podmazivanje. Široka puna linija označava mjesto gdje je potrebno dnevno podmazivanje, uska puna linija gdje je potrebno tjedno podmazivanje, a isprekidana linija gdje je potrebno podmazivanje svakih 2000-5000 sati rada.

Slika 28. Prikaz karte podmazivanja alatnog stroja

Broj prema mjestu proizv.:		KARTA PODMAZIVANJA				Šifra:			
		Naziv stroja:		Tip stroja:		Inv. broj:			
		Proizvođač:		Tv. broj:		Pogon:			
		Dobavljač:		God. proizvodnje:					
				Godina nabave:					
Mjesto podmazivanja		Mazivo		Oznaka		Pregled podmazivanja			
Naziv	Broj	Vrsta	Viskoz.	Simbol	Boja	Rok	Količ.	Primjed.	
Desni ležaj	1	Cirkulacijsko ulje-lako (CPL)	3-4 do 4.4 E/50 °C	O	Crv.	Dnevno	Kontr. razine	Mazalica	
Glavni suport	2			O	Crv.				
Konjić	3			O	Crv.				
Gornji suport	4			O	Crv.				
Vreteno poprečnog suporta	5			O	Crv.				
Uređaj za konusno tokarenje	6			O	Crv.	Tjedno	Kontr. razine		
Ključna ploča	7			O	Crv.				
Vretenište	8			O	Crv.	Prema uputi	Kontr. razine	Vidi uputu	

Slika stroja:

Izvor: Zoran Kalinić: Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga Zagreb, 1997

Na prikazanoj slici linijama su označeni dijelovi koji su isto tako obilježeni ili brojkama ili slovima. Slovima su prikazani P_c - pokazivalo cirkulacije ulja, R_p - ručna pumpa za podmazivanje, U_v - uljokaz vreteništa, U_k - uljokaz uključne ploče, I_k - ispust ulja iz spremnika uključne ploče prije popravljanja, I_s - ispust starog ulja iz uključne ploče prilikom zamjene ulja, I_v - ispust ulja iz vreteništa.

4.7.3. Radna dokumentacija

Dokumentacija po kojoj se zbivaju proizvodni procesi. Ovu dokumentaciju izrađuju tehničke funkcije poduzeća; konstrukcija i tehnologija, a djelatnici radionice rade prema uputama sadržanim u ovoj dokumentaciji. Radna dokumentacija sastoji se od prijava šteta, radnih naloga, potvrda o izdatnicama, radnih listova i drugih dokumenata specifičnih za pojedino poduzeće. Izvješća o kvaru (tablica br.4) se koriste za bilježenje kvarova stroja u ovom dokumentu. Taj se dokument predaje voditelju odjela održavanja, koji zatim razmatra kako i što učiniti s neispravnim strojem.

Tablica 4. Prikaz dokumenta izvješća o kvaru

Poduzeće:	IZVJEŠĆE O KVARU	Datum:
		Potpis:
Pogon:	Naziv stroja:	Tip stroja:
Broj stroja:	Zastoj u satima:	
Opis kvara:		

Izvor: Samostalna izrada već postojeće norme

5. Tumačenje mjerenih pokazatelja u održavanju

U održavanju alatnih strojeva, mjereni pokazatelji imaju ključnu ulogu u praćenju performansi i identifikaciji potencijalnih problema. Postoji nekoliko ključnih pokazatelja i njihovih tumačenja:

- dostupnost stroja: ovaj pokazatelj mjeri koliko je alatni stroj dostupan za rad tijekom planiranog vremena. Visoka dostupnost ukazuje na dobru izvedbu održavanja, dok niska dostupnost može ukazivati na probleme s održavanjem ili potrebu za redovitijim održavanjem,
- vrijeme rada: ovaj pokazatelj mjeri koliko vremena alatni stroj provodi u radu. Visoko vrijeme rada ukazuje na učinkovitu upotrebu stroja, dok nisko vrijeme rada može ukazivati na poteškoće u održavanju ili operativne prekide,
- ukupno vrijeme zaustavljanja: ovaj pokazatelj obuhvaća sva planirana i nepredviđena zaustavljanja stroja. Visoko vrijeme zaustavljanja može ukazivati na probleme s održavanjem ili potrebu za poboljšanjem planiranja održavanja.
- broj kvarova: ovaj pokazatelj mjeri koliko puta je stroj doživio kvarove u određenom razdoblju. Visok broj kvarova ukazuje na potrebu za održavanjem i popravkom stroja, dok nizak broj kvarova sugerira dobro stanje stroja ili učinkovito preventivno održavanje,
- vrijeme između kvarova: ovaj pokazatelj mjeri koliko vremena prođe između dva uzastopna kvara na stroju. Dugi vremenski intervali između kvarova ukazuju na dobro održavanje i pouzdanost stroja, dok kratki vremenski intervali mogu ukazivati na potrebu za poboljšanjem preventivnog održavanja ili identifikaciju temeljnog problema,
- trošak održavanja: ovaj pokazatelj mjeri financijski aspekt održavanja, uključujući troškove dijelova, rada i drugih resursa. Visoki troškovi održavanja mogu ukazivati na potrebu za optimizacijom procesa održavanja ili zamjenu zastarjelog stroja te
- udio planiranog održavanja: ovaj pokazatelj mjeri postotak vremena koje je alocirano za planirano održavanje u odnosu na ukupno vrijeme. Visok udio planiranog održavanja obično rezultira boljim performansama stroja i manjom vjerojatnošću nepredviđenih kvarova.

Sve gore prethodno navedene pokazatelje, važno je pratiti tijekom vremena, kako bi se identificirali trendovi i prepoznali problemi u održavanju alatnih strojeva. Analizom tih podataka, tim za održavanje može donijeti informirane odluke o poboljšanjima u rutinama održavanja i planiranju resursa.

Što se tiče obrade nekog alatnog stroja ili procesa, tada to obuhvaća identifikaciju problema, planiranje održavanja, demontažu (ako je potrebno), popravak ili zamjenu dijelova, održavanje sustava, testiranje i provjeru, te dokumentaciju i praćenje aktivnosti. Cilj je osigurati ispravnost, funkcionalnost i produženu životnost stroja.

Prilikom izbora tehnološke baze za obradu poluproizvoda s neobrađenim površinama na gotovom dijelu, najvažnije je voditi računa o sljedećem:

- zahtjevima dizajna i funkcionalnosti gotovog dijela,
- kompatibilnosti tehnološke baze s materijalom poluproizvoda,
- dostupnim metodama obrade i alatima,
- troškovima, vremenom obrade i inspekcijama te
- kvaliteti i estetici neobrađenih površina.

Ovi faktori će vam pomoći odabrati odgovarajuću tehnološku bazu koja će zadovoljiti potrebne zahtjeve i osigurati funkcionalnost, kvalitetu i estetiku gotovog dijela, dok je pri odabiru tehnoloških baza za ispunjavanje zahtjeva položaja između dvije obrađene površine, ključno uzeti u obzir geometriju dijela, raspoložive metode obrade, preciznost, prilagodljivost, troškove i iskustvo tima. Potrebno je odabrati tehnološku bazu koja omogućuje postizanje potrebnog položaja na najučinkovitiji način.

Smanjenje vibracija samog stroja te samim time i obrade može se postići pravilnom ravnotežom i podešavanjem stroja, redovitim održavanjem, upotrebom odgovarajućih materijala za amortizaciju, prilagodbom brzina rezanja i kvalitete alata. Kombinacija ovih mjera za smanjenje vibracija stroja i obrade pomoći će u poboljšanju stabilnosti i kvalitete obrade.

Minimalno vrijeme mirovanja metalnog proizvoda i alata prije mjerenja dimenzija ovisi o nekoliko faktora, uključujući materijal, veličinu i složenost proizvoda te okruženje. Općenito, potrebno je osigurati da se metalni proizvod ili alat dovoljno ohladi kako bi se postigla stabilnost temperature i dimenzija. Preporučuje se da metalni proizvod ili alat miruje dovoljno dugo kako bi se postigla ravnoteža s temperaturom okoline. To može varirati od nekoliko minuta do nekoliko sati, ovisno o specifičnom slučaju.

Mjerenje treba provesti u stabilnom okruženju s konstantnom temperaturom i kontroliranom vlažnošću zraka. Koristite kalibrirane instrumente visoke preciznosti i osigurajte čvrsto fiksiranje proizvoda tijekom mjerenja. Ponovljivost mjerenja je važna za osiguravanje točnosti i pouzdanosti rezultata.

Što se tiče unutarnjeg naprezanja, tada govorimo o sili koja djeluje unutar materijala bez vanjskog opterećenja. Može utjecati na svojstva materijala i uzrokovati deformacije ili pukotine. Pravilno upravljanje unutarnjim naprezanjem je važno za očuvanje integriteta materijala. Naprezanja se mogu umiriti kroz primjenu toplinske obrade poput žarenja ili relaksacijskog žarenja, vršenjem relaksacijskog rezanja, hladnim oblikovanjem, kontroliranom obradom materijala te odabirom pravilnog materijala s manjom sklonosti stvaranja naprezanja. Važno je prilagoditi odabir metoda umirivanja naprezanja specifičnim zahtjevima materijala i obrade. Pravilno umirivanje naprezanja poboljšava izdržljivost, smanjuje deformacije i sprječava moguće pucanje materijala. Postoji i vremenski rok uporabe sirovca, a taj rok uporabe prije obrade ovisi o nekoliko faktora, kao što su vrsta materijala, uvjeti skladištenja i osjetljivost materijala na kemijske ili atmosferske promjene. Općenito, sirovac se treba obraditi što je prije moguće nakon nabave kako bi se izbjeglo negativno djelovanje vanjskih uvjeta na materijal. Kada se radi o gruboj obradi, naprezanja koja se javljaju često su manje kritična jer grublja obrada može ukloniti veći dio unutarnjih naprezanja. Gruba obrada obično uključuje bruto uklanjanje materijala, poput rezanja ili grubog brušenja. S druge strane, kod fine obrade, koja uključuje preciznije operacije poput glodanja, bušenja ili finog brušenja, naprezanja mogu postati važnija. Finija obrada može izložiti materijal većem opterećenju i može dovesti do koncentracije naprezanja na površinama ili rubovima. Stoga je kod fine obrade važno obratiti pažnju na kontrolu naprezanja i odgovarajuće tehnike umirivanja naprezanja kako bi se izbjegle pukotine ili deformacije materijala. U oba slučaja, pravilna obrada materijala, kontrola procesa i primjena umirivanja naprezanja ključni su za postizanje željenih dimenzija, kvalitete i izdržljivosti proizvoda.

Kada govorimo o smanjenom utjecaju zatupljenja oštrice na točnost i dosjed obrade, potrebno je redovito održavati oštricu, prilagoditi parametre rezanja, koristiti visokokvalitetne alate i provjeriti dosjed. Zatupljena oštrica može negativno utjecati na

dosjed i točnost obrade. Kako oštrica postaje tupija, povećava se sila rezanja, što može dovesti do većih varijacija u dosjedu. To može rezultirati manjom točnošću obrade i nepoželjnim rezultatima. Redovito održavanje oštrice i kontrola parametara rezanja pomažu u smanjenju zatupljenja oštrice i očuvanju točnosti obrade. Podešavanje dosjeda također igra važnu ulogu u postizanju željenih rezultata i smanjenju varijacija u dosjedu obrade.

U kontekstu mjerenja i obrade podataka, preciznost se odnosi na mjeru konzistentnosti i ponovljivosti rezultata. Preciznost je sposobnost mjernog instrumenta ili postupka da daje slične rezultate pri ponovljenim mjerenjima pod istim uvjetima. Ako su rezultati mjerenja bliski jedan drugome, kažemo da je mjerenje precizno. Preciznost se odnosi na slučajne greške u mjerenju, koje su nasumične i nemaju sustavni uzrok. S druge strane, točnost se odnosi na bliskost izmjerene vrijednosti ili rezultata mjerenja stvarnoj vrijednosti. Točnost je mjera ispravnosti mjerenja ili sposobnost sustava da pravilno odražava stvarne vrijednosti. Točnost je povezana s sustavnom greškom u mjerenju, koja je stalna i ponavljajuća se u istom smjeru. Dakle, preciznost se odnosi na konzistentnost i ponovljivost rezultata, dok se točnost odnosi na bliskost rezultata mjerenja stvarnoj vrijednosti. Preciznost se odnosi na slučajne greške, dok se točnost odnosi na sustavne greške. Idealno mjerenje trebalo bi biti i precizno i točno, tj. davati konzistentne rezultate bliske stvarnoj vrijednosti.

Projektiranje procesa je sustavan pristup kojim se stvara planiran i organiziran put kako bi se postigli željeni rezultati u radnom okruženju. To uključuje analizu postojećih procesa, identifikaciju ciljeva, definiranje koraka i aktivnosti, odabir resursa i tehnika te uspostavljanje optimalnih smjernica za izvršavanje zadataka. Cilj projektiranja procesa je postizanje učinkovitosti, kvalitete, produktivnosti i zadovoljstva korisnika. Nakon završetka projektiranja procesa, može se doći do saznanja o optimizaciji procesa, procjeni rizika i planiranju resursa. Nakon toga, slijede poslovi implementacija procesa, praćenje i kontrola te kontinuirano poboljšavanje kako bi se osigurala učinkovitost i postizanje ciljeva.

Za svaku vrstu procesa potrebni su podaci, pa tako i za procese veza uz održavanje strojeva. Postoje geometrijski i tehnološki podaci. Geometrijski podaci odnose se na

informacije o obliku, veličini, poziciji i tolerancijama dijelova ili komponenti. To uključuje dimenzije, profile, radije, uglove, površine i geometrijske karakteristike koje su ključne za preciznu izradu i funkcionalnost dijela. Tehnološki podaci odnose se na informacije vezane uz postupke obrade i proizvodnje. To uključuje parametre rezanja, brzine alata, napajanje materijala, izbor alata, radne operacije, vodiče za postavljanje strojeva, sredstva za hlađenje i mazanje te druge informacije koje su potrebne za uspješnu obradu materijala. Ukratko, geometrijski podaci se odnose na oblik, veličinu i poziciju dijelova, dok se tehnološki podaci odnose na informacije o postupcima obrade i proizvodnje potrebnim za izradu dijela.

Smanjenje hoda alata kod tokarenja i povećanje proizvodnosti može se postići korištenjem većih rezova i bržih brzina rezanja. Međutim, ograničenja koja treba uzeti u obzir uključuju stabilnost procesa i raspoloživost odgovarajućih alata. Potrebno je pažljivo prilagoditi parametre obrade kako bi se osigurala stabilnost, sigurnost i kvaliteta obrade. Kod istokarivanja provrta, posmak po okretaju i proizvodnost možemo povećati primjenom sljedećih metoda:

- korištenje alata s više oštrica: omogućuje obavljanje više obrade u jednom prolazu, što rezultira većim posmakom po okretaju. Ovo povećava učinkovitost i smanjuje ukupno vrijeme obrade i
- poboljšanje stabilnosti procesa: omogućuje veće posmake po okretaju bez gubitka kvalitete obrade ili povećanja vibracija. To uključuje pravilno podešavanje brzine vrtnje, upotrebu odgovarajućeg hlađenja i maziva, odabir pravih alata i tehnika rezanja.

Važno je naglasiti da postoji ograničenje na povećanje posmaka po okretaju, koje ovisi o materijalu koji se obrađuje, veličini provrta i dostupnim alatima. Potrebno je pažljivo prilagoditi parametre obrade kako bi se osigurala stabilnost procesa, sigurnost i kvaliteta obrade prilikom povećanja posmaka po okretaju.

5.1. Primjer rješavanja problema u industriji

U nastavku rada biti će prikazan primjer obratka promjera ϕ_1 koji iznosi 63 mm prije obrade i ϕ_2 koji iznosi 60 mm poslije obrade, obrađuje se na univerzalnom tokarskom stroju.

Prilikom analize primjera potrebno je odrediti sljedeće parametre:

- površinu poprečnog presjeka režućeg sloja (A) [m²],
- brzinu rezanja za postojanost alata T = 90 min; (v) [m/s²],
- glavni otpor, sila rezanja; (F_v) [N],
- snagu pogonskog elektromotora stroja; (P_M) [W] te
- masu skinute strugotine u jedinici vremena. (M_s) [kg/s].

Zadani podaci su:

- materijal obratka CrNi čelik R_m = 70 x 10⁷ N/m²
- materijal alata BČ;
- pomak s = 0,3 mm/o;
- stupanj korisnog učinka prijenosnika mašine η = 0,8.

Rješenje koje je proizašlo od postavljenih parametara je sljedeće:

Površina poprečnog presjeka režućeg sloja određuje se:

$$A = a \cdot s$$

$$A = 0,0015 \times 0,0003 = 0,45 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

gdje je pomak zadan i iznosi:

$$s = 0,3 \text{ m} / o$$

dok se dubina rezanja izračunava na osnovu razlike promjera prije i poslije obrade:

$$a = \frac{\phi_1 - \phi_2}{2}$$

$$a = \frac{63 - 60}{2} = 1,5 \text{ mm}$$

Brzina rezanja se određuje na osnovu zadane postojanosti alata:

$$v = \frac{C_v}{a^x \cdot s^y} \xi_k \cdot \xi_m \cdot \xi_T$$

Konstanta i eksponenti u prethodnoj jednadžbi su iz tablice S-7 za materijal obratka CrNi čelik R_m = 70 x 10⁷ N/m², a > 1 mm i s = 0,2 ÷ 0,4 mm/o, te iznose:

$$C_v = 0,009069$$

$$x = 0,24$$

$$y = 0,34$$

dok se koeficijent koji uzima u obzir napadni kut oštrice alata za $\kappa = 90^\circ$ uzima iz tablice S-5 te iznosi $\xi_k = 0,74$, zatim koeficijent koji uzima u obzir materijal alata BČ iz tablice S-6 te iznosi $\xi_m = 1$, a koeficijent koji uzima u obzir brzinu rezanja za postojanost alata $T = 90$ min iz tablice S-7 ($z = 6$ za obradu čelika), a iznosi:

$$\xi_T = \sqrt{\frac{z \cdot 3600}{T}}$$

$$\xi_T = \sqrt[6]{\frac{3600}{90 \cdot 60}} = 0,935$$

Nakon toga uvrstimo sve to u jednadžbu za brzinu rezanja i dobivamo:

$$v = \frac{0,009069}{0,0015^{0,24} \cdot 0,0003^{0,34}} \cdot 0,74 \cdot 1 \cdot 0,935 = 0,471 \text{ m/s}$$

Glavni otpor, sila rezanja iznosi:

$$F_v = C_k \cdot a^{x_1} \cdot s^{y_1}$$

pri čemu su konstanta i eksponenti u jednadžbi dobiveni iz tablice S-13 za C_rN_i čelik $R_m = 70 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ te iznose:

$$C_k = 4,356 \times 10^8$$

$$x_1 = 1$$

$$y_1 = 0,78$$

Nakon toga uvrstimo sve to u jednadžbu za glavni otpor, koji iznosi:

$$F_v = 4,356 \cdot 10^8 \cdot 0,0015^1 \cdot 0,0003^{0,78} = 1168 \text{ N}$$

Snaga pogonskog elektromotora stroja iznosi:

$$P_M = \frac{F_v \cdot v}{\eta}$$

$$P_M = \frac{1168 \cdot 0,471}{0,8} = 688 \text{ W}$$

Masa skinute strugotine u jedinici vremena iznosi:

$$M_s = A \cdot v \cdot \rho$$

$$M_s = 0,45 \times 10^{-6} \cdot 0,471 \cdot 7850 = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

gdje je $\rho_m = 7850 \text{ kg/m}^3$ specifična masa materijala uzeta iz tablice O-1 za čelik.

5.2. Primjer izrade cilindrične osovine

U ovom djelu rada biti će prikazan primjer izrade cilindrične osovine duljine 150 mm s vanjskim promjerom 60 mm i tolerancijom $\pm 0,1$ mm.

Prilikom analiziranja primjera zadani su sljedeći parametri obrade:

- materijal: nehrđajući čelik,
- brzina rezanja: 250 o/min,
- dubina rezanja: 4 mm te
- hlađenje i podmazivanje: koristiti rashladnu emulziju za hlađenje i podmazivanje

Postupak obrade sastoji se od sljedećih procesa:

- priprema stroja - potrebno je provjeriti ispravnost postavljanja stroja i pričvršćenje potrebnih dijelova,
- postavljanje alata - postavlja se držač alata s odgovarajućom oštricom za vanjsku obradu cilindričnih površina,
- postavljanje brzine rezanja - postavlja se brzina rezanja stroja na 250 o/min,
- postavljanje predmeta - postavlja se nehrđajuća čelična šipka promjera malo većeg od 60 mm u glavno vreteno stroja koju je potrebno sigurno pričvrstiti,
- pokretanje obrade - uključiti stroj i postupno spustiti oštricu alata prema predmetu (provoditi rezanje s dubinom rezanja od 4 mm),
- kontrola dimenzija - redovito provjeravati vanjski promjer obrađenog dijela koristeći mikrometar te provjeriti promjer na više mjesta i osigurati da se nalazi unutar zadane tolerancije $\pm 0,1$ mm,
- hlađenje i podmazivanje - tijekom obrade poželjno je koristiti rashladnu emulziju kako bi se smanjilo trenje i osiguralo učinkovito hlađenje alata i dijela te
- završna obrada - nakon postizanja željenih dimenzija, provesti završnu obradu za postizanje glatke površine osovine.

Tolerancija $\pm 0,1$ mm znači da je dopušteno odstupanje vanjskog promjera osovine od nominalne vrijednosti za $\pm 0,1$ mm. Važno je redovito provjeravati dimenzije obrađenog dijela kako bi se osiguralo da se nalazi unutar zadane tolerancije.

Zadani parametri obrade samo su primjer u praksi i mogu se prilagoditi prema specifičnostima stroja, materijalu i zahtjevima obrade. Uvijek slijedite upute proizvođača i koristite odgovarajuću zaštitnu opremu prilikom rada na tokarskom stroju.

Kako se za primjer obrade koristio tokarski stroj, kao što je već i prije spomenuto, to je vrsta stroja koji se koristi za obradu rotacijskih dijelova. To je alatni stroj koji koristi rotacijski alat za uklanjanje materijala s obratka kako bi se postigle željene dimenzije i oblik. Tokarski stroj se sastoji od nekoliko osnovnih dijelova, uključujući glavno vreteno, držač alata, klizne staze, postolje, pokretače i upravljački sustav. Slika tokarskog stroja korištenog za vrijeme praktične obrade nalazi se na slici ispod.

Slika 29. Tokarski stroj



Izvor: samostalni doprinos radu

Namještanje i stezanje obratka na tokarski stroj:

Namještanje i stezanje obratka na tokarskom stroju su ključni koraci u pripremi za obradu. Pravilno izvršeno namještanje osigurava stabilnost i sigurnost tijekom obrade, dok čvrsto stezanje obratka omogućuje preciznu i pouzdanu obradu. Postupak namještanja i stezanja započinje odabirom odgovarajuće stezne glave za obradak. Stezna glava treba biti kompatibilna s veličinom i oblikom obratka. Zatim se stezna glava postavlja na tokarski stroj, provjerava se njezina postavka

kako bi bila paralelna s osi rotacije stroja i pravilno centrirana. Sljedeći korak je odabir steznih čeljusti (pakni) koje odgovaraju obliku obratka te se odgovarajuće postavljaju u steznu glavu, slika br.30. Što se tiče steznih čeljusti, postoje mekane koje se mogu tokariti s obzirom na obradak kako bi stezanje bilo bolje, zatim imamo tvrde koje se ne tokare, jer su zakaljane i koriste se za stezanje samo sirovog, neobrađenog materijala. Isto tako postoje stezne čeljusti za unutarnje i vanjsko stezanje. Obradak se pažljivo postavlja unutar steznih čeljusti, pri čemu se provjerava njegova centriranost kako bi bio pravilno pozicioniran. Nakon postavljanja obratka, slijedi stezanje. Obradak se čvrsto stišće pomoću steznih vijaka ili hidrauličkih mehanizama, ovisno o vrsti stezne glave koja se koristi. Važno je pravilno stezati obratak, osiguravajući da je čvrsto fiksiran, ali istovremeno paziti da se ne preoptereći i oštetiti. Nakon stezanja, provjerava se čvrstoća stezanja obratka. Obradak se lagano pomiče kako bi se osiguralo da je čvrsto i sigurno fiksiran te da nema labavljenja ili pomaka.

Pravilno namještanje i stezanje obratka ključni su za postizanje kvalitetne obrade na tokarskom stroju. Nepravilno stezanje može rezultirati vibracijama, nepravilnostima u rezultatima obrade i mogućim oštećenjima stroja ili obratka. Stoga je važno pažljivo slijediti upute proizvođača stroja, pridržavati se sigurnosnih smjernica i osigurati pravilno namještanje i čvrsto stezanje obratka prije početka obrade.

Slika 30. *Prikaz steznih čeljusti i postavljene odgovarajuće čeljusti za određeni materijal u steznu glavu*



Izvor: samostalni doprinos radu

Potrebno je pažljivo i sigurno umetnuti obradak u steznu glavu kako bi se osigurala stabilnost tijekom obrade. Nepravilno umetanje obratka može rezultirati nepreciznom obradom, vibracijama ili oštećenjem obratka i stroja. Na slici ispod, slika br.31, prikaz je umetnute cilindrične osovine u steznu glavu.

Slika 31. Obradak umetnut u steznu glavu



Izvor: samostalni doprinos radu

Zabušivanje, slika br.32, također poznato kao bušenje, ključni je postupak u izradi osovine na tokarskom stroju. Ovaj proces omogućuje stvaranje rupa u obratku, a često se koristi kada je potrebno provesti prolaznu rupu kroz sredinu osovine.

Slika 32. Prikaz zabušivanja obratka



Izvor: samostalni doprinos radu

Prilikom obrade materijala na tokarskom stroju, veliku ulogu imaju i klizne staze. Klizne staze, slika br.33 na tokarskom stroju su površine koje omogućuju glatko kretanje alata i radnih komponenti tijekom obrade. One omogućuju precizno pozicioniranje i pokretanje alata duž osi osovine. Održavanje kliznih staza na tokarskom stroju je ključno za pravilno funkcioniranje i dugovječnost stroja. To uključuje redovito čišćenje i uklanjanje nečistoća s kliznih staza, podmazivanje kako bi se smanjilo trenje, provjeru i otklanjanje oštećenja te redovito provjeravanje i podešavanje sustava klizanja. Važno je pratiti preporučene servisne intervale i postupati prema uputama proizvođača. Održavanje kliznih staza osigurava glatko kretanje alata i radnih komponenti, poboljšava performanse stroja i produžuje njegovu trajnost.

Slika 33. Klizne staze

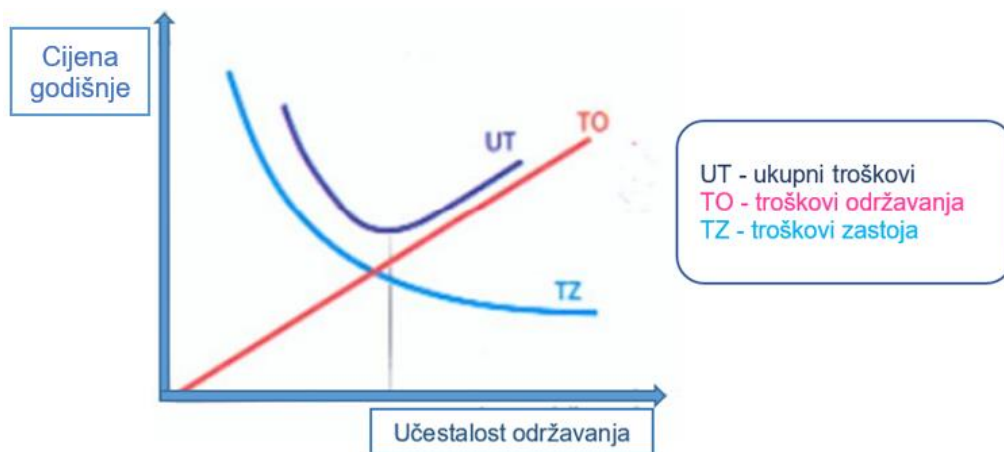


Izvor: samostalni doprinos radu

6. Troškovi održavanja

Prilikom održavanja nekog alatnog stroja treba uzeti u obzir troškove. Troškovi životnog vijeka nekog stroja su visoki. Otprilike odgovaraju nabavnoj cijeni stroja, ali su raspoređeni tijekom vijeka trajanja stroja. Već ova činjenica dosta govori o važnosti održavanja strojeva i potrebi organiziranja pomoći u svim aktivnostima.¹¹ Praksa pokazuje da su troškovi održavanja veći ako se ne posvećuje dovoljno pažnje održavanju opreme za rad. Dobro organiziran odjel, služba održavanja mora pronaći optimalnu ravnotežu između troškova održavanja i troškova zastoja.

Slika 34. Prikaz troškova i zastoja održavanja



Izvor: Zoran Kalinić: Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga Zagreb, 1997

Slika br. 29 prikazuje troškove održavanja (TO), ukupne troškove (UT), troškove zastoja (TZ) i optimalnu vrijednost troška kojeg se želi postići. Može se vidjeti da povećanje intenziteta održavanja smanjuje troškove zastoja, ali u isto vrijeme povećava troškove održavanja. Ulažu se naponi da se ukupni trošak (UT) održi što nižim, što rezultira optimalnim intenzitetom održavanja. Potrebno je posvetiti dužnu pozornost održavanju cjelokupne radne opreme, uključujući alatne strojeve, kako bi proizvodni proces teкао prema planu. Zanemarivanje održavanja neminovno dovodi do smanjene učinkovitosti strojeva, niže kvalitete, čestih zastoja strojeva u proizvodnom procesu, kašnjenja u isporuci gotovih proizvoda te viših direktnih

¹¹ Budimir Mijović: Održavanje strojeva i uređaja, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2019.

troškova proizvodnje.

Najosnovnija podjela koja se koristi prilikom obračuna troškova su fiksni i varijabilni troškovi. Fiksnim troškovima smatraju se oni troškovi koji su već izazvani, podrazumijevamo ih tijekom proizvodnje i ne može ih se nadoknaditi. Jedini način kako ih se može eliminirati je prestanak proizvodnje.

U godišnje fiksne troškove spadaju:

1. redovna godišnja održavanja:
 - a) zamjena ulja, masti, filteri,
 - b) vizualni pregled komponenti,
 - c) zatezanje vijaka;
2. vođenje pogona,
3. služnost,
4. porez i
5. osiguranje.

Drugim riječima u fiksne troškove spadaju amortizacija postrojenja, troškovi održavanja, plaća i ostali troškovi pojedinih alatnih strojeva. Varijabilni trošak označava trošak koji se mijenja zajedno s promjenom razine proizvodnje nekog alatnog stroja.

Druga vrsta varijabilnog troška su naknade koje se plaćaju lokalnoj ili nacionalnoj vlasti s obzirom na troškove popravka i održavanja koja nisu pokrivena jamstvom i osiguranjem. Troškovi održavanja alatnih strojeva mogu varirati ovisno o različitim čimbenicima kao što su vrsta stroja, intenzitet uporabe, složenost održavanja i dostupnost rezervnih dijelova. Evo nekoliko ključnih aspekata koje treba uzeti u obzir kada se razmišlja o troškovima održavanja alatnih strojeva:

- Redovito održavanje: redovito održavanje je ključno kako bi se osigurala optimalna izvedba alatnih strojeva. To može uključivati čišćenje, podmazivanje, provjeru i podešavanje komponenti te zamjenu istrošenih dijelova. Ovi troškovi uključuju radno vrijeme tehničara, potrošni materijal i rezervne dijelove.
- Popravci i zamjena dijelova: s vremenom, dijelovi alatnih strojeva mogu se istrošiti ili pokvariti. Troškovi popravaka ili zamjene dijelova mogu biti značajni, posebno za složene strojeve s visokom tehnologijom. Troškovi ovise o cijenama

rezervnih dijelova, radnoj snazi koja obavlja popravak i vremenu potrebnom za popravak ili zamjenu.

- Obuka i edukacija osoblja: učinkovito održavanje alatnih strojeva zahtijeva dobro obučeno osoblje. Troškovi obuke i edukacije osoblja mogu biti potrebni kako bi se osiguralo da se strojevi pravilno koriste i održavaju. To uključuje troškove obuke osoblja ili angažiranje stručnjaka za obuku.
- Softver i tehnološke nadogradnje: neke moderne alatne strojeve podržava softver koji omogućava upravljanje i praćenje performansi strojeva. Troškovi softvera i tehnoloških nadogradnji mogu biti dio ukupnih troškova održavanja alatnih strojeva. Ovi troškovi uključuju nabavu softvera, ažuriranja, licence i obuku za korištenje softvera.
- Vanjski servisi i održavanje: u nekim slučajevima, tvrtke mogu koristiti vanjske usluge za održavanje alatnih strojeva. To može uključivati ugovore o održavanju s dobavljačima ili specijaliziranim servisnim tvrtkama. Troškovi vanjskih usluga mogu varirati ovisno o ugovorenim uvjetima, vrsti održavanja i razini podrške.

Važno je da tvrtke pažljivo prate troškove održavanja alatnih strojeva kako bi mogli planirati proračun i optimizirati svoje poslovanje. Redovito održavanje i pravovremeni popravci mogu pomoći u sprječavanju skupe neplanirane štete i produžiti životni vijek alatnih strojeva.

Kao praktični primjer proračuna trošenja alata potrebno je izračunati koliko će iznositi trošak alata za obradu cilindrične osovine duljine 100 mm od čelika. Alat koji se koristi je karbidni reznik, a brzina rezanja iznosi 0,1 mm/rev. Cijena karbidnog reznika je 10 EU.

Potrebno je odrediti:

- vrijeme obrade materijala, (t) [rev]
- brzinu trošenja alata, (v) [mm/rev]
- trošak alata (T) [EU]

Prema postavljenom zadatku iznesene su formule te je dobiveno sljedeće rješenje:

Vrijeme obrade materijala = duljina obratka / brzina rezanja

$$t = l/v_r$$

$$t = \frac{100}{0,1} = 1000 \text{ rev}$$

Za brzinu trošenja alata za karbidni reznik pretpostavimo da iznosi 0,02 mm/rev

Trošak alata = Vrijeme obrade x Brzina trošenja alata x Cijena alata

$$T = t \cdot v_t \cdot C$$

$$T = t \cdot v_t \cdot C = 1000 \times 0,02 \times 10 = 200 \text{ EU}$$

Dakle, trošak alata za obradu cilindrične osovine duljine 100 mm iznosi 200 EU. U stvarnom slučaju, ovi parametri mogu se razlikovati ovisno o specifičnostima stroja, materijalu obratka, kvaliteti alata i drugim čimbenicima. Također je važno uzeti u obzir da se alat može trošiti neravnomjerno i potrebno ga je zamijeniti ili oštriti tijekom obrade.

7. Zaključak

U ovom diplomskom radu temeljito su istražene hipoteze koje su postavljene s ciljem boljeg razumijevanja važnosti mjerenja i tumačenja pokazatelja performansi alatnih strojeva te njihovog utjecaja na održavanje, produktivnost i troškove. Izvršena je detaljna analiza postavljenih pitanja kako bi se tematika dublje sagledala, uključujući razliku između numerički upravljanih (NC) i računalno numerički upravljanih (CNC) strojeva, kao i njihove prednosti i ograničenja. Također, proučavani su dijelovi alatnih strojeva, kao što su pogonski, prijenosni, izvršni i upravljački dijelovi, te je razmatrano kako su međusobno povezani i kako njihova funkcionalnost utječe na cjelokupan rad strojeva. Dodatno, detaljno su istražene metode održavanja alatnih strojeva, uključujući korektivno, preventivno i prediktivno održavanje, pri čemu su razmotrene njihove prednosti i nedostaci.

Glavni cilj ovog istraživanja bio je razviti dublje razumijevanje važnosti praćenja i tumačenja pokazatelja performansi s ciljem optimizacije održavanja alatnih strojeva. Da bi se ostvarili ciljevi istraživanja, provedena je analiza povijesnog razvoja alatnih strojeva, proučavanje različitih metoda održavanja, analiza organizacije službe održavanja alatnih strojeva te razvoj sustava za mjerenje i tumačenje pokazatelja. Kroz postizanje ovih ciljeva, istraživanje je identificiralo najbolje prakse u održavanju alatnih strojeva i pružilo smjernice za poboljšanje performansi i smanjenje troškova održavanja.

Rezultati istraživanja potvrdili su sve tri hipoteze postavljene u ovom diplomskom radu. Prva hipoteza (H1) koja tvrdi da mjerenje i tumačenje pokazatelja performansi alatnih strojeva omogućuje optimizaciju održavanja, smanjenje vremena neaktivnosti i povećanje produktivnosti, potvrđena je analizom prikupljenih podataka. Utvrđeno je da praćenje relevantnih pokazatelja performansi omogućuje pravovremene intervencije i optimizaciju održavanja, što rezultira smanjenjem neaktivnosti strojeva i povećanjem ukupne produktivnosti.

Druga hipoteza (H2) koja tvrdi da pravilno tumačenje mjernih pokazatelja u održavanju alatnih strojeva pruža vrijedne informacije o stanju strojeva i potrebi za intervencijom, što dovodi do povećanja radnog vijeka strojeva i smanjenja troškova zamjene, također

je potvrđena istraživanjem. Pokazano je da pravilno tumačenje pokazatelja performansi omogućuje ranu detekciju problema i pravovremene popravke, čime se produljuje radni vijek strojeva i smanjuju troškovi zamjene.

Treća hipoteza (H3) koja tvrdi da korištenje tehnologija pametnog održavanja, poput senzora praćenja i analize podataka, omogućuje efikasnije planiranje održavanja alatnih strojeva i smanjenje troškova kvarova, također je potvrđena istraživanjem. Utvrđeno je da integracija pametnih tehnologija u proces održavanja omogućuje precizno praćenje stanja strojeva, prediktivno održavanje i smanjenje troškova kvarova.

U skladu s rezultatima istraživanja, zaključujemo da mjerenje i tumačenje pokazatelja performansi alatnih strojeva igra ključnu ulogu u optimizaciji održavanja, povećanju produktivnosti i smanjenju troškova. Pravilno praćenje i interpretacija tih pokazatelja omogućuju ranu detekciju problema, pravovremenu intervenciju i produženje radnog vijeka strojeva. Integracija tehnologija pametnog održavanja pruža dodatne mogućnosti za efikasno planiranje održavanja i smanjenje troškova kvarova.

Nadalje, kako bi se dalje produbilo razumijevanje ove tematike, preporučuje se provođenje daljnjih istraživanja usmjerenih na analizu specifičnih metoda održavanja, primjenu naprednih tehnologija pametnog održavanja te istraživanje mogućnosti primjene umjetne inteligencije u tumačenju pokazatelja performansi alatnih strojeva. Ovi budući radovi mogu doprinijeti daljnjem razvoju najboljih praksi u održavanju alatnih strojeva i unaprijediti performanse te smanjiti troškove održavanja u industrijskim okruženjima.

LITERATURA

Knjige:

- [1] Budimir Mijović: Održavanje strojeva i uređaja, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2019.
- [2] Danijela Pezer: Programiranje CNC Strojeva: Sinumerik 840D; Priručnik. Sveučilište u Splitu, Split, 2022.
- [3] Edo Hercigonja: Strojni elementi I. i II. dio, Školska knjiga, Zagreb, 1986.
- [4] Emil Rejec: Terotehnologija, Suvremena organizacija održavanja sredstava, Informator, Zagreb, 1974.
- [5] Ferdo Razumović: Enciklopedija strojeva, Školska knjiga, Zagreb, 1977.
- [6] Mirko Gojić: Površinska obrada materijala, Metalurški fakultet, Sisak, 2010.
- [7] Miroslav Krleža: Tehnička enciklopedija, Alatni strojevi, Leksikografski zavod, Zagreb, 2018.
- [8] Mladen Bošnjaković: Numerički upravljani alatni strojevi, Školska knjiga, udžbenik za strojarske strukovne škole, 2009.
- [9] Niko Majdadžić: Strategije održavanja i informacijski sustavi održavanja, Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 1999.
- [10] Oto Horvat: Mala mehanička tehnologija, Tehnička knjiga, Zagreb, 1965.
- [11] R. Mirković i V. Koroman: Hidraulika i pneumatika, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
- [12] Rudolf Zdenković: Atlas alatnih strojeva, Sveučilište u Zagrebu FSB, Zagreb, 1991.
- [13] Šime Šavar: Obrada metala odvajanjem čestica 1 i 2, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [14] Zdravko Blažević, „Programiranje CNC tokarilice i glodalice“, Virovitica 2004.
- [15] Zoran Kalinić: Održavanje alatnih strojeva, Školska knjiga, Zagreb, 1997.

Internetske stranice:

- [16] <https://hr.izzi.digital/DOS/16318/16327.html>, pristupio 17.03.2023
- [17] <https://ravimachines.com/history-of-lathe-machine/>, pristupio 15.03.2023.

- [18] <https://shop.skolskaknjiga.hr/odrzavanje-alatnih-strojeva.html>, pristupio 03.03.2023.
- [19] <https://strojarskaradionica.wordpress.com/2019/01/17/odrzavanje-usmjereno-prema-pouzdanosti-recenzija-prirucnika/>, pristupio 12.03.2023.
- [20] <https://tehnika.lzmk.hr/alatni-strojevi1/>, pristupio 28.2.2023.
- [21] https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/alatni_strojevi_za_obradu_drвета.pdf, pristupio 12.03.2023.
- [22] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=1347>, pristupio 25.02.2023.
- [23] <https://www.kalinic.info/strucni/organizacija%20odrzavanja%20strojeva%20i%20opreme.pdf>, pristupio 16.03.2023.
- [24] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0888327018303108>, pristupio 26.02.2023.
- [25] <https://www.scribd.com/doc/245762378/Regulirani-Pogoni-Alatni-Strojevi>, pristupio 20.02.2023.
- [26] <https://www.scribd.com/doc/75039335/CNC-alatne-ma%C5%A1ine>, pristupio 20.02.2023.
- [27] <https://www.scribd.com/document/171627497/TMO-Obrada-Odvajanjem-cestica>, pristupio 26.02.2023.
- [28] <https://yourwoodlathe.com/history-of-lathe/> pristupio 15.03.2023.

POPIS SLIKA I TABLICA

SLIKE:

Slika 1. Tokarilica s motkom	7
Slika 2. Horizontalna bušilica u Woolwich-u.....	8
Slika 3. Prikaz stare ručne bušilice	9
Slika 4. Prva prava glodalica zahvaljujući Eli Whitneyju.....	11
Slika 5. Univerzalna glodalica, R. Brown 1862. godine	12
Slika 6. Prva NC glodalica u Hrvatskoj, Prvomajska 1969. Godine.....	13
Slika 7. Prva izložena NC glodalica u Hrvatskoj, Zagrebački velesajam 1971. Godine	13
Slika 8. Prikaz nastanka proizvoda odvajanjem strugotina	21
Slika 9. Univerzalni tokarski stroj	23
Slika 10. CNC tokarilica	23
Slika 11. Prikaz radijalne bušilice.....	25
Slika 12. CNC bušilica	25
Slika 13. Prikaz univerzalne glodalice	27
Slika 14. CNC glodalica	27
Slika 15. Vanjsko obodno ravno brušenje.....	29
Slika 16. CNC brusilica za ravno brušenje.....	29
Slika 17. Prikaz superfiniša i krivuljni izgled površine obratka prije i nakon obrade .	30
Slika 18. Prikaz honanja	31
Slika 19. Primjena alatnih strojeva u gospodarstvu i svakodnevnom životu	32
Slika 20. Prikaz radnog vijeka stroja	34
Slika 21. Podjela korektivnog održavanja	36
Slika 22. Podjela preventivnog održavanja	38
Slika 23. Prikaz rasporeda radionice strojarskog održavanja.....	44
Slika 24. Redoslijed popravaka i pregleda jednog ciklusa održavanja; V(veliki pregled), M(mali pregled), S(srednji pregled) i P(preventivni pregled).....	45
Slika 25. Prikaz godišnjeg plana održavanja.....	47
Slika 26. Prikaz sheme električne instalacije (spajanje trofaznog elektromotora)	48
Slika 27. Prikaz kinematičke sheme.....	48

Slika 28. Prikaz karte podmazivanja alatnog stroja	50
Slika 29. Tokarski stroj	60
Slika 30. Prikaz steznih čeljusti i postavljene odgovarajuće čeljusti za određeni materijal u steznu glavu	61
Slika 31. Obradak umetnut u steznu glavu.....	62
Slika 32. Prikaz zabušivanja obratka	62
Slika 33. Klizne staze	63
Slika 34. Prikaz troškova i zastoja održavanja	64

TABLICE:

Tablica 1. Povijesni razvoj alatnih strojeva	5
Tablica 2. Razlike NC-a i CNC-a	19
Tablica 3. Prikaz ciklusa održavanja i evidencije popravaka.....	46
Tablica 4. Prikaz dokumenta izvješća o kvaru	51