

# Primjena rashladnih sredstava kod postupaka obrade odvajanjem čestica

---

Ćoza, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:231:805219>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**Studij politehnike**

Preddiplomski sveučilišni studij politehnike

Antonio Čoza

**Primjena rashladnih sredstava kod  
postupaka obrade odvajanjem čestica**  
Završni rad

Mentor: doc. dr. sc. Marko Fabić

Rijeka, 2023.

UNIVERSITY OF RIJEKA  
**School of Polytechnics**

Undergraduate study of Polytechnics

Antonio Čoza

**Application of cutting fluids in  
machining processes**  
Bachelor thesis

Supervisor: doc. dr. sc. Marko Fabić

Rijeka, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se ....

Antonio Ćoza

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**Studij politehnike**  
Rijeka, datum

## Zadatak za završni rad

Pristupnik:

Naziv završnog rada:

Naziv završnog rada na eng. jeziku:

Sadržaj zadatka:

Mentor: (Ime i prezime)

---

(potpis mentora)

Voditelj za završne radove

---

Zadatak preuzet: datum

---

(potpis pristupnika)

# SADRŽAJ

|  |     |
|--|-----|
| <b>POPIS SLIKA</b> .....   | II  |
| <b>POPIS TABLICA</b> .....   | III |
| <b>POPIS DIJAGRAMA</b> .....   | IV  |
| <b>1. UVOD</b> .....   | 1   |
| <b>2. POVIJESNI RAZVOJ STROJEVA ZA OBRADU ODVAJANJEM<br/>ČESTICA</b> ..... | 2   |
| <b>2.1 Povijest tokarenja</b> .....  | 2   |
| <b>2.2 Povijest glodanja</b> .....   | 4   |
| <b>3. POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM ČESTICA</b> .....                        | 5   |
| <b>3.1 Geometrijski definirana oštrica</b> .....                           | 6   |
| 3.1.1 Tokarenje .....  | 6   |
| 3.1.2 Glodanje .....   | 7   |
| 3.1.3 Bušenje, upuštanje, razvrtanje .....                                 | 8   |
| 3.1.4 Blanjanje, piljenje, provlačenje .....                               | 9   |
| <b>3.2 Geometrijski nedefinirana oštrica</b> .....                         | 10  |
| 3.2.1 Brušenje, superfiniš .....   | 10  |
| 3.2.2 Honanje, lepanje .....   | 11  |
| <b>3.3 Rezni alat bez oštrice</b> .....                                    | 12  |
| <b>3.4 Zona rezanja</b> .....  | 13  |
| 3.4.1 Oblici odvojenih čestica .....                                       | 14  |
| 3.4.2 Temperature u zoni rezanja .....                                     | 16  |
| <b>4. SREDSTVA ZA HLAĐENJE, ISPIRANJE I PODMAZIVANJE</b> .....             | 17  |
| <b>4.1 Karakteristike SHIP-a</b> .....                                     | 17  |
| <b>4.2 Suha strojna obrada</b> .....                                       | 21  |
| <b>4.3 Strojna obrada sa minimalnom primjenom SHIP-a</b> .....             | 22  |
| <b>4.4 Kriogena strojna obrada</b> .....                                   | 23  |
| <b>4.5 Utjecaj SHIP-a na okolinu</b> .....                                 | 24  |
| <b>5. EKONOMSKI ASPEKT PRIMJENE SHIP-a</b> .....                           | 26  |
| <b>6. ZAKLJUČAK</b> .....  | 31  |
| <b>LITERATURA</b> .....  | 32  |

**POPIS SLIKA**

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Tokarilica s motkom [4].....   | 2  |
| Slika 2. Tokarski stroj u američkom pogonu .....                                      | 3  |
| Slika 3. Glodalice u proizvodnom pogonu .....   | 4  |
| Slika 4. Podjela postupaka odvajanjem čestica .....                                   | 5  |
| Slika 5. Tokarski nož za uzdužno tokarenje.....                                       | 6  |
| Slika 6. Utisnuta oznaka brzoreznog čelika u alatu .....                              | 7  |
| Slika 7. Svrdlo za bušenje, upuštanje i razvrtanje.....                               | 8  |
| Slika 8. Smjer gibanja alata.....   | 9  |
| Slika 9. Ilustrirani prikaz kretnje alata i obratka .....                             | 10 |
| Slika 10. Prikaz procesa lepanja i izgleda abrazivnih zrnaca.....                     | 11 |
| Slika 11. Kretanja reznog alata po površini obratka i formiranje strugotine .....     | 13 |
| Slika 12. Zone rezanja [18] .....   | 14 |
| Slika 13. Alat, formiranje strugotine i područja razvitka najviše topline .....       | 16 |
| Slika 14. Ovisnost koeficijenta trenja sa porastom temperature za aditive [15] .....  | 18 |
| Slika 15. Sastav ulja za podmazivanje [15].....                                       | 19 |
| Slika 16. Sastav emulzije, mikroskopska razina [15].....                              | 20 |
| Slika 17. Tipični sastav emulzije [15].....   | 20 |
| Slika 18. MQL-ov sustav dovođenja sredstva u zonu rezanja .....                       | 22 |
| Slika 19. Sustav za održavanje temperature i raspršivanje hladnog tekućeg plina ..... | 23 |

---

**POPIS TABLICA**

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Usporedba glavnih i pomoćnih gibanja.....                   | 9  |
| Tablica 2. Oblici strugotine.....                                      | 15 |
| Tablica 3. Usporedba troškova tradicionalnog i MQL hlađenja [26] ..... | 27 |



---

**POPIS DIJAGRAMA**

|   |    |
|---|----|
| Dijagram 1. Ukupni varijabilni troškovi tradicionalnog hlađenja [26] .....      | 29 |
| Dijagram 2. Ukupni varijabilni troškovi MQL hlađenja [26] .....                 | 30 |
| Dijagram 3. Usporedba ukupnih troškova MQL i tradicionalnog hlađenja [26] ..... | 30 |

## 1. UVOD

Ubrzani napredak čovječanstva uzrokovao je razne promjene u svijetu po bilo kojem pitanju je to moguće; proizvodni procesi također prate napredak čovječanstva gdje su, krenuvši od manufakturnih i zanatskih poslova, došli do potpuno automatiziranih procesa vodeći se sofisticiranim strojevima. Potreba za visoko razvijenim pogonima je sve veća zbog ekonomskih ili zdravstvenih razloga, gdje je ekonomski uz prvotnu veću investiciju dugogodišnje isplativije, a radnici su u minimalnoj izloženosti štetnim tvarima ukoliko je riječ o postupku koji može biti štetan za zdravlje ljudi.

Osnovni zadatak nekog pogona je izrada proizvoda na ekonomičan način, sa što manje problema prilikom izrade te koristeći se kvalitetnim materijalima i pomagala za ostvarenje navedenih ciljeva. Pomagala mogu biti jednostavna poput pomičnog mjerila ili laserskog detektora temperature, a mogu biti komplicirana i u najmanju ruku nužna poput sredstava za hlađenje, ispiranje i podmazivanje (SHIP).

Ova sredstva različitih baza, mazivnih karakteristika i vijeka trajanja nužne su komponente ukoliko se žele očuvati obratci, skupocjeni rezni alati i električna energija. Koliko god ona bila poželjna u procesima obrade, postoje i procesi kod kojih nisu potrebna, alat ostaje očuvan i nema negativnog utjecaja na okolinu.

Negativna strana sredstva za hlađenje, ispiranje i podmazivanje je njihov direktni loš utjecaj na zdravlje radnika u obliku osipa ili respiratornih bolesti zbog udisanja ili doticaja sa česticama sredstva, gdje u današnje ekološki osviješteno, "zeleno" vrijeme, ovo igra veliku ulogu. Iz navedenih razloga u razvoju je sve više sredstava na bazi biljnih ulja, koja i da stupe u kontakt sa prirodom, neovisno kojeg oblika, neće nanositi značajnu štetu onome u čiji doticaj dođe.

Vrlo je teško uskladiti ekološku osviještenost i ekonomsku isplativost zbog same forme i uvjeta koja sredstva moraju zadržavati; ono će biti ili ekološki osviješteno, ali uz minimalno ispunjenje zahtjeva na SHIP i skoro prihvatljivu ekonomsku isplativost ili neće biti u potpunosti ekološki osviješteno, ali ekonomski prihvatljivo. Veoma je teško uravnotežiti ove zahtjeve s obzirom na današnje osviješteno doba, ali proizvođači sredstava rade na tome i u budućnosti se očekuje kolektivni prijelaz na zelena sredstva.

Rashladna sredstva su nužna i mogu biti od velike koristi, no nažalost u značajnoj mjeri trenutno predstavljaju opasnost za okolinu; zato su razvijeni postupci hlađenja ili podmazivanja koji su ekološki prihvatljivi i ekonomski isplativi poput MQL-a ili kriogenog hlađenja. Izvedbe ovih postupaka su skuplje nego tradicionalne, no uz malo vremena ekonomski će se isplatiti, a okolina će u puno većoj mjeri biti očuvana.

Cilj ovog završnog rada je uvod u obrade odvajanjem čestica i u zonu rezanja gdje se preko plastičnih deformacija formira strugotina, odnosno obradak uz razvoj topline i negativan utjecaj ovog oblika energije na obradak i alat. Uz isticanje sredstva za hlađenje, ispiranje i podmazivanje biti će predstavljene popularne vrste SHIP-a i njihova primjena te sastav. Naglasak je na ekološkom i ekonomskom aspektu primjene ovih sredstava gdje mogu predstavljati ozbiljan okolišni i financijski problem.

## 2. POVIJESNI RAZVOJ STROJEVA ZA OBRADU ODVAJANJEM ČESTICA

Prisustvo ljudske vrste na Zemlji oduvijek je tražilo potrebu za izradom specifičnog predmeta nužnog za život ili određenu radnju, tako se onda uvijek razvijala potreba za procesom proizvodnje. Obzirom na to bilo je potrebno izraditi pomagala koji će im pomoći u efikasnosti i brzini izrade određenih predmeta; izraz "stroj" se u početku nije mogao pridjeliti novonastalim pomagalima jer nisu ispunjavala puni značaj tog imena sve do 1741. godine kada je izumljen i izrađen prvi funkcionalan tokarski stroj. [1]

### 2.1 Povijest tokarenja

Izrada predmeta specifičnog oblika datira još iz drevnog Egipta, 1300. god. pr. Kr. kada je napravljen prvi tokarski "stroj" koji je radio uz pomoć dvije osobe – jedna je pomoću užeta okretala komad drva koji se obrađivao, a druga ga je pomoću oštrog predmeta oblikovala. [2]

Spomenuvši drevni Egipat, slijedeći značajan korak u poboljšanju tokarskog stroja spominje se u Bibliji sv. Luja (Francuska, cca. 1227 – 1234), [3] gdje je ilustracijski prikazana osoba koja samostalno izrađuje predmet (u ovom slučaju nešto nalik zdjeli) na način da je uže namotano oko osovine koja vrti obradak, a na gornem dijelu je zavezano na kraju motke koja se nalazila iznad svega.

Na slici 1. prikazana je ilustracija tokalirice s motkom.



Slika 1. Tokarilica s motkom [4]

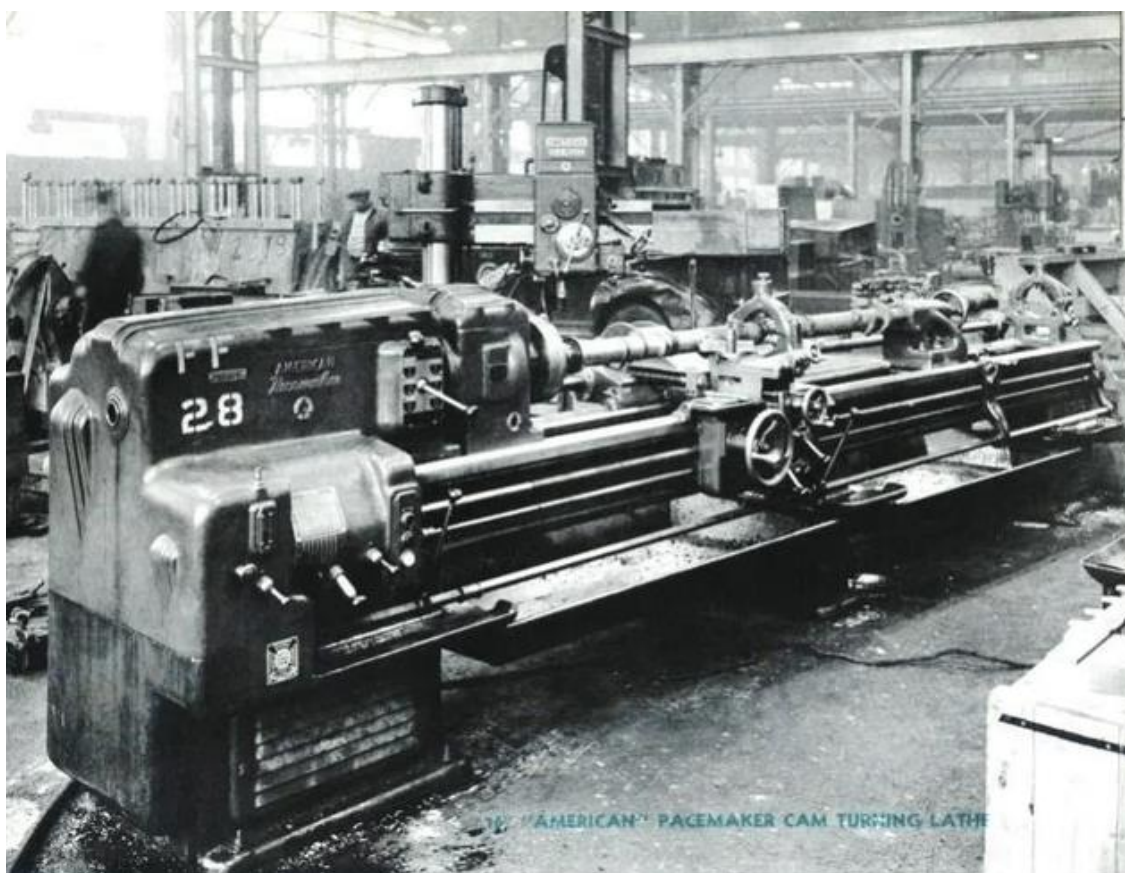
Sa donje strane nastavak užeta privezan je za dio nalik pedali koja kada bi se stisnula, motka bi se savila i njenim ispravljanjem se vrtila osovina te se ručno prislonjavanjem oštrog predmeta moglo obrađivati predmete rada. Po motki je "stroj" dobio ime – tokarilica sa motkom.

Izuzev Biblije sv. Luja, tokarilica s motkom pojavljuje se i u raznim knjigama te spisima od strane različitih autora u različitim vremenima. Dan danas postoje funkcionalni muzejski i privatni primjerci tokarilice s motkom koji rade na tradicionalan način.

Korištenje ove inačice tokarskog stroja je bilo ograničeno zbog potrošnje čovjekove snage; razvija se potreba za nadogradnjom gdje će se čovjekova energija nadomjestiti sa svojevrsnim izvorom energije – prvi primjer zamjene ljudske energije bilo je korištenjem energije vode koja je svojim tokom pokretala mlin spojen na osovinu za okretanje obratka; izumljeno 1590. u Nurembergskoj Vijećnici. [4]

Slijedeći nadomjesni izvor ljudske energije bili su konji u 18.stoljeću kada su Englezi izumili tokarilicu za izradu topova koji su im služili za bitku u Američkom Revolucionarnom Ratu. Po principu rada, ova inačica tokarskog stroja bliži se onome što se danas naziva tokarski stroj.

Slika 2. prikazuje stari tokarski stroj u američkom pogonu.



**Slika 2.** Tokarski stroj u američkom pogonu

Vrhunac razvitka bila je Industrijska Revolucija kada je izumljen parni stroj koji je predstavljao najbolje rješenje sa nadomještavanjem čovjekove energije; služeći se tokarilicama znatno se povećala proizvodnja vlakova, brodova i automobila gdje je bila prijeko potrebna preciznost i brzina izrade – omogućena tokarskim strojem bez kojega ništa nebi bilo moguće.

## 2.2 Povijest glodanja

Za razliku od tokarenja, odvajanje čestica glodanjem se razvilo dosta kasnije; postoji razna dokumentacija, nacrti i pokušaji izrade glodalice ali nijedna tada nije bila funkcionalna. 1818. godine Amerikanac Eli Whitney izrađuje prvu funkcionalnu glodalicu koja je tada služila za izradu metalnih dijelova za oružje. [5]

Do kraja 19. stoljeća konstantno su se stvarale novije i preciznije inačice glodalice iz različitih zemalja svijeta (Amerika, Francuska, Engleska...) sa različitim mogućnostima; tako je npr. 1874. godine u Francuskoj, dizajner i proizvođač strojeva Pierre Phillipe Hure dizajnirao vretenastu glodalicu sa dva glodala, za horizontalno i vertikalno glodanje koja su se izmjenjivala ručno. [6]

Sredinom 20. stoljeća sve je veća potreba za automatizacijom i povećanjem sigurnosti i zaštite na radu s obzirom da se rad u ovakvom području smatrao vrlo opasnim. Umjesto zaštite na radu sve se češće javlja potreba za većom preciznošću, odnosno, manjom učestalosti ljudskoga faktora na sam proces proizvodnje. Iz navedenih razloga javlja se potražnja za solucijom ovih problema te se rješenje pronalazi u numeričkim upravljanjem (eng. Numerical Control) otkud proizlazi naziv za famozne NC strojeve. [6] Numeričko upravljanje je u suštini programersko navođenje stroja uz pomoć bušene trake ili diskete; jednom učitane naredbe ne mogu se mijenjati dok se ne završi pokrenuta radnja na stroju.

Slika 3. prikazuje kako je nekada izgledao pogon glodalica te razliku u zaštiti na radu.



Slika 3. Glodalice u proizvodnom pogonu

Razvitak strojeva za obradu odvajanjem čestica naglo je ubrzao svoj put nakon Industrijske Revolucije do onakvih strojeva kakve danas poznajemo. Uvelike je uklonjen faktor ljudske pogreške i maksimizirala se sigurnost i zaštita na radu te se obrnuo raspored potrebnih znanja i vještina za rad; prije je bilo potrebnije biti vješt nešto napraviti nego znati kako procesom upravljati, a danas je obrnut slučaj, usporedivši prošlost i sadašnjost.

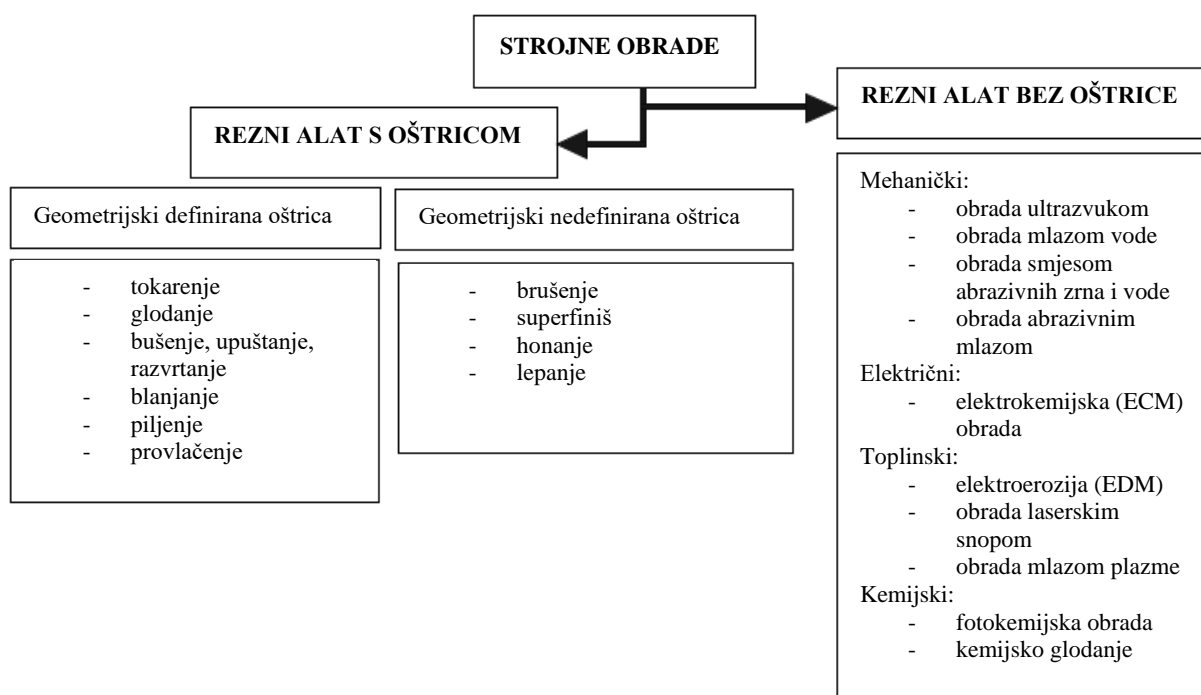
### 3. POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM ČESTICA

Izraz "obrada odvajanjem čestica" mnogo je kompleksniji nego što se na prvu ruku čini; razlog primjene je isti: oblikovanje određenog materijala u namjereni oblik skidanjem slojeva tog materijala. Primjena određenog načina obrade ovisi o karakteristikama samog materijala koji se obrađuje, pa je tako glavna raspodjela postupaka obrade odvajanjem čestica na strojne obrade uz:

- rezni alat sa oštricom
- rezni alat bez oštrice

Sukladno sa glavnom podjelom strojnih obrada odvajanjem čestica se kod obrada uz rezni alat sa oštricom, oštrica nalazi u stalnom doticaju sa obratkom; u preostalim slučajevima to nije tako. Osnovna podjela obrada uz rezni alat sa oštricom je na glavne obrade i na završne obrade, a glavna razlika između njih se nalazi upravo u samoj geometriji oštrice, koja u slučaju glavne obrade mora biti geometrijski definirana, a kod završnih obrada ne mora.

Slika 4. prikazuje ilustriranu podjelu postupaka odvajanjem čestica.



**Slika 4.** Podjela postupaka odvajanjem čestica

Različito geometrije oštrice razlikuje se o vrsti obrade, materijalu sa kojim se radi.

### 3.1 Geometrijski definirana oštrica

#### 3.1.1 Tokarenje

Tokarenje je postupak obrade odvajanjem čestica koji se najčešće primjenjuje za oblikovanje materijala okruglog profila (valjak) i predstavlja jedan od najpopularnijih i najkorištenijih postupaka odvajanjem čestica, te zaslužno nosi naziv "majka svih obrada".

Postupci tokarenja katgoriziraju se prema [7]:

- Proizvedenoj kvaliteti obrađene površine:
  - o Grubo
  - o Završno
- Kinematici postupka:
  - o Uzdužno
  - o Poprečno
- Položaju obrađene površine:
  - o Vanjsko
  - o Unutarnje
- Obliku obrađene površine:
  - o Okruglo, poprečno
  - o Konusno, profilno, kopirno
  - o Tokarenje navoja
  - o Ne okruglo

Karakteristika svih obrada su gibanja prilikom određenog postupka obrade; svaki postupak se sastoji od glavnog i pomoćnog gibanja. Kod tokarenja glavno gibanje je kontinuirana vrtnja obratka, a pomoćno gibanje je pravocrtno gibanje alata. Definiravši gibanja, slijedeći glavni izraz je prolaz – predstavlja ono vrijeme za koje je alat u doticaju sa obratkom gdje se vrši odvajanje čestica; nakon uspješnog prolaza, alat se odmiče od obratka i vraća se u prvobitni položaj pravocrtnim pomicanjem u smjeru kojim je došao. Svaki prolaz karakterizira kontinuirani rez, odnosno uvijek istu količinu odrezanog materijala koja ima mjernu jedinicu duljine [mm].

Slika 5. prikazuje tokarski nož za uzdužno vanjsko (okruglo) tokarenje.



**Slika 5.** Tokarski nož za uzdužno tokarenje

Tokarski nož karakterizira jedna oštrica koja može imati različite oblike ovisno o kojem je postupku tokarenja riječ.

### 3.1.2 Glodanje

Postupak obrade materijala odvajanjem čestica kod kojeg glavno kružno gibanje vrši alat, a pomoćno vrši obradak (najčešće) koje je u potpunosti proizvoljnog oblika i smjera. [8]

Postupci glodanja kategoriziraju se prema:

- Kvaliteti obrađene površine:
  - o Grubo
  - o Završno
  - o Fino
- Kinematici postupka:
  - o Istosmjerno
  - o Protusmjerno
- Položaju reznih oštrica (glodalo):
  - o Obodno
  - o Čeono
- Obliku obrađene površine:
  - o Ravno
  - o Okretno
  - o Profilno
  - o Ovalno
  - o Kopirno

Uz tokarenje, ono je jedan od najpopularnijih postupaka obrade odvajanjem čestica te se nož za obradu razlikuje od tokarskog noža; izuzev različitog gibanja alata i obratka, glavna razlika je u količini oštrica – glodalo ima više reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala. [8]

Slika 6. prikazuje oznaku brzoreznog HSS čelika utisnutu u alat.



**Slika 6.** Utisnuta oznaka brzoreznog čelika u alatu

Generalno noževi (oštrica alata) su uvijek izrađeni od iznimno tvrdih materijala, najčešće od brzoreznih čelika; vrlo često se oznaka brzoreznog čelika (HSS) može naći utisnuta o sam alat.



### 3.1.3 Bušenje, upuštanje, razvrtnje

Laički promatrano, navedene obrade odvajanjem čestica pokazuju sličnosti s obzirom na rezni alat, no upravo ovdje leži razlika te u njihovoj primjeni za izradu i obradu provrta. Kod navedenih triju obrada prisutan je kontinuirani rez te konstantan presjek; glavno gibanje je rotacija alata dok je pomoćno gibanje pravocrtno kontinuirano koje se izvodi istovremeno sa alatom, te ukoliko se radi o bušilicama, glavno i pomoćno gibanje vrši alat. [7]

Osim u alatima, razlika ovih načina obrade materijala jest u samoj namjeni postupaka; gdje je bušenje namjenjeno za izradu provrta, a upuštanjem i razvrtnjem se vrši oblikovanje ili promjena (smanjenje) hrapavosti postojećih provrta. [7]

Što se tiče materijala izrade alata to su opet najčešće brzorezni (HSS) čelici.

Slika 7. Prikazuje svrdla za bušenje, upuštanje i razvrtnje.



**Slika 7.** Svrđlo za bušenje, upuštanje i razvrtnje

Utisnute oznake brzoreznog čelika na svrdlima za bušenje, upuštanje i razvrtnje česta je pojava kako bi se prepoznao materijal izrade alata.

## 3.1.4 Blanjanje, piljenje, provlačenje

Za razliku od prethodnog potpoglavlja, ovo poglavlje ne pokazuje sličnosti s obzirom na alate i gibanja u procesu. Tablica 1. Prikazuje usporedbu gibanja blanjanja, piljenja i provlačenja.

| <i>Postupak</i>    | <b>Glavno gibanje</b> | <b>Pomoćno gibanje</b> |
|--------------------|-----------------------|------------------------|
| <i>Blanjanje</i>   | Alat                  | Obradak                |
| <i>Piljenje</i>    | Alat                  | Alat                   |
| <i>Provlačenje</i> | Alat                  | /                      |

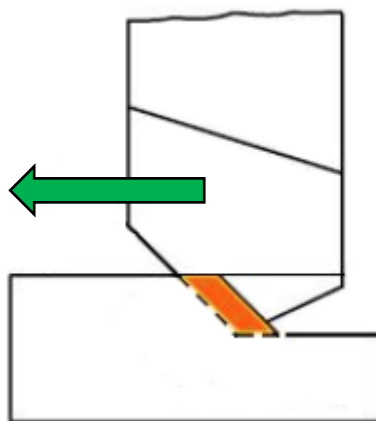
**Tablica 1.** Usporedba glavnih i pomoćnih gibanja

Blanjanje je postupak za obradu ravnih ploha gdje alat, okomito na obradak, obrađuje uzduž cijelog predmeta koji su uglavnom velikih dimenzija. Postupak se izvodi na alatnim strojevima koji se svrstavaju u dvije kategorije: dugohodne i kratkohodne blanjalice. Odabir blanjalice ovisi o veličini predmeta za obrađivanje.

Postupkom piljenja odvija se skidanje čestica za pretežno šipkaste materijale; alat sa kojim se postupak obavlja je pila sa više reznih oštrica, no samo je njih nekoliko uvijek u konstantnom doticaju sa materijalom za obradu. Alat poprima i glavno i pomoćno gibanje, a obradak je fiksiran te se ne kreće dok traje proces obrade. Različitost alata je veličina i raspored reznih oštrica koji definira o kojem je materijalu za obradu riječ i kakav je postupak piljenja. [7]

Provlačenje predstavlja postupak za završne obrade već postojećih provrta; alat je igla provlakačica vrlo kvalitetne izrade i visoke cijene. Postupak je nadprosječno produktivan i koristi se pri serijskoj i masovnoj proizvodnji te ondje gdje je potrebna završna obrada nad predmetima kompleksnog oblika.

Slika 8. Prikazuje ilustrirani smjer gibanja alata.



**Slika 8.** Smjer gibanja alata

Princip obrade materijala blanjanjem je da se nož za rezanje giba po cijeloj dužini predmeta koji je fiksiran te se pri tom gibanju odvija skidanje čestica; nakon što je alat prešao cijelu dužinu obratka, vraća se u prvobitni položaj te se pri povratku u pravilu ne vrši novo skidanje čestica – postoje izvedbe sa dva noža gdje se pri povratku alata omogućuje skidanje.

### 3.2 Geometrijski nedefinirana oštrica

#### 3.2.1 Brušenje, superfiniš

Brušenje i superfiniš postupci su obrade materijala skidanjem čestica koji spadaju u kategoriju završnih obrada.

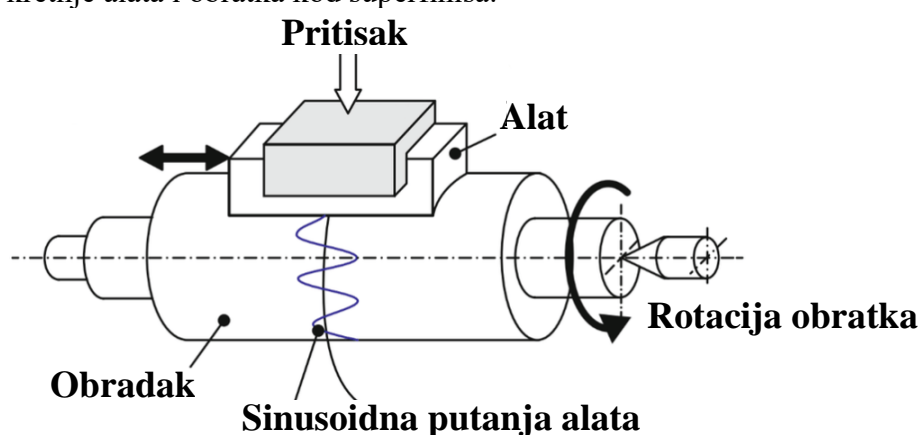
Brušenjem se hrapavost površine može dovesti do vrlo fine kvalitete, a geometrija površine obično ne predstavlja nikakav problem. Može se izvoditi strojno ili ručno te predstavlja najpopularniji postupak završne obrade skidanjem čestica. [7] Neovisno radi li se o strojnom ili ručnom brušenju, alat je brus koji na sebi sadrži veliki broj reznih oštrica atipičnog oblika (međusobno povezane vezivom) izrađenih od korunda, silicijevog karbida ili slično. Što se tiče gibanja u postupku, glavno gibanje je rotacija alata, a pomoćno vrši obradak ovisno o kojoj je vrsti brušenja riječ:

- Ovisno o obliku površine koja se obrađuje:
  - Brušenje okruglih vanjskih površina
  - Brušenje okruglih unutarnjih površina
  - Brušenje ravnih površina
  - Brušenje složenih površina
- Ovisno o položaju rezne površine brusa prema obratku:
  - Obodno brušenje
  - Čeono brušenje
  - Profilno brušenje
- Ovisno o pravcu pomoćnog gibanja, gledano prema osi brusa:
  - Uzdužno brušenje
  - Poprečno brušenje
- Obzirom na smjer brzina brusa i obratka:
  - Istosmjerno
  - Protusmjerno

Superfiniš je postupak za veoma finu obradu rotacijskih cilindričnih oblika (vanjskih).

Kod ovog postupka obavezna je upotreba sredstva za hlađenje i podmazivanje (SHIP) koje obavezno mora biti filtrirano.

Slika 9. prikazuje kretnje alata i obratka kod superfiniša.



Slika 9. Ilustrirani prikaz kretnje alata i obratka

Princip obrade materijala je sličan kao kod brušenja samo što se još više vrhova neravnina uspije odstraniti zbog prisutnosti veće zrnatosti brusnog elementa – više reznih oštrica koje se sinusoidalno kreću uzduž rotirajućeg obratka uz pomicanje alata.

### 3.2.2 Honanje, lepanje

Suprotno od superfiniša, honanje se koristi za završnu obradu unutarnjih cilindričnih površina te najbolji primjer predstavlja honanje bloka motora. Pomoću honanja moguće je ostvariti željenu hrapavost površine koja je potrebna da bi izradak bio funkcionalan. [9] Postupak se izvodi pri malim brzinama i malim silama rezanja te je obavezno korištenje SHIP-a zbog održavanja konstantno direktnog kontakta reznih oštrica i obratka te kako bi se odstranio već skinuti materijal. Što se tiče reznih oštrica, mogu biti izrađene od korunda, silicijevog karbida ili dijamanta – kao kod običnog brušenja; međusobno adhezijski povezane pomoću npr. epoxy ljepila.

Lepanje predstavlja postupak najfinije završne obrade gdje se dvije površine međusobno trljaju o abraziv koji se nalazi između njih. [7] Izvodi se pri malim brzinama i niskim pritiscima; abrazivni materijal obavezno mora biti pomiješan sa sredstvom za hlađenje i podmazivanje koji može biti na vodenoj ili uljnoj bazi. Rubni dijelovi obratka čija se površina obrađuje mora biti osigurana pomoću sigurnosnih nosača kako nebi došlo do oštećenja obratka prilikom ovog postupka.

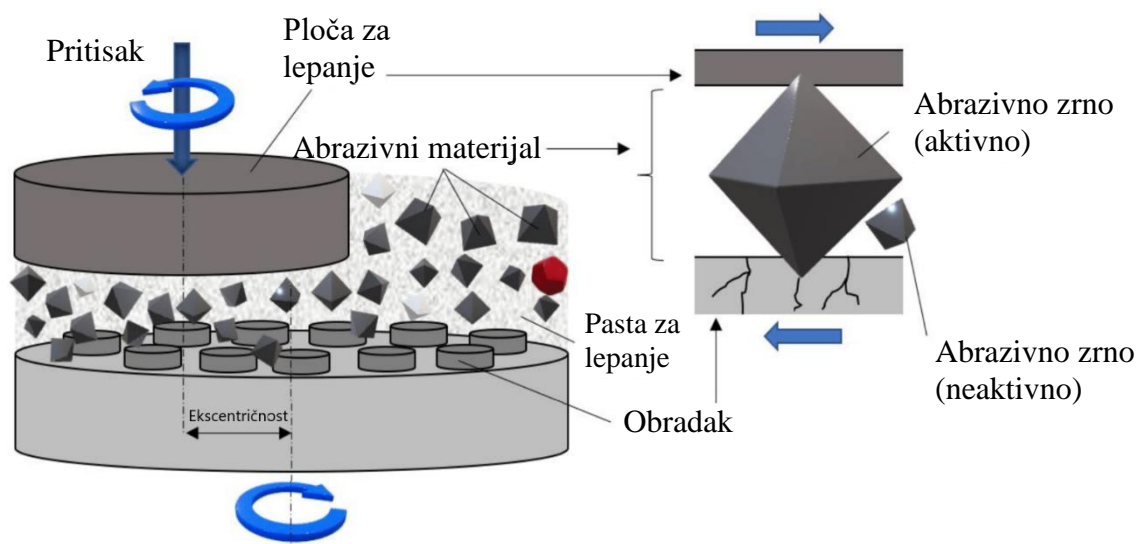
Postupci lepanja:

- Prisilno lepanje
- Lepanje mlazom
- Lepanje umakanjem
- Lepanje glađenjem

Oba postupka vrlo su korištena i produktivna kada se treba izraditi vrlo glatka površina te su idealno rješenje za završnu obradu visoko preciznih dijelova koja se koriste npr. u zrakoplovstvu, medicini ili u proizvodnji vojne opreme.

Glavne razlike honanja i lepanja su u principu rada, obliku materijala za obradu, brzini obrade i tolerancijama.

Slika 10. Prikazuje ilustrirani prikaz abrazivnih materijala i njihovo utjecanje na obradak.



**Slika 10.** Prikaz procesa lepanja i izgleda abrazivnih zrnaca

Cilj lepanja je proizvesti jednako glatke površine na svim predmetima za obradu, koje nakon postupka lepanja izgledaju "matirano", odnosno nisu reflektirajuće i višesmjernog uzorka. [10]

### 3.3 Rezni alat bez oštrice

Konvencionalne postupke obrade materijala kategorizira rezna oštrica koja svojim gibanjem ili gibanjem obratka uzrokuje odvajanje čestica; kod nekonvencionalnih postupaka rezna oštrica nije slučaj već se radi o nekoj vrsti energije koja je zaslužna za proces skidanja čestica, pa čak postoji mogućnost kombinacije konvencionalnih i nekonvencionalnih postupaka.

Energija može biti mehanička, kemijska, elektrokemijska ili toplinska, a prisutnost novih tehnologija obrade materijala je u sadašnjosti sve veća; na primjer rezanje materijala mlazom vode.

Podijela:

- Mehanički:
  - obrada ultrazvukom
  - obrada mlazom vode
  - obrada smjesom abrazivnih zrna i vode
  - obrada abrazivnim mlazom
- Električni:
  - elektrokemijska (ECM) obrada
- Toplinski:
  - elektroerozija (EDM)
  - obrada elektronskim snopom
  - obrada laserom
  - obrada mlazom plazme
- Kemijski:
  - fotokemijska obrada
  - kemijsko glodanje

Obzirom na odabrani postupak obrade materijala, određena je specifičnost postupka. Univerzalnost primjene postupaka je nepostojeća, zbog nemogućnosti primjene za sve materijale – isto kao i kod konvencionalnih postupaka odvajanjem čestica.

U današnjoj industriji vrlo je velika primjena mehaničkih postupaka odvajanja čestica koje karakterizira veliki pritisak mlaza fluida koji može ili ne mora sadržavati abrazivna zrna [7]; ukoliko se radi o uklanjanju sloja boje sa metalnih ili legiranih ploha pomoću mlaza vode sa abrazivnim zrnima (npr. kvarcni pijesak), radi se o postupku pjeskarenja.

Elektrokemijska obrada materijala vrši se na principu odvajanja čestica putem elektrolize te zakona elektrotehnike i kemije. Postupak karakteriziraju velika proizvodnost, dimenzijska točnost i nepostojanost radnih toplina; zato je potrebna oprema skupa i obrada ograničena na materijale koji su vodiči. [11]

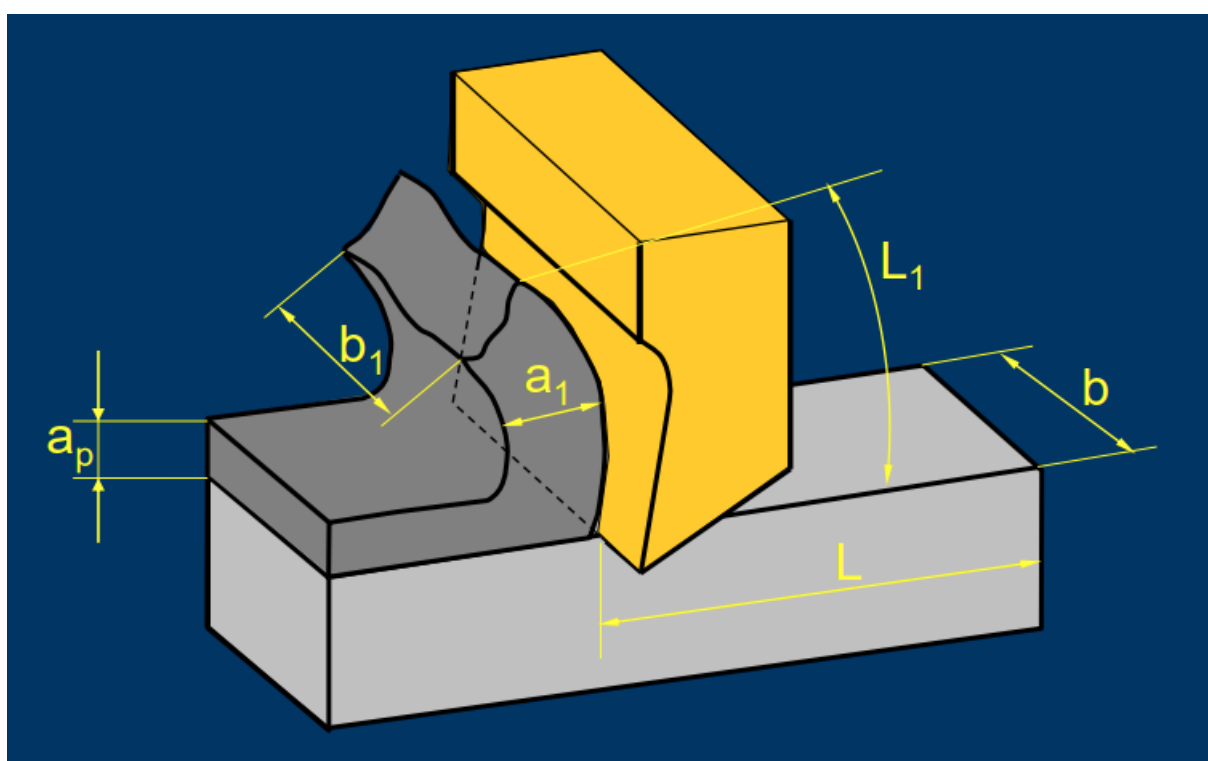
Toplinskom obradom materijala dovodi se toplinska energija koncentrirana na određeni dio površine obratka; postoji ograničenost adekvatnih materijala za obradu.

Kemijskom obradom se uz pomoć raznih kemijskih otopina odstranjuje određeni dio površine ili dijela obratka.

### 3.4 Zona rezanja

Pri obradi odvajanjem čestica sveprisutne su fizikalno-kemijske pojave koje su ključne za mogućnost odvijanja procesa skidanja čestica. Prodiranje alata u materijal (sabijanje čestica) uzrokuje porast potencijalne energije alata zbog elastičnih sila koja nastaju u nožu. Ovo povećanje opterećenja dovodi do prekoračenja granica elastičnosti te prelazak u zonu plastičnih deformacija gdje dolazi do mikrolokacijskog razaranja materijala odnosno nastajanja strugotine. Na mikroskopskoj razini prilikom vrlo male jedinice vremena dolazi do pucanja kristalnih rešetki u materijalu te se kretanjem reznog alata stvaraju ovakve pukotine za redom, formirajući specifičan oblik odrezanog "škart" materijala. Uslijed razbijanja kristalnih rešetki i trenja dolazi do oslobađanja energije u obliku topline koja uzrokuje smanjenje mehaničkih svojstva rezne oštrice alata. [12]

Slika 11. prikazuje ilustriranu kretnju reznog alata po površini obratka te formiranje strugotine



**Slika 11.** Kretnja reznog alata po površini obratka i formiranje strugotine

Ilustrirana kretnja reznog alata po površini obratka prikazuje eliminaciju sloja određenog materijala u jednom prolazu.

- $a_p$  – dubina obrade
- $a_1$  – debljina odvojene čestice
- $b_1$  – širina odvojene čestice
- $b$  – širina obratka
- $L$  – obrađena duljina obratka
- $L_1$  – visina odvojene čestice

Formirana strugotina može biti različitih oblika koji se formiraju uslijed različitih režima rada obrade. Ispravnost ovih režima odlučuje kakvog će oblika biti strugotina. Ukoliko ne nastane očekivana strugotina, predstavlja indikator da se korišteni režimi moraju promijeniti.

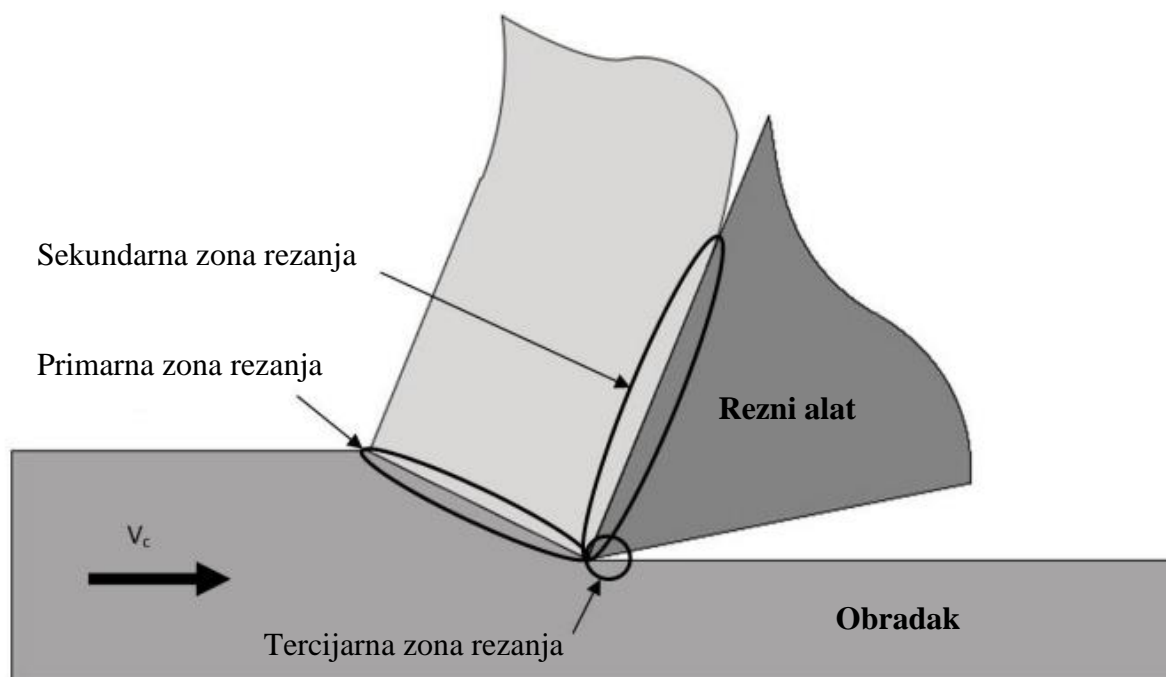
### 3.4.1 Oblici odvojenih čestica

Prema teoriji plastične deformacije nastale uslijed prodiranja reznog alata i razaranja materijala dolazi se do zaključka da bi odvojena čestica trebala biti "ravnomjerna", odnosno u jednom komadu. U praksi to nije slučaj te se razlikuju tri vrste odvojenih čestica: kontinuirane, diskontinuirane i segmentne; različitost nastajanja svake ovisi o parametrima obrade, kvaliteti reznog alata i sofisticiranosti stroja. [13]

Slučaj diskontinuiranih odvojenih čestica nastaje uslijed trenja koje se pojavljuje između formirajuće strugotine i reznog alata; u suprotnom slučaju kontinuirana strugotina klizi po alatu bez formiranja sile trenja na površini alata što odobrava formiranje strugotine kao takve. Zbog hrapavosti površine alata formiranjem strugotine razvija se sila trenja koja sa što većim količinskim razvitkom stvara veći otpor; na mikroskopskoj razini radi se o materijalu kojeg čine razbijene kristalne rešetke i kojeg karakteriziraju loša mehanička svojstva koja dovode do eventualnog razaranja između primarne i sekundarne zone rezanja (slika). Povećanje debljine strugotine u primarnoj zoni rezanja dodatno gura strugotinu "prema sebi" i doprinosi povećanju sile trenja i pospešuje razaranje strugotine.

Nakon razaranja, novonastaloj strugotini na početku će debljina biti manja te će se ovaj ciklus ponavljati kako bi nastala nazubljena diskontinuirana odvojena čestica, odn. strugotina. [13]

Slika 12. prikazuje zone rezanja.



Slika 12. Zone rezanja [13]


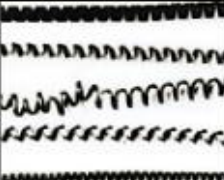








Kontinuirane i diskontinuirane strugotine imaju svoje prednosti i nedostatke koje utječu na alat, stroj i režije pogona. Da bi nastala kontinuirana strugotina primarno se treba osigurati velika brzina rezanja, duktilni materijal (na primjer čelik), minimalno trenje između alata i strugotine te mala debljina strugotine. Ukoliko su svi uvjeti zadovoljeni vrlo vjerojatno će novonastala strugotina biti kontinuiranog oblika te će doprinositi boljoj kvaliteti obrađene površine (manja hrapavost), reduciranom razvoju topline, prolongiranju životnog vijeka alata i smanjenje potrošnje električne energije stroja na kojemu se vrši obrada. Nedostatak kontinuiranih

strugotina je njihovo odlaganje i rukovanje gdje se mora pristupati sa velikim oprezom te se ponekad mora koristiti poseban alat da bi se umanjila dužina strugotine. [14]

Diskontinuirane strugotine nastaju iz suprotnih razloga glede onih kod kontinuiranih. Nastaju zbog uporabe lomljivih materijala poput bronce, lijevanog željeza ili mesinga (mjed); nedovoljno velikog nagibnog kuta raznog alata ili velike dubine rezanja (debljina strugotine). Uslijed ovih čimbenika dolazi do velikog trenja između alata i strugotine. Dobra strana obrade lomljivih materijala je najčešće dobra kvaliteta obrađene površine i manji zahtjevi s obzirom na konzumaciju električne energije. [14]

Usporedba kontinuirane i diskontinuirane strugotine je praktički nemoguća zbog toga što se radi o drugačijim parametrima, čimbenicima i uvjetima obrade; no prisutnost jedne ili druge u međusobno kontriranim parametrima i čimbenicima obrade može biti ukazatelj na problem ili nedostatak koji može biti riješen vrlo jednostavnom metodom eliminacije.

Tablica 2. prikazuje oblike strugotine.

| Tip                         | A   | B  | C  | D   | E   |
|-----------------------------|---|--|--|---|---|
| Mala debljina strugotine d2 |    |   |   |   |    |
| Mala debljina strugotine d1 |   |    |  |  |   |
| D                           | Bez kovrčanja   | $D \geq 50\text{mm}$   | $D \leq 50\text{mm}$<br>1 – 5 kovrči   | otp. 1 kovrča   | Manje od 1 ili pola kovrče  |
| Napomena                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Nepravilan, kontinuirani oblik</li> <li>● Petljanje oko alata i obratka</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pravilan, kontinuirani oblik</li> <li>● Dugački komadi odvojene strugotine</li> </ul> | -----  | -----   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Raspršivanje</li> <li>● Zveckanje</li> <li>● Loša kvaliteta površine</li> <li>● Velika potrošnja energije</li> </ul> |

Tablica 2. Oblici strugotine [15]

Različiti tipovi strugotine nastaju uslijed različitih režima rada te potencijalnih neispravnosti u radu.



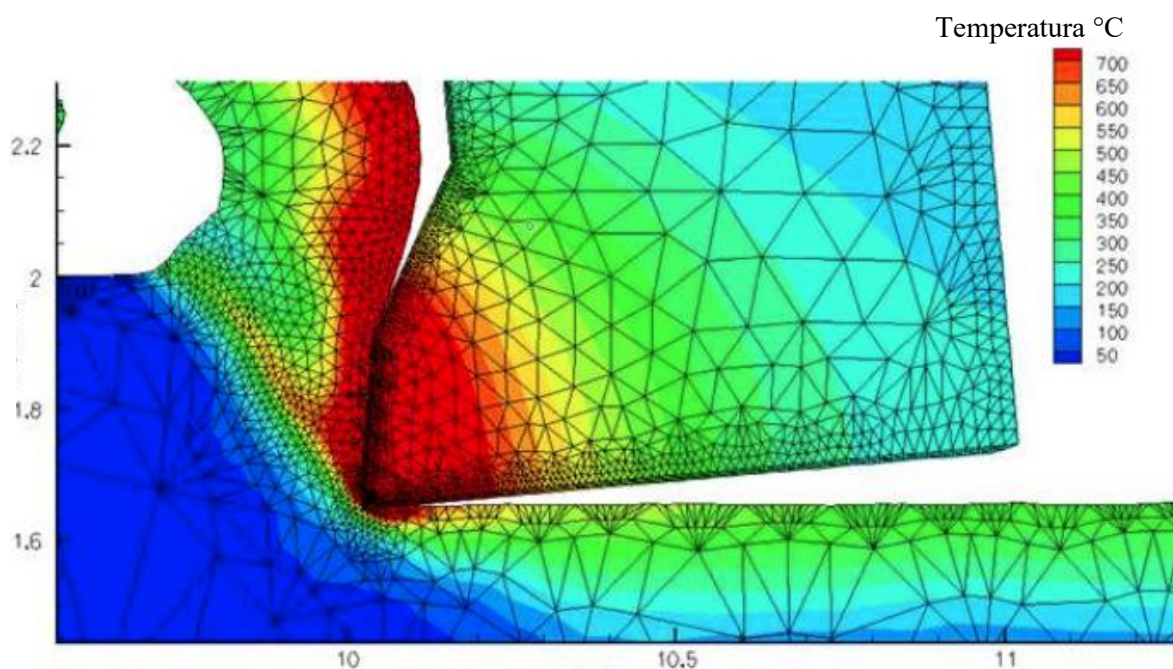
### 3.4.2 Temperature u zoni rezanja

Porast temperature prilikom deformacije materijala normalna je pojava i bez obzira na korištenje SHIP-a, neizbježna je. Količina oslobođene toplinske energije prilikom razaranja kristalnih rešetki ovisi o kojoj se zoni rezanja radi; na primjer najviše topline razvija se u primarnoj zoni gdje se događa osnovno razaranje materijala i logična je popratna pojava. Najveći utrošak energije potrebne za obradu fokusiran je na primarnu zonu gdje završi od oko 70% iste – dodatno opravdava zašto se u ovoj zoni razvija najviše topline.

Razvatak topline u sekundarnoj zoni je također postojan zbog prisutnosti sile trenja između alata i strugotine, no znatno je manji nego u primarnoj zoni. Ukupan utrošak energije na ovu zonu iznosi oko 20% zbog potrebe za nadvladavanjem sile trenja, odnosno da bi strugotina mogla biti kontinuirana i da se ostvari maksimalna kvaliteta obrađene površine.

Tercijarna zona je ona gdje se razvija najmanje topline te ju uzrokuje prolaženje alata po površini obratka (trenje); u pravilu je zona gdje se razvije najmanje topline koja sa vremenom raste zbog istrošenosti reznog alata. [16]

Slika 13. prikazuje 3D prikaz alata i formiranje strugotine te područja gdje je razvatak topline najizraženiji.



**Slika 13.** Alat, formiranje strugotine i područja razvitka najviše topline

Prema priloženom uočava se da se u primarnoj i sekundarnoj zoni razvije najviše topline, a da se ona zadržava najduže na reznom alatu i na površini same strugotine. Zaključno, toplina se pojavljuje iz slijedećih razloga: razaranje materijala, istrošenost reznog alata ili značajna hrapavost površine reznog alata te velika brzina rezanja. Pomnim odabirom materijala za obradu i materijala reznog alata, režima rada i korištenje SHIP-a može se utjecati na razvoj topline da bi se zadovoljili svi uvjeti obrade.

## 4. SREDSTVA ZA HLAĐENJE, ISPIRANJE I PODMAZIVANJE

### 4.1 Karakteristike SHIP-a

Cilj svake obrade materijala je izrada kvalitetnih proizvoda ili dijelova proizvoda sa što manje problema u proizvodnji te smanjenje troškova prilikom obrade što uključuje alat, obradak te dodatne naknadne obrade, bez prekida pogona. Riječima je opisan idealan proces izrade obradaka koji je popraćen sa pomoćnim, nužnim preparatima; riječ je o sredstvima za hlađenje, ispiranje i podmazivanje; kraće, SHIP. Namijenjeni su upravo za ono za što njihovo ime govori, a mogu biti na osnovu različitih baza. Njihovom prisutnošću omogućeno je poboljšanje svih faktora prilikom određenih postupaka, no uporaba SHIP-a nije uvijek nužna, jer se mnoge obrade materijala odvajanjem čestica mogu izvoditi "na suho". Proučavanje potrebe za određenom vrstom sredstava za hlađenje, ispiranje i podmazivanje je znanost sama za sebe koja zahtjeva dobro poznavanje kemije, mehanike fluida i termodinamike; odluka koja vrsta sredstva će biti korištena mora biti osnovana na temeljitim proračunima i razmatranjima – u razmjerima sličnim onima za odabir odgovarajućeg postupka za obradu materijala.

Glavni razlog za korištenje SHIP-a je potreba za hlađenjem i/ili ispiranjem i/ili podmazivanjem površine na kojoj se vrši obrada jer bi zbog neprisutnosti sredstava, obrada bila neuspješna ili ispravno nemoguća. Toplina nepovoljno utječe na bilo kakav postupak, a produkt je svake konvencionalne obrade materijala odvajanjem čestica i glavni je razlog uporabe SHIP-a. [17]

Osnovna funkcija sredstva bila bi:

- hlađenje alata i obratka
- smanjenje trenja na dodirnim površinama
- sprječavanje neželjenog spajanja materijala pri visokim temperaturama
- sprječavanje gomilanja otpadnog materijala na alatu
- ispiranje strugotine
- zaštita alata i obratka

Primjena SHIP-a određena je ovisno o materijalu koji se obrađuje, a prema vrsti sredstva se razlikuju prema kemijskom sastavu, a time i prema karakteristikama [18]:

- ulja:
  - o glavni cilj je isključivo podmazivanje, a ne hlađenje; rađena na bazi mineralnih ulja
- makro emulzije:
  - o kombinacija mineralnih ulja i emulgatora kako bi bilo omogućeno i hlađenje i podmazivanje
- mikro emulzije:
  - o uključenjem sintetičkih spojeva sa makro emulzijama se osim podmazivanja i hlađenja omogućuje zaštita od korozije te onečišćenja na alatu i obratku
- sredstva za hlađenje na bazi vode:
  - o sintetička tekućina koja je najbolja opcija za hlađenje i zaštitu od korozije alata i obratka

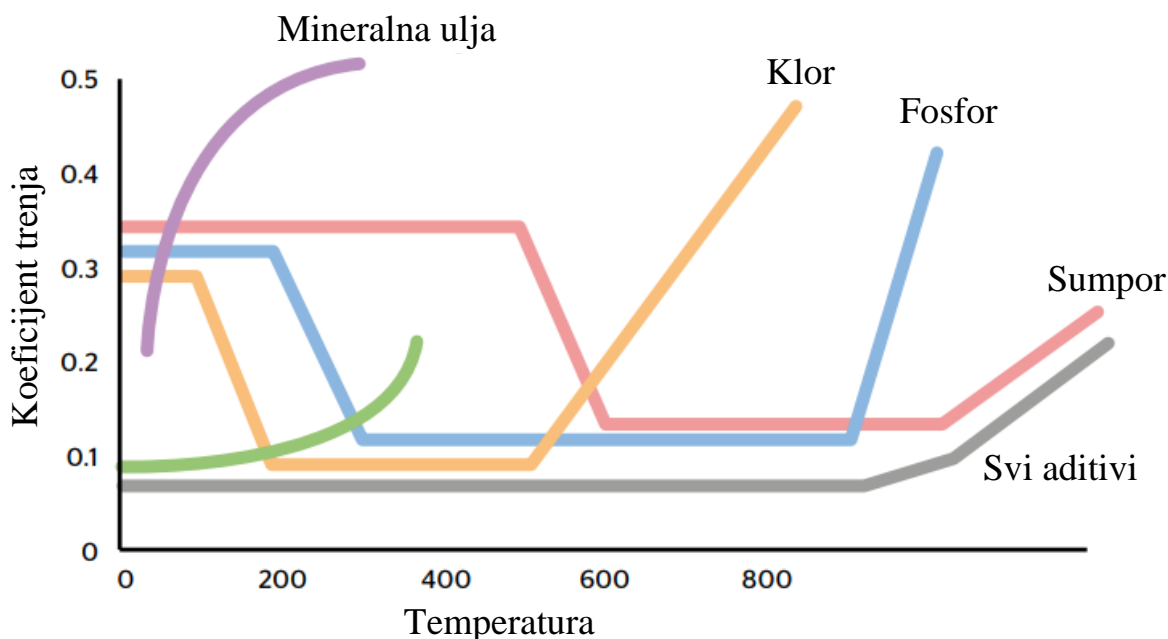
Čista ulja koriste se za podmazivanje te nisu ni sa čim razrjeđivana – viskoznost je postojana. U ovom obliku mogu se primjeniti pri laganim operacijama strojne obrade do onih zahtjevnih (npr. glodanje zupčanika), mogu se koristiti za široki raspon tvrdih materijala. Razlog korištenja ulja za podmazivanje je smanjenje razvitka topline koja nastaje prilikom prodiranja reznih oštrica alata u obradak; uz to ulje će i smanjiti energiju potrebnu za obradu pa će proces biti iskorišteniji. [19]

Osim dobre funkcije podmazivanja, ulja u pravilu pružaju odlično anti-korozivno djelovanje prema obratku i alatu.

Baza ulja za podmazivanje su najčešće mineralna, sintetička, bijela ulja ili esteri (kem. formula  $RCOOR'$ ). Uz baze prisutni su i aditivi poput biljnih ili životinjskih ulja kako bi se ostvarila zaštita alata od trošenja – razlog primjene baš ovih dodataka je u njihovoj masnoći koja opravdava razlog njihovog dodavanja. Odabir viskoznosti ulja varira s obzirom na primjenu sredstva za podmazivanje, a sama primjena utječe na implementaciju dodatnih aditiva, koja, ako se radi o visoko temperaturnom procesu ili ukoliko se radi o procesu gdje su postojani visoki tlakovi – dodaju se novi aditivi u obliku kemijskih elemenata (sumpor, fosfor ili klor). Postojanost dodatnih kemijskih elemenata može negativno utjecati na izgled površine predmeta koji se obrađuje; npr. prisutnost sumpora doprinosi diskoloraciji ukoliko se obrađuju žuti materijali.

Ukoliko se radi o teškim obradama tvrdih metala poput čelika ili titana, gotovo uvijek će aditivi na bazi kemijskih elemenata biti prisutni u sredstvu za podmazivanje.

Slika 14. prikazuje ovisnost koeficijenta trenja sa porastom temperature za razne aditive.



Slika 14. Ovisnost koeficijenta trenja sa porastom temperature za aditive [20]

Različiti kemijski spojevi reagiraju drugačije na porast temperature.

Prednosti ulja za podmazivanje:

- jednostavna upotreba, prolongiranje životnog vijeka alata
- dobro anti-korozivno djelovanje

Nedostaci ulja za podmazivanje:

- opasnost od zapaljenja, relativno osrednja toplinska zaštita
- pojava dima i vlage prilikom obrade
- velika viskoznost

Slika 15. prikazuje tipični sastav ulja za podmazivanje



**Slika 15.** Sastav ulja za podmazivanje [20]

Zbog izvrsnih karakteristika, emulzije su danas najiskorištenije sredstvo za hlađenje i podmazivanje; razlog tome leži u njegovom sastavu koji sadrži vodu i tzv. koncentrat – spoj mineralnog (baznog) ulja zajedno sa emulgatorima (koriste se kako bi se emulzija održala stabilnom) i aditivima.

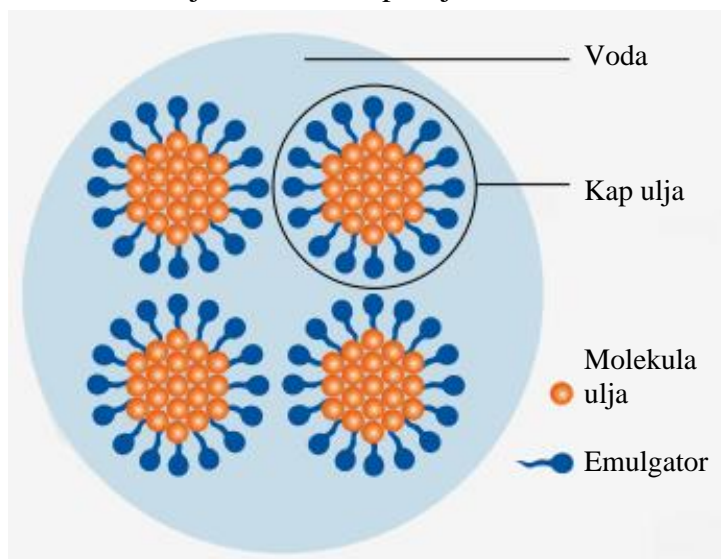
Emulzije se dobivaju miješanjem koncentrata u vodi; ukoliko se princip stvaranja obrne, smjesa će biti neuspjela. Količina koncentrata otopljenog sa vodom određuje svojstva i izgled emulzije koja može biti mutno bijela do kristalno prozirne boje – ovo je slučaj kada koncentrat za miješanje nema ulja u sebi; na taj način nastaje emulzija pod imenom sintetička tekućina. Emulzija se stvara ovisno o potrebama procesa strojne obrade te proces stvaranja može varirati od jednostavne smjese do sofisticirane formule.

S obzirom da se koncentrat miješa sa vodom, nastaju izvrsne mogućnosti hlađenja kombinirane sa izvrsnim mogućnostima za podmazivanje; uz to cijena je pristupačnija u usporedbi sa čistim uljima. Prisutnost vode daje velike prednosti, ali i značajne nedostatke; prvi glavni nedostatak je vrlo često provjeravanje postojanosti koncentrata. Ukoliko se radi o slaboj emulziji (manjak koncentrata) može doći do pada u produktivnosti, oštećenja obratka i/ili alata, razvitak bakterija u vodi ili korodiranje alata i/ili obratka. [20]

Emulzije se u pravilu koriste sa udjelom koncentrata 4-10% [20], a ukoliko se radi o velikim kapljicama koncentrata, riječ je o makroemulzijama. Emulzija gdje se male kapljice koncentrata

dodaju u vodu nazivaju se mikroemulzije gdje se sastav može mijenjati, a time se ostvaruje novo sredstvo sa određenim svojstvima.

Slika 16. Prikazuje sastav emulzije na mikroskopskoj razini

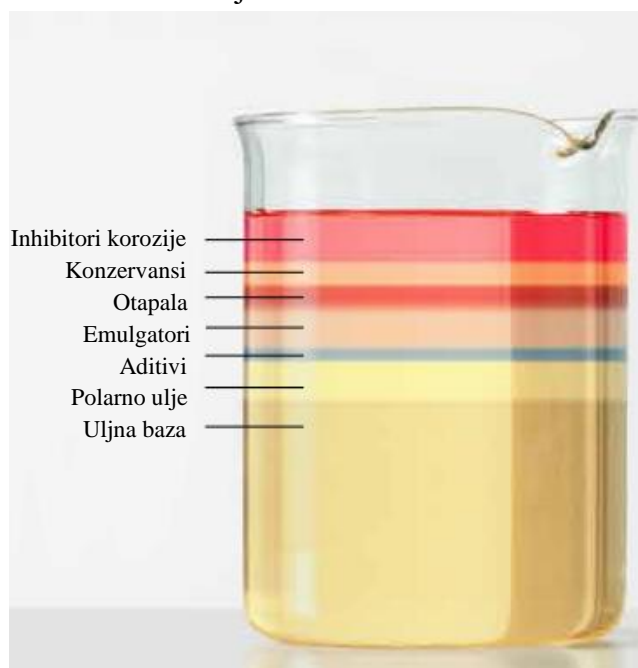


**Slika 16.** Sastav emulzije, mikroskopska razina [20]

Ilustrirana mikroskopska razina prikazuje izgled kapi ulja u vodi.

Što se tiče sintetičkih tekućina (emulzije bez uljne baze), one su dugotrajnije od emulzija sa uljnom bazom; sadrže veću količinu aditiva i nije potrebno toliko često provjeravati je li koncentracija baze u vodi idalje postojana. Uz veću količinu aditiva poboljšane su i ostale karakteristike sintetičkih ulja, a to je da su više otpornija na koroziju i na toplinu – znači da se neće razviti značajna količina topline i vijek trajanja alata će biti prolongiran, a obrada će biti uspješna i produktivna.

Slika 17. prikazuje tipični sastav emulzije.



**Slika 17.** Tipični sastav emulzije [20]

Emulzije imaju i dobro svojstvo ispiranja, gdje se obradak dobro čuva od oštećenja.

## 4.2 Suha strojna obrada

Zbog značajnih razloga, potreba za suhom obradom raste; glavni razlozi su: [21]

- prolongiranje životnog vijeka alata
- eliminacija troška rashladnog sredstva
- eliminacija odlaganja "potrošenog" rashladnog sredstva
- eliminacija opasnosti rashladnog sredstva za radnike i njihovu okolinu

Vrlo veliki utjecaj na zdravlje radnika ima raspršenost rashladnog sredstva u mikrolokaciji oko stroja, koja se zbog doticaja sa brzopokretnim dijelovima stroja pretvara u aerosolni oblik gdje veličina čestice može bez problema proći kroz dišne puteve čovjeka. Stoga zdravstveno očuvanje radnika predstavlja vrlo bitnu stavku u proizvodnim pogonima.

Obzirom na prošlost kada su brzine rezanja bile manje i kada je dubina rezanja bila veća, suha strojna obrada uzrokovala bi razvoj veoma značajne količine toplinske energije pa bi to loše utjecalo na kvalitetu obratka i reznog alata. Danas su brzine rezanja veće i dubine rezanja manje pa to predstavlja idealnu podlogu za suhu obradu; velike brzine rezanja pogoduju čistijem rezu i očuvanju kvalitete obrađene površine. Za suhu obradu potreban je iznimno oštar alat koji će zbog ostalih režima rada zadržati svoju postojanost čak do skoro 3 puta duže nego je to slučaj kada se radi sa rashladnim sredstvom.

Rezni alati koji se koriste moraju biti iznimno visoke tvrdoće koju bi trebali zadržavati pri visokim temperaturama bez pojave pucanja ili deformiranja. Primjer materijala za izradu takvog alata je kubični bor nitrid (CBN) tvrdoće HV3200 – HV4000 i veoma dobre toplinske vodljivosti i stabilnosti pri 1200°C. Primjenjuje se većinom kod suhe obrade lijevanog željeza ili kaljenog čelika. [22]

Izuzetno visoke tvrdoće HV7000 – HV8000 su alati izrađeni od polikristalnog dijamanta (PCD) sa skoro dvostrukom toplinskom vodljivošću i stabilnosti u usporedbi sa CBN-om. Zbog visoke toplinske vodljivosti, toplina koja se razvija zbog obrade materijala vrlo brzo bude akumulirana od strane tijela alata čime se omogućuje manja opasnost od toplinskih oštećenja rezne oštrice i obratka. Alati izrađeni od ovog materijala koriste se za suhu obradu bakra, aluminija i aluminijskih legura. [22]

Suha obrada rjeđa je pojava no neke velike inženjerske firme poput Sndvik Coromanta bave se skoro isključivo sa njom; strojevi u pogonima u potpunosti su automatizirani i razvitak toplinske energije uslijed obrade ne predstavlja niti minimalni problem za njih. Za njihov slučaj potpuno automatiziranog proizvodnog pogona, suha obrada predstavlja fantastičan izbor načina obrade zbog eliminacija svih nepotrebnih troškova koje donosi primjena rashladnih sredstva ili radnika koji su u direktnom kontaktu sa strojevima. [21]

Zaključno, suha obrada je definitivno više nego moguća, a njena okvirna zastupljenost u proizvodnim pogonima iznosi 20-ak%. Ekonomski (eliminacija u prosjeku 2% ukupnih troškova izrade), ekološki i zdravstveno predstavlja bolju soluciju nego je to slučaj kod obrada sa rashladnim sredstvom određene vrste.

### 4.3 Strojna obrada sa minimalnom primjenom SHIP-a

Miješanjem male količine ulja sa komprimiranim zrakom te centrirano raspršivanje smjese predstavlja princip rada obrade sa minimalnom primjenom sredstva (eng. MQL, Minimum Quantity Lubrication). Usmjereno ka zoni rezanja, predstavlja idealnu varijantu sa višestruko manjom potrošnjom sredstva za podmazivanje. U tradicionalnim sustavima podmazivanja/hlađenja potrošnja ulja je otprilike 50-1000 l/h, dok je kod MQL-a u rasponu 0,01-2 l/h. Baze sredstva za podmazivanje/hlađenje mogu biti različita modificirana biljna ulja, masni alkoholi ili esteri.

U usporedbi sa ostalim sustavima za podmazivanje ili hlađenje, MQL je u velikoj prednosti: [28]

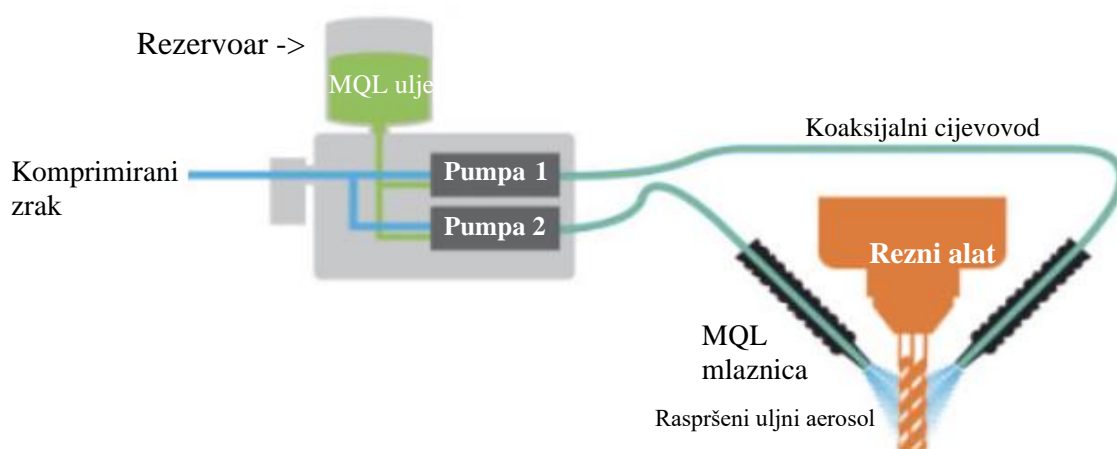
- smanjeni utrošak sredstva
- smanjeno trošenje alata
- poboljšana kvaliteta obrađene površine
- manji utjecaj na okolinu
- manji utjecaj na zdravlje radnika
- bolji učinak podmazivanja

Što se tiče razvitka toplinske energije prilikom obrade, MQL postupak je posebnog benefita na obradak, rezni alat i strugotinu. Zbog načina dovođenja sredstva za podmazivanje u zonu rezanja formira se tanki sloj maziva koji se nalazi između alata i strugotine te skoro 95% razvijene topline preuzima strugotina. Ovaj sloj također doprinosi da toplina ne dođe do reznog alata, čime se njemu prvenstveno produljuje životni vijek, a obratku toplina ne nanosi nikakvu štetu. Pogodnost MQL-a je da se sredstvo za podmazivanje ne akumulira u strugotini, čime je kasnije zbrinjavanje, odlaganje i recikliranje jednostavnije i ekonomičnije. [29]

Nedostatak MQL-a je ovisnost o točnom centriranju mlaznice koja raspršuje komprimirani zrak i čestice ulja; ukoliko nije adekvatno postavljena, može doći do oštećenja obratka i reznog alata. Pošto se radi o procesu podmazivanja/hlađenja, a ne i ispiranja, mora biti osigurana mlaznica koja će novonastale strugotine ispuhivati u okolinu. [29]

Ukoliko se ovakvom sustavu podmazivanja/hlađenja zadovolje svi parametri koji su uvjet za ispravnu funkciju, svaki proces obrade sa MQL-om ispuniti će sva očekivanja.

Slika 18. prikazuje MQL-ov sustav dovođenja sredstva u zonu rezanja.



**Slika 18.** MQL-ov sustav dovođenja sredstva u zonu rezanja

Za razliku od tradicionalnog podmazivanja/hlađenja, MQL postavlja dodatne zahtjeve na implementaciju mlaznice u proces obrade, što firmi čini trošak, odnosno investiciju.

#### 4.4 Kriogena strojna obrada

Kao i svi sustavi dovođenja određenog medija kao sredstva za hlađenje/podmazivanje, tako se kriogenom obradom dovode plinovi u tekućem stanju u zoni rezanja pri vrlo niskim temperaturama u svrhu poboljšanja ili prolongiranja kvalitete obrade i postojanosti alata. Naziv kriogena nosi zbog kriogenike koja predstavlja tehnologije dubokog hlađenja. Najčešći medij za hlađenje je tekući dušik ( $LN_2$ ) pri cca.  $-196\text{ }^\circ\text{C}$ ; odlično akumulira toplinu, brzo isparava, stvara plinoviti sloj između reznog alata i strugotine te na taj način djeluje kao sredstvo za podmazivanje zbog eliminacije sile trenja između površine reznog alata i strugotine, čime se ostvaruje što kvalitetniji i konzistentniji rez. [28]

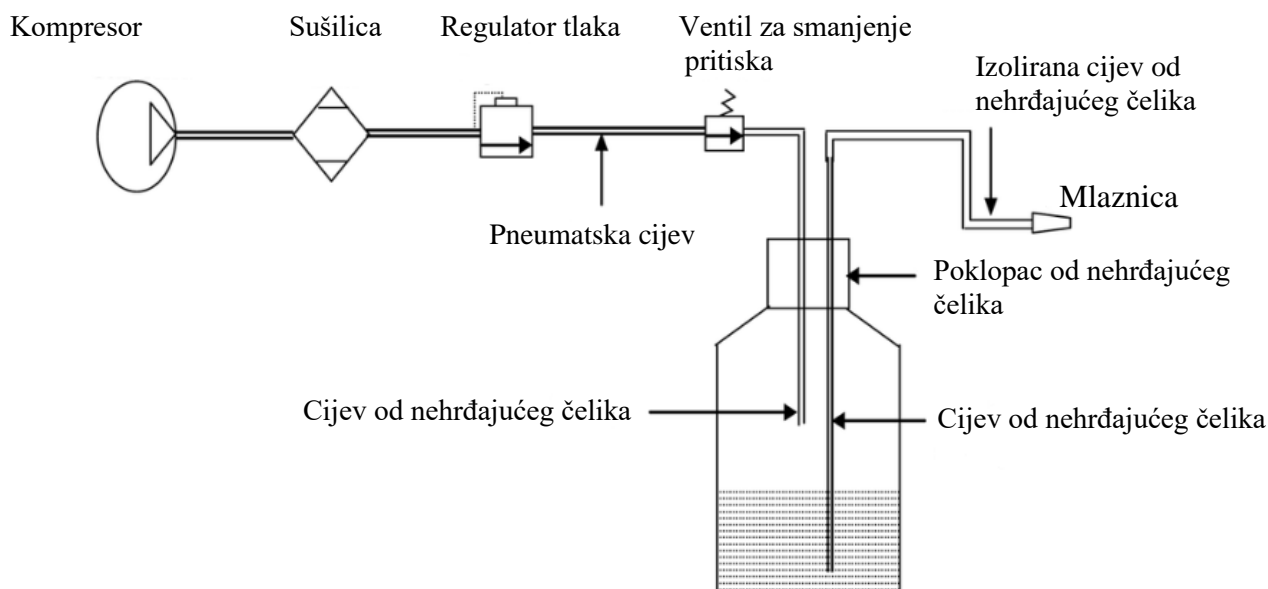
U trenutku dolaska tekućeg dušika u doticaj sa zonom rezanja toplina se apsorbira, a tekućina isparava u elementarnom stanju dušika koji nije štetan za okolinu s obzirom da je zastupljen u skoro 80% sastava zraka. Bez obzira na zastupljenost dušika u zraku (na otvorenom) i dalje može predstavljati opasnost za svoju okolinu zbog prevelikog nakupljanja u radnom prostoru ukoliko je on zatvoren te bez ikakvih ventilacijskih sustava ili ozračenosti prostora. Ukoliko se radi o ovakvom prostoru, potrebno je nekoliko puta u satu promjeniti zrak uz korištenje opreme za očitavanje zastupljenosti kisika u prostoriji.

Prednosti kriogene obrade:

- ekonomski, ekološki i zdravstveno prihvatljivija
- veća produktivnost procesa
- prolongirani životni vijek reznog alata
- bolja kvaliteta obrađene površine i same izrade

Ukoliko se radi o reznim alatima sa visokom cijenom onda je kriogeno hlađenje jedan od boljih postupaka koji će doprinosti očuvanju skupog alata (npr. legure titana ili superlegure na bazi nikla). [28]

Slika 19. prikazuje sustav za održavanje temperature i raspršivanje hladnog tekućeg plina.



**Slika 19.** Sustav za održavanje temperature i raspršivanje hladnog tekućeg plina

Kriogena obrada dosta je skup proces gdje najveći dio ulaganja odlazi u sustave za postizanje i održavanje ovako niskih temperatura, ali bez obzira na visoku cijenu ovih sustava, predstavlja veoma zanimljivu varijantu hlađenja zbog utjecaja hladnih tekućih plinova na rezni alat.



#### 4.5 Utjecaj SHIP-a na okolinu

Obrade odvajanjem čestica same su po sebi opasne za radnike u postrojenjima, a prisutna sredstva hlađenja, ispiranja i podmazivanja predstavljaju značajan problem za čovjeka i okoliš. Baza SHIP-a čimbenik je o kojem ovisi koliko je sredstvo štetno za njegovu okolinu i neka su štetnija od drugih. Mineralna ulja "prihvatljivija" su od sintetičkih ulja koja nisu razgradiva, uzrokuju puno zagađenja, ekološki nisu prihvatljiva i predstavljaju opasnost za operatere strojeva unutar pogona. Kao rješenje ovog problema postoje i tzv. zelena ulja koja se poistovjećuju sa konvencionalnim sredstvima po značajkama korozivne zaštite i sprječavanju razvoja mikroorganizama; ostali, bitni zahtjevi za sredstvo nisu u potpunosti ispunjeni. [23]

SHIP su sveprisutna sredstva u svijetu i koriste se u poprilično velikim količinama; s obzirom na korištenu količinu može se odrediti hoće li proces biti od većeg značaja na zdravlje radnika/okoliš ili manjeg. Vrlo važna stavka trenutnog istraživanja je poboljšanje ekološke prihvatljivosti proizvodnih procesa diljem svijeta.

Pri odabiru sredstva važno je promatrati njegova ekološka i biorazgradiva svojstva pored onih klasičnih (podmazivanje, ispiranje i hlađenje); sredstvo mora zadovoljiti državni propis za zaštitu okološa i međunarodne ISO 14000 standarde – norme koje usmjeravaju ka sistematizaciji i poboljšanju ekološke prihvatljivosti i osvješćenosti. [25]

Sredstva mogu loše utjecati na okoliš u tri oblika: neodgovarajućim odlaganjem, prenošenjem preko strugotine i akumulacijom sredstva u izratku.

Oblik i mikropukotine određuju hoće li se (i koliko) sredstvo akumulirati u gotovom komadu, zbog čega je potrebno izradak nakon obrade temeljito isprati i očistiti; isti proces i postupak čišćenja vrijedi i za strugotine u kojima je akumulirana određena količina sredstva.

Izuzevši faktor onečišćenja izratka, prisutan je i ekonomski faktor manjkavosti sredstva te češća potreba za izmjenom istih. Prekomjerna potrošnja i akumulacija sredstava nepovoljno utječu na učinkovitost procesa čišćenja izratka. [28]

Pri kraju životnog vijeka, sredstva gube svoja svojstva koje ih čine povoljnima za njihovu funkciju; gubitkom ovih svojstava kategoriziraju se kao opasna i štetna. Promjena svojstava događa se zbog načina upotrebe sredstva koje svojom prirodom djelovanja utječu na kemijske, fizikalne i biološke promjene; mjera istrošenosti (odn. promjene) utječe na način kako pristupiti odlaganju sredstva. [28]

Na primjer sredstva ubrzano propadaju zbog nekoliko čimbenika:

- nekompatibilnost akumuliranih sredstva
- nakupljanje neželjenih čestica poput prljavštine, strugotine ili krhotine
- podložnost razvoju mikroorganizama
- hlapljivost aditiva ili isparavanje tekućine iz sredstva
- podložnost ionskoj destabilizaciji u slučaju sredstava na bazi vode
- stvaranje pjene prilikom mehaničkog miješanja tvari
- korozija reznog alata ili obratka
- promjena pH vrijednosti sredstva

Nepoželjno je dovesti sredstvo do krajnjih granica životnog vijeka te ih je iz tog razloga vrlo bitno povremeno mijenjati; period izmjene sredstva može trajati tjednima ili mjesecima (ovisi o zahtjevima procesa). [28]

Kako bi se kakvoća SHIP-a osigurala i održala potrebno je korištenje kemijskih tvari od kojih je nekolicina opasna za ljudsko zdravlje ili okoliš: sekundarni amini (dimetilamin, metiletanolamin), natrijev nitrit, fenoli, klorirani parafin, spojevi borne kiseline, policiklički aromatski ugljikovodici (PAU) i biocidni proizvodi. [28]

Porijeklo amina je amonijak, a reakcija nitrita sa sekundarnim aminima je kancerogena; vrlo ozbiljan problem predstavlja nepovoljni utjecaj istog kemijskog spoja na ljudsko zdravlje i vodeni život ukoliko stupi u kontakt sa prirodom.

Klorirani parafin upotrebljavan je kod procesa provedenim pri vrlo visokim tlakovima i velika je opasnost za svoju okolinu pa čak i materijal sa kojim se nađe u kontaktu; izaziva površinsku koroziju kod obradaka od titana. Prilikom izmjene sredstava čiji je sadržaj kloriran potrebno je otpadno sredstvo označiti kao opasni otpad.

Kemijski spojevi u sredstvima mogu omogućiti višestruko poboljšanje svojstva, no u istoj mjeri pogoršavaju svoj utjecaj na okolinu. Borna kiselina ima višestruku funkciju; kao zaštita od korozije, prezervacija pH vrijednosti i kao inhibitor bakterijskog razvoja. Naizgled dobre karakteristike ocrnjene su lošim utjecajem na zdravlje reproduktivnog sustava radnika i borna kiselina klasificirana je kao tvar vrlo visoke razine zabrinutosti ECHA-e (Europska Agencija za Kemikalije, eng. European Chemicals Agency). [28]

U prošlosti su se koristili razni kemijski spojevi koji su predstavljali vrlo veliki rizik za ljudsko zdravlje; dobar primjer za to su policiklički aromatski ugljikovodici (PAU) čija je upotreba ograničena zbog njihove toksičnosti. Njihova pojava posljedica je izgaranja rafiniranih ulja (kao baze sredstva) pri visokim temperaturama; korištenje istih suzbijeno je zbog kancerogenosti i trenutno je vrlo rijetka pojava u proizvodnji.

Rast mikroorganizama poput bakterija i gljiva česta je pojava koja se javlja kod sredstava koja se miješaju sa vodom; njihovom rastu i razvoju pogoduju inhibitori korozije, emulgatori i zagađivači kojima se hrane. Nezapaženi i preveliki rast mikroorganizama može dovesti do uranjenog gubitka svojstava sredstva, što vodi do neželjenog troška. Da bi se kontrolirala ili spriječila mikrobna aktivnost koriste se biocidi raznih vrsta; koji, uz ona poželjna djelovanja nose i ona nepoželjna. Biocidi iz sredstva isparavaju i održavanje njihove koncentracije je vrlo zahtjevan proces; prisutnost biocida može uzrokovati dermatitis ukoliko dođe do kontakta sa kožom radnika. Korištenje biocida u ove svrhe je zabranjeno od strane nekih proizvođača u blizini ljudi; postoje i alternativne opcije za suočavanje sa mikroorganizmima poput UV zračenja ili pasterizacije, no to su skuplje varijante i ne predstavljaju soluciju proizvodnim pogonima.

Magla izazvana sredstvima za hlađenje, ispiranje i podmazivanje je vrlo ozbiljan problem koji utječe na zdravlje radnika. Nastaje kada se tekuće sredstvo nađe u kontaktu sa brzo rotirajućim alatima/obratcima pri čemu dolazi do prskanja aerosola sredstva veličine 0,1 do 10 $\mu$ m (75% maseni udio) koje čovjek bez smetnji može udahnuti. Količina aerosolnih čestica u zraku ovisi o brzini obrade; veća brzina – sitnije i mnogobrojnije čestice (veća površina štetnog područja) i obrnuto.

Uljna magla može uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme radnika:

- iritacija oči, nosa, grla
- iritacija dišnih puteva i pluća
- plućna disfunkcija / kolaps
- bronhitis (akutni, kronični) i astma
- upala pluća
- fibroza pluća

## 5. EKONOMSKI ASPEKT PRIMJENE SHIP-a

Ekonomska učinkovitost i isplativost dvije su od najglavnijih stavki svake tvrtke na svijetu. Što se tiče proizvodnje najbitnije je da proces bude isplativ te u najmanju ruku održiv. Navedeni termini biti će ostvareni samo ako se zadovolje svi parametri, odnosno uvjeti. Opsežnost tržišta glede alata rađenih od kvalitetnih materijala ili strojeva ekstremne produktivnosti predstavlja pojam koji se detaljno proučio kako bi se ustanovile sve potrebne mjere za ekonomsku isplativost proizvodnog procesa. Proces se može poboljšati putem korištenja sredstva za hlađenje, ispiranje i podmazivanje; ali trenutno ponuda na ovom tržištu ubrzano raste i omogućuje raznolikost rashladnih tekućina rađenih od različitih kemijskih spojeva, a pogotovo sa naglaskom na zelena ulja, koja, s obzirom na današnju ekološku osvještenost, bi trebala u budućnosti predstavljati ekološko prihvatljivu varijantu SHIP-a.

Procjena upotrebljivosti sredstva može biti teška zbog njenih karakteristika i popratnih pojava s obzirom na njen utjecaj na okolinu; mora biti adekvatno za željeno skladištenje i da odgovara svim radnicima po pitanju zdravstvenih razloga. Izvrstan slučaj bio bi da SHIP zadovolji sve potrebe glede svoje namjene i da ne bude opasan za okoliš i radnu okolinu; cjenovno se nebi trebalo štediti jer ukoliko se radi sa sredstvima upitne ili loše kvalitete, dovodi se do potencijalnog narušavanja kvalitete opremljenosti pogona u širem smislu (strojevi, alati, radnici...). [25]

Dovođenje rashladnog sredstva u sami proces govori o kakvom se procesu radi i kakvi su zahtjevi na materijale. S obzirom na navedeno, suha obrada ne zahtjeva upotrebu SHIP-a, ali postavlja značajne zahtjeve na adekvati materijal koji može podnositi visoku temperaturu u zoni rezanja. Suha obrada dosta je ograničena metoda obrade, no nije nemoguća.

MQL (eng. Minimum Quantity Lubrication) sastoji se od komprimiranog zraka i rashladnog sredstva, a primjenjuje se na mikrolokaciji gdje se vrši obrada; direktno prema zoni rezanja. Komprimiranim zrakom tekućina se usmjereno raspršuje u sitnim kapljicama, a okvirna potrošnja u jednom satu bila bi 5-150mL. [26] Zbog svojih karakteristika MQL predstavlja izvrsnu soluciju za način dovođenja rashladne tvari u zonu rezanja i donosi više nego zadovoljavajuće prednosti:

- smanjena potrošnja sredstva
- sigurnija sredstva
- smanjene zdravstvene opasnosti
- brža obrada
- duži vijek trajanja alata
- smanjenje troška odlaganja sredstva
- čišća okolina stroja
- rijetka učestalost za servis stroja

Tradicionalno plinovito ili kriogeno hlađenje usporediti će se sa MQL-om; koriste se tekući dušik ili ugljikov dioksid (pri točno definiranim temperaturama) u kriogenom hlađenju koji apsorbiraju i odvođe toplinu. Zbog ovisnosti o temperaturi, potrebna je posebna oprema koja će ju ovim medijima održavati stabilnom – dodatni trošak prilikom procesa izrade. U usporedbi sa tradicionalnim hlađenjem MQL odnosi pobjedu zbog prednosti postupka i zahvalnosti primjene.

Prema literaturi [26] prikazan je primjer ekonomskog proračuna troškova uporabe MQL i tradicionalnog postupka hlađenja.

Praktičnim ispitivanjem rashladna tekućina promjenila se nakon 15 dana, stoga je finalni trošak rezanja obračunat nakon 15-dnevnog ciklusa.

Tablica 3. prikazuje sve troškove.

| r.br. | Vrsta hlađenja         | Fiksni troškovi (x)   | Ostali troškovi (x)                            | Ukupno (x) |
|-------|------------------------|---|--|------------|
| 1.    | Tradicionalno hlađenje | Pumpa = 8500<br>Spremnik = 10000                                | Preventivni servis = 600                       | 19100      |
| 2.    | MQL                    | Kompresor = 9000<br>MQL jedinica = 40000<br>FRL jedinica = 1000 | Zamjena ulja u kompresoru i FRL jedinici = 550 | 50550      |

**Tablica 3.** Usporedba troškova tradicionalnog i MQL hlađenja [26]

Iz prikazanog odmah je vidljivo da MQL ima veće fiksne troškove nego što je to slučaj kod tradicionalnog hlađenja.

Potrošnja SHIP-a je proporcionalna sa vremenom obrade i to su dva parametra koja su uzeta u obzir u ekonomskoj analizi. Obradak je načinjen od aluminija 6061 dimenzija (300 x 100 x 50) [mm]. te je izvršeno čeono glodanje (300 x 100) [mm].

Režimi rada:

Promjer glodala = 25mm

Posmak = 0.1mm

Broj prolaza = 4

Usporedba vremena potrebno za izradu obratka je 22,139min za postupak tradicionalnog hlađenja gdje je bila manja brzina rezanja i 13,481min za postupak MQL-a gdje je namjerno povećana brzina rezanja za 60-ak%.

Nakon 15 dana preostaje 27/50L sredstva u spremniku (200mL/h).

Industrijskim standardima zaključeno je da kod konvencionalnog hlađenja, omjeri vode i ulja iznose 80:20; stoga za upotrebljenih 50L sredstva, 40L od toga bila je voda.

Slijedeći proračun predstavlja ukupni trošak na SHIP za tradicionalno hlađenje.

|  |  |
|--|--|
| Ukupni trošak sredstva za tradicionalno hlađenje | = cijena ulja za 14.76mL + cijena vode<br>= 1.476 + 1<br>= x 2.476 |
|--|--|

Gdje je

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Vrijeme obrade za tradicionalno hlađenje | = 22,139min                     |
| Potrošnja sredstva za navedeno vrijeme   | = 59.04mL(voda) i 14.76mL(ulje) |
| Cijena vode                              | = x 1/L                         |
| Cijena ulja (30-razrednog)               | = x 100/L                       |
| Cijena ulja (30-razrednog za 14.76mL)    | = x 1.476                       |

Slijedeći proračun predstavlja trošak na SHIP za MQL hlađenje.

Korišteno je biorazgradivo ricinusovo ulje, a koristi se 50-150mL/h ulja.

|  |   |
|--|---|
| Ukupni trošak sredstva za MQL hlađenje | = cijena ricinusovog ulja za 11.24mL<br>= x 1.124 |
|--|---|

Gdje je

|  |             |
|--|-------------|
| Vrijeme obrade za MQL                  | = 13,481min |
| Potrošnja sredstva za navedeno vrijeme | = 11.24mL   |
| Cijena ricinusovog ulja                | = x 100/L   |

*Kalkulacija varijabilnih troškova tradicionalnog hlađenja*

|  |   |
|--|---|
| Varijabilni troškovi za tradicionalno hlađenje | = trošak električne energije za pumpu +<br>trošak sredstva + troškovi održavanja +<br>troškovi mirovanja<br>= <b>I + II + III + IV</b><br>= 1.55 + 2.476 + 0.105 + 0.922<br>= x 5.053 po komadu |
|--|---|

Gdje je

|  |   |
|--|---|
| <b>I.</b> Troškovi električne energije po komadu | = potrošena električna energija od strane<br>pumpe / broj komada u 15 dana<br>= 1512/976<br>= x 1.5 |
|--|---|

Za

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Broj komada u 15 dana | = (60min x 24/vrijeme obrade) x 15<br>= (60 x 24/22.139) x 15<br>= 976 |
|-----------------------|--|

|  |  |
|--|--|
| Potrošnja električne energije od strane<br>pumpe u 15 dana | = industrijska cijena električne energije x<br>potrošena električna energija po komadu u 15<br>dana<br>= 7 x 216<br>= x 1512 |
|--|--|

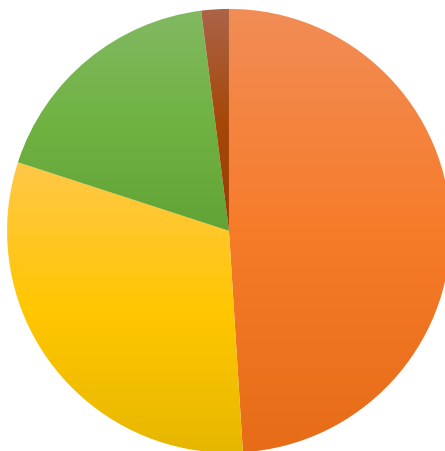
|   |           |
|---|-----------|
| <b>II.</b> Cijena sredstva potrošenog po komadu | = x 2.476 |
|---|-----------|

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>III.</b> Cijena čišćenja po komadu | = cijena dvosatnog čišćenja po komponenti<br>x 15 dana<br>= 102.25/976<br>= x 0.105 |
|---------------------------------------|---|

|   |   |
|---|---|
| <b>IV.</b> Cijena mirovanja (2h u prosjeku) | = cijena mirovanja stroja x broj komada u 15 dana<br>= 900/976<br>= x 0.922 |
|---|---|

Dijagram 1. prikazuje ukupne varijabilne troškove tradicionalnog hlađenja

## Varijabilni troškovi tradicionalnog hlađenja



■ Troškovi sredstva za hlađenje po komadu 
 ■ Troškovi električne energije po komadu  
■ Troškovi mirovanja 
 ■ Troškovi održavanja po komadu

**Dijagram 1.** Ukupni varijabilni troškovi tradicionalnog hlađenja [26]

### Kalkulacija varijabilnih troškova MQL hlađenja

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Varijabilni troškovi za MQL | $  \begin{aligned}  &= \text{trošak električne energije za kompresor po komadu} + \text{trošak sredstva po komadu} + \\  &\text{troškovi održavanja} + \text{troškovi mirovanja} \\  &= \text{I} + \text{II} + \text{III} + \text{IV} \\  &= 1.73 + 1.124 + 0 + 0 \\  &= \times 2.854  \end{aligned}  $ |
|-----------------------------|---|

Gdje su

|   |   |
|---|---|
| <b>I.</b> Trošak električne energije za kompresor po komadu | $  \begin{aligned}  &= \text{troškovi električne energije za kompresor u} \\  &15 \text{ dana} / \text{broj komada izrađenih u 15 dana} \\  &= 2772/1602 \\  &= \times 1.73  \end{aligned}  $ |
|---|---|

Za

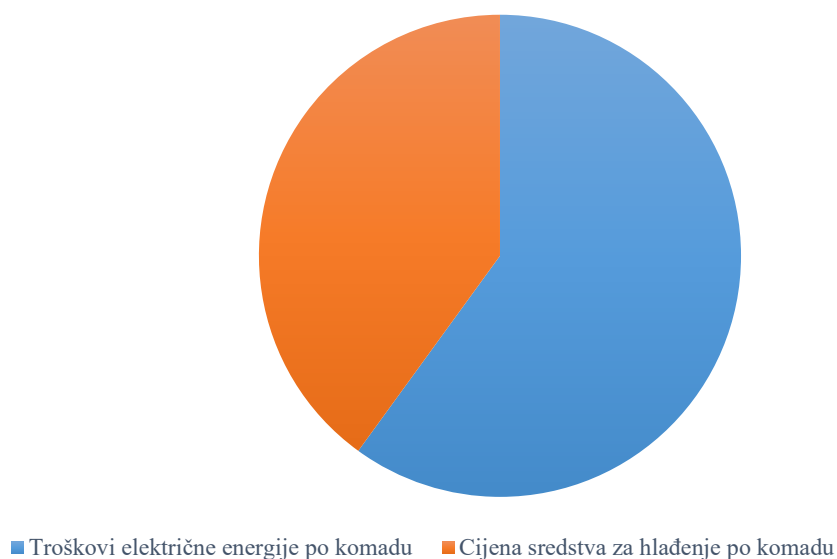
|                       |   |
|-----------------------|---|
| Broj komada u 15 dana | $  \begin{aligned}  &= (60\text{min} \times 24/\text{vrijeme obrade}) \times 15 \\  &= (60 \times 24/13.481) \times 15 \\  &= 1602 \text{ komada}  \end{aligned}  $ |
|-----------------------|---|

|  |   |
|--|---|
| Cijena električne energije potrošena od kompresora u 15 dana | $  \begin{aligned}  &= (\text{industrijska cijena električne energije}) \times \\  &(\text{potrošnja kompresora u 15 dana}) \\  &= (7) \times (1.1 \times 360) \\  &= \times 2772  \end{aligned}  $ |
|--|---|

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| <b>II.</b> Cijena sredstva potrošenog po komadu          | = $\times 1.124$               |
| <b>III.</b> i <b>IV.</b> Troškovi održavanja i mirovanja | = MQL -> nema značajnog troška |

Dijagram 2. prikazuje ukupne varijabilne troškove MQL hlađenja.

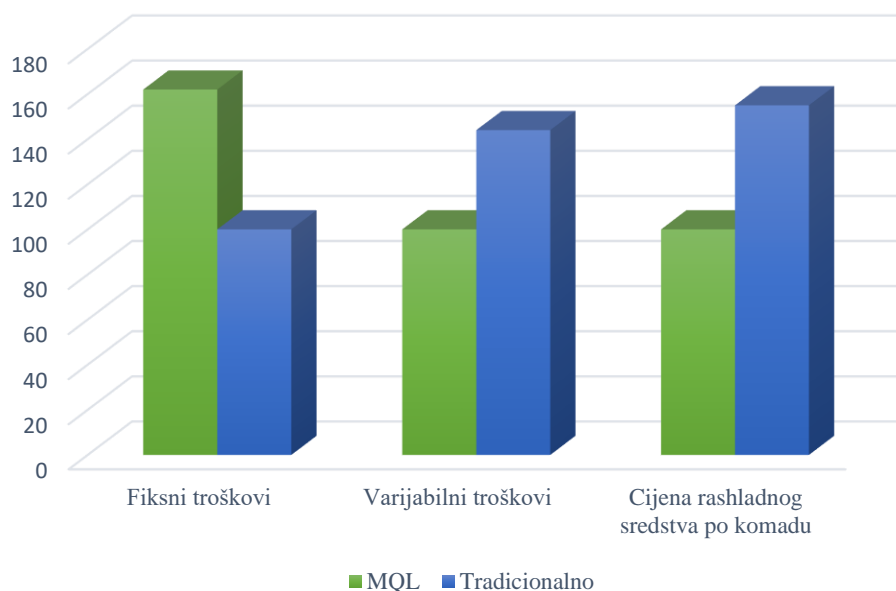
### Varijabilni troškovi MQL hlađenja



**Dijagram 2.** Ukupni varijabilni troškovi MQL hlađenja [26]

Dijagram 3. prikazuje usporedbu ukupnih troškova MQL i tradicionalnog hlađenja

### Usporedba ukupnih troškova MQL i tradicionalnog hlađenja



**Dijagram 3.** Usporedba ukupnih troškova MQL i tradicionalnog hlađenja [26]

Veći fiksni troškovi MQL-a ne predstavljaju nikakav financijski problem zbog manjih varijabilnih troškova i cijene rashladnog sredstva po komadu. MQL nema troškova održavanja i mirovanja; početna ulaganja bi se trebala vrlo brzo isplatiti.

## 6. ZAKLJUČAK

Tema ovog završnog rada je primjena rashladnih sredstava kod postupaka obrade odvajanjem čestica što je i obrađeno te su naglašeni ekološki i ekonomski aspekti različitih rashladnih sredstava, odnosno primjena različitih sustava hlađenja ili podmazivanja.

Uspoređeni su i izloženi popularni postupci obrade odvajanjem čestica te njihovi alati i materijali od kojih su napravljeni, glavna i pomoćna gibanja. Definirana je zona rezanja i glavna područja gdje se razvija najviše topline i koja su u najvećoj opasnosti od promjene karakteristika te mogu dovesti do ekonomskih problema uzrokovanih od strane određenog stroja ili radnika.

SHIP; sredstva za hlađenje, ispiranje i podmazivanje igraju veliku ulogu u proizvodnim procesima gdje mogu biti od velike koristi. Spomenuta su različita vrsta sredstava te načini hlađenja obratka i alata na MQL način ili kriogenim postupkom. Ustanovljeno je da je suha obrada itekako moguća, a u nekim slučajevima logična i smisljena.

Primjena rashladnih sredstava kod postupaka obrade odvajanjem čestica može biti spas, ali i nepotreban čin; imati će pozitivan utjecaj na one obrade koje zahtijevaju primjenu određenog sredstva na određeni način i u određenoj količini, a ukoliko se proces obrade može izvršiti suhom obradom, definitivno bi se trebao tako onda i izvesti.

U zadnjem poglavlju iskazan je primjer proračuna i troškova MQL hlađenja i tradicionalnog postupka hlađenja.

Što se tiče SHIP-a, ekonomskoj isplativosti vrlo veliki problem daje ekološka osvještenost i obrnuto. Težnja da se očuva okoliš je sve izraženija. Proizvodni procesi su oduvijek bili veliki zagađivač, ali sva sreća da se razvijaju i počinju koristiti ekološke varijante onih komponenti proizvodnji koji imaju najveći utjecaj na okolinu.

Budućnosti sredstva za hlađenje, ispiranje i podmazivanje presudila bi zastupljenost potpuno automatskih proizvodnih pogona gdje bi se maksimalno eliminirala zastupljenost fizičkih radnika u neposrednoj (nezaštićenoj) udaljenosti od samog radnog procesa.



**LITERATURA**

- [1] <https://laszeray.com/the-history-of-cnc-machinery/>
- [2] West, A.: The Automatic Lathe From Ancient Egypt to Today  
[http://www.in2egypt.com/html/the\\_automatic\\_lathe\\_from\\_ancie.html](http://www.in2egypt.com/html/the_automatic_lathe_from_ancie.html)
- [3] Woodville L.: Saint Louis Bible (Moralized Bible), Smarthistory, 2015  
<https://smarthistory.org/saint-louis-bible-moralized-bible-or-bible-moralisee/>
- [4] <https://www.mortiseandtenonmag.com/blogs/blog/the-history-of-the-spring-pole-lathe#:~:text=%E2%80%9CThe%20earliest%20depiction%20of%20the,cord%20attached%20to%20a%20treadle.>
- [5] <https://www.nicolascorrea.com/en/news/history-milling-machines>
- [6] <https://3axis-group.com/who-invented-the-vertical-milling-machine/>
- [7] Fabić M., Strojarska tehnologija 1 - predavanja
- [8] Perić Z.: Glodanje, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
- [9] <https://www.centarglavamotora.hr/popravak-motora/honanje-bloka-motora>
- [10] <https://www.lapmaster-wolters.com/what-is-lapping.html#:~:text=Lapping%20Involves%20the%20Use%20of,Platform%20Called%20a%20%E2%80%9CLap%20Plate%E2%80%9D>
- [11] Čehtarević M.: Elektrohemijska Obrada (ECM)  
<https://dokumen.tips/documents/elektrohemijska-obrada-ecm.html>
- [12] Antić A., Živković A., Zeljković M., Tabaković S.: Uticaj procesa formiranja strugotine na oscilovanje i dinamiku habanja alata, Novi Sad, Srbija, 2010.  
[https://www.researchgate.net/profile/Slobodan-Tabakovic-2/publication/265812189\\_UTICAJ\\_PROCESA\\_FORMIRANJA\\_STRUGOTINE\\_NA\\_OSCILOVANJE\\_I\\_DINAMIKU\\_HABANJA\\_ALATA/links/54db2aae0cf233119bc55895/UTICAJ-PROCESA-FORMIRANJA-STRUGOTINE-NA-OSCILOVANJE-I-DINAMIKU-HABANJA-ALATA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Slobodan-Tabakovic-2/publication/265812189_UTICAJ_PROCESA_FORMIRANJA_STRUGOTINE_NA_OSCILOVANJE_I_DINAMIKU_HABANJA_ALATA/links/54db2aae0cf233119bc55895/UTICAJ-PROCESA-FORMIRANJA-STRUGOTINE-NA-OSCILOVANJE-I-DINAMIKU-HABANJA-ALATA.pdf)
- [13] Hagberg A., Malim P.: Material Deformation Mechanisms during Machining of Superalloys, Gothenburg, Švedska, 2010.  
<https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/137944.pdf>
- [14] Dwivedi K.: Types of Chips in Metal Cutting Process, 2021.  
<https://www.mechical.com/2021/10/types-of-chips-in-metal-cutting.html>
- [15] <https://turntechprecision.com/clueless-machinist/2020/8/7/chip-formation-and-chip-breaking-in-machining>

- [16] [https://www.mecholic.com/2016/02/heat-generation-zones-in-metal-cutting.html?expand\\_article=1#google\\_vignette](https://www.mecholic.com/2016/02/heat-generation-zones-in-metal-cutting.html?expand_article=1#google_vignette)
- [17] <https://www.thomasnet.com/articles/process-equipment/cutting-fluids-for-machining/>
- [18] <https://services.totalenergies.uk/business-products/industrial-lubricants/energy/machining/cutting-fluids>
- [19] [https://www.hai-lu-oil.com/en/faq/HLJH\\_faq-02.html](https://www.hai-lu-oil.com/en/faq/HLJH_faq-02.html)
- [20] <https://turntechprecision.com/clueless-machinist/2020/8/7/chip-formation-and-chip-breaking-in-machining>  
Borin K.: Cutting Fluids Manual, Fuchs, Njemačka  
[https://fuchs.azureedge.net/fileadmin/se/Downloads/English/Cutting-fluids\\_EN.pdf](https://fuchs.azureedge.net/fileadmin/se/Downloads/English/Cutting-fluids_EN.pdf)
- [21] <https://www.theengineer.co.uk/content/advanced-manufacturing/the-benefits-of-dry-machining/>
- [22] <https://www.machinemfg.com/dry-machining/>
- [23] Abishek R., Charan S., Vinay V. P., Manjunath G. K.: Study of Adverse Effects of Cutting Fluids in Metal Cutting and Analysis, Indija, 2021.  
<https://www.jetir.org/papers/JETIRFA06020.pdf>
- [24] Kirvan P.: ISO 14000 and 14001, 2023.  
<https://www.techtarget.com/whatis/definition/ISO-14000-and-14001#:~:text=ISO%2014000%20is%20a%20series,improve%20their%20environmental%20management%20efforts.>
- [25] Ershova I. V., Kalinina N. E., Cherepanova E. V., Fayskhanov D. F.: Comparative analysis of cutting fluids, Rusija, 2020.  
[https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/94348/1/966\\_1\\_012095.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/94348/1/966_1_012095.pdf)
- [26] Dipali K. B., Bhushan T. P., Vasim A. S., Sujata P. D.: Comparative Economic Analysis and Investigation of Micro Lubrication Over Conventional Cooling in Manufacturing, Indija, 2023.  
[http://www.ppml.url.tw/EPPM\\_Journal/volumns/14\\_01\\_January\\_2024/ICEI4\\_ID\\_86\\_14\\_1\\_0004.pdf](http://www.ppml.url.tw/EPPM_Journal/volumns/14_01_January_2024/ICEI4_ID_86_14_1_0004.pdf)
- [27] <https://www.hai-lu-oil.com/en/category/Synthetic.html#:~:text=Synthetic%20cutting%20fluids%20do%22not,and%20often%20perform%20much%20better.>

- [28] Carou D., Rubio E. M., Benedicto B.: Technical, Economic and Environmental Review of the Lubrication/Cooling Systems Used in Machining Processes, Dept. of Manufacturing Engineering, Madrid, Španjolska, 2017.  
[https://www.researchgate.net/publication/327159978\\_Technical\\_Economic\\_and\\_Environmental\\_Review\\_of\\_the\\_LubricationCooling\\_Systems\\_Used\\_in\\_Machining\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/327159978_Technical_Economic_and_Environmental_Review_of_the_LubricationCooling_Systems_Used_in_Machining_Processes)
- [29] Felix C.: Getting the Most from MQL, Cincinnati, Ohio, SAD, 2017.  
<https://www.productionmachining.com/articles/getting-the-most-from-mql>