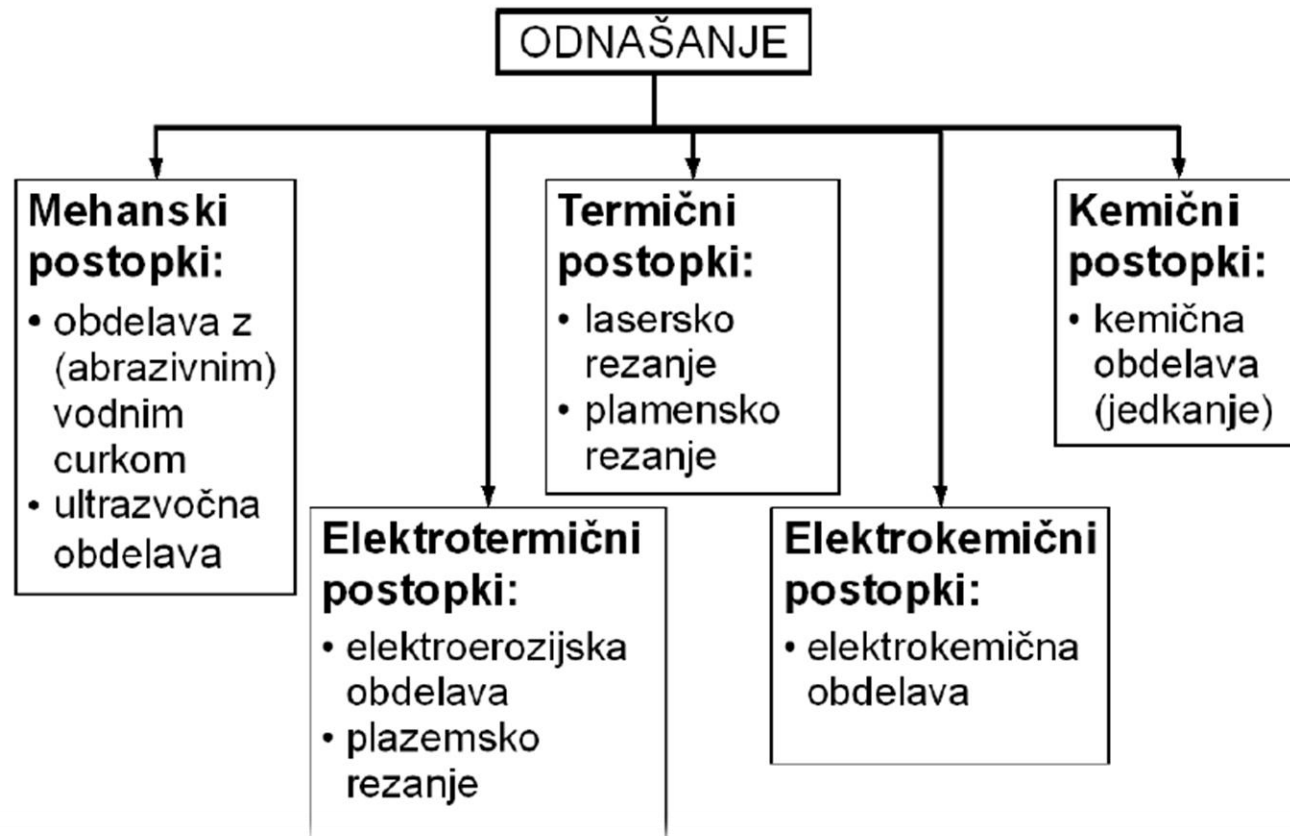




NEKONVENCIONALNI POSTOPKI OBDELAVE

UVOD

Predstavniki nekonvencionalnih postopkov



UVOD

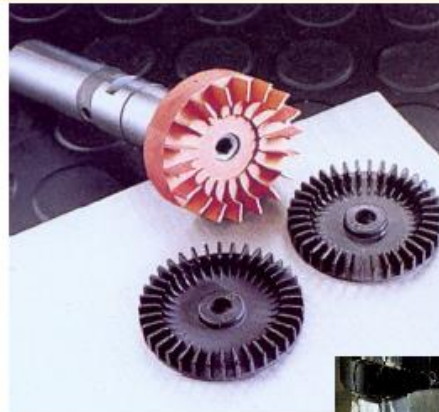
Konvencionalne in nekonvencionalne tehnologije

| OBDELOVAL PROCES | MAX. STOPNJA ODVZEMA (cm ³ /min) | OBIČAJNA PORABA MOČI (kW/cm ³ /min) | HITROST OBDELOVAN. (m/min) | OBIČAJNA GLOBINA PRODIR. NA MIN (mm) | NATANČNOST | | OBIČAJNA MOČ STROJA (kW) |
|---------------------|--|---|----------------------------------|--|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | DOSEGLJIVA (mm) | PRIMAX. STOPNJI ODVZEMA (mm) | |
| Struženje | 3300 | 0,046 | 76 | - | 0,005 | 0,13 | 22 |
| Brušenje | 820 | 0,46 | 30 | - | 0,0025 | 0,05 | 20 |
| CHM | 490 | - | - | 0,025 | 0,013 | 0,075 | - |
| PBM | 164 | 0,91 | 15 | 254 | 0,5 | 2,54 | 150 |
| ECG | 33 | 0,091 | 0,08 | - | 0,005 | 0,063 | 3 |
| ECM | 16,4 | 7,28 | - | 12,7 | 0,013 | 0,15 | 150 |
| EDM | 4,9 | 1,82 | - | 12,7 | 0,004 | 0,05 | 11 |
| USM | 0,28 | 9,1 | - | 0,5 | 0,005 | 0,04 | 11 |
| EBM | 0,0082 | 455 | 60 | 150 | 0,005 | 0,05 | 7,5 |
| LBM,LBT | 0,0049 | 2,731 | - | 102 | 0,013 | 0,13 | 1,5 |

ELEKTROEROZIJSKA OBDELAVA

Elektroerozijski postopki

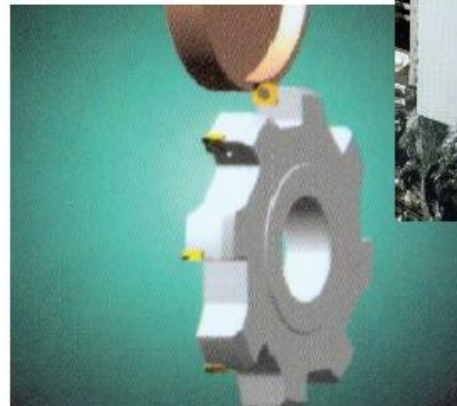
Potopna elektroerozija



Žična elektroerozija



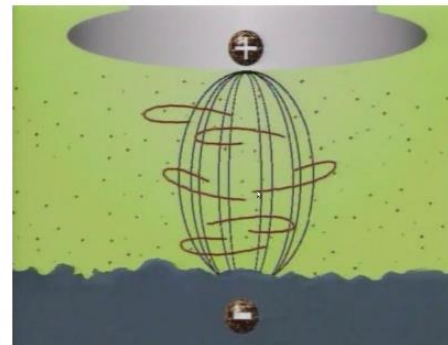
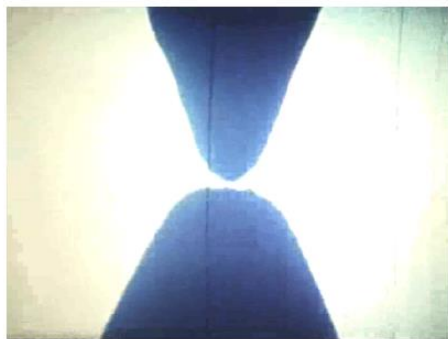
Elektroerozijsko brušenje



UVOD

- To je postopek obdelave kovin s pomočjo električne energije oz. iskrenja.
- Med elektrodo in obdelovancem (ki mora biti elektroprevoden) se več tisočkrat v sekundi generira in sprošča električni tok.
- To povzroča, da se material na mestu razelektritve raztali in upari.

Potek razelektritve



- Postopek poteka v tekočini – **dialektriku**, ki ga pod tlakom dovajamo na mesto obdelave in ima nalogo, da hladi obdelovanec in odvaja odvzete delce.
- Dialektrik med obdelavo hladimo v hladilni enoti, odvzete delce pa ujamemo v filtre.



- Elektroerozija → **moderen, natančen in ekološko čist postopek obdelave kovin.**
- → z malo porabljene energije dosegamo visoke rezultate.
- Nima negativnih vplivov na okolje.



PROCES RAZELEKTRITVE

- Pri eni razelektritvi (enotni dogodek) obravnavamo štiri fenomene

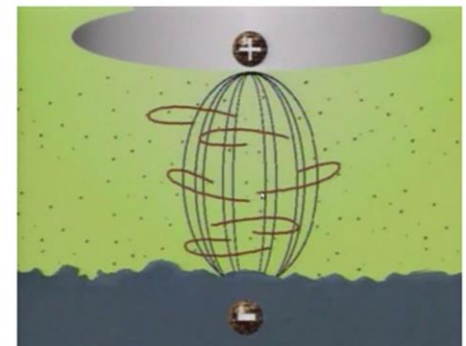
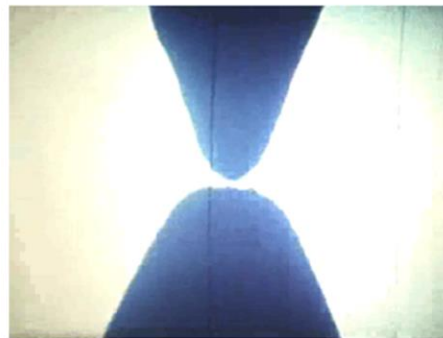
1. Električni preboj dielektrika

2. Porazdelitev električne moči

3. Prenos toplote

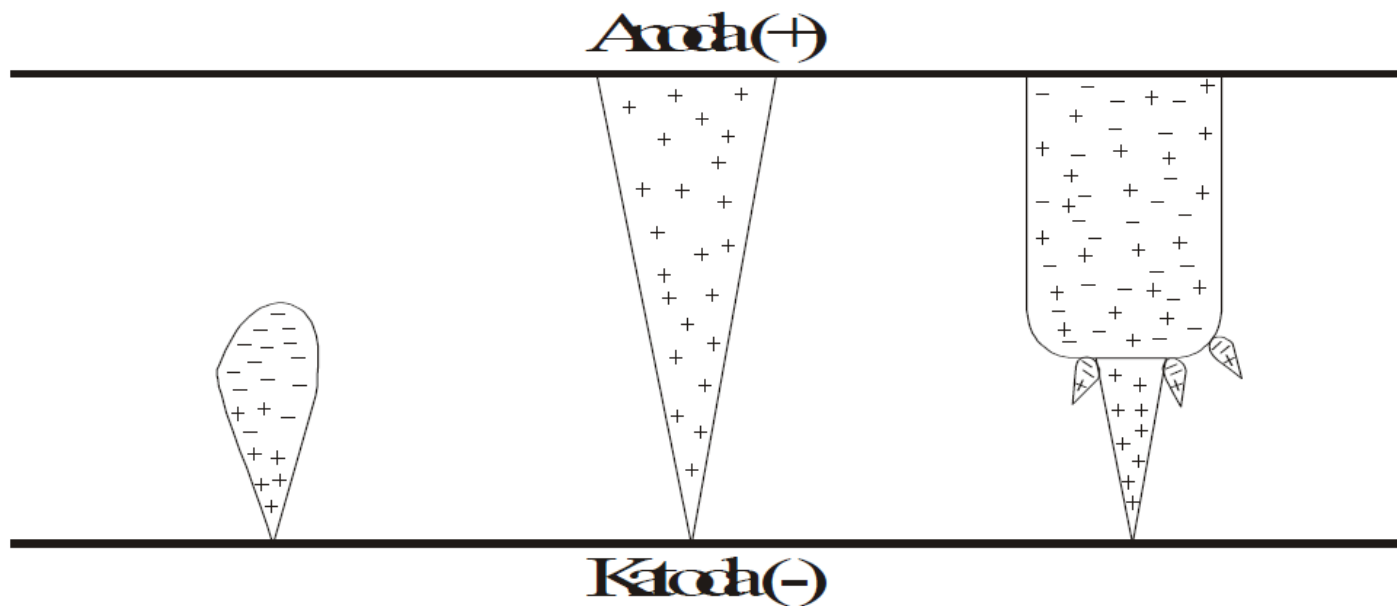
4. Odvzem materiala

Potek razelektritve



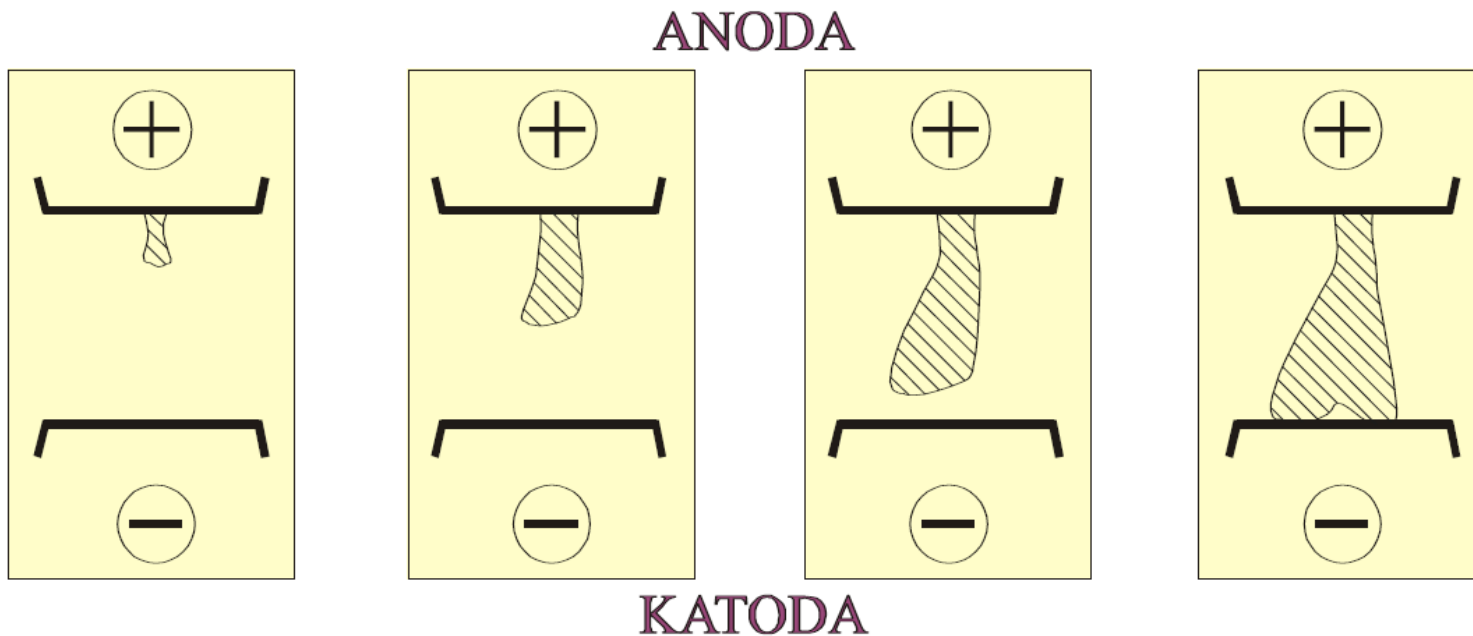
1. FIZIKALNI PRINCIP RAZELEKTRITVE: → PREBOJ

Preboj izolacijske plasti dielektrika
med katodo in anodo



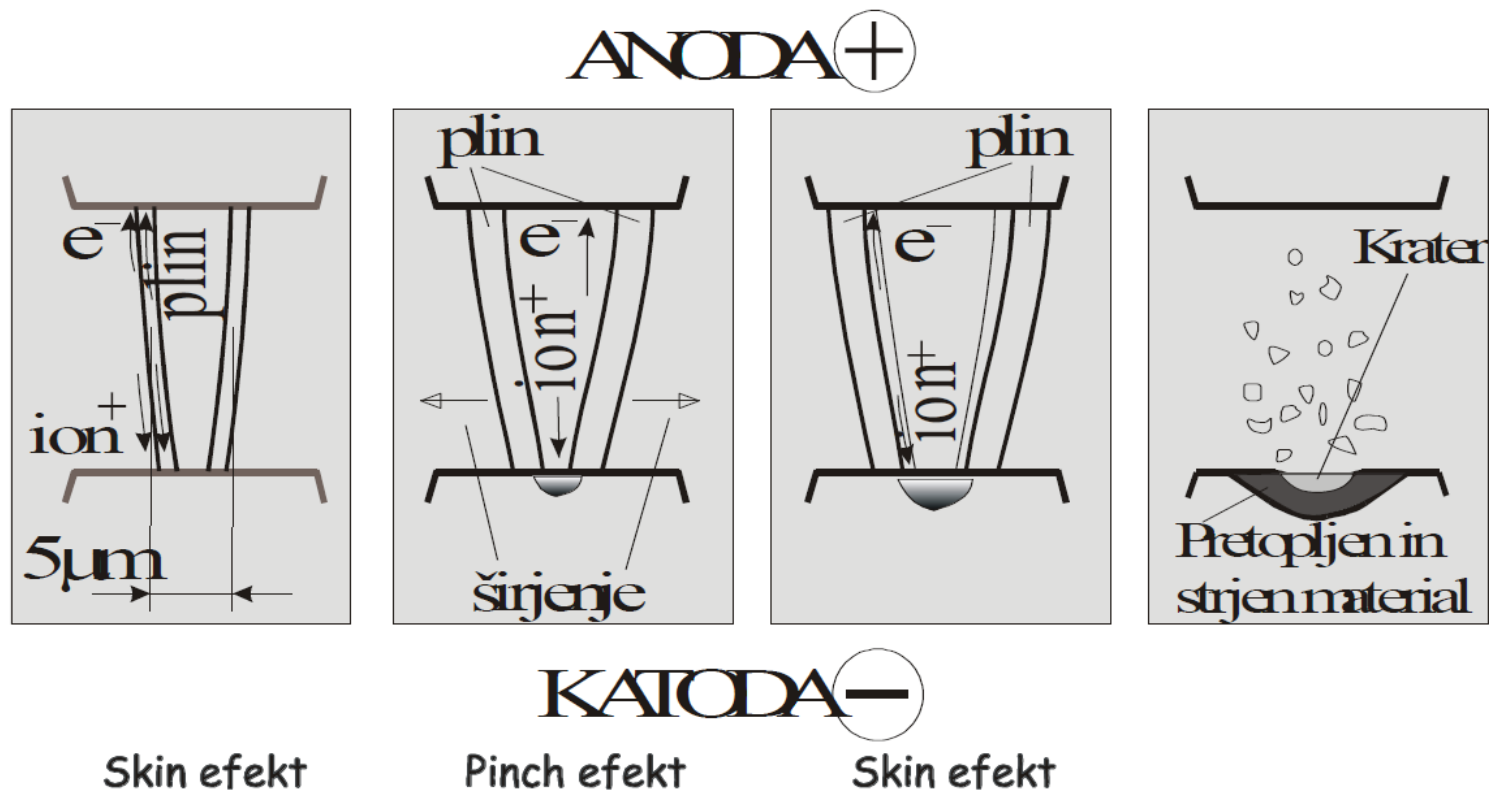
Preboj - druga faza

- Zaradi fotoionizacije nastane sekundarni plaz ionov⁽⁺⁾ iz anode imenovan tudi pozitivni žarek.
- Znak za začetek formiranja žarka je svetloba na anodi



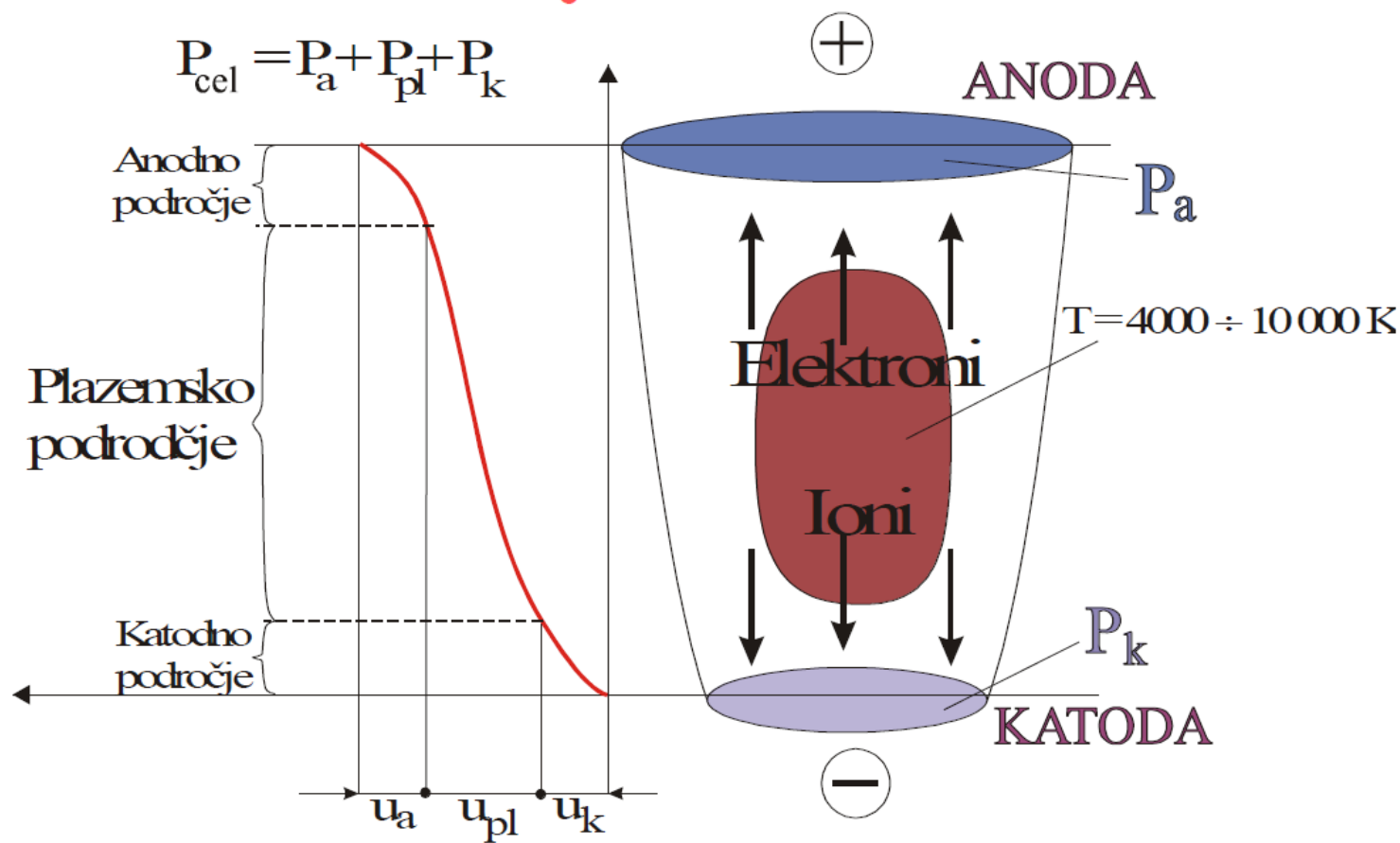
1. FIZIKALNI PRINCIP RAZELEKTRITVE: → PORAZDELITEV EL. MOČI

Kanal plazme med razelektritvijo



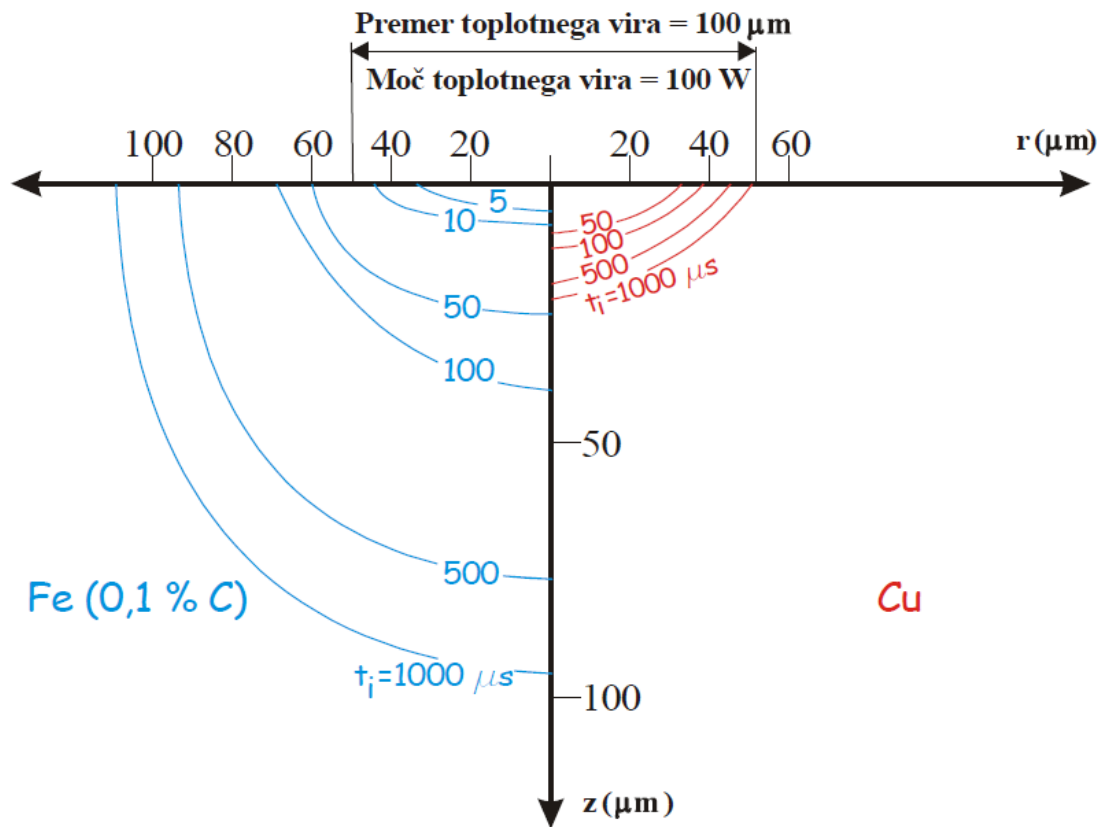
1. FIZIKALNI PRINCIP RAZELEKTRITVE: → PORAZDELITEV EL. MOČI

Področja razelektritve



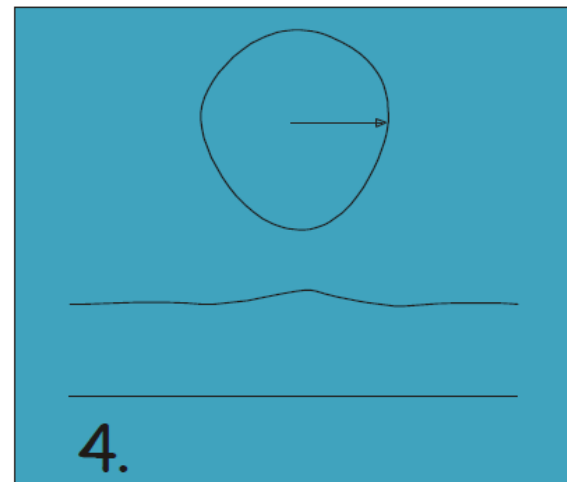
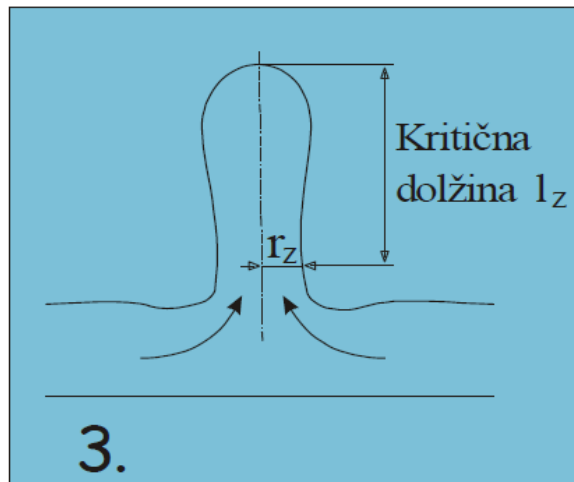
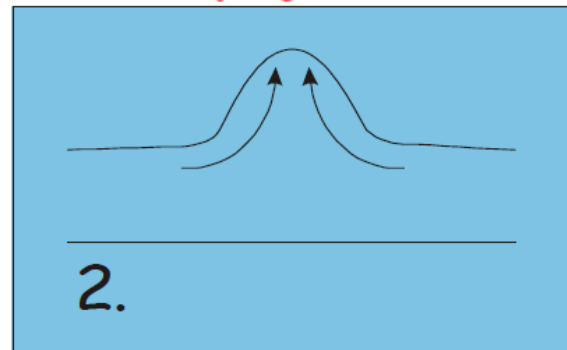
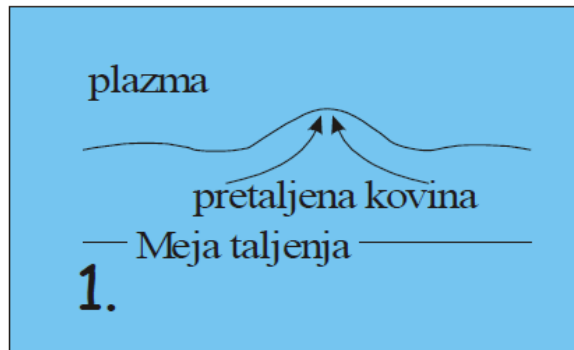
1. FIZIKALNI PRINCIP RAZELEKTRITVE: → PRENOS TOPLOTE

Meje taljenja materiala



1. FIZIKALNI PRINCIP RAZELEKTRITVE: → ODVZEM MATERIALA

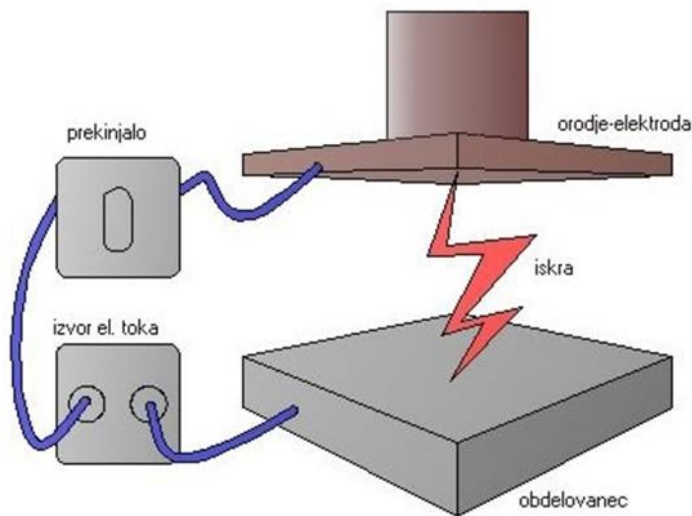
Tvorba kapljice



kapljica
zapusti
talino,
ko je:
 $l_z = 2\pi r_z$



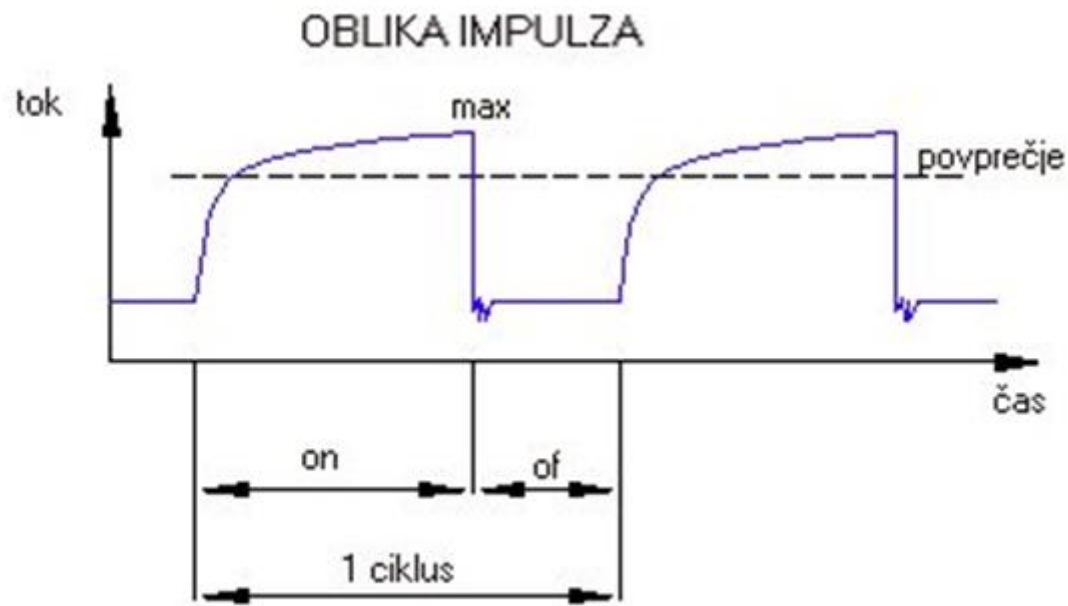
- Elektroerozija je zelo kompleksen pojav.
- Obdelava poteka vedno med dvema elektrodama v dielektrični tekočini.
- Delci materiala odstopajo pod vplivom razelektrenj med dvema elektrodama, od katerih je ena orodje, druga pa obdelovanec.



SHEMATSKI PRIKAZ ISKRENJA

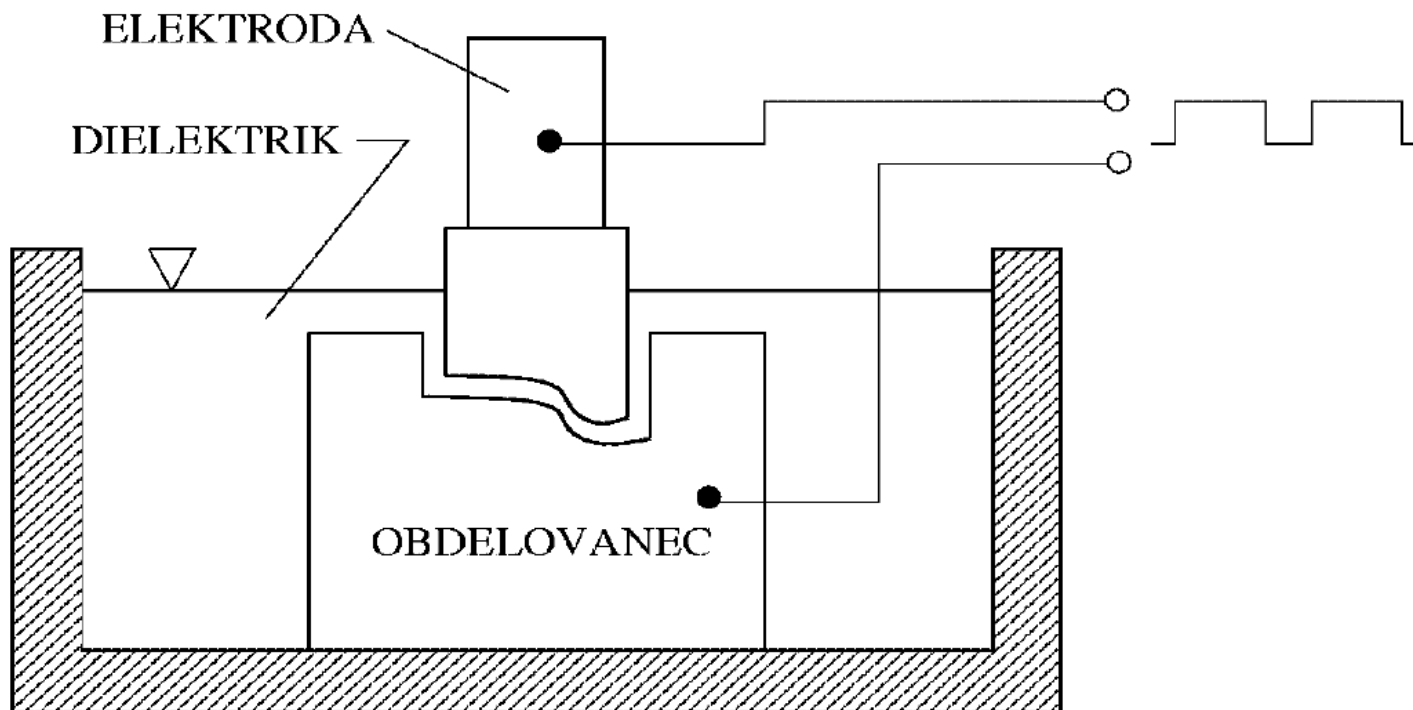


- Pri tem se obe elektrodi obrabljata.
- Pri iskrenju se orodje enakomerno spušča, krmiljeno prekinjalo spušča tok od izvora na elektrodi .
- Tok je v obliki impulzov, katerih jakost, dolžino in frekvenco je mogoče poljubno spreminjati

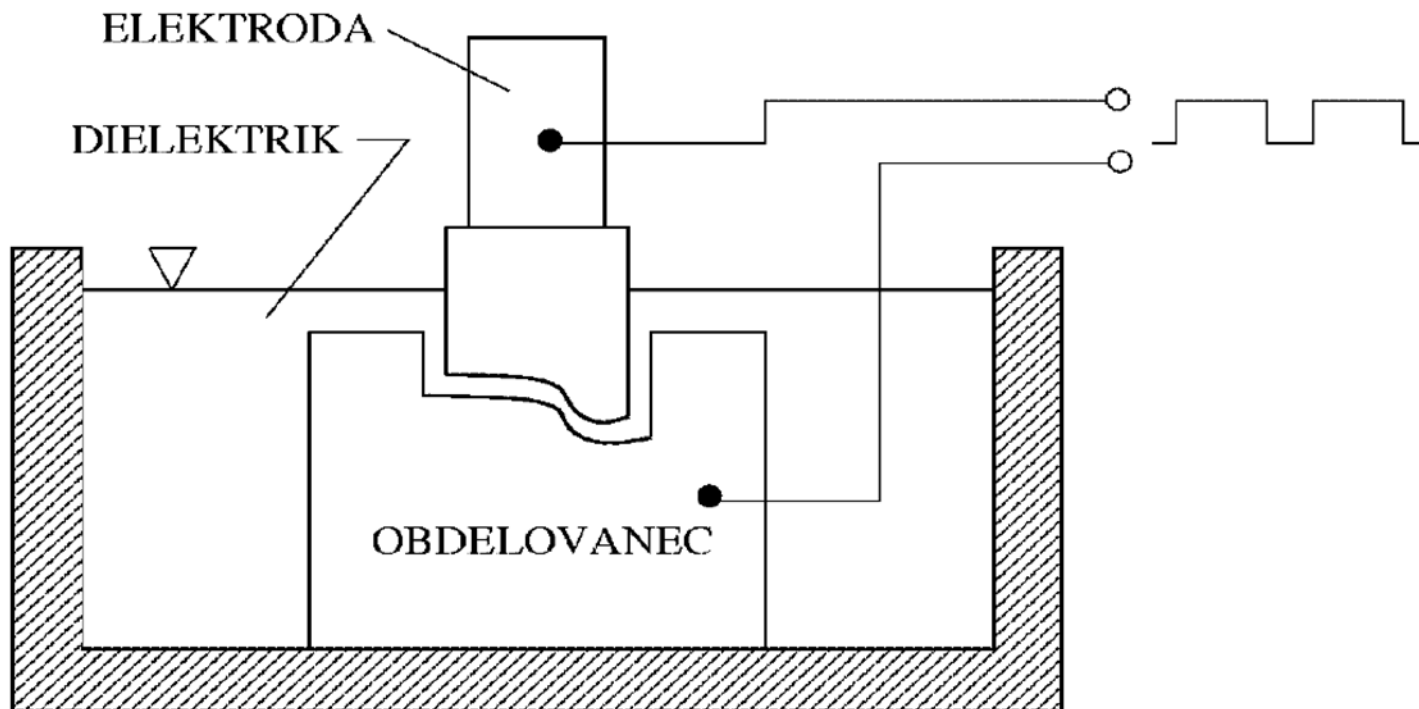


1. POTOPNA ELEKTROEROZIJSKA OBDELAVA

- je obdelovalni proces, ki se vrši med elektrodo, ki služi kot orodje, in obdelovancem.
- Med njima se v majhni reži nahaja dielektrično olje.

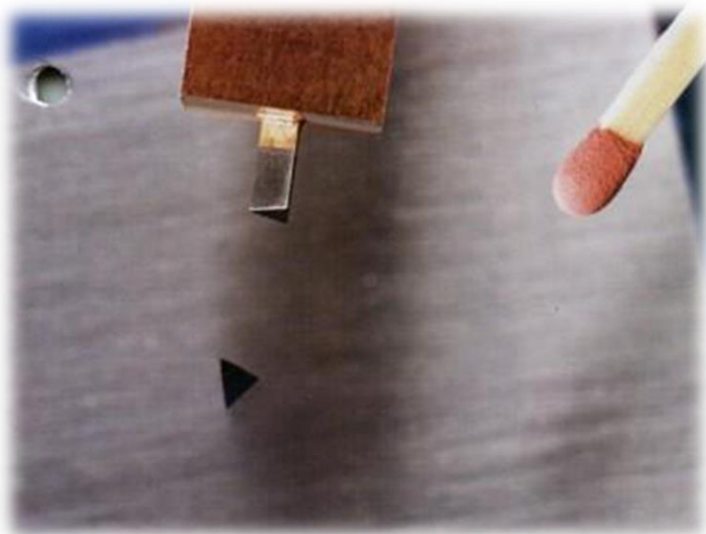
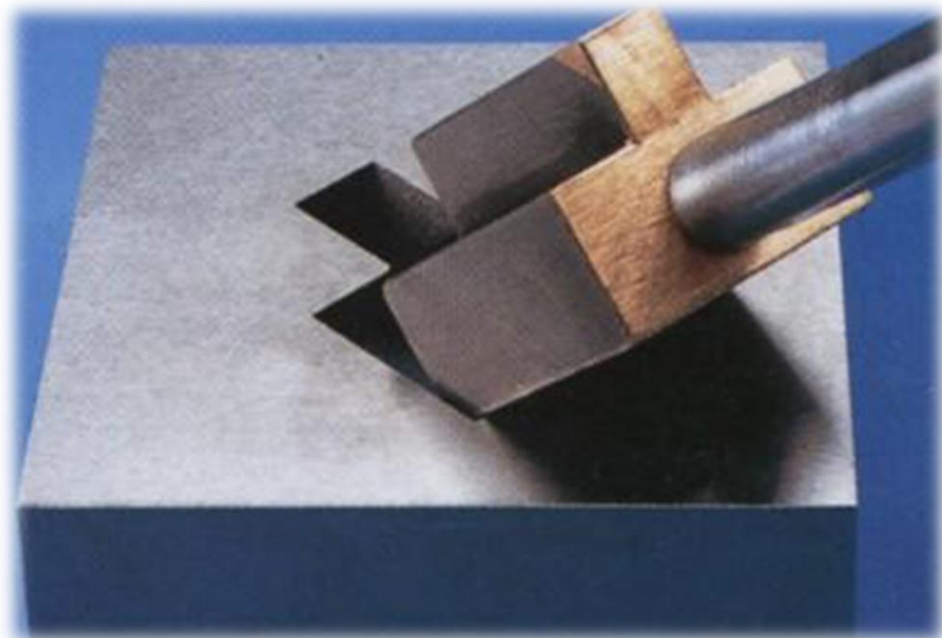


- Generator z električnimi impulzi povzroča preboje izolacijske plasti v reži.
- Po preboju se vzpostavi kanal plazme, ki povzroči taljenje materiala, ki ga dielektrično olje odnaša stran.

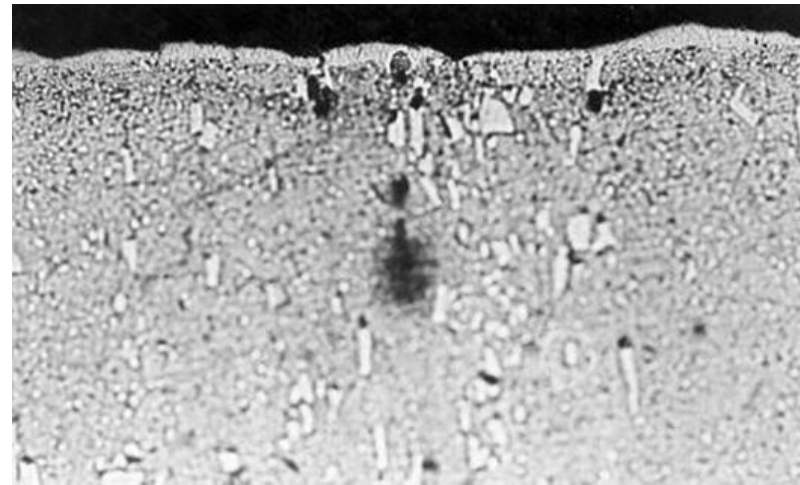
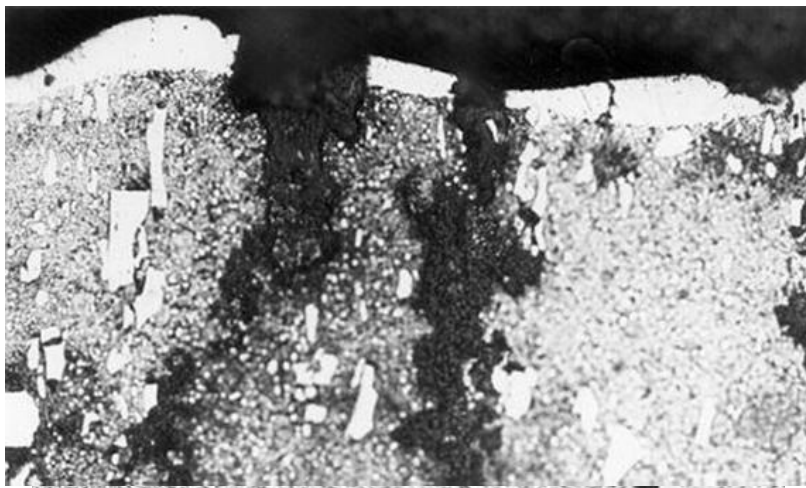


1.1 KARAKTERISTIKE UTOPNE EDM EROZIJE

- Na nekaterih strojih je mogoče izdelati zrcalno gladke površine ($Ra=0,04 \mu\text{m}$).
- Obdelava lahko traja tudi nekaj dni, zato se ponavadi obdela do hrapavosti $Ra=2-3 \mu\text{m}$, do zahtevane hrapavosti pa se nadalje obdela s poliranjem.



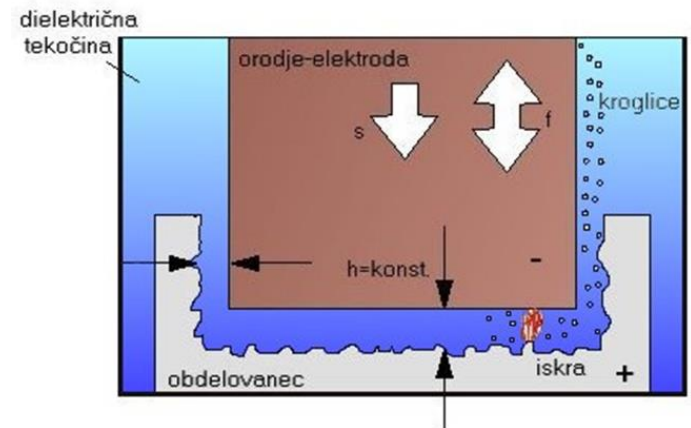
- Dosega se relativno majhne volumske odvzeme (0,3 cm³/min pri grobi obdelavi).
- Na površini ostane toplotno prizadeta plast (HAZ), ki je trša od osnovnega materiala (60 HRc) vendar izredno krhka in polna razpok.
- Njena debelina je odvisna od parametrov obdelave (1-40 μm).
- Za dolgo življenjsko dobo orodij moramo to plast odstraniti s finim brušenjem ali poliranjem.



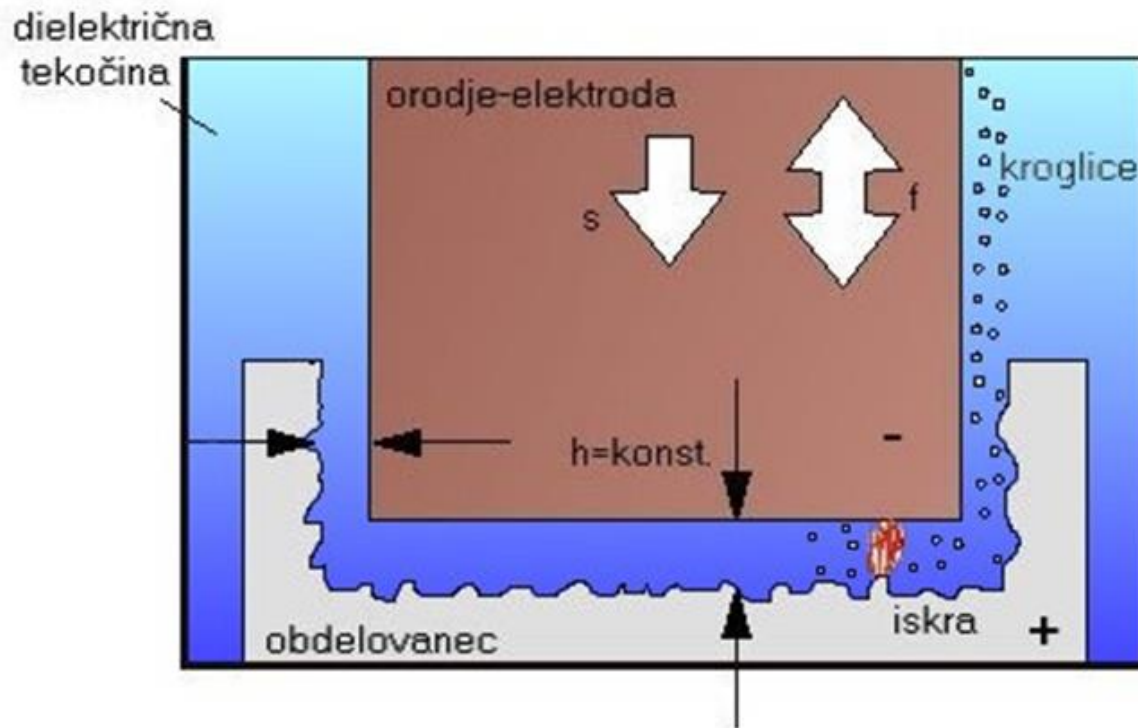
1. 2 ODNAŠANJE MATERIALA PRI ISKRENJU

- Pri iskrenju se orodje-elektroda enakomerno pomika proti obdelovancu.
- Na mestu kjer je razdalja trenutno najmanjša (zaradi neravnosti površin)

→ preskoči iskra → to povzroči **eksplozivno uparjanje delčka materiala** (v jedru iskre temperature od 6000 do 11000 °C)

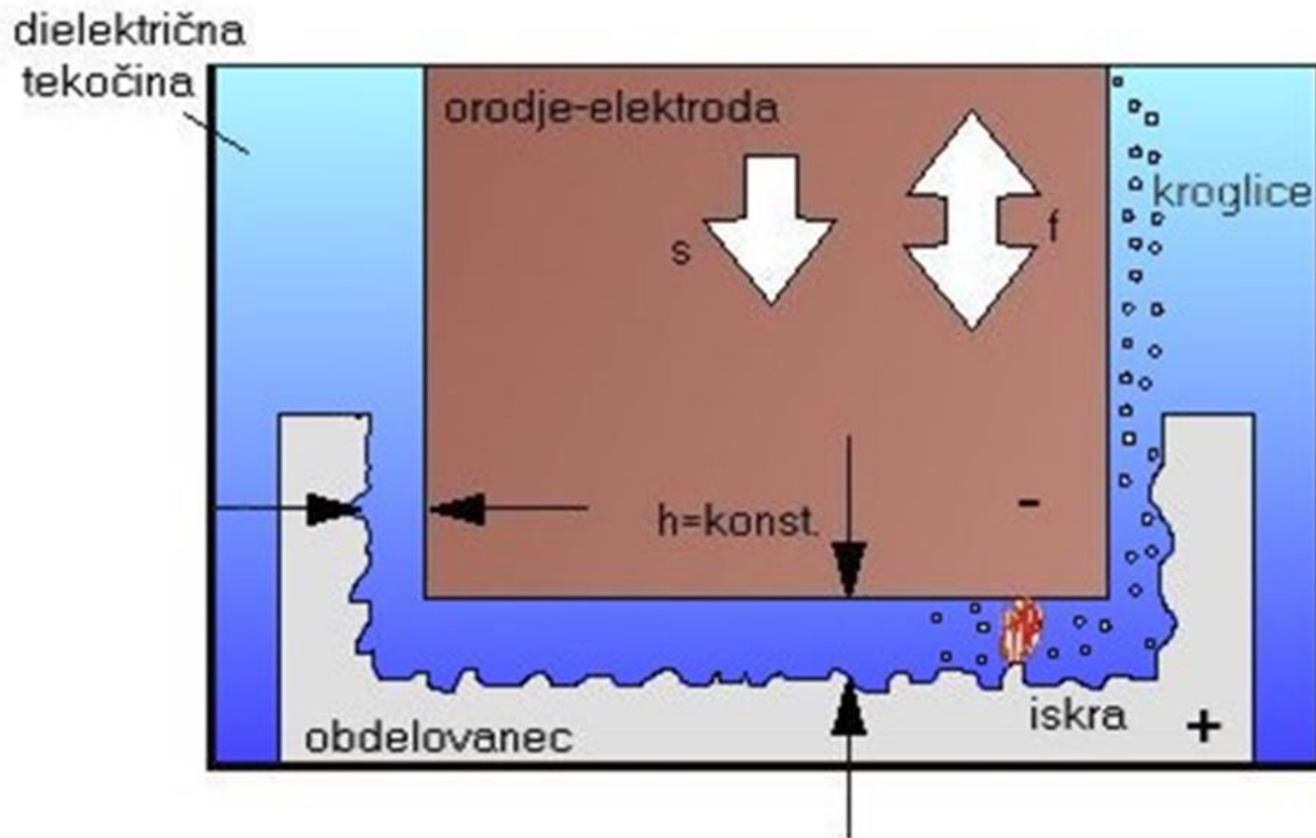


Zaradi **hladilnega učinka** dielektrične tekočine se erodirani material **strdi** in se odvaja v obliki **majhnih kroglic** z dielektrično tekočino



ODNAŠANJE MATERIALA PRI ISKRENJU

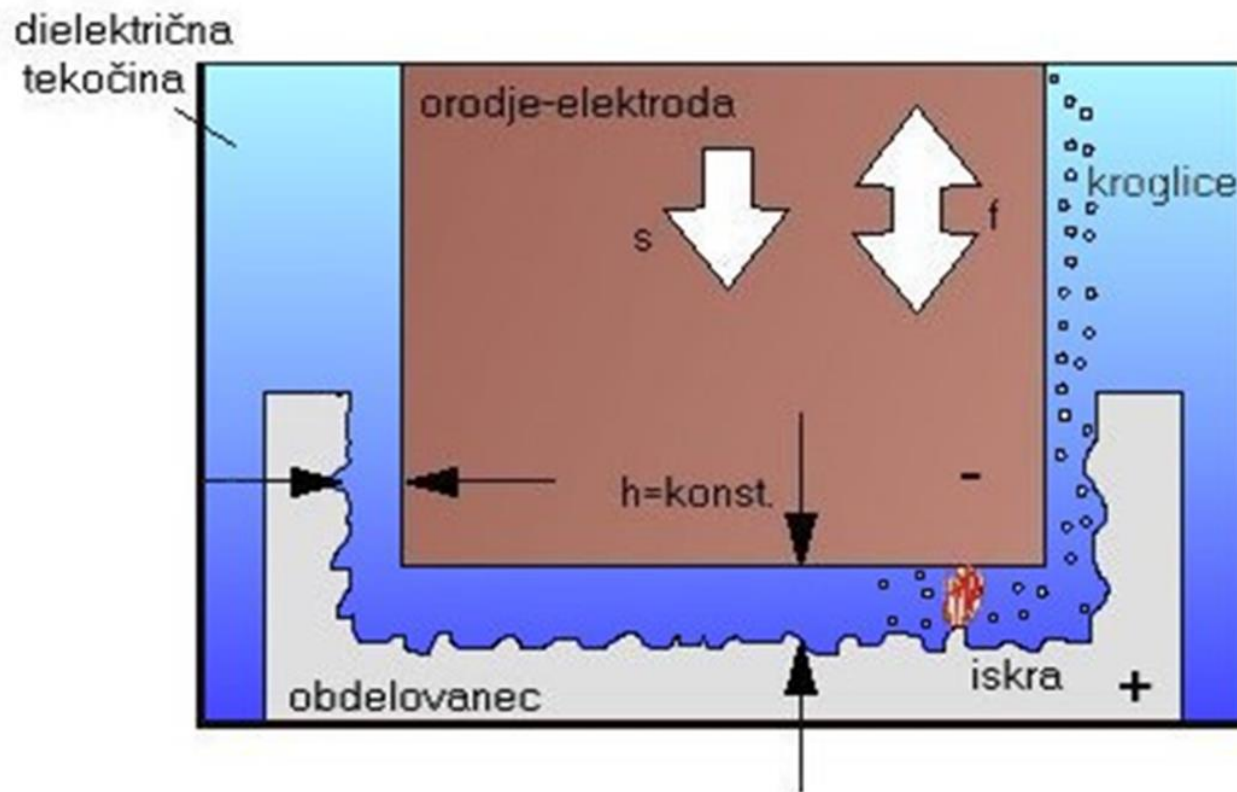
→ dielektrična tekočina povečuje koncentracijo energije v prostoru med obema elektrodama in učinek razelektrenja se poveča.



ODNAŠANJE MATERIALA PRI ISKRENJU



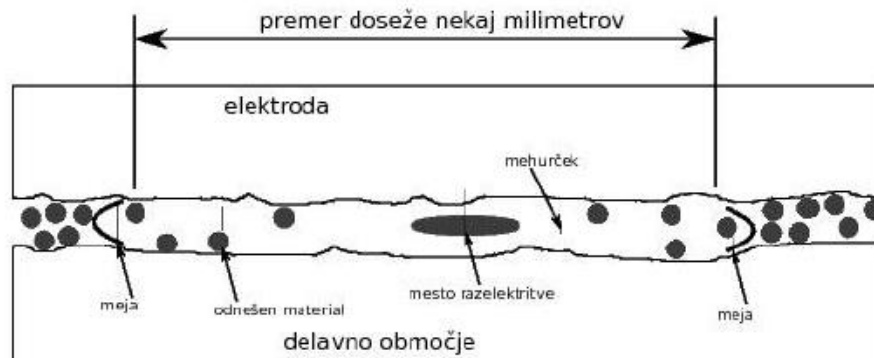
- **Orodje-elektroda** vibrira → praksa je pokazala, da z vibracijo dosežemo večjo natančnost obdelave → s tem olajšamo lažjo izmenjavo dielektrične tekočine in s tem izboljšamo odvajanje odrezkov in hlajenje.



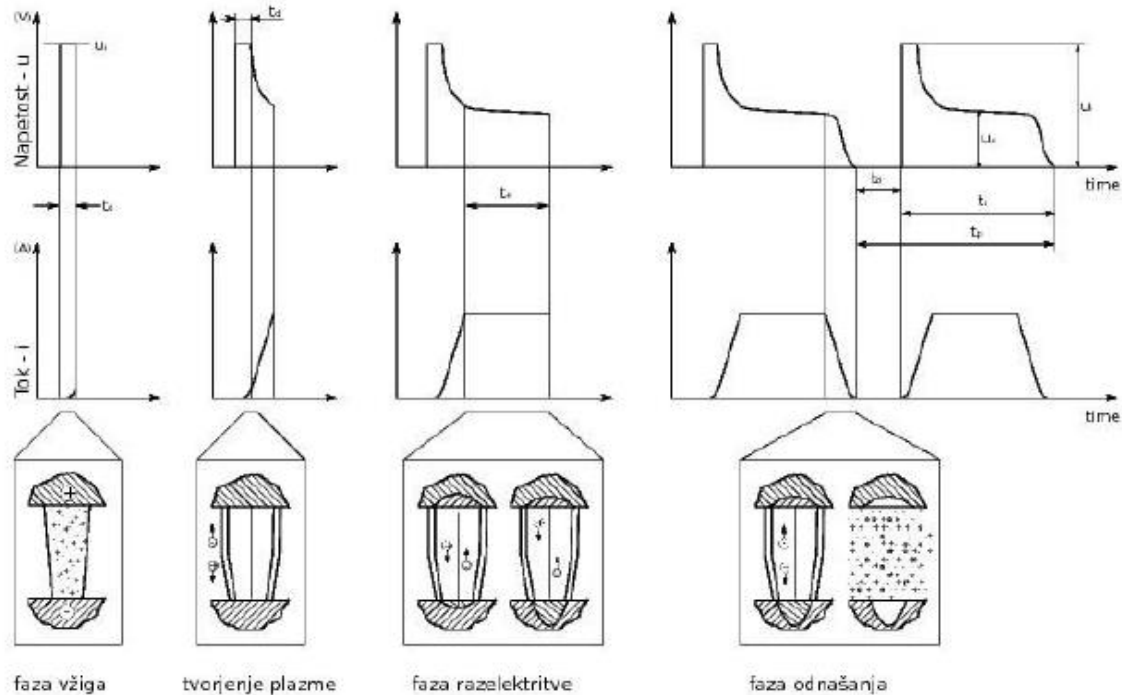
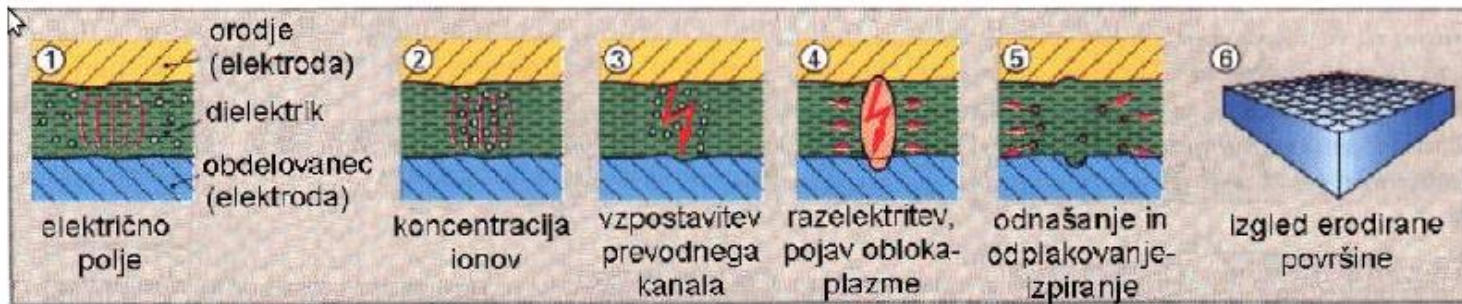
ODNAŠANJE MATERIALA PRI ISKRENJU



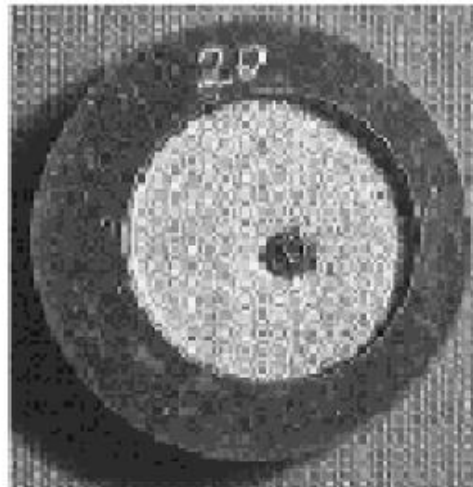
Potek razelektritve



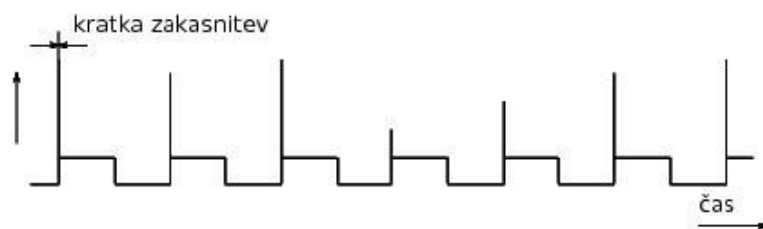
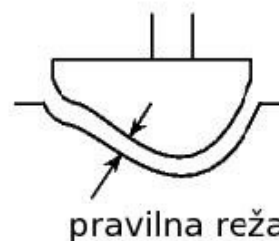
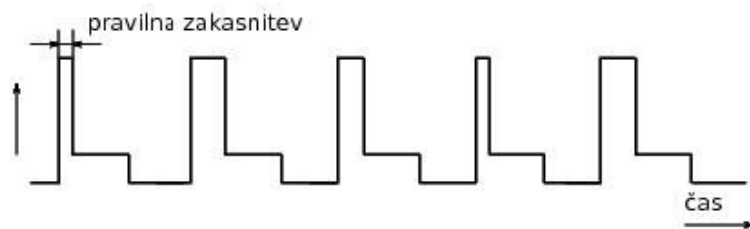
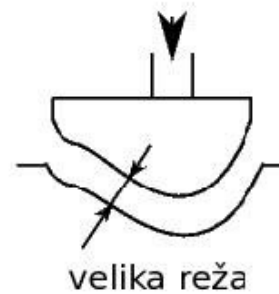
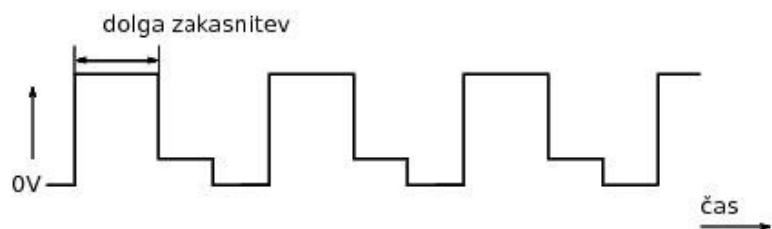
Potek razelektritve



Poškodba površine zaradi nepravilnih razmer v reži



Krmiljenje velikosti reže



Primeri obdelave



Deionizirana voda ali olje?

Z uporabo olja se dosega:

- boljšo hrapavost površine,
- nižjo obrabo elektrode in
- večjo natančnost obdelave

Prednosti deionizirane vode:

- ni vnetljiva
- bolj ekološka



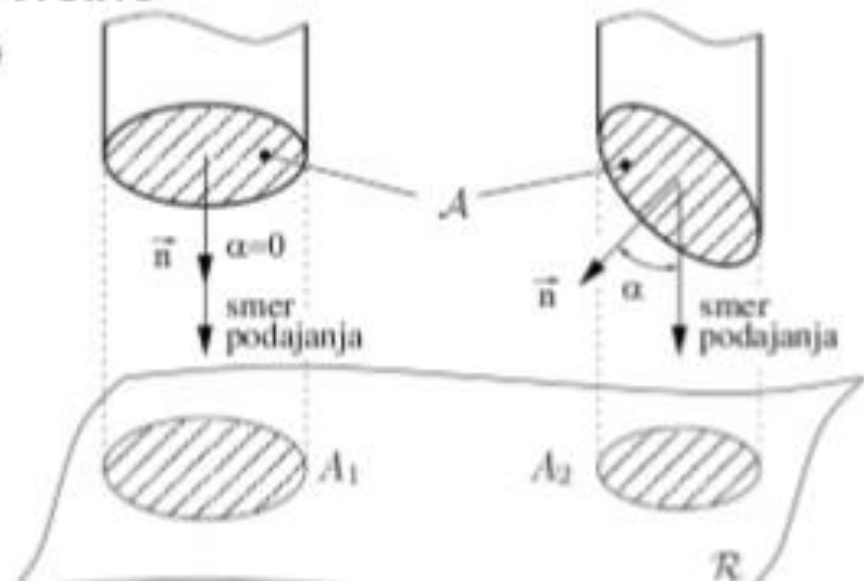
Obdelovalni parametri

- Hitrost odnašanja
 - električne veličine
 - velikost reže
 - stabilnost procesa
- Stabilnost procesa
 - velikost reže
 - ploskovna gostota toka
 - onesnaženost reže
- Izpiranje reže
 - oblika elektrode
 - velikost reže
 - tlak dielektrika
 - višina odmika elektrode
 - frekvenca odmikov

| Obdelovalni parameter | Obdelava | |
|-----------------------|----------|--------|
| | groba | fina |
| u_i [V] | 200 | 300 |
| i_e [A] | 50 | 1 |
| t_e [μ s] | 600 | 10 |
| E [J] | 0,8 | 0,0003 |

Izbira obdelovalnih parametrov

- Material obdelovanca in elektrode
 - baker – jeklo
 - grafit – jeklo
 - baker – barvne kovine
- Nadalje izbiramo glede na
 - velikost erodirne površine
 - način izpiranja reže
 - obrabo elektrode



Tehnološka tabela

| Ingersoll 80P, elektroda: ECu, obdelovanec: jeklo | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Vžigna napetost | u_i [V] | 180 | 180 | 180 | 140 | 140 | 140 |
| Razelektritveni tok | i_c [A] | 0,8 | 1,4 | 2 | 3 | 4 | 11 |
| Čas impulza | t_i [μs] | 56 | 66 | 91 | 135 | 270 | 350 |
| Čas pavze | t_o [μs] | 25 | 31 | 28 | 50 | 71 | 130 |
| Velikost reže | oznaka | 7,3 | 7,3 | 7,3 | 7,0 | 6,9 | 6,5 |
| Servo ojačanje | oznaka | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 7,0 | 7,9 | 7,5 |
| Čas odmika | oznaka | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | - | - |
| Višina odmika | oznaka | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | - | - |
| Stopnja odvzema materiala | V_w [mm ³ ·min ⁻¹] | 0,29 | 0,55 | 0,81 | 2,83 | 9,26 | 22,5 |
| Volumska obraba elektrode | V_e [mm ³ ·min ⁻¹] | 0,012 | 0,013 | 0,022 | 0,016 | 0,016 | 0,009 |
| Relativna obraba robov elektrode | ϕ_{LC} [-] | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,12 |
| Srednja višina odstopanja neravnin | R_a [μm] | 1,7 | 1,9 | 2,9 | 4,4 | 6,5 | 9,3 |
| Srednja višina neravnin | R_z [μm] | 11,7 | 14,2 | 18,2 | 25,3 | 33,9 | 45,4 |
| Največja višina neravnin | R_{max} [μm] | 14,9 | 16,3 | 22,3 | 30,9 | 43,1 | 70,3 |
| Globina bele plasti | HAZ [μm] | 4,5 | 7,5 | 9,5 | 12,8 | 16,2 | 27,5 |
| Dodatek za nadaljno obdelavo | z [mm] | 0,019 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,10 |
| Bočna reža | $2 \cdot s$ [mm] | 0,03 | 0,07 | 0,07 | 0,16 | 0,22 | 0,31 |

Elektrode

Material

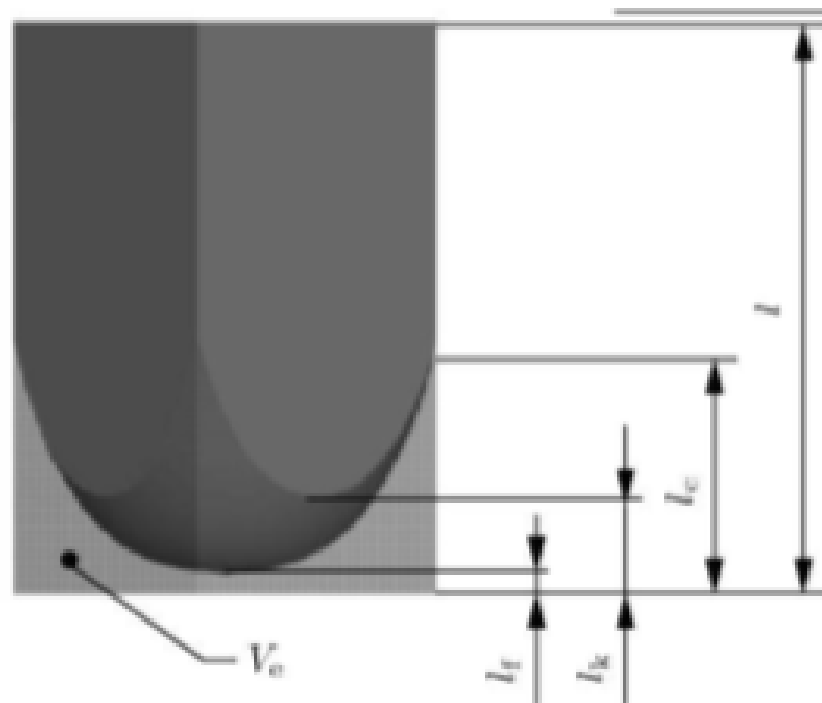
| Material | Tališče [°C] | Toplotna prevodnost [W/mK] | Gostota [kg/m ³] |
|----------|--------------|----------------------------|------------------------------|
| Baker | 1085 | 400 | 8930 |
| Grafit | 3350 | <140 | <2000 |

Izdelava

- frezanje
- struženje
- žična elektroerozija
- potopna elektroerozija



Obraba elektrode



$$\vartheta = \frac{V_e}{V_w}$$

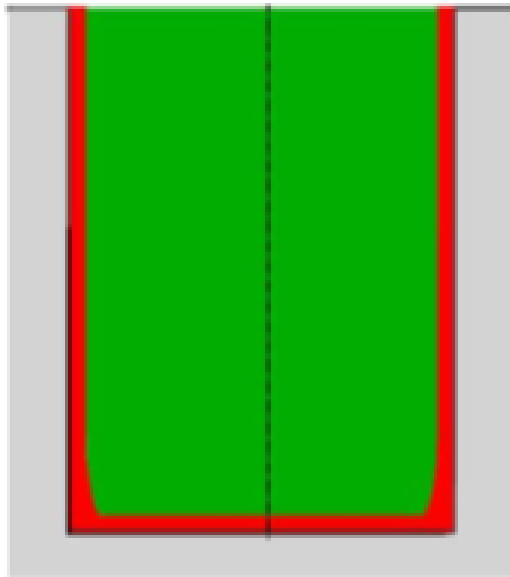
$$\vartheta_{lf} = \frac{l_f}{l - l_f}$$

$$\vartheta_{lk} = \frac{l_k}{l - l_k}$$

$$\vartheta_{lc} = \frac{l_c}{l - l_c}$$

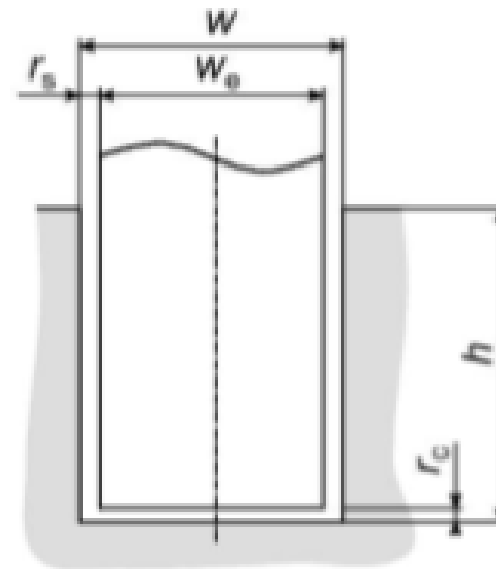


Groba in fina obdelava

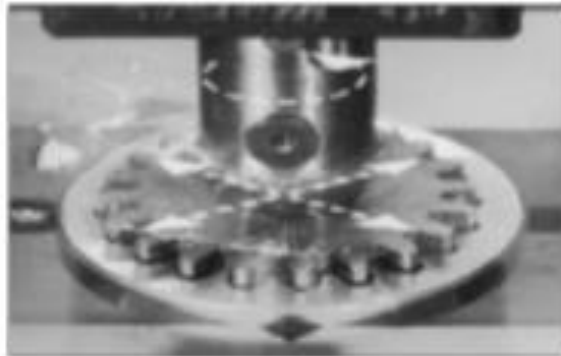


Material, ki ga odvzame:

- prva elektroda
- druga elektroda



CNC krmiljeno orbitalno gibanje



DOWN



ORB



ANGUL



EXPAN



VECT



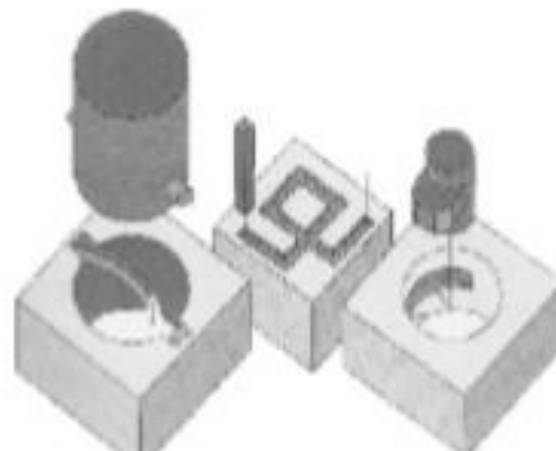
HELIC



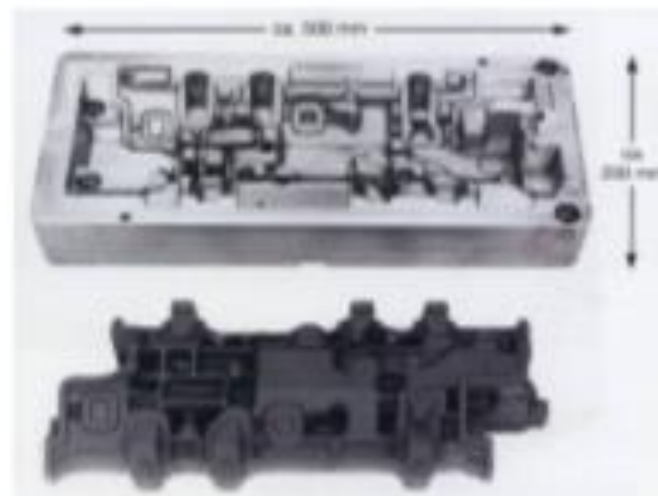
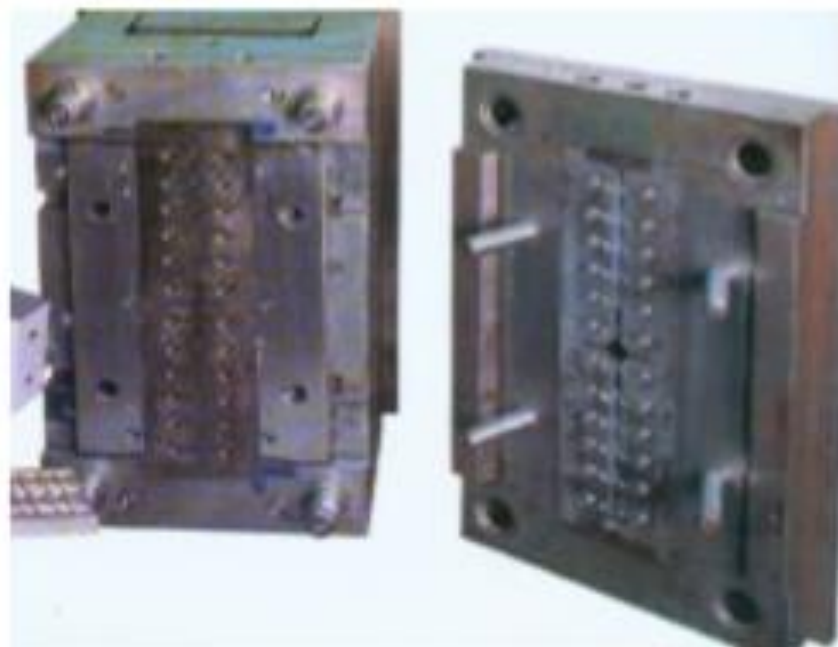
CONE



SPHERE



Uporaba potopne elektroerozije



V orodjarstvu sta potopna elektroerozija in visokohitrostno frezanje komplementarna postopka.

Primeri izdelkov



(a) Avtomobilska sprednja maska



(b) Pepelnik



(c) Medalja



(d) Elektronske komponente

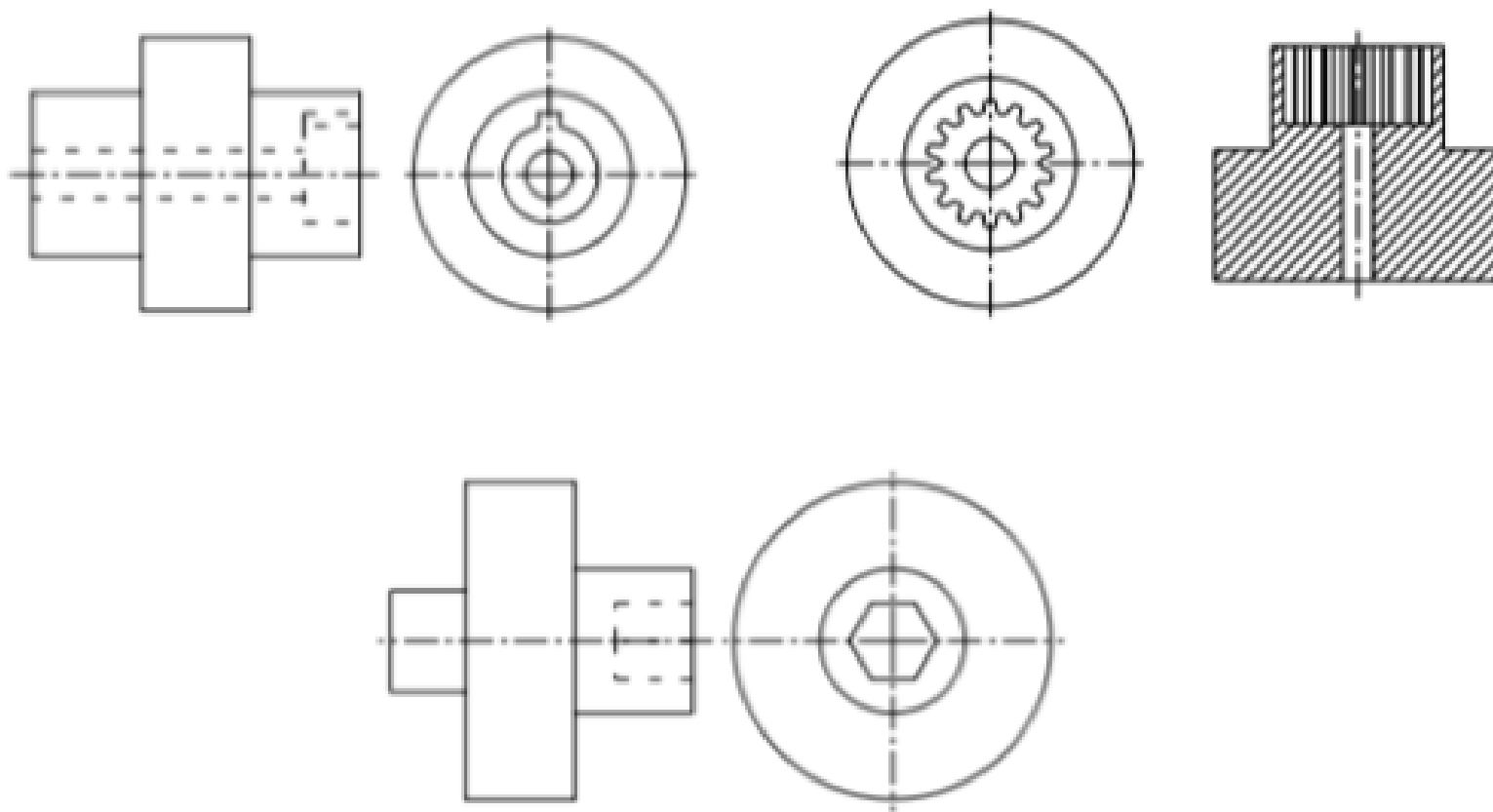


(e) Steklenično grlo



(f) Verifical

Primeri obdelav

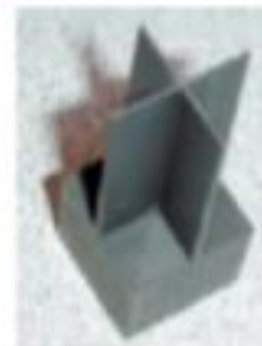


Konstruiranje za izdelavo s potopno elektroerozijo

- Predpisane tolerance čim širše in predpisana hrapavost površine čim večja.
- Izogibajmo se globokim in ozkim delom (elementom) na izdelku (orodju).
- Globina kalupa naj bo čim manjša. Obraba elektrode narašča z globino in je za izdelavo večjih globin potrebno večje število elektrod.
- Zaokrožitveni radii naj bodo čim večji. Na manjših globinah je radij zaokrožitev lahko večji kot na večjih globinah.



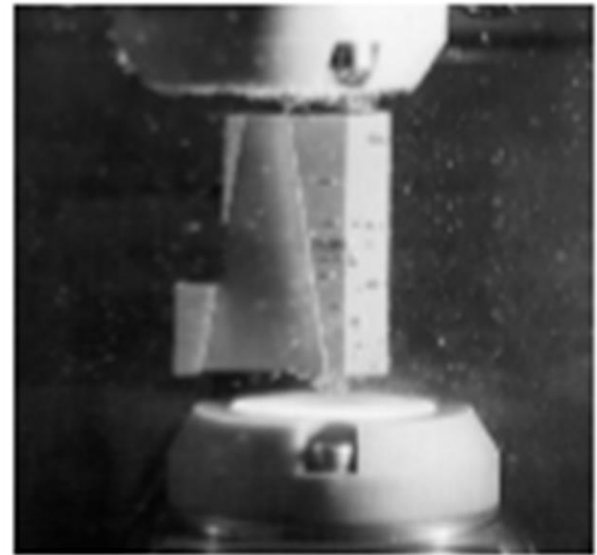
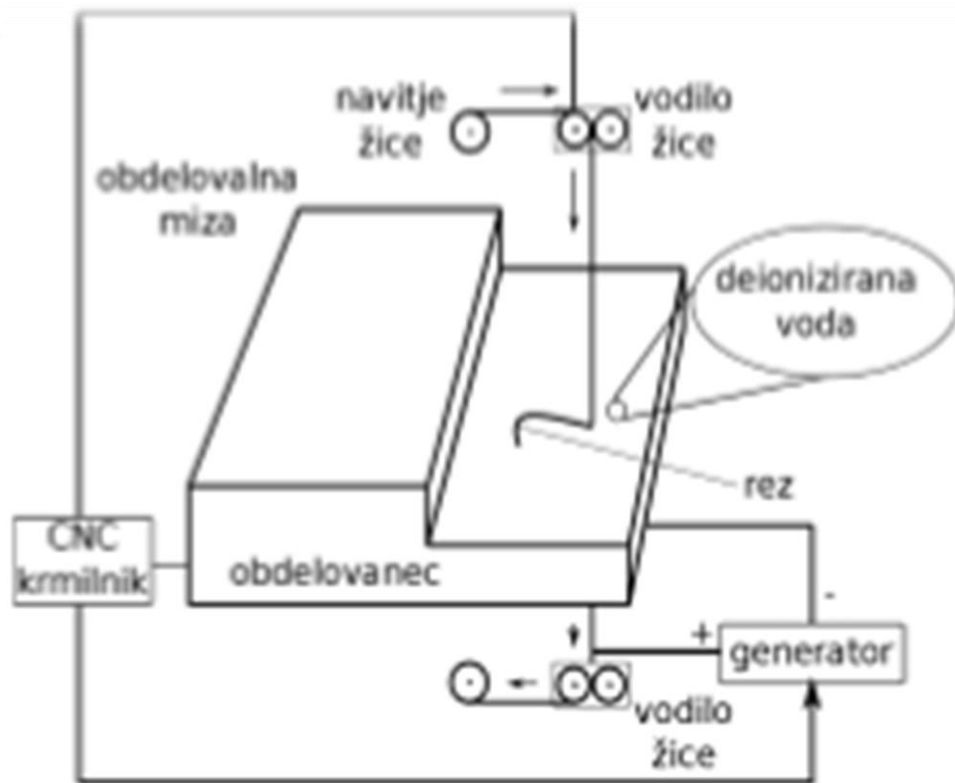
Trendi razvoja potopne elektroerozije



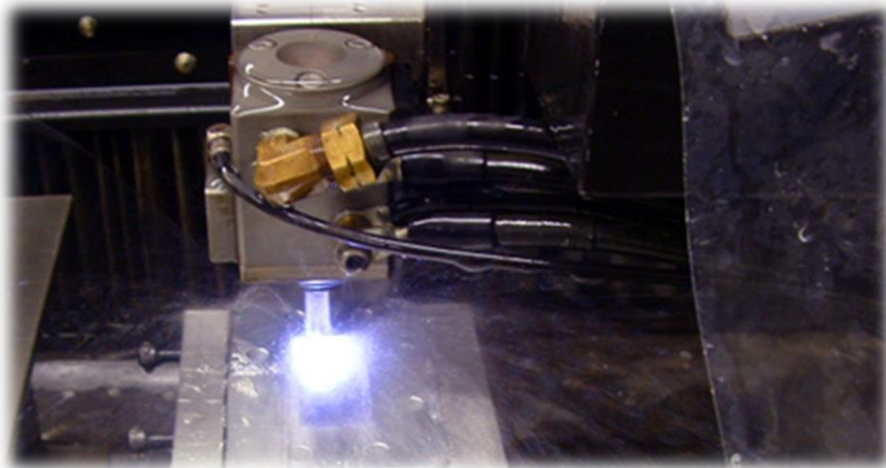
- Cena
- Adaptivno krmiljenje
- Avtonomno delo
- Enostavno programiranje
- Natančnost



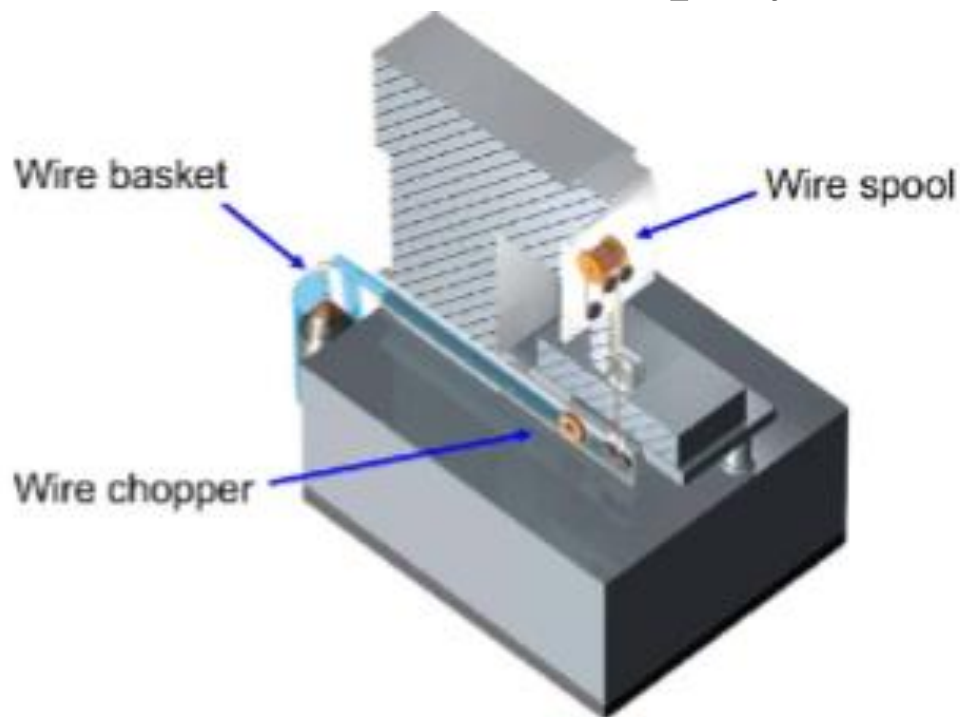
2. ŽIČNA EROZIJA



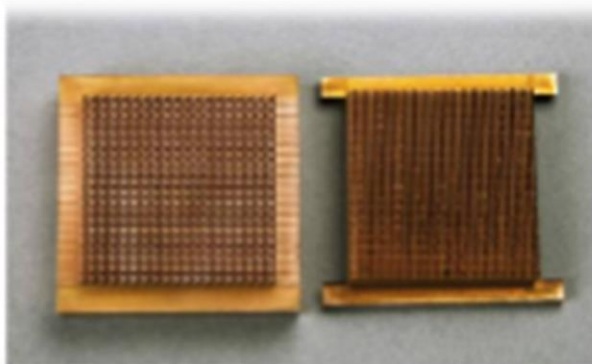
- Žična erozija (eng. wire electrical discharge machining ali wire cut EDM)
- → tehnologija obdelave kovin (oziroma elektroprevodnih materialov)
- → **žica**, debeline **od 0.1 do 0.3mm**, navadno iz medenine, potopljena v dielektriku, erodira trde, toplotno obdelane obdelovance.



- Žica potuje **med dvema vodiloma**, med njima pa je vstavljen obdelovanec, višine lahko tudi 500mm.
- Konture lahko dosegaajo **visoke zahtevnosti** po obliki in **tolerančnih poljih**.



- Ta postopek pride v poštev pri operacijah na obdelovancih, kjer zaradi visoke trdote druge klasične obdelave niso primerne.
- Pri obdelavi tankih reber, lukenj, uvodov matric, orodja za preoblikovanje, orodja za brizganje itd.



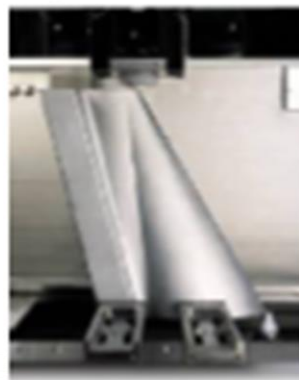
Elektroda za potopno elektroerozijo



Turbinske lopatice



Satelitska komponenta



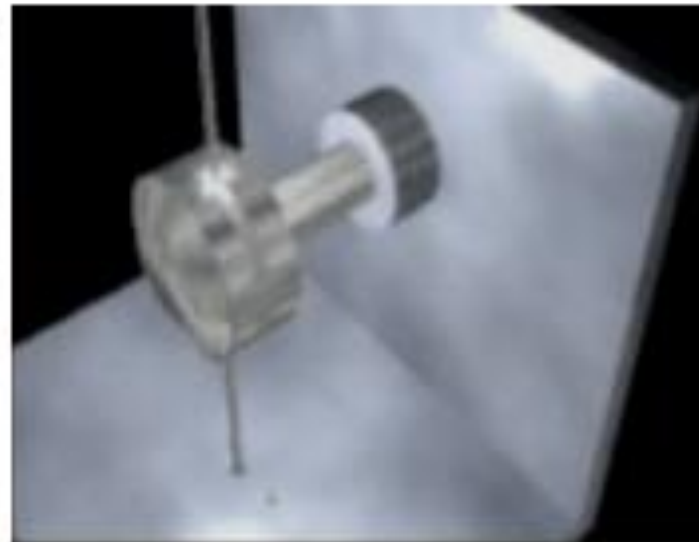
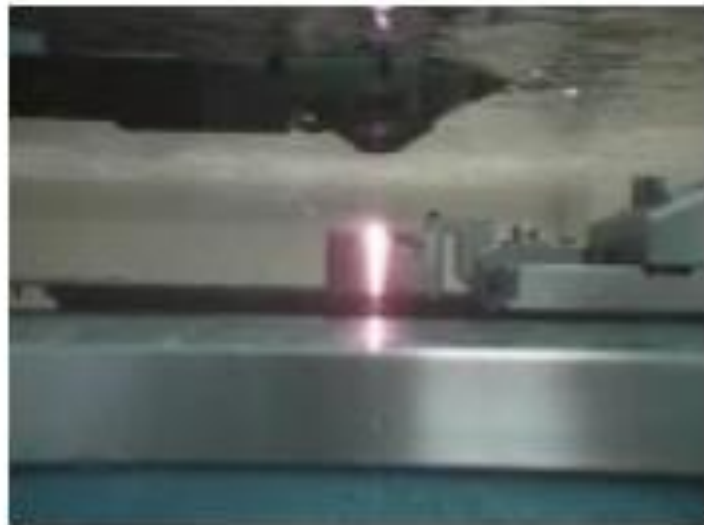
Medicinske komponente



- Za obdelavo večine elektroprevodnih materialov
- Za obdelavo materialov visoke trdote
- Za izdelavo prototipov, matric, orodij, kalibrov,...
- Brezkontaktna obdelava, ni vnosa napetosti v obdelovanec
- Za doseganje visoke natančnosti, tolerance obdelave...

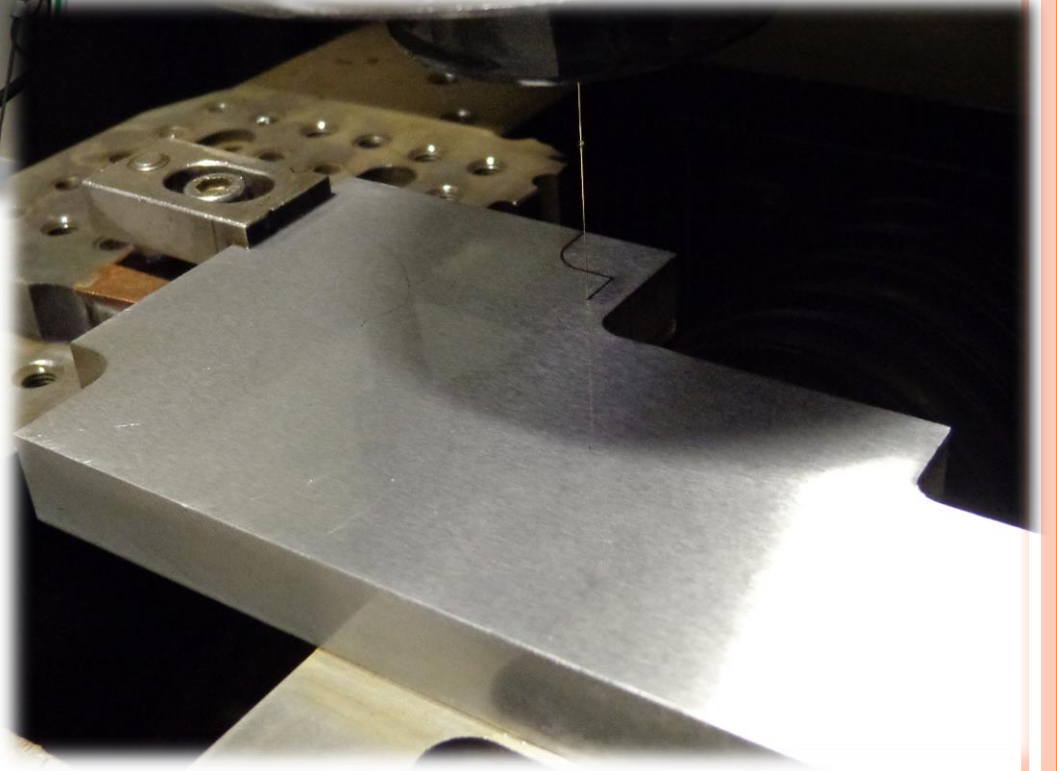


Primeri rezanja z žično elektroerozijo



Obdelovalni parametri

- Električne veličine
 - izbira grobih obdelovalnih parametrov
 - izbira finih obdelovalnih parametrov
- Intenzivnost izpiranja
 - čim boljše, šobe naj drsijo po zgornji in spodnji površini obdelovanca
- Sila napenjanja žice
 - čim večja, omejena z natezno trdnostjo žice
- Stabilnost procesa
 - poleg ostalih pogojev v reži (kot pri potopni elektroeroziji) igra pomembno vlogo tudi sila napenjanja žice



Sistem vodenja žice

