

## **ANALIZA ČASOV IN STROŠKOV PRI OBDELAVI S POTOPNO ELEKTROEROZIJO**

Marjan DOBOVŠEK, Bojan JUS, Simon OMAN, Jure DOBOVŠEK  
Vpenjalni sistemi d.o.o., SPI s.p., Polycom d.o.o.

### **POVZETEK**

*V prispevku je prikazana analiza časov in stroškov pri obdelavi s potopno elektroerozijo na praktičnem primeru. Naredili smo delovni potek vseh faz, ki so pri tej obdelavi potrebne. Pregledali smo vplive v posameznih fazah obdelave. Zaradi preglednosti smo rezultate analize zbrali v tabeli. Izračunali smo delež stroškov in časov pri izdelavi izbrane oblike na obdelovancu. Tako se lažje odločimo za zaporedje ukrepov potrebnih za skrajšanje pretočnih časov in zmanjšanje stroškov obdelave. Za lažjo analizo in vrednotenje rezultatov smo pripravili program v Excel-u. Za analizo delovnega poteka smo zbrali podatke v tabeli in podali smernice za optimiranje elektroerozijske obdelave.*

### **1. UVOD**

Analiza stroškov in časov v proizvodnji je nujno potrebna za uspešno organizacijo in vodenje proizvodnje. Le s pravilno analizo lahko zberemo podatke, ki jih potrebujemo za načrtovanje proizvodnje z najkrajšimi možnimi časi in najmanjšimi stroški obdelave. To je izredno pomembno za posamično in maloserijsko proizvodnjo, ki je značilna za proizvodnjo orodij.

Večino tridimenzionalnih oblik pri orodjih danes izdelamo s potopno elektroerozijsko obdelavo (Sinking Electro Discharge Machining - SEDM) in rezkanjem z visokimi hitrostmi (High Speed Cutting - HSC). Veliko oblik na obdelovancih, ki smo jih včasih obdelovali le s SEDM, danes že v celoti izdelamo s HSC rezkanjem, ki omogoča tudi obdelavo kaljenih jekel. Po drugi strani pa HSC rezkanje omogoča hitro in poceni izdelavo elektrod za elektroerozijsko obdelavo (EEO) - predvsem iz grafita. Zato je v veliko primerih obdelava s SEDM še vedno najprimernejši postopek obdelave [1].

V tem prispevku je na praktičnem primeru analiziran delovni potek pri izdelavi oblik na obdelovancih s potopno elektroerozijo. Analizirane so vse faze v tem poteku. Vrednoteni

so časi in stroški posameznih faz. Pripravili smo diagram poteka v matriki izboljšav [2], kjer so vnesene vse faze potrebne za izdelavo oblik na obdelovancu z EEO z nastalimi časi in stroški. Za to smo pripravili program z bazo podatkov v Excel-u s katerim si poenostavimo vrednotenje delovnega poteka in analize rezultatov.

### **2. ORGANIZACIJA IN VODENJE PROIZVODNJE, PRIPRAVA TEHNOLOGIJE IN KONSTRUKCIJE**

Uspešna proizvodnja mora biti dobro organizirana in vodena. Orodjarne imajo več oddelkov v katerih organizirajo in vodijo proizvodnjo, izdelujejo konstrukcije (CAD) ter pripravljajo tehnologije in programe za krmiljenje CNC strojev, avtomatiziranih streg in robotov (CAM). V teh oddelkih pripravljajo tudi tehnologije za EEO, konstrukcije elektrod in programe za izdelavo elektrod na CNC strojih. V nadaljevanju so opisane aktivnosti pri tem delu. Faze organizacije in vodenja proizvodnje ter priprave tehnologij in konstrukcij so v matriki izboljšav označene s simbolom  $\oplus$ . Delovni potek je prikazan v tabeli 1.

## ANALIZA ČASOV IN STROŠKOV PRI OBDELAVI S POTOPNO ELEKTROEROZIJO

Marjan DOBOVŠEK, Bojan JUS, Simon OMAN, Jure DOBOVŠEK

Vpenjalni sistemi d.o.o., SPI s.p., Polycom d.o.o.

<b>Org. in vod. proizvodnje, tehnologija, konstrukcija:</b>
Organizacija in vodenje proizvodnje
Priprava tehnologije za potopno EEO
Konstrukcija elektrod (CAD)
Priprava programov za izdelavo elektrod (CAM)

Tabela 1: Delovni potek pri organizaciji in vodenju proizvodnje, pripravi tehnologij in konstrukcij

### 2.1. ORGANIZACIJA IN VODENJE PROIZVODNJE

Uspešna proizvodnja mora biti dobro organizirana in vodena. To zahteva dobro poznavanje proizvodnje in kadre, ki so jo sposobni uspešno organizirati in voditi. Programska oprema za organizacijo, vodenje in planiranje proizvodnje nam je tu v veliko pomoč (slika 1), še vedno pa moramo vse potrebne podatke vnesti sami.



Slika 1: JobDISPO – prikaz rešitev (vir Vpenjalni sistemi d.o.o.)

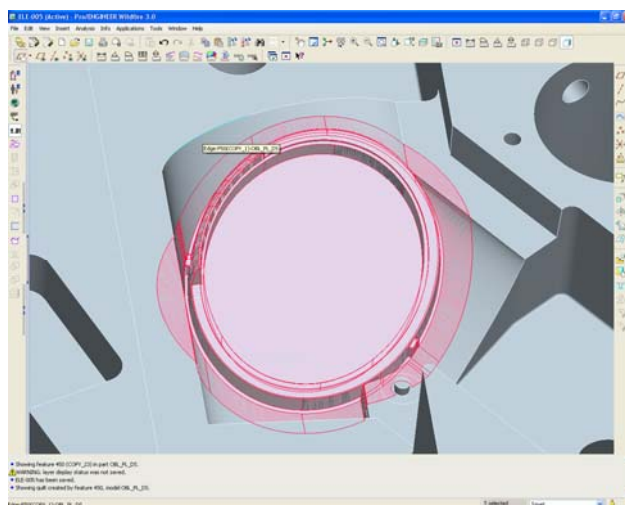
Z uporabo takšne programske opreme imamo stalen vpogled v trenutno stanje delovnih aktivnosti in lažje menjamo prioritete, če je to potrebno [3]. Programska oprema mora biti primerna za proizvodnjo v orodjarnah in v drugi

individualni ali maloserijski proizvodnji, mora biti enostavna za uporabo in njeno uvajanje ne sme trajati predolgo.

Seveda je EEO prisotna samo z delom časov in stroškov povezanih z organizacijo in vodenjem proizvodnje. Ocenjene vrednosti so vnesene v diagram poteka (slika 6).

### 2.2. PRIPRAVA TEHNOLOGIJE ZA SEDM

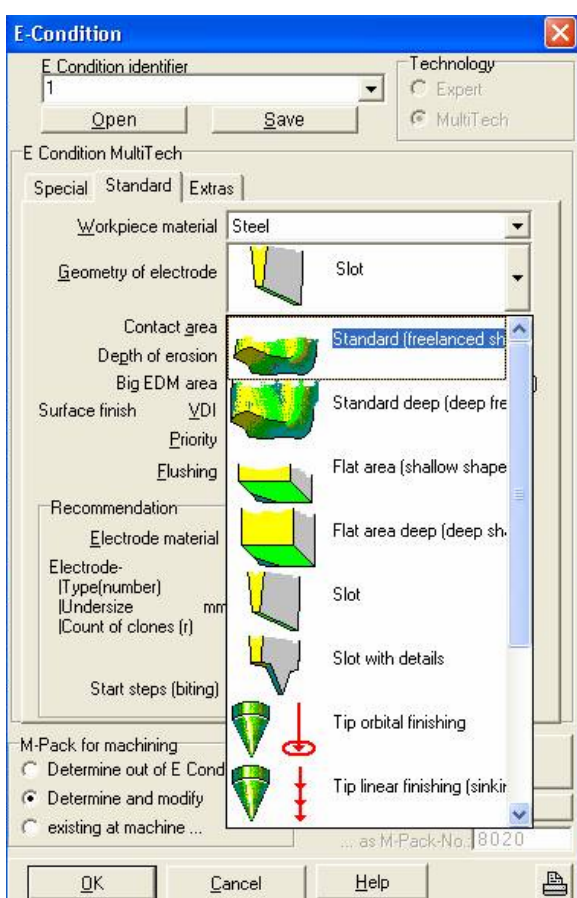
Prva faza pri pripravi tehnologije povezane z EEO je določitev oblik na obdelovancu, ki jih bomo obdelali z elektroerozijo (slika 2). Pri tem je odločujoča ocena, kdaj je EEO boljša izbira v primerjavi z ostalimi postopki obdelave. Te odločitve temeljijo na izkušnjah in razpoložljivem strojnem parku. V veliko pomoč pri tem bi bilo ustrezno programsko orodje, ki bi nam pomagalo pri teh odločitvah. Trenutno na trgu takšnih programskih orodij še ni.



Slika 2: Konstrukcija obdelovanca z označeno površino za EEO (vir Polycom d.o.o.)

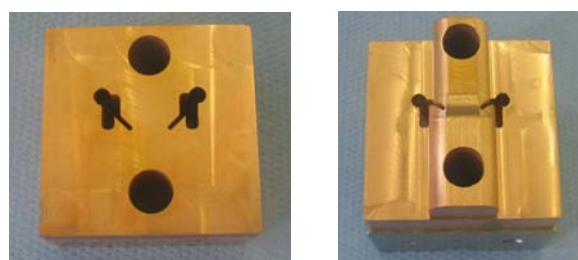
Ko pride do odločitve, katere oblike bodo narejene z EEO sledi zelo pomemben korak, ko določimo posamezne segmente, ki bodo obdelani z elektrodami iste oblike (slika 2). Danes težimo k temu, da čim večji del obdelamo z eno elektrodo in s tem zmanjšamo stroške izdelave elektrod. Pomembno je, da na posamezni elektrodi ne pride do kombinacije ločenih velikih in majhnih površin in zelo različnih globlin obdelave na ločenih delih elektrode. Razlog je

zelo preprost. Velike in majhne površine zahtevajo različno tehnologijo, če želimo obdelavo narediti v najkrajšem možnem času in s tem tudi najmanjšimi možnimi stroški. Veliko proizvajalcev elektroerozijskih naprav je že pripravilo tehnologije za obdelavo različnih oblik na obdelovancu, kar nam omogoča, da izberemo optimalno tehnologijo z najkrajšimi časi in najmanjšimi stroški obdelave (slika 3) [4,5,6]. Potrebno je določiti material elektrode in vrsto obdelave s katero bo elektroda izdelana. Najpogosteje se za izdelavo elektrod uporablja HSC rezkanje.



Slika 3: Izbira ustreznih oblik za obdelavo (vir OPS-Ingesoll GmbH)

Veliko elektrod izdelamo tudi z elektroerozijskim rezanjem z žico in s struženjem (okrogle elektrode), manj pa z brušenjem, preoblikovanjem, galvanskim nanašanjem bakra in drugimi postopki, ki pa se v specifičnih primerih še vedno uporabljajo. Velikokrat je za izdelavo potrebnih več različnih postopkov obdelave. Najpogosteje je uporabljena kombinacija rezkanja in elektroerozijskega rezanja z žico (slika 4).



a. Prva faza izdelava z žično erozijo b. Druga faza izdelava z rezkanjem

Slika 4: Izdelava elektrode z žično erozijo in rezkanjem (vir Polycom d.o.o.)

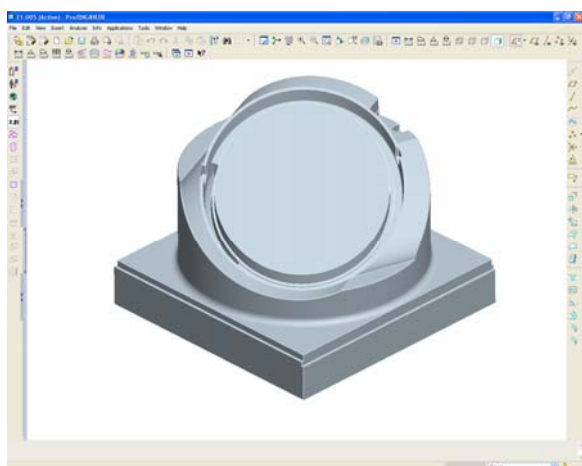
Sledi izbira optimalne tehnologije za izbrano obliko na obdelovancu (slika 3). Če je za izbrano elektroerozijsko napravo pripravljenih več tehnologij za različne oblike, izberemo tisto, ki je najbližje obliki, ki jo bomo obdelali. Dobro pripravljena tehnologija omogoča, da bo obdelava potekala brez optimiranja procesa med obdelavo in brez prisotnosti delavca.

Pogoj za to je tudi ustrezen krmilni sistem, ki reagira na pojav nenormalnih razelektritev in prepreči nastanek zažigov in zobčkov na grafitnih elektrodah in s tem povezano slabšo kakovost obdelave ali celo izmet. Brez krmilnega sistema je potrebna stalna prisotnost delavca, ki kontrolira potek obdelave in optimira elektroerozijski proces [7,8].

V večini primerov naredimo izbiro optimalne tehnologije na napravi sami. Nekateri proizvajalci to omogočajo preko programskih mest izven naprave in z direktnim prenosom podatkov na napravo. Če imamo napravo, ki omogoča poleg avtomatske menjave elektrod tudi avtomatsko menjavo obdelovancev, lahko takšna naprava dela brez stalne prisotnosti delavca tudi ob koncu tedna.

### 2.3. KONSTRUKCIJA ELEKTROD (CAD)

Za konstrukcijo elektrod je osnova konstrukcija obdelovanca. V obliki, ki bo izdelana z EEO so podane vse dimenzije, ki jih moramo narediti s tem postopkom obdelave. Iz teh dimenzij se naredi konstrukcijo elektrode, ki mora biti negativ izdelane oblike, z vsemi podmerami določenimi z izbrano tehnologijo EEO. Zaradi kontrole pozicije obdelane oblike na elektrodi in obdelovancu je pametno narediti referenčni okvir pravokotne oblike višine 3 do 5 mm (slika 5).



Slika 5. Konstrukcija elektrode  
(vir Polycom d.o.o.)

Tako lahko enostavno kontroliramo pozicijo oblike glede na center vpenjala in morebiten zasak oblike, do katerega je prišlo pri izdelavi elektrode. S tem določimo korekcije, ki so potrebne, da bo elektroda v pravilni poziciji in bo tako oblika na obdelovancu izdelana tam, kjer mora biti. Za lažje konstruiranje elektrode bi bilo dobro, da bi imeli v bazi podatkov vpenjala, ki jih uporabljamo in bi bila konstrukcija elektrode izdelana skupaj z vpetjem.

#### **2.4. PRIPRAVA PROGRAMOV ZA IZDELAVO ELEKTROD (CAM)**

Elektroda je pri EEO orodje s katerim izdelamo želeno obliko na obdelovancu. Največ elektrod izdelamo z rezkanjem in visoko hitrostnim rezkanjem. Za ta postopek obdelave dobimo geometrijo za poti rezalnega orodja iz konstrukcije. Te poti moramo optimirati tako, da bo obdelava potekala nemoteno in čim hitreje. Potrebno je dodati optimalne tehnološke parametre za obdelavo, ki pa so odvisni od materiala, izbranega postopka obdelave in izbranega orodja. Danes se kot material za izdelavo elektrod vedno več uporablja grafit in kot postopek obdelave rezkanje z visokimi hitrostmi [8]. Za izdelavo elektrod se večkrat uporablja tudi elektroerozijsko rezanje z žico za katerega je ravno tako potrebno pripraviti ustrezne programe za vodenje žice in izbrati ustrezno tehnologijo odvisno predvsem od materiala elektrode.

### **3. DELOVNI POTEK PRI IZDELAVI OBLIK NA OBDELOVANCU Z EEO**

Za primer vrednotenja časov in stroškov pri izdelavi oblike na obdelovancu z EEO smo izbrali obliko na vložku orodja obdelano z dvema elektrodama. Prva je za grobo obdelavo in prve stopnje vmesne obdelave, druga pa za naslednje stopnje vmesne in končne fine obdelave. Na sliki 6 je prikazan delovni potek in vrednotenje časov in stroškov obdelave.

Po že opisani pripravi proizvodnje nadaljujemo delovni potek pri izdelavi oblik na obdelovancu z EEO še z naslednjimi fazami:

- pripravo surovca za elektrode,
- izdelavo elektrod in
- EEO na izbrani elektroerozijski napravi.

Za vsako delovno operacijo vnesemo:

- stroške delovnega mesta,
- stroške orodja in
- stroške dela.

Strošek delovnega mesta je seštevek vseh stroškov, ki jih imamo na nekem delovnem mestu. Vanj so vključeni stroški prostora, amortizacija stroja, cena porabljene energije itd. Če je delavec stalno na delovnem mestu in brez njegove stalne prisotnosti delovni proces ne teče, je smiselno v stroške delovnega mesta vključiti tudi stroške dela delavca. Taka delovna mesta so v pripravi proizvodnje in konstrukciji, na obdelovalnih strojih, ki jih krmilimo ročno, na merilnih strojih in meritvah, kjer meritve opravlja delavec itd. V oddelku, kjer sestavljamo orodja ali opravljamo druga ročna dela, v strošek delovnega mesta vključimo tudi strošek ročnega orodja, ki ga delavec na delovnem mestu potrebuje. Drugače na CNC strojih ali strojih, kjer stalna prisotnost delavca ni nujna, obračunamo strošek dela po dejanski prisotnosti delavca.

Na strojih, kjer je razlika v stroških, ko stroj dela in ko na njem potekajo druge operacije kot so vpenjanje obdelovanca, menjava elektrod, menjava orodja, meritve itd., moramo za točen izračun upoštevati dejanske stroške. Tako se lahko stroški delovnega mesta v času, ko stroj dela in ko ne dela razlikujejo.





Stroški orodja - rezkarjev so odvisni od njihove cene in življenjske dobe. Zato je potrebno za obdelavo različnih materialov izbrati ustrezna optimalna orodja. Pri HSC rezkanju predvsem z rezkarji majhnega premera je strošek orodja lahko zelo velik, da ne govorimo o primerih, ko pride do loma orodja.

Strošek dela je vezan na delavca, ki delo opravlja. V te stroške so vključeni poleg bruto plače delavca še vsi ostali stroški (drugi bruto), ki so potrebni, da delavec svoje delo nemoteno opravlja. To so stroški administracije, prehrane v podjetju, odsotnosti delavca zaradi bolezni, če to plačuje podjetje, dopustov itd. Za vse te stroške je potrebno v podjetju narediti ustrezne izračune, ki nam omogočajo izračune dejanskih stroškov. Le tako bomo lahko pripravili pravi izračun lastne cene izdelka, ki je pogoj za pripravo dobrih ponudb in pravi račun po opravljenem delu.

Za vsako od faz delovnega poteka v katerega so vključene delovne operacije vnesemo predvidene čase za posamezno operacijo:

- delo na obdelovalnih strojih – glavni časi, ki so označeni s simbolom  $\otimes$ ,
- logistične operacije, ki so označene s simbolom  $\rightarrow$ ,
- meritve in kontrole, ki so označene s simbolom  $\square$  in
- skladiščenje, ki je označeno s simbolom  $\nabla$ .

Čase dela na obdelovalnih strojih določimo po izračunih in zbranih podatkih iz izkušenj. Za CNC rezkalne stroje lahko te čase dobimo iz programov pripravljenih za krmiljenje strojev. Dokaj natančno lahko čase obdelave predvidimo za obdelavo pri elektroerozijskem rezanju z žico, veliko težje pa je to pri obdelavi na potopni elektroeroziji. Če imamo zbrane podatke o obdelavah, ki smo jih na teh strojih že naredili in po izkušnjah pridobljenih pri podobnih ali enakih obdelavah, lahko te čase dovolj natančno predvidimo. Po obdelavi naredimo obračun dejansko porabljenih časov in stroškov. Rezultati nam pokažejo kako natančno smo predvideli čase in stroške. Z analizo in shranjevanjem pridobljenih podatkov bo prišlo do vedno manjših razlik med predvidenimi in doseženimi rezultati.

Med logistične operacije so vključene vse faze dela, ko opravljamo transport obdelovancev, elektrod itd., menjavo elektrod in obdelovancev in njihovo vpenjanje. Časi, ki jih za ta dela porabimo so zelo odvisni od stopnje avtomatizacije v naši proizvodnji. Danes težimo k temu, da stroji in naprave delujejo samostojno brez prisotnosti delavcev. Če menjava orodij, elektrod in obdelovancev poteka avtomatsko, lahko stroji delajo samostojno ponoči in ob koncu tedna. V takšni proizvodnji so delavci zaposleni predvsem s pripravo za avtomatsko delovanje strojev. Poleg vpetja obdelovancev, elektrod in orodij v različna vpenjala je potrebna še kontrola točnosti vpetij in po potrebi korekcija pri vpetju in obdelavi nastalih napak in programov po katerih bo obdelava potekala.

Brez meritev in kontrole proizvodnja orodij ni možna. Pomembno je vnaprej določiti kdaj in kje bodo te kontrole potekale, da bomo na koncu naredili izdelek v zahtevanih tolerancah. V večjih orodjarnah večino natančnejših meritev opravljamo na merilnih strojih v merilnici. Sodobni obdelovalni stroji so sicer dovolj točni, da bi meritve opravljali tudi na njih, vendar takrat ti stroji ne delajo tega, za kar so namenjeni. Zato težimo k temu, da čim več teh operacij naredimo na strojih in pripravah, ki so za to namenjene.

Po opravljeni obdelavi in kontroli izdelke hranimo v skladiščih. Zaradi relativno majhne velikosti in velike vrednosti so relativni stroški za skladiščenje majhni in v proizvodnji orodij manj pomembni. Se pa pretočni časi s skladiščenjem nedokončanih izdelkov podaljšujejo.

### **3.1. PRIPRAVA SUROVCA ZA ELEKTRODE**

Pred izdelavo oblike na elektrodi pripravimo surovec iz izbranega elektrodnega materiala, ki ga pritrdimo na izbran referenčni element. V ceno materiala so všteti tudi vsi stroški povezani z nabavo. Delovni potek je prikazan v tabeli 2 in se prične z dovozom materiala iz skladišča.

Temu sledi razrez materiala, poravnavanje surovca in njegova pritrditev na referenčni element. Vmes opravimo potrebne kontrole v delavnici. Za obe elektrodi je delovni potek enak in se konča z odvozom v vmesno skladišče. Za

tako delo potrebujemo žago, klasični rezkalni stroj, pripravo za lotanje in ročno orodje.

Priprava surovca za elektrode:
Dovoz materiala iz vhodnega skladišča
Vhodna kontrola materiala
Vpetje, prepetja in izpetje surovca na žagi
Razrez elektrodnega materiala
Vpetje in poravnavanje surovca 1 na rezkalnem stroju
Vpetje orodja - rezkar
Obdelava surovca za elektrodo 1
Izpetje surovca 1 z rezkalnega stroja
Vpetje in poravnavanje surovca 2 na rezkalnem stroju
Obdelava surovca za elektrodo 2
Izpetje surovca 2 z rezkalnega stroja
Pritrditev surovca 1 na referenčni element
Kontrola vpetega surovca 1
Pritrditev surovca 2 na referenčni element
Kontrola vpetega surovca 2
Odvoz v vmesno skladišče
Skladiščenje v vmesnem skladišču

Tabela 2: Dovoz materiala iz vhodnega skladišča

### 3.2. IZDELAVA ELEKTROD

Elektrodi bosta izdelani na CNC HSC rezkalnem stroju. Delovni potek je prikazan v tabeli 3. Na stroju je najprej potrebno pritrditi vpenjalno glavo za vpetje elektrod. Ker se glava stalno uporablja samo na tem stroju je všteta v ceno stroja. Če je glava stalno vpeta na stroj, stroškov povezanih z vpetjem in centriranjem glave nimamo.

Vpenjalno glavo lahko uporabljamo samostojno. V tem primeru je strošek vpenjalne glave njena amortizacija in stroški vzdrževanja. Strošek pri posameznem vpetju pa je cena glave s stroški vzdrževanja deljeno s številom vpetij. Če je cena vpenjalne glave 3.000,00 EUR, stroški vzdrževanja 10% in amortizacijska doba 5 let je letni strošek vpenjalne glave 660,00 EUR. Če letno izdelamo na tej glavi 600 elektrod je strošek enega vpetja 1,10 EUR.

Po izdelavi je narejena kontrola elektrode. V našem primeru je ta kontrola narejena na stroju za EEO, največkrat pa jo naredimo na merilnem stroju. Meritve obsegajo kontrolo izdelane oblike

in kontrolo centričnosti izmerjene na referenčnem okvirju. Odstopanja korigiramo na erozijskem stroju. Možen je direkten prenos podatkov z merilnega na stroj za EEO.

Izdelava elektrod:
Dovoz iz vmesnega skladišča
Vpetje surovca za elektrodo 1 na stroj
Vpetje rezkarja za grobo obdelavo
Grobo rezkanje elektrode 1
Menjava rezkarja groba → fina obdelava
Fino rezkanje elektrode 1
Izpetje elektrode 1 s stroja
Vpetje surovca za elektrod 2 na stroj
Menjava rezkarja fina → groba obdelava
Grobo rezkanje elektrode 2
Menjava rezkarja groba → fina obdelava
Fino rezkanje elektrode 2
Izpetje elektrode 2 s stroja
Odvoz elektrod na merilni stroj
Vpetje in izpetje elektrod na merilnem stroju
Kontrola elektrod na merilnem stroju
Odvoz v skladišče
Skladiščenje v vmesnem skladišču

Tabela 3: Delovni potek pri izdelavi za elektrodo

### 3.3. EEO NA IZBRANI ELEKTROEROZIJSKI NAPRAVI

Sledi EEO na izbrani elektroerozijski napravi. Delovni potek je prikazan v tabeli 4.

Predvideno je ročno vpetje obdelovanca in avtomatska menjava elektrod iz zalogovnika. Z avtomatsko menjavo obdelovancev prihranimo veliko časa, ki ga sicer potrebujemo za vpetje in poravnavanje obdelovanca na stroju. Pri uporabi paletnih sistemov vso to pripravo naredimo izven stroja na veliko cenejših delovnih mestih. Poleg tega pri menjavi obdelovancev ni potrebna prisotnost delavca in lahko stroj dela samostojno ponoči in ob koncu tedna. Predvsem v primerih, kjer je menjava obdelovancev pogosta, se investicija v tako avtomatizacijo hitro povrne. Poleg tega meritve odstopanj pozicij naredimo na merilnem stroju in lahko te podatke prenesemo direktno na stroj kjer bo potekala obdelava.

## ANALIZA ČASOV IN STROŠKOV PRI OBDELAVI S POTOPNO ELEKTROEROZIJO

Marjan DOBOVŠEK, Bojan JUS, Simon OMAN, Jure DOBOVŠEK

Vpenjalni sistemi d.o.o., SPI s.p., Polycom d.o.o.

Po vpetju in poravnavanju obdelovanca sledi najprej avtomatsko vpetje prve elektrode za grobo in vmesne stopnje obdelave. Ko je to narejeno, pride do menjave elektrod in nadaljevanja obdelave z naslednjimi vmesnimi in končno fino obdelavo. Po koncu obdelave sledi kontrola in po tej odvoz obdelovanca in elektrod v skladišče.

<b>Elektroerozijska obdelava:</b>
Dovoz obdelovanca in elektrod iz vmesnega skladišča
Vlaganje elektrod v zalogovnik
Vnos podatkov za korekcijo pozicij elektrod
Vpetje in izpetje elektrod zaradi kontrole
Kontrola elektrod na elektroerozijskem stroju
Vpetje in poravnavanje obdelovanca na stroju
Vpetje elektrode 1 na stroj
Obdelava oblike z elektrodo 1
Vračanje elektrode 1 v zalogovnik
Vpetje elektrode 2 na stroj
Obdelava oblike z elektrodo 2
Vračanje elektrode 2 v zalogovnik
Izpetje obdelovanca
Izpetje elektrod iz zalogovnika
Odvoz obdelovanca v kontrolo
Kontrola obdelovanca
Odvoz obdelovanca in elektrod v vmesno skladišče

Tabela 4: Delovni potek pri EEO

## 4. ANALIZA REZULTATOV

Poleg priprave delovnega poteka in izračuna lastne cene je zelo pomembna analiza časov in stroškov, ki nastanejo pri obdelavi. Iz te analize

lahko ugotovimo kje in kaj je potrebno narediti, da bomo pri obdelavi zmanjšali stroške in skrajšali čase. V tabeli 5 so zbrani podatki za konkreten primer obdelave. Seštevek vseh stroškov nam da lastno ceno izdelka. To ceno želimo zmanjšati na minimum.

Kot prvo pogledimo, kaj lahko naredimo s stroški vezanimi na glavne čase in s tem povezano dodano vrednostjo. Ti časi so odvisni od tehnologije za obdelavo izbranih materialov, ki jo na izbranih strojih uporabljamo. Pri elektrodah lahko izbiramo med različnimi elektrodnimi materiali, ki imajo različne cene in različno tehnologijo pri izdelavi elektrod na HSC rezkalnih strojih in različno tehnologijo pri obdelavi na elektroerozijskih napravah. V zadnjem času namesto bakra vedno več uporabljamo grafit, ki je sicer dražji, omogoča pa hitrejšo in cenejšo izdelavo elektrod in hitrejšo obdelavo na elektroerozijskih napravah. Pri uporabi grafita je pri elektroerozijski obdelavi nevarnost pojava nenormalnih razelektritev in posledično oblokov večja. Zato je priporočljiva uporaba ustreznih krmilnikov procesa. Z njimi potek samega procesa obdelave izboljšamo in s tem glavne čase skrajšamo. Če elektroerozijska naprava nima dovolj dobre zaščite proti oblokom, je smotrno uporabiti dodatni krmilnik [1,7,8]. Na trgu je kar precej ponudbe in najboljši dodatni krmilniki so izdelani v Sloveniji. Za izdelavo nove tehnologije, ki bo boljša od tiste, ki nam jo nudi proizvajalec stroja ali proizvajalec orodja, imamo malo možnosti in nimamo časa, da bi namesto proizvodnje razvijali tehnologije. Danes

Tabela 5: Podatki za analizo delovnega poteka

	Stroški		Časi	
Lastna cena in skupni čas	1032,44	EUR	61,60	ur
Dodana vrednost	628,51	EUR	60,88	%
Strošek logistike	40,44	EUR	3,92	%
Stroški meritev	23,27	EUR	2,25	%
Stroški skladiščenja	0,24	EUR	32,00	ur
Stroški priprave proizvodnje	237,50	EUR	23,00	%
Stroški in časi za izdelavo elektrod	466,34	EUR	45,17	%
Stroški in časi za EEO	463,61	EUR	44,90	%
Materialni stroški elektrod	102,48	EUR	9,93	%
Stroški vpenjal za elektrode	0,48	EUR	0,05	%

Brez skladišča  
Brez skladišča



poteka razvoj novih sodobnejših tehnologij zelo hitro. Zato je rešitev v nakupu novega stroja s sodobnejšo tehnologijo, ki ga moramo maksimalno izkoristiti, da se bo investicija povrnila v čim krajšem času in bomo lahko kupili nov stroj s še sodobnejšo tehnologijo in še večjo produktivnostjo.

Več lahko naredimo z zmanjševanjem stroškov in skrajševanjem časov povezanih z logistiko. Veliko lahko naredimo s skrajševanjem časov priprave na obdelovalnih strojih kot so časi menjave orodij, elektrod in obdelovancev. Potrebno je narediti čim več za avtomatizacijo proizvodnje, ki pa zahteva dobro organizacijo proizvodnje, ta pa ustrezno programsko opremo. To je toliko bolj pomembno pri relativno kratkih obdelavah z EEO in pogostih menjavah elektrod.

Enostavnejše in manj zahtevne meritve opravimo v delavnici z ročnimi merilnimi orodji. Te meritve se izvajajo predvsem pri pripravi surovcev in polizdelkov. Opravijo jih lahko delavci v delavnici. Zahtevne in kompleksne meritve naredimo na merilnih strojih v merilnici. Čase in s tem povezane stroške je pri meritvah težko skrajševati, saj natančno delo zahteva svoj čas. Pomembnejše je, da je proizvodnja organizirana tako, da zaradi meritev obdelovalni stroji ne stojijo.

Stroški skladiščenja so pri izdelavi orodij relativno majhni. Lahko pa se pretočni časi zaradi čakanja obdelovanca v skladišču povečajo. Pri izdelavi orodij je od pretočnih časov za posamezne dele orodja pomembnejše to, da so sestavni deli orodja narejeni pravočasno in lahko orodje sestavimo, preskusimo in dobavimo v planiranem roku. V veliko pomoč nam je pri tem programska oprema za organizacijo in vodenje proizvodnje, ki omogoča spreminjanje prioritet, da lahko pospešimo izdelavo tistih delov, ki zaradi različnih vzrokov pri izdelavi zamujajo [3].

Dokaj velik delež stroškov in časov predstavlja priprava proizvodnje. To je pri individualni proizvodnji normalno, saj tu ne moremo razdeliti stroškov in časov priprave na večje število izdelanih kosov. Če imamo v bazah podatkov shranjene podatke za podobne obdelovance in obdelave lahko z uporabo teh časov pripravo proizvodnje skrajšamo, olajšamo

pripravo tehnologij in konstrukcij. Z uporabo sodobnih programskih orodij za CAD-CAM si olajšamo modeliranje, konstrukcijo ter pripravo programov in tehnologije za izdelavo obdelovancev.

Pomembni so tudi materialni stroški za izdelavo elektrod v katere je vključen material za elektrode, vpenjalo elektrode in ostali materiali za pritrditev elektrodnega materiala na vpenjalo elektrode. Za vsak konkreten primer moramo najti optimalno rešitev za dovolj togo in točno vpetje surovca iz ustreznega elektrodnega materiala.

Vpenjala za elektrode uporabimo večkrat, zato strošek uporabe za eno vpetje izračunamo tako, da ceno vpenjala delimo s številom predvidenih vpetij (n.pr. cena vpenjala je 50,00 EUR in predvidena uporaba 100 vpetij – cena enega vpetja je torej 0,50 EUR). V skupnem strošku nastalem pri izdelavi oblike na obdelovancu z EEO, je delež stroška vpenjala majhen. Zato je pomembnejša od nabavne cene vpenjala njegova togost, točnost vpetja v sistemu, ko vpenjalo prenašamo iz ene na drugo vpenjalno glavo, kakor tudi življenjska doba vpenjala. Ta je določena s številom vpetij pri katerih je zagotovljena zahtevana točnosti vpetja. V primerih, ko potrebujemo za vpetje elektrod vmesnike – adapterje, se stroški vpetja povečajo. Vmesniki so relativno dragi in pri avtomatski menjavi elektrod se število vpetij na posameznem vmesniku zmanjšuje z večanjem števila zasedenih mest v zalogovniku. Pri prepetju elektrode z enega na drug vmesnik pride do dodatnih odstopanj in zmanjšanja točnosti vpetja, kar je pomembno predvsem pri izdelavi delov v ozkih tolerancah. Veliko uporabnikov zato uporablja vpenjala, ki imajo za izhodišče osnovni vpenjalni sistem na elektroerozijskem stroju. Ker za svoje potrebe ne dobijo vseh vpenjal od proizvajalcev, uporabniki velikokrat izdelajo vpenjala sami. Nekaj rešitev za različna vpetja nudimo tudi mi [9].

## 5. SKLEP

Skrajševanje časov in zmanjševanje stroškov je izredno pomembno tudi v posamični in maloserijski proizvodnji, kamor prištevamo tudi proizvodnjo orodij. Z analizo celotnega

poteka proizvodnje ugotovimo kje lahko skrajšamo čase in zmanjšamo stroške. Rezultate analiz lahko uporabimo pri organizaciji in planiranju proizvodnje. Planiranje časov in stroškov obdelave, ki se ujema z dejanskim stanjem, je izrednega pomena pri doseganju predvidenih rokov in stroškov izdelave. To je zelo pomembno tudi pri pripravi ponudb in s tem povezanim pridobivanjem naročil.

V tem prispevku smo naredili vrednostno analizo elektroerozijske obdelave, ki je zahteven, relativno počasen in drag postopek obdelave. To je ena od končnih obdelav pred montažo orodja in zato še toliko bolj pomembna. Iz analize lahko sklepamo kaj moramo narediti, da bomo skrajšali čase obdelave in pretočne čase ter zmanjšali stroške izdelave.

## Literatura

- [1] Dobovšek M.: *Smernice za izbiro naprav za potopno elektroerozijo*, revija IRT 3000 št. 1, februar 2006, s. 60 – 64.
- [2] Jus B.: *Organizacija in vodenje proizvodnje*, učbenik VŠP GEA college. Ljubljana 2005.
- [3] Berlak J., Dobovšek M.: *Enostavna in zmogljiva programska oprema za orodjarne*, Orodjarstvo 2006, s. 65-67.
- [4] Dobovšek M.: *Načrtovanje tehnologije za elektroerozijsko obdelavo z računalnikom*, Magistrsko delo, 1987
- [5] Dobovšek M., Roethel F.: *Načrtovanje tehnologije za elektroerozijsko obdelavo z računalnikom*, Strokovne informacije št. 18, TF Maribor 1989, s. 76 - 84.
- [6] Dobovšek M., Roethel F.: *Contribution to Computer Aide Process Planning of EDM*, Proceeding of International Conference on Advanced Manufacturing Systems and Technology, AMTS – 87, Opatija 1987, s. 219 – 225.
- [7] Otto M., Dobovšek M., Junkar M.: *Avtomatski protiobločni sistem za stroje za elektroerozijsko grezenje (EDM-3A)*, Strojniški vestnik, Ljubljana 1995/11 - 12, s. 381 -387.
- [8] Otto M., Dobovšek M., Paradizova M.: *DEVELOPMENT TRENDS IN EDM OF DEEP SLOTS AND SIMILAR FORMS*, 13TH International symposium for Electromachining (ISEM), Bilbao 2001, s. 611 - 614.
- [9] Spletna stran: [www.vpenjalnisistemi.com](http://www.vpenjalnisistemi.com).