

# ECHIPAMENT PENTRU MICROGĂURIREA ELECTROEROZIVĂ ASISTATĂ DE ULTRASUNETE

## ULTRASONIC ASSISTED ELECTROEROSION EQUIPMENT FOR THE MICRO HOLE MACHINING

DRĂGAN<sup>1</sup> Nicușor-Bogdan<sup>1</sup>, STAIUCU<sup>2</sup> Alexandru-George<sup>2</sup>, ȘCHIOPU<sup>3</sup> Mădălin-Cosmin<sup>3</sup>,  
NEDELICU Corina Madalina<sup>4</sup>, STOIAN Anca<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Facultatea:IMST, Specializarea: INPN, Anul de studii: 2, e-mail: nicusorbogdandragan@yahoo.ro

Conducător științific: Prof. dr. ing. **NICULAE Marinescu**, Prof. dr. ing. **Liviu-Daniel Ghiculescu**

*ABSTRACT: This research paper aims to highlight the current state of development of the equipment for microhole processing by ultrasonic assisted hybrid EDM. The focus was on the comparative analysis of the constructive features of similar equipments in the market and on the improvement of the adaptability and performances of the model designed within the team. The remodeling and simulation of the chosen variant along with the production drawings and the estimated financial analysis were other important objectives for manufacturing preparation.*

*CUVINTE CHEIE: microgăurire EDM, lanț ultrasonic, echipament ultrasonic, simulare MEF.*

### 1. Introducere

Această lucrare are rolul de a prezenta etapele definitivării unei variante constructive pentru echipamentul utilizat la microgăurirea EDM asistată de ultrasunete. Considerând caracteristicile impuse în cadrul stabilirii specificațiilor, a fost urmărită menținerea și îmbunătățirea valorilor acestora pentru a obține avantajul competitiv vizat. Studiul produselor competitorilor asigură alegerea rațională a unui ansamblu de soluții constructive astfel încât conceptul final să înglobeze caracteristicile individuale maxime ale fiecărui element din structura care îi stă la bază.

Critică pentru realizarea echipamentului este etapa de proiectare care este foarte extinsă din punct de vedere temporal. Rigiditatea limitării timpului asociat acestei etape scade prin utilizarea unor strategii corespunzătoare bazate pe algoritmizarea proiectării și simularea eficientă a modelelor, în sinergie cu înregistrarea rezultatelor într-o bază de date. Aceasta din urmă a fost realizată cu scopul de a putea genera rapid modele pentru situații noi, abordând doar mici modificări adaptate noilor condiții propuse. Posibilitatea simulării modelelor aduce ca efect secundar reducerea costului de fabricare al reperelor fizice, fapt ce poate fi observat în cadrul unei analize financiare estimative. Fabricarea reperelor ansamblului echipamentului modelat este realizată pe baza documentației tehnice și este probabil să sufere mici corecturi și adaptări, în funcție de limitările sistemului în care vor fi realizate.

### 2. Statistică potențiali clienți

S-a realizat un chestionar pentru potențiali clienți, iar în urma acestuia, statistica este următoarea: aceștia consideră că acest echipament ar putea fi folosit în viitor în procent de 50% în laboratoare, fabrici, ateliere și 50% pentru a înlocui anumite prelucrări. Domeniile în care ar putea activa sunt: inginerie, medical, aerospațial, optica. Vârsta medie pentru a lucra cu acest echipament este între 20-50 ani. Clienții sunt dispuși a oferi un preț de 10000 € într-un procent de 40%.

În ceea ce privește modul de prindere al lanțului ultrasonic pe mașina EDM, clienții doresc ca aceasta să se facă cu ajutorul prinderii modulare cu canale T, iar prinderea electrodului în concentrator să fie cu prisma.

**Tabelul 1. Statistică chestionar**

Ați utilizat echipamente pentru microgăurire? Da, în scop educațional – 60%		Nu – 40%	
Credeti că acest echipament poate fi folosit în viitor? Da, va înlocui alte prelucrări – 50% Da, va fi de ajutor în laboratoare/ industrie – 50%		Către ce categorie de vârstă se adresează echipamentul? 15-20 ani – 10% 20-30 ani – 80% 30-50 ani – 80%	
În ce domenii credeți că va fi utilizat acest echipament? Inginerie – 10%                      Aerospațial – 50% Medical – 50%                        Optică – 50% Educațional – 50%		Care credeți că sunt funcțiile de bază ale echipamentului? Prelucrare microgăuri – 80% Prelucrare semifabricate din materiale dure - 40% Generează caracteristici micro - 30%	
Care ar fi suma cu care ați achiziționa un astfel de echipament? 2000 euro – 30%                      5000 euro – 30% 10000 euro – 40%		Ce variantă constructivă a structurii de ghidare ați alege? Cu ghidare pe două coloane – 50% Cu ghidare pe monocoloană- stâlp – 50%	
Cum se va face prinderea electrodului? Lipire cu argint – 60% Prindere cu prisme – 40%		Cum se va face legătura echipamentului cu mașina de prelucrat? Prindere în capul de lucru al mașinii – 40% Prindere cu canale T – 60%	

### 3. Analiză financiară estimativă

În acest capitol se vor analiza oportunitățile finanțării unor active. Se vor studia documentele în care sunt prezentate principalele caracteristici tehnico-economice ale investiției, asigurându-se utilizarea rațională și eficiența a capitalului și acoperirea cheltuielilor materiale într-un mod ce satisface cerințele economice . În tabelul 2 sunt prezentate costurile repartizate fiecărui activități în urma unei analize de grup. Resursele vor fi: R1-Drăgan Nicușor, R2-Staicu Alexandru, R3- Șchiopu Mădălin, R4- Nedelcu Mădălina, R5- Stoian Ianca, R6- calculator, R7- papetărie, R8- -imprimantă 3d și laborator electroeroziune UPB, R9- licență program proiectare și R10- licență program office.

**Tabelul 2. Costurile proiectului**

Activitățile proiectului	Resurse	Durata (săptămâni)	Cost	Costul total al activităților
A3.1	R5; R6; R7	4	50LEI*20zile; 15 LEI*20 zile; 10 LEI*20 zile	1500
A3.2	R5; R6; R7	4	50LEI*20zile; 15 LEI*20 zile; 10 LEI*20 zile	930
A3.3	R5; R6; R7	1	50LEI*5zile; 15 LEI*5 zile; 10 LEI*5 zile	375
A3.4	R4; R6; R7	3	50LEI*15zile; 15 LEI*15 zile; 10 LEI*15 zile	1125
A3.5	R4 R6; R7	5	50LEI*25zile; 15 LEI*25 zile; 10 LEI*25 zile	1625
A3.6	R4; R6; R7	4	50LEI*20zile; 15 LEI*20 zile; 10 LEI*20 zile	1500
A4.1	R5; R6; R7	2	50LEI*10zile; 15 LEI*10 zile; 10 LEI*10 zile	750
A4.2	R5; R6; R7	50	50LEI*250zile; 15 LEI*250 zile; 10 LEI*250 zile	18750
A4.3	R5; R6; R7	1	50LEI*5zile; 15 LEI*5zile; 10 LEI*5 zile	375
A4.4	R5; R6; R7	1	50LEI*5zile; 15 LEI*5zile; 10 LEI*5 zile	375
A5.1	R2; R6; R7	4	50LEI*20zile; 15 LEI*20zile; 10 LEI*20zile	1500
A5.2	R2; R6; R7	2	50LEI*10zile; 15 LEI*10zile; 10 LEI*10 zile	750
A5.3	R2; R6; R7	2	50LEI*10zile; 15 LEI*10zile; 10 LEI*10 zile	750
A6.1	R1; R6	1	50LEI*5zile; 15 LEI*5zile	325

A6.2	R1; R6	4	50LEI*20zile; 15 LEI*20zile	1300
A6.3	R1; R6	4	50LEI*20zile; 15 LEI*20zile	1300
Activitățile proiectului	Resurse	Durata (săptămâni)	Cost	Costul total al activităților
A6.4	R1; R6	4	50LEI*20zile; 15 LEI*20zile	1300
A6.5	R1; R6	4	50LEI*20zile; 15 LEI*20zile	1300
A7.1	R2; R3; R6	3	50LEI*15zile; 50Lei*15zile; 30 LEI*15zile	1950
A7.2	R2; R3; R6; R10	3	50LEI*15zile; 50Lei*15zile; 30 LEI*15zile; 50lei*15 zile	2700
A7.3	R2; R3; R6; R10	3	50LEI*15zile; 50Lei*15zile; 30 LEI*15zile; 50*15 zile	2700
A7.4	R2; R3; R6; R10	3	50LEI*15zile; 50 Lei*15zile; 30 LEI*15zile; 50*15 zile	2700
A7.5	R2; R3; R6; R10	3	50LEI*15zile; 50Lei*15zile; 30 LEI*15zile; 50*15 zile	2700
A7.6	R2; R3; R6; R9	3	50LEI*15zile; 50 Lei*15zile; 30 LEI*15zile; 200*15 zile	4950
A8	R2; R8	4	50LEI*20zile; 50 LEI*20 zile	2000
A10	R4; R6; R7	2	50LEI*10zile; 15 LEI*10 zile; 10 LEI*10 zile	660
<i>Total</i>				56190

VAN (Net Present Value – NPV) se determină ca diferență dintre valoarea curentă a exploatării (V0) și capitalul investit (I0). Acest criteriu se bazează pe ipoteza existenței unei piețe monetare nesaturată: capitalurile (I0) pot fi oricând reinvestite pe piața monetară, la o rată a dobânzii de piață Rd, pentru a obține fluxurile de trezorerie viitoare (CFt). Practic, VAN este diferența dintre suma valorilor actualizate ale fluxurilor de numerar viitoare generate de un proiect și costul inițial al acestuia [1]. Se dorește evaluarea fezabilității (figura1) unei investiții în proiect pentru care sunt necesari a fi investiți 56190 RON, proiectul urmând a genera 30000 RON și 40000 RON, pentru o perioadă de 2 ani. Rata de actualizare este de 10%.

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+i)^t} = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF_T}{(1+i)^T} \quad (1)$$

în care:

- $CF_0$  – investiția inițială;  $CF_t$  – cash-flow viitor care rezultă la sfârșitul fiecărui an t;
- $i$  – rata de actualizare; t – numărul de ani; T – durata de viață a proiectului.

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+i)^t} = -56190 + \frac{30000}{(1+0,1)^1} + \frac{40000}{(1+0,1)^2} = 4141 \text{ RON}$$

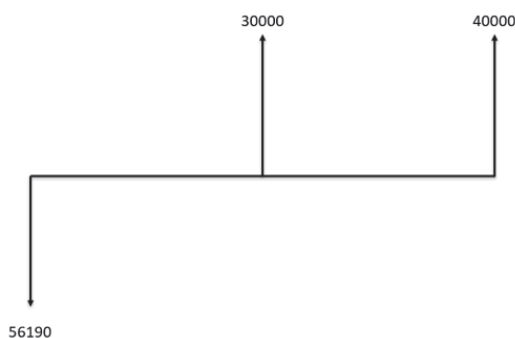


Fig 1. Schema calcului VAN

#### 4. Stabilirea specificațiilor

În cercetările precedente, elaborate pentru susținerea lucrării de disertație, au fost stabilite caracteristicile de calitate ale echipamentului în concordanță cu cerințele clienților și cu performanțele produselor concurente din piață. Asistarea cu ultrasunete a procesului de microgăurire electroerozivă ridică valoarea de utilizare percepută a produsului studiat la nivelul concurenților. Pentru asigurarea și chiar îmbunătățirea caracteristicilor de calitate oferite de echipamentul pe care se vor realiza prelucrările, se poate apela la utilizarea mai multor soluții existente sau a unor soluții noi.

Valoarea VUP poate fi crescută prin îmbunătățirea continuă a calității. Pentru aceasta sunt aplicate succesiv metode specifice de inovare și îmbunătățire a calității, menite să evidențieze în detaliu elementele asupra cărora se poate interveni într-o manieră pozitivă. Pentru echipamentul studiat, au fost aplicate succesiv două metode de îmbunătățire a calității: diagrama de relații și diagrama arbore.

**Diagrama de relații:** În cazul echipamentului dezvoltat, a fost urmărită creșterea adaptabilității și a performanțelor ansamblului. Aceasta reprezintă o necesitate pentru pregătirea fabricației prin reglarea sistemului tehnologic și atingerea condițiilor de funcționare.

Construcția diagramei are la bază enunțarea ideilor în legătură cu problema dată, explicitarea și sortarea acestora în funcție de relațiile dintre ele și de impactul pe care îl au în cadrul ansamblului.

Evidențierea relațiilor dintre elementele rețelei de idei dezvoltate a fost realizată prin intermediul unor săgeți de intrare și ieșire, ținându-se cont de principiul cauză-efect. Au fost reprezentate cu line groasă, în figura 2, ideile factori-cheie care au valorile maxime ale raportului intrări/ieșiri.

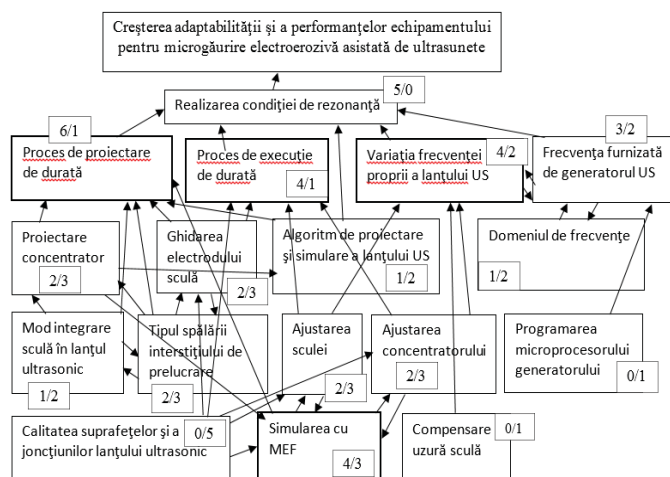


Fig. 2. Diagrama cu structura relațiilor dintre elemente, pentru problema dată

Factorii-cheie și soluțiile rezultate sunt următoarele:

- Procesul de proiectare - algoritm de proiectare și simulare cu MEF (reducere timp de obținere a condiției de rezonanță și creștere adaptabilitate);
- Procesul de execuție – creșterea calității suprafețelor de asamblare ale elementelor ansamblului (asigurarea contactului uniform între suprafețele pieselor asamblate – funcționare corectă a lanțului ultrasonic);
- Variația frecvenței proprii a lanțului - controlul adaptiv al frecvenței furnizate de generator și creșterea calității joncțiunilor lanțului ultrasonic.

**Diagrama arbore:** Diagrama arbore constă în descompunerea unor idei complexe până la distingerea unei sume de idei simple. Descompunerea problemei generale în cauze individuale conduce la evidențierea unor soluții la niveluri de detaliere din ce în ce mai ridicate. Similar diagramei anterioare, a fost preluată ideea creșterii adaptabilității și a performanțelor echipamentului pentru microgăurire electroerozivă asistată de ultrasunete. În cadrul metodei precedente au rezultat posibile îmbunătățiri în

cea ce privește proiectarea, execuția și funcționarea lanțului ultrasonic. Acesta a fost primul pas în detalierea problemei de rezolvat, fig. 3. La aceste niveluri se poate acționa pentru creșterea vitezei de adaptare a echipamentului și a performanțelor acestuia.

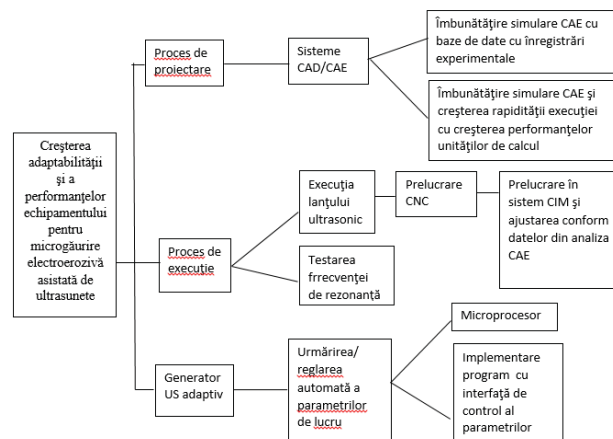


Fig. 3. Structura Diagramei arbore pentru problema dată

O metodă principală pentru creșterea vitezei procesului de proiectare este reprezentată de utilizarea unui sistem CAD/CAE (Computer-Aided Design/Computer-Aided Engineering). Acesta permite integrarea unei unități de calcul cu performanțe ridicate și înregistrarea succesivă a rezultatelor prin accesarea unei baze de date. Astfel la simularea unui caz relativ similar cu unul precedent, se poate utiliza foarte rapid o entitate anterioară adaptată noilor cerințe.

Procesul de execuție este dependent de procesul de proiectare fapt care obligă la un schimb direct și rapid de informație între acestea. Acest transfer de informație este permis în cadrul unui sistem CIM (Computer Integrated Manufacturing), realizându-se transferul de date de la un sistem CAE la o mașină CNC, obținându-se repere de calitate, fidele modelelor virtuale.

Controlul parametrilor generatorului poate fi îmbunătățit prin implementarea unui microprocesor cu un algoritm asociat care să permită oscilarea frecvenței furnizate într-un domeniu bine definit.

Cumulând rezultatele celor două metode a rezultat că pentru creșterea adaptabilității și a performanțelor echipamentului sunt necesare următoarele:

- Proiectarea și simularea MEF a modelelor într-un sistem CAE;
- Crearea unei baze de date pentru înregistrarea rezultatelor experimentale;
- Realizarea efectivă a reperelor pe mașini CNC în cadrul unui sistem CIM;
- Utilizarea unui generator ultrasonic ce permite controlul adaptiv al frecvenței.

## 5. Proiectarea conceptuală

La partea de cercetare externă, a fost realizat un benchmark al concurenței în vederea studierii soluțiilor constructive existente. În funcție de soluțiile constructive identificate, s-a realizat cercetarea internă, pentru a stabili varianta finală a produsului studiat.

### 5.1 Cercetare externă-Benchmark-ul concurenței (Brevete)

În figura 4 este prezentat un „Echipament pentru Prelucrarea Găurilor și Microgăurilor Curbe prin Electroeroziune Asistată de Ultrasunete” brevetat în anul 2016 de către domnii profesori Ghiculescu Liviu Daniel, Marinescu Nicolae Ion, Alupei Cojocariu Ovidiu Dorin și Popa Liliana.

Ca soluții constructive, avem placa superioară 1, care este montată pe capul de lucru al mașinii de electroeroziune. Pe acesta se montează rigla verticală 2 care preia și transmite mișcarea de avans

2a către roata conducătoare 4 cu ajutorul a unor benzi metalice 3. Pe roata conducătoare 4 sunt asamblate, prin ajustaje cu bușe 5a, coloanele 5 pe care este conectată traversa 6, ce poate fi reglată prin deplasarea bușelor 5a în lungul canalului 4a. Aceasta susține dispozitivul 7 de prindere al lanțului ultrasonic 8. Axa longitudinală este susținută de un sistem complex format din două bușe conjugate 15 și 16 cu suprafețe sferice 15a, șuruburile 17 și arcurile 18. Acestea realizează dispozitivul de prindere al lanțului ultrasonic împreună cu șurubul 14. [2]

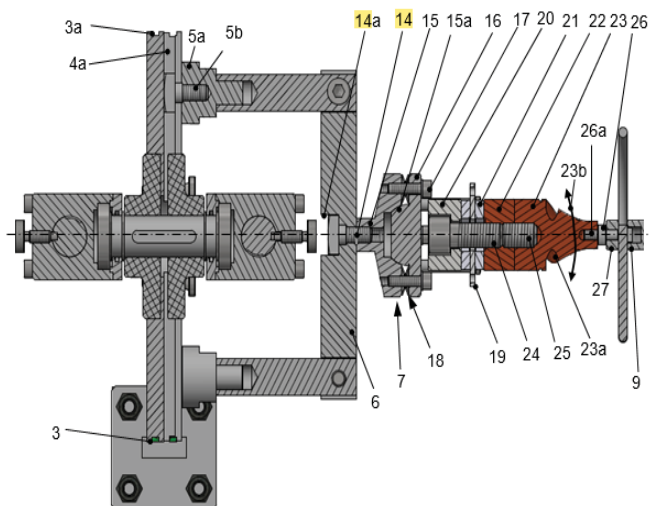
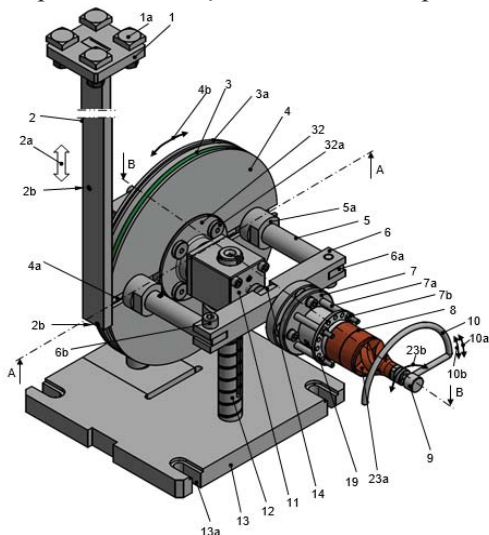


Fig. 4. Echipament pentru Prelucrarea Găurilor și Microgăurilor Curbe prin Electroeroziune Asistată de Ultrasunete [2]

Fig. 5. Secțiunea A-A[2]

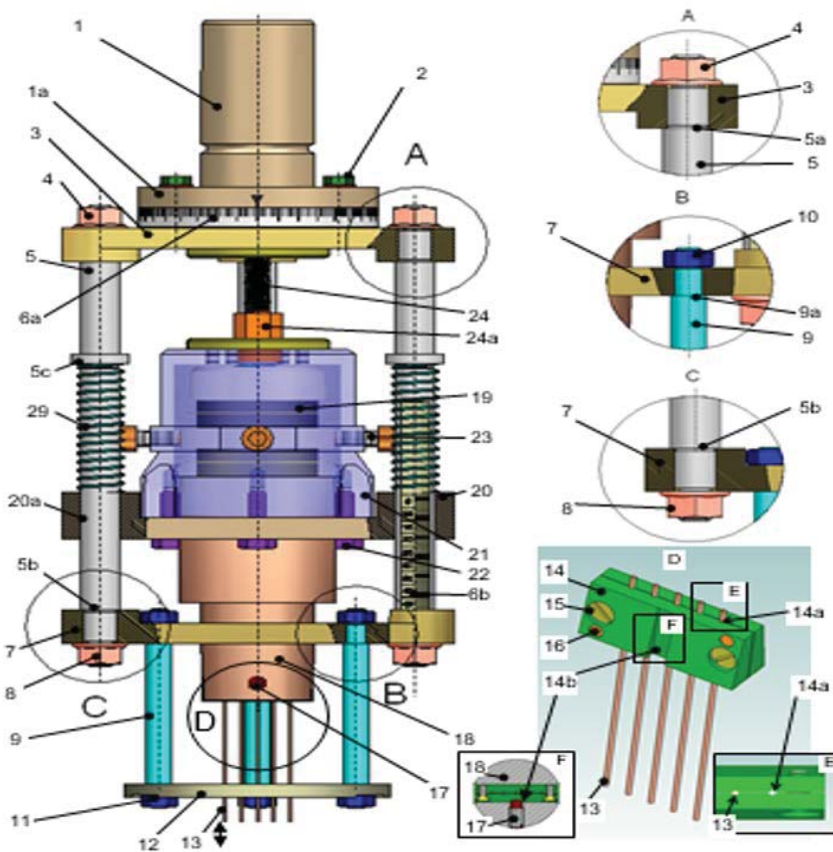


Fig. 6. Echipament pentru Prelucrarea Simultană, prin Electroeroziune Asistată de Ultrasunete [3]

În figura 6 avem un „Echipament pentru Prelucrarea Simultană, prin Electroeroziune Asistată de Ultrasunete”, a Microgăurilor brevetat în anul 2011 de către Marinescu Niculae Ion, Ghiculescu Liviu Daniel, Tițu Aurel Mihai și Nanu Alexandru Sergiu. Echipamentul este montat în capul de lucru al mașinii EDM prin tija de prindere 1 ce are în componentă flanșa 1a unde sunt prevăzute canalele circulare 1b ce permit rotirea în jurul axei prin intermediul flanșei 3, de care este prins lanțul ultrasonic 19. Fixarea ansamblului se face cu ajutorul șuruburilor 2. Coloanele 5 sunt fixate în flanșa 3 prin intermediul piulițelor 4. Orientarea flanșei 3 și flanșei 7, fixată cu șuruburile 8, se face pe umărul 5a, respectiv 5b. Placa de ghidare 12, din textolit, este prinsă de flanșa 7 cu ajutorul coloanelor 9. Lanțul ultrasonic 19 este prins pe corpul 21 cu ajutorul șuruburilor 23 pe punctul nodal. Corpul 21 este asamblat pe flanșa intermediară 20 cu ajutorul șuruburilor 22. Ghidarea longitudinală se face prin acționarea șurubului 24 prevăzut cu un cap hexagonal 24a pe coloanele 5 prevăzute cu scara gradată 6b.[3]

## 5.2 Cercetare internă

În urma cercetării externe se poate realiza și cercetare internă în vederea stabilirii soluției constructive finale. În tabelul 3 sunt prezentate soluțiile constructive în urma unei analize de grup.

**Tabelul 3. Soluții constructive**

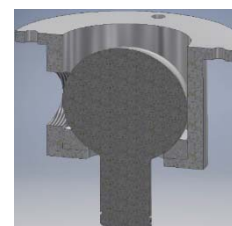
Nr. crt.	Funcții	Soluții
1	Prinderea lanțului ultrasonic de mașina EDM	Prindere în capul de lucru al mașinii
		Prindere modulară cu canale T
2	Realizarea perpendicularității	Dispozitiv de orientare sferă pe suprafață conjugată
		Dispozitiv de orientare Con pe con
3	Prinderea lanțului ultrasonic	Prinderea în punctul nodal
		Prinderea pe bucușă reflectantă cu șuruburi
		Prindere cu șuruburi pe transductorul piezoceramic
4	Dispozitivul de ghidare al electrozudului sculă	Ghidare pe două coloane
		Ghidare pe stâlp
5	Prinderea electrozudului	1. Lipire cu argint      2. Prindere cu prisme

## 6. Proiectarea detaliată

Plecând de la varianta 2 de bucușă filetată de ghidare, pentru reducerea costurilor de prelucrare, s-a modificat suprafața cilindrică exterioară randalinată într-o suprafață hexagonală pentru a permite strângerea bucușei cu ajutorul unei chei fixe. În figura 7 sunt prezentate variante de bucușă filetată de ghidare și de capac inferior.



**Fig. 7. Evoluție variante constructive pentru două repere**



**Fig 8. Corp ghidaj sferic și bucușă sferică**

Pentru a permite o asamblare mai ușoară și pentru a reduce costurile de prelucrare ale corpului ghidajului sferic al dispozitivului port sculă, s-a hotărât a introduce o bucușă cu o suprafață sferică conjugată cu cea a sferei. Această asamblare va fi cu strângere pentru a reduce jocurile dintre piese. În figura 8 se poate observa o secțiune prin corpul ghidajului sferic.

Pentru a dimensiona componentele de rezistență a dispozitivelor s-a recurs la modelarea lor folosind metoda elementelor finite (FEM). Astfel, încărcarea flanșei transversală de care este fixat concentratorul de ultrasunete a fost simulată în preprocesorul FEM, ANSA. Forța la care este supusă flanșa a fost calculată astfel: masa componentelor suspendate de flanșă, înmulțită cu accelerația gravitațională,

totul fiind înmulțit cu un coeficient de siguranță de 50%. Masa componentelor a fost calculată folosind modelul 3D a componentelor, cărora li s-a atribuit materialul din care vor fi confecționate, aceasta fiind de 1.4 kg. Astfel greutatea pieselor v-a fi de 13,68 N. Forța folosită în calcul va fi de 13,68 N înmulțită cu 1,5 (coeficientul de siguranță), valoarea finală fiind de 20N. După prima rulare a calculului la o grosime de 5mm a flanșei s-a observat o valoare a deformării flanșei la capete de 0,001 mm, după cum se poate observa în figura 9, iar valoarea tensiunilor calculate cu metoda Von Mises de 1,5 Mpa.

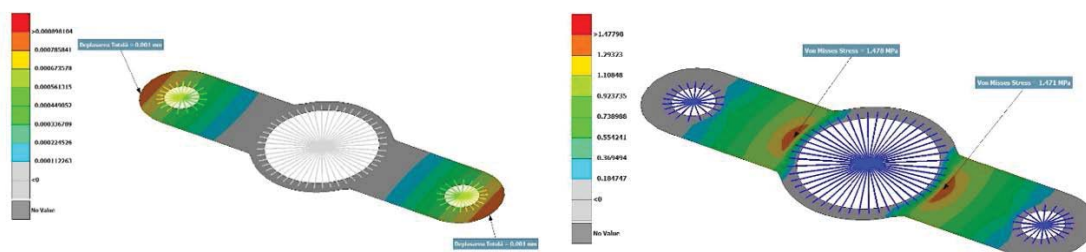


Fig 9. Flanșă 5mm - Deplasarea totală 0,001 mm (stanga) respectiv Tensiunea Von Mises 1,5 Mpa (dreapta)

După obținerea datelor s-a observat că tensiunile și deformările obținute sunt în limitele acceptabile astfel s-a hotărât reducerea grosimii flanșei de la 5 mm la 4 mm, obținându-se aceeași valoare a deformațiilor dar crescând nesemnificativ valoarea efortului la 4,8 Mpa.

În urma implementării ultimelor modificări aduse de calculul cu element finit cât și din propunerile cu scop economic, au rezultat desenele de ansamblu pentru dispozitivul port sculă și pentru dispozitivul de ghidare longitudinal, care vor fi date spre fabricare și testate ulterioră.

## Concluzii

În urma cercetării interne, s-a stabilit varianta finală a soluției constructive pentru echipamentul EDM+US: prinderea lanțului ultrasonic de mașina EDM cu prindere modulară cu canale T, realizarea perpendicularității se face cu un sistem sferă pe suprafață conjugată, prinderea lanțului ultrasonic se face cu șuruburi pe transductorul piezo-ceramic, deplasarea și susținerea dispozitivul de ghidare se face pe un singur stâlp, iar electrodul sculă este asamblat de concentrator prin lipitură cu argint.

Datorită implementării tehnologiilor CAD și de calcul FEM în faza de proiectare detaliată, putem reduce costurile de producție și costurile cu materia primă pentru produsele noastre, astfel putem fi concurenți pe piață dar tot odată să oferim o calitate mai crescută a produselor noastre.

## Bibliografie

- [1]. Conf. Dr. ing. Magdalena ROȘU (suport curs), „Managementul financiar al proiectului”, Universitatea Politehnica din București.
- [2]. Ghiculescu Liviu Daniel, Marinescu Nicolae Ion, Alupei Cojocariu Ovidiu Dorin și Popa Liliana (2016), „Echipament pentru Prelucrarea Găurilor și Microgăurilor Curbe prin Electroeroziune Asistată de Ultrasunete”, Universitatea Politehnica din București.
- [3]. Marinescu Nicolae Ion, Ghiculescu Liviu Daniel, Tițu Aurel Mihai și Nanu Alexandru Sergiu. (2011), „Echipament pentru Prelucrarea Simultană, prin Electroeroziune Asistată de Ultrasunete”, Universitatea Politehnica din București.