



STIMULY PRE VÝSKUM A VÝVOJ

Názov projektu:

Výskum novej generácie elektrónovolúčových komplexov určených na vákuové zvaranie hliníkových a horčíkových zliatin

Druh projektu:

Projekt priemyselného výskumu

Číslo projektu:

2015-10871/33302:3-15F0

Riešiteľ:

PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.
Kopčianska 14
851 01 Bratislava
E-mail: pzvar@pzvar.sk
www.pzvar.sk



PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.

Spoluriešiteľská organizácia:

Materiálovotechnologická fakulta
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Paulínska 16
917 24 Trnava
E-mail: koloman.ulrich@stuba.sk
www.mtf.stuba.sk



Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ilkovičova 3
812 19 Bratislava
E-mail: jan.murgas@stuba.sk
www.fe.stuba.sk



Doba riešenia projektu:

09/2015 – 08/2018

Vytvorenie / udržanie pracovných miest vo výskume a vývoji:

Vytvorenie 7 nových pracovných miest na trvalý pracovný pomer.

Etapy projektu:

Názov etapy	Začiatok	Koniec
1. Výskum modulov elektrónového dela do vákua a monitorovanie a analýza procesných dát	09/2015	12/2015
2. Inteligentné riešenie protivýbojovej ochrany a diaľková diagnostika elektrónovolúčového technologického komplexu	01/2016	12/2016
3. Výskum rastrovania elektrónového lúča na zvarový spoj a automatickej fokusácie elektrónového lúča	01/2017	12/2017
4. Výskum navádzania elektrónového lúča na zvarový spoj a programové vybavenie elektrónovolúčového technologického komplexu	01/2018	08/2018

Zodpovedný riešiteľ:

Ing. František Kolenič, PhD.

Hlavný cieľ projektu:

Hlavným cieľom projektu priemyselného výskumu je zvýšenie technických parametrov vybraných modulov elektrónovólúčových zvaracích technologických komplexov na porovnateľnú svetovú úroveň.

Špecifické ciele projektu:

1. Inovácia kompaktného modulu elektrónového dela, určeného pre zvaranie vo vnútri vákuovej komory.
2. Inteligentné riešenie protivýbojovej ochrany elektrónového dela.
3. Inovované riešenie rastrovania elektrónového lúča.
4. Nové moduly monitorovania a editácie parametrov technologického procesu.
5. Nový modul automatickej fokusácie elektrónového lúča.
6. Modul automatického navádzania elektrónového lúča na zvarový spoj.
7. Diaľková diagnostika elektrónólúčového komplexu pomocou webových aplikácií.
8. Sofistikované programové vybavenie na najvyššej úrovni riadenia.

Financovanie projektu:
Plánovaná výška oprávnených nákladov na projekt:

Položka/Rok	2015	2016	2017	2018	Spolu
Vlastné prostriedky	70 415	89 056	128 931	127 767	416 169
Požadovaná dotácia	145 243	201 168	320 791	383 298	1 050 500
Celkové náklady	215 658	290 224	449 722	511 065	1 466 669
Podiel vlastných prostriedkov (%)	32,6	30,6	28,6	25,0	28,3

Rozdelenie financií medzi hlavného riešiteľa a spoluriešiteľa:

	Dotácia	Vlastné zdroje	Spolu
PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a. s.	903 830	416 169	1 319 999
STU	146 670	0	146 670
Spolu	1 050 500	416 169	1 466 669

Popis projektu priemyselného výskumu:

Výskumné aktivity, ktoré budú realizované v rámci projektu priemyselného výskumu, si stanovujú za prioritný cieľ zvýšenie technických parametrov vybraných modulov elektrónovolúčových zvaracích technologických komplexov na porovnateľnú svetovú úroveň. Konkurencia v tejto oblasti na svetových trhoch sa neustále zvyšuje. Popredné firmy rôznou formou i pomocou štátnych projektov a dotácií realizujú rozsiahle inovačné aktivity, čím zvyšujú možnosti svojho odbytu na svetových trhoch. Vyvinuté riešenia sú prísne strážené a nie sú publikované v odbornej literatúre. Cieľom výskumného projektu je posilniť pozíciu a konkurencieschopnosť doma vyrábaných elektrónovolúčových technologických komplexov na svetových a európskych trhoch.

Postup riešenia je rozdelený do niekoľkých samostatných výskumných etáp:

Etapa 1: Výskum modulov elektrónového dela do vákuua a monitorovanie a analýza procesných dát

Elektrónové delo, umiestnené vo vnútri vákuovej komory, bude na polohovacom systéme, čo umožní vykonávať zvaranie aj pohybom dela voči zvarencu. Tento koncept, ktorý sa v súčasnosti výrazne presadzuje v priemyselnej praxi, má mnoho technických výhod. Vyžaduje ale ľahkú konštrukciu samotného dela, dobrú manipulovateľnosť pri čerpaní dela na vysoké vákuum špeciálnou vývevou so zabezpečením merania vákuua. V rámci inovácie konštrukcie elektrónového dela do vákuua uvažujeme s využitím nových superľahkých zliatin, so zmenou konštrukcie oddeľovacieho ventilu dela, novú konštrukciu iónovodu a s využitím nových materiálov na konštrukciu magnetickej fokusačnej

cievky. Konceptcia dela zostane triódová, pričom na optimalizáciu konfigurácie elektród bude vyžitý výpočtový program eGun.

Pre elektrónovolúčové zváranie sú kritické podmienky, najmä urýchľovacie napätie, zvárací prúd, fokusačný prúd, zváracia rýchlosť a poloha elektrónového lúča vzhľadom na zvarový spoj. Odchýlka niektorého z parametrov môže spôsobiť poruchu zvarového spoja. Preto pre spätnú diagnostiku je potrebné tieto parametre zaznamenávať počas celej doby zvárania. Pre možnosť identifikácie aj krátkych anomálií musí byť perióda vzorkovania dostatočne krátka. Pre rôzne parametre môže byť iná. Samostatnou časťou tejto problematiky je zber dát. Všetky riadiace časti zváracieho komplexu, ako sú PLC energobloku, riadiaca časť polohovania zvarenca a PLC vákuového systému musia byť doplnené o možnosť výberu parametrov a podmienok, za ktorých sa budú zaznamenávať.

Etapu 2: Inteligentné riešenie protivýbojovej ochrany a diaľková diagnostika elektrónovolúčového technologického komplexu

Princípom nového, inteligentného riešenia ochrany proti výbojom v elektrónovom dele bude súčasné snímanie troch rozhodujúcich parametrov výboja a zaradenie obmedzujúcej impedancie do obvodu zváracieho prúdu na vysokonapäťovej časti vn zdroja. Tento princíp umožní dosiahnuť nielen rýchlejšiu reakciu pre detekciu vznikajúceho výboja, ale predovšetkým účinné potlačenie energetického účinku výboja na kvalitu a celistvosť zvarového spoja. Aktívna časť modulu protivýbojovej ochrany bude svojimi meracími obvody detegovať charakteristiky výboja, následne zablokuje budenie vn zdroja, ktorý obnoví svoju činnosť v čase do 10 ms. Úlohou pasívnej časti modulu protivýbojovej ochrany bude minimalizovať skratovú energiu pri výboji (skrate) zaradením vhodných impedančných prvkov do silovej časti vn zdroja. Pri návrhu vhodného impedančného riešenia budú použité simulačné analýzy matematických modelov. Rozhodujúce kritériá návrhu budú včasná detekcia vznikajúceho elektrického prierazu (resp. skratu), utlmenie výboja, pohltenie zachytenej energie, minimalizácia energie výboja v dele a rýchla regenerácia obvodu.

Modul diaľkovej diagnostiky elektrónovolúčového komplexu pomocou webových aplikácií umožní vytvorenie vzdialeného prístupu ku štruktúre riadiaceho systému technologického komplexu pomocou siete internet a tak získať monitorovací a servisný prístup z každého miesta, kde je dostupné internetové pripojenie. Pomocou priemyselného VPN (Virtual Private Network) smerovača na strane technologického zariadenia s prístupom na internet bude vytvorená spoločná virtuálna počítačová

sieť. Na strane vzdialeného zariadenia modul priemyselného VPN smerovača (VPN Client) vytvorí spojenie cez internet k službe VPN serveru. Na druhej strane rovnako užívateľ vytvorí zo svojho počítača službou VPN Klienta spojenie k tomu istému VPN serveru. VPN server prepojí tieto dve spojenia do jednej bezpečnej siete. Takéto riešenie vzdialenej správy pomôže znížiť reakčné časy na diagnostiku a odstránenie poruchy vzdialeného zariadenia, znížiť náklady na servis a zvýšiť spokojnosť zákazníka a konkurencieschopnosť na trhu.

Etapa 3: Výskum rastrovania elektrónového lúča na zvarový spoj a automatickej fokusácie elektrónového lúča

Inovovaný modul rastrovania elektrónového lúča na zvarový spoj bude využívaný súčasne na veľkoplošné rastrovanie, na lokálne rastrovanie s možnosťou vytvárania tlakových tepelných polí, na programovanie technologických pohybov lúča podľa predvoleného priebehu s frekvenciou rastrovania až do 5 kHz, s amplitúdou do 3 mm. Veľkoplošné rastrovanie umožní plošnú distribúciu energie lúča podľa potrieb technologického procesu. Tento modul bude možné využívať pre spracovanie povrchov kovových materiálov v tuhej fáze i v tekutej fáze. V tuhej fáze na vytvrdzovanie povrchov a na procesy spevňovania povrchov (EB peening). V tekutej fáze na natavenie i legovanie. Pri riešení vychyľovacej cievky budú použité moderné feritické materiály s novým spôsobom vinutia viacpólových budiacich magnetických vychyľovacích cievok. Hárdiverovo sa prekonštruuje budiaci stupeň tak, aby sa dosiahla vyššia výchyľka elektrónového lúča až do $+10^\circ$. Pre menšie výchyľky zároveň zvýšime šírku pásma až do 5kHz zmenou koncepcie vychyľovacej cievky s výhľadom na rýchle polohovanie elektrónového lúča po zvarenci.

Automatická fokusácia elektrónového lúča bude riešená ako prídavný autonómny modul, ktorý je osovo symetricky vložený do vákuovej komory pod elektrónové delo. Hárdiverová časť modulu bude pozostávať z meracieho Faradayovho valca, meracej štrbiny, zostrojenej z tantalovej alebo volfrámovej zliatiny a chladiacich medených blokov. Elektrická časť bude tvoriť sústava snímačov parametrov merania. Budú snímané nasledovné parametre: časový priebeh zvaracieho prúdu, urýchľovacie napätie, fokusačný prúd, frekvencia vychyľovania, prúd žeravenia katódy, veľkosť riadiaceho napätia wehneltovej elektródy a vzdialenosť meracej sondy od fokusačnej cievky. Softvérová časť modulu zabezpečí generovanie potrebných meracích signálov, zber dát a ich spracovanie do grafickej a tabuľkovej formy. Výstupom bude tvar obálky

elektrónového lúča pri nastavených parametroch procesu a učenie polohy a priemeru ohniska lúča. Meranie bude pre nastavené parametre vykonané automaticky.

Etapa 4: Výskum navádzania elektrónového lúča na zvarový spoj a programové vybavenie elektrónovolúčového technologického komplexu

Modul navádzania elektrónového lúča na zvarový spoj je určený pre aplikácie lineárneho zvárania dlhých a štíhlych zvarencov a pri realizácii čelných a obvodových zvarových spojov. Nahrádza doteraz používané manuálne nastavovanie polohy elektrónového lúča na zvarový spoj pomocou optického pozorovania na obrazovke monitora. Meracie systémy modulu určia aktuálnu polohu zvarovej trajektórie v mieste zvárania a zabezpečia automatické nastavenia elektrónového lúča na zvarový spoj. Správnu činnosť modulu zabezpečí aj potrebná príprava zvarových plôch. Identifikácia polohy zvarového spoja je realizovaná skenovaním spoja kolmo na smer zvárania.

Programové vybavenie elektrónovolúčového technologického komplexu pozostáva z technologických príkazov (ovládajúcich parametre elektrónového lúča) a pohybových príkazov (ovládajúcich pohybové mechanizmy), ktoré musia byť vzájomne synchronizované. Z hľadiska technológie zvárania a spracovania materiálov elektrónovým lúčom je potrebné programovo riadiť technologické parametre, ako sú zvarací prúd, fokusačný prúd, parametre technologických pohybov lúča (amplitúda, fázový posun, frekvencia). V prípade pohybových príkazov je účelná voľba a definovanie bodov a tvarov trajektórie (súradnice X, Y, W, pohyb lineárny/oblúk) a súradnicového systému (absolútny/relatívny), zadefinovanie rýchlostí a zrýchlení pohybov pre jednotlivé segmenty programu. Vytváranie a vkladanie subrutín technologických a pohybových príkazov a ich vkladanie do zvaracieho programu umožní zjednodušiť štruktúru programu.

Plánované výstupy riešenia:

Vstup Slovenskej republiky do Európskej únie výrazne zvýšil konkurenciu v oblasti využitia zvaracích technológií vo výrobných procesoch. Pre udržanie konkurencieschopnosti firmy sa ukázalo ako nevyhnutné posilniť inováciu vlastných výrobkov a poskytovaných služieb pre priemysel prostredníctvom rozvoja vlastného výskumu a vývoja.

Hlavné výstupy projektu:

Hlavnými výstupmi projektu budú nové alebo inovované hardvérové a softvérové moduly elektrónovolúčových zvaracích komplexov, ktoré podstatným spôsobom zvýšia technickú úroveň týchto zariadení:

- inovovaný kompaktný modul elektrónového dela,
- modul protivýbojovej ochrany elektrónového dela,
- inovovaný modul rastrovania elektrónového lúča,
- nové moduly monitorovania a editácie parametrov technologického procesu,
- nový modul automatickej fokusácie elektrónového lúča,
- modul automatického navádzania elektrónového lúča na zvarový spoj,
- modul diaľkovej diagnostiky elektrónolúčového komplexu pomocou webových aplikácií.
- modul softvérového vybavenia elektrónovolúčového komplexu.

Prípadný dopyt po výstupoch / využitie výsledkov:

Projekt je orientovaný do rozvoja priemyselných high-tech elektrónovolúčových technológií, ktoré akcelerujú hospodársky a spoločenský rozvoj a sú nevyhnutnou podmienkou pre zvýšenie technickej úrovne a konkurencieschopnosti priemyselnej výroby vo všetkých regiónoch Slovenska najmä v rámci automobilového, strojárského a energetického priemyslu.

Využitie novovyvinutých modulov predmetných technologických komplexov a technologických postupov domácimi podnikateľskými subjektmi (napríklad formou výrobnéj a výskumnej kooperácie) umožní zvýšenie kvality a sortimentu výroby slovenských výrobcov a prispeje k posilneniu konkurencieschopnosti slovenského priemyslu. Následným efektom je aj zvýšenie exportu.

Spolupráca na projekte s partnermi (Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave a Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave) prispeje k rozšíreniu spolupráce podnikateľského sektora s vysokými školami a k využitiu výsledkov projektu pri vzdelávaní inžinierov, doktorandov a mladých vedeckých pracovníkov.

Výsledky riešenia projektu za rok 2015

Názov projektu:

Výskum novej generácie elektrónovolúčových komplexov určených na vákuové zváranie hliníkových a horčíkových zliatin

Druh projektu:

Projekt priemyselného výskumu

Doba riešenia:

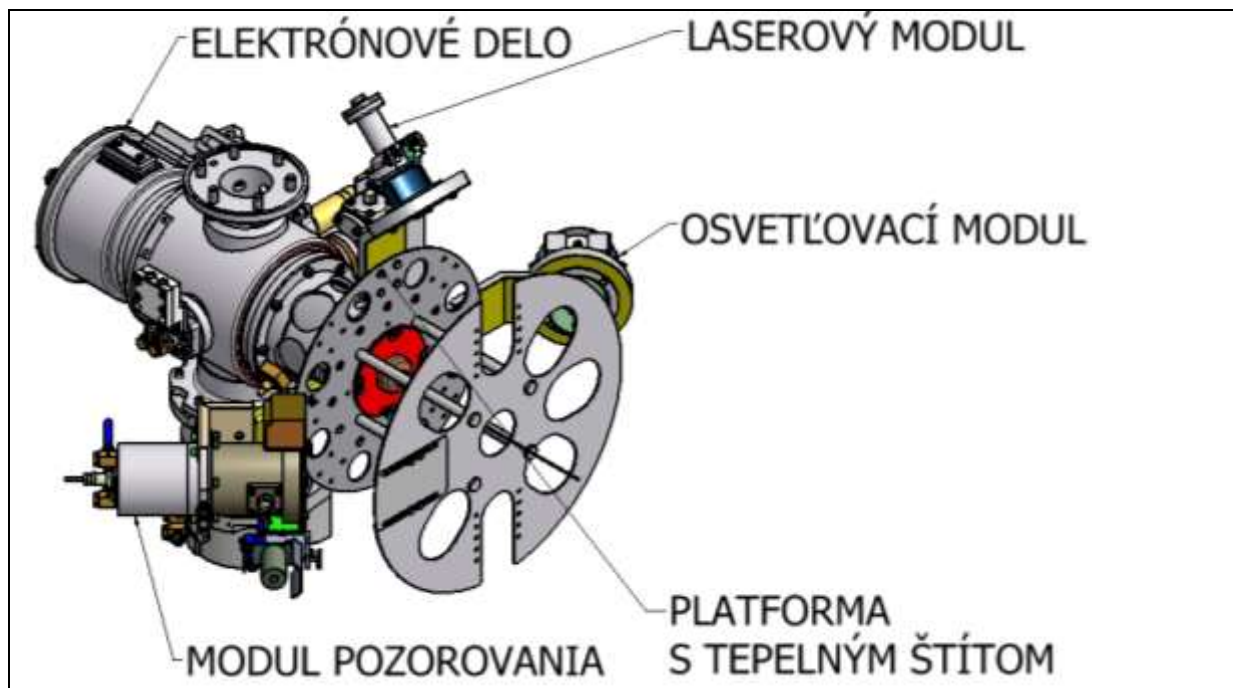
09/2015 – 12/2015

Dosiahnuté výsledky:

Etapa 1: Výskum modulov elektrónového dela do vákua a monitorovanie a analýza procesných dát

V rámci Etapy 1 Výskum modulov elektrónového dela do vákua a monitorovanie a analýza procesných dát bola vykonaná inovácia modulu elektrónového dela, určeného pre zváranie vo vnútri vákuovej komory. Cieľom riešenia bolo dosiahnuť výrazné zníženie hmotnosti dela použitím konštrukčných materiálov na báze pevných hliníkových zliatin. Pri navrhnutom riešení bola aktuálna hmotnosť dela znížená zo 63 kg na 38 kg. Bola vyriešená aj zvýšená spoľahlivosť hlavných uzlov dela, ako sú uzatvárací guľový ventil, olejové chladenie katódového uzla dela. Bola navrhnutá nová, demontovateľná ochrana vnútorných častí iónovodu pred nežiaducim naparením a rozstrekom. S použitím výpočtových simulačných programov boli navrhnuté a odskúšané dva nové optické systémy elektrónového dela. Jeden systém pre využitie kovovej molybdénovej katódy, určený pre zváranie hliníkových zliatin a druhý pre využitie kryštalickej lantanboridovej katódy s dlhou životnosťou. Vzhľadom na možnosť nežiaduceho vplyvu meračov vákua na kvalitu lúča bolo optimalizované umiestnenie vákuových mierok na telese dela.

S využitím pružného kovového kompenzátora bol navrhnutý nový spôsob plnenia chladenia katódového uzla s pretlakom a možnosťou monitorovania hladiny. Integrálnou súčasťou elektrónového dela, určeného pre zváranie vo vákuu, je modul prídavných zariadení. Pre tento modul bola navrhnutá pevná kovová platforma z hliníkovej zliatiny, ktorá nesie kamerový modul pozorovania procesu zvárania, modul osvetlenia pracovnej scény a laserový modul zamerania fokusačnej vzdialenosti. Bol skonštruovaný úplne nový modul pozorovania procesu zvárania s integrovaním osvetlením.

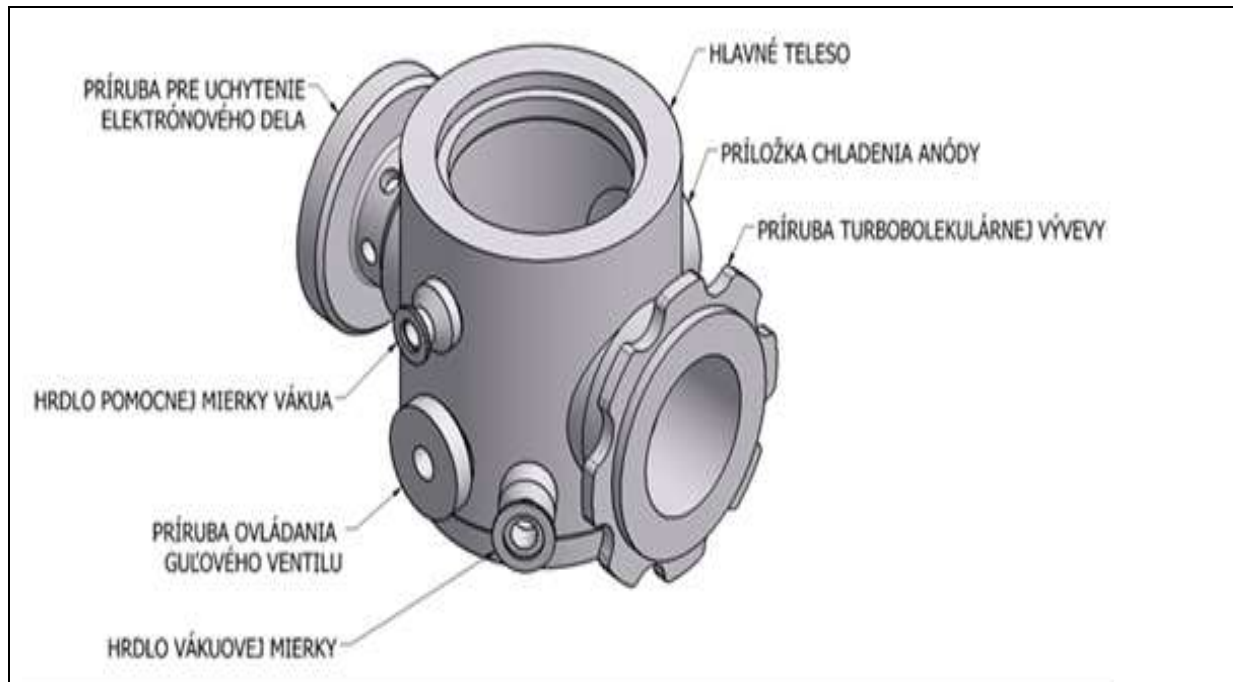


Obr.1 Kompaktný modul inovovaného elektrónového dela určený na zváranie vo vnútri vákuovej komory

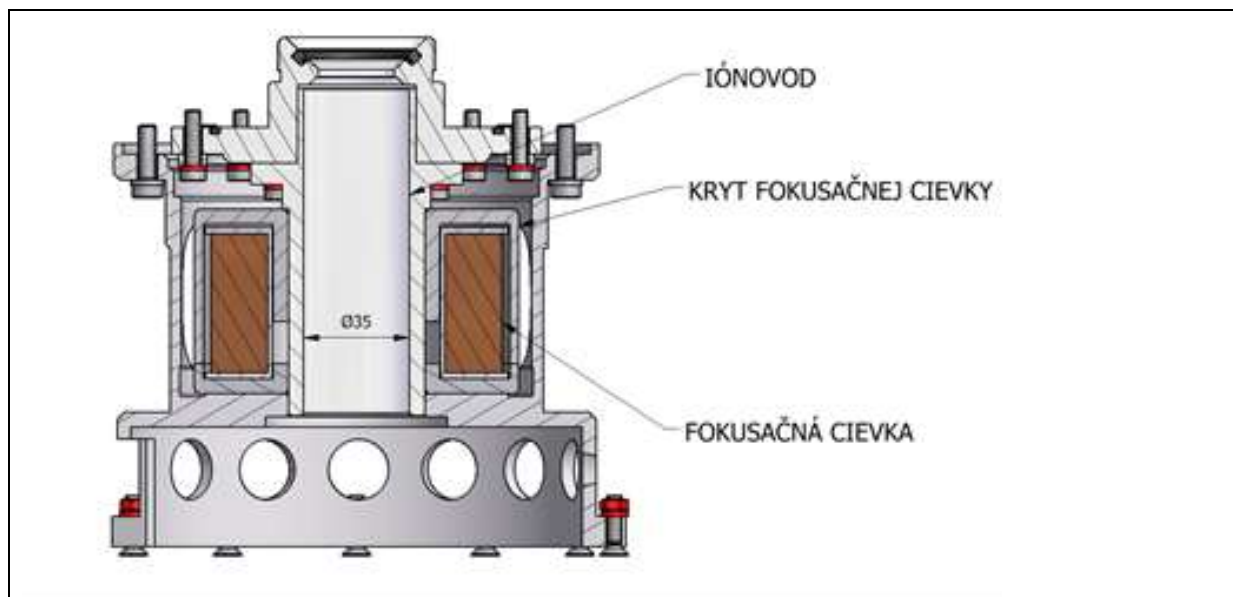
Zníženie hmotnosti elektrónového dela

Dosiahnuté zníženia hmotnosti jednotlivých častí elektrónového dela.

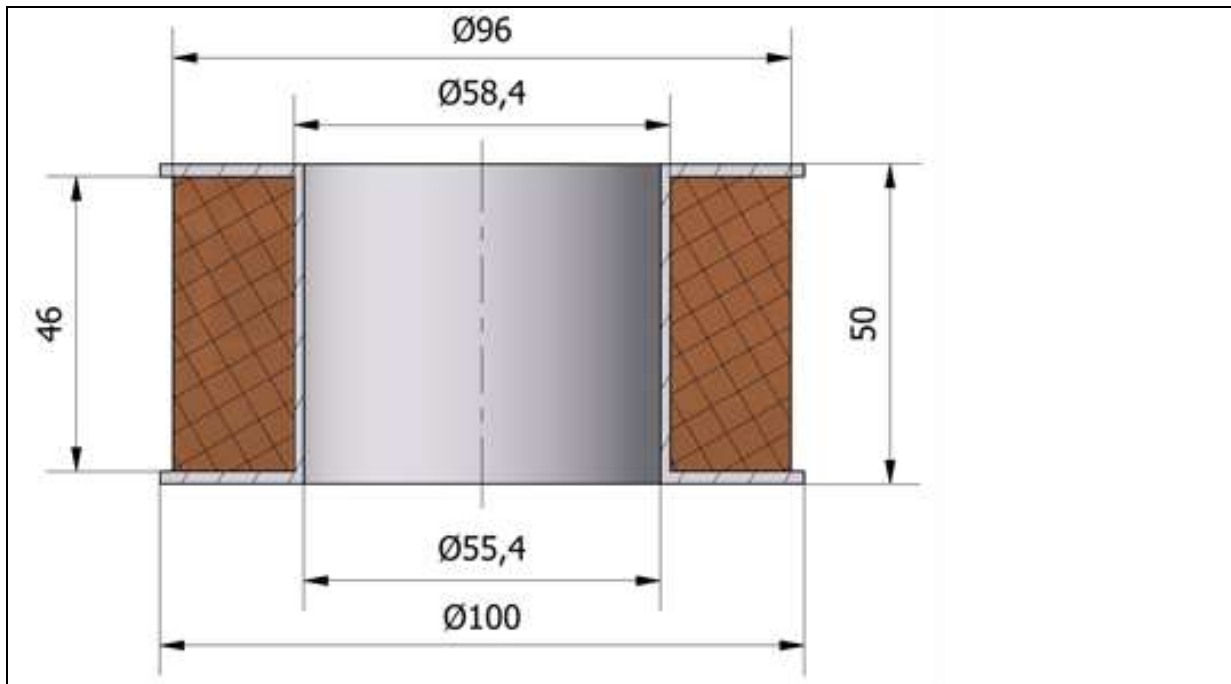
- ✿ Horné teleso elektrónového dela.
- ✿ Pôvodná hmotnosť na 6,7 kg.
- ✿ Dosiahnutá hmotnosť na 1,9 kg.
- Úspora hmotnosti je 4,8 kg.
- ✿ Dolné teleso elektrónového dela.
- ✿ Pôvodná hmotnosť na 13,3 kg.
- ✿ Dosiahnutá hmotnosť 4kg.
- Úspora hmotnosti na dolnom telese je 9,3 kg.



Obr.2 Magnetická časť dela s iónovodom



Obr.3 Rez upravenou magnetickou časťou elektrónového dela.



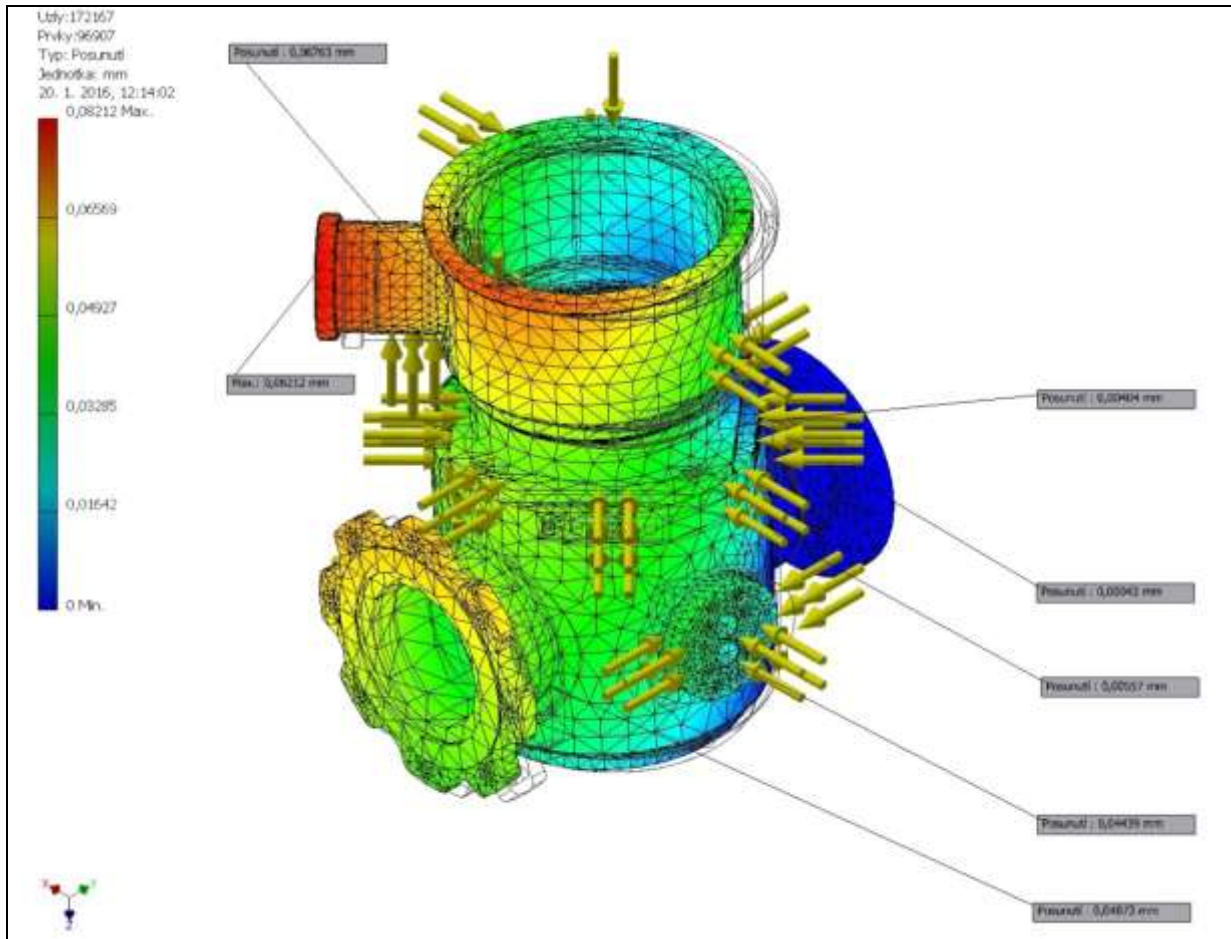
Obr.4 Rozmery upravenej fokusačnej cievky dela

Konštrukčnými úpravami bola znížená hmotnosť iónovodu s novou fokusačnou cievkou na hodnotu 4,9 kg. Úspora hmotnosti 2,2 kg

Výpočtová analýza dielov elektrónového dela

- ✱ Výpočtová analýza dielov elektrónového dela so zvoleného materiálu AW-6082.
- ✱ Konštrukcia elektrónového dela, ktoré je umiestnené vo vákuovej komore, je vystavená najväčšiemu namáhaniu v momente, keď je vákuová komora zavzdušnená a v dele je pracovný tlak 10^{-5} Pa.
- ✱ V návrhovom systéme Autodesk Inventor bol vytvorený 3D model konštrukcie elektrónového dela.
- ✱ Vo výpočtovom module návrhového systému Autodesk Inventor Simulation 2011 bola pomocou metódy konečných prvkov (MKP) vykonaná napäťová a deformačná analýza konštrukcie elektrónového dela.

Analýza deformácií konštrukcie elektrónového dela použitím metódy konečných prvkov MKP .



Obr.5 Vykonaná analýza preukázala, že navrhnutá konštrukcia nedosahuje v rozhodujúcich uzloch konštrukcie deformáciu väčšiu ako 0,004 mm.

Ďalej bol riešený softvérový modul zberu a analýzy procesných dát. Pre dosiahnutie opakovanej kvality elektrónovolúčového zvarania je dôležité dodržať rozhodujúce parametre zvaracieho procesu ako sú hodnota urýchľovacieho napätia, zvaracieho prúdu, fokusačný prúd, zvaracia rýchlosť, poloha elektrónového lúča vzhľadom na zvarový spoj a podobne. Pre spätnú diagnostiku sa tieto a ďalšie vybrané parametre zaznamenávajú počas celej doby zvarania. V priebehu riešenia projektu bol vytvorený samostatný program pre zber procesných dát a samostatný program pre analýzu dát. Dáta sú odčítavané zo snímačov

riadiaceho systému a je možné simultánne zaznamenávať 15 a viac parametrov procesu s periódou vzorkovania 1 až 10 ms. Pre vybrané parametre je perióda vzorkovania premenlivá. Vytvorený softvér umožňuje zber a ukladanie dát pochádzajúcich z viacerých zdrojov. Archivované dáta z jednotlivých snímačov sú v špeciálnom binárnom formáte posielané po komunikačnej linke do archivačného počítača, ktorý im priraďuje identifikačné znaky a ukladá podľa času vzniku na pamäťové médium. Navyše program zaznamenáva aj všetky binárne stavy pohonov. Vyvinutý program pre analýzu dát predstavuje špeciálny prehliadač veľkého kvanta binárnych dát v grafickej a tabuľkovej forme. Pre kalibráciu zaznamenávaných dát bola vytvorená metodika a navrhnuté a zostavené kalibrované moduly pre meranie všetkých parametrov elektrónového lúča.

Záznam, archivácia a analýza procesných dát pri elektrónovolúčovom zváraní

Zaznamenávané parametre môžeme rozdeliť do troch základných skupín:

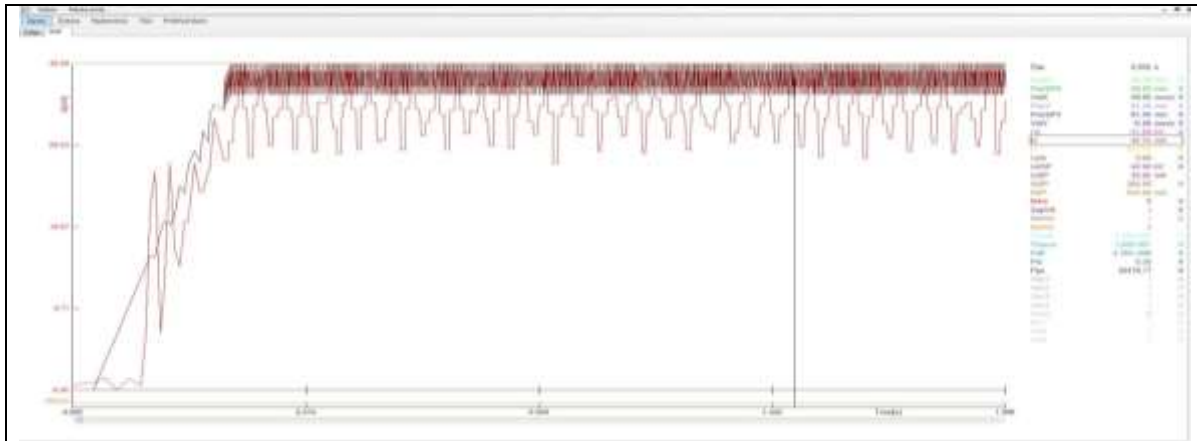
- energetické parametre zvárania skutočné a požadované, U_z , I_z , ...,
- parametre prostredia ako sú hodnoty vákua v komore a v kanóne,
- parametre priebehu polohovania zvarenca ako sú zváracia rýchlosť, poloha, stav počítača riadenia a podobne.

Hodnoty pre záznam vznikajú v troch riadiacich častiach systému:

PLC riadenia energobloku,
PLC riadenia vákua,
počítač riadenia polohovacieho systému.

Softvérový modul zberu a analýzy procesných dát

Záznam, archivácia a analýza procesných dát pri elektrónovolúčovom zváraní.



Obr.6 Záznam, archivácia a analýza procesných dát pri elektrónovolúčovom zváraní.

Hlavné výstupy riešenia

1. Nový dizajn elektrónového dela, určeného pre zváranie vo vákuu s výrazne zníženou hmotnosťou
2. Program pre zber a analýzu procesných dát pri zváraní elektrónovým lúčom

Finančné prostriedky v roku 2015

Dotácia zo ŠR:	Vlastné prostriedky:	Intenzita pomoci:
Plán: 145 243,00 eur	Plán: 75 415,00 eur	Plán: 67,35%
Čerpanie: 145 243,00 eur	Čerpanie: 75 415,00 eur	Skutočnosť: 67,35%

Výsledky riešenia projektu za rok 2016

Doba riešenia:

01/2016 – 12/2016

Dosiahnuté výsledky:

Etapu 2: Inteligentné riešenie protivýbojovej ochrany a diaľková diagnostika elektrónovolúčového technologického komplexu

V rámci „Etapy 2“ predmetného projektu priemyselného výskumu boli riešené dva kľúčové problémy dizajnu elektrónovolúčových komplexov. Prvým riešeným problémom bola inovácia hardvérového riešenia elektronickej protivýbojovej ochrany elektrónového dela, ktorá zohráva významnú úlohu pri zabezpečení kvality a reprodukovateľnosti vyhotovených zvarových spojov. Druhým riešeným problémom bolo návrh koncepcia a realizácia diaľkovej diagnostiky elektrónovolúčového zariadenia pomocou webových aplikácií, ktoré umožňuje dodávateľovi vzdialený prístup k vybraným modulom, dátovým súborom a riadiacim obvodom zariadenia u užívateľa za účelom diagnostiky poruchových stavov, servisu obvodových a softvérových modulov a v rámci povolených kompetencií aj vzdialený zásah do programového vybavenia prípadne nastavenie regulačných slučiek riadiacich modulov. V spolupráci s MTF STU v Trnave boli posudzované účinky výboja na kvalitu a celistvosť zvarového spoja.

Inovácia hardvérového riešenia elektronickej protivýbojovej ochrany elektrónového dela

V rámci riešenia nového dizajnu protivýbojovej ochrany bol hlavný dôraz kladený na zrýchlenie detekcie výboja súčasným snímaním viacerých parametrov generátora elektrónového lúča, ktoré umožnia rýchlejšiu reakciu na elimináciu nepriaznivých účinkov výboja vo vzťahu k vytváranému zvarovému spoju. Táto takzvaná aktívna prevencia v našom riešení dosiahla parametre rýchlosti detekcie výboja na úrovni

do 100 mikrosekúnd a celkový čas na obnovenie procesu zvárania do 8 až 10 ms, čo je hodnota lepšia ako sme očakávali. Bola dosiahnutá optimalizáciou meracích traktov vysokonapäťovej časti zváracieho zdroja. Pre dosiahnutie daného cieľa bol uskutočnený a vyhodnotený celý rad experimentov, ktoré umožnili optimalizovať impedančné charakteristiky snímacích obvodov, eliminovať účinky rušiacich signálov od prechodových dejov na parazitických impedanciách.

Modul protivýbojovej ochrany

Význam protivýbojovej ochrany elektrónového dela:

Zabraňuje vzniku defektov v zvarovom spoji v prípade náhodného výboja v dele alebo v prípade krátkodobého skratu v elektronike VN zdroja a pomocných zdrojov generátora lúča. Rýchlosť reakcie na skrat alebo výboj hrá podstatnú úlohu pri eliminácii defektov v zvarovom spoji. V čase výpadku zvárania do 10 ms nedochádza vo väčšine prípadov k zatuhnutiu zvarového kúpeľa a pravdepodobnosť vzniku defektov v zvarovom spoji je minimálna. Správna funkcia protivýbojovej ochrany má veľký význam pri zváraní komponentov s vysokou hodnotou zváraného dielca. Protivýbojová ochrana má význam aj pri zváraní hliníkových a horčíkových zliatin. V procese zvárania vzniká nadmerný rozstrek zvarového kúpeľa a tvorba pár prvkov s nízkym bodom tavenia.

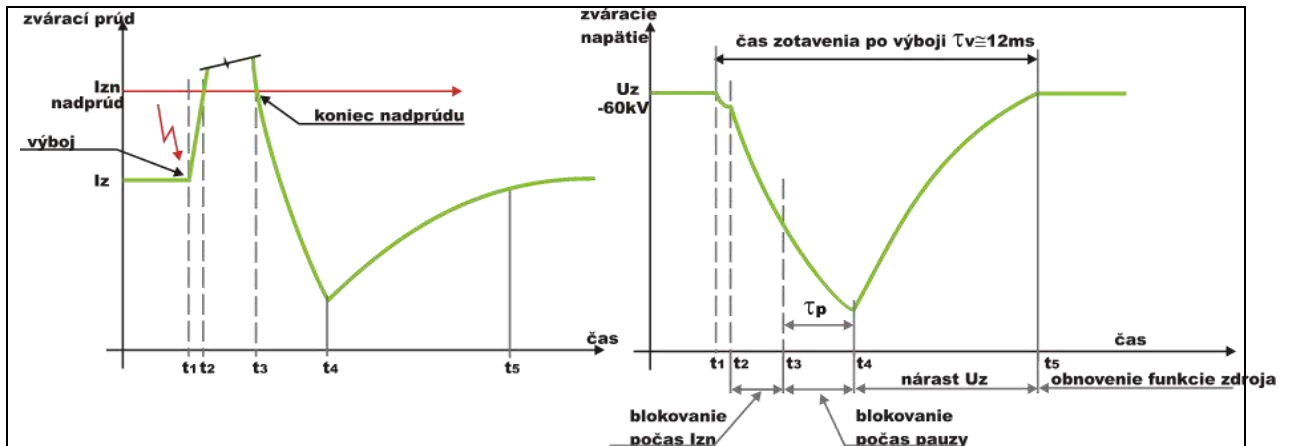
Prítomnosť rozstrekú a kovových pár výrazne zvyšujú náchylnosť dela na vznik mikrovýbojov. Pravdepodobnosť vzniku defektov zvarového spoja je vysoká.

Pri riešení boli stanovené rozhodujúce kritériá návrhu nasledovne:

- včasná detekcia vznikajúceho elektrického prierazu (resp. skratu)
- utlmenie výboja
- pohltenie zachytenej energie
- minimalizácia energie výboja v dele
- rýchla regenerácia obvodu

Realizácia projektu zahrňuje návrh pasívnej aj aktívnej časti protivýbojovej ochrany, ktorá bude implementovaná do existujúceho riešenia vn zdrojov pre elektrónovolúčové zváranie.

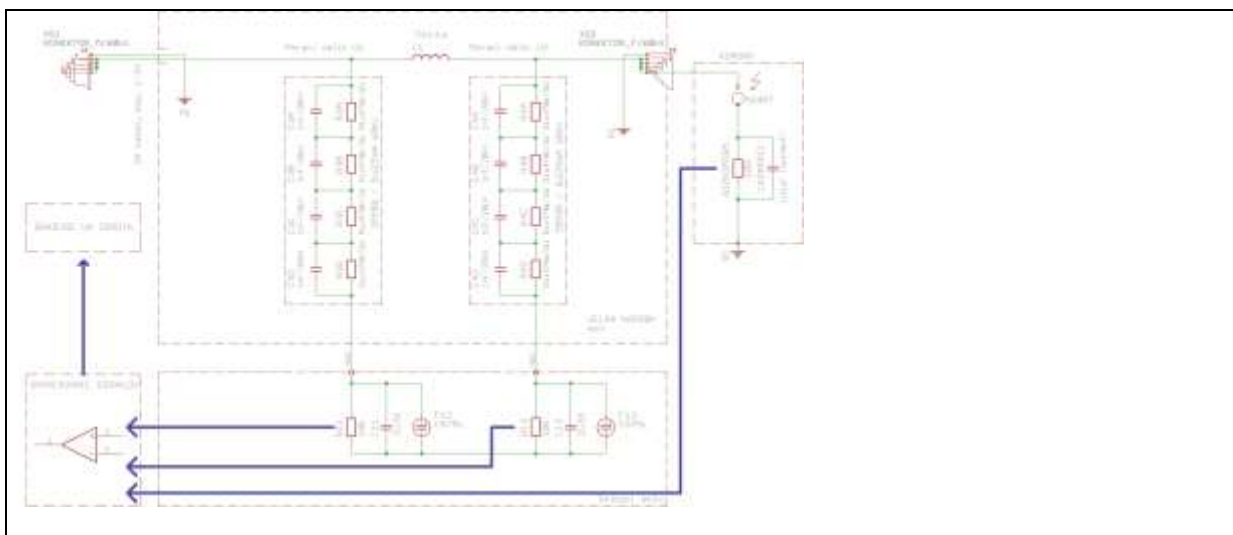
Navrhnutý koncept a princíp činnosti protivýbojovej ochrany je znázornený na Obr. č. 1. Predpokladajme, že vykonávame zváranie elektrónovým lúčom pri urýchľovacom napätí U_z 60 kV a zvaracom prúde I_z . V čase zvárania t_1 nastane krátkodobý výboj v elektrónovom dele, následkom čoho okamžite vzrastie zvarací prúd I_z , a v dôsledku prudkého zaťaženia VN zdroja čiastočne poklesne aj urýchľovacie napätie. Ak hodnota zvaracieho prúdu narastie až nad hodnotu I_{zn} , čo je nami povolená maximálna hodnota zvaracieho nadprúdu, v tom okamžiku t. j. v čase t_2 nastáva zablokovanie činnosti striedača, ktorý dodáva energiu do VN zdroja. V dôsledku zablokovania činnosti striedača urýchľovacie napätie exponenciálne klesá. Blokovanie od nadprúdu končí v čase t_3 , keď hodnota I_z klesla pod hodnotu I_{ZN} . Po skončení nadprúdu zostane striedač blokovaný ešte ďalší čas T_p , označený ako PAUZA, ktorý je potrebný na deionizáciu prostredia v elektrónovom kanóne po výboji. Z fyzikálneho hľadiska je to čas, potrebný na rekombináciu iónov po elektrickom výboji v kanóne, ktorý je potrebný na to, aby prostredie medzi elektródami nadobudlo pôvodnú izolačnú pevnosť. Čas pauzy môžeme nastaviť od 0,5 do 2 ms. Po uplynutí týchto časov nastáva odblokovanie činnosti striedača. Odblokovanie striedača zabezpečí nárast urýchľovacieho napätia na nastavenú hodnotu a obnovenie činnosti zvárania. Je dôležité, aby čas od momentu výboja do obnovenia činnosti zvárania t_v bol menší ako 10 ms a menej. Počas tohto času nedochádza k solidifikácii zvarového kúpeľa, to znamená, že roztavený zvarový kov zostáva prevažne v kvapalnej forme. Pri dodržaní tejto podmienky môže zváranie pokračovať bez vytvorenia defektu v zvarovom spoji.



Obr. 1 Činnosť protivýbojovej ochrany

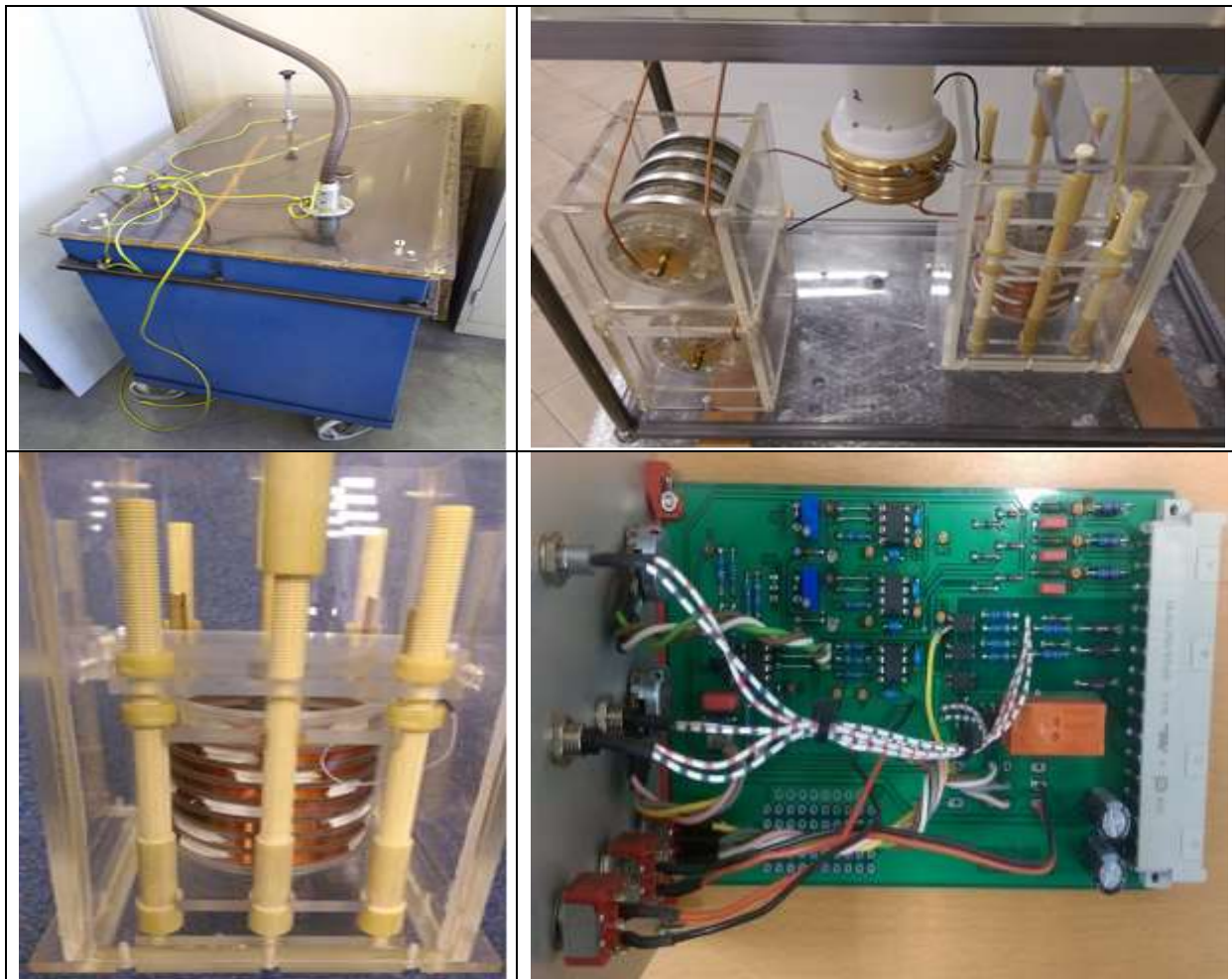
Metodika a schéma merania

Pre experimentálne overenie priebehu výboja bola navrhnutá schému riešenia, obr. 2, a boli vyrobené komponenty obvodov, ktoré sme umiestnili do VN nádoby, naplnenej transformátorovým olejom. Funkcia tlmičky pri skrate bude monitorovaná meraním napätia na tlmičke v priebehu skratu. Na jej vstupe a výstupe sú osadené vysokonapäťové frekvenčne kompenzované snímacie deliče. Signály z nich sú rýchlou elektronikou spracované a výstup je privedený do budiaceho stupňa strieďačového VN zdroja.



Obr. 2 Nový dizajn obvodového riešenia protivýbojovej ochrany elektrónového dela.

Pre realizáciu experimentov boli zhotovené testovacie odporové záťaže s možnosťou skokovej zmeny zaťaženia zdroja až do nominálneho výkonu 30 kW. Bol navrhnutý a vyrobený frekvenčne kompenzovaný vysokonapäťový merací delič, bola navrhnutá a vyrobená a optimalizovaná vysokonapäťová tlmivka a bola tiež navrhnutá a vyrobená experimentálna vysokonapäťová nádoba pre základné experimenty nového dizajnu Obr. 3.



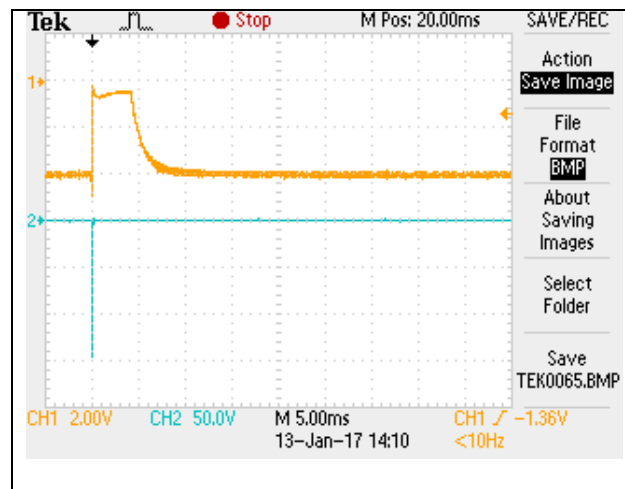
Obr.3. Moduly, zhotovené na pre realizáciu experimentov

Druhá časť experimentov bola zameraná na skúšky protivýbojovej ochrany pri priamom skrate vo vákuovom prostredí.



Obr. 4. Experimentálne pracovisko, ktoré umožňuje riadenú inicializáciu skratu.

V rámci tejto časti riešenia bolo zhotovené unikátne experimentálne pracovisko, ktoré umožnilo riadenú inicializáciu skratu vo vákuovej komore. Pomocou obstaraných vákuových komponentov bolo v experimentálnej vákuovej komore vytvorené potrebné vákuum. V komore bol uložený špeciálny pohybový mechanizmus, ktorý umožnil riadenú inicializáciu skratu. Boli vytvorené základné podmienky pre realizáciu série experimentov pri opakovaných skratoch systému ako aj v podmienkach tvrdého skratu. Výsledky experimentov umožnili optimalizovať topológiu finálneho dizajnu inteligentnej protivýbojovej ochrany, ktorej výstupné parametre spĺňajú zadávané technické parametre. Príklady nameraných výsledkov o priebehu činnosti protivýbojovej ochrany pri výboji v elektrónovom dele sú znázornené na obrázku č. 5, ktorý zachytáva časový priebeh urýchľovacieho napätia (oranžová farba) a zvaracieho prúdu (modrá farba) pri skrate a následnom obnovení po zaniknutí skratu pri správnej činnosti elektroniky protivýbojovej ochrany. Identifikácia výboja bola realizovaná do 100usec, celkový čas obnovy parametrov zvarania nepresiahol 8ms .



Obr. 5 Činnosť protivýbojovej ochrany

Dosiahnuté výsledky Riešenia PVO

Zhrnutie výsledkov riešenia:

- Optimalizované dynamické vlastnosti meracích obvodov umožnili, aby čas detekcie výboja nepresiahol 100 mikrosekúnd
- Nová topológia obvodového riešenia a upravené regulátory napätia umožnili dosiahnuť skrátenie času na obnovenie podmienok pre pokračovanie procesu zvarovania na hodnotu menej ako 10 ms.
- Zaradenie tlmivky do série s delom ukázali, že v podmienkach tvrdého skratu generuje vysoké indukované napätia ktoré, ovplyvňujú čas detekcie výboja a výrazne zvyšujú čas obnovy podmienok zvarovania.
- Merania ukázali, že ako vhodná impedancia pre obmedzenie energie do výboja bude vysokonapäťový rezistor.
- Obmedzenie vplyvu parazitickej kapacity vysokonapäťového kábla na zoslabenie energie výboja je možné iba výberom vhodného kábla s minimálnou kapacitou.
- V spolupráci s MtF STU v Trnave boli posudzované účinky výboja na kvalitu a celistvosť zvarového spoja.

Modul diaľkovej diagnostiky elektrónolúčového komplexu pomocou webových aplikácií

Druhým riešeným problémom v rámci predmetného projektu bol návrh a realizácia diaľkovej diagnostiky zvaracieho komplexu pomocou webových aplikácií. Na základe analýzy dostupných hardvérových modulov v spolupráci s FEI STU sme zvolili nasledovné riešenie vzdialeného prístupu.

Modul diaľkovej diagnostiky elektrónolúčového komplexu

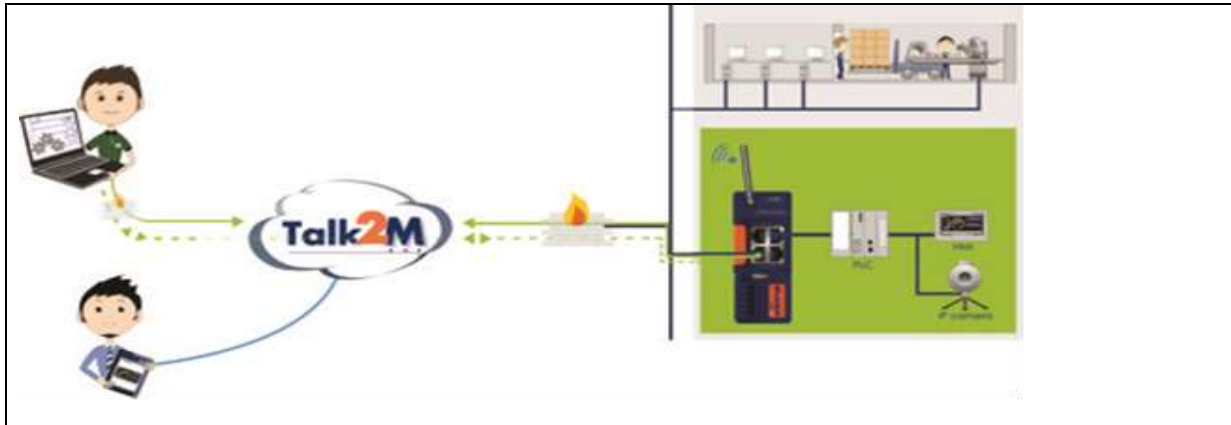
Ciele riešenia

Technické ciele, ktoré sme stanovili pre modul diaľkovej diagnostiky s využitím webových aplikácií (vzdialený prístup k sofistikovaným technologickým komplexom) musí umožňovať:

- prijatie výstražnej správy v prípade vzniku poruchy,
- prístup k chybovým hláseniam a k databáze procesných dát (prístup k modulu zberu procesných dát) užívateľa,
- vzdialene pracovať vo vývojovom prostredí technologického komplexu,
- zobrazíť vizualizáciu stavu vákuového čerpaceho systému,
- zobrazíť stav polohovacieho systému a jednotlivých servomeničov,
- zobrazíť aktuálny stav vstupno-výstupného systému s možnosťou zmeny hodnoty vybraných vstupov a výstupov, alebo ich konfigurácií,
- sprístupniť obrazovú informáciu z miesta web kamerou
- možnosť sledovať proces zvarovania zobrazením vykonávaných príkazov a hodnoty aktuálnych zvaracích parametrov.
- zabezpečiť prenos údajov pred zneužitím.

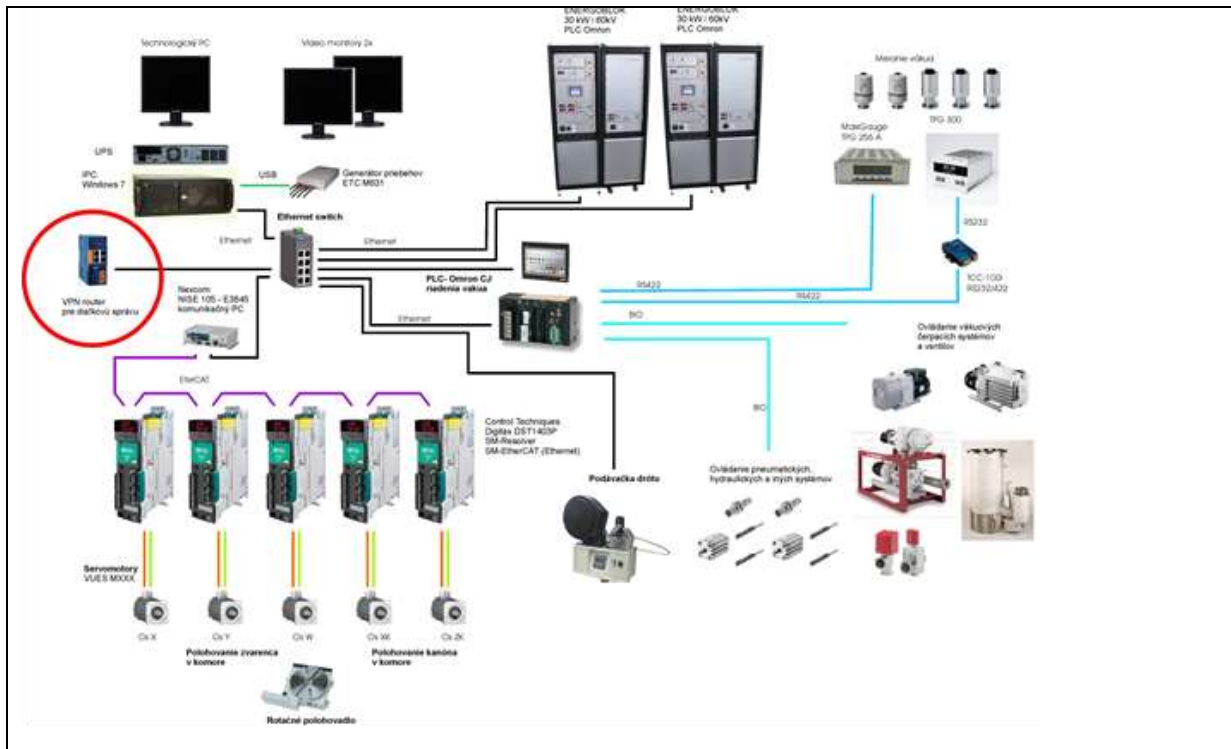
Pre pripojenie zariadenia ku vzdialenému prístupu bol použitý priemyselný smerovač firmy eWON a pre vytvorenie komunikačného

kanála pre prenos dát medzi zariadením a vzdialeným užívateľom bola využitá internetová služba Talk2M (z anglického Talk to Machines) obr.6.



Obr.6. Riešenie modulu diaľkovej diagnostiky

Tieto prostriedky boli integrované a optimalizované pre potreby konkrétneho technologického komplexu – v našom prípade elektrónovolúčového technologického komplexu. Na vytvorenie vzájomného spojenia medzi zariadením a servisným PC sa využíva „oblačová“ služba Talk2M. Smerovač eWON COSY sa cez podnikovú sieť pripojí k službe Talk2M na účet, ktorý bol vytvorený pri prvotnom nastavení. K rovnakému účtu sa pripojí aj servisné PC a po vytvorení spojenia z prostredia programu eCatcher služba pripojí servisné PC do vzdialenej siete. Potom už môže programátor pracovať tak, akoby bol priamo pri zariadení. Pomocou vývojového SW upravuje program v PLC, sleduje záznamy o poruchách a mimoriadnych udalostiach alebo sleduje činnosť cez web kameru obr. 7.



Obr.7 Integrácia modulu diaľkovej diagnostiky

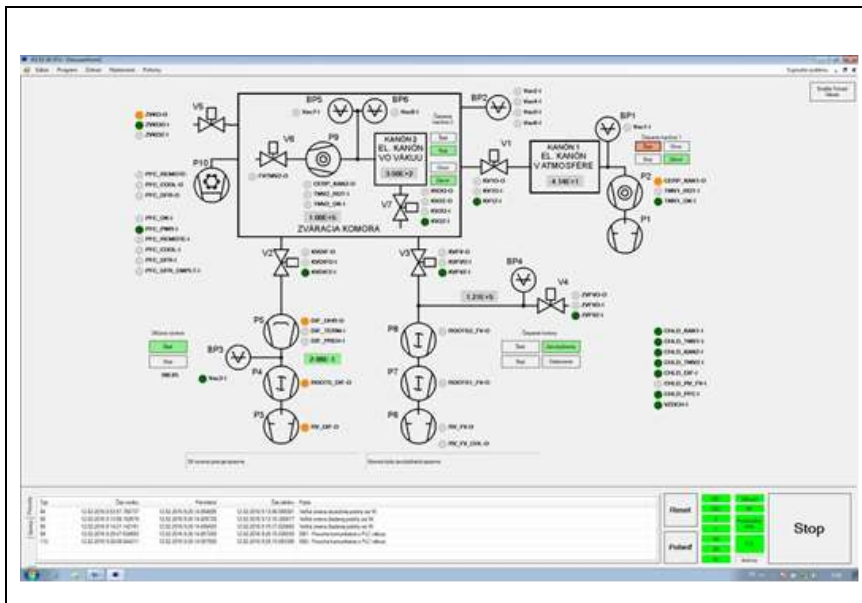
Príklady diaľkovej správy technologického komplexu

Na nasledujúcich odstavcoch sú uvedené konkrétne príklady diaľkovej správy elektrónovolúčového technologického komplexu, ktoré poukazujú na nové možnosti prístupu k vybraným dátam zariadenia.

Správy	Poruchy					
	Typ	Čas vzniku	Potvrdený	Čas zániku	Popis	
	78	17.02.2016 15:28:24.777453	17.02.2016 15:28:28.930838	17.02.2016 15:28:27.837803	Veľká zmena skutočnej polohy osi Y.	
	80	17.02.2016 15:28:24.777488	17.02.2016 15:28:28.931606	17.02.2016 15:28:27.837905	Veľká zmena skutočnej polohy osi XK.	
	84	17.02.2016 15:28:25.377304	17.02.2016 15:28:28.932368	17.02.2016 15:28:27.837940	Veľká zmena skutočnej polohy osi W.	
	77	17.02.2016 15:28:34.136603	17.02.2016 15:28:36.514782	17.02.2016 15:28:35.337105	Veľká zmena žiadanej polohy osi X.	
	116	17.02.2016 15:59:51.550376	17.02.2016 16:17:16.703106	17.02.2016 16:14:39.087585	EB2 - Porucha komunikácie s PLC vákua.	
	103	17.02.2016 15:59:55.301266	17.02.2016 16:17:16.703365	17.02.2016 16:17:16.497567	EB1 - Porucha komunikácie s PLC vákua.	

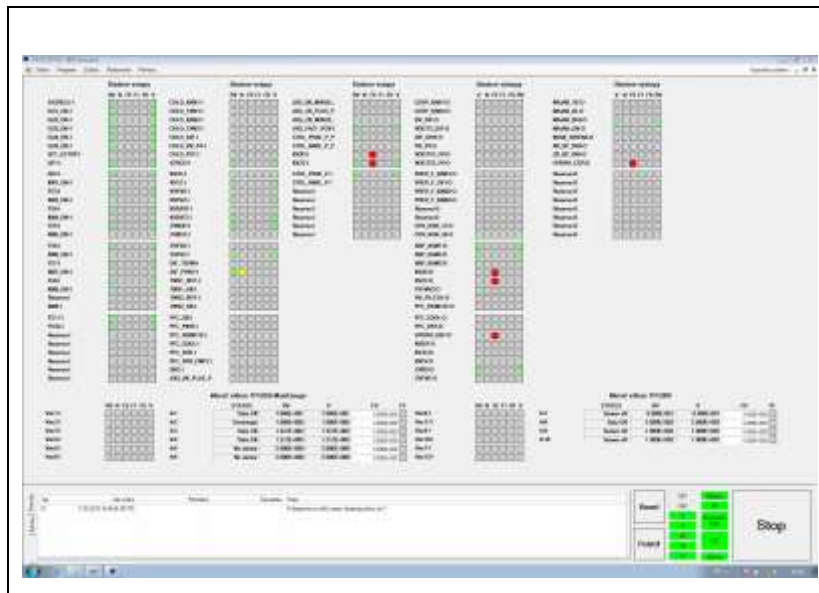
Obr. 8 Okno klient aplikácie diaľkovej správy s chybovými hláseniami

Okno slúži na zobrazenie zoznamu chýb, správ a signalizácii nadviazaných komunikácii. Vzniknutá chyba sa vypíše do záložky „Poruchy“ spolu s časom vzniku, časom zániku a časom potvrdenia.



Obr. 9 Obrázok klienta aplikácie diaľkovej správy pre sledovanie stavu vákuového čerpaceho systému

Okno slúži na sledovanie stavu vákuového podsystemu. V okne je znázornená schéma zapojenia vákuového systému spolu so stavom ventilov, výlev a tlakov v jednotlivých častiach.



Obr.10 Obrázok klienta aplikácie diaľkovej správy pre monitorovanie vstupno-výstupného systému PLC riadenia vakuá

Toto okno slúži na sledovanie stavu všetkých vstupov a výstupov riadiaceho PLC vaku. Ďalej je možné ručné riadenie pomocou nastavovania vnútených hodnôt pre vybrané vstupy a výstupy riadiaceho systému.



Obr. 11 Okno klient aplikácie diaľkovej správy pre sledovanie stavu polohovacieho systému

Okno slúži na zobrazenie aktuálneho stavu všetkých osí polohovacieho systému. Žiadaných a skutočných polôh, odchýlok polohy a okamžitej rýchlosti.

Vzdialený prístup ku archívu záznamov zväracích parametrov

Vytvorením komunikačného kanála medzi technologickým elektrónovolúčovým komplexom a dodávateľom zariadenia sme získali prístup ku archívu záznamov procesných parametrov, ktorý bol vytvorený SW modulom pre zber a analýzu procesných dát v prvom roku riešenia projektu.

Procesné parametre pre záznam vznikajú v troch častiach riadiaceho systému:

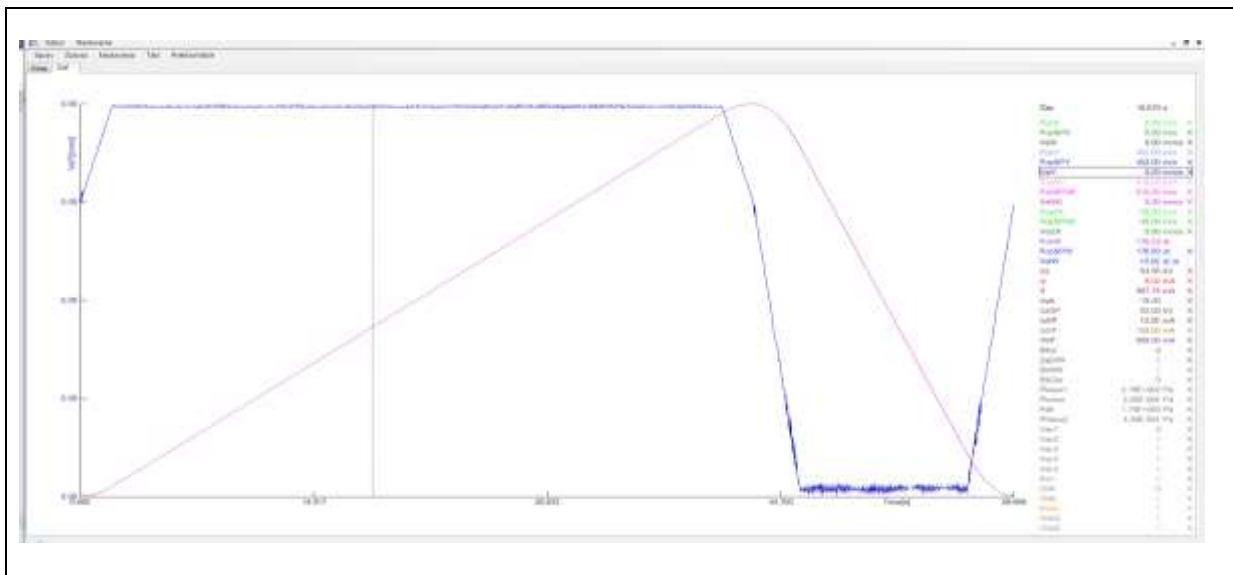
- PLC riadenia energobloku,
- PLC riadenia vaku,
- počítač riadenia polohovacieho systému.

Samotné hodnoty parametrov sú získavané meraním analógovými vstupmi, binárnymi vstupmi, snímačmi polohy servomeničov, prípadne čítaním stavu servomeničov.

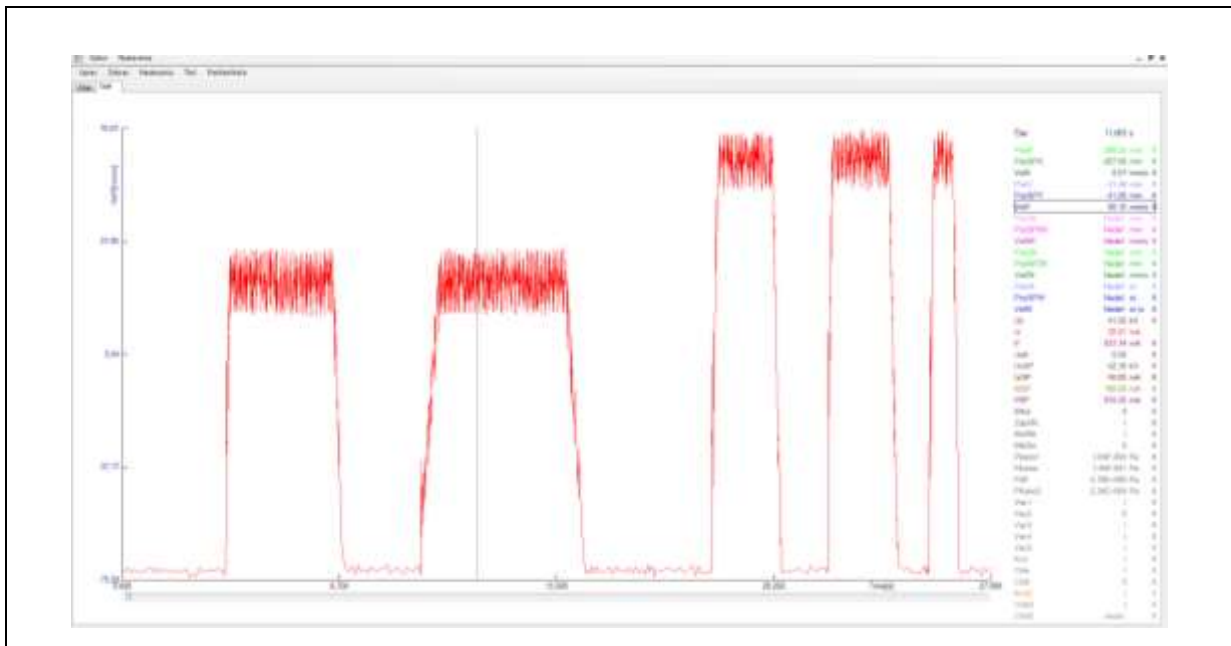
Všetky tieto časti riadiaceho systému vzájomne komunikujú po komunikačnej zbernici ethernet. Okrem konfiguračných správ hlavný tok dát je od týchto troch častí do technologického počítača, kde beží programový modul, ktorý tieto dáta triedi a ukladá na pevný disk.

Time	Current	Voltage	...
0.000	0.000	0.000	...
0.001	0.000	0.000	...
0.002	0.000	0.000	...
0.003	0.000	0.000	...
0.004	0.000	0.000	...
0.005	0.000	0.000	...
0.006	0.000	0.000	...
0.007	0.000	0.000	...
0.008	0.000	0.000	...
0.009	0.000	0.000	...
0.010	0.000	0.000	...
0.011	0.000	0.000	...
0.012	0.000	0.000	...
0.013	0.000	0.000	...
0.014	0.000	0.000	...
0.015	0.000	0.000	...
0.016	0.000	0.000	...
0.017	0.000	0.000	...
0.018	0.000	0.000	...
0.019	0.000	0.000	...
0.020	0.000	0.000	...
0.021	0.000	0.000	...
0.022	0.000	0.000	...
0.023	0.000	0.000	...
0.024	0.000	0.000	...
0.025	0.000	0.000	...
0.026	0.000	0.000	...
0.027	0.000	0.000	...
0.028	0.000	0.000	...
0.029	0.000	0.000	...
0.030	0.000	0.000	...
0.031	0.000	0.000	...
0.032	0.000	0.000	...
0.033	0.000	0.000	...
0.034	0.000	0.000	...
0.035	0.000	0.000	...
0.036	0.000	0.000	...
0.037	0.000	0.000	...
0.038	0.000	0.000	...
0.039	0.000	0.000	...
0.040	0.000	0.000	...
0.041	0.000	0.000	...
0.042	0.000	0.000	...
0.043	0.000	0.000	...
0.044	0.000	0.000	...
0.045	0.000	0.000	...
0.046	0.000	0.000	...
0.047	0.000	0.000	...
0.048	0.000	0.000	...
0.049	0.000	0.000	...
0.050	0.000	0.000	...
0.051	0.000	0.000	...
0.052	0.000	0.000	...
0.053	0.000	0.000	...
0.054	0.000	0.000	...
0.055	0.000	0.000	...
0.056	0.000	0.000	...
0.057	0.000	0.000	...
0.058	0.000	0.000	...
0.059	0.000	0.000	...
0.060	0.000	0.000	...
0.061	0.000	0.000	...
0.062	0.000	0.000	...
0.063	0.000	0.000	...
0.064	0.000	0.000	...
0.065	0.000	0.000	...
0.066	0.000	0.000	...
0.067	0.000	0.000	...
0.068	0.000	0.000	...
0.069	0.000	0.000	...
0.070	0.000	0.000	...
0.071	0.000	0.000	...
0.072	0.000	0.000	...
0.073	0.000	0.000	...
0.074	0.000	0.000	...
0.075	0.000	0.000	...
0.076	0.000	0.000	...
0.077	0.000	0.000	...
0.078	0.000	0.000	...
0.079	0.000	0.000	...
0.080	0.000	0.000	...
0.081	0.000	0.000	...
0.082	0.000	0.000	...
0.083	0.000	0.000	...
0.084	0.000	0.000	...
0.085	0.000	0.000	...
0.086	0.000	0.000	...
0.087	0.000	0.000	...
0.088	0.000	0.000	...
0.089	0.000	0.000	...
0.090	0.000	0.000	...
0.091	0.000	0.000	...
0.092	0.000	0.000	...
0.093	0.000	0.000	...
0.094	0.000	0.000	...
0.095	0.000	0.000	...
0.096	0.000	0.000	...
0.097	0.000	0.000	...
0.098	0.000	0.000	...
0.099	0.000	0.000	...
0.100	0.000	0.000	...

Obr.12 Tabuľkové zobrazenie záznamu



Obr. 13 Príklad zobrazenia priebehu zváracieho prúdu



Obr. 14 Príklad zobrazenia zmeny polohy a rýchlosti osi W pri zváraní

Vzdialený prístup k archívu záznamov umožňuje spätné prezeranie a analýzu priebehu procesu zvárania vzhľadom na parametre samotného zvárania (parametre energobloku U_z , I_z , I_f ...), prostredia zvárania (hodnoty vakuu v komore, kanóne ...) a priebehu polohovania zvarenca (počítač riadenia polohovania, poloha, rýchlosť...).

Možnosť analýzy zaznamenaného priebehu zvárania pomáha pri diagnostike zariadenia v prípade nedosiahnutia požadovanej kvality zvarového spoje či poruche zariadenia.

Prínosy riešenia

Použitie priemyselného VPN smerovača spolu so službou Talk2M sme získali riešenie, ktoré spojí sieť vzdialeného zariadenia so sieťou servisného pracovníka s použitím internetu a dodržaním požiadaviek na bezpečnosť, spoľahlivosť, rýchlosť a jednoduchosť spojenia.

Vzdialená správa elektrónovolúčového zväracieho zariadenia prináša užívateľom významné výhody:

- zlepšenie diagnostiky dané možnosťou sledovať činnosť stroja bez časového obmedzenia,
- priama realizácia servisu „na diaľku“,
- redukcia doby prestojov zariadenia,
- skvalitnenie vývoja ďalších zariadení na základe analýzy archivovaných prevádzkových údajov,
- zvýšený profit zo servisnej činnosti dosiahnutý menším počtom servisných pracovníkov a redukciovou cestovných nákladov,
- vzdialený prístup možno využiť z akéhokoľvek miesta na svete.

V spolupráci s FEI STU boli analyzované možnosti hardvérových riešení na základe aktuálneho stavu techniky v danej oblasti.

Dosiahnuté riešenie modulu vzdialeného prístupu splnilo technicko-ekonomické ciele a bude významným prínosom pre zvýšenie konkurencieschopnosti dodávok elektrónovolúčových zariadení pre externých odoberateľov.

Hlavné výstupy riešenia

1. Nový dizajn modulu inteligentnej protivýbojovej ochrany
2. Modul diaľkovej diagnostiky elektrónovolúčového technologického komplexu

Finančné prostriedky v roku 2016

Dotácia zo ŠR:	Vlastné prostriedky:	Intenzita pomoci:
Plán: 201 168,00 eur	Plán: 89 056,00 eur	Plán: 69,31%
Čerpanie: 200 906,16 eur	Čerpanie: 89 056,00 eur	Skutočnosť: 69,29%

Záver

Dosiahnuté výsledky vznikli v rámci riešenia projektu priemyselného výskumu „Výskum novej generácie elektrónovolúčových komplexov určených na vákuové zvaranie hliníkových a horčíkových zliatin“, ktorý je podporovaný Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci poskytnutých stimulov pre výskum a vývoj zo štátneho rozpočtu v zmysle zákona č. 185/2009 Z. z. o stimuloch pre výskum a vývoj a o doplnení zákona č. 595/2003 Z. z. o dani z príjmov v znení neskorších predpisov.