

Programski sistem za proračun mašinskih elemenata-PTD

Zavarivanje

Dragan Milčić, Miroslav Mijajlović, Miodrag Milčić, Dragoljub Živković

Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet u Nišu

Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

e-mail: milcic@masfak.ni.ac.rs; mijajlom@masfak.ni.ac.rs; miodrag21@gmail.com; dzivkovic@masfak.ni.ac.rs

Sadržaj— Na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Nišu već duže vreme se razvija programski sistema za proračun mašinskih elemenata i konstrukcija. U okviru ovog programskog sistema je modul kojim su obuhvaćeni zavareni spojevi. U ovom radu dat je opis novo razvijenih softvera za proračun zavarenih spojeva, za proračun potrošnje dodatnog materijala pri REL postupku zavarivanja i za automatizaciju izrade sertifikata o stručnoj osposobljenosti zavarivača. Za razvoj softvera korišćen je Visual Basic 6.

Ključne riječi - sistem za proračun mašinskih elemenata; proračun zavarenih konstrukcija; kvalifikacije zavarivača

I. UVOD

Tržište stalno postavlja sve složenije zahteve u pogledu produktivnosti, kvaliteta i brzine osvajanja novih proizvoda. Intenzivan tehnološki razvoj dovodi do porasta projektno - konstrukcijskih zadataka kao i do uslozljavanja sistema koji se razvijaju. Danas se u inženjerskoj praksi kao imperativ nameće primena računara u svim fazama procesa razvoja proizvoda.

Osnovni pravci primene računara u procesu razvoja proizvoda vezani su za zadatke:

- reprezentovanja i modeliranja,
- procesiranja i upravljanja podacima i informacijama,
- dokumentovanja,
- analiza i zaključivanja,
- proračuna i simulacija,
- pretraživanja,
- optimizacije,
- dijagnostike,
- procesiranja i upravljanja znanjem,
- sinteze, tj. generisanja koncepcije proizvoda.

Efekte primene računara u razvoju proizvoda su:

- kraće vreme ciklusa dizajniranja i smanjenje vremena do pojave proizvoda na tržište,
- smanjenje ukupnih troškova,
- poboljšanje kvaliteta,
- povećanje kompleksnosti proizvoda,
- povećanje broja dizajniranih varijanti,

- dislocirano konstruisanje, proizvodnja i održavanje.

Ovi efekti su mogući zahvaljujući:

- povećanju snage računara sa aspekta hardvera i komunikacija,
- povećanim sposobnostima softvera,
- povećanoj kompjuterskoj osposobljenosti dizajnera i inženjera,
- metodama koje omogućuju integrisanje CAx alata (Computer Aided X Tools),
- virtuelnom procesu razvoja proizvoda.

Iz svih ovih razloga, koji su napred navedeni, na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Nišu se već duže vreme razvija programski sistem za proračun mašinskih elemenata i mašinskih konstrukcija - PTD.

Ovaj programski sistem je, inače, deo inteligentnog integrisanog sistema za konstruisanje zupčastih prenosnika snage razvijenog na Mašinskom fakultetu u Nišu [1]-[3]. Programski sistem PTD je vrlo složene i heterogene strukture. Sistem je razvijen na modularnom principu koji omogućava izvršavanje, uz pomoć računara, pojedinih aktivnosti i zadataka konstruktora. Osnovni zadatak ovog sistema je da omogući integrisanu primenu različitih programskih modula i programskih sistema (CAD/CAE) razvijenih od strane autora i različitih softverskih kuća, a koji su namenjeni automatizaciji pojedinih aktivnosti u konstruisanju prenosnika snage. Zbog toga se softverska platforma razvijenog sistema, oslanja na maksimalnu primenu svih raspoloživih standarda u oblasti razmene podataka, komunikacija i računarstva.

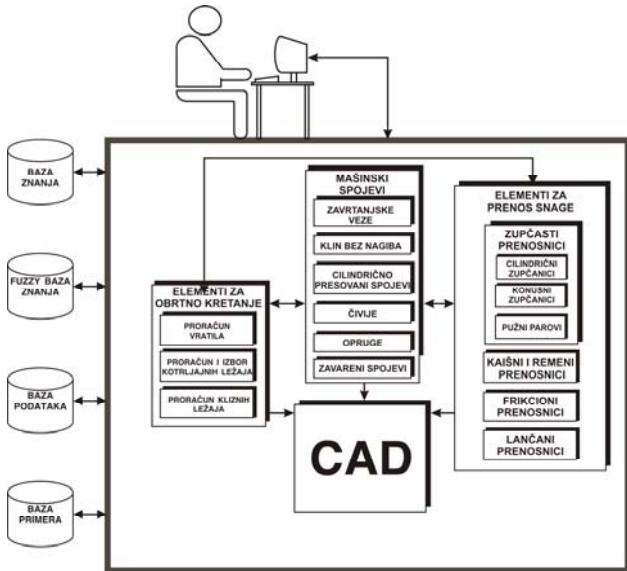
Integrisani programski sistem PTD [4], [5] za proračun mašinskih elemenata, čija je arhitektura data na slici 1, čine tri celine:

- programski moduli za proračun elemenata za prenos snage,
- programski moduli za proračun elemenata za obrtno kretanje,
- programski moduli za proračun mašinskih spojeva.

Prvom celinom programskog sistema PTD, koja se odnosi na proračun elemenata za prenos snage, obuhvaćeni su programski moduli za proračun cilindričnih, konusnih i pužnih zupčanika, frikcionih, lančanih, kaišnih i remenih prenosnika.

Drugom celinom obuhvaćeni su programski moduli za proračun vratila, proračun kliznih ležaja i proračun i izbor kotrljajnih ležaja, a trećom celinom obuhvaćeni su programski moduli za proračun klinova, žlebnih veza, cilindričnih presovanih spojeva, zavrtanjskih veza, opruga, čivija i zavarenih spojeva.

Novi programski moduli u okviru programskog sistema PTD u delu zavareni spojevi su programski modul za proračun zavarenih spojeva i programski modul za automatizaciju izrade sertifikata zavarivača na osnovu standarda EN 287-1.



Slika 1. Arhitektura programskog sistema PTD

II. SOFTVER ZA PRORAČUN ZAVARENIH SPOJEVA

Proračun zavarenih spojeva je zahtevan i kompleksan posao koji se može značajno ubrzati uz primenu odgovarajućih aplikativnih softvera. Svrha izrade jednog takvog programa, kao i sama prednost njegove upotrebe je da pojednostavi i ubrza aktivnosti kod projektovanja i izvođenja zavarenih sastava.

U okviru programskog sistema PTD razvijen je programski modul za proračun zavarenih spojeva *ProVar*. U okviru ovog programskog modula, trenutno su dva programa: prvi namenjen za proračun potrošnje dodatnog materijala pri zavarivanju REL postupkom, i drugi modul koji obuhvata proračun zavarenih spojeva, u zavisnosti od poznatih ulaznih podataka, sa aspekta određivanja: potrebne dužine zavara l , potrebne debljine zavara a , izračunavanje maksimalne dozvoljene sile F , ili stepena sigurnosti zavarenog spoja S .

A. MODUL ZA PRORAČUN POTROŠNJE DODATOG MATERIJALA PRI REL POSTUPKU ZAVARIVANJA

Zavarivanje je proces izrade nerazdvojivog spoja uspostavljanjem međuatomskih veza između delova koji se zavaruju, pri kome se pojedinačno ili kombinovano koristi toplotna i mehanička energija, a po potrebi i dodatni materijal.

Postupci zavarivanja, koji se najčešće koriste u praksi, zasnovani su na lokalnom zagrevanju materijala iznad temperature topljenja, kada zavareni spoj nastaje očvršćavanjem (elektrolučno), ili na lokalnom zagrevanju materijala do temperature topljenja, kada zavareni spoj nastaje uz dodatno delovanje pritiska (elektrootporno). Zavarivanjem je moguće spajanje metala sa metalom, nemetala sa nemetalom i metala sa nemetalom, ali se u praktičnom smislu podrazumeva spajanje metala sa metalom. Pre zavarivanja potrebno je pripremiti ivice osnovnog metala, čime se dobija žleb za zavarivanje, čiji su osnovni pojmovi definisani standardom SRPS ISO 9692:1995.

Osnova za proračun potrebne količine dodatog materijala jeste površina poprečnog preseka žleba i njegova dužina (Slika 3). Budući da šav ima zadebljanje na licu, to se vrednost teorijske mase dodatog materijala povećava za 10 % pa je:

$$M = 1,1 \cdot A \cdot l \cdot \rho \quad (1)$$

gde je: A – površina preseka žleba u m^2 ,
 l – dužina žleba u m ,
 ρ – gustina dodatog materijala u kg/m^3 .

U ovom programskom modulu softver nudi mogućnost izbora željenog oblika žleba iz baze standardnih žlebova: I, U, J, 2U, 2J, V, 1/2V, X, K, kao i specijalnih slučajeva cirkularnih-kružnih žlebova.

Pri REL-zavarivanju elektrode se ne mogu potpuno iskoristiti, jer se $8\% \pm 15\%$ mase gubi sagorevanjem i rasprskivanjem, a $6\% \pm 10\%$ mase ostaje u držaču elektrode. Zbog toga se mora računati s tim da se iskoristi samo oko 75 % jezgra elektrode. Budući da ukupna masa deponovanog materijala u žlebu treba da odgovara masi svih utrošenih elektroda to sledi da je teorijski broj potrebnih elektroda:

$$n = \frac{M}{m}, \text{ gde je } m - \text{ masa jezgra jedne elektrode.}$$

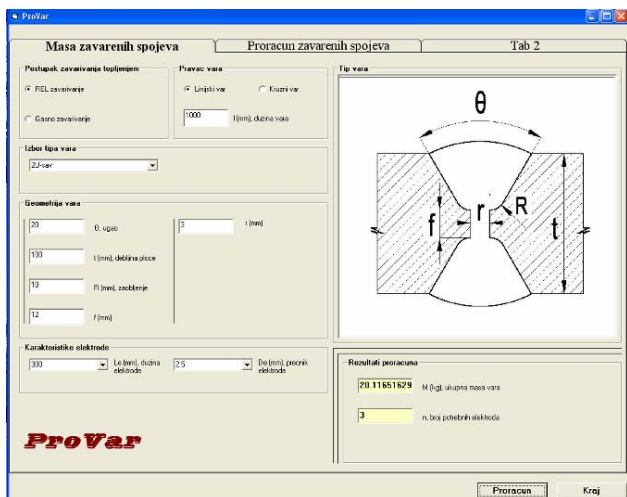
Zbog navedenih gubitaka elektrodne žice (jezgra), koji iznose oko 25 %, stvarni broj potrebnih elektroda je:

$$n = 1,25 \frac{M}{m} = 1,25 \frac{1,1 \cdot A \cdot l \cdot \rho}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4} L \cdot \rho} = 1,75 \frac{A \cdot l}{d^2 \cdot L} \quad (2)$$

gde je: A – površina preseka žleba,
 d – prečnik odabrane elektrode,
 L – dužina elektrode,
 l – dužina žleba.

Kod gasnog zavarivanja potrošnja dodatog materijala se računa slično, s tim što su ukupni gubici 15 %, pa je potreban broj žica:

$$n = 1,6 \frac{A \cdot l}{d^2 \cdot L} \quad (3)$$



Slika 2. Korisnički interfejs modula za proračun potrošnje dodatog materijala pri zavarivanju

Budući da šav nastaje difuzijom rastopljenog materijala elektrode i delova koji se zavaruju, materijal elektrode se bira na osnovu osnovnog materijala, tako da je materijal šava po sastavu blizak osnovnom materijalu, odnosno gustina $\rho \approx \rho_{om}$ gde je:

ρ_{om} – gustina osnovnog materijala

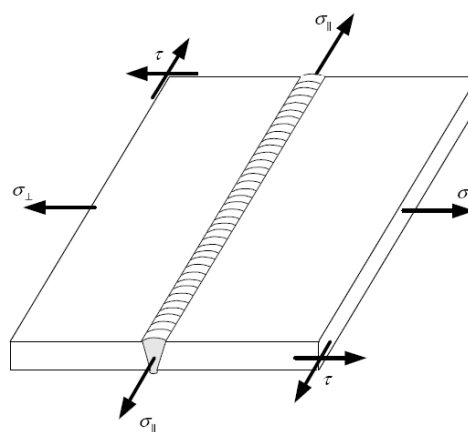
B. MODUL ZA PRORAČUN ZAVARENIH SPOJEVA

Radni naponi u zavarenim spojevima određuju se na osnovu obrazaca iz otpornosti materijala i predstavljaju nominalnu vrednost napona koji odgovara površini poprečnog preseka šava. Za nominalne odnosno radne napone zavarenih spojeva, karakteristično je da spoljne opterećenje prenose šavovi. Pri tome se upoređuju radna naprezanja s dopuštenim naprezanjima u zavaru. Proračun zavarenih spojeva u opštoj mašingradnji nije propisan standardom.

Proračun se sprovodi prema izrazima iz nauke o čvrstoći [6]-[9], pri tom poštujući sledeće pretpostavke:

- Lokalni vrhovi naprezanja koji proističu iz uobičajenih konstrukcijskih oblika ne uzimaju se u obzir.
- Zaostali naponi se ne uzimaju u obzir.
- Ekvivalentni napon σ_{ekv} određuje se prema hipotezi maksimalnog deformacijskog rada (HMH – Huber, Mises, Henkijeva teorija).

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq k\sigma_{doz} \quad (3)$$



Slika 3. Naponi u sučeonom zavarenom spoju

Eksperimenti su pokazali veliku složenost naponskog stanja kod ugaonih spojeva:

- u ugaonim spojevima vladaju višeosna naponska stanja
- naponi su neravnomerno raspodeljeni po preseku i po dužini zavara
- u zavarima postoje vrlo visoki i različiti zaostali naponi
- u raznim stupnjevima opterećenja vrši se pregrupisanje stanja naprezanja.

Novija istraživanja su pokazala da teorija HMH ne odgovara kod ugaonih spojeva iz razloga što postoje i drugi maksimalni normalni naponi i maksimalni tangencijalni naponi.

Ekvivalentni napon kod ugaonih spojeva se računa prema ISO preporukama:

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + k\tau^2} \quad (4)$$

Odnosno

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + k(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \quad (5)$$

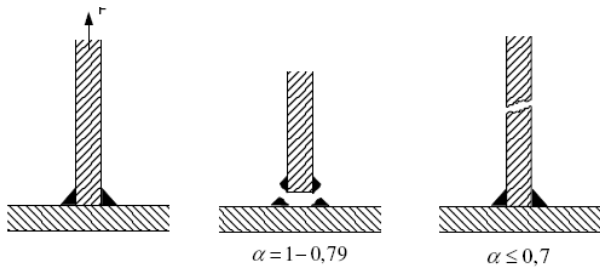
gde se uzima za $k=1,8$.

Neki eksperimenti su pokazali da napon σ_{\parallel} ne utiče na nosivost ugaonih spojeva te ostaje dilema da li uopšte ekvivalentni napon računati sa σ_{\parallel} ili ne.

Dok je kod sučeonog zavara jačina zavara jednaka jačini osnovnog materijala, kod ugaonih zavara postoji odnos:

$$\alpha = \frac{F_{mat}}{F_{zav}} \quad (6)$$

Slika 4 prikazuje iznos odnosa α za slučaj kada nastaje lom u zavaru, odnosno lom u osnovnom materijalu. Kad je $\alpha \approx 0,75$ tada postoji ekvivalentni napon zavara i preseka šta.



Slika 4. Ugaoni šav: lom u šavu i lom u štapu

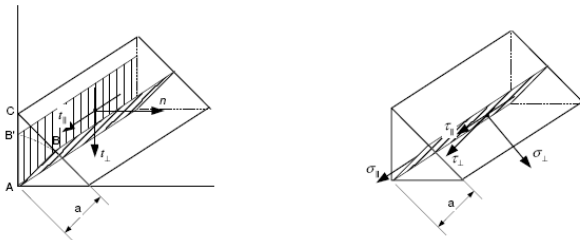
Prilikom proračuna ugaonih zavora radi pojednostavljenja naprezanja u ravni AB projektuju se na ravan AC, odnosno AB' (slika 5).

Izmenu veličina u ravni pravog položaja AB i zakrenutoj ravni AC (odnosno AB') važe sledeće jednakosti:

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{2}n = \tau_{\perp} \quad (7)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}}t_{\perp} = \sigma_{\perp} \quad (8)$$

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} \quad (9)$$



Slika 5. Naponi u ugaonom zavaru

Nosivost ugaonog zavora zavisi i od debljini ugaonog zavora a (slika 5). Nosivost zavora različite debljine obuhvaćeno je u propisima za zavarane čelične konstrukcije koeficijentom:

$$\beta = 0,8 \left(1 + \frac{1}{a} \right) \quad (10)$$

Iz ovog sledi da je dozvoljeni napon u ugaonom zavaru

$$\sigma_{z, doz} = \beta \cdot \sigma_{doz} \quad (11)$$

Pri čemu treba biti zadovoljen uslov

$$\sigma_{ekv} \leq \sigma_{z, doz} \quad (12)$$

Propisima je takođe regulisana debljina nosećeg ugaonog zavora i ona iznosi od $a = 3 \text{ mm}$ do najviše $a_{max} = 0,7 \delta_{min}$ (samo izuzetno se odobrava i $a_{max} = \delta_{min}$).

Objašnjenje oznaka za napone na slici 5 su:

- n – zatezni ili pritisni napon u ravni gde je merodavni presek zaokrenut
- t_{\perp} – tangencijalni napon upravran na dužinu zavora u ravni AB'

- t_{\parallel} – tangencijalni napon u pravcu dužine zavora u ravni AB'
- σ_{\perp} – zatezni ili pritisni napon na zavar upravno na presek u svom pravom položaju
- τ_{\perp} – tangencijalni napon upravran na dužinu zavora u ravni pravog položaja AB
- τ_{\parallel} – tangencijalni napon paralelan sa dužinom zavora u ravni pravog položaja AB
- σ_{\parallel} – normalni napon koji deluje duž zavora
- σ_{ekv} – ekvivalentni napon
- $\sigma_{z, dop}$ – dopušteni napon zavora

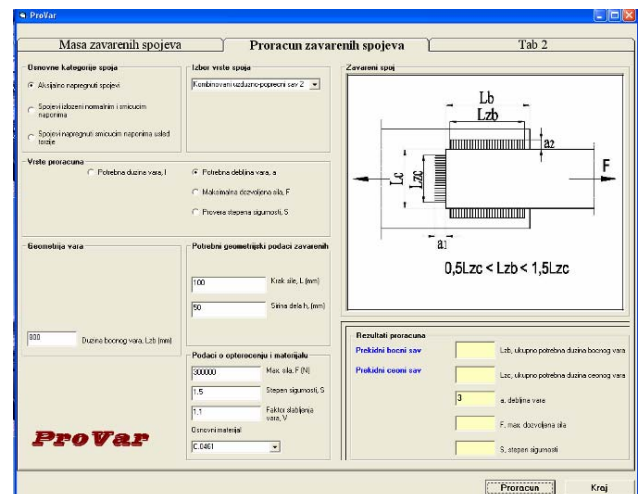
Softverom su uzeti u obzir različiti slučajevi proračuna zavarenih spojeva:

- Dimenzionisanje aksijalno opterećenih ugaonih šavova:**
 - Spoj izveden bočnim ugaonim šavovima;
 - Spoj izveden čeonim ugaonim šavovima;
 - Slučaj kosih čeonih šavova;
 - Kombinovani spojevi uzdužnih i poprečnih ugaonih šavova.
- Dimenzionisanje šavova opterećenih normalnim i smičućim naponima:**
 - Uzdužni čeonu ugaoni šavovi;
 - Poprečni čeonu ugaoni šavovi.
- Dimenzionisanje šavova opterećenih smičućim naponima usled torzije:**
 - Dva uzdužna ugaona šava;
 - Dva čeonu ugaona šava.

Programom su obuhvaćene četiri vrste proračuna:

- Određivanje potrebne dužine zavora,
- Određivanje potrebne debljine zavora,
- Određivanje maksimalne dozvoljene sile i
- Provera stepena sigurnosti.

Na slici 6 dat je korisnički interfejs jednog primera proračuna aksijalno napregnutog zavarenog spoja.



Slika 6. Korisnički interfejs modula za proračun aksijalno napregnutog zavarenog spoja

C. PROGRAMSKI MODUL ZA AUTOMATIZACIJU IZRADU UVERENJA O STRUČNOJ OSPOSOBLJENOSTI ZAVARIVAČA PREMA EN 287-1

Pri zavarivanju, kao „specijalnom“ procesu, od posebnog je značaja da se kvalitet ugrađuje u proizvod u toku postupka proizvodnje. Osoblje za zavarivanje, njegovi zadaci i odgovornosti, kao i obrazovanje, obuka i kvalifikacija, detaljno su definisani standardima i dokumentima izdatim od strane Evropske federacije za zavarivanje- EWF i Međunarodnog instituta za zavarivanje - IIW.

Zavod za mašinsko inženjerstvo Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu obavlja proveru stručne osposobljenosti (kvalifikaciju) zavarivača za sledeće postupke zavarivanja topljenjem prema standardu SRPS EN 287-1 i SRPS EN ISO 9606-2:

- REL postupak - elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom
- gasno zavarivanje (plamenom kiseonik-acetilen)
- MAG postupak zavarivanja
- MIG postupak zavarivanja
- TIG postupak zavarivanja
- EPP postupak - elektrolučno zavarivanje pod praškom

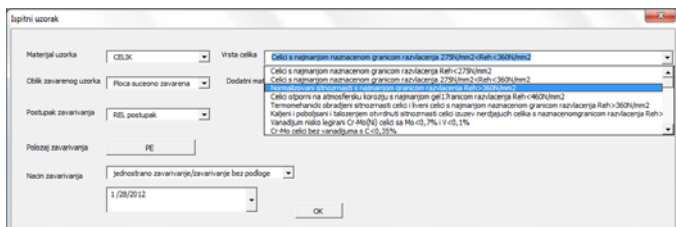
Takođe se obavlja provera stručne osposobljenosti lemlaca za postupak tvrdog lemljenja plamenom prema standardu SRPS EN 13133 i proveru stručne osposobljenosti osoblja za zavarivanje sklopova od termoplasta prema standardu SRPS EN 13067 postupcima:

- elektrofuziono zavarivanje sa spojnicama i sedlom
- zavarivanje toplim alatom sa spojnicama i sedlom
- sučeono zavarivanje toplim alatom
- ekstruziono zavarivanje

Za razvoj softvera za automatizaciju izrade Uverenja (sertifikata) zavarivača na osnovu standarda EN 287-1 [10], kojim se definiše ispit za kvalifikaciju zavarivača – zavarivanje topljenjem (Deo 1: čelici), korišćen je Visual Basic for Applications (VBA). Softver je razvijen u okruženju Microsoft Word 2007.

Uverenje o stručnoj osposobljenosti zavarivača ima nekoliko delova. U prvom delu se unose podaci o zavarivaču: ime i prezime, JMBG, broj lične karte, podaci o rođenju, fotografija, ime organizacije u kojoj radi. Ovi podaci se direktno unose u obrazac Uverenja koristeći templejt Word dokumenta.

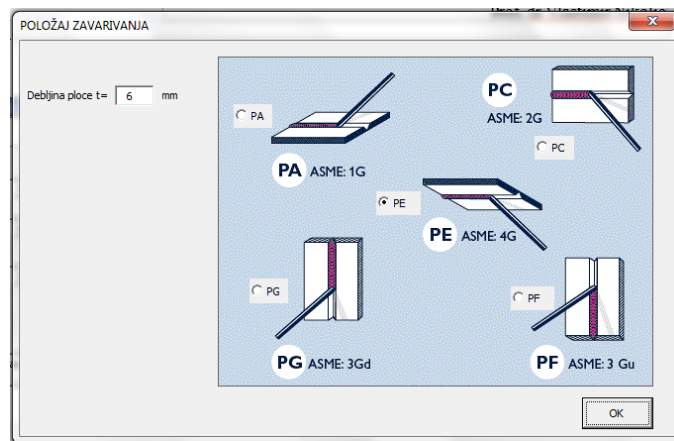
U drugom delu Uverenja treba da se unesu podaci o urađenoj probi od strane zavarivača. Klikom na dugme ISPITNI UZORAK otvara se forma (slika 7)



Slika 7. Korisnički interfejs za unošenje podataka o ispitnom uzorku

Podaci koji su neophodni za definisanje ispitnog uzorka su: material uzorka (za sada su softverom obuhvaćeni material čelik i Al legure), oblik zavarenog spoja (sučeoni-ploče, ugaoni-ploče, sučeoni-cevi i ugaoni-cevi), postupak zavarivanja (REL-111, MIG-135, MAG-136, TIG-141, GASNO ZAVARIVANJE-311), položaj zavarivanja, vrsta čelika i dodatni material.

Položaj zavarivanja se definiše preko zasebnog interfejsa u zavisnosti da li je ispitni uzorak ploča, koja može biti zavarena sučeono ili ugaono ili uzorak cev, koja takođe može biti sučeono ili ugaono zavarena. Na slici 8 dat je korisnički interfejs za slučaj uzorka ploča – sučeono zavarena. Inženjer zavarivanja, koji piše Uverenje o stručnoj osposobljenosti zavarivača, osim što čekira položaj zavarivanja, unosi i debljinu ploče, a za slučaj uzorka cevi, unosi spoljni prečnik cevi i debljinu cevi.



Slika 8. Korisnički interfejs za definisanje položaja zavarivanja ispitnog uzorka

Na bazi unetih podataka o urađenom ispitnom uzorku softverom se definiše prema standardu EN 287-1 (za slučaj ispitnog uzorka od čelika) oznaka testa i područje odobravanja uverenja. U okviru Uverenja automatski se unose podaci o ispitnom uzorku i području odobravanja (slika 9).

PODACI INFORMATION	ISPITNI UZORAK TEST PIECE	PODRUČJE ODOBRAVANJA RANGE OF QUALIFICATION
Postupak zavarivanja / Welding Process(es)	111	111
Lim ili cev / Plate or Pipe	P	P
Hip spoja / Type of Weld	BW	BW, FW
Grupa osnovnog materijala / Material Group(s)	1.2	1.1, 1.2, 1.4
Dodatni material / Welding Consumable (Designation)	B	A, RA, RB, RC, RR, R, B
Debljina materijala / Material Thickness (mm)	6	3 - 12
Spoljni prečnik cevi (mm) / Outside Pipe Diameter (mm)	-	-
Položaj zavarivanja / Welding Position	PE	PA, PB, PC, PD, PE, PF
Ziljebljenje / podloška / Weld Details (Grinding / Backing)	ss nb	ss nb, ss mb, bs

Slika 9. Izgled dela Uverenja o stručnoj osposobljenosti zavarivača sa podacima o ispitnom uzorku i području odobravanja

Za definisani ispitni uzorak – definiše se oznaka ispita se definiše:

SRPS EN 287-1 111 P BW 1.2 B t6 PE ss nb

U trećem delu Uverenja se definiše način ispitivanja ispitnog uzorka: vizuelno, radiografski, magnetnim česticama, penetrantima, makrostrukturno, prelomom, savijanjem i dodatna ispitivanja.

U četvrtom delu ispitivanja se definiše rok važnosti Uverenja sa terminim obaveznog overavanja na 6 meseci.

Softverom je automatizovano definisanje termina obavezne overe.

III. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred navedenog može se zaključiti sledeće:

- Na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Nišu već duže vreme se razvija programski sistem PTD, koji je u početku bio namenjen za konstruisanje prenosnika snage, a danas prevazilazi prvobitnu ideju i obuhvata proračun gotovo svih mašinskih elemenata, a u zadnje vreme se dopunjuje modulima u oblasti zavarenih tehnologija i proračuna zavarenih konstrukcija.
- Sastavni deo integrisanog programskog sistema za konstruisanje prenosnika snage-PTD, koji se razvija na Mašinskom fakultetu u Nišu, je programski modul za proračun zavarenih spojeva, koji olakšava i ubrzava aktivnosti projektovanja i konstruisanja zavarenih konstrukcija koje sprovode inženjeri zavarivanja.

Dalji pravci razvoja programskog sistema je razvoj programskih modula za projektovanje tehnologije zavarivanja, koji će obuhvatati:

- izrada redosleda zavarivanja (redosled proizvodnih i kontrolnih aktivnosti)
- izrada PQR i WPS dokumenata
- normiranje zavarivanja (kalkulacija vremena potrebnog za zavarivanje).

LITERATURA

- [1] Milčić, D.: Razvoj inteligentnog integrisanog sistema za konstruisanje zupčastih prenosnika snage, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Niš, 2001.
- [2] Milčić, D., Miltenović, V. „Design of Gear Drives as Virtual Process“, The International Conference on Gears 2005, September 14th to 16th, 2005, Garching near Munich, Germany, VDI-Berichte Nr. 1904, 2005, pp. 399-415.
- [3] Milčić, D., Anđelković, B., Mijajlović, M. „Automatisation of power transmitter's design process within ZPS system“, “Machine Design” -

Monograph, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, ADEKO – Association For Design, Elements And Constructions, 2008., Novi Sad, Monograph, page 1 do 8., ISBN 978-86-7892-105-6.

- [4] Milčić, D. „Integrirani programski sistem za konstruisanje prenosnika snage – veza sa CAD sistemom“, IMK-14 Istraživanje i razvoj, Časopis instituta IMK “14. Oktobar” Kruševac, Godina XIV, Broj (28-29), 1-2. 2008., s. 91-98.
- [5] Milčić, D. „Programski sistem za konstruisanje prenosnika snage PTD 3.0“, Zbornik radova, Yu Info 2005, Kopaonik, 2005, CD.
- [6] Bogner, M., Borisavljević, M., Matović, V., Bogner, M.M., Zavarivanje, 2007.
- [7] V. Miltenović, „Mašinski elementi, oblici, proračun, primena“, Mašinski fakultet Niš, 2009.
- [8] O. W. Blodgett: „Stress Allowables Affect Weldment Design“, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland-Ohio 1996
- [9] D. Milčić, B. Anđelković, Autorizovana predavanja na Kursu za međunarodne inženjere i tehnologe zavarivanja IWE i IWT, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet Niš, 2009.
- [10] EN 287-1: 2008., Ispit za kvalifikaciju zavarivača – Zavarivanje topljenjem - Deo 1: Čelici.

ABSTRACT

At University of Nis, Faculty of Mechanical Engineering Nis, for a certain amount of time, researchers of the Faculty are working on development of the program system for calculations of machine parts and structures. One module of this program system is a module for welded joints. This paper is giving a description of newly developed module for welded joints, for calculation of consumables expenses for REL welding process and module for automatization of the welding personnel certificate development. Visual Basic 6 is being used for module design.

Key words – system for calculation of machine parts, calculation of welded structures, welding personnel qualification

PROGRAM SYSTEM FOR CALCULATION OF MACHINE PARTS - PTD

**Dragan Milčić, Miroslav Mijajlović, Miodrag Milčić,
Dragoljub Živković**