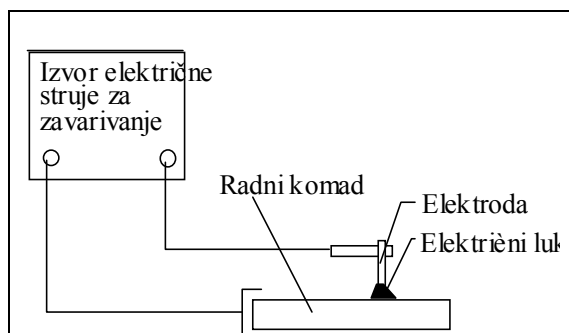


3.1 OPĆENITO O MJERENJU PARAMETARA ZAVARIVANJA

3.1.1 Glavni parametri elektrolučnih postupaka zavarivanja

Elektrolučni postupci zavarivanja međusobno se dosta razlikuju ali svima je zajedničko da postoji električni luk, a također im je zajedničko da se ubrajaju u postupke zavarivanja taljenjem. Električni luk se uspostavlja između dvije elektrode, a to su kod zavarivanja elektroda (koja može biti i dodatni materijal) i radni komad.

Postupak elektrolučnog zavarivanja možemo shematski prikazati slikom 3.1.



Slika 3.1 Shematski prikaz elektrolučnog zavarivanja

Električni luk je intenzivno izbijanje u jako ioniziranoj smjesi plinova i para različitih materijala koji nastaju prvenstveno od metala elektrode, obloge, zaštitnih plinova ili praškova.

Kod raznih autora postoje različitosti u skupu parametara zavarivanja, ali svi se slažu u jednome da je propisivanje parametara zavarivanja neophodno za dobivanje kvalitetnog zavarenog spoja. Pravilnim propisivanjem i provođenjem parametara zavarivanja osigurava se kvalitetan zavar, zavar bez proizvodnih, strukturnih i geometrijskih pogrešaka, odnosno sa potrebnim mehaničkim svojstvima.

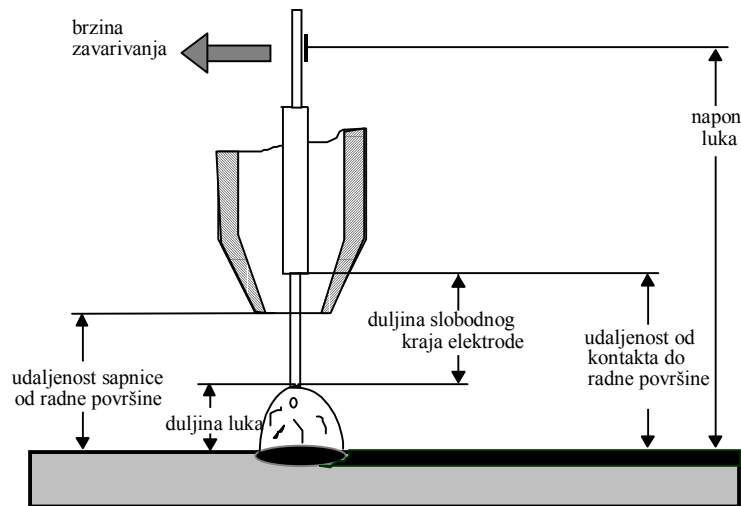
Može se reći da skup glavnih parametara zavarivanja za određeni materijal i geometriju (debljina, ostale dimenzije) određuje slijedeće veličine:

- napon električnog luka, $U(V)$
- jakost struje za zavarivanje, $I(A)$
- brzina zavarivanja, $v(mm/s)$
- stupanj iskorištenja energije u električnom luku, $\eta(-)$
- unesena toplota, E_{ef}
- temperatura metala koji se zavaruje definirana temperaturom predgrijavanja i
- temperaturom međuprolaza.

Kao važne varijable elektrolučnih postupaka često se navode:

- duljina(visina) električnog luka $L(mm)$
- promjer elektrode odnosno žice
- vrsta i polaritet struje
- duljina slobodnog kraja žice

Na slici 3.2 shematski je prikazan električni luk, gdje se mogu uočiti glavni parametri i važne varijable kod elektrolučnog zavarivanja.



Slika 3.2 *Duljina slobodnog kraja žice i duljina električnog luka*

Prilikom propisivanja parametara zavarivanja treba imati na umu njihove međusobne odnose i utjecaje. Kod REL zavarivanja radnik u toku rada nastoji održati duljinu luka konstantnim, a time i napon.

Napon električnog luka pri zavarivanju kreće se orijentacijski u granicama od 18 do 35 V. Duljina luka određuje i napon luka, a kod REL postupaka zavarivanja ovisi o promjeru elektrode i tipu njene obloge. U praksi se kod REL postupaka zavarivanja duljina električnog luka određuje orijentacijski na osnovu promjera i tipa obloge elektrode. Tako se u praksi koriste slijedeće orijentacijske vrijednosti za duljinu električnog luka:

$L = d(\text{mm})$ (za rutine, kisele, celulozne obložene elektrode)

$L = 0,5 d(\text{mm})$ (za bazično obložene elektrode)

Pri REL zavarivanju nije moguće držati parametre zavarivanja konstantnim zbog samoga načina izvođenja postupka zavarivanja. Normalno je da zavarivaču zadrhti ruka, tu je prisutan i utjecaj okoline te je normalno da se parametri zavarivanja uzimaju orijentacijski. Kod poluautomatiziranih postupaka zavarivanja, duljina luka i duljina slobodnog kraja žice vrlo je bitna i zbog njihovog utjecaja na kvalitetu zavarenog spoja i stabilnost procesa zavarivanja te se veličine nastoje održati nepromijenjene tijekom zavarivanja.

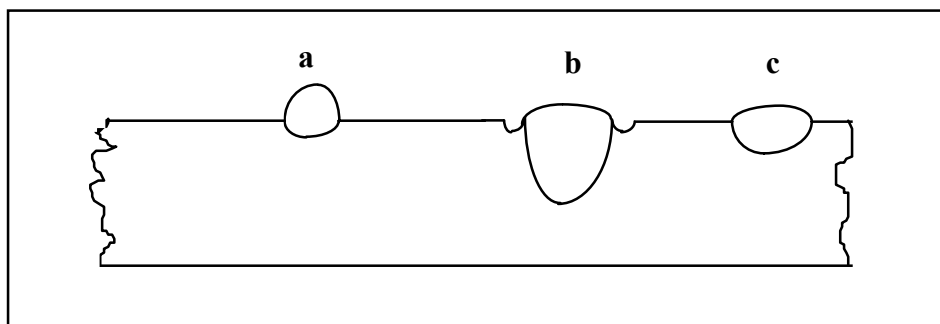
Struja zavarivanja kod REL zavarivanja obično zavarivač bira samo jedan parametar na uređaju za zavarivanje, a to je struja zavarivanja. Struja zavarivanja prvenstveno ovisi o promjeru elektrode koja će se koristiti u radu, što opet ovisi o debljini i vrsti radnog komada, o kemijskom sastavu elektrode jezgre, te o položaju zavarivanja. Proizvođač daje upute o preporučenim veličinama struje, a za grubo pravilo može se uzeti podatak da struja zavarivanja pri zavarivanju običnom elektrodom iznosi 30 do 40 A za svaki milimetar promjera jezgre.

U slučaju zavarivanja u prisilnim položajima struja zavarivanja koja je navedena u podacima proizvođača smanjuje se za 15 do 20 %.

Polaritet i vrsta struje izabiru se prema vrsti obloge elektrode.

U slučaju korištenja bazične obložene elektrode, električni luk ima manju duljinu zbog teže ionizacije, što je posljedica sastava obloge. U slučaju da struja zavarivanja nije dobro odabrana, mijenja se oblik zvara kao i dubina penetracije.

Karakteristični primjeri pokazani su na slici 3.3



Slika 3.3 Utjecaj struje zavarivanja na oblik zavora [8]

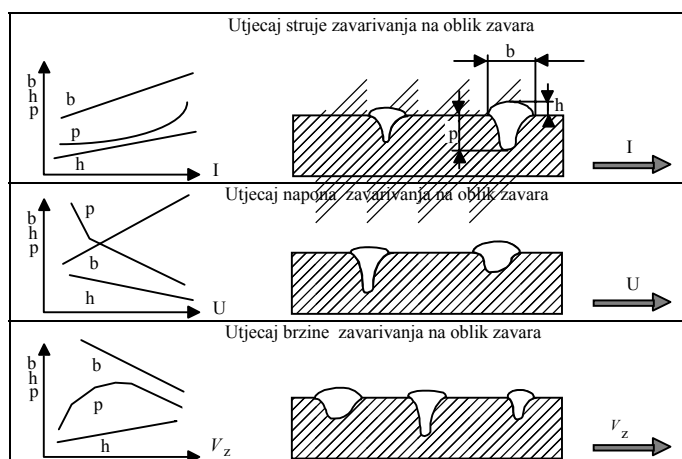
- a** - premala struja zavarivanja
- b** - prejaka struja zavarivanja
- c** - odgovarajuća struja zavarivanja

Kod premale struje zavarivanja navar je uzak i ima izrazito nadvišen oblik (slika 2. 3. a). Rastaljeni metal je relativno hladan i zbog toga nema dobro razlijevanje, a nema niti zagrijavanja osnovnog materijala pa je i penetracija mala.

Kod prejake struje zavarivanja postoji velika količina taline niske površinske napetosti pa se dobiva širok različen zavar (slika 3.3.b). Karakteristika zavora je da uz rubove zavora postoje zajedni. Velika količina energije protaljuje osnovni materijal pa postoji i opasnost od prevelike penetracije i protaljivanja materijala.

Kad je struja zavarivanja odgovarajuća, zavar ima zadovoljavajuću penetraciju, malo nadvišenje i blage prijelaze sa zavora prema osnovnom materijalu (slika 3.3. c). Geometrijski oblik zavora značajno ovisi o parametrima zavarivanja od kojih su najznačajniji struja zavarivanja, napon na električnom luku te brzina zavarivanja. Promjena jednoga parametra izaziva odmah i promjenu ostalih parametara. Parametri koji utječu na geometrijski oblik zavora su na primjer slobodna duljina žice, mjesto priključka mase na radni komad, nagib radnog komada, a postoje i još neki. Zbog toga je moguća upotreba jačih struja zavarivanja, stvara se velika količina taline te se osigurava velika penetracija. To stvara uvjete za mogućnost procurenja taline na korijenskoj strani. U svrhu sprečavanja te pojave, odnosno da bi se pravilno oblikovao korijen zavora primjenjuju se podloge različitih oblika iz različitih materijala.

Utjecaj struje, napona i brzine zavarivanja kao glavnih parametara zavarivanja na oblik zavora mogu se jasnije uočiti na slici 3.4



Slika 3.4 Utjecaj glavnih parametara zavarivanja na oblik zavora [9]

Definicija jakosti struje (I), napona električnog luka (U), brzine zavarivanja (V_z) i stupanj iskorištenja energije u električnom luku definira se i toplinski input, (E). Veza između navedenih veličina i toplinskog inputa može se pokazati izrazom:

$$E = \frac{U \cdot I}{v} , \quad \frac{\text{J}}{\text{mm}} \quad (3.1)$$

$$E = \frac{U \cdot I \cdot \eta}{v} , \quad \frac{\text{J}}{\text{mm}} \quad (3.2)$$

gdje je E vrijednost toplinskog inputa, a E_{ef} vrijednost efektivnog toplinskog inputa koji uzima u obzir stupanj iskorištenja energije u električnom luku.

Stupanj korisnog djelovanja η . Da bi određivanje toplinskog inputa bilo dovoljno točno, moramo poznavati vrijednost stupnja korisnog djelovanja električnog luka. Orijentacijske

vrijednosti stupnja korisnog djelovanja u električnom luku za pojedine postupke elektrolučnog zavarivanja su:

-REL postupak zavarivanja :	$\eta_1 = \eta = 0,65 \div 0,85$
-MAG/MIG postupak zavarivanja :	$\eta_1 = \eta = 0,65 \div 0,85$
-TIG postupak zavarivanja :	$\eta_1 = \eta = 0,2 \div 0,65$
-EPP postupak zavarivanja :	$\eta_1 = \eta = 0,9 \div 0,95$

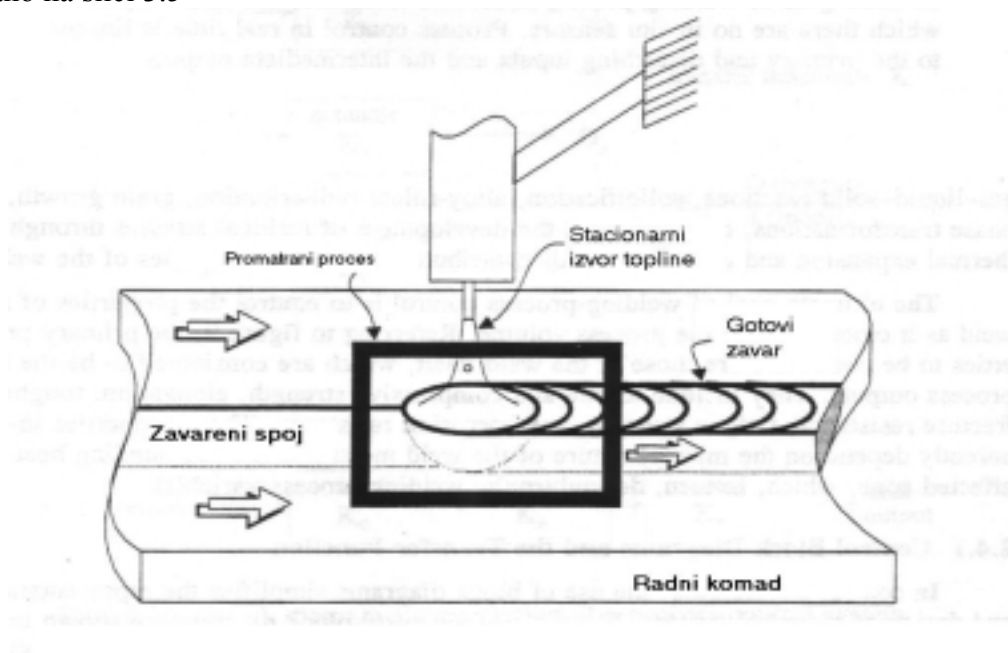
U svakom pogonu moguće je jednostavno eksperimentalno određivanje stupnja korisnog djelovanja u električnom luku. Gubici topline javljaju se usred zračenja u električnom luku, konvencije (strujanje plinova uz električni luk), te prskanje kapljica rastaljenog dodatnog materijala iz električnog luka.

Temperatura predgrijavanja je značajna iz više razloga. Predgrijavanjem se unosi toplina što povećava ukupno unesenu toplinu u zavar. Predgrijavanjem se unosi tzv. sekundarna toplina u zavareni spoj, pa se tako smanjuje brzina hlađenja, čime se daje mogućnost dužeg trajanja izlaska vodika iz zavarenog spoja i smanjuje se vjerojatnost nastajanja hladnih pukotina. Pored toga, predgrijavanjem se s površine lima odstranjuje tzv. vezana vlaga, i smanjuju zaostale napetosti zbog zavarivanja. Da bi se izbjegla pojava hladnih pukotina, temperatura predgrijavanja mora biti dovoljno visoka kako bi hlađenje zavarenog spoja bilo dovoljno dugo zbog mogućnosti izlaska vodika iz zavarenog spoja. Vrijednost temperature predgrijavanja ovisi o udjelu kemijskih elemenata u osnovnom materijalu, odnosno kemijskom sastavu kao i debljini osnovnog materijala i udjela difuzijskog vodika u zavarenom spoju. Temperatura između prolaza je praktično temperatura predgrijavanja za sljedeći prolaz, mjerena na sredini šava. Temperatura predgrijavanja orijentacijski se određuje na osnovu eksperimentalno dobivenih formula, a potvrđuje se eksperimentalnim radovima i certifikacijom postupaka zavarivanja. Proračun se zasniva na kemijskom sastavu osnovnog materijala, sadržaja difuzijskog vodika u zavarenom spoju, debljini materijala koji se zavaruje.

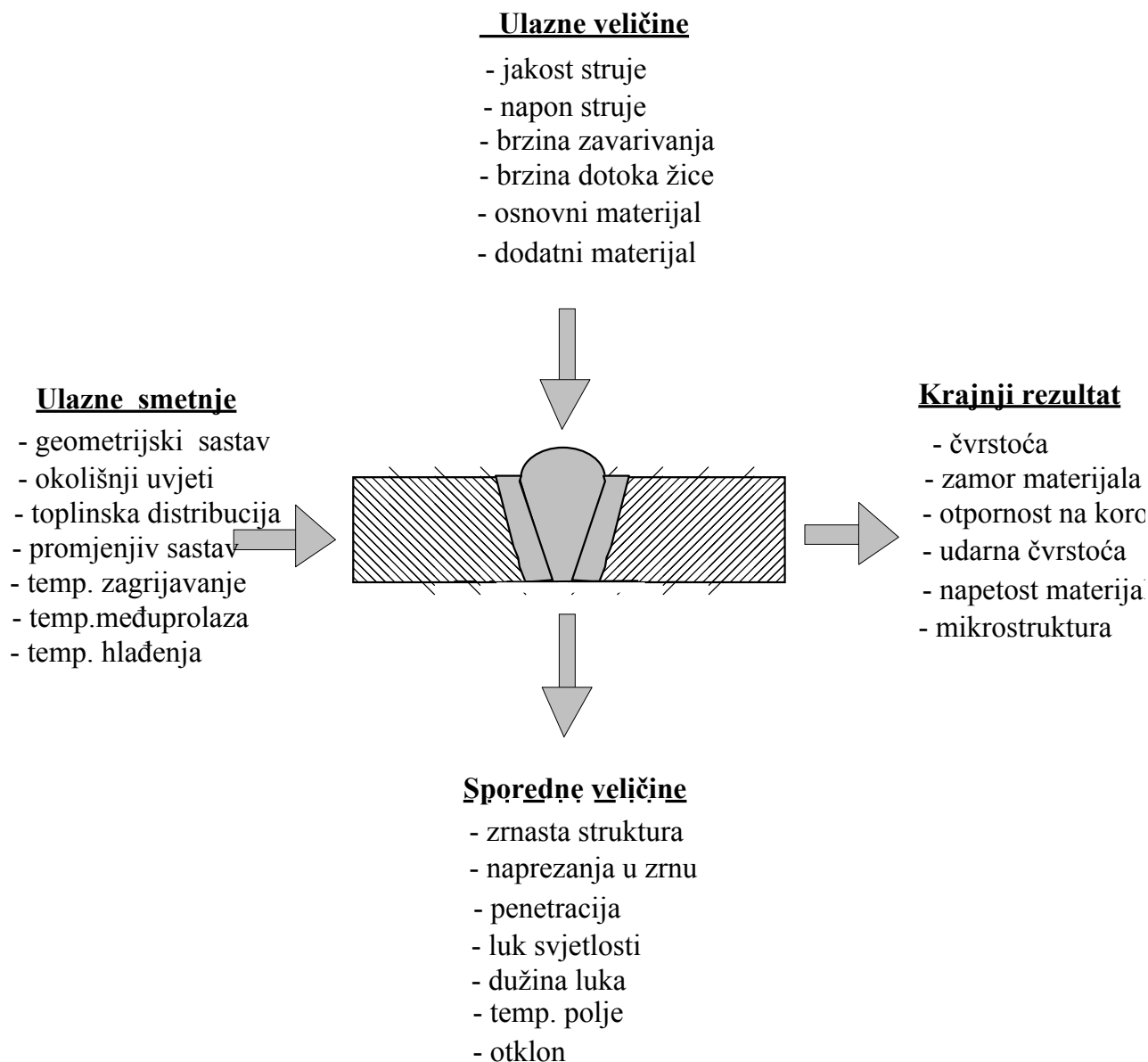
3.1.2 Praćenje, registracija i statistička obrada glavnih parametara elektrolučnog zavarivanja pomoću " on - line monitoring " sistema

Suvremena moderna elektronika koja se, između ostaloga, ugrađuje u opremu za zavarivanje, te za prikupljanje i obradu podataka omogućuje inteligentniji rad opreme za zavarivanje. Memoriju opreme moguće je napuniti znanjem i iskustvom stečenim kod različitih tehnoloških postupaka, pa tako i znanjem i iskustvom stečenim kod zavarivanja. Na temelju toga se mogu donositi inteligentne odluke u procesu zavarivanja. Moguće je čak procesom, odnosno parametrima zavarivanja, upravljati tako da se postiže visoka kvaliteta zavarenih spojeva. Također je moguće tijekom zavarivanja pomoću metode kontrole bez razaranja, npr. ultrazvukom pratiti kvalitetu zavarenih spojeva, te pravovremeno vršiti korekcije parametara zavarivanja u cilju stabilnosti procesa zavarivanja i dobivanja stabilne i prihvatljive kvalitete zavarenog spoja.

Proces zavarivanja može biti prikazan kao proces protoka materijala i energije, što je prikazano na slici 3.5



Slika 3.5 Definicija opsega procesa zavarivanja [10]



Slika 3.6 Definicija opsega ulaza i izlaza u procesu zavarivanja

3.1.2.1 Elektronička oprema za praćenje, mjerenje, prikupljanje i obradu podataka, tzv. “On-line monitor” [10]

Vrlo brze promjene parametara zavarivanja može se pratiti korištenjem raznih senzora, hardvera i softvera za akviziciju podataka. Senzori registriraju željene parametre u procesu zavarivanja koji se pomoću A/D kartice (analogno-digitalne kartice) mogu pretvarati u digitalne vrijednosti, te uz pomoć odgovarajućih programa na računalu pohraniti u memoriju. Obradom snimljenih podataka mogu se dobiti različite informacije o:

- procesu zavarivanja,
- ponašanju dodatnog materijala (prijenosu kapljica u električnom luku),
- ponašanju izvora struje (dinamička karakteristika izvora struje),
- stabilnosti visine luka i dr.

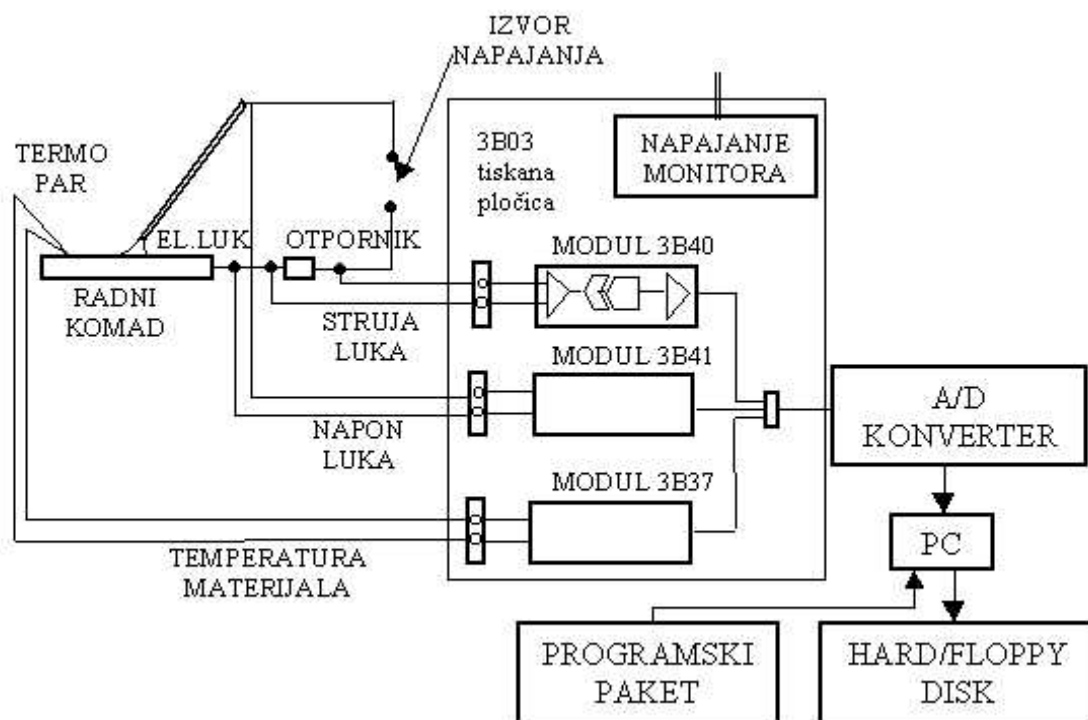
Ako parametri odstupaju od propisanih granica, mogu se pojaviti proizvodne, geometrijske ili metalurgijske greške. Krajnji cilj primjene tehničkih dostignuća je rad “bez pogrešaka”.

Kratak opis uređaja za " On - line monitoring "

Za istraživanja mogućnosti detektiranja i sprječavanja pojava pogrešaka u zavarenom spoju, u okviru istraživačkog projekta na Strojarskom fakultetu u Slavonskom Brodu, nabavljena je računalna kartica (I/O kartica za ISA) AT-MIO-16X, zajedno sa odgovarajućim softverom od firme National Instruments-SAD, a po preporuci američkog partnera koji koristi istu karticu za svoja istraživanja. Ona se može koristiti za ulaze raznih vrsta vremenski brzo promjenljivih signala od termoparova, tenzometara, termistora, te izvora struje i napona od raznih davača u procesima. To je brzi 16-bitni analogno-digitalni konverter – ADC s ukupnom najvećom brzinom uzimanja uzoraka mjerenja 100000 u sekundi. Najmanja moguća brzina je 0,00153 uzoraka u sekundi, odnosno 1 uzorak svakih 11 minuta, za spore promjene, npr. temperature. Analogni ulaz ima 16 kanala, a može se dodatnim modulom povećati broj ulaza na 256. Kartica može služiti za automatizaciju rada strojeva, za praćenje i upravljanje procesima i kao instrument za mjerenja raznih signala, te za prikupljanje podataka.

Pri projektiranju mjernog uređaja korišteni su standardni elektronički moduli i osobno računalo, ali su razvijeni i koriste se vlastiti projektirani elektronički sklopovi. Uređaj se sastoji iz (slika 3.7):

- izvora napajanja,
- 3B03 tiskane pločice,
- izolacijsko pretvaračkih modula,
- modula 3B41 za mjerenje napona,
- modula 3B40 za mjerenje struje,
- modula 3B37 za mjerenje temperature,
- analogno/digitalnog konvertera (A/D pretvarač),
- računala sa magnetskim medijem za pohranjivanje podataka, te
- programskog (softverskog) paketa.

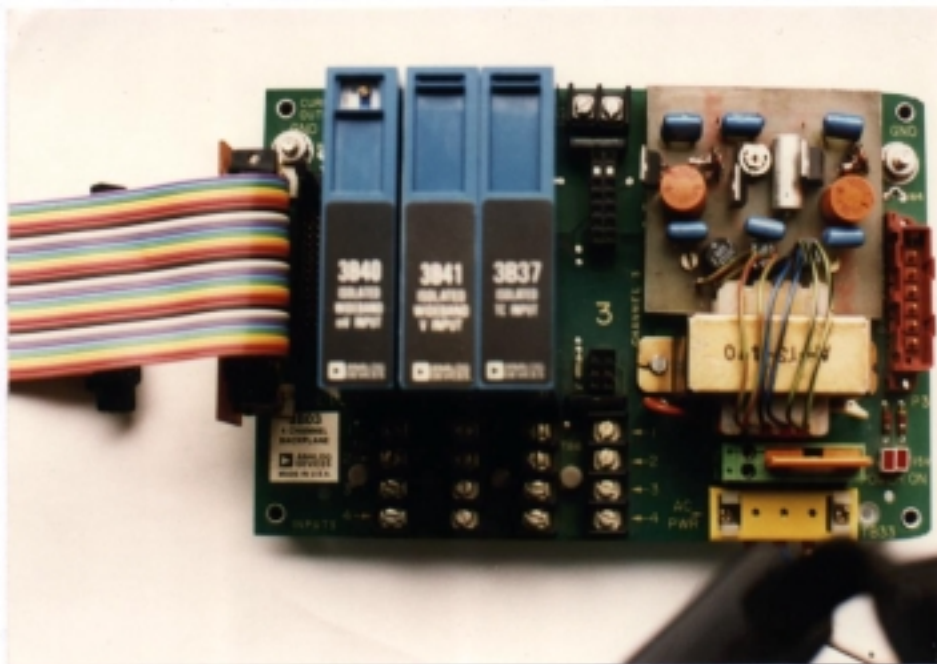


Slika 3.7 Shematski prikaz uređaja za registraciju parametara zavarivanja

Tiskana pločica i izolacijsko-pretvarački moduli su proizvodi firme ANALOG DEVICE Inc. Tvorničke je oznake 3B03 i projektirana je kao nosač 4 izolacijsko-pretvaračka modula. Na pločici se nalazi i temperaturna kompenzacija za svaki modul. Sa tiskane pločice se analogni signali do A/D pretvarača odvođe pomoću odgovarajućeg kabela. Izolacijsko pretvarački modul, pored električnog odvajanja A/D pretvarača od mjernog instrumenta, ima zadatak prilagoditi mjerne signale na električne veličine pogodne za daljnju obradu. Na tiskanoj pločici su postavljena 3 izolacijsko-pretvaračka modula.

3.1.2.2 Osnovni sklopovi (dijelovi) " On - line monitoring " uređaja

Modul 3B37 prima signale iz termopara tipa J, K, T, E, R, S, ili B, i osigurava dva izlaza proporcionalno ulaznom signalu. Izlazni signali su 0-10 V, te 4-20 mA ili 0-20 mA. Ulazni krug zaštićen je od prenapona 220 V.



Slika 3.8 Fotografija glavnih elektroničkih komponenata uređaja.

Izolirani širokopojasni milivoltni ulazni modul je projektiran za ulazne signale od $\pm 10\text{mV}$ do $\pm 100\text{mV}$. Mjerenjem pada napona na otporniku $60\text{mV}/500\text{A}$ modul se koristi pri snimanju parametara zavarivanja. Iz tih podataka dobije se vrijednost struje zavarivanja. Mjerenje

jakosti struje provodi se pomoću Hall-ove sonde (može se koristiti i “otpornički Shunt”, ali je pomoću Hall-ove sonde modernije).

Modul 3B41 je izolacijsko-pretvarački naponski ulazni modul, projektiran za ulaz signala od $\pm 1\text{V}$ do $\pm 10\text{V}$. Ostale tehničke karakteristike su identične modulu 3B40. Koristi se za mjerenje napona zavarivanja. Pri mjerenju radnog napona koristi se otpornički djelitelj 1:5.

Na hardware se ne postavljaju nikakvi posebni zahtjevi. Ukoliko se želi postići veliki broj konverzija u sekundi, tada je potrebno da računalu na kojem se program izvodi radi u što bržem taktu i da je procesorska moć što veća. Programski paket je prvobitno pisan u BASIC-u, a sastojao se od sljedećih podprograma: uzimanje analognih podataka, pregled i analiza podataka.

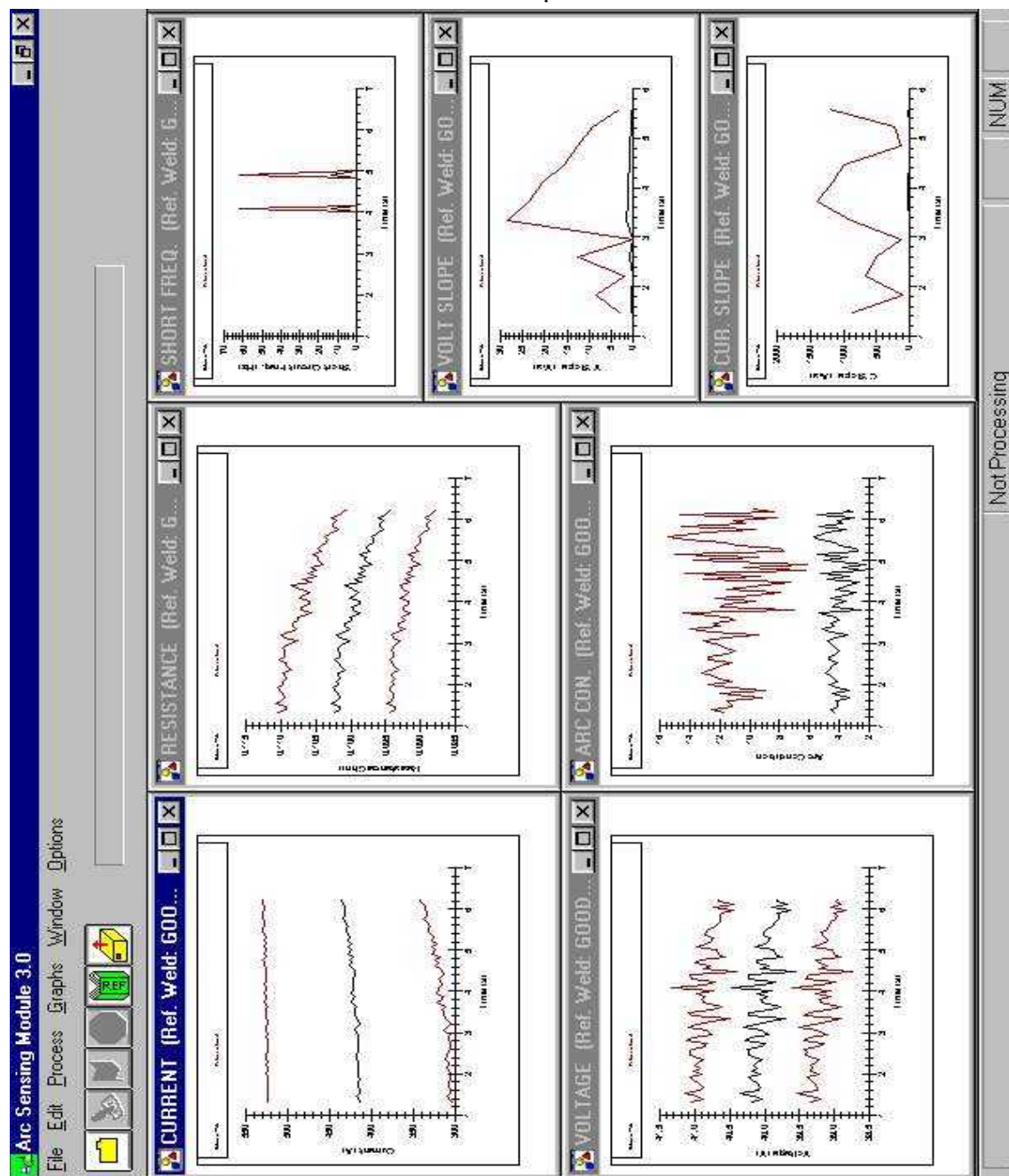
Podprogram za uzimanje podataka očitava podatke iz A/D pretvarača i snima ih na magnetski medij. Kako bi se ubrzalo snimanje podataka, učitani podaci iz pretvarača se prvo snimaju u RAM memoriju računala (min. 16 MB RAM-a). Nakon završetka snimanja podataka, odnosno pri izlasku iz ovoga modula, podaci se iz RAM-a snimaju na tvrdi disk računala.

Podprogram za pregled podataka služi za brzi pregled snimljenih podataka kako bi se stekao uvid u ispravnost snimljenih podataka. Moguće je pri pregledu podataka promatrati određeni dio podataka (npr. određeno vremensko trajanje) te mijenjati maksimalnu veličinu koja će biti prikazana na y osi.

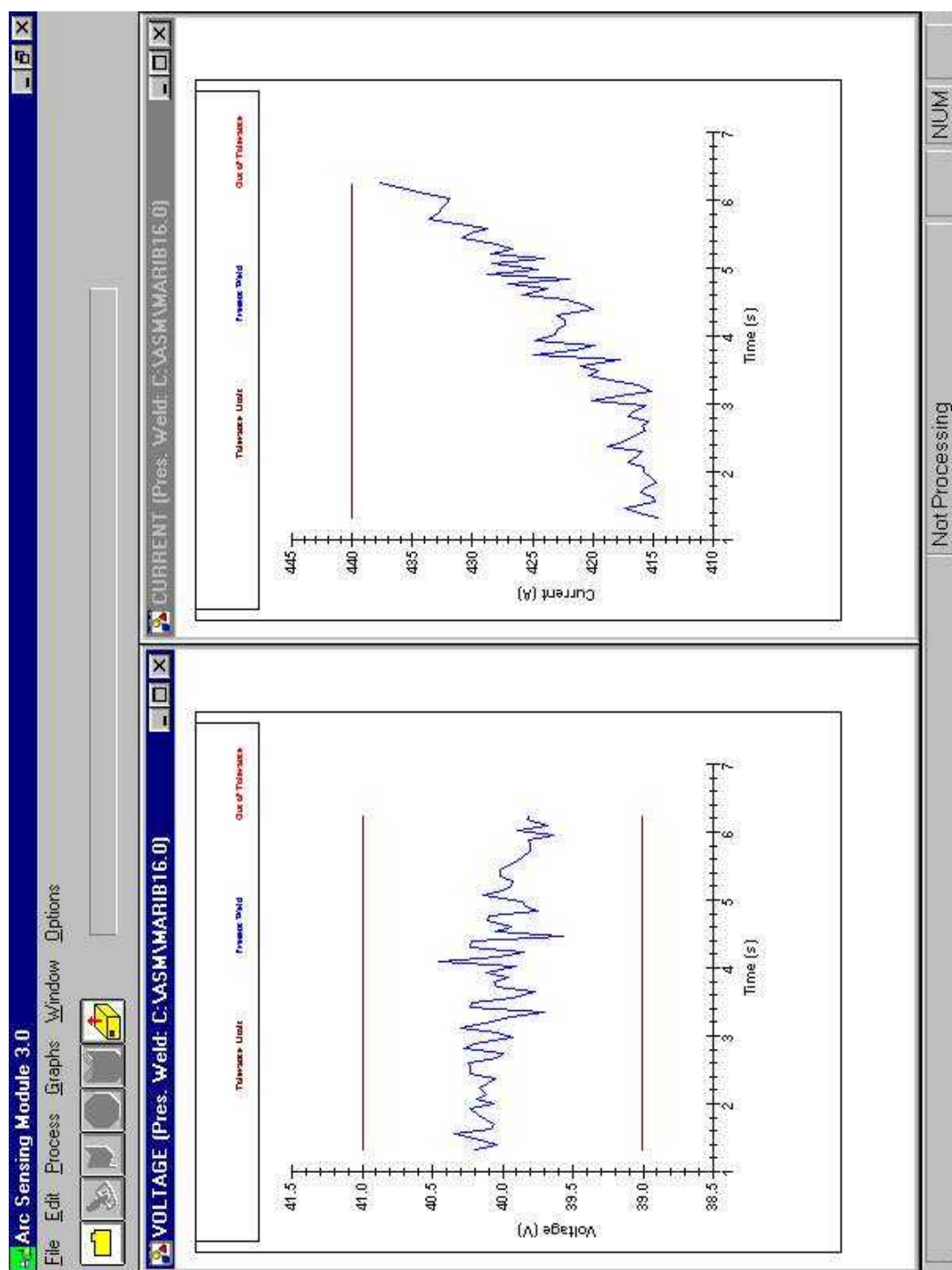
Podprogram za analizu podataka služi da se iz svih snimljenih podataka odabere onaj interval (ili više intervala) koji nas posebno zanimaju. Taj dio podataka se onda može snimiti na disk u posebnu datoteku. Format te datoteke prilagođen je programu STATGRAPHICS pomoću kojega se provodi statistička obrada podataka. Na taj način je smanjena veličina programskog paketa i omogućena je analiza dobivenih podataka na više računala istovremeno.

Softver koji sve to povezuje (Arc Sensing Modul) danas radi u Windows okruženju.

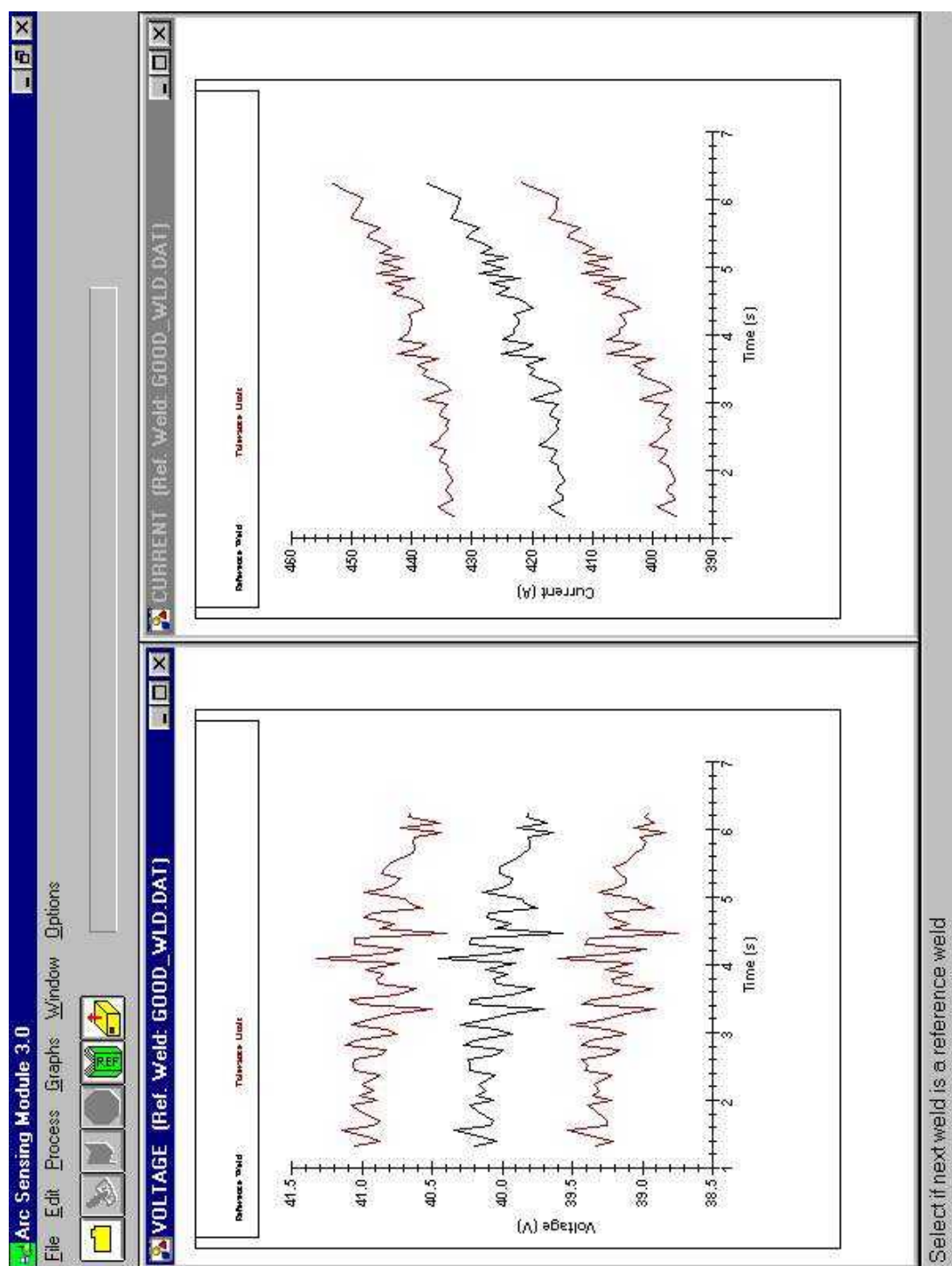
" On - line monitor " može mjeriti i registrirati parametre zavarivanja (napona i jakosti struje) u području od 1 do 10 kHz. Pri tome se kod zavarivanja na monitoru pokazuju RMS (Root Mean Square) vrijednosti napona i struje zavarivanja, a naknadno ("Off-line") je moguće statistički obraditi parametre zavarivanja u nekom od na tržištu dostupnih software-a za statističku obradu podataka (Statgraph, SPSS, Statistica, LabView, Excel, Grapher i dr.). Budući da ne postoje pisane procedure ili propisi koji pokrivaju područje korištenja " On - line monitoring " sistema, primjena uređaja, statistička obrada podataka, kao i interpretacija rezultata mjerenja zahtijeva određena predznanja i praktična iskustva. Na slikama 3.9, 3.10 i 3.11 mogu se vidjeti prikazi podataka na računalu za vrijeme snimanja parametara zavarivanja upotrebom programa ARC (Arc Sensing Modul).



Slika 3.9 Prikaz dobivenih podataka primjenom ARC programa za snimanje parametara zavarivanja



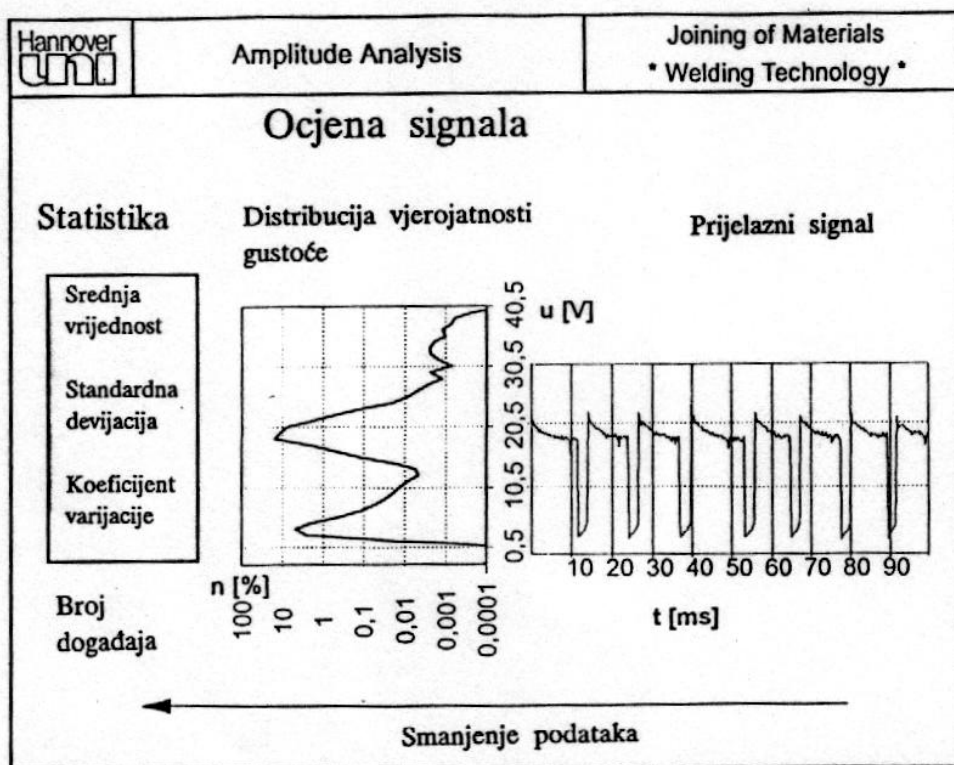
Slika 3.10 Prikaz dobivenih podataka primjenom ARC programa za snimanje parametara zavarivanja. Vide se promjena napona i promjena jakosti struje postavljene između fiksnih kontrolnih granica.



Slika 3.11 Prikaz dobivenih podataka primjenom ARC programa za snimanje parametara zavarivanja. Vide se promjene napona i jakosti struje postavljene između kontrolnih granica referentnog zvara.

3.1.2.3 Kompjuterizirani analizatori zavarivanja [10]

Da bi se ocjenjivalo i upravljalo zavarivanjem tijekom procesa zavarivanja, mora se karakterizirati utjecajne faktore na zavarivanje: parametri, oprema i dodatni materijal. O kvaliteti zavarivanja kao procesu ovisi kvaliteta zavarenih spojeva, odnosno zavarenog proizvoda ili zavarene konstrukcije. U svrhu praćenja parametara zavarivanja tijekom i nakon zavarivanja postoje programi i uređaji, koji se obično nazivaju analizatori i koji su komercijalno raspoloživi. Naime dio informacija se može očitati iz oscilograma za napon $U=f(t)$ i struju $I=f(t)$, ali statistički obrađeni podaci iz oscilograma, koji daju krivulje razdiobe vjerojatnosti-krivulje gustoće za napon i struju pružaju mogućnost bolje ocjene procesa preko parametara razdiobe, slika 3.12.



Slika 3.12 Ocjena procesa preko parametara razdiobe [10]

Takve obrade-analize zavarivanja obično se provode trenutno, “on-line” i mogu se koristiti za upravljanje procesom zavarivanja.

Kako bi se postigao krajnji cilj, zavareni spojevi bez pogreške, potrebno je da oprema za zavarivanje omogućava kontinuirano:

- praćenje i mjerenje (“on-line monitoring”, “real time monitoring”) parametara
- prikupljanje i obradu podataka (“data acquisition and data processing”),
- bilježenje (“recording”),
- upravljanje (“controlling”), mjerenje, povratna vezana (“feed back”), korekciju parametara,
- otkrivanje pogrešaka u nastajanju, te
- pravovremeno sprječavanje pojave pogrešaka (proizvod bez pogrešaka).

Za kontinuirano upravljanje i osiguranje kvalitete zavarivanja u proizvodnji na temelju praćenja električnih signala u cilju postizanja zavarenih spojeva željenih svojstava, bez pogrešaka, potrebno je još mnogo istraživanja.

3.1.2.4 Mogućnosti primjene " On - line monitoring " sistema u zavarivanju

" On - line monitoring " sistem pruža mogućnost "on-line" mjerenja, praćenja i registracije napona $U(V)$, jakosti struje zavarivanja $I(A)$ i temperature $\vartheta (^{\circ}C)$, a također i izvedenih (izračunatih) važnih varijabli:

- snage $P=U \cdot I$, (W),
- aritmetičke vrijednosti napona,

$$\bar{U} = \frac{1}{t} \int_{t_1}^{t_2} U(t) dt \quad (3.4)$$

- aritmetičke vrijednosti jakosti struje,

$$\bar{I} = \frac{1}{t} \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt \quad (3.5)$$

- aritmetičke vrijednosti brzine,

$$\bar{v} = \frac{1}{t} \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt \quad (3.6)$$

- toplinskog inputa $E_{ef}=(U \cdot I \cdot \eta)/v$, (J/mm)
- brzine hlađenja u zavarenom spoju, $w (^{\circ}C/s)$
- trajanja hlađenja u intervalu od 800 do 500 $^{\circ}C$, $t_{8/5}$, (s)

Varijable se mogu pratiti u ovisnosti o vremenu $I(t)$, $U(t)$, $P(t)$, ali se mogu pokazati i međusobni odnosi varijabli $U=f(I)$, $t_{8/5}=f(P)$ i dr.

Značajnije mogućnosti primjene " On - line monitoring " sistema su:

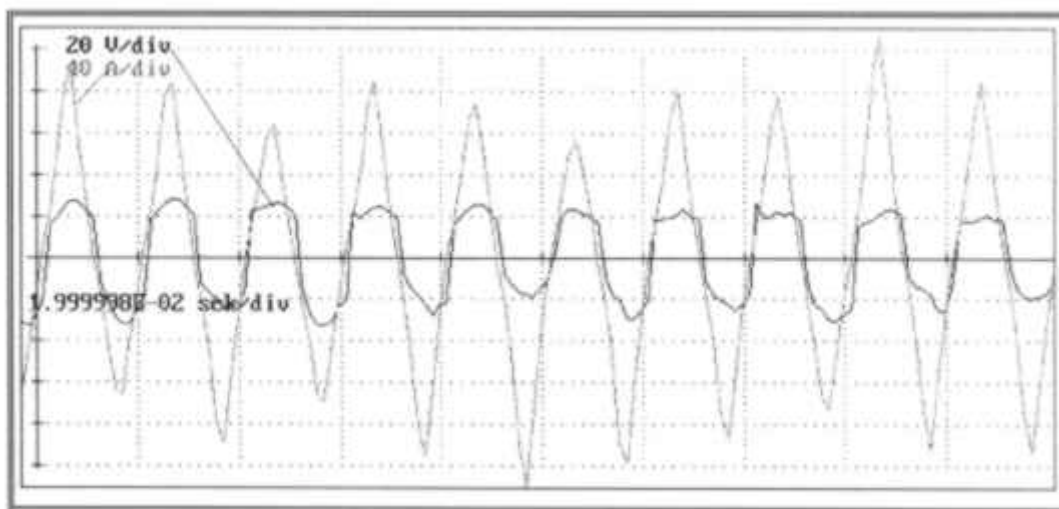
- umjeravanje i validizacija izvora struje za zavarivanje,
- izbor optimalnog dodatnog materijala za zavarivanje temeljen na usporedbi različitih dodatnih materijala od istog ili od različitih proizvođača,
- određivanje optimalnih parametara zavarivanja kod određenog procesa zavarivanja,
- točno i pouzdano određivanje toplinskog inputa,
- istraživanja na području razvoja novih osnovnih i dodatnih materijala,
- upravljanje parametrima zavarivanja kod automatskih postupaka zavarivanja, i dr.

3.1.2.5 Praktični primjeri primjene "On-line" monitora

" On - line "monitorom moguća su mjerenja i registriranja parametara zavarivanja kod različitih elektrolučnih postupaka zavarivanja. U nastavku su dani praktični primjeri za neke postupke elektrolučnog zavarivanja.

a) Ručno elektrolučno zavarivanje [11]

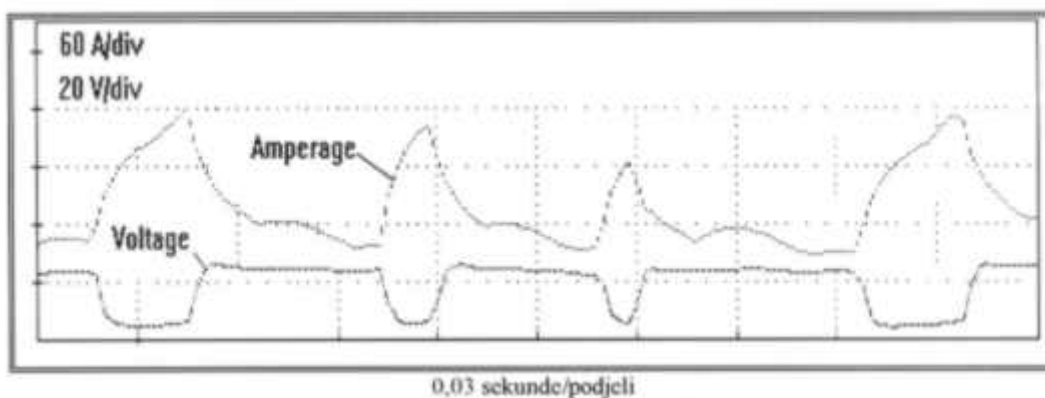
- izvor struje – obični transformator (izmjenična struja),
- elektroda – bazična elektroda EVB 50 promjera 3,25 mm ,
- frekvencija mjerenja i registracije parametara – 200 zapisa, u sekundi.



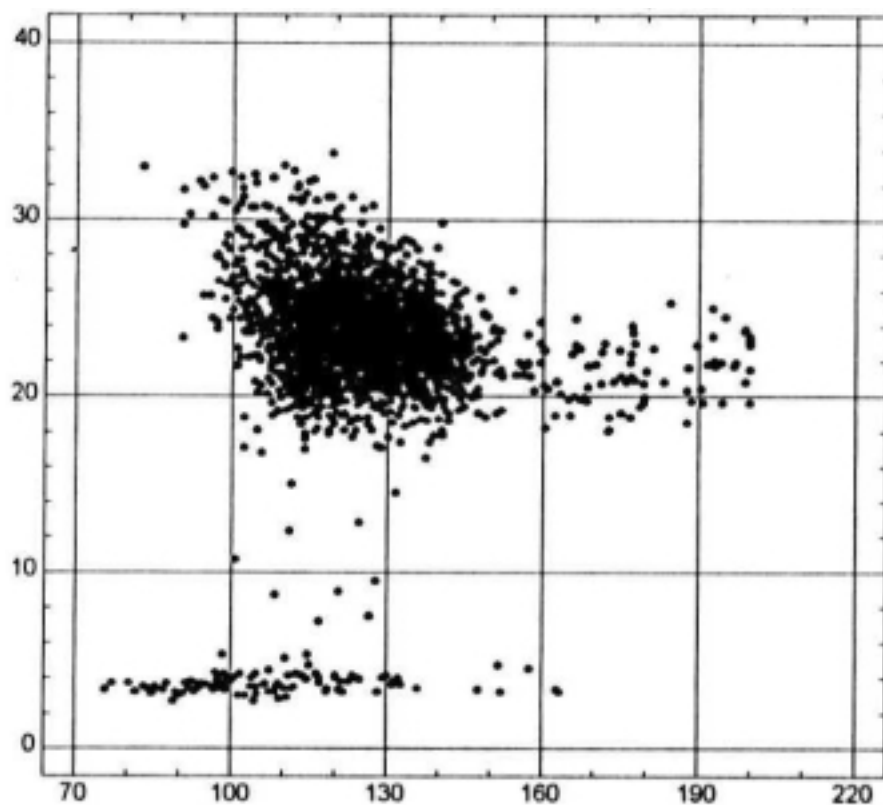
Slika 3.13 Prikaz rezultata snimanja parametara pri zavarivanju izmjeničnom strujom REL postupkom elektrodom EVB 50, promjera 3,25 mm. Jedna podjela na apscisi odgovara vrijednosti 0,02 sekunde.

b) MAG postupak [11]

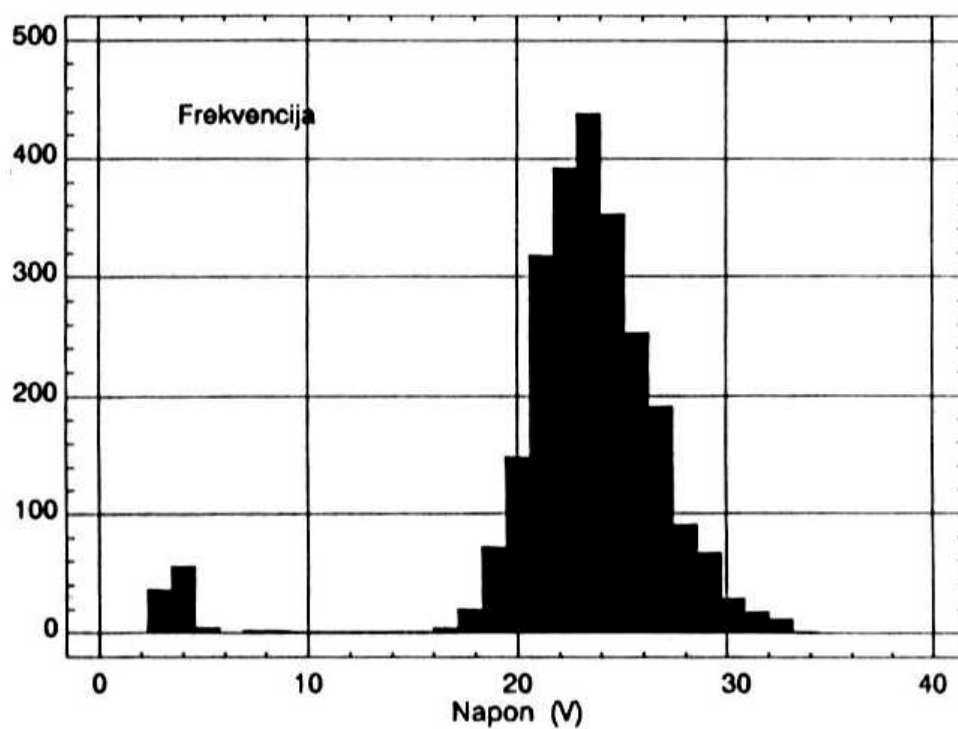
istosmjerna struja zavarivanja,
frekvencija mjerenja i registracije parametara – 200 zapisa u sekundi,
proizvoljno odabrani vremenski interval,



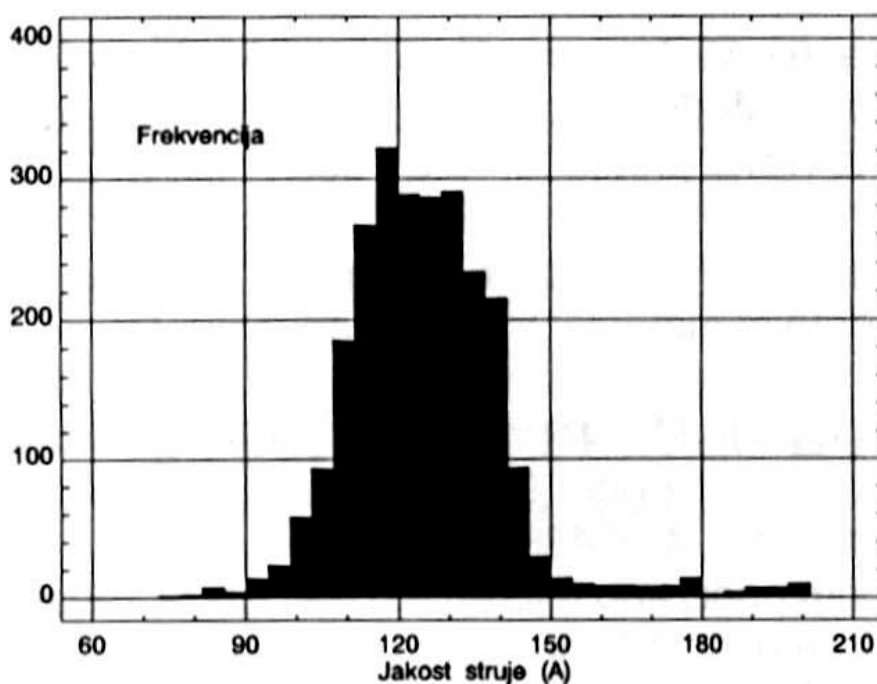
Slika 3.14 Prikaz rezultata snimanja parametara zavarivanja koji se dobiju pri zavarivanju istosmjernom strujom MAG postupkom. Jedna podjela na apscisi odgovara vrijednosti 0,03 sekunde.



Slika 3.15 Odnos napona i jakosti struje kod MAG postupka zavarivanja



Slika 3.16 Histogram frekvencija jakosti struje kod MAG postupka zavarivanja



Slika 3.17 Histogram frekvencija napona kod MAG postupka zavarivanja

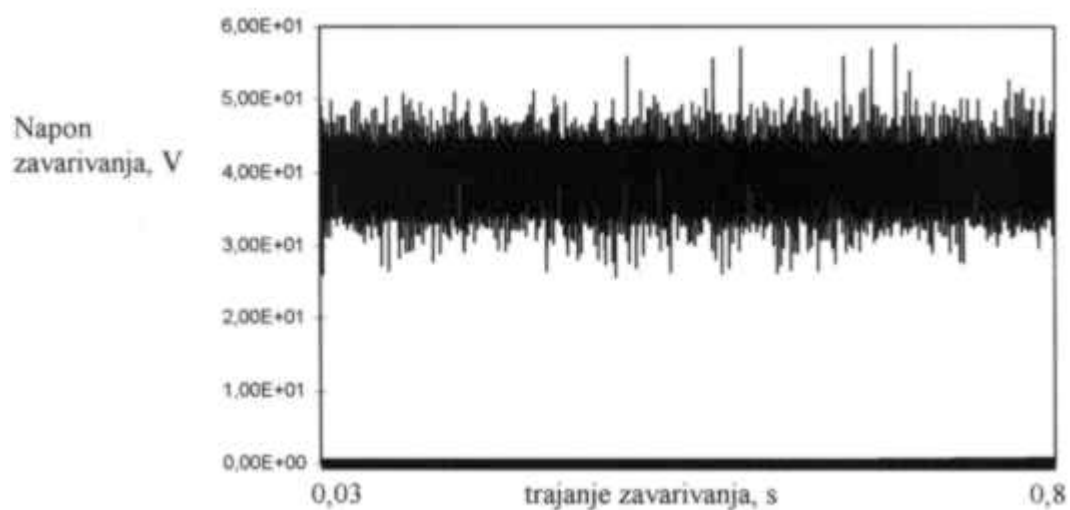
Iz slika 3.16 i 3.17 vidi se da se promjene napona i jakosti struje kod MAG postupka zavarivanja pokoravaju normalnoj razdiobi pa se u promatranju i proučavanju tih promjena može primjeniti standardna devijacija što kod nekih modernijih postupaka nije slučaj, a vidjeti će se u nastavku kod TIME postupka zavarivanja.

c) TIME postupak zavarivanja [11]

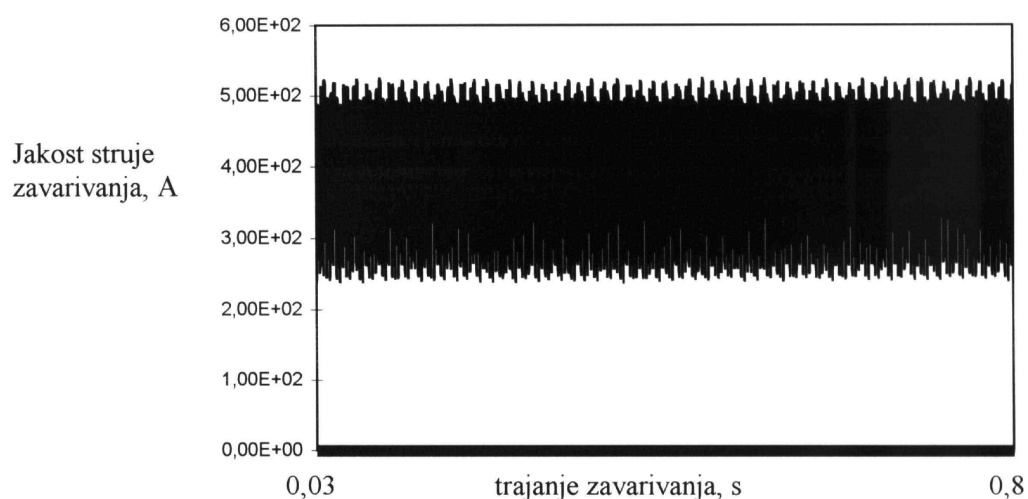
Pri zavarivanju modernom opremom za zavarivanje potrebna je daleko veća frekvencija registriranja parametara zavarivanja. Današnja oprema pri Strojarskom fakultetu u Slavonskom Brodu ima mogućnost snimanja do 10 000 zapisa u sekundi po jednom kanalu.

Kod TIME postupka ("Transferred Ionized Molten Energy") primjenjena je gore navedena usavršena verzija "On-line" monitora:

- frekvencija mjerenja i registracije parametara – 5000 zapisa u sekundi,
- materijal probne ploče – čelik povišene čvrstoće,

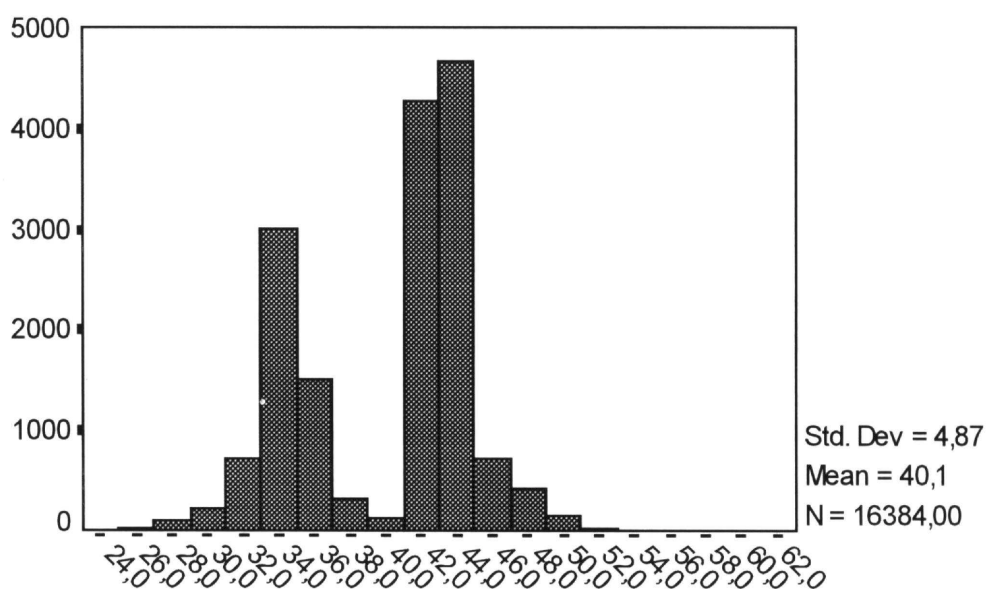


Slika 3.18 *Promjena napona tijekom zavarivanja TIME postupkom*



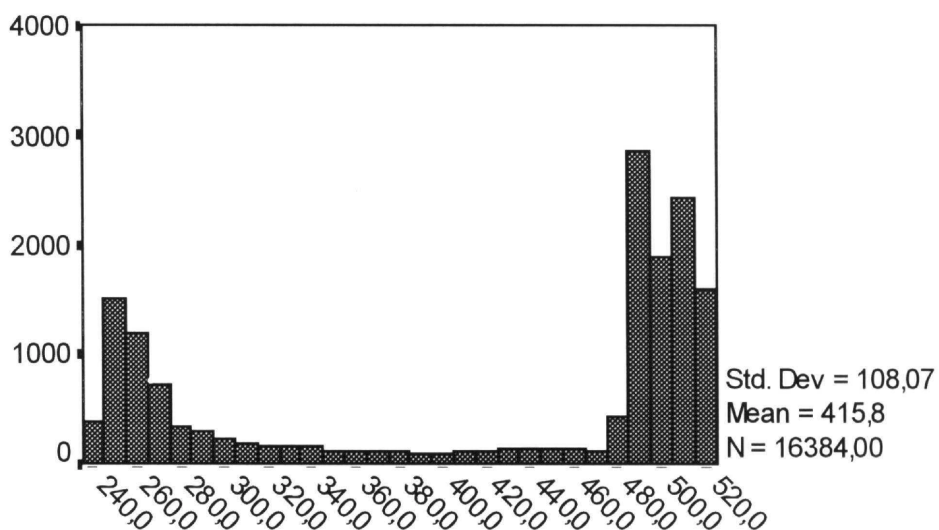
Slika 3.19 *Promjena jakosti struje tijekom zavarivanja TIME postupkom*

Za jasnije sagledavanje procesa zavarivanja koriste se histogrami frekvencija napona i jakosti struje zavarivanja. Na slijedećim slikama prikazani su histogrami fekvencija za interval snimanja 3,2696 sekundi (ukupno 16348 zapisa):



NAPON

Slika 3.20 Histogram frekvencija napona TIME zavarivanja

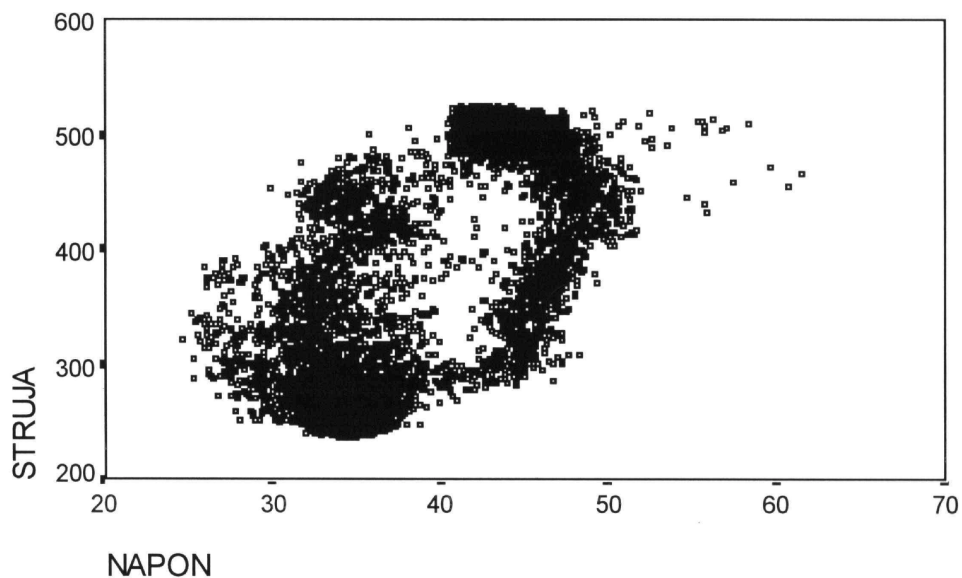


STRUJA

Slika 3.21 Histogram frekvencija jakosti struje TIME zavarivanja

Kao što smo i naveli histogrami frekvencija jakosti struje i napona kod TIME postupka ne pokoravaju se normalnoj razdiobi pa se standardna devijacija u proučavanju istih ne može primjeniti.

Na slici 3.22 prikazan je odnos napona i jakosti struje zavarivanja za ranije prikazane podatke što je još jedan vrlo koristan način prikazivanja podataka.



Slika 3.22 Odnos napona i jakosti struje zavarivanja

Kako se promjene napona i jakosti struje (posebno kod modernijih postupaka zavarivanja kao što je TIME postupak) dešavaju u vrlo kratkim vremenskim intervalima prikazivanje tih promjena pomoću dijagrama i njihovo proučavanje mora biti tijekom vrlo malih dijelova sekunde zavarivanja. Na slikama 3.18 i 3.19 se vidi da i interval od samo 0,77 sekundi sadrži previše promjena pregusto prikazanih na dijagramu da bi mogli uočiti karakteristične promjene.