

# I. AUTOMATIZACIJA MJERENJA PRI ISPITIVANJU ZAGRIJANJA ENERGETSKIH ULJNIH TRANSFORMATORA

Zdenko Godec, Vilko Cindrić, Mladen Banović  
KONČAR - Institut za elektrotehniku, Zagreb

Ispitivanje zagrijanja (tzv. pokus zagrijavanja) energetskih transformatora najsloženije je i najdugotrajnije ispitivanje transformatora. S pomoću programskog alata LabVIEW i EXCEL-a izrađen je program AMPZ (Automatizacija Mjerenja pri Pokusu Zagrijavanja) za automatizaciju mjerenja. Program vodi ispitivače kroz pokus zagrijavanja (upućuje što, kako i kojim redoslijedom treba nešto napraviti ili spojiti), provjerava ispravnost mjernog sustava, automatski mjeri, obrađuje i pohranjuje mjerne rezultate, te izrađuje ispitne izvještaje (radne i ispitne liste).

## Uvod

Nazivna snaga energetskih transformatora određena je dozvoljenim graničnim zagrijanjima ulja i namota. Pokusom zagrijavanja proizvođač dokazuje da transformator ima ugovorenu snagu. Zagrijanje je definirano kao razlika temperatura ulja i namota prema temperaturi vanjskog rashladnog sredstva (zraka okoline ili rjeđe vode) i iskazuje se u kelvinima.

Energetski transformator se u pravilu zagrijava u kratkom spoju uz tako podešen izvor za napajanje da u transformatoru nastaju gubici energije (po jedinici vremena) jednaki zbroju gubitaka praznog hoda (pri nazivnom naponu) i gubitaka zbog tereta (pri nazivnoj struji i dogovorenoj temperaturi namota).

Transformator treba zagrijavati konstantnim gubicima tako dugo dok zagrijanje ulja u najvišem sloju (u džepu na pokolopcu kotla transformatora) ne prestane rasti, tj. kad se uspostavi ravnotežno stanje između u transformatoru generiranih gubitaka i gubitaka odvedenih u okolinu (konvekcijom i zračenjem). Trenutak postizanja ustaljenog zagrijanja procjenjuje se s pomoću nekoliko normiziranih ili dogovorenih kriterija (najčešće se koristi kriterij da je porast zagrijanja po satu manji od jednog kelvina kroz četiri uzastopna sata).

U drugom dijelu pokusa transformator se zagrijava još jedan sat nazivnom strujom da bi se izmjerila temperatura namota metodom promjene električnog otpora i na taj način odredilo srednje zagrijanje namota prema ulju. Kako se djelatni otpor namota mjeri istosmjernom strujom, a zagrijava se izmjeničnom strujom, otpor namota se ne može izmjeriti u trenutku prestanka zagrijavanja. Nakon prestanka zagrijavanja namot se hladi, pa otpor treba mjeriti kroz deset do trideset minuta da bi se zatim mjerni rezultati metodom najmanjih kvadrata ekstrapolirali unatrag u trenutak prestanka zagrijavanja. Na temelju izmjerenih temperatura ulja i namota izračunaju se zagrijanja namota prema ulju (unutarnjem hladilu) i prema vanjskom rashladnom sredstvu (vanjskom hladilu).

Pri pokusu zagrijavanja mjeri se vrijeme, djelatni otpori namota prije i poslije zagrijavanja, temperature ulja i okoline na više mjesta (najmanje šest), snage, struje, naponi i frekvencija. Osim toga, pojedina mjerenja treba međusobno vremenski uskladiti, ispravno povezati (npr. mjerenja otpora u hladnom stanju i u zagrijanom stanju), sve mjerne rezultate treba zapisati, matematski obraditi, te izraditi izvještaje o ispitivanju.

Pokus zagrijavanja redovito traje dulje od 12 sati, a često i više od 24 sata (kad transformator ima više vrsta hlađenja). Matematska obrada više tisuća mjernih rezultata i pisanje ispitnog izvještaja također je opsežno i dugotrajno.

## Korisnički program "AMPZ"

Program je izrađen u skladu s u uvodu ukratko opisanom procedurom, a na temelju pisanih zahtjeva koji su obuhvatili sve varijante pokusa zagrijavanja (npr. 11 vrsta spojeva namota, 7 vrsta hlađenja transformatora, 6 kombinacija mjerenja temperature, 5 kriterija za ustaljeno zagrijanje ulja, dvije vrste sistemskih voltmetara, mjerenje snage automatski ili "ručno", pridruživanje temperature otporu namota "u hladnom stanju" (referentno mjerenje otpora namota pri poznatoj temperaturi) automatski ili "ručno", nastavak u slučaju nestanka napajanja ili prekida, itd.). Program ispitivačima olakšava pripreme, vodi ih kroz pokus zagrijavanja, automatski mjeri, alarmira svjetlosnim i zvučnim signalima kada snaga ili struja i frekvencija prelaze zadane tolerancije,

izračunava karakteristične veličine (srednju vrijednost otpora u hladnom stanju, ustaljena zagrijanja, srednju vrijednost gubitaka u zadnjoj četvrtini zagrijavanja, ekstrapoliranu vrijednost otpora toplog namota, itd.), te piše ispitne izvještaje.

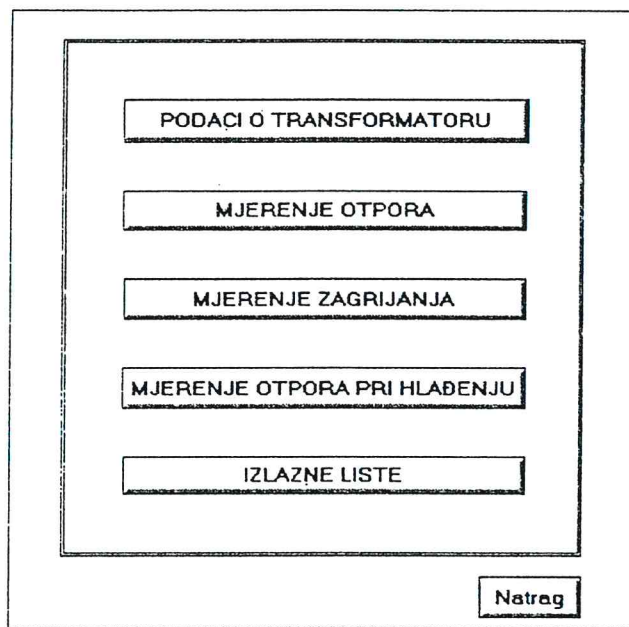
Računalo s pomoću programa AMPZ upravlja sa sistemskim instrumentima kroz GPIB komunikacijski sustav. Mjerni sustav nastaje spajanjem računala i instrumenata GPIB kabelima. U sustav se mogu spojiti najmanje tri sistemska instrumenta (dva digitalna multimetra tipa HP3478 ili HP34401 i digitalni termometar Keithley 740), do šest sistemskih instrumenata (četiri DMM-a, DTM Keithly 740 i analizator snage LEM-NORMA D6133TE). AMPZ ne upravlja izvorima za napajanje. Sve mjerne krugove ispitivači trebaju spojiti (ili odspojiti) prema uputama i u vrijeme kada na to upozori AMPZ.

Na izradu programa utrošeno je ukupno 16 mjeseci, bez vremena potrošenog na učenje rada s LabVIEW (približno dva mjeseca po čovjeku). Izvorni kod programa AMPZ-a "težak" je približno 50 MB, a aplikacija (exe verzija) 15 MB.

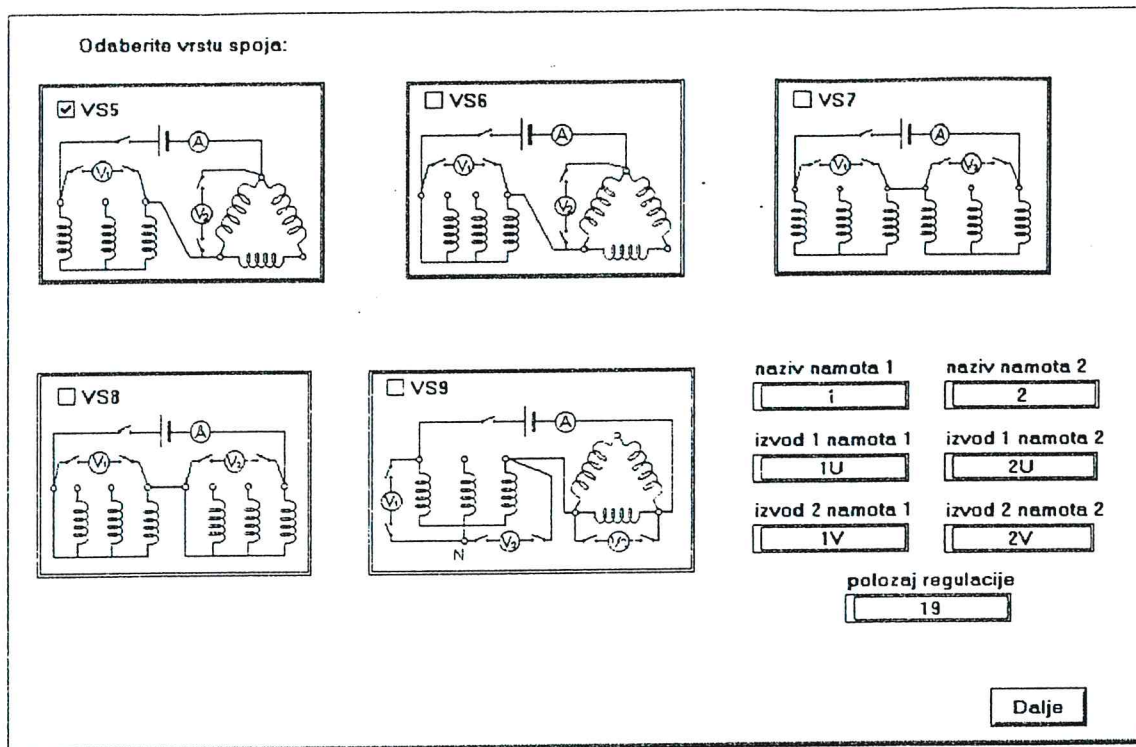
Za ilustraciju programa u prilogu je prikazano nekoliko sučelja program – ispitivač.

### Zaključak

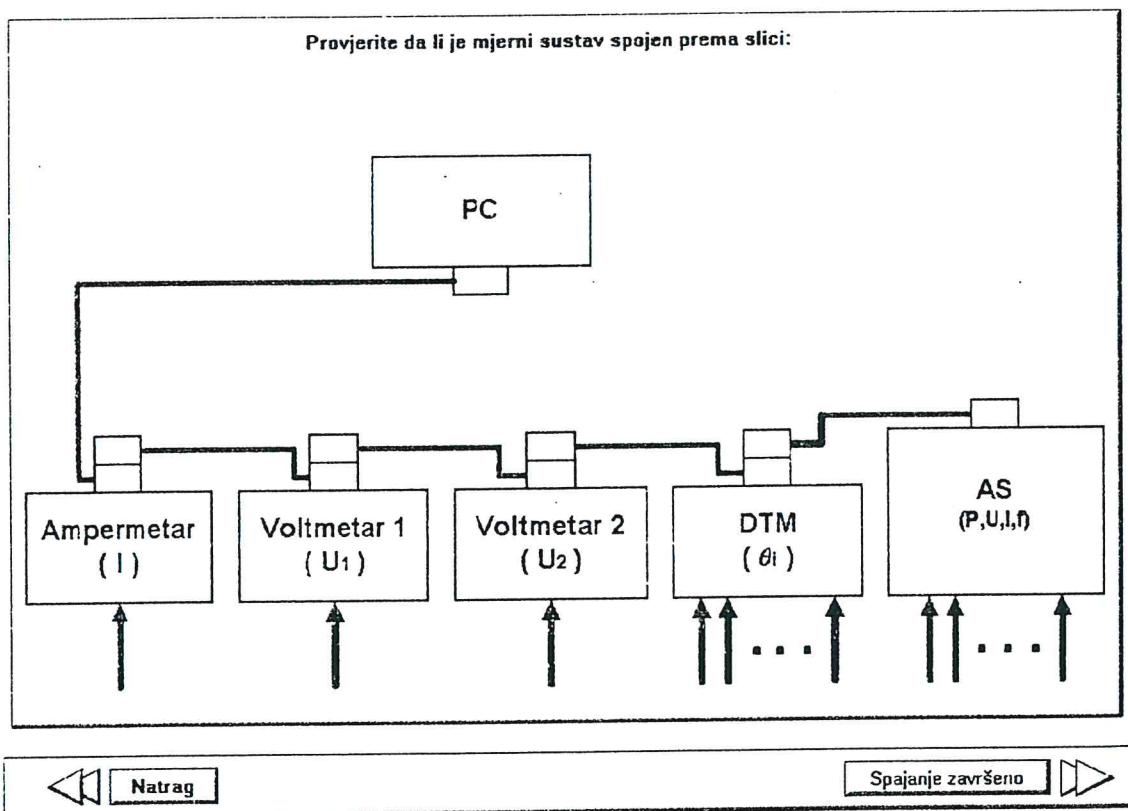
Automatizacijom mjerenja, matematske obrade i izrade ispitnih izvještaja smanjuje se opterećenje ispitivača, skraćuje vrijeme izrade ispitnih lista, povećava kapacitet ispitne stanice, smanjuje mjerna nesigurnost mjernih rezultata te podiže ugled i ostavlja dobar dojam na kupca.



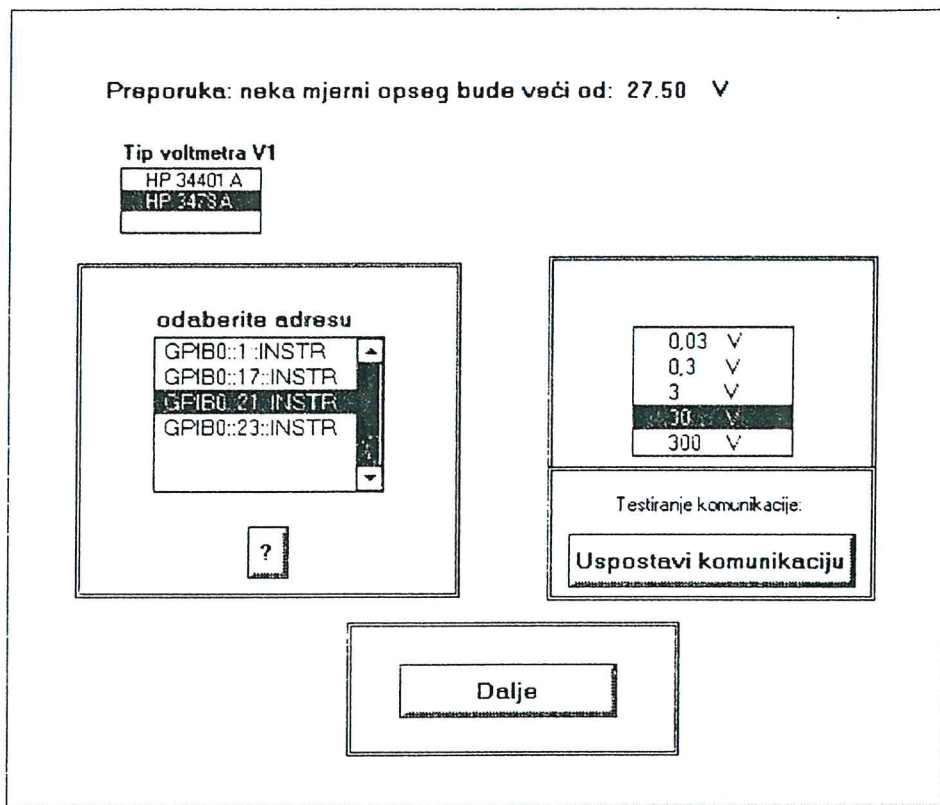
Slika 1. Glavni izbornik



Slika 2. Sheme mjernih krugova za dva namota spojena u seriju



Slika 3. Mjerni sustav za automatsko mjerenje otpora namota U-I metodom, temperatura, te izmjeničnih veličina



Slika 4. Podešavanje voltmetara za mjerenje otpora U-I metodom

<b>MJERENJE TEMPERATURA</b>	
<b>Spajanje termoparova na kanale DTM-a</b>	
<p><small>Ne ulaze digitalnog termometra se, po mjeranju zagrijanja ONAN, ONAF, OFAF i ODAF hladnih transformatora, spoja termoparovi tipa T sljedećim redoslijedom</small></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>1. Termopar iz džepa na poklopcu kada se spoje na 2. kanal</p> <p>2. Termopar iz džepa na ulaznoj cijevi u hladnjak sa spoje na 3. kanal</p> <p>3. Termopar iz džepa na izlaznoj cijevi iz hladnjaka sa spoje na 4. kanal</p> <p>4. Termopar iz posude s uljem za mjerenje temperature zraka okoline na 8. kanal</p> <p>5. Termopar iz posude s uljem za mjerenje temperature zraka okoline na 9. kanal</p> <p>6. Termopar iz posude s uljem za mjerenje temperature zraka okoline na 10. kanal</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>7. Termopar iz džepa na ulaznoj cijevi u hladnjak druge grupe na 5. kanal</p> <p>8. Termopar iz džepa na izlaznoj cijevi iz hladnjaka druge grupe na 6. kanal</p> <p style="margin-top: 10px;"><small>Termoparovi 1,2,3,4,5 i 6 mora u biti spojeni na svakom mjerenu, dok se termoparovi 7 i 8 spoje prema želji korisnika (kada odabira mogućnosti "mjen" ili "ne mjen"). U slučaju neispravnosti nekog od obaveznih kanala rezervni kanal 7 treba zauzeti mjesto neispravnog kanala. U slučaju se kao rezervni mogu koristiti kanali 5 i 6</small></p> </div> </div>	
<p><b>Izbor kanala:</b></p> <p><b>Ako ste spojili termoparove na kanale koji nisu izabrani ovdje, tada pritisnite na STRELICU NADOLJE</b></p> <p><b>da dobijete moguće izbore kanala, i označite željeni kanal jednostavnim klikom na njega.</b></p>	
Termopar za mjerenje temperature S <sub>t</sub> :	KANAL 2. (PREPORUČEN) ▾
Termopar za mjerenje temperature S <sub>c1</sub> :	KANAL 3. (PREPORUČEN) ▾
Termopar za mjerenje temperature S <sub>b1</sub> :	KANAL 4. (PREPORUČEN) ▾
Termopar za mjerenje temperature S <sub>a1</sub> :	KANAL 8. (PREPORUČEN) ▾
Termopar za mjerenje temperature S <sub>a2</sub> :	KANAL 9. (PREPORUČEN) ▾
Termopar za mjerenje temperature S <sub>a3</sub> :	KANAL 10. (PREPORUČEN) ▾
Termopar za mjerenje temperature S <sub>c2</sub> :	KANAL 5. (PREPORUČEN) ▾
Termopar za mjerenje temperature S <sub>b2</sub> :	KANAL 6. (PREPORUČEN) ▾
<p><b>Ako ste završili s izborom kanala pritisnite PROVJERU FUNKCIONALNOSTI KANALA, a ako želite spojati termoparove na druge kanale SCANNER kartice DTM-a tada ponovo pritisnite UPUTE ZA SPAJANJE.</b></p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px; display: flex; align-items: center;"> <span style="font-size: 1.2em; margin-right: 5px;">◀</span> <span>Natrag</span> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px; display: flex; align-items: center;"> <span style="font-size: 1.2em; margin-right: 5px;">▶</span> <span>UPUTE ZA SPAJANJE</span> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px; display: flex; align-items: center;"> <span style="font-size: 1.2em; margin-right: 5px;">▶</span> <span>PROVJERA FUNKCIONALNOSTI KANALA</span> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px; display: flex; align-items: center;"> <span style="font-size: 1.2em; margin-right: 5px;">▶▶</span> <span>Dalje</span> </div> </div>	

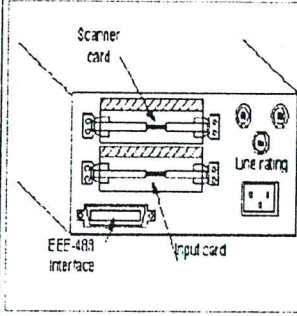
Izabrani kanali su ISPRAVN  
Klikom na kontrolu DALJE nastavite  
odnosno zagrijavanje

Slika 5. Upute za spajanje termoparova

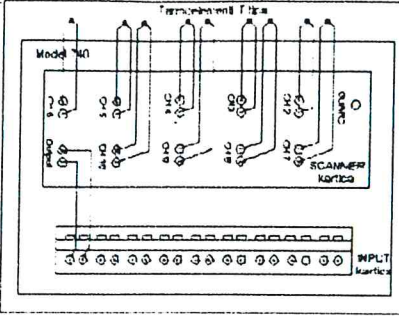
Upute za spajanje termoparova na kanale digitalnog termometra KEITHLEY 740.

1. Isključite instrument i odspojite napajanje.
2. Prma slici 1. izvucite SCANNER karticu.
3. Spojite termoparove na kanale SCANNER kartice kako je prikazano na slici 2.
4. Spojite termopar (T) na OUTPUT terminal SCANNER kartice.
5. Vratite SCANNER karticu natrag.
6. Izvucite INPUT karticu (sl.1).
7. Spojite termopar (T) s OUTPUT terminala SCANNER kartice na jedan par terminala INPUT kartice pazeći na polaritet (sl.2.)
8. Vratite INPUT karticu natrag.

Ako ste završili spajanje pritisnite kontrolu **SPAJANJE ZAVRŠENO**.



Slika 1.

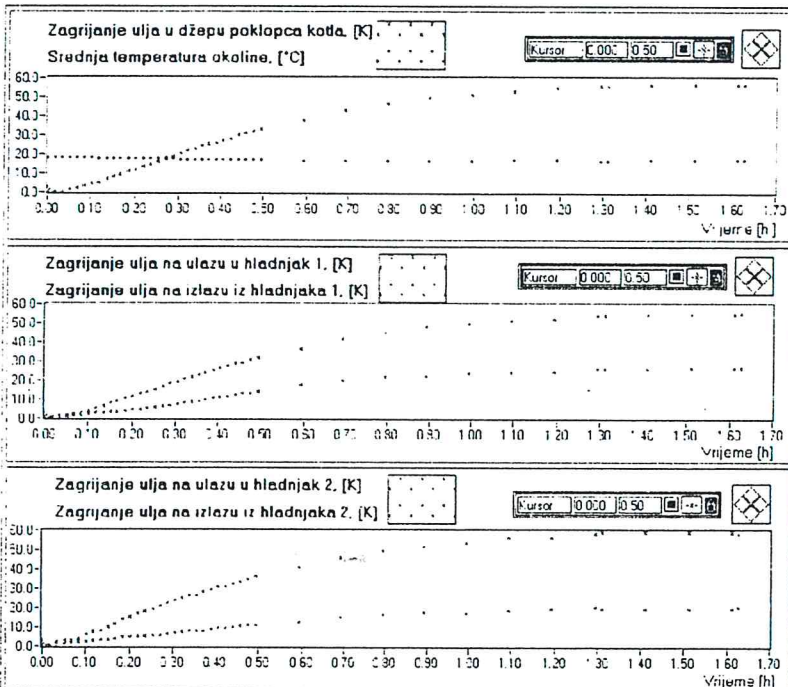


Slika 2.

◀ Natrag
Spajanje završeno ▶

Slika 6. Upute za spajanje termoparova na kanale DTM-a

2000.09.28 09:28:55
Vrijeme od početka mjerenja: 1.63 h



Interval čekanja [min]

Pn = 250.00 kW In = 13.00 A  
Pm = 247.90 kW Im = 13.30 A

Podaci o transformatoru i mjeranju

PROJEKTOVAČ  
KPT

**Molim pritisnite kontrolnu tipku  
Prijelaz na pripreme za mjerenje  
Rhl.**

Podesi napajanja

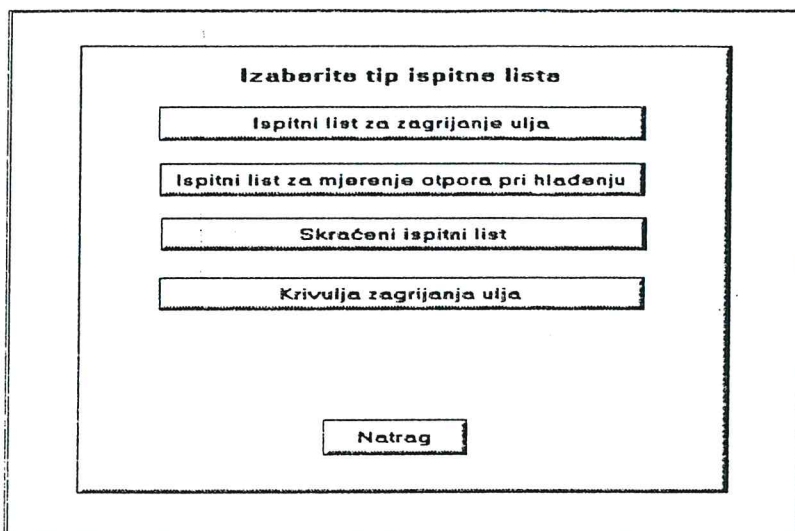
Pokazivač struje: 13.27 A  
Pokazivač frekvencije: 50.00 Hz

Struja zagrijavanja: 13.000 A  
Frekvencija: 50.000 Hz

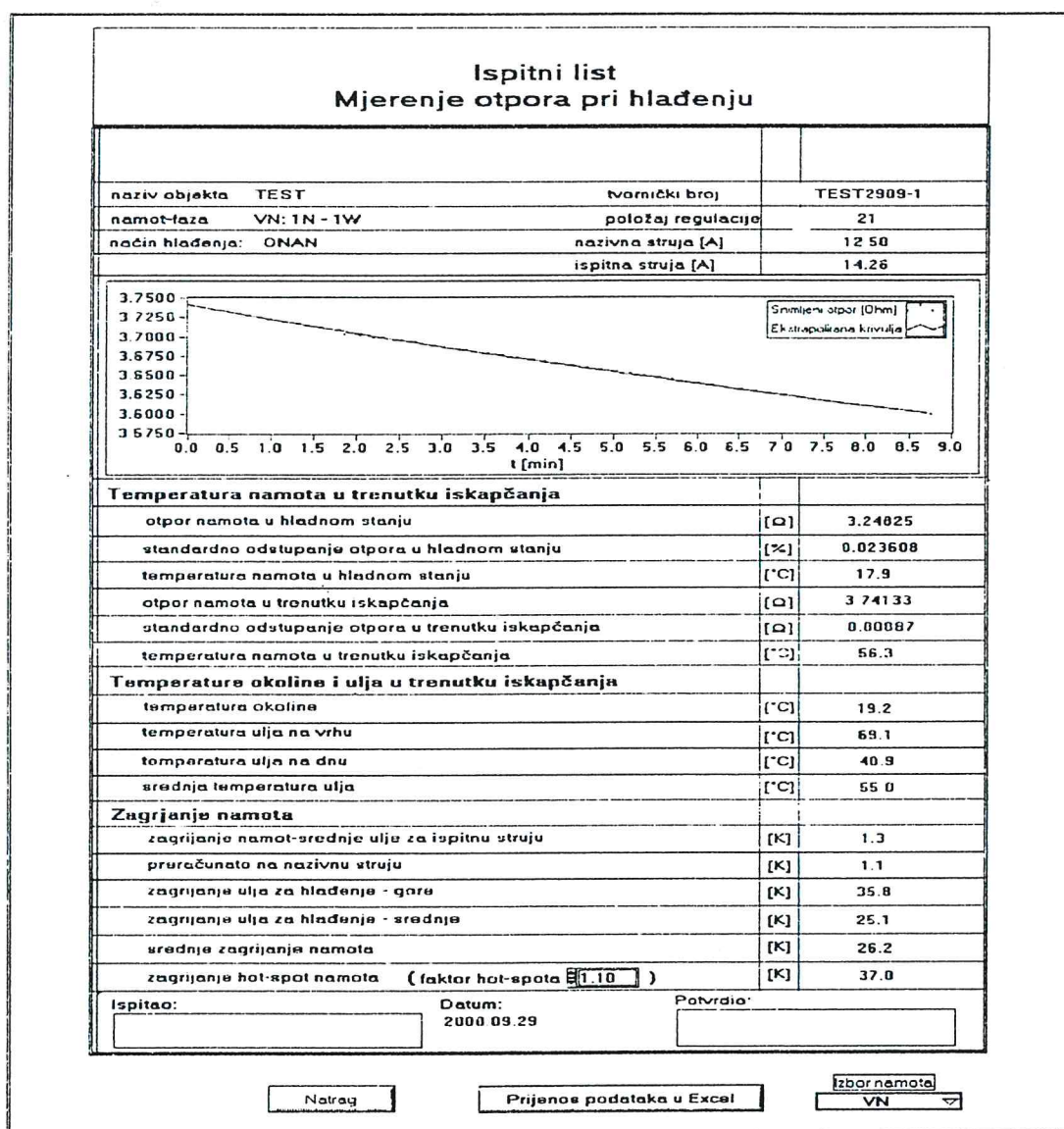
Tolerancija: 3.0 %  
Tolerancija: 1.0 %

◀ Natrag
▶

Slika 7. Sučelje za automatsko mjerenje i prikaz srednje temperature okoline, zagrijanja ulja, struje i frekvencije



Slika 8. Izbornik vrste ispitnih lista



Slika 9. Prikaz izlazne liste zagrijanja namota (u LabVIEW-u)