



Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Elektrotehnički fakultet

Srđan Damjanović

**NOVA REŠENJA AKVIZICIONOG
SISTEMA NA STANICAMA ZA
ISPITIVANJE TURBOMLAZNIH MOTORA
SA SMANJENOM
MERNOM NESIGURNOSTU**

- Doktorska disertacija -

Septembar, 2006

Elektrotehnički fakultet Univerzitet u Istočnom Sarajevu

Srđan Damjanović

**NOVA REŠENJA AKVIZICIONOG
SISTEMA NA STANICAMA ZA
ISPITIVANJE TURBOMLAZNIH MOTORA
SA SMANJENOM
MERNOM NESIGURNOSTU**

Disertacija za sticanje naučnog stepena doktora nauka

Septembar, 2006

Posveta

*Krunu rada protkanu stazom uspjeha,
posvećujem ženi Slobodanki, ženi koja je omeđila
granice moje sreće, bogatstvu naše ljubavi Teodori i
Mihailu, te voljenim roditeljima Miri i Mirku koji
neprestano mislite za dobro svoje djece.*

NOVA REŠENJA AKVIZICIONOG SISTEMA NA STANICAMA ZA ISPITIVANJE TURBOMLAZNIH MOTORA SA SMANJENOM MERNOM NESIGURNOSTU

Rezime

Predmet naučne rasprave u doktorskoj disertaciji je realizacija nove savremene stanice za ispitivanje turbo-mlaznih motora, koja predstavlja kompleksnu tehnološku celinu, u koju je ugrađen merno akvizicioni sistem. Merno akvizicioni sistem realizovan je sa novim algoritmom za akviziciju i obradu mernih signala, kao i proračun korigovanih parametara turbo-mlaznih motora, uz pridruživanje odgovarajuće merne nesigurnosti.

U uvodnim delovima rada opisane su stacionarne ispitne stanice u kojima se nakon remonta turbo-mlaznog motora vrši ispitivanje u raznim radnim režimima. Tom prilikom se meri veliki broj parametara motora. Većina procesa koji se tom prilikom snimaju su kratkotrajni, pa se jedino rešenje za zapisivanje (registrowanje) fizičkih procesa mora zasnivati na brzom računarski vođenom akvizicionom sistemu.

Centralni deo rada posvećen je praktičnoj realizaciji merno akvizicionog sistema, koji se koristi prilikom ispitivanja karakteristika turbo-mlaznih motora koji se ugrađuju u borbene avione Galeb i Orao, i koji predstavlja izuzetno kompleksan tehnički problem. Prikazano je kako se ovim akvizicionim sistemom mora ostvariti istovremeno merenje više desetina signala koji se međusobno razlikuju po prirodi, naponskom nivou i dinamici. Od akvizicionog sistema se zahtevaju visoke performanse što uključuje brojne vidove obrade mernih signala uz ostvarenje male kombinovane merne nesigurnosti. Stručni doprinos predstavlja prezentovanje, odmah nakon obavljenog testa, rezultata ispitivanja svedenih na standardne atmosferske uslove, na osnovu čega se donose zaključci o valjanosti izvršenog remonta, odnosno ispravnosti turbo-mlaznih motora.

Posebno poglavlje disertacije posvećeno je određivanju i izražavanju merne nesigurnosti u skladu sa propisima datim od međunarodnih organizacija iz oblasti zakonske metrologije. Predstavljeni su izvori i tipovi merne nesigurnosti. Izvršena je analiza kako funkcija raspodele rezultata merenja utiče na izražavanje merne nesigurnosti. Sa praktičnog stanovišta od posebnog interesa je poglavlje disertacije u kome se prikazuju konkretni primeri proračuna mernih nesigurnosti.

Na kraju disertacije opisan je postupak proračuna merne nesigurnosti za sve signale koji se mere akvizicionim sistemima u stabilnim radnim režimima, što predstavlja korak dalje jer se do sada za obradu i izražavanje rezultata primenjivala klasična matematička disciplina, tzv. teorija grešaka. Prikazana je komparativna analiza mernih nesigurnosti za 18 signala koji su snimani u stabilnom radnom režimu *maksimal MI* motora MM – 17, sa starim i novim algoritmom za akviziciju i obradu mernih signala. Pokazan je naučni doprinos novog algoritma, koji u poređenju sa starim, ima manju mernu nesigurnost.

Praktična vrednost rezultata disertacije potvrđena je eksperimentalno, ispitivanjem više različitih turbo-mlaznih motora na ispitnim stanicama. Glavni naučni doprinos realizacije i primene akvizicionog sistema na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a je unapređenje procesa ispitivanja i smanjenje vremena ispitivanja. Time se ostvaruju uštede u utrošku goriva, ulja i električne energije. Primena akvizicionih sistema u ispitivanju turbo-mlaznih motora je veoma značajan rezultat, jer tržište danas konstantno zahteva umanjene cene ispitivanja, ali ujedno i poboljšanje kvaliteta ispitivanja.

NEW DESIGN ACQUISITION SYSTEM ON STATIONARY CELL TESTING FOR TESTING TURBO-JET ENGINES WHILE LOWERING MEASUREMENT UNCERTAINTY

Abstract

The subject of the investigation of this thesis is the installation of new test cells for turbo-jet engines which represent very complex technological units with acquisition systems. Acquisition measurement systems were realized with new algorithms for acquisition and analysis of measurement signals, as well as calculations of corrected parameters of turbo-jet engines.

In the introduction parts, stationary testing-cells are described, in which after overhaul of turbo-jet engine is done, it performs an examination of the jet-engine under different operating conditions. During this performance large numbers of engine parameters are monitored. The majority of the measurements are so quick and rapidly fluctuate that it was necessary to use computerized data acquisitions systems.

The central part of this thesis is dedicated to practical applications of measurement acquisition systems which are used during the testing of the characteristics of turbo-jet engines that are built into military aircraft Galeb and Orao and represent very complex challenges. It is shown how these acquisition systems have to obtain simultaneous measurements of several dozen signals which are all different by nature, including tension level and dynamics. The acquisitions system is required to have high performance, which includes analysis and measurement signals, while lowering measurement uncertainty. The results are captured under real atmospheric conditions, which are then represented immediately after testing is done, based on results regarding the conclusion of the validity of the overhaul of the turbo jet-engine.

A special thesis is dedicated to the determination and expression of measurement uncertainty according to International Standards for Meteorology. It provided a source of different types of measurement uncertainty; also it describes how the function of distribution of the results of measurement has influence on measurement uncertainty. From the practical point of view the most interesting part of this thesis is one which shows applied examples of calculation measurement uncertainty.

At the end of the thesis is explained the calculation of the measurement uncertainty for all the signals, which are measured by acquisition systems under the stable operating conditions. Also shown is the comparative analysis of measurements uncertainty for 18 signals which are monitored under stable operating conditions maximal M1 engine MM17 with old and new algorithms for acquisition and calculation of measurement signals. The results present that new algorithms have much less uncertainty.

The practical value of the results is proven experimentally after testing several different turbo-engine jets in a testing cell. The realization and application of the high speed acquisition system is that it has significantly improved the testing process and has contributed to the shortening of time for testing turbo-jet engines, and it has also provided enormous savings regarding fuel and electric energy. Application of acquisition systems in the testing of turbo-jet engines have very meaningful results, in that the marketplace today constantly demands lowering the price of the testing while improving quality of the outcome.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. MERNI INSTRUMENTI NA ISPITNOJ STANICI ZA VIPER MOTORE	5
3. AKVIZICIONI SISTEM	17
3.1. PRIMENA RAČUNARA U METROLOGIJI	17
3.2. BLOK ŠEMA AKVIZICIONOG SISTEMA	18
3.3. KOMPONENTE AKVIZICONO-KONTROLNE JEDINICE HP3497A	21
3.3.1. Integracioni voltmetar HP44420A	21
3.3.2. FET Multiplekser HP44422A	23
3.3.3. Jednokanalni brojač HP44426A	23
3.4. DAVAČI MERNIH SIGNALA	24
3.5. NAČIN PRORAČUNA KORIGOVANIH PARAMETARA MOTORA	29
3.6. ETALONIRANJE AKVIZICIONOG SISTEMA	31
4. PROJEKTOVANJE I RAZVOJ SOFTVERA ZA AKVIZICIJU	35
4.1. USLUŽNI PROGRAMI	35
4.1.1. Opis programa za merenje parametara TMM-a VIPER	36
4.1.2. Opis programa za snimanje krive motora	39
4.1.3. Opis programa za snimanje krive vibracija	42
4.1.4. Prva verzija programa za merenje parametara TMM-a MM-16 i MM-17	42
4.1.5. Izmene programa za merenje parametara TMM-a MM-16 i MM-17	47
4.2. GLAVNI PROGRAM	51
4.2.1. Deo glavnog programa koji opisuje merenje parametara motora	51
4.2.2. Deo glavnog programa koji opisuje etaloniranje akvizicionog sistema	60

5. ODREĐIVANJE MERNE NESIGURNOSTI MERENJA	61
5.1. IZRAŽAVANJE MERNE NESIGURNOSTI	62
5.2. IZVORI (UZROCI) NASTAJANJA MERNE NESIGURNOSTI	63
5.3. TIPOVI MERNE NESIGURNOSTI	63
5.3.1. Merna nesigurnost tip A	63
5.3.2. Kombinovana ili objedinjena merna nesigurnost tip A	65
5.3.3. Merna nesigurnost tip B	66
5.3.4. Slučajni karakter sistematskih efekata i nesigurnosti tip B	67
5.4. FUNKCIJE RESPODELE	68
5.4.1. Gausova (normalna) raspodela	68
5.4.2. Pravougaona (uniformna) raspodela	69
5.4.3. Trougaona raspodela	70
5.4.4. Uticaj izbora raspodele na izražavanje merne nesigurnosti	71
5.5. KOMBINOVANA MERNA NESIGURNOST	71
5.5.1. Kombinovana merna nesigurnost u slučaju nekoreliranih veličina	72
5.5.2. Kombinovana merna nesigurnost u slučaju koreliranih veličina	73
5.6. POSTUPAK IZRAČUNAVANJA MERNE NESIGURNOSTI	74
5.6.1. Identifikacija merne metode	75
5.6.2. Definisanje jednačine modela	75
5.6.3. Kvantifikovanje komponenti nesigurnosti	77
5.6.4. Određivanje proširene merne nesigurnosti	77
5.6.5. Određivanje faktora pokrivanja na osnovu broja stepeni slobode	78
5.7. PRIMER ETALONIRANJA TERMOPARA TIP K NA 700 °C	79
5.7.1. Opis metode	79
5.7.2. Jednačina modela	80
5.7.3. Kvantifikovanje komponenti merne nesigurnosti	80

5.7.4. Merenje	82
5.7.5. Budžet nesigurnosti merenja temperature u peći T_x	82
5.7.6. Budžet nesigurnosti merenja napona V_x na krajevima termopara	83
5.7.7. Rezultat etaloniranja	83
5.8. ZNAČAJ I DOPRINOS MERNE NESIGURNOSTI	84
6. PRORAČUN MERNE NESIGURNOSTI AKVIZICIONIH SISTEMA	85
6.1. REZULTATI PRORAČUNA MERNE NESIGURNOSTI ZA TMM VIPER	85
6.2. REZULTATI PRORAČUNA MERNE NESIGURNOSTI ZA TMM MM-17	99
6.3. POREĐENJE REZULTATA MERENJA PARAMETARA TMM-A MM-17	114
7. REZULTATI	119
7.1. REZULTATI MERENJA PARAMETARA TMM-A VIPER	119
7.1.1. Rezultati proračuna parametara	119
7.1.2. Rezultati snimanja krive motora	121
7.1.3. Rezultati snimanja krive vibracija	124
7.2. REZULTATI MERENJA PARAMETARA TMM-A MM-16 I MM-17	125
7.2.1. Rezultati proračuna parametara	125
7.2.2. Rezultati oscilografisanja	127
8. ZAKLJUČAK	131
9. LITERATURA	135

1. UVOD

Predmet naučne rasprave u doktorskoj disertaciji je realizacija nove savremene stanice za ispitivanje turbo-mlaznih motora (u daljem tekstu TMM-a), koji se ugrađuju u borbene avione Galeb i Orao. Ova ispitna stanica predstavlja kompleksnu tehnološku celinu, u koju je ugrađen merno akvizicioni sistem. Od akvizicionog sistema se zahtevaju visoke performanse što uključuje brojne vidove merenja i obrade mernih signala. Merno akvizicioni sistem realizovan je sa novim algoritmom za akviziciju i obradu mernih signala, kao i proračun korigovanih parametara TMM-a, uz pridruživanje odgovarajuće merne nesigurnosti. Ovo predstavlja korak dalje jer se do sada za obradu i izražavanje rezultata primenjivala klasična matematička disciplina, tzv. teorija grešaka. Prvobitna verzija algoritma za akviziciju, obradu i etaloniranje mernih signala na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a ruske proizvodnje detaljno je analizirana u magistrarskom radu od strane autora.

U savremeno organizovanoj društvenoj zajednici život i rad se ne može zamisliti bez merenja. Merenjem čovjek produžava domašaj svojih čula. Nema robe koja nije merena pre nego što je dospela u razmenu, niti prirodne spoznaje koja ne počiva na merenim vrednostima. Industrijsku proizvodnju ne možemo zamisliti bez merenja, a i kvalitet proizvoda se određuje merenjem. Čovekova zaštita od opasnosti koje mu prete od okoline ili medicinska dijagnoza i terapija zasnovane su na rezultatima merenja. Da bi se pokazalo koliki se značaj, za celokupni proces ljudskog društva, pridaje merenjima, popularno je istaći izreke poznatih naučnika. Tako je V. Tomson, lord Kelvin rekao: *"Ako možete izmeriti ono o čemu govorite, i izraziti ga brojevima, vi znate nešto o njemu, ali ako to niste u stanju, znanje vam je slabo i nedovoljno; ono može biti početak saznanja, ali ste u vašim mislima jedva kročili ka Nauci, pa ma kakav bio predmet vašeg interesovanja."* D. I. Mendeljejev: *"Nauka počinje tamo gde počinju merenja."*

Tehnološki progres na polju merenja bio je izuzetno buran u nekoliko zadnjih desetina godina. Tome su, između ostalog, doprineli zahtevi vazduhoplovstva za istovremenim preciznim merenjima velikog broja veličina u dinamičkim uslovima. Kako je potreba za merenjima rasla, tehnologija izvođenja merenja se sve više oslanjala na električne i elektronske metode. Do ovoga je došlo iz najmanje dva razloga. Prvo, većina veličina, kao temperatura, masa, sila, ubrzanje, brzina, pomeraj, svetlost, zvuk i pritisak, mogu se danas jednostavno transformisati u električnu veličinu (signal). Drugo, kada se merna informacija jednom dobije u električnom obliku, ona može lako da se obradi, prikaže, memoriše i naknadno posmatra posle završetka merenja.

Jedan od najkompleksnijih problem merenja u vazduhoplovstvu je ispitivanje turbo-mlaznih motora na stacionarnoj ispitnoj stanici. Stacionarne ispitne stanice su složeni namenski objekti, na kojima se vrši simulacija svih radnih režima u kojima se motor može naći u toku leta aviona. Ispitivanje na stacionarnoj ispitnoj stanici predstavlja završnu aktivnost u procesu remonta TMM-a, pre njegove ugradnje na avion. Prilikom ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici meri se veliki broj različitih parametara. Ovi parametri se mere u kratkom vremenskom periodu na motoru, postolju na koje je motor postavljen i ispitnoj ćeliji u kojoj se nalazi motor sa postoljem. Zato najbolje rešenje za zapisivanje (registrowanje) fizičkih procesa na ispitnoj stanici mora biti zasnovano na brzom računarski vođenom akvizicionom sistemu. Ovi merni sistemi odlikuju se kompleksnom strukturom i visokim mernim performansama, koje moraju biti usklađene sa strogim kriterijuma propisanih kod testiranja vazduhoplovne opreme i motora predviđenih za ugradnju u savremene letelice. U odnosu na broj mernih signala koji se mere na TMM-u prilikom leta aviona, na ispitnoj stanici se meri puno više mernih signala na motoru i postolju na koje je motor postavljen. Tako se na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a koji se ugrađuju u borbene avione Mig 21 (tip MM-16 i MM-17) nalaze 63 merna instrumenta, a na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a koji se ugrađuju u borbene avione Galeb i Orao (tip VIPER 632-41, VIPER 632-46 i VIPER 633-41) nalaze 34 merna instrumenta. Prilikom ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici ispitivač stalno prati i zapisuje pokazivanje 20 do 30 mernih instrumenata, zavisno od režima rada motora. Pokazivanje nekih mernih instrumenata ispitivač prati samo povremeno, dok pokazivanje nekih mernih instrumenata ispitivač prati samo prilikom postavljanja TMM-a na ispitno postolje i prilikom konzervacije TMM-a, a posle završenog ispitivanja. Neki režimi rada TMM-a traju kratko. Zato ispitivač nije u mogućnosti da u istom trenutku prati i ručno zapiše sve parametre potrebne za donošenje odluke u skladu sa kriterijumima prihvatljivosti datim u specifikaciji proizvođača TMM-a. Zato se javlja veliki subjektivni uticaj ispitivača na rezultate merenja parametara motora.

Zbog potrebe da se istovremeno precizno meri veliki broj mernih signala na ispitnoj stanici, predviđena je ugradnja merno-akvizicionog sistema kako bi se povećala brzina i pouzdanost, a smanjila merna nesigurnost merenja. Merno-akvizicioni sistem (u daljem tekstu akvizicioni sistem) povezuje sve merne instrumente na ispitnoj stanici u jednu celinu koju nazivamo merni sistem. Merni podaci prikupljeni pomoću akvizicionog sistema treba da se obrade, prikažu i memorišu. Izmerene vrednosti mogu se prikazati na ekranu računara i štampati na štampaču. U toku ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici, svi izmereni parametri motora, snimljeni u realnim atmosferskim uslovima, potrebno je da se u što kraćem vremenu preračunaju (koriguju) na vrednosti pri standardnim atmosferskim uslovima (temperatura vazduha 15 °C i atmosferski pritisak 1013 mbar), bez obzira na realne uslove pri snimanju parametara. Suština korekcije izmerenih parametara motora na standardne atmosferske uslove leži u tome da se omogući poređenje osnovnih radnih parametara motora sa parametrima koje je propisao proizvođač, a koji su dati za standardne atmosferske uslove. Upotrebom akvizicionog sistema prilikom ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici, korigovani parametri se dobijaju u realnom vremenu dok traje ispitivanje motora. Na osnovu izmerenih i proračunatih korigovanih parametara može se odmah oceniti da li je remont dobro obavljen ili je potrebno izvršiti dodatna podešavanja na motoru. U slučaju da korigovani parametri motora malo odstupaju od granica koje je propisao proizvođač, mogu se izvršiti neka manja podešavanja dok motor radi. U slučaju da korigovani parametri motora puno odstupaju od granica koje je propisao proizvođač, treba prekinuti ispitivanje, dok se ne otkloni kvar na motoru, da se ne bi nepotrebno trošilo gorivo za ispitivanje na ostalim radnim režimima. Sva ova snimanja na ispitnoj stanici rade se sa ciljem da se otkrije i otkloni svaki eventualni problem u radu motora na zemlji, a pre njegove ugradnje u avion. Kada se motor ugradi u avion, isti mora da zadovolji izuzetno veliku pouzdanost u radu, u svim režimima u kojima motor može da se nađe prilikom leta aviona.

U disertaciji su predloženi originalni algoritmi za akviziciju i obradu mernih signala, kao i proračun korigovanih parametara motora, uz pridruživanje odgovarajuće merne nesigurnosti. Novi algoritmi su prvo primenjeni i testirani na ispitnoj stanici za ispitivanje turbo-mlaznih motora VIPER. Ova nova rešenja akvizicionog sistema sa smanjenom mernom nesigurnošću zatim su primenjena i na akvizicioni sistem na ispitnoj stanici za TMM-re MM-16 i MM-17. Opisano je određivanje merne nesigurnosti za rezultate ispitivanja TMM-a, uz uzimanje u obzir svih izvora merne nesigurnosti u skladu sa važećim međunarodnim preporukama iz oblasti merne nesigurnosti.

Glavni program za akviziciju i obradu mernih signala napisan je u programskom jeziku Visual Basic 6.0. U glavnom programu napisani su i proračuni za korigovanje izmerenih parametara motora. U softverskom paketu Agilent VEE PRO 6.0. urađeni su uslužni programi za komunikaciju PC računara sa akviziciono-kontrolnim jedinicama HP3497A i HP3852A, koje su ugrađene na ispitnim stanicama. Izmereni i korigovani parametri motora čuvaju se u bazama podataka napravljenim u MICROSOFT ACCESS-u. U MICROSOFT EXCEL-u prikazuju se krive motora koje predstavljaju dijagrame nacrtane na osnovu izračunatih korigovanih parametara motora.

Metrologija je nauka o merenju. Merenje je skup postupaka koji imaju za cilj određivanje vrednosti veličine. Vrednost veličine je kvantitativan iznos veličine, uglavnom izražen u obliku proizvoda brojne vrednosti i merne jedinice. Rezultat merenja je vrednost dobijena merenjem koja se pripisuje mernoj veličini. Poznato je da su metoda merenja i merna sredstva osnovni elementi mernog procesa. Pri tome se, naravno, misli isključivo na ispravna merna sredstva. Merno sredstvo je ispravno ne samo kada je funkcionalno ispravno, već i kada su potvrđene njegove metrološke karakteristike propisane od strane proizvođača. Metrološka aktivnost, u okviru koje se proveravaju metrološke karakteristike mernih sredstava naziva se etaloniranje. Metrološka laboratorija ML-16 Vazduhoplovnog Zavoda "ORAO" (u daljem tekstu VZ "ORAO") vrši etaloniranje svih mernih instrumenata koji se nalaze na ispitnim stanicama za ispitivanje TMM-a. Prilikom etaloniranja vodi se računa da najveća dopuštena greška etalona bude najmanje tri puta manja od greške merila koje se etalonira. Etaloniranje instrumenata na ispitnim stanicama obavlja se svaka tri meseca zbog pojačanih zahteva za kontrolom kvaliteta remonta TMM-a u VZ "ORAO". Na ovaj način se dobija veća pouzdanost, a smanjuje nesigurnost merenja prilikom ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici.

Rezultat svakog realnog merenja sadrži u sebi određenu nesigurnost, što znači da se idealno tačna vrednost merene veličine ne može saznati. Uzroci mernih nesigurnosti mogu biti veoma brojni i po pravilu se ne mogu svi uzeti u obzir. Da bi se postigla jednoobraznost u izražavanju mernih rezultata vodeće institucije međunarodnog metrološkog sistema, 1993 godine objavile su *Uputstvo za izražavanje merne nesigurnosti*. Do tada za obradu i izražavanje rezultata primenjivala se klasična matematička disciplina, tzv. teorija grešaka. Pojam greška merenja odnosi se isključivo na razliku između dobijenog

rezultata i odgovarajuće vrednosti dobijene pomoću etalonskog mernog instrumenta. Načini obrade rezultata nisu bili standardizovani pa je bilo teško poređenje istih merenja izvršenih u različitim laboratorijama. Zbog toga je za svaki merni rezultat uveden pojam „merna nesigurnost“. Obradom mernih rezultata na način opisan u Uputstvu dobija se merni rezultat, merna nesigurnosti i statistička sigurnost sa kojom važe dobijeni podaci.

Merna nesigurnost je parametar, pridružen rezultatu merenja, koji karakteriše rasipanje izmerenih vrednosti koje se opravdano mogu pripisati merenoj veličini. Usvojeno je da se merna nesigurnost označava slovom u . Osnovni princip je da se svakom podatku o mernoj nesigurnosti pridruži odgovarajuća funkcija raspodele, kao i verovatnoća, odnosno statistička sigurnost. *Standardna merna nesigurnost* u , po definiciji, jednaka je standardnom odstupanju s . Statistička sigurnost koja odgovara standardnoj mernoj nesigurnosti, zavisi od raspodele koja se pripisuje datom rezultatu merenju. *Proširena merna nesigurnost* U , predstavlja umnožak standardne merna nesigurnosti i *koeficijenta proširenja* k , tj. $U = k \cdot u$. Proširenoj mernoj nesigurnosti odgovara visoka vrednost statističke sigurnosti. To znači da se merena veličina sa velikom sigurnošću nalazi u intervalu $x_s \pm U$. Postoje dva osnovna tipa merne nesigurnosti: *tip A* i *tip B*. Postoji i tzv. *kombinovana merna nesigurnost* koja je uglavnom kombinacija ova dva tipa merne nesigurnosti.

Merna nesigurnost tip A određuje se isključivo metodom statističke obrade rezultata. Iz ovog sledi da merna nesigurnost tip A postoji samo ako se radi o merenju koje je ponovljeno više puta i koje uglavnom ima Gausovu raspodelu.

Merna nesigurnost tip B određuje se svim ostalim metodama, izuzev statističke analize. Merna nesigurnost tip B može se odrediti i kod pojedinačnog merenja, kada merna nesigurnost tip A ne postoji. Valjano određivanje merne nesigurnosti tip B pretpostavlja upotrebu svih raspoloživih podataka i saznanja o korištenoj mernoj opremi, o uticaju parametara okruženja na merenje, o raznim vrstama smetnji i dr. Pri tome je neophodno pridružiti adekvatnu funkciju raspodele ovoj mernoj nesigurnosti.

2. MERNI INSTRUMENTI NA ISPITNOJ STANICI ZA VIPER MOTORE

Osnovna delatnost Vazduhoplovnog Zavoda "ORAO" je remont i serijska proizvodnja TMM-a po licenci engleske firme *Rolls Royce*. Vazduhoplovni Zavod "ORAO" vrši generalni remont TMM-a tipa VIPER (serije 200, 500, 600) engleskog proizvođača *Rolls Royce* i TMM-a tipa MM-16, MM-17 i RD33 ruske proizvodnje, uz istovremeno objedinjavanje vrhunskih tehnologija zapadnih i istočnih proizvođača motora. Pored generalnog remonta vrši se i opravka motora prema stanju i održavanje motora u eksploataciji. Vazduhoplovni Zavod "ORAO" je verifikovani proizvođač određene game rezervnih delova za poznate svetske firme: *Rolls Royce*, *General Electric* i *Snecma*.

Obavezan remont avionskih TMM-a radi se posle određenog broja sati rada na avionu ili posle isteka vremenskog roka eksploatacije ili skladištenja. Skup aktivnosti koje zaokružuju remontni ciklus motora su:

- 1) Rastavljanje motora.
- 2) Pranje i čišćenje delova.
- 3) Defektoskopija – otkrivanje pukotina bez razaranja materijala (penetrantska metoda, magnetnofluksna metoda, ultrazvučna metoda, vrtložne struje, rentgen i endoskopija).
- 4) Regeneracija korištenih delova radi produženja roka upotrebe.
- 5) Tehnologija regeneracije i zaštite delova depozicijom metalnih, karbidnih kao i svih vrsta kombinacija metal-karbid prevlaka metodama *Plasma spraying*, *HVOF*, *Flame spraying* i *PVD* metodom, metoda galvanske zaštite (tvrdo hromiranje, srebrenje, kadmijumizacija, eloksiranje, niklovanje, bruniranje i slično), alitiranje i sermetal.
- 6) Vrhunska tehnologija na polju mašinske obrade, obrade deformacijom, zavarivanja (*TIG*, elektrootporno, snopom elektrona *EBW* i visokotemperaturno lemljenje).
- 7) Impregnacija u vakuumu.
- 8) Termička obrada u vakuumu i zaštitnoj atmosferi.
- 9) Tehnologija površinskog ojačavanja delova metodama bombardovanja mikroelementima (*shoot peening*), ultrazvučno ojačanje i vibroojačanje.
- 10) Savremeni uređaji za statičko i dinamičko balansiranje obrtnih sklopova.
- 11) Ispitivanje agregata i sklopova na savremenim ispitnim uređajima.
- 12) Kompletna ekvivalentna homologaciona i verifikaciona ispitivanja motora i komponenti motora.
- 13) Ispitivanje motora na ispitnoj stanici.

Poslednja aktivnost u procesu remonta TMM-a, a pre njegove ugradnje na avion, je ispitivanje TMM-a na stacionarnoj ispitnoj stanici. Stacionarne ispitne stanice su namenski objekti, na kojima se vrši simulacija svih radnih režima u kojima se motor može naći u toku leta aviona. Na ispitnoj stanici meri se veliki broj parametara motora. Ovi parametri se mere u kratkom vremenskom periodu na motoru, postolju na koje je motor postavljen i ispitnoj čeliji u kojoj se nalazi motor sa postoljem. U odnosu na broj mernih signala koji se mere na TMM-u prilikom leta aviona, na ispitnoj stanici se meri puno više mernih signala na motoru i postolju na koje je motor postavljen. Ovi merni sistemi odlikuju se kompleksnom strukturom i visokim mernim performansama, koje moraju biti usklađene sa strogim kriterijuma propisanih kod testiranja vazduhoplovne opreme i motora predviđenih za ugradnju u savremene letelice. Cilj ispitivanja TMM-a je ocena kvaliteta izvršenog remonta motora. Propisane granice u kojima moraju da se nalaze parametri motora, prilikom ispitivanja na ispitnoj stanici, date su za standardne atmosferske uslove (temperatura vazduha 15 °C i atmosferski pritisak 1013 mbar), bez obzira na realne uslove pri snimanju parametara. Zato se posle ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici svi izmereni parametri, snimljeni u realnim atmosferskim uslovima, preračunavaju na vrednosti pri standardnim atmosferskim uslovima (u literaturi poznati pod nazivom *korigovani parametri motora*). Na osnovu izračunatih korigovanih parametara TMM-a radi se procena da li je remont TMM-a dobro obavljen ili je potrebno izvršiti dodatna

podešavanja na motoru. Do sada se ovaj proračun radio na računaru naknadno, tek posle završenog ispitivanja TMM-a. Upotrebom akvizicionog sistema prilikom ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici, korigovani parametri se dobijaju u realnom vremenu dok traje ispitivanje motora. Na osnovu izmerenih i proračunatih korigovanih parametara može se odmah oceniti da li je remont dobro obavljen ili je potrebno izvršiti dodatna podešavanja na motoru. U slučaju da korigovani parametri motora malo odstupaju od granica koje je propisao proizvođač, mogu se izvršiti neka manja podešavanja dok motor radi. U slučaju da korigovani parametri motora puno odstupaju od granica koje je propisao proizvođač, treba prekinuti ispitivanje, dok se ne otkloni kvar na motoru, da se ne bi nepotrebno trošilo gorivo za ispitivanje na ostalim radnim režimima. Na taj način se smanjuje vreme ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici. Smanjenjem vremena ispitivanja smanjuje se utrošak goriva, ulja i električne energije. Sve ovo dovodi do smanjenja cene ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici. Sva ova snimanja na ispitnoj stanici rade se sa ciljem da se otkrije i otkloni svaki eventualni problem u radu motora na zemlji, a pre njegove ugradnje u avion. Kada se motor ugradi u avion, isti mora da zadovolji izuzetno veliku pouzdanost u radu, u svim režimima u kojima motor može da se nađe prilikom leta aviona.

Na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a tip MM-16 i MM-17 nalaze se 63 merna instrumenta. Na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a VIPER nalaze se 34 merna instrumenta. Tokom ispitivanja TMM-a ispitivač stalno prati i zapisuje pokazivanje 15 do 25 mernih instrumenata, zavisno od režima rada. Pokazivanje nekih mernih instrumenata ispitivač prati samo povremeno, dok pokazivanje nekih mernih instrumenata ispitivač prati samo prilikom postavljanja TMM-a na ispitno postolje i prilikom konzervacije TMM-a posle završenog ispitivanja. Za sve merne instrumente koji se nalazi na ispitnoj stanici ustrojena je "evidencija merila" koja sadrži: naziv, identifikacioni broj (skraćeno i.b.), vrstu mernog signala, merno mesto priključka (ili davača) za merenje posmatranog mernog signala, merni opseg, deklarisanu klasu tačnosti, proizvođača instrumenta, princip rada, naziv etalona sa kojim se radi etaloniranje navedenog instrumenta i prisustvo mernog signala na akviziciono-kontrolnoj jedinici HP3497A. Identifikacioni broj je jedinstven sedmocifren broj koji je pridružen pojedinačnom merilu i služi za identifikaciju u bazi podataka metrološke laboratorije ML-16 VZ "ORAO". U ovoj bazi podataka čuvaju se osnovni podaci o svakom mernom instrumentu i rezultati svakog etaloniranja.

Na slici 2.1. prikazan je merno-upravljački pult na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a MM-16 i MM-17 na koju je ugrađen akvizicioni sistem. Instrumenti na ovom merno-upravljačkom pultu opisani su u mom magistarskom radu "Razvoj i etaloniranje akvizicionog sistema na stanici za ispitivanje turbo-mlaznih motora". Na slici 2.2. prikazan je merno-upravljački pult na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a VIPER na koju je takođe ugrađen akvizicioni sistem. Na ovoj slici pozicija 4 predstavlja akviziciono kontrolnu jedinicu HP3497A, pozicija 29 je personalni računar na kome je glavni program za akviziju parametara motora, a pozicija 30 je monitor na kome se prikazuju rezultati merenja. Ovaj merno-upravljački pult je rađen po uzoru na pult koji je napravila američka kompanija *Central Engineering Company*. Veliki broj instrumenata na merno-upravljačkom pultu je američke proizvodnje, pa zbog toga pokazivanje ovih instrumenata nije u zakonskim SI jedinicama. Za svaki takav instrument merni opseg je dat u jedinicama koje su na instrumentu i u zakonskim SI jedinicama.

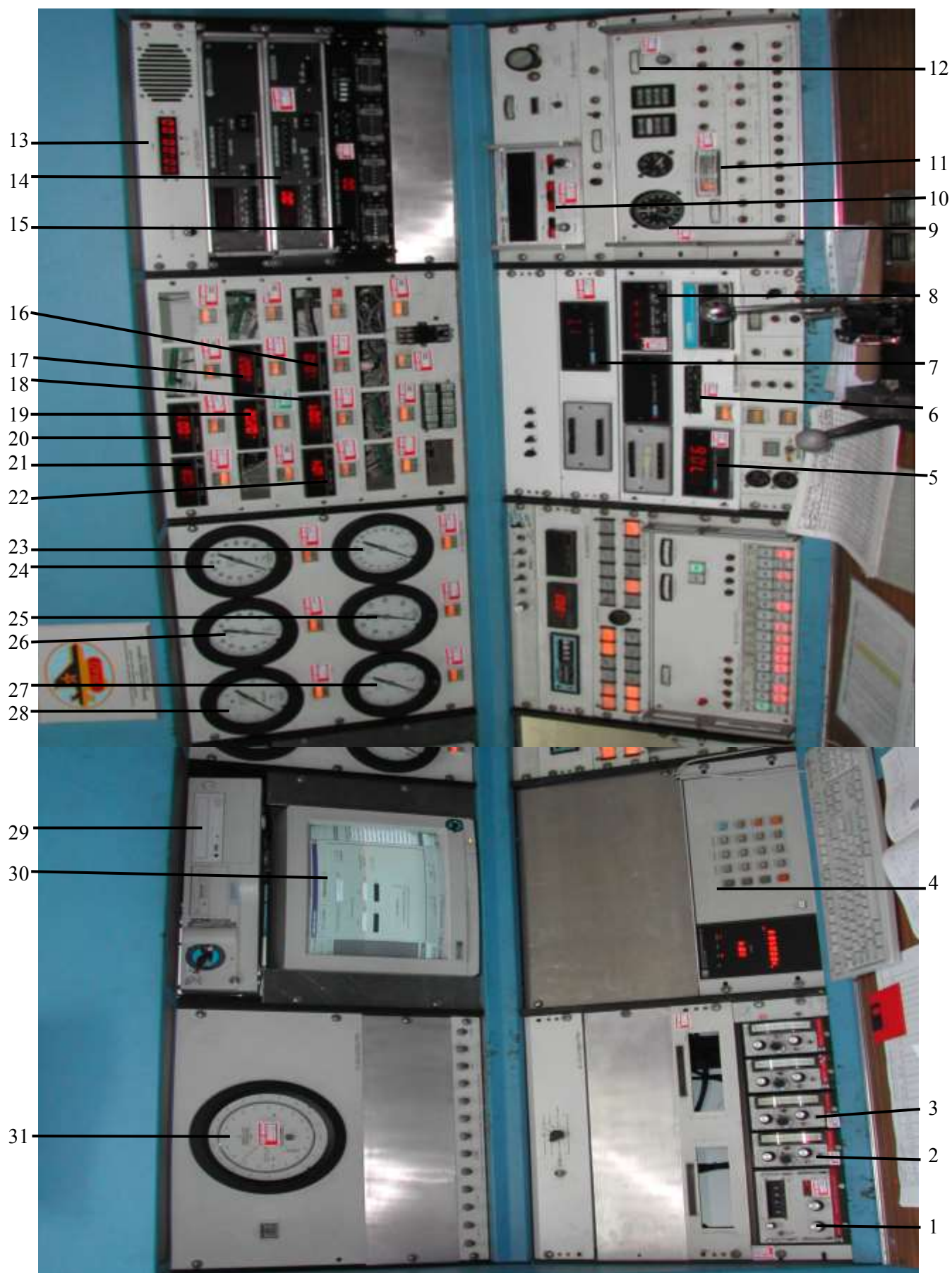
Evidencija mernih instrumenata na ispitnoj stanici za ispitivanje VIPER motora:

1) Digitalni merač sile, i.b. 2271120, (pozicija 11 na slici 2.2.):

- merni signal: Potisak motora, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Ro*
- merno mesto: merna ćelija na pokretnom postolju motora
- merni opseg: (0 do 10000) lb ili (0 do 4535,9) kg
- klasa tačnosti: $\pm 0,2\%$
- proizvođač: *BLH ELECTRONICS*
- princip rada: meri silu pomoću merne ćelije koja radi na principu mernih traka
- etaloniranje: pomoću kidalice zadaje se istovremeno ista sila na etalonsku i mernu ćeliju koja se koristi na ispitnoj stanici. Direktno se poredi pokazivanja sile izmerene na instrumentu koji se etalonira, sa silom koja se meri etalonskom mernom ćelijom i digitalnim meračem sile *Bofors*
- istosmerni napon koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A



Slika 2.1. Izgled merno upravljačkog pulta na ispitnoj stanici za motore MM-16 i MM-17



Slika 2.2. Izgled merno upravljačkog pulta na ispitnoj stanici za VIPER motore

-
- 2) Digitalni termometar, i.b.2271377, (pozicija 5 na slici 2.2.):
- merni signal: Temperatura izduvnih gasova, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *T4*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: (0 do 800) °C
 - klasa tačnosti: ± 1 °C
 - proizvođač: *DORIC*
 - princip rada: meri istosmerni napon sa termopara K-tip sa automatskom kompenzacijom temperature hladnog spoja
 - etaloniranje: radimo tako što odspojimo termopar sa instrumenta, a na njegovo mesto dovodimo naponski signal sa kalibratora temperature *DORIC* koji ima automatsku kompenzaciju hladnog spoja
 - paralelno ovom instrumentu signal sa termopara K tip kompenzacionim kablom K-tip vodi se na digitalni bar graf za merenje temperature, koji ima analogni izlaz sa koga se istosmerni napon proporcionalan pokazivanju bar grafa vodi na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 3) Digitalni bar graf za merenje temperature, i.b.2271393, (pozicija 6 na slici 2.2.):
- merni signal: Temperatura izduvnih gasova, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *T4*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: (0 do 800) °C
 - klasa tačnosti: ± 5 °C
 - proizvođač: *DORIC*
 - princip rada: meri istosmerni napon sa termopara K-tip sa automatskom kompenzacijom temperature hladnog spoja
 - etaloniranje: radimo tako što odspojimo termopar sa instrumenta, a na njegovo mesto dovodimo naponski signal sa kalibratora temperature *DORIC* koji ima automatsku kompenzaciju hladnog spoja
 - istosmerni napon proporcionalan pokazivanju bar grafa vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 4) Digitalni merač masenog protoka, i.b.2933018, (pozicija 15 na slici 2.2.):
- merni signal: Protok goriva, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Qg*
 - merno mesto: turbina u gorivnoj instalaciji u sobi goriva
 - merni opseg: (54 do 2268) kg/h, (120 do 5000) lb/h
 - klasa tačnosti: $\pm 0,5\%$
 - proizvođač: *QUANTUM DYNAMICS*
 - princip rada: broji impulse, koji dolaze sa magnetnog davača na turbininskom meraču protoka, i množi ih sa vremenskom bazom (koja se računa na osnovu hemiskih karakteristika goriva) da bi se dobio maseni protok goriva.
 - etaloniranje: metoda direktnog poređenja protekle količine goriva (konstantan protok u otvorenu posudu za određeni interval vremena) i mase goriva u posudi izmerene na vagi ili direktnim poređenjem sa protokom goriva kroz etalonsku turbinu koja je postavljena u seriju sa turbinom koja se etalonira
 - paralelno ovom instrumentu naizmenični signal sa turbine vodi se na pojačalo (koje frekvenciju naizmeničnog signala pretvara u istosmerni napon). Istosmerni napon sa pojačala, proporcionalan pokazivanju instrumenta vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 5) Digitalni termometar, i.b.2945707, (pozicija 8 na slici 2.2.):
- merni signal: Temperatura hidroulja
 - merno mesto: u rezervoaru hidroulja u gorivnoj sobi
 - merni opseg: (0 do 150) °C
 - klasa tačnosti: ± 1 °C
 - proizvođač: *DORIC*
 - princip rada: meri istosmerni napon sa termopara K-tip sa automatskom kompenzacijom temperature hladnog spoja
 - etaloniranje: radimo ledom i termos bocom na 0 °C, a uljnim kupatilom za temperature 20 °C do 150 °C

-
- 6) Digitalni termometar, i.b.2918593, (pozicija 7 na slici 2.2.):
- merni signal: Temperatura vazduha na ulazu u motor, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *T1*
 - merno mesto: ispred uvodnika vazduha u motor
 - merni opseg: (32 do 212) F ili (0 do 100) °C
 - klasa tačnosti: ± 0.5 F
 - proizvođač: *DORIC*
 - princip rada: meri otpor dvožično sa otpornog termometra Pt100
 - etaloniranje: radimo ledom i termos bocom na 0 °C, a uljnim kupatilom za temperature 20 °C do 100 °C
 - istosmerni napon koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 7) Merač vibracija, i.b.2264000, (pozicija 2 na slici 2.2.):
- merni signal: Vibracije na motoru kanal 1
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: (0 do 5) inch/sec ili (0 do 127) mm/sec
 - klasa tačnosti: $\pm 3\%$ mernog opsega
 - proizvođač: *Endeveco*
 - princip rada: meri naizmenični napon sa davača vibracija koji mehaničke vibracije pretvara u naizmenični napon
 - etaloniranje: direktno poređenje sa sistemom *Ling Atec* (vibrator, etalonski akcelerator *B&K* i merač vibracija) za etaloniranje davača vibracija
 - istosmerni napon koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 8) Merač vibracija, i.b.2263986, (pozicija 3 na slici 2.2.):
- merni signal: Vibracije na motoru kanal 2
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: (0 do 5) inch/sec ili (0 do 127) mm/sec
 - klasa tačnosti: $\pm 3\%$ mernog opsega
 - proizvođač: *Endeveco*
 - princip rada: meri naizmenični napon sa davača vibracija koji mehaničke vibracije pretvara u naizmenični napon
 - etaloniranje: direktno poređenje sa sistemom *Ling Atec* (vibrator, etalonski akcelerator *B&K* i merač vibracija) za etaloniranje davača vibracija
- 9) Filtar signala vibracija, i.b.2000321, (pozicija 1 na slici 2.2.):
- merni signal: Vibracije na motoru
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: (8 do 1000) Hz
 - klasa tačnosti: $\pm 3\%$
 - proizvođač: *Endeveco*
 - princip rada: iz mernog signala vibracija na motoru izdvaja samo signal koji je na frekvenciji ± 3 dB oko postavljene frekvencije na filteru
 - etaloniranje: direktno poređenje sa sistemom *Ling Atec* (vibrator, etalonski akcelerator *B&K* i merač vibracija) za etaloniranje davača vibracija
- 10) Analogni istosmerni ampermetar, i.b.2003796, (pozicija 11 na slici 2.2.):
- merni signal: Struja istosmernog bloka opterećenja motora
 - merno mesto: na istosmernom bloku opterećenja
 - merni opseg: (0 do 1000) A
 - klasa tačnosti: $\pm 1,5\%$ op
 - proizvođač: *Simpson USA*
 - princip rada: instrument sa pokretnim namotajem koji meri naponski signal sa šenta (0 mV do 50 mV)
 - etaloniranje: direktno poređenje sa naponskim kalibratorom *Takeda Riken*

-
- 11) Analogni istosmerni ampermetar, i.b.2263945, (pozicija 12 na slici 2.2.):
- merni signal: Struja ventila LPC na motoru
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: (0 do 500) mA
 - klasa tačnosti: $\pm 1,5\%$ op
 - proizvođač: *Simpson USA*
 - princip rada: instrument sa pokretnim namotajem
 - etaloniranje: direktno poređenje sa strujnim kalibratorom *Takeda Riken*
- 12) Digitalni obrtomer, i.b.2263911, (pozicija 14 na slici 2.2.):
- merni signal: Broj obrtaja kompresora niskog pritiska, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *NI*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: (0 do 120) % ili (0 do 13760) 1/minut
 - klasa tačnosti: $\pm 0,06\%$
 - proizvođač: *Standard USA*
 - princip rada: meri frekvenciju sa tahogeneratora koji se nalazi na motoru
 - etaloniranje: direktno poređenje sa generatorom funkcija HP3325A
 - istosmerni napon (0 do 10) V koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 13) Analogni obrtomer, i.b.2263929, (pozicija 9 na slici 2.2.):
- merni signal: Broj obrtaja kompresora niskog pritiska, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *NI*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: (0 do 120) % ili (0 do 13760) 1/minut
 - klasa tačnosti: $\pm 0,2\%$
 - proizvođač: *SMITS*
 - princip rada: meri frekvenciju sa tahogeneratora koji se nalazi na motoru
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom obrtomeru *UMC 7000-4* na koji je postavljen avionski tahogenerator
- 14) Manometar analogni, i.b.2446142, (pozicija 31 na slici 2.2.) i elektronski davač pritiska, i.b.2244481:
- merni signal: Barometarski pritisak, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Bo*
 - merno mesto: manometar analogni na komandno upravljačkom pultu, a elektronski davač pritiska u ispitnoj čeliji
 - merni opseg: manometar (0 do 3,4) bar, elektronski davač (800 do 1100) mbar
 - klasa tačnosti: za manometar $\pm 0,1\%$ mernog opsega, za elektronski davač $\pm 0,1\%$ mernog opsega
 - proizvođač: manometra *Wallace&Tiernan USA*, elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: manometar ima aneroid, elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
 - sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 15) Manometar analogni, i.b.2244309, (pozicija 28 na slici 2.2.) i elektronski davač pritiska, i.b.2244366:
- merni signal: Pritisak goriva na ulazu u motor, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Pgum*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: manometar (0 do 7) bar, elektronski davač (0 do 7) bar apsolutno
 - klasa tačnosti: za manometar $\pm 0,5\%$ mernog opsega, za elektronski davač $\pm 0,1\%$ mernog opsega
 - proizvođač: manometra *Duragauge*, elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: manometar ima Burdonovu cev, elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*

-
- sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 16) Manometar analogni, i.b.2244317, (pozicija 26 na slici 2.2.) i elektronski davač pritiska, i.b.2244382:
- merni signal: Pritisak goriva osnovnog kolektora, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Pgok*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: manometar (0 do 100) bar, elektronski davač (0 do 100) bar
 - klasa tačnosti: za manometar $\pm 0,5\%$ mernog opsega, za elektronski davač $\pm 0,1\%$ mernog opsega
 - proizvođač: manometra *Duragauge*, elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: manometar ima Burdonovu cev, elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa klipnim manometrom sa tegovima *Negreti Zambra*
 - sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 17) Manometar analogni, i.b.2244325, (pozicija 24 na slici 2.2.) i elektronski davač pritiska, i.b.2244408:
- merni signal: Pritisak goriva dopunskog kolektora, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Pgdk*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: manometar (0 do 120) bar, elektronski davač (0 do 150) bar
 - klasa tačnosti: za manometar $\pm 0,5\%$ mernog opsega, za elektronski davač $\pm 0,1\%$ mernog opsega
 - proizvođač: manometra *Duragauge*, elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: manometar ima Burdonovu cev, elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa klipnim manometrom sa tegovima *Negreti Zambra*
 - sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 18) Manometar analogni, i.b.2244333, (pozicija 27 na slici 2.2.) i elektronski davač pritiska, i.b.2244424:
- merni signal: Pritisak ulja na ulazu u motor, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Puum*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: manometar (0 do 5) bar, elektronski davač (0 do 10) bar
 - klasa tačnosti: za manometar $\pm 0,5\%$ mernog opsega, za elektronski davač $\pm 0,1\%$ mernog opsega
 - proizvođač: manometra *Duragauge*, elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: manometar ima Burdonovu cev, elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
 - sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 19) Manometar analogni, i.b.2244341, (pozicija 25 na slici 2.2.) i elektronski davač pritiska, i.b.2244424:
- merni signal: Pritisak ulja na izlazu iz hidropumpe, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Puihp*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: manometar (0 do 360) bar, elektronski davač (0 do 350) bar
 - klasa tačnosti: za manometar $\pm 0,5\%$ mernog opsega, za elektronski davač $\pm 0,1\%$ mernog opsega
 - proizvođač: manometra *Duragauge*, elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: manometar ima Burdonovu cev, elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa klipnim manometrom sa tegovima *Negreti Zambra*

-
- sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 20) Manometar analogni, i.b.2244358, (pozicija 23 na slici 2.2.):
- merni signal: Pritisak forsaznog goriva na ulazu u motor
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: (0 do 5) bar
 - klasa tačnosti: ± 0.5 % op
 - proizvođač: *Duragauge*
 - princip rada: manometar ima Burdonovu cev
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
- 21) Digitalni merač pritiska, i.b.2244440, (pozicija 17 na slici 2.2.):
- merni signal: Pritisak ulja na ulazu u hidropumpu, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Puuhp*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: elektronski davač (0 do 7) bar apsolutno
 - klasa tačnosti: za elektronski davač $\pm 0,1$ % mernog opsega
 - proizvođač: elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
 - sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 22) Digitalni merač pritiska, i.b.2244374, (pozicija 20 na slici 2.2.):
- merni signal: Pritisak startnog goriva, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *Psg*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: elektronski davač (0 do 7) bar
 - klasa tačnosti: za elektronski davač $\pm 0,1$ % mernog opsega
 - proizvođač: elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
 - sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 23) Digitalni merač pritiska, i.b.2244416, (pozicija 16 na slici 2.2.):
- merni signal: Pritisak vazduha na izlazu kompresora, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *P2*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: elektronski davač (0 do 15) bar
 - klasa tačnosti: za elektronski davač $\pm 0,1$ % mernog opsega
 - proizvođač: elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
 - sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 24) Digitalni merač pritiska, i.b.2244465, (pozicija 22 na slici 2.2.):
- merni signal: Pritisak motorskog vazduha A, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *PmvA*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: elektronski davač (0 do 1) bar
 - klasa tačnosti: za elektronski davač $\pm 0,1$ % mernog opsega
 - proizvođač: elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
 - sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A

-
- 25) Digitalni merač pritiska, i.b.2244473, (pozicija 18 na slici 2.2.):
- merni signal: Pritisak motorskog vazduha B, skraćeni naziv u akvizicionom sistemu *PmvB*
 - merno mesto: na motoru
 - merni opseg: elektronski davač (0 do 1) bar
 - klasa tačnosti: za elektronski davač $\pm 0,1\%$ mernog opsega
 - proizvođač: elektronskog davača *Setra Systems*
 - princip rada: elektronski davač pritiska radi na piezoelektričnom principu
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
 - sa elektronskog davača pritiska istosmerni napon (0 do 5) V vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A
- 26) Elektronski sekundomer, i.b.2933018, (pozicija 13 na slici 2.2.):
- merni signal: Vreme starta motora
 - merni opseg: (0 do 3600) sekundi
 - klasa tačnosti: $\pm 0,2$ sekunde
 - proizvođač: Standard
 - princip rada: kvarcni oscilator
 - etaloniranje: direktno poređenje sa digitalnim brojačem *Racal*
- 27) Manometar u gorivnoj sobi, i.b.2933117:
- merni signal: Pritisak motorskog ulja
 - merno mesto: na rezervoaru motorskog ulja u gorivnoj sobi
 - merni opseg: (0 do 10) bar
 - klasa tačnosti: $\pm 1\%$ op
 - proizvođač: Wika
 - princip rada: Burdonova cev
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
- 28) Živin termometar u gorivnoj sobi, i.b.2908002:
- merni signal: Temperatura motorskog ulja
 - merno mesto: na rezervoaru motorskog ulja u gorivnoj sobi
 - merni opseg: (0 do 100) °C
 - klasa tačnosti: ± 2 °C
 - princip rada: stakleni termometar punjen tečnošću
 - etaloniranje: radimo ledom i termos bocom na 0 °C, a uljnim kupatilom za temperature 20 °C do 100 °C
- 29) Manometar u gorivnoj sobi, i.b.2933109:
- merni signal: Pritisak ulja za konzervaciju motora
 - merno mesto: na rezervoaru ulja za konzervaciju motora u gorivnoj sobi
 - merni opseg: (0 do 10) bar
 - klasa tačnosti: $\pm 1\%$ op
 - proizvođač: Wika
 - princip rada: Burdonova cev
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
- 30) Živin termometar u gorivnoj sobi, i.b.2908010:
- merni signal: Temperatura ulja za konzervaciju
 - merno mesto: na rezervoaru ulja za konzervaciju u gorivnoj sobi
 - merni opseg: (0 do 100) °C
 - klasa tačnosti: ± 2 °C
 - princip rada: stakleni termometar punjen tečnošću
 - etaloniranje: radimo ledom i termos bocom na 0 °C, a uljnim kupatilom za temperature 20 °C do 100 °C
- 31) Manometar u gorivnoj sobi, i.b.2933091:
- merni signal: Pritisak hidroulja
 - merno mesto: na rezervoaru hidroulja u gorivnoj sobi
 - merni opseg: (0 do 10) bar
 - klasa tačnosti: $\pm 1\%$ op

-
- proizvođač: Wika
 - princip rada: Burdonova cev
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
- 32) Živin termometar u gorivnoj sobi, i.b.2908028:
- merni signal: Temperatura hidroulja
 - merno mesto: na rezervoaru hidroulja u gorivnoj sobi
 - merni opseg: (0 do 100) °C
 - klasa tačnosti: ± 2 °C
 - princip rada: stakleni termometar punjen tečnošću
 - etaloniranje: radimo ledom i termos bocom na 0 °C, a uljnim kupatilom za temperature 20 °C do 100 °C
- 33) Manometar u gorivnoj sobi, i.b.2933075:
- merni signal: Pritisak hidroulja na levoj motorskoj hidropumpi
 - merno mesto: na levoj motorskoj hidropumpi u gorivnoj sobi
 - merni opseg: (0 do 10) bar
 - klasa tačnosti: $\pm 1\%$ op
 - proizvođač: Wika
 - princip rada: Burdonova cev
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*
- 34) Manometar u gorivnoj sobi, i.b.2933083:
- merni signal: Pritisak hidroulja na desnoj motorskoj hidropumpi
 - merno mesto: na desnoj motorskoj hidropumpi u gorivnoj sobi
 - merni opseg: (0 do 10) bar
 - klasa tačnosti: $\pm 1\%$ op
 - proizvođač: Wika
 - princip rada: Burdonova cev
 - etaloniranje: direktno poređenje sa kalibratorom pritiska *Druck DPI 605*

3. AKVIZICIONI SISTEM

Zbog potrebe da se istovremeno precizno meri veliki broj mernih signala na ispitnoj stanici, predviđena je ugradnja merno-akvizicionog sistema kako bi se povećala brzina i pouzdanost, a smanjila merna nesigurnost merenja. Merno-akvizicioni sistem (u daljem tekstu akvizicioni sistem) povezuje sve merne instrumente na ispitnoj stanici u jednu celinu koju nazivamo merni sistem. Merni podaci prikupljeni pomoću akvizicionog sistema treba da se obrade, prikažu i memorišu. Izmerene vrednosti mogu se prikazati na ekranu računara i štampati na štampaču. Memorisane izmerene vrednosti omogućavaju da se naknadno rade razne analize rezultata ispitivanja TMM-a. Ovo skraćuje vreme ispitivanja i dovodi do smanjenja utroška goriva, ulja i električne energije prilikom ispitivanja TMM-a. Sve ovo utiče na smanjenje troškova ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici. Osnovu ugrađenog akvizicionog sistema čini akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A, davači mernih signala i personalni računar. Radom akvizicionog sistema upravlja korisnički program koji se izvršava na personalnom računaru.

3.1. PRIMENA RAČUNARA U METROLOGIJI

Posmatrajući računare koji se koriste u mernim procesima uočava se da se oni mogu podeliti po nameni na dva osnovna tipa, i to:

- računare posebne namene ugrađene u merni instrument i
- računare opšte namene.

Kod mernih instrumenata koji koriste ugrađeni računar posebne namene, prisustvo računara, najčešće mikroračunara nema značaja za operatera, jer on uglavnom nema mogućnost izmene programa. Računari opšte namene koji se dodaju mernim instrumentima u mernim procesima i procesima upravljanja zasnovani su na mikroračunarima i miniračunarima, a programirani su u jezicima visokog nivoa. Oni su otvoreni prema operatoru tako da on ima mogućnost da modifikuje zadatak koji računar treba da preuzme.

Može se sa pravom reći da doba akvizicije u merenjima započinje primenom modernih računara. Posmatrajući električne i neelektrične veličine, bilo je sasvim logično da se akvizicija merenja zasnovana na primeni računara široko razvije prvo kod merenja električnih veličina, s obzirom da je tu merna informacija sadržana u električnom signalu. Sa druge strane, dodatni impuls razvoju akvizicije merenja neelektričnih veličina bio je nastanak nove generacije pretvarača neelektričnih u električne veličine. Računari su se prvo počeli primenjivati u vojnom vazduhoplovstvu, kao upravljački i kontrolni element, za istovremena precizna merenja velikog broja veličina u dinamičkim uslovima. Danas se računar primenjuje u merenjima u svim privrednim i industrijskim granama sa pet osnovnih uloga:

- 1) Da obezbeđuje pristupačnu i moćnu mašinu za računanje, sposobnu da za potrebe mernog procesa obavlja sva potrebna izračunavanja od jednostavnih algebarskih operacija, do složenih procena spektra Furijerove transformacije.
- 2) Da upravlja mernim procesom, povezujući pojedinačna merna sredstva u jedinstven akvizicioni merni sistem, sa mogućnošću optimizacije metroloških karakteristika mernog sistema kao celine.
- 3) Da memoriše i čuva rezultate merenja na disketama ili diskovima velikog kapaciteta. Pun doprinos ove uloge računara ostvaruje se samo kada se u punoj meri koristi naredna uloga računara.
- 4) Da obrađuje rezultate merenja koristeći matematički aparat, a posebno matematičku statistiku, imajući u vidu unapred zadate relacije, propisane nacionalnim ili međunarodnim standardima.
- 5) Da proizvodi dokumenta kao što su izveštaji o merenjima i ispitivanjima, tabelarne preglede rezultata merenja, grafičke prezentacije rezultata u vidu dijagrama.

Imajući u vidu sve uloge računara, kao jedan od najznačajnijih faktora u primeni računara pojavljuje se upravo interakcija između ovih pet uloga. Univerzalnost računara je karakteristika koju ne poseduje ni jedno drugo tehničko sredstvo, i predstavlja njegovu veliku prednost, koja mu omogućuje opisane uloge u mernom procesu.

Već iz izloženog jasno je da primena računara u metrologiji dovela do ogromnih promena u mernoj tehnici, posebno kada su u pitanju električne veličine. Doprinos računara u metrologiji vremenom se povećavao, upravo sa njegovim stalnim razvojem i usavršavanjem i danas možemo da kažemo da se on u osnovi sastoji u sledećem:

- 1) Proširene su mogućnosti metrologije, jer je automatizovanje merenja primenom računara omogućilo da se izvode i ona merenja koja bez računara nije bilo moguće obaviti, s obzirom da su zahtevala da se u kratkom vremenskom intervalu izvrši veoma veliki broj merenja sa velikim brojem mernih tačaka.
- 2) Povećan je kvalitet merenja smanjenjem ukupne merne nesigurnosti s obzirom na sledeće:
 - a) uticaj subjektivnog faktora pri merenjima sveden je na najmanju meru, isključivanjem mogućih grubih grešaka pri očitavanju, zapisivanju ili obradi rezultata merenja,
 - b) ostvarena je skoro potpuna identičnost postupka merenja, što je u mnogome poboljšalo ponovljivost rezultata merenja i time smanjilo slučajnu komponentu merne nesigurnosti kod višestruko ponovljenih merenja,
 - c) po pravilu, povećan je broj mernih tačaka, kao i broj ponovljenih merenja po jednoj mernoj tački u odnosu na klasična merenja, što takođe smanjuje slučajnu komponentu merne nesigurnosti,
 - d) omogućena je automatizovana primena korekcija, čime je smanjen broj neisključenih sistematskih grešaka, a time i sistematska komponenta merne nesigurnosti,
 - e) omogućeno je izvođenje mernog postupka izvan radnog vremena, kada su smanjene smetnje svih vrsta, a posebno noću kada su optimalni uslovi za vrlo precizna merenja.
- 3) Smanjeni su troškovi merenja, jer je:
 - a) skraćeno vreme merenja, a kompletni izveštaji o merenju se dobijaju odmah po završetku mernog postupka,
 - b) smanjeno angažovanje stručnog kadra, s obzirom da veći deo mernog postupka može da se odvija bez kontrole operatora, ili pod kontrolom manje stručnog kadra,
 - c) produženo raspoloživo radno vreme na 24 sata dnevno.
- 4) Omogućena je automatizacija etaloniranja, što je podiglo kvalitet i smanjilo vreme etaloniranja klasičnih etalona i mernih sredstava.
- 5) Postupak merenja i postupak obrade rezultata merenja nisu razdvojeni, jer se rezultati merenja mogu prikazivati odmah ili naknadno putem reprodukcije sa zapisa snimljenih na računaru.

Vidi se da primena računara u metrologiji ima niz prednosti, ali ima i par nedostataka koji se mogu svesti na sledeće:

- 1) Dodatni troškovi nabavke računarske opreme i nabavke ili izrade potrebnih programa.
- 2) Neophodnost kompatibilnosti korištenih mernih sredstava računarskoj opremi, odnosno prilagođenost svih jedinica mernog sistema istom interfejsu.
- 3) Neophodnost zamene starih generacija mernih instrumenata novim programabilnim mernim instrumentima ili instrumentima koji imaju električni izlazni signal koji može da se vodi na merno-akvizicioni sistem.
- 4) Dodatno stručno znanje metrologa iz oblasti računarske tehnike.

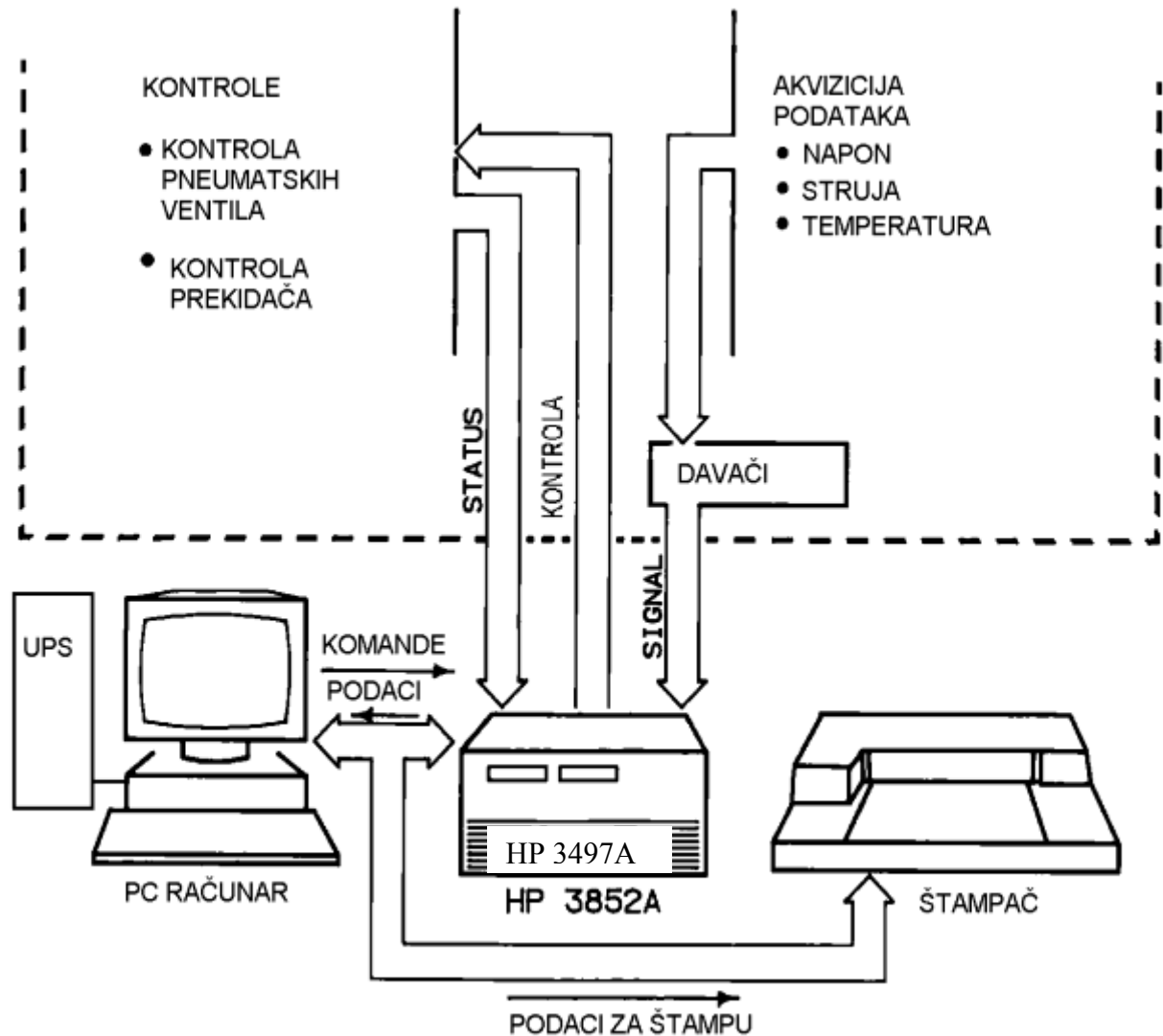
3.2. BLOK ŠEMA AKVIZICIONOG SISTEMA

Blok šema realizovanog sistema za akviziciju parametara turbo-mlaznih motora VIPER na stacionarnoj ispitnoj stanici prikazana je na slici 3.1. Osnovni delovi sistema za akviziciju parametara TMM-a su:

- Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A;
- Davači mernih signala;
- PC računar ;
- Štampač;
- UPS (uređaj za neprekidno napajanje računara).

Rad akvizicionog sistema zasniva se na prenosu informacija između njegovih sastavnih jedinica. Kod akvizicionog sistema rezultati merenja i upravljački signali prenose se u digitalnom obliku. Radi toga se protok informacija koristi u dve svrhe:

- a) upravljanja, i
- b) prenosa podataka.



Slika 3.1. Blok šema akvizicionog sistema na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a

PC računar služi za upravljanje kompletnim procesom merenja na akvizicionom sistemu. Na PC računaru nalazi se program "AKVIZICIJA" koji preko HP-IB interfejsa šalje komande prema akviziciono-kontrolnoj jedinici HP3497A. Ovaj program određuje vrste merenja koja treba obaviti, koji signal da se meri, kada da se meri, na kojoj kartici, kojim voltmetrom, sa kojom brzinom i gde treba da se smeste izmereni podaci.

Prenos podataka se prvo vrši od svih davača prema akviziciono-kontrolnoj jedinici HP3497A (analogni signali). Kada analogni signal dođe u akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A, on se u njoj preko multipleksera prvo prenosi do voltmetra. U voltmetru se meri analogni signal i ta vrednost se pretvara u digitalnu vrednost u A/D konvertoru u definisanim vremenskim intervalima ili se dužina vremenskog intervala zadaje preko računara. Po završetku A/D konverzije digitalna vrednost izmerenog signala preko HP-IB kablova dalje se prenosi do PC računara, gde se vrši obrada signala i prikaz merene veličine na monitoru ili štampanje na štampaču. Dobijena vrednost se koristi kao vizuelna informacija i može poslužiti za nadgledanje toka procesa i za upravljanje parametrima procesa ispitivanja. Izmerene vrednosti parametara motora koriste se u proračunu korigovanih parametara motora.

U skladu sa zadatkom mernog sistema, moguće je izvesti različite matematičke operacije, koje su često vezane za pretraživanje baze podataka, nad rezultatima merenja dobijenim od akvizicionog sistema. U mnogim slučajevima dovoljno je uporediti izmerene vrednosti sa unapred postavljenim granicama, da bi se dobila jednostavna odluka "ide/ne ide".

Drugi zadatak akvizicionog sistema je prikaz na monitoru i memorisanje rezultata merenja u obliku pogodnom za dalju digitalnu obradu. Memorisane izmerene vrednosti omogućavaju da se naknadno radi analiza rezultata ispitivanja TMM-a. Ovo skraćuje vreme ispitivanja i dovodi do smanjenja utroška goriva, ulja i električne energije prilikom ispitivanja TMM-a. Sve ovo utiče na smanjenje troškova ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici. Sistemsko vreme i sistemski datum sa računara, kada je izvršeno merenje, takođe se memorišu, sa rezultatima merenja u bazu podataka. Na taj način se otklanja uticaj subjektivnog faktora prilikom zapisivanja rezultata merenja, kao i vremena kada je to merenje obavljeno.

Osnovu realizovanog akvizicionog sistema čini akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A. Komponente akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A biće opisane u poglavlju 3.3. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A, zavisno od ugrađene kartice, može da meri električni napon, električnu struju, električnu otpornost, temperaturu, vreme i frekvenciju. Zbog toga je neophodno da se za merenje nekih neelektričnih veličina koriste pretvarači neelektričnih veličina u električni napon, električnu struju ili električnu otpornost. Davači koji su upotrebljeni na ispitnoj stanici za akviziciju parametara TMM-a VIPER biće opisani u poglavlju 3.4.

Za merenje parametara TMM-a i proračun korigovanih parametara TMM-a u stabilnim radnim režimima potrebno je da se mere sledeći signali:

- pet temperatura (davači: termoparovi K tip i otporni termometar Pt100);
- dvanaest pritisaka (pretvarači daju naponski signal);
- potisak (pretvarač daje naponski signal);
- protok goriva (pretvarač daje naponski signal);
- broj obrtaja (pretvarač daje naponski signal);
- vibracije (pretvarač daje naponski signal).

Preporučena minimalna konfiguracija PC računara za rad programa za akviziciju parametara TMM-a na ispitnoj stanici:

- PC računar sa Pentium III procesorom
- 128 MB RAM-a
- operativni sistem "Windows 2000 profesional"
- MS office 2000
- kolor štampač
- HP-IB kartica za PC računar (tip: Agilent 82350A)
- UPS (uređaj za besprekidno napajanje sa baterijama).

HP-IB kartica služi za povezivanje PC računara preko HP-IB kabla sa akviziciono-kontrolnom jedinicom HP3497A. HP-IB kartica koja se ugrađuje u računar može se zameniti sa USB/GPIB interfejsom (tip: Agilent 82357A). USB/GPIB interfejs se na računar spaja na USB port, a na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A na HP-IB port.

Kolor štampač se koristi za štampanje izmerenih i korigovanih parametara nakon proračuna parametara TMM-a. Štampač treba podesiti da štampa na A4 (ili po potrebi A3) formatu i *Portrait* (uspravnoj) orijentaciji papira.

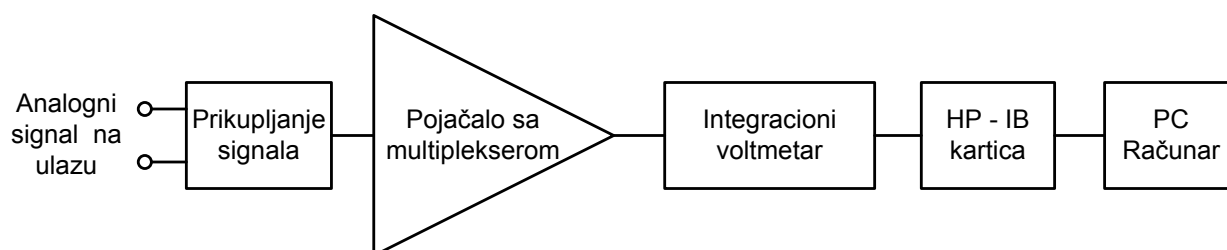
Računar i monitor napajaju se preko UPS-a, a akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A i štampač priključeni su direktno na mrežu 220 V. Kapacitet UPS-a mora da obezbedi dovoljno vremena operateru, da u slučaju iznenadnog nestanka napona mreže zatvori programa za akviziciju parametara motora, ugasi Windows operativni sistem i računar. Ovo je potrebno uraditi kako ne bi došlo do eventualnih oštećenja softvera i hardvera na računaru.

3.3. KOMPONENTE AKVIZICIONO-KONTROLNE JEDINICE HP3497A

Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A, koja je ugrađena na stacionarnu stanicu za ispitivanje TMM-a VIPER, može velikom brzinom da meri veliki broj različitih mernih veličina. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A sastoji se od sledećih komponenti:

- kontrolna jedinica sa displejom;
- napojna kartica;
- HP-IB kartica za komunikaciju sa računarom;
- HP 44422A FET multiplekser sa 20 kanala, slot 000;
- HP 44422A FET multiplekser sa 20 kanala, slot 100;
- HP 44422A FET multiplekser sa 20 kanala, slot 200;
- HP 44426A jednokanalni brojač, slot 300;
- HP 44420A integracioni voltmetar (5 1/2 digita) , slot 400.

Blok šema merenja akviziciono-kontrolnom jedinicom HP3497A prikazana je na slici 3.2. Kada analogni signal koji se želi meriti dođe u akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A, on se u njoj prvo vodi na multiplekstersku karticu. Tu se izvrši, ako je potrebno, pojačanje analognog signala. Ako analogni signal dolazi sa termopara, onda se na ovoj kartici vrši automatska kompenzacija temperature hladnog spoja. Zatim analogni signal dolazi na FET multiplekser, koji u jednom trenutku prema integracionom voltmetru propušta samo jedan analogni signal. U voltmetru se meri analogni signal i ta vrednost se pretvara u digitalnu vrednost u A/D konvertoru u definisanim vremenskim intervalima ili u vremenskim intervalima čija se dužina zadaje preko računara. Po završetku A/D konverzije digitalna vrednost izmerenog signala ide u glavni procesor akviziciono-kontrolne jedinice gde se obrađuje. Iz glavnog procesora preko HP-IB kabla digitalni signal se dalje prenosi do PC računara. U PC računaru se vrši obrada digitalnog signala i prikaz izmerene veličine na monitoru ili štampanje na štampaču.



Slika 3.2. Blok šema merenja akviziciono-kontrolnom jedinicom HP3497A

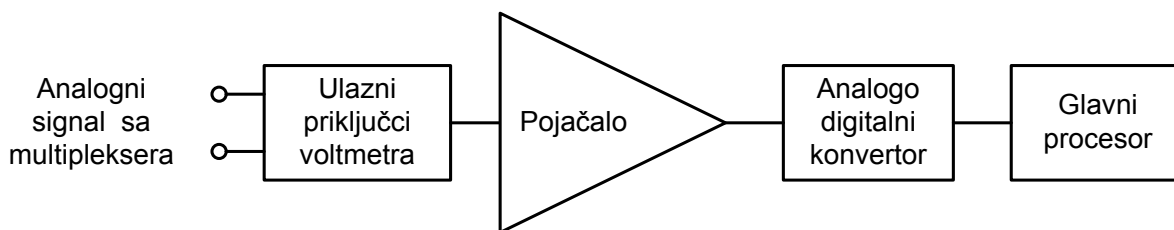
3.3.1. Integracioni voltmetar HP44420A

Akviziciono kontrolna jedinica HP3497A ima mogućnost da integracionim voltmetrom HP44420A multipleksiranjem kanala u jednom mernom ciklusu, koji se ponavlja (skenira) u definisanim vremenskim intervalima, meri više različitih mernih signala. Tokom multipleksiranja akviziciono kontrolna jedinica spaja na integracioni voltmetar, u jednom trenutku, jedan kanal i izvrši merenje signala na njemu. Pre početka skeniranja kanala, potrebno je napraviti listu kanala (multipleksterski, relejni ili digitalni) na kojima se želi meriti ili vršiti upravljanje. Kanali koji nisu u listi preskaču se u toku skeniranja. Na taj način povećava se brzina merenja željenih signala, odnosno smanjuje merna nesigurnost merenja. Merna nesigurnost se smanjuje jer za isti vremenski interval, koliko traje jedan merni ciklus, može da se poveća broj odbiraka po jednom merenju.

Integracioni voltmetar HP 44420A može se koristiti za merenje istosmernog ili naizmeničnog napona, istosmerne ili naizmenične struje (dodavanjem eksternog šent otpornika), otpornosti (dvožično ili četvorožično) i temperature (otpornim termometrima, termistorima i termoparovima). Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A podržava merenje temperature termoparovima tip B, E, J, K, N, R, S i T, sa automatskom kompenzacijom temperature hladnog kraja. U ovom projektu korišten je za merenje temperature sa termoparova K tip. Ovaj voltmetar može se koristiti i za merenje istosmernog ili naizmeničnog napona ili četvorožično merenje otpora preko vanjskih priključnica (koje se nalaze sa

zadnje strane kartice). Integracioni voltmetar u ovom projektu je korišten za merenje signala koji služe za proračun parametara TMM-a na ispitnoj stanici. Ovaj voltmetar može koristiti "offset" kompenzaciju prilikom merenja otpora i "autozero" za sve tipove merenja. Rezolucija ovog voltmetra je $3^{1/2}$ do $5^{1/2}$ digita.

Blok šema merenja integracionim voltmetrom prikazana je na slici 3.2. Kada analogni signal sa multipleksera dođe u integracioni voltmetar on ulazi u kolo za prikupljanje signala. Ovo kolo se sastoji od prekidačkih kola, kola za izbor mernih opsega i pojačavačkih kola. Ulazni naponski signal se pogodnim izborom prekidača, oslabljivača i pojačavača dovodi unutar mernog opsega unutrašnjeg voltmetra. Integracionom voltmetru se može dopustiti da sam bira merni opseg korištenjem opcije *AUTORANGE*. Fiksni merni opsezi se mogu zadavati preko tastera na prednjoj ploči akviziciono kontrolne jedinice ili programski preko računara. Automatski izbor mernog opsega se koristi kada se dovoljno ne poznaje očekivana vrednost mernog signala, ili kada se ulazni signal menja unutar više mernih opsega integracionog voltmetra. Međutim, kada se želi ostvariti veća brzina merenja, onda je bolje programirati fiksni merni opseg za svaki kanal. Zato jer je integracionom voltmetru potrebno više vremena za merenje kada je programirana opcija *AUTORANGE*. Ako je ulazni signal DC napon onda se ulazno kolo sastoji od oslabljivača za signale visokog napona, odnosno od pojačala za signale niskog napona. Ako je ulazni signal AC napon onda se ulazno kolo koristi da pretvori AC signal u ekvivalentnu DC vrednost (RMS vrednost). Merenje otpornosti se ostvaruje dovođenjem na nepoznati otpornik poznate DC struje (iz integracionog voltmetra) i merenjem pada napona na tom otporniku.



Slika 3.2. Blok šema merenja integracionim voltmetrom

A/D konvertor je jedan od najvažnijih delova integracionog voltmetra. Merne karakteristike integracionog voltmetra u mnogome zavise od A/D konvertora, jer on utiče na rezoluciju merenja, brzinu očitavanja i sposobnost otklanjanja ulaznog šuma. Na ove karakteristike A/D konvertora najviše utiče vreme integracije. Vreme integracije je vreme u kome A/D konvertor odabira ulazni signal. Što je vreme integracije veće, veća je rezolucija i manja merna nesigurnost, a smanjuje se brzina merenja. Postoji više tehnika A/D konverzije ali se one uglavnom mogu podeliti na integracione i neintegracione. Integracionom tehnikom A/D konvertorima se meri usrednjena vrednost signala kroz definisane vremenske intervale, tako da se otklanjaju mnogi izvori šuma. Neintegracionom tehnikom A/D konvertorima se meri trenutna vrednost signala, plus šum u toku vrlo kratkog vremena. Neintegracionom tehnikom A/D konvertorima se postiže veća brzina merenja ali i puno veća merna nesigurnost. Integracioni voltmetar HP44420A u akviziciono kontrolnoj jedinici HP3497A koristi integracionu tehniku A/D konverzije.

Glavni procesor integracionog voltmetra ima svoj operativni sistem sa kojim upravlja različitim sistemskim resursima i potrebama. On kontroliše: prikupljanje ulaznog signala, sinhronizaciju multipleksiranja signala, izbor mernog opsega, izbor oslabljivača ili pojačavača i A/D konverziju. Glavni procesor takođe kalibriše merne rezultate i pretvara vrednost napona, struje ili otpora u odgovarajuću fizičku veličinu (n.p.r. temperaturu, pritisak, protok itd.). Može, takođe, da kontroliše da li izmerene vrednosti prelaze unapred postavljene alarm vrednosti, kao i da izmerene i alarm vrednosti smešta u internu memoriju. Komande se glavnom procesoru mogu zadavati preko tastera na prednjoj ploči akviziciono kontrolne jedinice ili programski preko računara.

Primer programa, napisanog u programu VEE Pro 6.0., za merenje istosmernog napona pomoću voltmetra HP44420A (koji je korišten u akviziciono-kontrolnoj jedinici HP3497A za merenje parametara motora na ispitnoj stanici) dat je u primeru 3.1.

Primer 3.1. (merenje istosmernog napona pomoću voltmetra HP44420A)

WRITE TEXT "clear " EOL	! Poništavanje komande koja je trenutno aktivna
WRITE TEXT "AR" EOL	! Otvara kontakt svih analognih kanala prema voltmetru
WRITE TEXT "AC05" EOL	! Dovodi analogni signal sa petog kanala na voltmetar
WRITE TEXT "VR5VT1VA1VN5 " EOL	! VR5 postavljanje mernog opsega na automatski izbor mernog opseg
	! VT1 postavljanje internog trigerovanja za početak merenja
	! VA1 uključena automatska nula na voltmetru
	! VN5 broj mjerenja voltmetrom po jednom trigeru
READ TEXT X REAL 64	! Očitavanje izmerene vrednosti iz bafera akvizicije

3.3.2. FET Multiplekser HP44422A

FET Multiplekser HP44422A koristi se za naizmenično biranje (multipleksiranje) signala sa maksimalno 20 ulaznih kanala. Signal sa multipleksa meri se pomoću voltmetra koji je ugrađen u akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A ili pomoću eksternog voltmetra. Ovaj multiplekser se koristi za prekidanje signala kod kojih akviziciono-kontrolnom jedinicom HP3497A merimo: napon, struju, otpor ili temperaturu. Na svaki od 20 kanala se može dovesti različita vrsta mernog signala i svaki kanal se može zasebno programirati. Ovaj 20 - kanalni multiplekser ima maksimalnu brzinu prekidanja od 475 kanala/sekundi. Ovaj multiplekser je korišten za merenje napona, struje i temperature (sa termopara K tip), prilikom snimanja parametara TMM-a.

Ovim multiplekserom može se meriti temperatura sa otpornih termometara, termistora i termoparova tip: B, E, J, K, N, R, S i T. Prilikom merenja temperature pomoću termoparova akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A radi automatsku kompenzaciju temperature hladnog spoja. Temperatura hladnog spoja meri se pomoću otpornog termometra Pt100 koji je ugrađen u multiplekser. Na svaki kanal multipleksa može se spojiti drugi tip davača temperature.

3.3.3. Jednokanalni brojač HP44426A

Jednokanalni brojač HP44426A može se koristiti za merenje frekvencije, perioda i za brojanje impulsa. Tip merenja bira se postavljanjem odgovarajućih kratkospojnika. Postoje dva tipa ulaznih priključaka:

- izolovani priključci (maksimalan ulazni napon ± 170 V) i
- neizolovani priključci (maksimalni ulazni napon ± 10 V).

Za svaki izolovani kanal može se pomoću kratkospojnika izabrati nivo signala koji se očekuje (5 V, 12 V ili 24 V). Merni opseg za merenje frekvencije se kreće od 1 Hz do 200 kHz, u zavisnosti od izbora vremenske baze brojača (1 s, 100 ms ili 10 μ s). Merni opseg za merenje perioda se kreće od 5 μ s do 655,35 s, u zavisnosti od izbora vremenske baze brojača (1 μ s, 10 μ s, 100 μ s, 1 ms ili 10 ms). Ova kartica korištena je prilikom merenja broja obrtaja kompresora visokog pritiska. Pošto ovaj signal ima frekvenciju 10 Hz do 100 Hz, a potrebno je da se meri sa rezolucijom od 0,01 Hz, frekvencija se nije mogla meriti direktno sa potrebnom rezolucijom. Međutim, tražena rezolucija merenja frekvencije može se postići ako se brojač koristi u modu merenja perioda signala. Zato je meren period ovog signala (uzimna je srednja vrednost od deset merenja perioda signala), a onda je iz perioda signala računski dobijana frekvencija signala.

3.4. DAVAČI MERNIH SIGNALA

Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A može da meri samo električni napon, električnu struju i električnu otpornost. Da bi se izmerila neka neelektrična veličina (kao što je temperatura, pritisak, protok, obrtaji, vibracije i pomeraj) korišteni su pretvarači koji neelektričnu veličinu pretvaraju u električni napon. Merenje naponskih signala na karticama HP44422A radi se preciznim voltmetrom HP 44420A.

U tabeli 3.1. dati su merni signali koji se vode na kartice HP 44421A. Za svaki signal dat je naziv mernog signala, skraćena oznaka za merni signal (koja se koristi u programu AKVIZICIJA), broj kanala u akviziciono-kontrolnoj jedinici HP3497A na koji se dovodi signal (ovaj broj se koristi prilikom programiranja merenja u programu VEE Pro 6.0.), merni opseg davača i kakav signal se dovodi na karticu HP 44421A. U nastavku rada opisan je princip na kome radi svaki davač.

1) Davač temperature vazduha na ulazu u motor *T1*

Temperatura vazduha na ulazu u motor meri se pomoću platinskog otpornog termometra Pt100, koji je postavljen ispred uvodnika vazduha u motor. Platinski otporni termometar Pt100 meri temperaturu na principu promene otpora sa promenom temperature. Sa povećanjem temperature otpor se povećava, sa opadanjem temperature otpor se smanjuje. Merenje temperature platinskim otpornim termometrom je bar pet puta preciznije od merenja temperature termoparom. Zbog toga je odlučeno da se temperatura vazduha na ulazu u motor meri platinskim otpornim termometrom. Ova temperatura je vrlo bitna za proračun korigovanih parametara motora. Signal sa platinskog otpornog termometra se sa četiri žice vodi do digitalnog termometra (na komandno-upravljačkom pultu) koji meri temperaturu. Ovaj digitalni termometar daje istosmerni napon (0 do 1) V, koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta. Ovaj napon se vodi na nulti kanal kartice HP44422A u slotu 1.

2) Davači temperature izduvnih gasova *T4*

Temperatura izduvnih gasova se meri na izduvnoj cevi motora pomoću četiri termopara K tip (koji su međusobno postavljeni pod uglom od 90°) i oni su spojeni paralelno na motoru. Ova temperatura meri se pomoću termoparova zato što se brzo menja, a termopar ima brz odziv što je i potrebno za ovo merenje. Otporni termomerti su tačniji od termoparova, ali se nisu mogli koristiti za merenje temperature izduvnih gasova jer ona ide do 800 °C, a otporni termometri se koriste samo za merenje temperature do 650 °C. Termopar radi na principu stvaranja termoelektromotorne sile na mestu spajanja dva različita materijala. Kada se spoj greje raste elektromotorna sila na slobodnim krajevima termopara. Sa mesta gde su četiri termopara paralelno spojena, naponski signal se kompenzacionim kablom K tip vodi do digitalnog termometra (na komandno-upravljačkom pultu) koji meri temperaturu sa automatskom kompenzacijom temperature hladnog spoja. Ovaj digitalni termometar daje istosmerni napon (0 do 1) V, koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta. Ovaj napon se vodi na prvi kanal kartice HP44422A u slotu 1. Akviziciono-kontrolna jedinica HP 3497A može direktno da meri temperaturu sa termoparova, sa automatskom kompenzacijom temperature hladnog kraja. Međutim ova mogućnost akviziciono-kontrolne jedinice nije iskorišćena na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a VIPER, a iskorišćena je na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a MM-16 i MM-17. Na komandno-upravljačkom pultu ispitne stanice za ispitivanje TMM-a VIPER postoji instrument za merenje temperature izduvnih gasova *T4*, koji ima DC izlazni napon proporcionalan pokazivanju instrumenta. Ovaj napon je većeg nivoa od elektromotorne sile na krajevima termopara K tip, tako da ga akvizicioni sistem meri sa manjom mernom nesigurnošću. Olakšano je i etaloniranje jer se istovremeno etalonira digitalni instrument i kanal akvizicionog sistema koji meri temperaturu izduvnih gasova. Ovaj napon se vodi na prvi kanal kartice HP44422A u slotu 1.

3) Davač broja obrtaja kompresora niskog pritiska *N1*

Broj obrtaja kompresora niskog pritiska meri se pomoću tahogeneratorskog sistema koji se nalazi na motoru. Tahogenerator daje naizmenični naponski signal čija je frekvencija proporcionalna broju obrtaja kompresora niskog pritiska (pri 13760 1/min tahogenerator daje signal frekvencije 70 Hz). Sa dve žice signal se sa tahogeneratorskog sistema vodi na digitalni frekvencijometar. Digitalni frekvencijometar je podešen tako da pokazuje broj obrtaja u procentima (13760 1/min = 100 %). Ovaj digitalni frekvencijometar daje istosmerni napon (0 do 5) V, koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta (odnosno proporcionalan broju obrtaja kompresora niskog pritiska). Ovaj napon se vodi na drugi kanal kartice HP44422A u slotu 1.

4) Davač potisaka motora R_o

Potisak motora meri se pomoću merne ćelije koja radi na principu mernih traka. Merna ćelija je postavljena na pokretno postolje gde se postavlja motor prilikom ispitivanja. Signal sa merne ćelije vodi se do digitalnog merača sile koji meri silu u librama. Ovaj digitalni merač sile daje istosmerni napon (0 do 1,5) V, koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta (odnosno proporcionalan potisku motora). Napon sa digitalnog merača sile vodi se na treći kanal kartice HP44422A u slotu 1. Naručilac akvizicionog sistema je tražio da pokazivanje potiska motora bude u librama (1 lb = 0.45359 kg), iako to nije jedinice iz SI sistema jedinica. Međutim, u tehnologiji ispitivanja TMM-a, koju je propisao proizvođač, potisak je dat u librama.

Tabela 3.1. Merni signali koji se dovode na karticu HP 44422A

Kanal (slot)	Naziv mernog signala	Skraćena oznaka	Merni opseg	Ulazni signal na karticu
0 (slot1)	Temperatura vazduha u ispitnoj ćeliji	$T1$	(-30 do 100) °C	DC napon
1 (slot1)	Temperatura izduvnih gasova	$T4$	(0 do 800) °C	DC napon
2 (slot1)	Broj obrtaja motora	$N1$	(0 do 120) % (0 do 16512) 1/min	DC napon
3 (slot1)	Potisak motora	R_o	(0 do 10000) lb (0 do 4535.9) kg	DC napon
4 (slot1)	Protok goriva	Q_g	(120 do 5000) lb/h (54 do 2268) kg/h	DC napon
5 (slot1)	Vibracije motora (brzina)	Vib	(0 do 5) inch/s (0 do 127) mm/s	DC napon
6 (slot1)	Položaj mlaznika		(0 do 120) % (0 do 6000) 1/min	DC napon
7 (slot1)	Razređenje u ispitnoj ćeliji	dBo	(0 do 10) mbar	DC napon
8 (slot1)	Barometarski pritisak u ispitnoj ćeliji	Bo	(800 do 1100) mbar	DC napon
9 (slot1)	Pritisak goriva na ulazu u motor	P_{gum}	(0 do 7) bar apsolutno	DC napon
10 (slot1)	Pritisak ulja na ulazu u motor	P_{uum}	(0 do 10) bar	DC napon
11 (slot1)	Pritisak vazduha na izlazu kompresora	P_2	(0 do 15) bar	DC napon
12 (slot1)	Pritisak startnog goriva	P_{sg}	(0 do 7) bar	DC napon
20 (slot2)	Pritisak goriva osnovnog kolektora	P_{gok}	(0 do 100) bar	DC napon
21 (slot2)	Pritisak goriva dopunskog kolektora	P_{gdk}	(0 do 150) bar	DC napon
22 (slot2)	Pritisak ulja na ulazu u hidropumpu	P_{uuhp}	(0 do 7) bar apsolutno	DC napon
23 (slot2)	Pritisak ulja na izlazu iz hidropumpe	P_{uihp}	(0 do 350) bar	DC napon
24 (slot2)	Pritisak motorskog vazduha A	P_{mvA}	(0 do 1) bar	DC napon
25 (slot2)	Pritisak motorskog vazduha B	P_{mvB}	(0 do 1) bar	DC napon

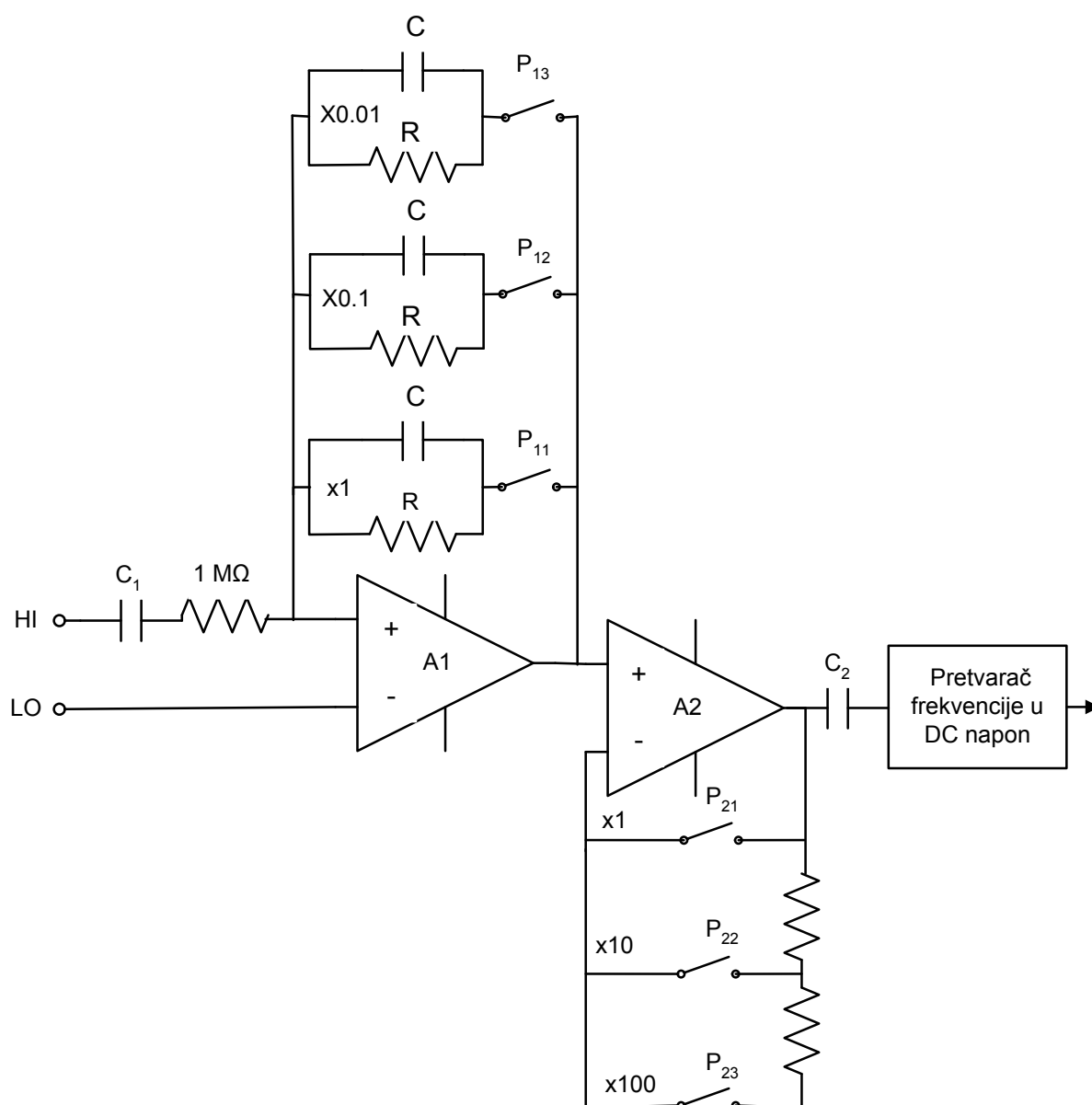
5) Davač masenog protoka goriva Q_g

Maseni protok goriva meri se pomoću turbinskog davača protoka koji je montiran u instalaciji goriva u gorivnoj sobi. Turbina ima magnetni davač impulsa sa elektronskim pojačalom. Sa pojačala signal se vodi do mikroprocesorskog merača masenog protoka koji se nalazi na komandno-upravljačkom pultu. Da bi ovaj instrument izmerio maseni protok potrebno je da dobije: podatak o protoku goriva sa turbine i podatke o fizičkim osobinama goriva. Fizičke osobine goriva se određuju hemijskom analizom, svaki put kada stigne nova količina gorivo na ispitnu stanicu.

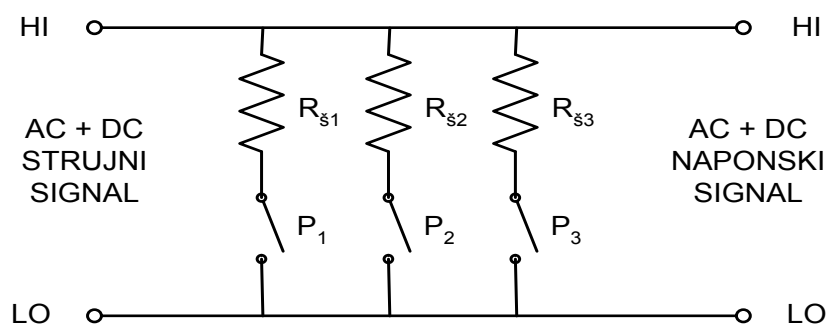
Turbinsko pojačalo daje AC signal (efektivne vrednosti oko 1 V) koji je superponiran na DC signal od 20 V sa kojim se napaja turbinsko pojačalo. Frekvencija ovog AC signala proporcionalna je protoku goriva kroz turbinu. Pošto akviziciono kontrolna jedinica najbrže meri DC napon potrebno je izvršiti pretvaranje frekvencije u DC napon. Da bi se uspešno izvršilo pretvaranje frekvencije u DC napon, u pretvaraču koji je postojao na ispitnoj stanici, potrebno je potpuno izdvojiti AC signal iz DC signala. Na slici 3.3. prikazano je kolo koje treba da obezbedi izdvajanje AC naponskog signala iz DC naponskog signala na koji je superponiran. Da bi se AC signal izdvoji potrebno ga je nekada oslabiti, a nekada pojačati preko operacionih pojačala. Ulazni AC naponski signal prvo dolazi na kondenzator C_1 koji treba da blokira glavni deo DC komponente ulaznog signala. Prvo operaciono pojačalo A1 ima veliku ulaznu

otpornost od oko $1\text{ M}\Omega$ (kako nebi opteretili signal sa davača). Ovo operaciono pojačalo se koristi za slabljenje ulaznog signala, ako je potrebno. Uključenjem odgovarajućeg prekidača P_{11} , P_{12} ili P_{13} može da se bira željeno slabljenje. Drugo operaciono pojačalo A2 obezbeđuje promenljivo pojačanje signala od jediničnog (kada je uključen prekidač P_{21}), pa do željenog pojačanja (preko prekidača P_{22} ili P_{23}). Promenljivo pojačanje se koristi da bi se obezbedio pun otklon na skali instrumenta koji meri ovaj AC signal ili pun opseg ulaznog kola pretvarača frekvencije u napon. Kondenzator C_2 na kraju namenjen je da blokira bilo koju zaostalu DC komponentu napona, posle oslabljivača i pojačala.

Predhodno opisano kolo za merenje AC napona koji je superponiran na DC napon, može se takođe koristiti za merenje AC struje koja je superponirana na DC struju ako se na ulaz kola na slici 3.3. doda kolo prikazano na slici 3.4. Kolo prikazano na slici 3.4. predstavlja šent otpornike koji AC struju pretvaraju u AC napon, koji se dalje meri na već opisani način. Da bi se postiglo više mernih opsega za merenje AC struje, onda se kao u kolu prikazanom na slici 3.4., može se postaviti više šentova koji se biraju odgovarajućim prekidačem P_1 , P_2 ili P_3 .



Slika 3.3. Izdvajanje AC naponskog signala od DC naponskog signala



Slika 3.4. Izdvajanje AC strujnog signala od DC strujnog signala

6) Davač vibracija na motoru

Vibracije na motoru mere se pomoću dva davača vibracija koji mehaničke vibracije pretvaraju u naizmenični napon. Proizvođač ovih davača je *BELL&HOWELL*, tip 4-123. Naponski signal sa ovih davača vodi se na dvokanalni merač vibracija koji se nalazi na komandno-upravljačkom pultu. Ovaj merač vibracija meri brzinu kod vibracija motora. U kombinaciji sa ovim meračem vibracija nalazi se i filter signala vibracija kontinualno promenljiv pomoću koga se određuje na kojoj frekvenciji se nalaze najveće vibracije. Na osnovu te frekvencije zna se koji dio motora je napravio najveće vibracije. Merač vibracija daje naponski signal (0 do 1) V, koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta (odnosno proporcionalan brzini vibracija motora). Ovaj napon se vodi na peti kanal kartice HP44422A u slotu 1. Instrument za merenje vibracija je američke proizvodnje i on meri brzinu vibracija motora u inčima u sekundi. Naručilac akvizicionog sistema je tražio da mu pokazivanje pomeraja vibracija motora bude u inčima (eng. inch) u sekundi (1 inch/s = 25,4 mm/s), iako to nije jedinica iz SI sistema jedinica. Međutim, u tehnologiji ispitivanja TMM-a vibracije su date u inčima u sekundi.

7) Davač položaja mlaznika

Položaja mlaznika meri se pomoću avionskog potenciometarskog davača pomeraja. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 30) V koji se vodi na šesti kanal kartice HP44422A. Napon se meri preko otpornog razdelnika (koji smanjuje ulazni napon 20 puta). Ovo se radi jer napon na potenciometarskom davaču pomeraja može imati vrednost do 30 V, a kartica HP44422A može meriti napon do 10,24 V.

8) Davač razređenja vazduha u ispitnoj ćeliji dBo

Razređenja vazduha u ispitnoj ćeliji meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri pritisak (0 do 10) mbar. Proizvođač ovog davača je *WIKA*, tip DP10. Davač se napaja sa istosmernim naponom (10 do 30) V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 10) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na sedmi kanal kartice HP44422A u slotu 1. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,5\%$ mernog opsega.

9) Davač barometarskog pritiska vazduha u ispitnoj ćeliji Bo

Barometarski pritisak vazduha u ispitnoj ćeliji meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri pritisak (800 do 1100) mbar. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 270. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na osmi kanal kartice HP44422A u slotu 1. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1\%$ mernog opsega.

10) Davač pritiska goriva na ulazu u motor Pgum

Pritisak goriva na ulazu u motor meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri apsolutni pritisak (0 do 7) bar, pa ga je potrebno pretvoriti u relativni pritisak. Relativni pritisak se dobije kada se od izmerene apsolutne vrednosti pritiska oduzme vrednost barometarskog pritiska *Bo*. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 204E. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na deveti kanal kartice HP44422A u slotu 1. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1\%$ mernog opsega.

11) Davač pritiska ulja na ulazu u motor *Puum*

Pritisak ulja na ulazu u motor meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri relativni pritisak (0 do 10) bar. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 205-2. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na deseti kanal kartice HP44422A u slotu 1. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1$ % mernog opsega.

12) Davač pritiska vazduha iza kompresora *P2*

Pritisak vazduha iza kompresora meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri relativni pritisak (0 do 15) bar. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 205-2. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na jedanaesti kanal kartice HP44422A u slotu 1. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1$ % mernog opsega.

13) Davač pritiska startnog goriva *Psg*

Pritisak startnog goriva meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri relativni pritisak (0 do 7) bar. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 205-2. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na dvanaesti kanal kartice HP44422A u slotu 1. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1$ % mernog opsega.

14) Davač pritiska goriva osnovnog kolektora *Pgok*

Pritisak goriva osnovnog kolektora meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri relativni pritisak (0 do 100) bar. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 205-2. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na dvadeseti kanal kartice HP44422A u slotu 2. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1$ % mernog opsega.

15) Davač pritiska goriva dopunskog kolektora *Pgdk*

Pritisak goriva dopunskog kolektora meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri relativni pritisak (0 do 150) bar. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 205-2. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na dvadeset prvi kanal kartice HP44422A u slotu 2. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1$ % mernog opsega.

16) Davač pritiska ulja na ulazu u hidropumpu *Puuhp*

Pritisak ulja na ulazu u hidropumpu meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri apsolutni pritisak (0 do 7) bar, pa ga je potrebno pretvoriti u relativni pritisak. Relativni pritisak se dobije kada se od izmerene apsolutne vrednosti pritiska oduzme vrednost barometarskog pritiska *Bo*. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 204E. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na dvadeset drugi kanal kartice HP44422A u slotu 2. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1$ % mernog opsega.

17) Davač pritiska ulja na izlazu iz hidropumpe *Puihp*

Pritisak ulja na izlazu iz hidropumpe meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri relativni pritisak (0 do 350) bar. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 205-2. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na dvadeset treći kanal kartice HP44422A u slotu 2. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1$ % mernog opsega.

18) Davač pritiska motorskog vazduha A *PmvA*

Pritisak motorskog vazduha A meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri relativni pritisak (0 do 1) bar. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 205-2. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje

naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na dvadeset četvrti kanal kartice HP44422A u slotu 2. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1$ % mernog opsega.

19) Davač pritiska motorskog vazduha B *PmvB*

Pritisak motorskog vazduha B meri se pomoću elektronskog davača pritiska, koji radi na piezoelektričnom principu. Ovaj davač meri relativni pritisak (0 do 1) bar. Proizvođač ovog davača je *SETRA SISTEMS*, tip 205-2. Davač se napaja sa istosmernim naponom 24 V, a na svom izlazu daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan pritisku koji se meri. Ovaj naponski signal vodi se na dvadeset peti kanal kartice HP44422A u slotu 2. Klasa tačnosti davača je $\pm 0,1$ % mernog opsega.

3.5. NAČIN PRORAČUNA KORIGOVANIH PARAMETARA MOTORA

Posle ispitivanja TMM-a na stacionarnoj ispitnoj stanici, svi izmereni parametri motora, snimljeni u realnim atmosferskim uslovima, preračunavaju se (koriguju) na vrednosti pri standardnim atmosferskim uslovima (temperatura vazduha 15,15 °C i atmosferski pritisak 1013,25 mbar). Na osnovu korigovanih parametara daje se finalna ocena kvaliteta izvršenog remonta TMM-a. Na osnovu ove ocene vidi se da li je remont TMM-a dobro obavljen ili je potrebno izvršiti dodatna podešavanja na motoru. Za TMM-re VIPER 632-41, VIPER 632-46 i VIPER 633-41 radi se proračun sledećih parametara:

- korigovani broj obrtaja motora Nk ,
- korigovani potisak motora Rk ,
- korigovani protok goriva Qgk ,
- korigovana specifična potrošnja goriva CRk ,
- korigovana temperatura izduvnih gasova motora $T4$,
- ekvivalentni prečnik izduvne cevi motora d_{ek} ,
- korisni zazor klipova hidrocilindra motora K_z .

1) Korigovani broj obrtaja motora

Korigovani broj obrtaja motora Nk (%) računa se prema sledećoj formuli:

$$Nk = (N + dN_{in}) \cdot \sqrt{\frac{288,15}{T1k}} \quad (3.1)$$

gde je:

N (%) – izmereni broj obrtaja motora,

dN_{in} (%) – greška instrumenta za merenje broja obrtaja motora,

$T1$ (°C) – izmerena temperatura vazduha na ulazu u motor, u stepenima Celzusa,

$T1k$ (K) – temperatura vazduha na ulazu u motor, u Kelvinima, koja se računa prema sledećoj formuli:

$$T1k = T1 + 273,15 \quad (3.2)$$

2) Korigovani potisak motora

Korigovani potisak motora Rk , je prema tehnologiji ispitivanja TMM-a, dat u jedinici libri sile (lbs) i računa se prema sledećoj formuli:

$$Rk = (R + dR_{in}) \cdot \frac{1013,25}{B1} + \Delta R_{T1} \quad (3.3)$$

gde je:

R (lbs) – izmereni potisak motora,
 dR_{in} (lbs) – greška instrumenta za merenje potiska motora (vrednost odstupanja instrumenta za merenje potiska od nulte vrednosti kada postolje motora nije opterećeno),
 $B0$ (mbar) – barometarski pritisak vazduha okoline,
 $\Delta B0$ (mbar) – razređenje vazduha u ispitnoj ćeliji,
 $B1$ (mbar) – barometarski pritisak vazduha u ispitnoj ćeliji, koji se računa prema sledećoj formuli:

$$B1 = B0 - \Delta B0 \quad (3.4)$$

ΔR_{T1} (lb) – korekcija potiska motora prema temperaturi vazduha na ulazu u motor ($T1$) u stepenima Celzusa. Ova korekcija se računa prema sledećoj formuli:

$$\Delta R_{T1} = -2,6667 \cdot T1 + 40 \quad (3.5)$$

3) Korigovani maseni protok goriva

Korigovani maseni protok goriva Qgk (lb/h) računa se prema sledećoj formuli:

$$Qgk = (Qg + dQgin) \cdot \frac{1013,25}{B1} \cdot \frac{288,15}{T1k} + \Delta Qg_{T1} \quad (3.6)$$

gde je:

Qg (lb/h) – izmereni maseni protok goriva,
 $dQgin$ (lb/h) – greška instrumenta za merenje masenog protoka goriva,
 $B1$ (mbar) – barometarski pritisak vazduha u ispitnoj ćeliji, koji se računa prema formuli (3.4),
 $T1k$ (K) – temperatura vazduha na ulazu u motor u Kelvinima, koji se računa prema formuli (3.2),
 ΔQg_{T1} (lb/h) – korekcija masenog protoka goriva prema temperaturi vazduha na ulazu u motor ($T1$) u stepenima Celzusa. Ova korekcija se računa prema sledećoj formuli:

$$\Delta Qg_{T1} = -4,961 \cdot T1 + 74,4 \quad \text{za } T1 < 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.7)$$

$$\Delta Qg_{T1} = -5 \cdot T1 + 75 \quad \text{za } T1 \geq 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4) Korigovana specifična potrošnja goriva

Korigovana specifična potrošnja goriva se računa prema sledećoj formuli:

$$CRk = \frac{Qgk}{Rk} \quad (3.8)$$

gde je:

Qgk (lb/h) – korigovani maseni protok goriva, koji se računa prema formuli (3.6),
 Rk (lbs) – korigovani potisak motora, koji se računa prema formuli (3.3).
 Korigovana specifična potrošnja goriva CRk , se u tehnologiji ispitivanja TMM-a daje u jedinici libra goriva kroz libra sile za jedan sat (lb/lbs·h).

5) Korigovana temperatura izduvnih gasova motora

Korigovana temperatura izduvnih gasova motora $T4k$ ($^{\circ}\text{C}$) računa se prema sledećoj formuli:

$$T4k = (T4 + dT4in + 273,15) \cdot \frac{288,15}{T1k} + \Delta T4_{T1} \quad (3.9)$$

gde je:

$T4$ (°C) – izmerena temperatura izduvnih gasova motora,

$dT4in$ (°C) – greška instrumenta za merenje temperature izduvnih gasova motora,

$T1k$ (K) – temperatura vazduha na ulazu u motor u Kelvinima, koji se računa prema formuli (3.2),

$\Delta T4_{T1}$ (°C) – korekcija temperature izduvnih gasova motora prema temperaturi vazduha na ulazu u motor ($T1$) u stepenima Celzusa. Ova korekcija se računa prema sledećoj formuli:

$$\Delta T4_{T1} = -0,5455 \cdot T1 + 8,1818 \quad (3.10)$$

6) Ekvivalentni prečnik izduvne cevi motora

Ekvivalentni prečnik izduvne cevi, koja je sastavni deo motora, d_{ek} (mm) računa se samo za motore VIPER 632-41 i VIPER 632-46 prema sledećoj formuli:

$$d_{ek} = d_s - (n \cdot 0,762 + p \cdot 0,381) \quad (3.11)$$

gde je:

d_s (mm) – srednji prečnik tehnološke izduvne cevi motora bez trimera,

n – broj trimera VU102262 ugrađenih na motor,

p – broj trimera VU103115 ugrađenih na motor.

7) Korisni zazor klipova hidrocilindra motora

Korisni zazor klipova hidrocilindra motora Kz (mm) računa se za motore VIPER 633-41 prema sledećoj formuli:

$$Kz = (C - B) \cdot \frac{H}{A - B} \quad (3.12)$$

gde je:

C (mm) – očitana vrednost položaja mlaznika motora, pri radu motora na 95% ili 100% obrtaja bez dopunskog sagorevanja goriva,

B (mm) – očitana vrednost položaja mlaznika motora, pri radu motora sa uključenim prekidačem *Prinudno zatvoren mlaznik*,

A (mm) – očitana vrednost položaja mlaznika motora, pri radu motora na režimu *Mali gas* (kada je mlaznik motora potpuno otvoren,

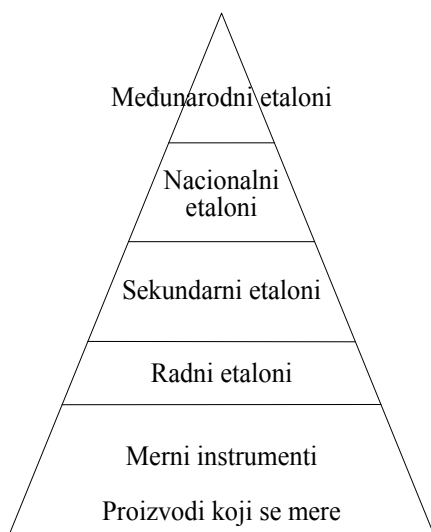
H (mm) – ukupan hod klipova hidrocilindra na mlazniku motora koji se uzima iz liste ispitivanja motorskog agregata KDS.

3.6. ETALONIRANJE AKVIZICIONOG SISTEMA

Metrologija je nauka o merenju. Merenje je skup postupaka koji imaju za cilj određivanje vrednosti veličine. Vrednost veličine je kvantitativan iznos veličine, uglavnom izražen u obliku proizvoda brojne vrednosti i merne jedinice. Rezultat merenja je vrednost dobijena merenjem koja se pripisuje mernoj veličini. Potpuno iskazivanje rezultata merenja treba obuhvatiti i informaciju o mernoj nesigurnosti.

Poznato je da su metode merenja i merna sredstva osnovni elementi mernog procesa. Pri tome se, naravno, misli isključivo na ispravna merna sredstva. Merno sredstvo je ispravno ne samo kada je funkcionalno ispravno, već i kada su potvrđene njegove metrološke karakteristike propisane od strane proizvođača. Metrološka aktivnost, u okviru koje se proveravaju metrološke karakteristike mernih sredstava naziva se etaloniranje. Etaloniranje je skup postupaka kojima se, u određenim uslovima, uspostavlja odnos između vrednosti veličine koju pokazuje merilo ili merni sistem, ili vrednosti koju predstavlja materijalizovana mera ili referentni materijal, i odgovarajuće vrednosti ostvarene etalonom.

Etaloniranje instrumenata je potrebno da bi se odredilo i dokumentovalo odstupanje pokazivanja mernog instrumenta od stvarne vrednosti. To znači da instrument treba uporediti sa fizičkim etalom. Etalon je materijalizovana mera, merni instrument ili merni sistem namenjen da definiše, ostvari, čuva ili reprodukuje jedinicu, odnosno jednu vrednost ili više poznatih vrednosti jedne veličine, kako bi se poređenjem mogle preneti na etalone nižeg reda ili merila. Pošto nije uvek moguće porediti svako merilo sa fizičkim etalom, poređenje treba izvršiti po fazama sa fizičkog etalona na etalone nižeg ranga ili merila. U svakoj fazi poređenja od najvišeg (primarnog) etalona do mernih instrumenata u procesu proizvodnje, poređenje se uvek vrši između dva instrumenta. Prvo poređenje se vrši između najvišeg (primarnog) etalona sa nižim (sekundarnim). Zatim između nižeg i sledećeg nižeg sve dok se poređenje ne završi. Ova metoda stvara hijerarhiju etalona i mernih instrumenata. Hijerarhija etalona i mernih instrumenata prikazana je na slici 3.5. Na vrhu piramide je međunarodni etalon, a na dnu preko mernih instrumenata proizvod koji se proizvodi u fabrici.



Slika 3.5. Hijerarhija etalona



Slika 3.6. Hijerarhija metroloških laboratorija

Etaloniranje mernih instrumenata vrši se u metrološkim laboratorijama. Hijerarhija metroloških laboratorija prikazana je na slici 3.6. Na vrhu piramide u svakoj zemlji su nacionalne metrološke laboratorije, koje su nosioci razvoja metrologije u zemlji. One se brinu o primarnim etalonima u zemlji i obezbeđuju njihovu sledljivost prema međunarodnim etalonima. Sledeći nivo u hijerarhiji metroloških laboratorija su akreditovane laboratorije. Akreditovane laboratorije mogu biti akreditovane od domaćih ili međunarodnih akreditacionih kuća. Cilj postojanja akreditovanih laboratorija je obezbeđenje sledljivosti svakog instrumenta, koji se koristi za merenje finalnog proizvoda, prema fizičkom primarnom etalonu. Akreditovane laboratorije mogu obavljati etaloniranje samo u svojoj firmi, ali i za druge firme. Unutar firme mogu postojati metrološke laboratorije koje nisu akreditovane. Međutim, da bi ispravno radile i te metrološke laboratorije moraju etalonirati svoje instrumente u akreditovanim laboratorijama i time ostvariti sledljivost do međunarodnog etalona. Neprekidni lanac poređenja naziva se lancem sledljivosti. On prikazuje redoslijed i tačnost postupka prenošenja merne jedinice određene veličine.

Termin sledljivost ima dva značenja:

- 1) Osobina rezultata merenja ili vrednosti etalona preko koga se može dovesti u vezu sa nacionalnim ili međunarodnim etalomom preko neprekidnog lanca poređenja od kojih svako ima utvrđenu mernu nesigurnost.
- 2) Mogućnost da se utvrdi istorijat, primena ili lokacija instrumenata.

Druga definicija se odnosi na praćenje traga instrumenta koji su etalonirani u laboratoriji ili na korekciju pogrešnih rezultata etaloniranja. U odnosu na prvu definiciju treba napomenuti da nesigurnost svake karike u lancu sledljivosti mora biti poznata. Ovo se može postići sledljivim etaloniranjem prema višim etalonima. Tokom svakog poređenja merna nesigurnost je sve veća zbog uslova ponovljivosti i uslova okoline. U svakoj fazi poređenja se merna nesigurnost povećava i ne može se nikada smanjiti u odnosu na predhodne nivoe poređenja.

Važno gledište efikasnosti sistema etaloniranja je određivanje perioda verifikacije etaloniranog mernog instrumenta. Period verifikacije zavisi od:

- Parametara za vrednovanje radnih metoda,
- Tipa instrumenta,
- Preporuke proizvođača,
- Perioda verifikacije sličnih instrumenata,
- Nastajanje kvarova tokom perioda verifikacije,
- Intenziteta korišćenja instrumenta,
- Tendencije trošenja i drifta instrumenta,
- Uticaja okoline (temperatura, vlažnost, vibracije itd.),
- Podaci o trendu rezultata merenja dobijeni iz zapisa predhodnog etaloniranja,
- Zahtjevane nesigurnosti merenja,
- Pisanoj istoriji održavanja i servisiranja instrumenata.

Da bi se našao optimalan period verifikacije, treba uspostaviti ravnotežu između dva osnovna, ali suprotna kriterijuma:

- Rizik da etalon ili merni instrument bude izvan zahtevane tolerancije, treba da je što manji.
- Troškovi etaloniranja treba da su na razumnom nivou.

Metrološka laboratorija ML-16 Vazduhoplovnog Zavoda "ORAO" bavi se etaloniranjem svih mernih instrumenata koji se nalaze na ispitnim stanicama za ispitivanje TMM-a. Prilikom etaloniranja vodi se računa da najveća dopuštena greška etalona bude najmanje tri puta manja od greške merila koje se etalonira. Propisani period verifikacije instrumenata na ispitnoj stanici kreće se od jednog meseca (za instrumente za merenje temperature), tri meseca (za instrumente za merenje pritiska, protoka goriva, vibracija, potiska i broja obrtaja motora) do šest meseci (za ampermetre i voltmetre). Ovako kratki periodi verifikacije određeni su zbog pojačanih zahteva za kontrolom kvaliteta izvršenog remonta TMM-a u VZ "ORAO". Na ovaj način se dobija veća tačnost i pouzdanost, a smanjuje nesigurnost merenja prilikom ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici.

Akvizicioni sistem je ispravan ne samo kada je funkcionalno ispravan već i kada se uradi njegovo etaloniranje. Etaloniranje akvizicionog sistema obuhvata etaloniranje akviziciono-kontrolne jedinice i etaloniranje svih signala koji od davača, ugrađenih na ispitnu stanicu, dolaze u akviziciono-kontrolnu jedinicu. Ako je voltmetar ugrađen u akviziciono-kontrolnu jedinicu tačan i davači ispravni do greške merenja nekog signala akvizicionim sistemom može uglavnom doći zbog pada napona na kablovima koji povezuju davače i akviziciono-kontrolnu jedinicu. Kablovi koji povezuju davače i akviziciono-kontrolnu jedinicu na ispitnoj stanici dugi su i do 20 metara. Dužina kablova više utiče na naponske nego na stujne signale sa davača. Zbog toga etaloniranje jednog mernog signala na akvizicionom sistemu predstavlja etaloniranje kompletne merne linije od davača signala do akviziciono-kontrolne jedinice. Na ovaj način se skoro potpuno potiskuju svi sistematski efekti koji utiču na mernu nesigurnost pri merenju akvizicionim sistemom.

Etaloniranje signala na akvizicionom sistemu radi se programski, svaki put kada se radi etaloniranje klasičnih instrumenata na ispitnoj stanici ili kada se pojavi razlika između pokazivanja akvizicionog sistema i klasičnih instrumenata na ispitnoj stanici.

4. PROJEKTOVANJE I RAZVOJ SOFTVERA ZA AKVIZICIJU

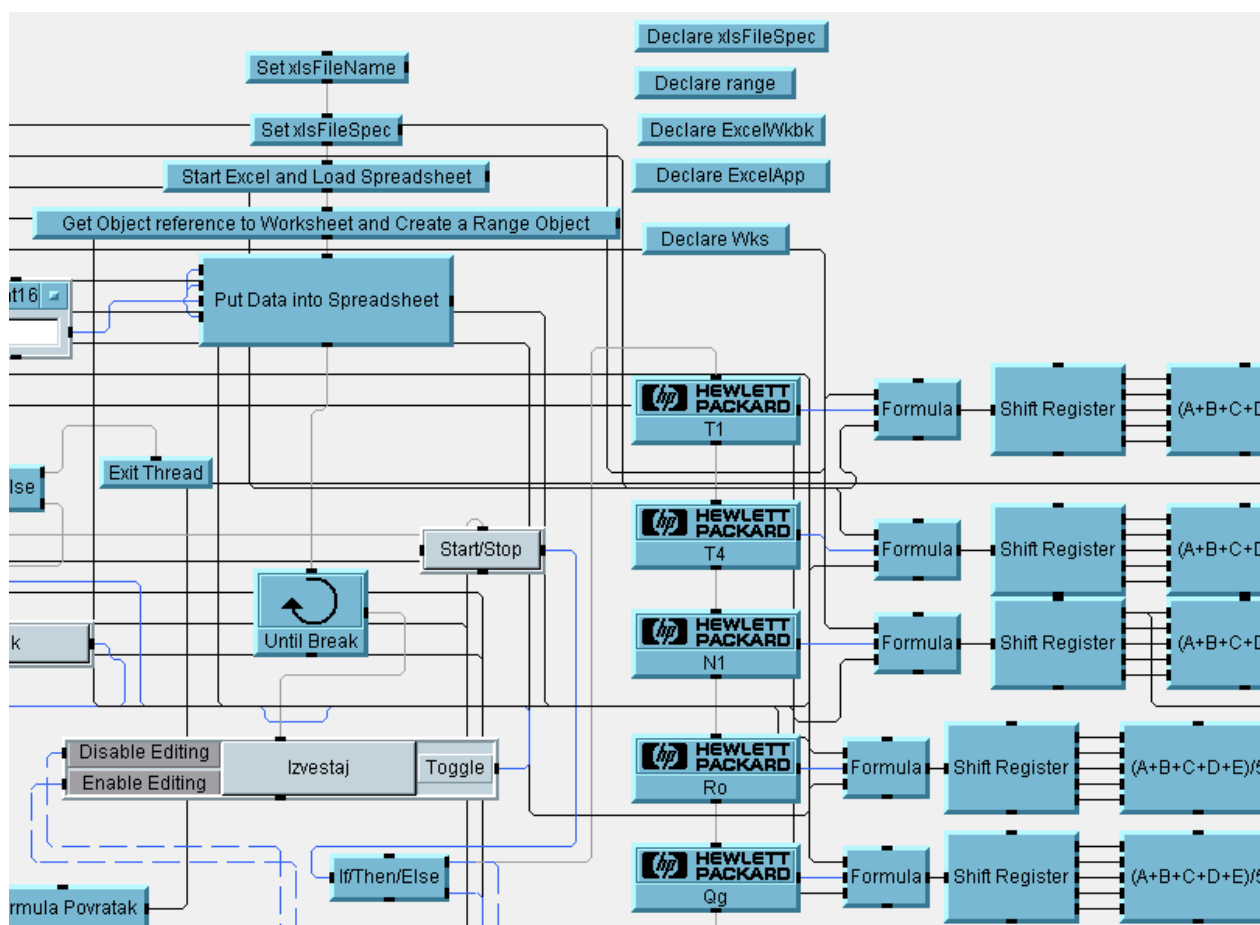
Uočeno je da prilikom ispitivanja TMM-a, radni režim ne može biti u potpunosti stacionaran, već uvek postoje određene varijacije merenog signala u okolini njegove vrednosti pri ustaljenom režimu. Na prethodnim ispitnim stanicama koje nisu raspolagale merno-akvizicionim sistemima, vremenske varijacije signala se nisu mogle uzimati u obzir prilikom naknadnog proračuna korigovanih parametara motora. Rezultati analize akvizicionog sistema koji je ranije razvijen za potrebe ispitivanja TMM-a tip MM-16 i MM-17, iskorišćeni su za formulaciju novog algoritma za akviziciju i obradu mernih signala. Novi algoritam je razvijen kako bi se smanjio uticaj malih promena signala oko ustaljene vrednosti u stacionarnim radnim režimima, odnosno smanjenjila komponente merne nesigurnosti tip A.

Radom akvizicionog sistema upravlja korisnički program koji se izvršava na personalnom računaru. Program određuje vrste merenja koje treba obaviti i njihov vremenski raspored, oblik i vremenski raspored mernih podataka koje daju merni instrumenti, kao i vrste matematičkih operacija koje izvodi računar nad tim podacima, pre njihovog alfanumeričkog ili grafičkog predstavljanja. Korisnički program za akviziciju parametara TMM-a na ispitnoj stanici sastoji se od dva dela:

- uslužnih programa i
- glavnog programa.

4.1. USLUŽNI PROGRAMI

Uslužni programi sastoje se od rutina (podprograma, procedura, raznih biblioteka) koje se odnose na programiranje i saobraćaj mernih podataka od računara prema akviziciono-kontrolnoj jedinici HP3497A i od akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A prema računaru. Uslužni programi su pisani u programskom paketu VEE Pro 6.0. (čija je osnovna namena upravljanje i merenje Hewlett-Packard mernim instrumentima, te obrada i prikaz izmerenih vrednosti). Programski paket VEE Pro 6.0. je objektno orijentisan. Program se pravi tako što se sastavlja iz gotovih blokova.



Slika 4.1. Izgled dela programa za merenje parametara motora napisanog u VEE Pro 6.0.

Svaki blok predstavlja niz naredbi koje čine jednu celinu (n.p. IF, FOR, UNTIL BREAK petlje, matematičke funkcije, brojači, grafici, displeji, dugmad i dr.). Programer ove gotove blokove prilagođava svome programu i povezuje ih u jednu celinu. Na slici 4.1. prikazan je izgled dela programa napisanog u programskom paketu VEE Pro 6.0. za merenje pomoću akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A.

Osnovni cilj pri pisanju uslužnih programa je da sekcije koje rukuju odvojenim zadacima predstavljaju samostalne jedinice unutar programa. Ovakva podela programa je:

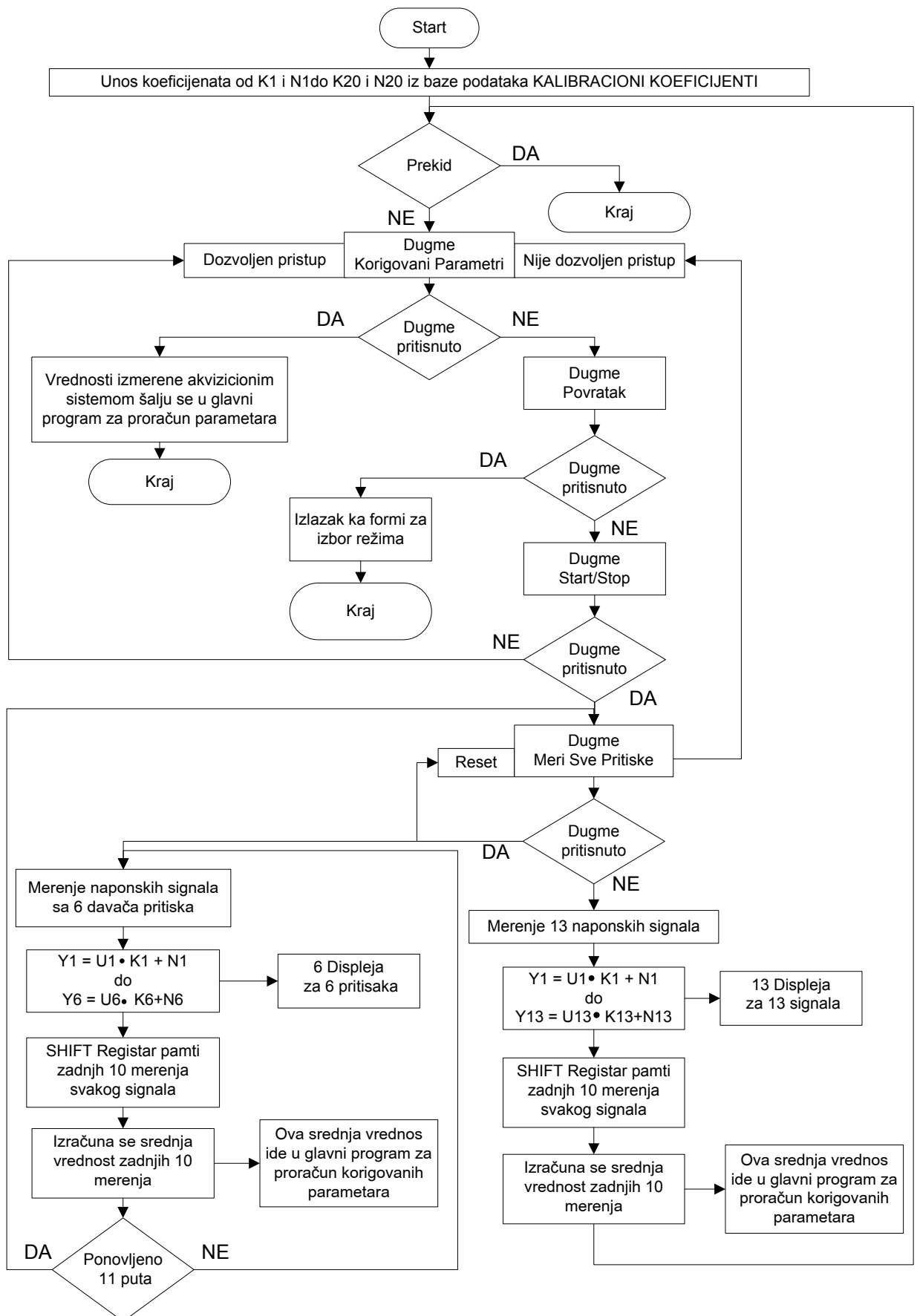
- 1) omogućila lakše pisanje programa,
- 2) uprostila korekcije i pronalaženje grešaka u programu, i
- 3) olakšala razvoj programa.

Prvi korak u pisanju uslužnog programa je crtanje dijagrama toka. Izrada uslužnog programa se nastavlja podelom programa na segmente, nakon čega se segmenti programiraju biranjem gotovih naredbi iz biblioteka naredbi. Na kraju je potrebno omogućiti da se uslužni program može pozivati iz glavnog programa, odnosno da rezultate merenja koji su rezultat uslužnog programa šalje u glavni program.

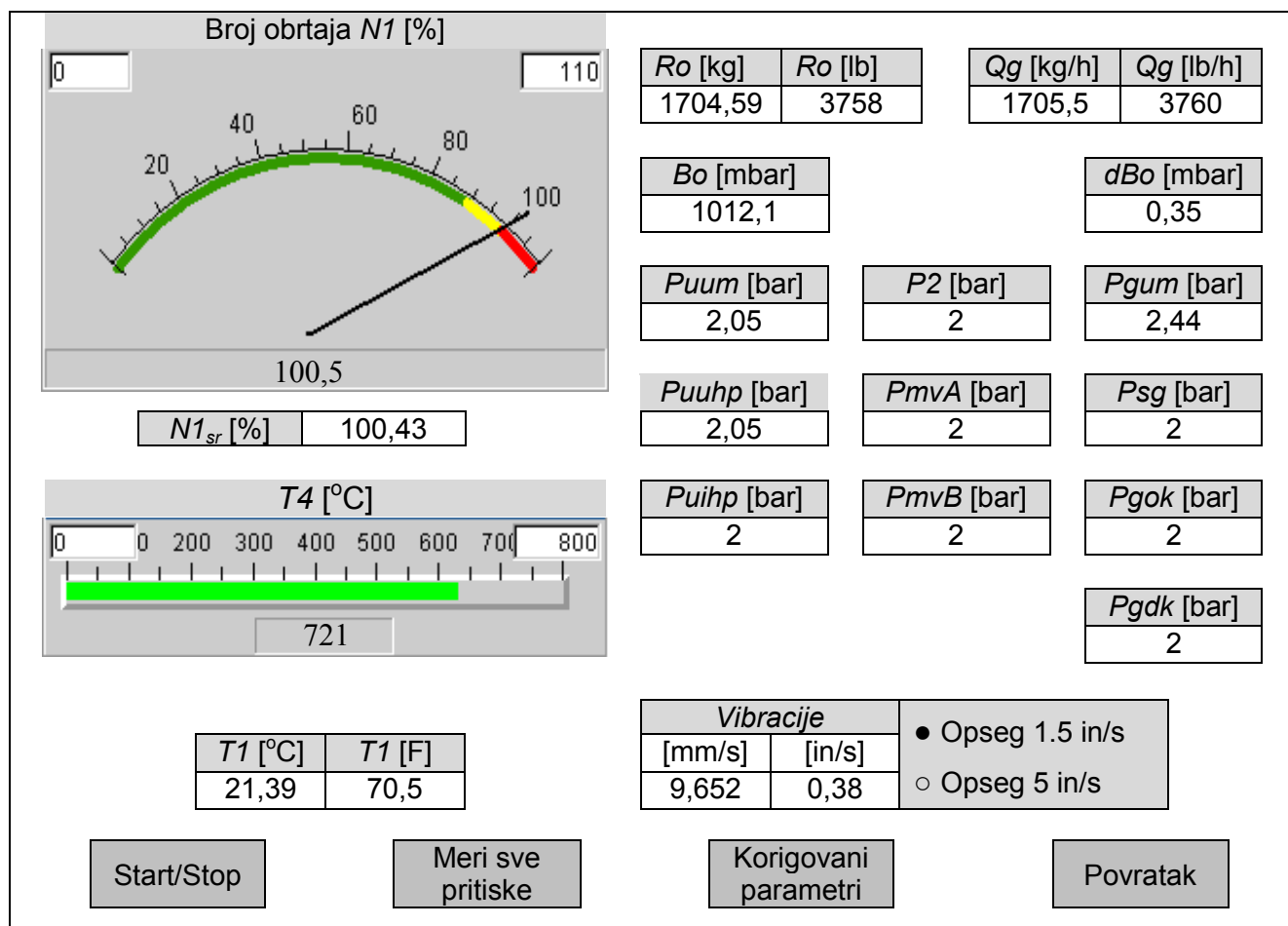
4.1.1. Opis programa za merenje parametara TMM-a VIPER

Na slici 4.2. prikazan je dijagram toka uslužnog programa MONITORINGVIPER napisanog u programskom paketu VEE Pro 6.0., za merenje parametara motora VIPER. Izmerene vrednosti, koje su rezultat ovog programa, koriste se u glavnom programu za proračun korigovanih parametara za sve stabilne radne režime (100%, 98%, 95%, Mali Gas ili režim provera LPC) motora VIPER 632-41, VIPER 632-46 i VIPER 633-41. Nakon pokretanja programa unose se koeficijenti K i N (iz baze podataka KALIBRACIONI KOEFICIJENTI) za svih 19 mernih signala koji se dovode na karticu HP44710A, koji se mere u stacionarnim radnim režimima motora. Nakon toga pojavi se prozor prikazan na slici 4.3. Na ovom prozoru se vidi da se broj obrtaja motora *NI* prikazuje u vidu simulacije analognog instrumenta sa kazaljkom i u vidu digitalne vrednosti koja prikazuje zadnju izmerenu vrednost. Ovo je urađeno da bi ovaj parametar bio vizuelno što uočljiviji, jer je on najbitniji za ocenu u kom radnom režimu se nalazi motor. Ispod ovog displeja nalazi se displej *NI*sr. Ovaj displej uvek prikazuje srednju vrednost broja obrtaja motora od zadnjih deset merenja koja su izvršena akvizicionim sistemom. On je dodat da bi se poređenjem sa displejom koji stalno pokazuje trenutnu (zadnju) vrednost broja obrtaja motora, moglo utvrditi da li je broj obrtaja motora stabilan, odnosno da je rad motora stabilan. Ako nema velikog odstupanja u pokazivanju broja obrtaja motora na ova dva displeja, može se reći da motor stabilno radi i da se može pristupiti merenju ostalih parametara potrebnih za proračun korigovanih parametara motora. Ovaj displej za prikaz srednje vrednosti zadnjih deset merenja broja obrtaja motora *NI* napravljen je pomoću jednog *shift registra*. Shift registar je gotov programski blok koji postoji u programskom paketu VEE Pro 6.0. Ovaj registar je napravljen tako da u svakom trenutku pamti zadnjih deset (ili već koliko se programira) rezultata merenja koja dolaze na njegov ulaz. Na izlazu iz ovog registra stalno se računa srednja vrednost od deset vrednosti koje se u tom trenutku nalaze u registru. Ovakav registar postoji za svih devetnaest signala koji se mere ovim programom. Tako se kao izlazni podaci iz ovog programa, odnosno ulazni podaci u program za proračun korigovanih parametara, za svaki signal uzima zadnjih deset merenja koja su izvršena akvizicionim sistemom.

Temperatura izduvnih gasova *T4* prikazuje se u vidu položenog bar-grafa i u vidu digitalne vrednosti. Ovo je urađeno da bi ovaj parametar bio, takođe, vizuelno što uočljiviji. Jer ako ova temperatura pređe određene granice koje je deklarirao proizvođač, može doći do trajnog oštećenja motora. Zato operator za ispitivanje motora treba lako da očitava ovu temperaturu i na vreme uoči eventualno prekoračenje temperature i preduzme sve potrebne mere kako bi se ova temperatura brzo smanjila. Smanjivanje ove temperature radi se postepenim smanjivanjem broja obrtaja motora, pošto bi naglo smanjivanje broja obrtaja motora ili naglo zaustavljanje motora moglo takođe da izazove trajno oštećenje motora. Zato je bar-graf programiran da se ova temperatura prikazuje zelenom bojom sve dok je u granicama koje je deklarirao proizvođač motora. Čim pređe deklarirane granice, ova temperatura se prikazuje crvenom bojom. To je jasan znak operatoru za ispitivanje motora da nešto nije u redu i da treba brzo da preduzme odgovarajuće aktivnosti kako ne bi došlo do oštećenja motora.



Slika 4.2. Dijagram toka programa MONITORINGVIPER napisanog u VEE Pro 6.0.



Slika 4.3. Izgled ekrana prilikom merenja parametara motora

Temperatura vazduha na ulazu u motor $T1$ data je u zakonskoj jedinici stepen Celzusa i u Faranhajtima ($1\text{ F} = 1,8 \cdot T_c\text{ [}^\circ\text{C]} + 32$), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje digitalnog instrumenta na komandno upravljačkom pultu.

Potisak motora Ro dat je u zakonskoj jedinici kilogram i u librama ($1\text{ lb} = 0,45359\text{ kg}$), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje digitalnog instrumenta na komandno upravljačkom pultu.

Maseni protok goriva Qg dat je u zakonskoj jedinici kilogram na čas i u librama na čas ($1\text{ lb/h} = 0,45359\text{ kg/h}$), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje digitalnog instrumenta na komandno upravljačkom pultu.

Kod vibracija na motoru meri se brzina u zakonskoj jedinici milimetri u sekundi i u inčima (*eng. inch*) u sekundi ($1\text{ in/s} = 25,4\text{ mm/s}$), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje instrumenta na komandno upravljačkom pultu. Vibracije na motoru se mere pomoću analognog instrumenta. Istosmerni napon koji je proporcionalan pokazivanju instrumenta vodi se na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A. Ovaj instrument na komandno upravljačkom pultu ima sedam mernih opsega za merenje vibracija. Međutim, za merenje vibracija na VIPER motorima praktično se uglavnom koristi merni opseg od 1,5 in/s. Veći merni opseg od 5 in/s koristi se samo ako vibracije na motoru prelaze granice koje je propisao proizvođač motora, tj. kada motor nije ispravan. Zato je i napravljeno da u toku merenja vibracija akvizicionim sistemom, operator koji ispituje motor može izabrati sa kojim mernim opsegom se vrši merenje. Na akvizicionom sistemu je uvek inicijalno postavljeno da se vibracije mere sa mernim opsegom od 1,5 in/s.

Izmerene vrednosti u zakonskim jedinicama prikazane su na levom displeju, a na desnom displeju su prikazane izmerene vrednosti u jedinici u kojoj je pokazivanje instrumenta na komandno upravljačkom pultu. Postojanje dve merne jedinice za jedan merni signal opravdava se obavezom prikaza izmerenih vrednosti u zakonskim jedinicama SI sistema, sa jedne strane, i poređenje pokazivanja akvizicionog sistema i instrumenata na komandno upravljačkom pultu, sa druge strane. Čim se uoči razlika u pokazivanju akvizicionog sistema i instrumenta na komandno upravljačkom pultu potrebno je uraditi vanredno etaloniranje tog mernog signala.

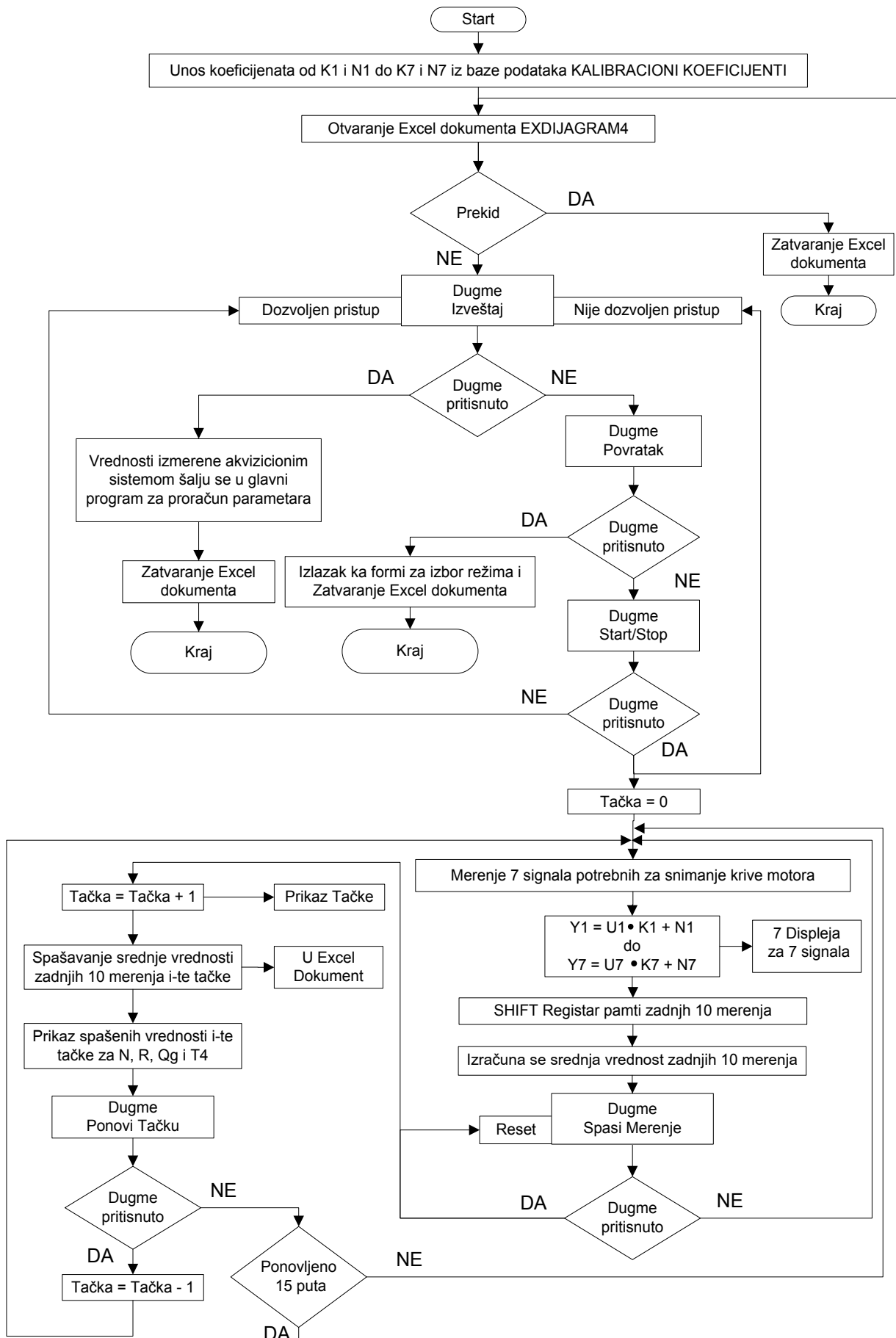
Merenje parametara motora pomoću akvizicionog sistema počinje klikom miša na dugme **Start/Stop** (videti sliku 4.3). Merenje se ponavlja svake sekunde sve dok se ne zaustavi ponovnim klikom miša na dugme **Start/Stop**. Kada je pritisnuto dugme **Start/Stop**, odnosno dok traje merenje akvizicionim sistemom, nije moguć pristup dugmetu **Korigovani Parametri**. Akvizicioni sistem meri prvo 13 naponskih signala koji su dovedeni na karticu HP44421A u slotu1 (*T1, NI, T4, Ro, Qg, Vibracije, Položaj mlaznika* (samo za motor VIPER 633-41), *dBo, Bo, Pgum, Puum, P2 i Psg*) i svaku vrednost izmerenog napona množi sa koeficijentom K i dodaje koeficijent N za odgovarajući signal i tu vrednost prikazuje na displeju za svaki signal. Pritiskom na dugme **Meri sve pritiske**, meri se 11 ciklusa 6 naponskih signala koji su dovedeni na karticu HP44421A u slotu2 (*Pgok, Pgdk, Puuhp, Puihp, PmvA i PmvB*) i prikaže se njihova srednja vrednost na displeju. Ovi pritisci se mere samo po potrebi jer ne ulaze u direktan proračun korigovanih parametara motora. Međutim ovi pritisci ulaze u ukupni izveštaj o ispitivanju motora pa se zato mere na jednom mestu zajedno sa ostalim signalima. Oni se mere odvojeno da bi se povećala brzina merenja i smanjila merna nesigurnost merenja signala koji ulaze u proračun korigovanih parametara motora.

Kada se zaustavi merenje akvizicionim sistemom (klikom miša na dugme **Start/Stop**) tek onda može da se pritisne dugme **Korigovani Parametri**. Kada se pritisne dugme **Korigovani Parametri**, za svaki signal koji se meri, uzimaju se srednje vrednosti zadnjih deset merenja izmerenih akvizicionim sistemom i šalju u glavni program gde se sa njima radi proračun korigovanih parametara motora za izabrani radni režim. Kada se završi proračun korigovanih parametara na ekranu se pojavljuje forma na kojoj se nalaze svi izmereni parametri i proračunati korigovani parametri motora za izabrani radni režim.

Ako se ne želi raditi proračun korigovanih parametara sa izmerenim vrednostima, onda je potrebno klikom miša pritisnuti dugme **Povratak**, nakon čega se prekida merenje, zatvara program MONITORINGVIPER i vraća se u glavni program gde se bira režim rada motora.

4.1.2. Opis programa za snimanje krive motora

Na slici 4.4. prikazan je dijagram toka uslužnog programa KRIVAMOTORA napisanog u programskom paketu VEE Pro 6.0., za merenje parametara motora VIPER. Izmerene vrednosti, koje su rezultat ovog programa, koriste se u glavnom programu za proračun korigovanih parametara za radni režim *snimanje krive motora* za motore VIPER 632-41, VIPER 632-46 i VIPER 633-41. Proizvođač ovih motora je preporučio da se kriva motora snima pri: 80%, 90%, 94%, 98%, 100%, 96%, 92%, 85%, 70%, 60%, 40%, 65% i 75% broja obrtaja motora. Nakon pokretanja programa unose se koeficijenti K i N (iz baze podataka KALIBRACIONI KOEFICIJENTI) za sedam mernih signala (*T1, NI, T4, Ro, Qg, dBo, Bo*) koji se dovode na karticu HP44710A. Zatim se otvara Excel dokument EXDIJAGRAM4, ali on u toku rada ovog programa nije vidljiv na ekranu. Ovaj Excel dokument sadrži tri stranice. Na prvoj stranici se nalazi šablon tabela za upis izmerenih, korigovanih i svedenih korigovanih parametara motora. Na drugoj stranici se nalazi napravljena šablon tabela u koju se upisuju podaci na osnovu kojih se crtaju četiri krive motora. Na trećoj strani napravljen je šablon dijagram za prikaz četiri krive motora u funkciji broja obrtaja motora. Ovaj Excel dokument napravljen kao šablon, može se koristiti i za ručni unos parametara motora potrebnih za crtanje četiri krive motora. Nakon otvaranja Excel dokumenta pojavi se prozor prikazan na slici 4.5. Na ovom prozoru se vidi da postoje displeji za prikaz srednjih vrednosti zadnjih deset merenja ovih sedam signala. Pored ovih sedam displeja postoji i displej za prikaz trenutne vrednosti broja obrtaja motora *Ntrenutno*. On je dodat da bi se poređenjem sa displejom koji stalno pokazuje trenutnu (zadnju) vrednost broja obrtaja motora, moglo utvrditi da li je broj obrtaja motora stabilan, odnosno da je rad motora stabilan. Ako nema velikog odstupanja u pokazivanju broja obrtaja motora na ova dva displeja, može se reći da motor stabilno radi i da se može pristupiti merenju ostalih parametara.



Slika 4.4. Dijagram toka programa KRIVAMOTORA napisanog u VEE Pro 6.0.

N srednje [%]	T1 [F]	T4 [C]	Ro [lb]	Bo [mbar]	N15 [%]	R15 [lb]
N trenutno [%]	T1 [C]		Qg [lb/h]	dBo [mbar]	T415 [C]	Qg15 [lb/h]
Za N= 80%, 90%, 94%, 98%, 100%, 96%, 92%, 85%, 70%, 60%, 40%, 65% i 75%						
N1 [%]	R1 [lb]	Qg1 [lb/h]	T41 [C]	N8 [%]	R8 [lb]	Qg8 [lb/h]
N2 [%]	R2 [lb]	Qg2 [lb/h]	T42 [C]	N9 [%]	R9 [lb]	Qg9 [lb/h]
N3 [%]	R3 [lb]	Qg3 [lb/h]	T43 [C]	N10 [%]	R10 [lb]	Qg10 [lb/h]
N4 [%]	R4 [lb]	Qg4 [lb/h]	T44 [C]	N11 [%]	R11 [lb]	Qg11 [lb/h]
N5 [%]	R5 [lb]	Qg5 [lb/h]	T45 [C]	N12 [%]	R12 [lb]	Qg12 [lb/h]
N6 [%]	R6 [lb]	Qg6 [lb/h]	T46 [C]	N13 [%]	R13 [lb]	Qg13 [lb/h]
N7 [%]	R7 [lb]	Qg7 [lb/h]	T47 [C]	N14 [%]	R14 [lb]	Qg14 [lb/h]
Start/Stop			Spasi Merenje		Merenje 0	
			Ponovi Tačku		Izveštaj	
					Povratak	

Slika 4.5. Izgled ekrana prilikom snimanja krive motora

Displej za prikaz srednje vrednosti uvek zadnjih deset merenja broja obrtaja motora napravljen je pomoću jednog *shift registra*. Shift registar je gotov programski blok koji postoji u programskom paketu VEE Pro 6.0. Ovaj registar je napravljen da u svakom trenutku pamti zadnjih deset (ili već koliko se programira) rezultata merenja koja dolaze na njegov ulaz. Na izlazu iz ovog registra računa se srednja vrednost od deset vrednosti koje se u tom trenutku nalaze u registru. Ovakav registar postoji i za ostalih šest signala koji se mere ovim uslužnim programom. Tako da se kao izlazni podaci iz ovog programa uzimaju srednje vrednosti zadnjih deset merenja za svaki signal koji se meri. Samo ako je broj obrtaja motora stabilan mere se svi parametri za snimanje krive motora i može se pritisnuti dugme **Spasi Merenje**.

Merenje parametara motora pomoću akvizicionog sistema počinje klikom miša na dugme **Start/Stop** (videti sliku 4.5). Merenje se ponavlja svake sekunde sve dok se ne zaustavi ponovnim klikom miša na dugme **Start/Stop**. Kada se motor dovede na željeni broj obrtaja i kada se broj obrtaja motora ustabili može se pritisnuti dugme **Spasi Merenje** nakon čega se:

- izmerene vrednosti sedam signal smeštaju se u Excel dokument EXDIJAGRAM4,
- na displeju **Merenje** se prikaže redni broj merenja koje je spašeno (maksimalno je moguće snimiti 15 tačaka za ovaj radni režim),
- na četiri displeja (N_i , R_i , Qg_i i $T4_i$) za i-to merenje prikazu se snimljene vrednosti.

Ako operator za ispitivanje motora nije zadovoljan spašenim i-tim merenjem, to merenje se može ponoviti pritiskom na dugme **Ponovi Tačku**. Pritiskom na dugme **Ponovi Tačku** broj merenja na displeju **Merenje** se ne povećava, već se samo za i-to merenje ponovo spasi zadnja vrednost sedam signala. Bilo koje i-to merenje se može ponavljati neograničen broj puta. Kada je pritisnuto dugme **Start/Stop**, odnosno dok traje merenje akvizicionim sistemom, nije moguć pristup dugmetu **Izveštaj**.

Kada se zaustavi merenje akvizicionim sistemom (klikom miša na dugme **Start/Stop**) tek onda može da se pritisne dugme **Izveštaj**. Kada se pritisne dugme **Izveštaj**, za svaki signal koji se meri, uzimaju se srednje vrednosti zadnjih deset merenja izmerenih akvizicionim sistemom i šalju u glavni program gde se sa njima radi proračun korigovanih parametara i svedenih korigovanih parametara motora. Kada se završi ovaj proračun, na ekranu se pojavljuje forma na kojoj se nalaze izračunati svedeni korigovani parametri motora.

Ako se ne želi raditi proračun korigovanih parametara motora sa izmerenim vrednostima, onda je potrebno klikom miša pritisnuti dugme **Povratak**, nakon čega se prekida merenje, zatvara Excel dokument EXDIJAGRAM4, zatvara uslužni program KRIVAMOTORA i vraća se u glavni program gde se bira režim rada motora.

4.1.3. Opis programa za snimanje krive vibracija

Na slici 4.6. prikazan je dijagram toka uslužnog programa KRIVAVIB napisanog u programskom paketu VEE Pro 6.0., za merenje parametara motora VIPER. Izmerene vrednosti, koje su rezultat ovog programa, koriste se u glavnom programu za pravljenje izveštaja za radni režim *snimanje krive vibracija motora* za motore VIPER 632-41, VIPER 632-46 i VIPER 633-41. Proizvođač ovih motora je preporučio da se kriva vibracija snima pri: 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 92%, 94%, 96%, 98% i 100% broja obrtaja motora. Nakon pokretanja programa unose se koeficijenti K i N (iz baze podataka KALIBRACIONI KOEFICIJENTI) za četiri merna signala (*Vibracije motora, N1, T4 i Puum*) koji se dovode na karticu HP44710A. Nakon toga pojavi se prozor prikazan na slici 4.7. Na ovom prozoru se vidi da postoje displeji za prikaz srednjih vrednosti zadnjih deset merenja ova četiri signala. Pored ova četiri displeja postoji i displej za prikaz trenutne vrednosti broja obrtaja motora. On je dodat da bi se poređenjem sa displejom koji stalno pokazuje trenutnu (zadnju) vrednost broja obrtaja motora, moglo utvrditi da li je broj obrtaja motora stabilan, odnosno da je rad motora stabilan. Ako nema velikog odstupanja u pokazivanju broja obrtaja motora na ova dva displeja, može se reći da motor stabilno radi i da se može pristupiti merenju ostalih parametara potrebnih za snimanje krive vibracija. Displej za prikaz srednje vrednosti zadnjih deset merenja broja obrtaja motora napravljen je pomoću jednog *shift registra*. Shift registar je gotov programski blok koji postoji u programskom paketu VEE Pro 6.0. Ovaj registar je napravljen tako da u svakom trenutku pamti zadnjih deset (ili već koliko se programira) rezultata merenja koja dolaze na njegov ulaz. Na izlazu iz ovog registra stalno se računa srednja vrednost od deset vrednosti koje se u tom trenutku nalaze u registru. Ovakav registar postoji i za ostala tri signala koji se mere ovim programom. Tako da se kao izlazni podaci iz ovog programa uzimaju srednje vrednosti zadnjih deset merenja za svaki signal koji se meri. Samo ako je broj obrtaja motora stabilan mere se svi parametri za snimanje krive vibracija i može se pritisnuti dugme **Spasi Merenje**.

Merenje parametara motora pomoću akvizicionog sistema počinje klikom miša na dugme **Start/Stop** (videti sliku 4.7.). Merenje se ponavlja svake sekunde sve dok se ne zaustavi ponovnim klikom miša na dugme **Start/Stop**. Kada se motor dovede na željeni broj obrtaja i kada se broj obrtaja motora ustabili može se pritisnuti dugme **Spasi Merenje** nakon čega se:

- na displeju **Merenje** prikaže redni broj merenja koje je spašeno (maksimalno je moguće snimiti 18 tačaka za ovaj režim),
- na dva displeja (N_i i Vib_i) za i-to merenje prikažu snimljene vrednosti.

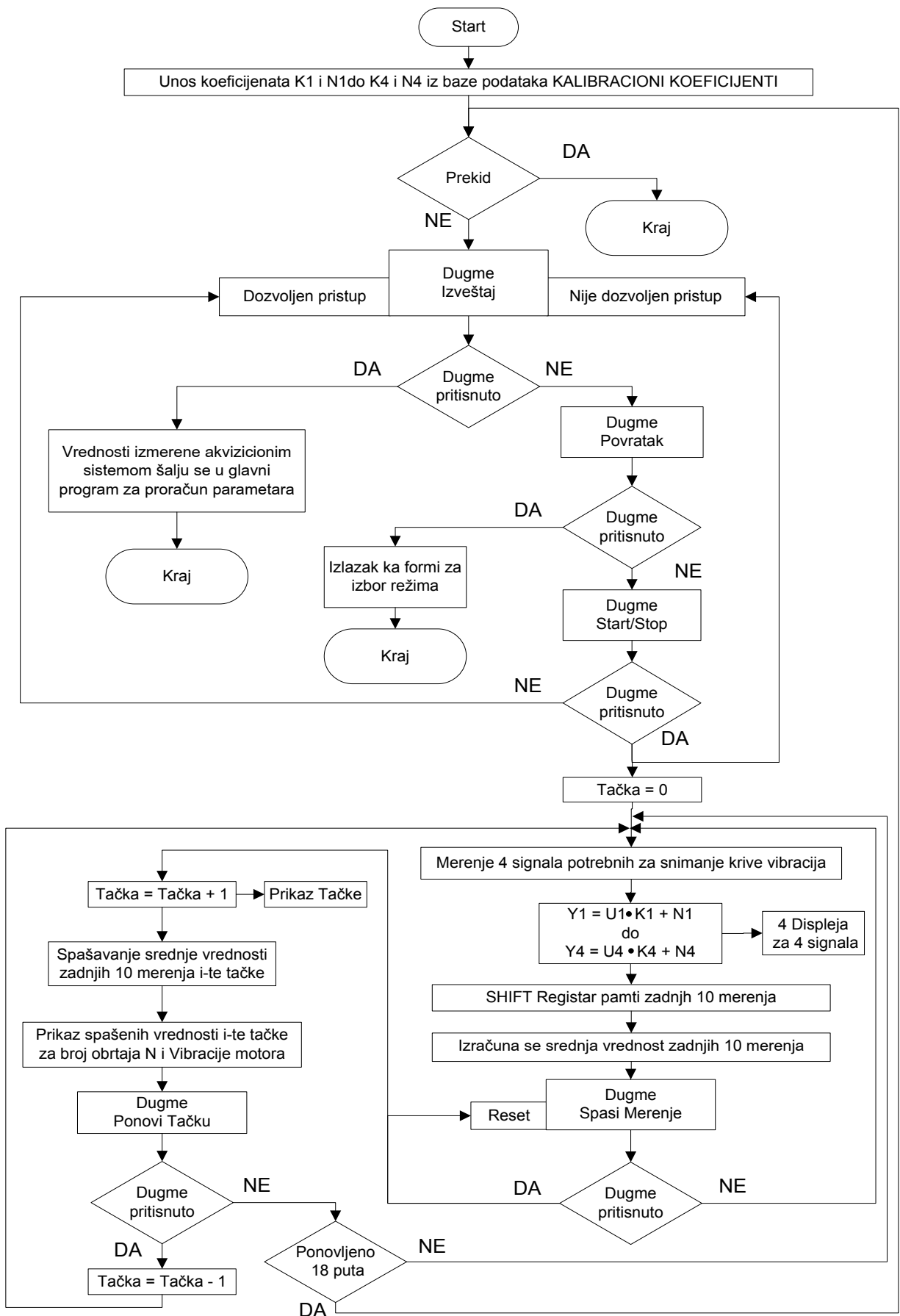
Ako nismo zadovoljni spašenim merenjem možemo ga ponoviti pritiskom na dugme **Ponovi Tačku**. Pritiskom na dugme **Ponovi Tačku** broj merenja na displeju **Merenje** se ne povećava, već se samo za i-to merenje ponovo spasi zadnja vrednost dva signala. Bilo koje i-to merenje se može ponavljati neograničen broj puta. Kada je pritisnuto dugme **Start/Stop**, odnosno dok traje merenje akvizicionim sistemom, nije moguć pristup dugmetu **Izveštaj**.

Kada se zaustavi merenje akvizicionim sistemom (klikom miša na dugme **Start/Stop**) tek onda može da se pritisne dugme **Izveštaj**. Kada se pritisne dugme **Izveštaj**, za svaki signal koji se meri, uzimaju se srednje vrednosti zadnjih deset merenja izmerenih akvizicionim sistemom i šalju u glavni program gde se koriste za pravljenje izveštaja za radni režim *snimanje krive vibracija motora*.

Ako se ne želi praviti izveštaj za radni režim *snimanje krive vibracija motora* sa izmerenim vrednostima, onda je potrebno klikom miša pritisnuti dugme **Povratak**, nakon čega se prekida merenje, zatvara uslužni program KRIVAVIB i vraća se u glavni program gde se bira režim rada motora.

4.1.4. Prva verzija programa za merenje parametara TMM MM-16 i MM-17

Na slici 4.8. prikazan je dijagram toka prve verzije uslužnog programa MONITORING 17, napisanog u programskom paketu VEE Pro 6.0., za merenje parametara TMM-a. Izmerene vrednosti, koje su rezultat ovog programa, koriste se u glavnom programu za proračun korigovanih parametara za sve stabilne radne režime motora tip MM-16 i MM-17. Nakon pokretanja programa unose se koeficijenti K i N (iz baze podataka KALIBRACIONI KOEFICIJENTI) za svih 20 mernih signala koji se dovode na karticu HP 44710A i koji se mere u stacionarnim režimima rada motora. Nakon toga pojavi se prozor prikazan na slici 4.9.



Slika 4.6. Dijagram toka programa KRIVAVIB napisanog u VEE Pro 6.0.

Vibracije [in/s]	◀ Opseg 1,5 in/s ◀ Opseg 5 in/s	N srednje [%]	N trenutno [%]	T4 [C]	Pu [bar]
Snimanje krive vibracija za N=					
40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 92%, 94%, 96%, 98% i 100%					
N1 [%]	Vib1 [in/s]	N7 [%]	Vib7 [in/s]	N13 [%]	Vib13 [in/s]
N2 [%]	Vib2 [in/s]	N8 [%]	Vib8 [in/s]	N14 [%]	Vib14 [in/s]
N3 [%]	Vib3 [in/s]	N9 [%]	Vib9 [in/s]	N15 [%]	Vib15 [in/s]
N4 [%]	Vib4 [in/s]	N10 [%]	Vib10 [in/s]	N16 [%]	Vib16 [in/s]
N5 [%]	Vib5 [in/s]	N11 [%]	Vib11 [in/s]	N17 [%]	Vib17 [in/s]
N6 [%]	Vib6 [in/s]	N12 [%]	Vib12 [in/s]	N18 [%]	Vib18 [in/s]
Start/Stop	Spasi Merenje	Merenje 0	Ponovi Tacku	Izvestaj	Povratak

Slika 4.7. Izgled ekrana prilikom snimanja krive vibracija motora

Na ovom prozoru se vidi da se broj obrtaja motora $N1$ i $N2$ prikazuju u vidu simulacije analognog instrumenta sa kazaljkom i u vidu digitalne vrednosti. Ovo je urađeno da bi ova dva parametra bili vizuelno što uočljiviji, jer su oni najbitniji za ocenu u kom radnom režimu se nalazi motor.

Temperatura izduvnih gasova $T4$ prikazuje se u vidu položenog bar-grafa i u vidu digitalne vrednosti. Ovo je urađeno da bi ovaj parametar bio, takođe, vizuelno što uočljiviji. Jer ako ova temperatura pređe određene granice koje je deklariseo proizvođač, može doći do trajnog oštećenja motora. Zato operator za ispitivanje motora treba lako da očitava ovu temperaturu i na vreme uoči eventualno prekoračenje temperature i preduzme sve potrebne mere kako bi se ova temperatura brzo smanjila. Smanjivanje ove temperature se radi postepenim smanjivanjem broja obrtaja motora, pošto bi naglo smanjivanje broja obrtaja motora ili naglo zaustavljanje motora moglo takođe da izazove trajno oštećenje motora. Bar-graf je programiran da se ova temperatura prikazuje zelenom bojom sve dok je u granicama koje je deklariseo proizvođač motora. Čim pređe deklariseane granice, ova temperatura se prikazuje crvenom bojom. To je jasan znak operatoru za ispitivanje motora da nešto nije u redu i da treba brzo da preduzme odgovarajuće aktivnosti kako nebi došlo do oštećenja motora.

Potisak motora R_o dat je u zakonskoj jedinici kg i u librama ($1 \text{ lb} = 0,45359 \text{ kg}$), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje digitalnog instrumenta na komandno upravljačkom pultu.

Pritisci B_o , dBo i H_s dati su zakonskoj jedinici mbar i u inčima žive ($1 \text{ inHg} = 33,8639 \text{ mbar}$), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje vodenih stubova na komandno upravljačkom pultu.

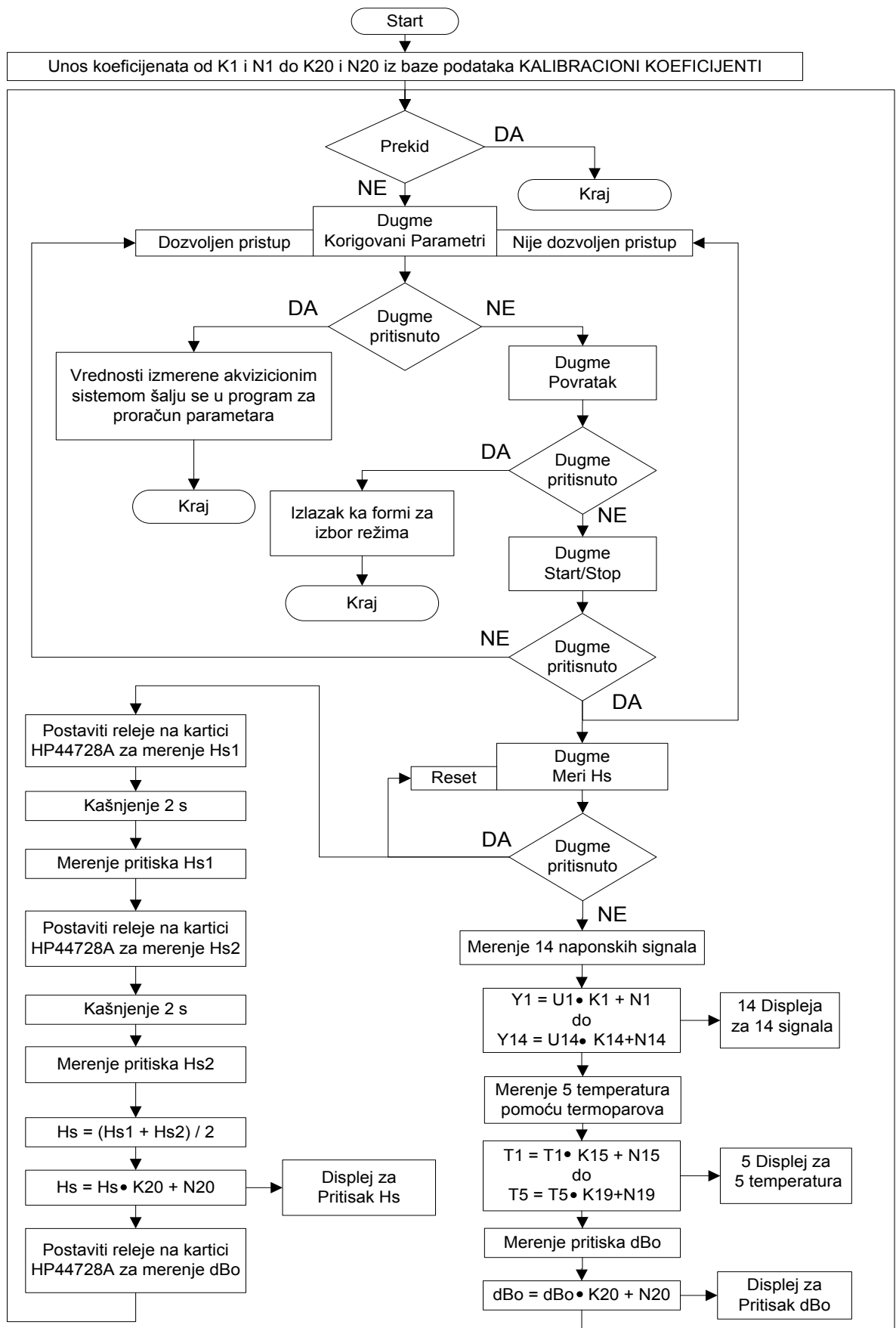
Pritisci $P2$, $P2bar$, $P2'$ i $P2''$ dati su zakonskoj jedinici bar i u inčima žive ($1 \text{ inHg} = 0,0338639 \text{ bar}$), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje manometara na komandno upravljačkom pultu.

Pritisci $P2'''$, $Pgdcn$ i $Pgdfk$ dati su zakonskoj jedinici bar i u PSI ($1 \text{ PSI} = 0,068947 \text{ bar}$), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje manometara na komandno upravljačkom pultu.

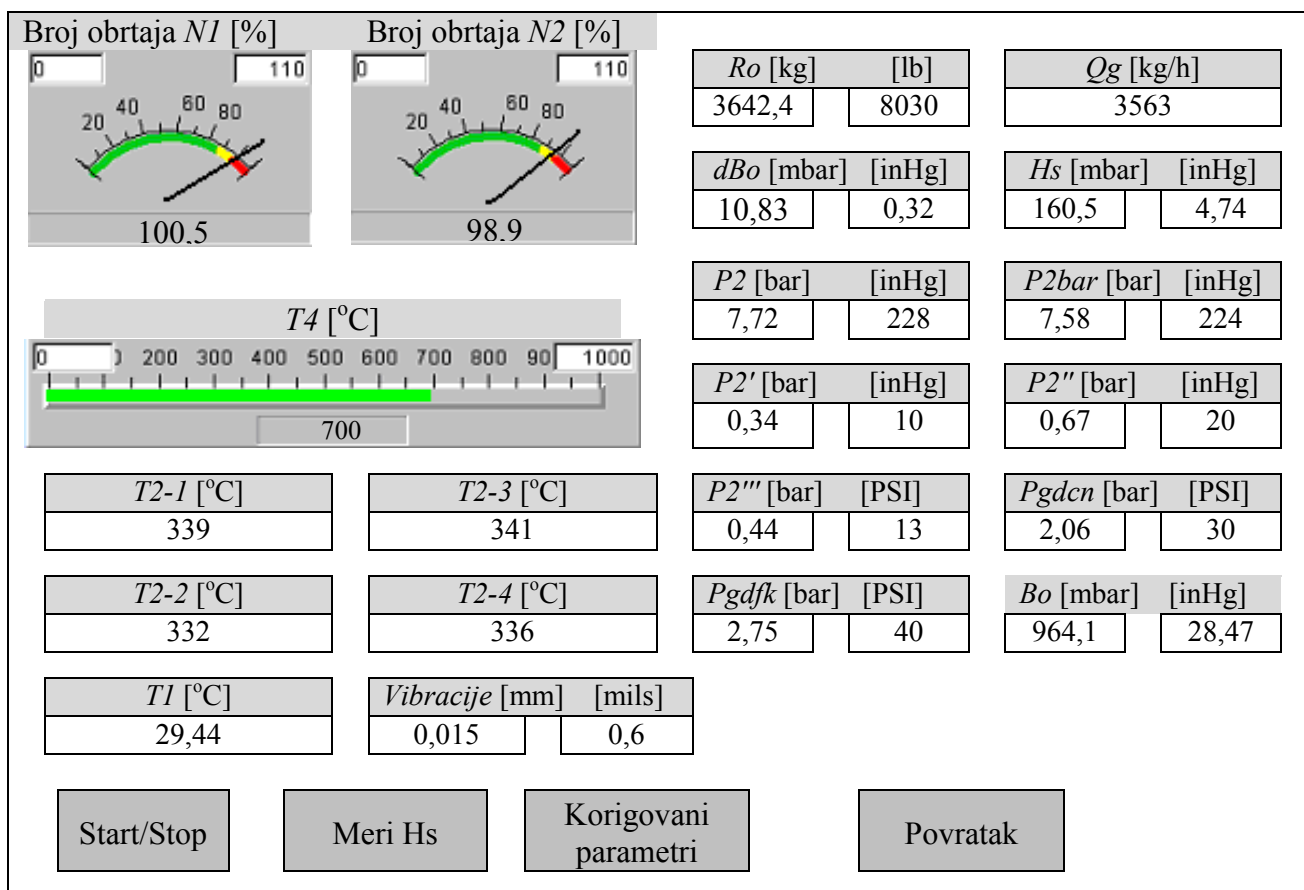
Kod vibracija na motoru meri se pomeraj u zakonskoj jedinici mm i u milsima ($1 \text{ mils} = 0,0254 \text{ mm}$), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje instrumenta na komandno upravljačkom pultu.

Izmerene vrednosti u zakonskim jedinicama prikazane su na levom displeju, a na desnom displeju su prikazane izmerene vrednosti u jedinici u kojoj je pokazivanje instrumenta na komandno upravljačkom pultu.

Postojanje dve merne jedinice za jedan merni signal opravdava se obavezom prikaza izmerenih vrednosti u zakonskim jedinicama SI sistema, sa jedne strane, i poređenje pokazivanja akvizicionog sistema i instrumenata na komandno upravljačkom pultu, sa druge strane. Čim se uoči razlika u pokazivanju akvizicionog sistema i instrumenta na komandno upravljačkom pultu potrebno je uraditi vanredno etaloniranje tog mernog signala.



Slika 4.8. Dijagram toka programa MONITORING 17 pre izmene



Slika 4.9. Izgled ekrana prilikom merenja parametara motora pre izmene

Merenje parametara motora pomoću akvizicionog sistema počinje klikom miša na dugme **Start/Stop** (videti sliku 4.9.). Merenje se ponavlja svake sekunde sve dok se ne zaustavi ponovnim klikom miša na dugme **Start/Stop**. Kada je pritisnuto dugme **Start/Stop**, odnosno dok traje merenje akvizicionim sistemom, nije moguć pristup dugmetu **Korigovani Parametri**. Akvizicioni sistem meri prvo 14 naponskih signala sa kartice HP 44710A ($T1$, $N1$, $N2$, Ro , Qg , Bo , $P2$, $P2bar$, $P2'$, $P2''$, $P2'''$, $Pgdcn$, $Pgdfr$ i $Vibracije$) i svaku vrednost izmerenog napona množi sa koeficijentom K i dodaje koeficijent N za odgovarajući signal i tu vrednost prikazuje na displeju za svaki signal. Zatim akvizicioni sistem meri 5 temperatura ($T2-1$, $T2-2$, $T2-3$, $T2-4$ i $T4$) i svaku vrednost izmerene temperature množi sa koeficijentom K i dodaje koeficijent N za odgovarajuću temperaturu i tu vrednost prikazuje na displeju za svaku temperaturu. Posle toga akvizicioni sistem meri napon sa elektronskog davača pritiska dBo množi ga sa koeficijentom K i dodaje koeficijent N i tu vrednost prikazuje na displeju za pritisak dBo .

Ako želimo da merimo pritisak Hs onda je potrebno da se pritisne dugme **Meri HS**. Kada se pritisne ovo dugme preko relejne kartice HP44728A uključuju se elektropneumatski ventili koji prvo propuštaju pritisak $Hs1$ do davača pritiska DP-10. Sačeka se dve sekunde da se ovaj pritisak stabilizuje u instalaciji, pa se onda akvizicionim sistemom vrši merenje naponskog signala sa davača pritiska DP-10. Zatim se preko relejne kartice HP44728A uključuju elektropneumatski ventili koji propuštaju pritisak $Hs2$ do davača pritiska DP-10. Sačeka se dve sekunde da se ovaj pritisak stabilizuje u instalaciji, pa se onda akvizicionim sistemom vrši merenje naponskog signala sa davača pritiska DP-10. Dok traje merenje pritiska $Hs1$ i $Hs2$ ostali signali se ne mere. Na displeju za pritisak Hs prikazuje se srednja vrednost od dva izmerena pritiska $Hs1$ i $Hs2$

$$Hs = \frac{(Hs1 + Hs2)}{2}.$$

Zatim se preko relejne kartice HP44728A uključuju elektropneumatski ventili koji propuštaju pritisak dBo do davača pritiska DP-10. Tada je merenje pritiska Hs završeno i ponovo počinje merenje ostalih 20 signala. Da bi ponovo izmerili pritisak Hs potrebno je ponovo pritisnuti dugme **Meri HS**.

Za motor MM-17 pritisak H_s je potrebno meriti za radne režime: M1, MS, F2 i F4.

Za motor MM-16 pritisak H_s je potrebno meriti za radne režime: M1 i MS.

Za ostale radne režime motora nije potrebno da se meri pritisak H_s .

Kada se zaustavi merenje (klikom miša na dugme **Start/Stop**) tek onda može da se pritisne dugme **Korigovani Parametri**. Kada se pritisne dugme **Korigovani Parametri** vrednosti izmerene akvizicionim sistemom šalju se u glavni program gde se sa njima radi proračun korigovanih parametara motora za izabrani radni režim. Kada se završi proračun korigovanih parametara na ekranu se pojavljuje forma na kojoj se nalaze svi izmereni parametri i proračunati korigovani parametri TMM-a za izabrani radni režim.

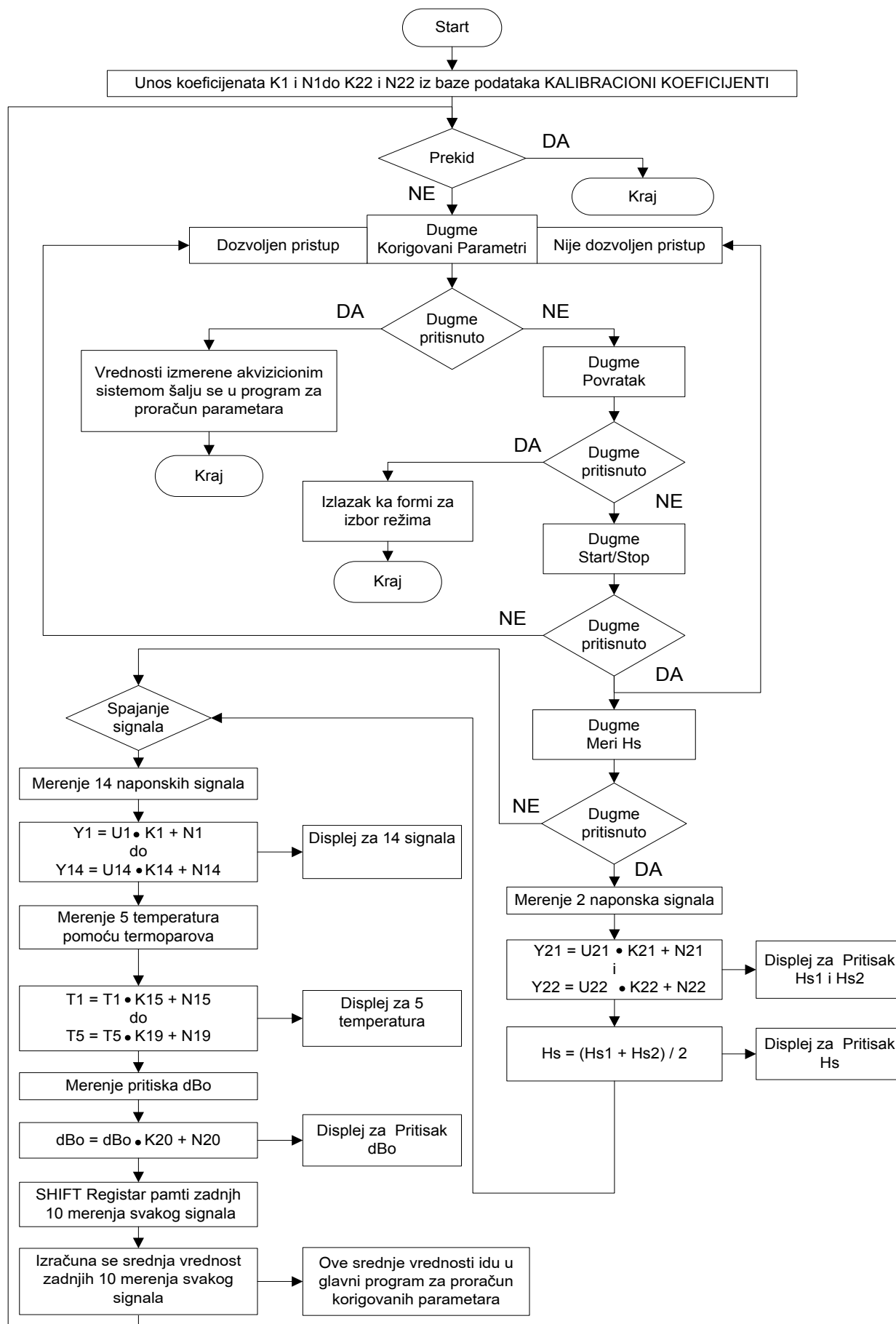
Ako se ne želi raditi proračun korigovanih parametara motora sa izmerenim vrednostima, onda je potrebno klikom miša pritisnuti dugme **Povratak**, nakon čega se prekida merenje, zatvara uslužni program MONITORING17 i vraćamo se u glavni program gde se bira režim rada motora.

4.1.5. Izmene programa za merenje parametara TMM-a MM-16 i MM-17

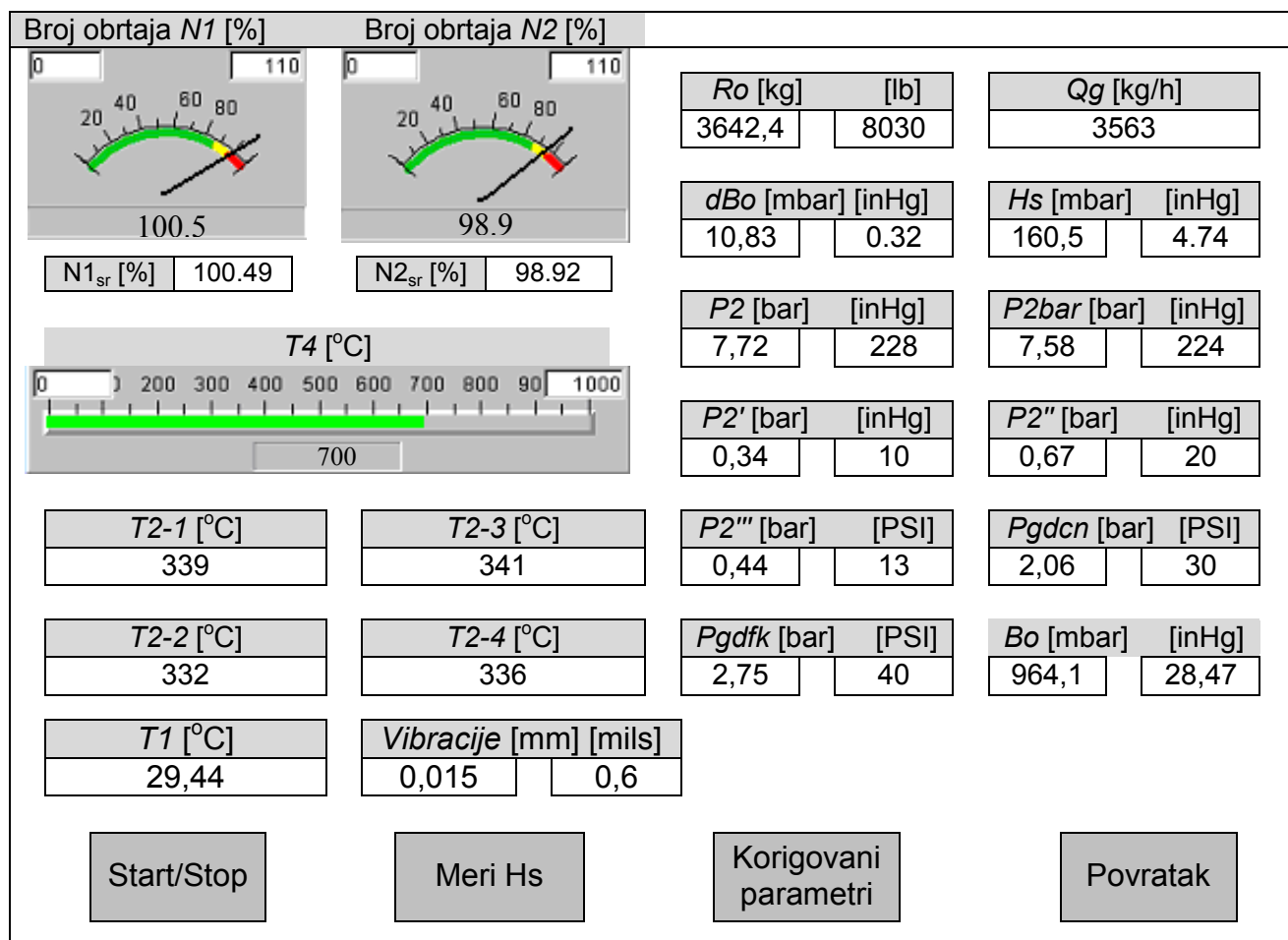
Na osnovu snimljenih rezultata merenja prvobitne izvedbe merno akvizicionog sistema na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a tip MM-16 i MM-17, uradio sam proračun merne nesigurnosti za jedan radni režim motora. Na osnovu praćenja rezultata merenja i proračuna merne nesigurnosti došao sam do određenih zaključaka kako da se smanji merna nesigurnost merno akvizicionog sistema prilikom merenja parametara TMM-a. Nova rešenja u merenju parametara TMM-a akvizicionim sistemom, prvo sam primenio na akvizicionom sistemu koji je razvijan za ispitivanje TMM-a tip VIPER. Posle niza praktičnih provera snimanja parametara TMM-a, pokazalo se da su nova rešenja dovela do smanjena merne nesigurnosti merenja u odnosu na prvobitnu izvedbu merno akvizicionog sistema. Ta nova rešenja sam zatim primenio i na akvizicionom sistemu za ispitivanje TMM-a tip MM-16 i MM-17.

U prvobitno napravljenj izvedbi akvizicionog sistema za snimanje parametara TMM-a tip MM-16 i MM-17, za merenje tri pritiska H_{s1} (pad pritiska vazduha u uvodniku vazduha), H_{s2} (pad pritiska vazduha u uvodniku vazduha) i dBo (razređenje vazduha u uvodniku vazduha) koristio se samo jedan elektronski davač pritiska. Pritisak je na ovaj davač dolazio preko mehaničkog selektora pritiska i elektropneumatskih ventila. Ovim elektropneumatskim ventilima se upravljalo preko relejne kartice u akviziciono kontrolnoj jedinici. Ovo je bilo ekonomično rešenje. Međutim ovakav način merenja ova tri pritiska usporio je merenje svih ostalih signala i povećao mernu nesigurnost merenja ova tri pritiska. Posebno veliku mernu nesigurnost imalo je merenje pritiska dBo . Vrednost ovog pritiska je u pojedinim radnim režimima motora oko dvadeset puta manja od vrednosti pritiska H_{s1} i H_{s2} . Tako da se prilikom merenja ova tri pritiska, između dva merenja, pojavljivala velika razlika pritiska na elektronskom davaču. Ovo je dovodilo do slabe ponovljivosti rezultata merenja pritiska dBo , u onim radnim režimima motora, gde je bilo potrebno da se mere pritisci H_{s1} i H_{s2} . Zato je odlučeno da se nabave dva nova elektronska davača za merenje pritiska. Jedan davač, sa mernim opsegom od 10 mbara, uzet je za merenje pritiska dBo . Izabrani davač za merenje pritiska dBo ima puno manji merni opseg od do tada korištenog davača. Klasa tačnosti za ove davače daje se prema punom mernom opsegu davača. Na taj način značajno je smanjena komponenta merne nesigurnosti tip B, koja potiče od klase tačnosti davača. Drugi davač, sa mernim opsegom od 400 milibara, uzet je za merenje pritiska H_{s2} . Davač koji je u prvobitnoj izvedbi korišten za merenje sva tri pritiska, sada je iskorišten samo za merenje pritiska H_{s1} . Mehanički selektor pritiska i elektropneumatski ventili se više ne koriste za merenje ova tri pritiska. Upotrebom ova dva elektronska davača pritiska povećana je brzina i pouzdanost merenja celokupnog merno akvizicionog sistema.

Na slici 4.10. prikazan je dijagram toka modernizovanog programa MONITORING17, napisanog u programskom paketu VEE Pro 6.0., za snimanje parametara TMM-a. Izmerene vrednosti, koje su rezultat ovog programa, koriste se u glavnom programu za proračun korigovanih parametara motora za sve stabilne radne režime motora tip MM-16 i MM-17. Nakon pokretanja programa unose se koeficijenti K i N (iz baze podataka KALIBRACIONI KOEFICIJENTI) za 22 merna signala koji se dovode na karticu HP44710A. Nakon toga pojavi se prozor prikazan na slici 4.11.



Slika 4.10. Dijagram toka programa MONITORING 17 posle izmene



Slika 4.11. Izgled ekrana prilikom merenja parametara motora MM-16 posle izmene

Na ovom prozoru se vidi da se broj obrtaja motora *N1* i *N2* prikazuju u vidu simulacije analognog instrumenta sa kazaljkom i u vidu digitalne vrednosti. Ovo je urađeno da bi ova dva parametra bili vizuelno što uočljiviji, jer su oni najbitniji za ocenu u kom radnom režimu se nalazi motor. Ispod ova dva displeja nalazi se displej *N1sr* i *N2sr* koji uvek prikazuje srednju vrednost zadnjih deset merenja broja obrtaja motora *N1* odnosno *N2*, koja su izvršena akvizicionim sistemom. Ova dva displeja sa srednjom vrednošću zadnjih deset merenja broja obrtaja motora *N1* i *N2*, dodati su da bi se poređenjem sa displejima koji stalno pokazuje trenutnu (zadnju) vrednost broja obrtaja motora, moglo utvrditi da li je broj obrtaja motora stabilan, odnosno da je rad motora stabilan. Ako nema velikog odstupanja u pokazivanju broja obrtaja motora na ova dva displeja, može se reći da motor stabilno radi i da se može pristupiti merenju ostalih parametara potrebnih za proračun korigovanih parametara motora. Displej za prikaz srednje vrednosti zadnjih deset merenja broja obrtaja motora napravljen je pomoću jednog *shift registra*. Shift registar je gotov programski blok koji postoji u programskom paketu VEE Pro 6.0. Ovaj registar je napravljen tako da u svakom trenutku pamti zadnjih deset (ili već koliko se programira) rezultata merenja koja dolaze na njegov ulaz. Na izlazu iz ovog registra stalno se računa srednja vrednost od deset vrednosti koje se u tom trenutku nalaze u registru. Ovakav registar postoji za svih dvadeset dva signala koji se mere ovim programom. Tako da se kao izlazni podaci iz ovog programa, odnosno ulazni podaci u program za proračun korigovanih parametara, uzimaju srednje vrednosti zadnjih deset merenja za svaki signal koji se meri.

Temperatura izduvnih gasova *T4* prikazuje se u vidu položenog bar-grafa i u vidu digitalne vrednosti. Ovo je urađeno da bi ovaj parametar bio, takođe, vizuelno što uočljiviji. Jer ako ova temperatura pređe određene granice koje je deklariseo proizvođač, može doći do trajnog oštećenja motora. Zato operator za ispitivanje motora treba lako da očitava ovu temperaturu i na vreme uoči eventualno prekoračenje temperature i preduzme sve potrebne mere kako bi se ova temperatura brzo smanjila. Smanjivanje ove

temperature se radi postepenim smanjivanjem broja obrtaja motora, pošto bi naglo smanjivanje broja obrtaja motora ili naglo zaustavljanje motora moglo takođe da izazove trajno oštećenje motora. Bar-graf je programiran da se ova temperatura prikazuje zelenom bojom sve dok je u granicama koje je deklarirao proizvođač motora. Čim pređe deklarirane granice, ova temperatura se prikazuje crvenom bojom. To je jasan znak operatoru za ispitivanje motora da nešto nije u redu i da treba brzo da preduzme odgovarajuće aktivnosti kako nebi došlo do oštećenja motora.

Potisak motora R_o dat je u zakonskoj jedinici kg i u librama (1 lb = 0,45359 kg), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje digitalnog instrumenta na komandno upravljačkom pultu.

Pritisaci Bo , dBo i Hs dati su zakonskoj jedinici mbar i u inčima žive (1 inHg = 33,8639 mbar), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje vodenih stubova na komandno upravljačkom pultu.

Pritisaci P_2 , P_{2bar} , P_2' i P_2'' dati su zakonskoj jedinici bar i u inčima žive (1 inHg = 0,0338639 bar), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje manometara na komandno upravljačkom pultu.

Pritisaci P_2''' , P_{gdcn} i P_{gdfk} dati su zakonskoj jedinici bar i u PSI (1 PSI = 0,068947 bar), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje manometara na komandno upravljačkom pultu.

Kod vibracija na motoru meri se pomeraj u zakonskoj jedinici mm i u milsima (1 mils = 0,0254 mm), t.j. u jedinici u kojoj je pokazivanje instrumenta na komandno upravljačkom pultu.

Izmerene vrednosti u zakonskim jedinicama prikazane su na levom displeju, a na desnom displeju su prikazane izmerene vrednosti u jedinici u kojoj je pokazivanje instrumenta na komandno upravljačkom pultu. Postojanje dve merne jedinice za jedan merni signal opravdava se obavezom prikaza izmerenih vrednosti u zakonskim jedinicama SI sistema, sa jedne strane, i poređenje pokazivanja akvizicionog sistema i instrumenata na komandno upravljačkom pultu, sa druge strane. Čim se uoči razlika u pokazivanju akvizicionog sistema i instrumenta na komandno upravljačkom pultu potrebno je uraditi vanredno etaloniranje tog mernog signala.

Merenje parametara motora pomoću akvizicionog sistema počinje klikom miša na dugme **Start/Stop** (videti sliku 4.11.). Merenje se ponavlja svake sekunde sve dok se ne zaustavi ponovnim klikom miša na dugme **Start/Stop**. Kada je pritisnuto dugme **Start/Stop**, odnosno dok traje merenje, nije moguć pristup dugmetu **Korigovani Parametri**. Akvizicioni sistem meri prvo četrnaest naponskih signala sa kartice HP44710A (T_1 , N_1 , N_2 , R_o , Q_g , Bo , P_2 , P_{2bar} , P_2' , P_2'' , P_2''' , P_{gdcn} , P_{gdfk} i $Vibracije$) i svaku vrednost izmerenog napona množi sa koeficijentom K i dodaje koeficijent N za odgovarajući signal i tu vrednost prikazuje na displeju za svaki signal. Zatim akvizicioni sistem meri pet temperatura (T_{2-1} , T_{2-2} , T_{2-3} , T_{2-4} i T_4) i svaku vrednost izmerene temperature množi sa koeficijentom K i dodaje koeficijent N za odgovarajuću temperaturu i tu vrednost prikazuje na displeju za svaku temperaturu. Posle toga akvizicioni sistem meri napon sa elektronskog davača pritiska dBo množi ga sa koeficijentom K i dodaje koeficijent N i tu vrednost prikazuje na displeju za pritisak dBo .

Ako želimo da merimo pritisak Hs onda je potrebno da se pritisne dugme **Meri HS**. Kada se pritisne ovo dugme akvizicioni sistem, u svakom narednom mernom ciklusu, posle već navedenih dvadeset signala meri napon sa elektronskog davača pritiska $Hs1$ i sa elektronskog davača pritiska $Hs2$. Svaka vrednost izmerenog napona množi se sa koeficijentom K i dodaje koeficijent N za odgovarajući signal. Na displeju za pritisak Hs prikazuje se srednja vrednost od dva izmerena pritiska $Hs1$ i $Hs2$

$$Hs = \frac{(Hs1 + Hs2)}{2}.$$

Za motor MM-17 pritisak Hs je potrebno meriti za radne režime: M1, MS, F2 i F4.

Za motor MM-16 pritisak Hs je potrebno meriti za radne režime: M1 i MS.

Za ostale radne režime motora nije potrebno da se meri pritisak Hs .

U prvobitnoj izvedbi merno akvizicionog sistema pritisci dBo , $Hs1$ i $Hs2$ merili su se pomoću samo jednog elektronskog davača. Ovo je znatno usporavalo merenje ostalih signala potrebnih za proračun korigovanih parametara motora.

Kada se zaustavi merenje (klikom miša na dugme **Start/Stop**) tek onda može da se pritisne dugme **Korigovani Parametri**. Kada se pritisne dugme **Korigovani Parametri**, za svaki signal koji se meri, uzimaju se srednje vrednosti zadnjih deset merenja izmerenih akvizicionim sistemom i šalju u glavni program gde se sa njima radi proračun korigovanih parametara motora za izabrani radni režim. Kada se završi proračun korigovanih parametara na ekranu se pojavljuje forma na kojoj se nalaze svi izmereni parametri i proračunati korigovani parametri motora za izabrani radni režim.

Ako se ne želi raditi proračun korigovanih parametara motora sa trenutno izmerenim vrednostima, onda je potrebno klikom miša pritisnuti dugme **Povratak**, nakon čega se prekida merenje akvizicionim sistemom, zatvara uslužni program MONITORING17 i vraćamo se u glavni program gde se bira režim rada motora.

4.2. GLAVNI PROGRAM

Glavni program je drugi deo korisničkog programa koji opisuje operativni proces sistema i algoritam mernog ciklusa. Glavni program određuje trenutak startovanja i zaustavljanja mernog procesa, redosled mernih ciklusa, broj merenja u jednom ciklusu i određište mernih podataka. U njemu se obavljaju matematičke operacije nad izmerenim parametrima, kako bi se dobili korigovani parametri i automatski napravio izveštaj o ispitivanju motora. Iz glavnog programa se pozivaju uslužni programi napisani u VEE Pro 6.0., komunicira se sa bazama podataka koje su napravljene u MICROSOFT ACCESS-u i komunicira sa MICROSOFT EXCEL dokumentima koji služe za prikaz krivih motora. Glavni program napisan je u programskom jeziku Visual Basic 6.0. Prvi korak u pisanju glavnog programa je crtanje dijagrama toka. Na slici 4.12. prikazan je dijagram toka glavnog programa AKVIZICIJA napisanog u Visual Basicu 6.0., koji se koristi prilikom ispitivanja TMM-a VIPER na stacionarnoj ispitnoj stanici. Na slici 4.18. prikazan je deo dijagrama toka glavnog programa AKVIZICIJA koji opisuje programsko etaloniranje akvizicionog sistema.

Glavni program se pokreće dvostrukim klikom miša na ikonicu sa nazivom **Akvizicija** koja se nalazi na desktopu monitora. Kada se pokrene glavni program pojavljuje se prozor na kome se bira:

- *novo ispitivanje*,
- *etaloniranje akvizicionog sistema*,
- *provera komunikacije između PC računara i akvizicionog sistema* ili
- *zatvaranje glavnog programa*.

4.2.1. Deo glavnog programa koji opisuje merenje parametara motora

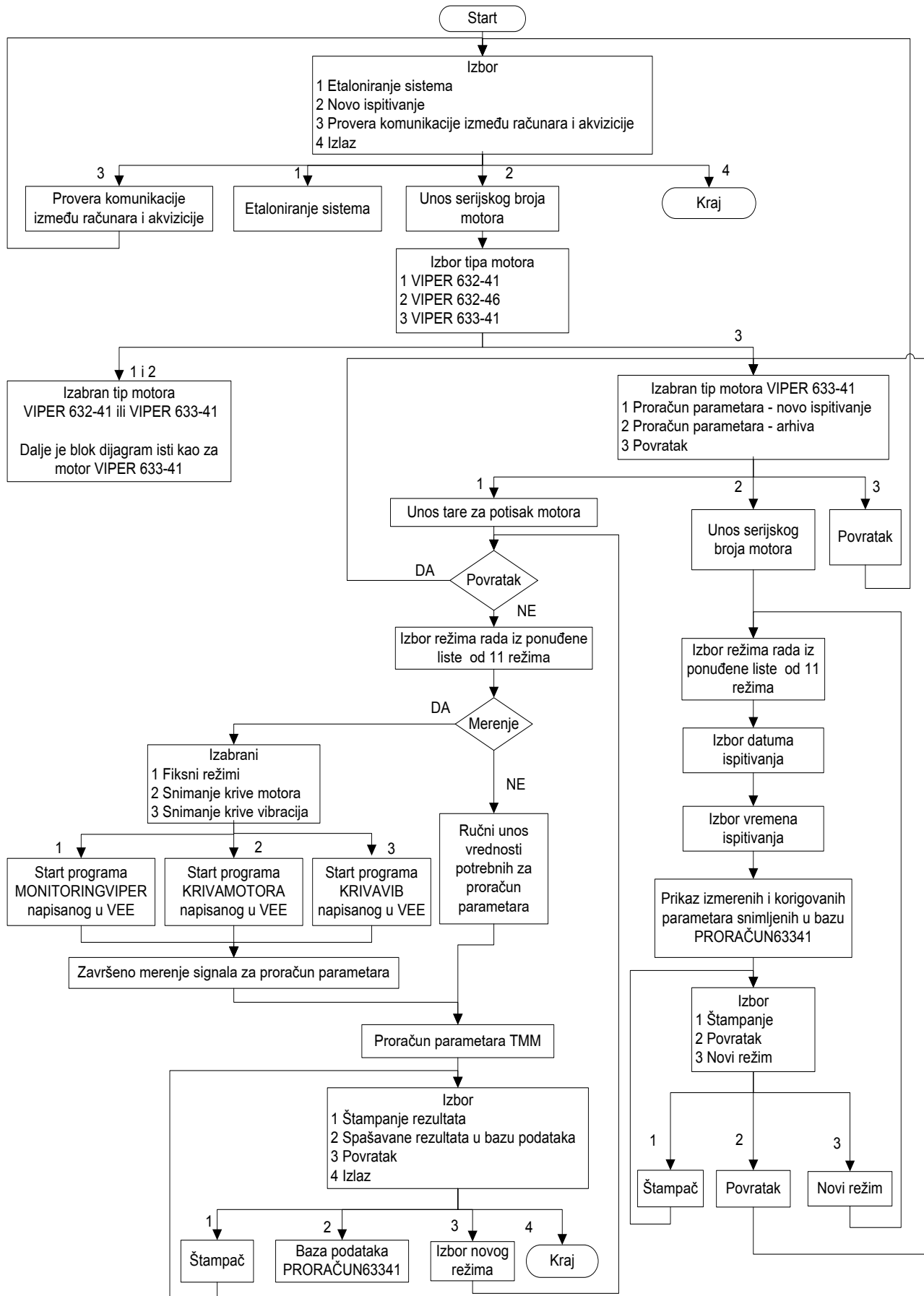
Ako se u glavnom programu izabere opcija *novo ispitivanje* na ekranu se pojavljuje prozor na kome ispitivač treba prvo da izabere tip motora koji se trenutno ispituje:

- VIPER 632-41,
- VIPER 632-46 ili
- VIPER 633-41.

Na osnovu izabranog tipa motora koji se ispituje program se dalje grana na tri slična ali nezavisna dela za tri tipa motora. Odmah zatim se otvara prozor za unos serijskog broja motora i nekih parametara (tri parametra za motore VIPER 632-41 i VIPER 632-46, a jedan parametar za motor VIPER 633-41) iz liste ispitivanja agregata motora (koje je obavljeno pre postavljanja agregata na motor). Ovi parametri se koriste pri proračunu korigovanih parametara motora za neke radne režime. Kada se unese serijski broj motora i svi parametri potrebni za proračun korigovanih parametara motora pojavljuje se prozor na kome treba da se izabere:

- *proračun parametara-novo ispitivanje*,
- *proračun parametara arhiva* ili
- *povratak* (na predhodni prozor).

Ako se izabere opcija *proračun parametara novo ispitivanje* otvori se prozor za unos tare. Tara predstavlja vrednost odstupanja pokazivanje instrumenta za merenje potiska u odnosu na nulu, t.j. kada merna ćelija za silu na postolju motora nije opterećena. Tara se može ukucati ručno preko tastature ili izmeriti automatski preko akvizicionog sistema, ali samo pre nego što se optereti merna ćelija za silu na postolju motora.



Slika 4.18. Dijagram toka glavnog programa AKVIZICIJA napisanog u Visual Basicu

Zatim se pojavljuje prozor na kome iz ponuđene liste izabere režim rada na kome se želi ispitivati motor. Za motor VIPER 632-41 i VIPER 632-46 može se izabrati sedam različitih radnih režima. A za motor VIPER 633-41 može se izabrati jedanaest različitih radnih režima. Na osnovu izabranog tipa motora otvara se odgovarajuća Access baza podataka (tri baze za tri tipa motora), a na osnovu izabranog radnog režima otvara se odgovarajuća tabela u bazi podataka. Svaki radni režim ima svoju tabelu u bazi podataka za smeštaj izmerenih i korigovanih parametara motora. Na ovom prozoru se bira i način unosa parametara motora koji su potrebni za proračun korigovanih parametara motora. Način unosa parametara motora može biti:

- *ručni* (preko tastature) ili
- *automatski* (pomoću akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A).

Ako se izabere *ručni unos parametara* motora onda se pojavljuje prozor na kome se ručno preko tastature mogu uneti vrednosti za 19 signala, koji mogu ulaziti u proračun korigovanih parametara motora i nalaze se na izveštaju o ispitivanju motora. Pri ručnom unosu može se izabrati da se parametri motora unose u SI jedinicama ili u jedinicama u kojima je njihovo pokazivanje na komandno upravljačkom pultu. Kada se ručno unesu svi parametri klikom miša na dugme **Korigovani parametri** radi se proračun korigovanih parametara TMM-a za izabrani radni režim (isto kao i pri automatskom unosu parametara motora). Ova opcija za ručni unos parametara motora je napravljena kako bi se ispitivaču na stacionarnoj ispitnoj stanici dala mogućnost da na brz i jednostavan način dođe do podatka koliko je potrebno promeniti neki parametar motora, da bi korigovani parametri motora bili u granicama koje je propisao proizvođač TMM-a. Ova opcija se može koristiti i u slučaju kad iz bilo kog razloga, u toku ispitivanja motora na stacionarnoj ispitnoj stanici, dođe do greške pri merenju akvizicionim sistemom (pojavi se razlika u pokazivanju između akvizicionog sistema i instrumenata na komandno upravljačkom pultu) na jednom ili više signala. Tada se na režimu na kome se motor ispituje akvizicionim sistemom izmere, spase u bazu podataka i odštampaju svi signali. Ručno se zapišu vrednosti onih signala na kojima se pojavila greška pri merenju akvizicionim sistemom. Zatim se izabere opcija za ručni unos parametara motora. Ručno se unesu vrednosti i za one signale koji su izmereni akvizicionim sistemom i za one signale koji su ručno izmereni pomoću instrumenata na komandno upravljačkom pultu.

Ako se izabere *automatski unos parametara* motora sa akvizicionog sistema onda se pojavljuje prozor sa porukom da se uključi akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A, ako već nije uključena. Ako se zatim izabere neki od stacionarnih radnih režima: **100%, 100%DS, 99%DS, 98%, 98%DS, 95%, Mali Gas ili Režim proveru LPC** poziva se uslužni program MONITORINGVIPER, napisan u VEE Pro 6.0., za merenje 19 parametara motora. Zatim se pojavljuje prozor prikazan na slici 4.3. Ovaj uslužni program je već opisan u poglavlju 4.1. Kada se završi merenje parametara motora pomoću uslužnog programa MONITORINGVIPER, izmerene vrednosti se šalju u glavni program gde se radi proračun korigovanih parametara motora. Nakon završenog proračuna korigovanih parametara motora pojavljuje se prozor na kome se prikazuju izmereni i korigovani parametri za izabrani režim rada motora, kao što je prikazano na slici 4.13. Sve vrednosti izmerenih i korigovanih parametara motora koji izlaze iz dozvoljenih granica, koje je propisao proizvođač motora, biće obojene crvenom bojom. Ovo u mnogome olakšava rad ispitivaču motora jer odmah lako uočava sve parametre koji su izvan granica koje je propisao proizvođač. On odmah može da donese odluku da li da prekida ispitivanje motora ili da pokuša da uradi manja podešavanja na motoru dok motor radi. Ako su vršena podešavanja na motoru, ispitivač ponavlja merenje i računanje korigovanih parametara nekoliko puta da bi se uverio da su svi izmereni i korigovani parametri motora u dozvoljenim granicama ili treba uraditi dodatna podešavanja na motoru. Na ovom prozoru koji prikazuje izmerene i korigovane parametre motora može se izabrati:

- *Print*, izmereni i korigovani parametri štampaju se na štampaču,
- *Spasi*, izmereni i korigovani parametri memorišu se u bazu podataka,
- *Novi režim*, povratak na ekran gde se bira novi režim ili
- *Glavni meni*, povratak na početak programa.

Ako se izabere opcija *spašavanje* izmerenih i korigovanih parametara u bazu podataka, onda se izmereni i korigovani parametri spašavaju u bazu podataka, u tabelu sa nazivom izabranog režima. Baza podataka PRORAČUN63241 i PRORAČUN63246 ima 7 tabela, a baza podataka PRORAČUN63341 ima 11 tabela. Svaka tabela ima onoliko kolona koliko taj režim ima podataka koji treba da se spase (8 tekstualnih podataka plus svi izmereni i korigovani parametri motora za posmatrani režim). Za datum i vreme kada je obavljeno ispitivanje motora uzima se sistemski datum i vreme sa računara, čime se otklanja mogućnost greške subjektivnog faktora prilikom unosa datuma i vremena ispitivanja.

Ako se izabere radni režim **Snimanje krive vibracija** poziva se uslužni program KRIVAVIB, napisan u VEE Pro 6.0., za merenje 4 parametara motora. Zatim se pojavljuje prozor prikazan na slici 4.7. Ovaj uslužni program je već opisan u poglavlju 4.1. Kada se završi merenje parametara motora pomoću uslužnog programa KRIVAVIB, izmerene vrednosti se šalju u glavni program gde se pravi izveštaj za snimljeni režim. Izgled jednog izveštaja za režim snimanja krive vibracija prikazan je na slici 4.14. Na ovom prozoru koji prikazuje izmerene parametre snimanja krive vibracija motora može se izabrati:

- *Print*, izmereni parametri štampaju se na štampaču,
- *Spasi*, izmereni parametri memorišu se u bazu podataka,
- *Novi režim*, povratak na ekran gde se bira novi režim ili
- *Glavni meni*, povratak na početak programa.

VZ ORAO ISPITNA STANICA	Izmereni parametri		Korigovani parametri	
	<i>Vibracije</i> [in/s]	0,38	<i>Vibracije</i> [mm/s]	9,652
Tip motora: Viper 632-41	<i>Tl</i> [F]	70,5	<i>Tlk</i> [°C]	21,39
Serijski broj motora: 63241429Y	<i>T4</i> [°C]	721	<i>T4k</i> [°C]	695,95
Režim rada: 100%	<i>Nl</i> [%]	99,9	<i>Nlk</i> [%]	98,81
Ispitivač: Srđan	<i>Ro</i> [lb]	3760,1	<i>Rk</i> [lb]	3747,61
Datum: 5.10.2005	<i>Qg</i> [lb/h]	3758,2	<i>Qgk</i> [lb/h]	3649,08
Vreme: 12:22:11	<i>Bo</i> [mbar]	1011,9	<i>Crk</i> [lb/(lbs·h)]	0,974
Unos parametara: Automatski	<i>dBo</i> [mbar]	0,35		
Broj trimera VU102262: 2	<i>Pgum</i> [bar]	2,44	<i>Rk</i> [kg]	1699,87
Broj trimera VU103115: 0	<i>Puum</i> [bar]	2,05	<i>Qgk</i> [kg/h]	1655,19
<i>dek</i> : 343,271 mm	<i>P2</i> [bar]	7,212	<i>Crk</i> [kg/(kgs·h)]	0,974
Komentar: Drugo zapuštanje	<i>Psg</i> [bar]	2,373		
	<i>Pgok</i> [bar]			
	<i>Pgdk</i> [bar]			
	<i>Puuhp</i> [bar]	2,621		
	<i>Puihp</i> [bar]	215,36		
	<i>PmvA</i> [bar]	0,665		
	<i>PmvB</i> [bar]	0,819		

Slika 4.13. Izgled ekrana sa izmerenim i korigovanim parametrima motora za režim 100%

VZ ORAO	Izmereni obrtaji		Izmerene vibracije		Izmerene vibracije	
ISPITNA STANICA	[%]		[in/s]		[mm/s]	
	<i>N1</i>	40,25	<i>Vib1</i>	0,18	<i>Vib1</i>	4,572
Tip motora: Viper 632-41	<i>N2</i>	45,17	<i>Vib2</i>	0,16	<i>Vib2</i>	4,064
Serijski broj motora: 63241429Y	<i>N3</i>	50,35	<i>Vib3</i>	0,32	<i>Vib3</i>	8,128
Režim rada: Snimanje krive vibracija	<i>N4</i>	55,27	<i>Vib4</i>	0,31	<i>Vib4</i>	7,874
Ispitivač: Srđan	<i>N5</i>	59,89	<i>Vib5</i>	0,34	<i>Vib5</i>	8,636
Datum: 5.10.2005	<i>N6</i>	64,95	<i>Vib6</i>	0,28	<i>Vib6</i>	7,112
Vreme: 13:33:15	<i>N7</i>	70,16	<i>Vib7</i>	0,26	<i>Vib7</i>	6,604
Unos parametara: Automatski	<i>N8</i>	75,05	<i>Vib8</i>	0,26	<i>Vib8</i>	6,604
Vibmax = 0,38 [in/s]	<i>N9</i>	80,18	<i>Vib9</i>	0,37	<i>Vib9</i>	9,398
pri N = 100 [%]	<i>N10</i>	85,28	<i>Vib10</i>	0,28	<i>Vib10</i>	7,112
	<i>N11</i>	90,25	<i>Vib11</i>	0,28	<i>Vib11</i>	7,112
Komentar: Kriva 1	<i>N12</i>	92,13	<i>Vib12</i>	0,34	<i>Vib12</i>	8,636
	<i>N13</i>	94,45	<i>Vib13</i>	0,33	<i>Vib13</i>	8,382
	<i>N14</i>	96,15	<i>Vib14</i>	0,35	<i>Vib14</i>	8,89
Spasi	<i>N15</i>	98,75	<i>Vib15</i>	0,36	<i>Vib15</i>	9,144
Novi režim	<i>N16</i>	99,88	<i>Vib16</i>	0,38	<i>Vib16</i>	9,652
Glavni meni	<i>N17</i>		<i>Vib17</i>		<i>Vib17</i>	
Print	<i>N18</i>		<i>Vib18</i>		<i>Vib18</i>	

Slika 4.14. Izgled ekrana sa izmerenim parametrima motora za režim snimanje krive vibracija

Ako se izabere radni režim **Snimanje krive Motora** poziva se uslužni program KRIVAMOTORA, napisan u VEE Pro 6.0., za merenje sedam parametara motora pomoću akvizicionog sistema. Način rada ovog uslužnog programa je već opisan u poglavlju 4.1. Kada se pokrene ovaj uslužni program pojavljuje se prozor prikazan na slici 4.5. Kada se završi merenje parametara motora pomoću programa KRIVAMOTORA, izmerene vrednosti se privremeno spašavaju u templejt Excel dokumenat. Zatim se izmerene vrednosti šalju u glavni program gde se vrši proračun korigovanih parametara i pravi izveštaj za snimljeni radni režim. Izgled jednog izveštaja za režim snimanja krive motora prikazan je na slici 4.15. Na ovom izveštaju o ispitivanju vide se tri kolone korigovanih parametara motora (potisak *R*, protok goriva *Qg*, temperatura izduvnih gasova *T4* i specifična potrošnja motora *Crk*). Ova tri korigovana parametra motora zovu se svedeni korigovani parametri jer su izračunati na osnovu 95% (prva kolona),

98% (druga kolona) i 100% (treća kolona) korigovanih obrtaja motora Nk . Na ovom prozoru koji prikazuje izmerene parametre snimanja krive motora može se izabrati:

- *Print*, izmereni parametri štampaju se na štampaču,
- *Spasi*, izmereni parametri memorišu se u bazu podataka,
- *Novi režim*, povratak na ekran gde se bira novi režim ili
- *Vidi Excel*, za crtanje krive motora.

Ako se izabere opcija *Vidi Excel* otvara se Excel dokument sa svim snimljenim vrednostima koje služe za crtanje krive motora. U ovom Excel dokumentu na stranici **Dijagrami** mogu da se vide četiri krive motora koje su nacrtane na osnovu korigovanih parametara motora. Na slici 4.16. prikazan je izgled ovog dijagrama sa četiri krive motora. Korigovani potisak motora Rk u funkciji korigovanog broja obrtaja motora Nk , predstavljen je na ovom dijagramu plavom bojom. Korigovani protok goriva Qk u funkciji korigovanog broja obrtaja motora Nk , predstavljen je na ovom dijagramu crvenom bojom. Korigovana temperatura izduvnih gasova $T4k$ u funkciji korigovanog broja obrtaja motora Nk , predstavljena je na ovom dijagramu žutom bojom. Korigovana specifična potrošnja goriva Crk u funkciji korigovanog broja obrtaja motora Nk , predstavljena je na ovom dijagramu zelenom bojom.

Ako se u glavnom programu izabere opcija *proračun parametara arhiva* otvora se prozor za unos serijskog broja motora po kome želimo da pretražujemo arhivu snimljenih ispitivanja motora u bazi podataka. U polju za unos serijskog broja motora stoji serijski broj motora koji je zadnji unešen. Arhiva snimljenih parametara motora može da se pretražuje po ovom serijskom broju ili po drugom serijskom broju koga unesemo. Ako se prihvata uneseni serijski broj treba pritisnuti dugme **DA**, nakon čega se pojavljuje prozor prikazan na slici 4.17.

Ako se ne želi gledati arhiva snimljenih ispitivanja motora, onda je potrebno klikom miša pritisnuti dugme **Povratak** i vraćamo se na početak programa.

VZ ORAO ISPITNA STANICA

Tip motora: Viper 632-41	Svedeni korigovani parametri motora			
Serijski broj motora: 63241445	Nk [%]	95	98	100
Režim rada: Snimanje krive motora	Rk [lb]	3157,07	3647,5	3941,16
Ispitivač: Srđan	Qgk [lb/h]	3103,79	3635,24	3945,32
Datum: 5.10.2005	$T4k$ [°C]	629,06	693,25	734,92
Vreme: 14:25:37	Crk [lb/lbh]	0,98	0,98	1
Unos parametara: Automatski	Svedeni korigovani parametri motora u zakonskim jedinicama			
Komentar: Kriva 1	Rk [kg]	1432,47	1654,47	1787,67
	Qgk [kg/h]	1407,85	1648,91	1789,56
	Crk [kg/kg/h]	0,98	0,98	1

Spasi

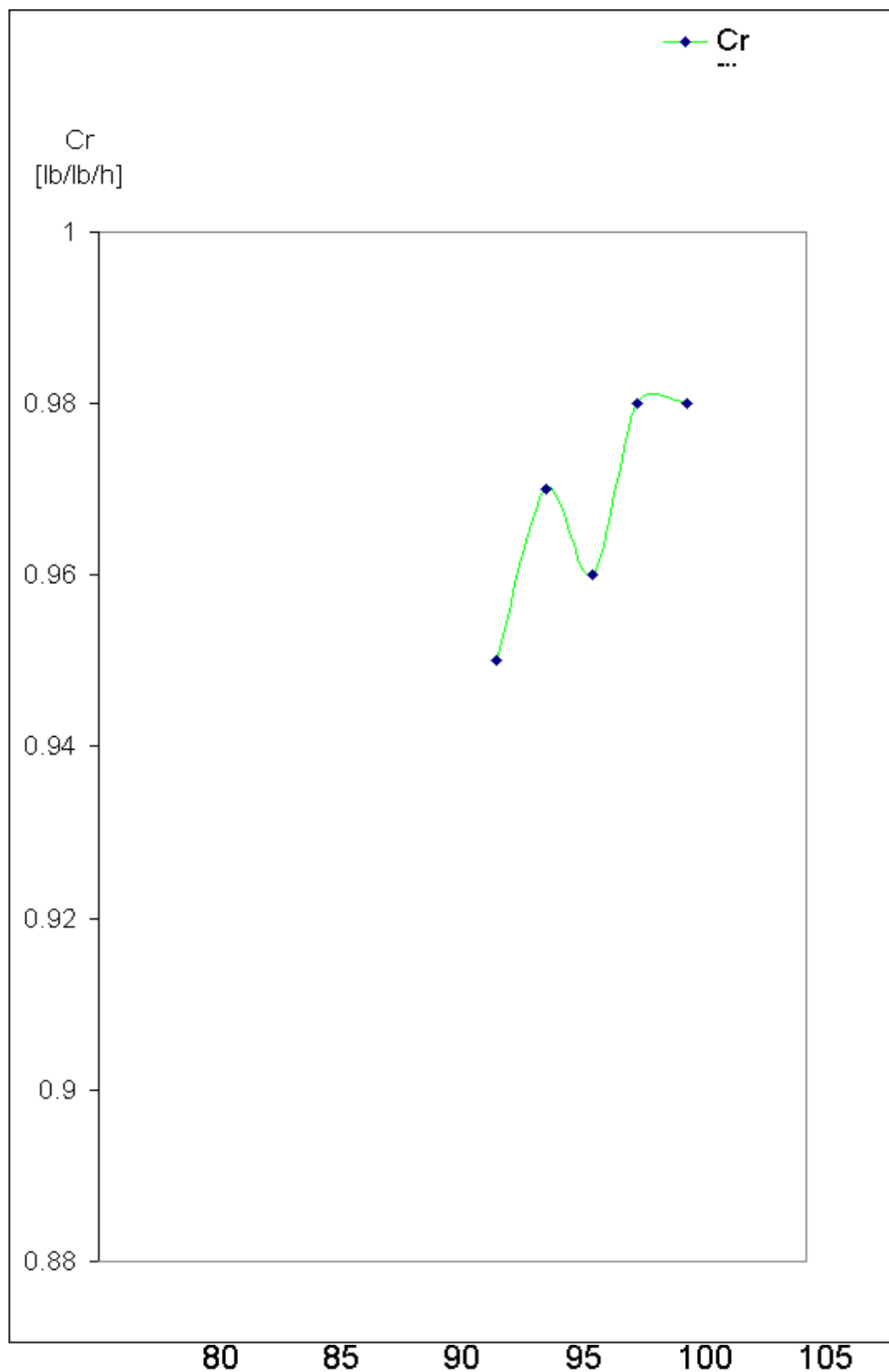
Novi režim

Ručni unos

Print

Vidi Excel

Slika 4.15. Izgled ekrana sa svedenim korigovanim parametrima motora za režim snimanje krive motora



Slika 4.16. Izgled dijagrama sa četiri krive motora

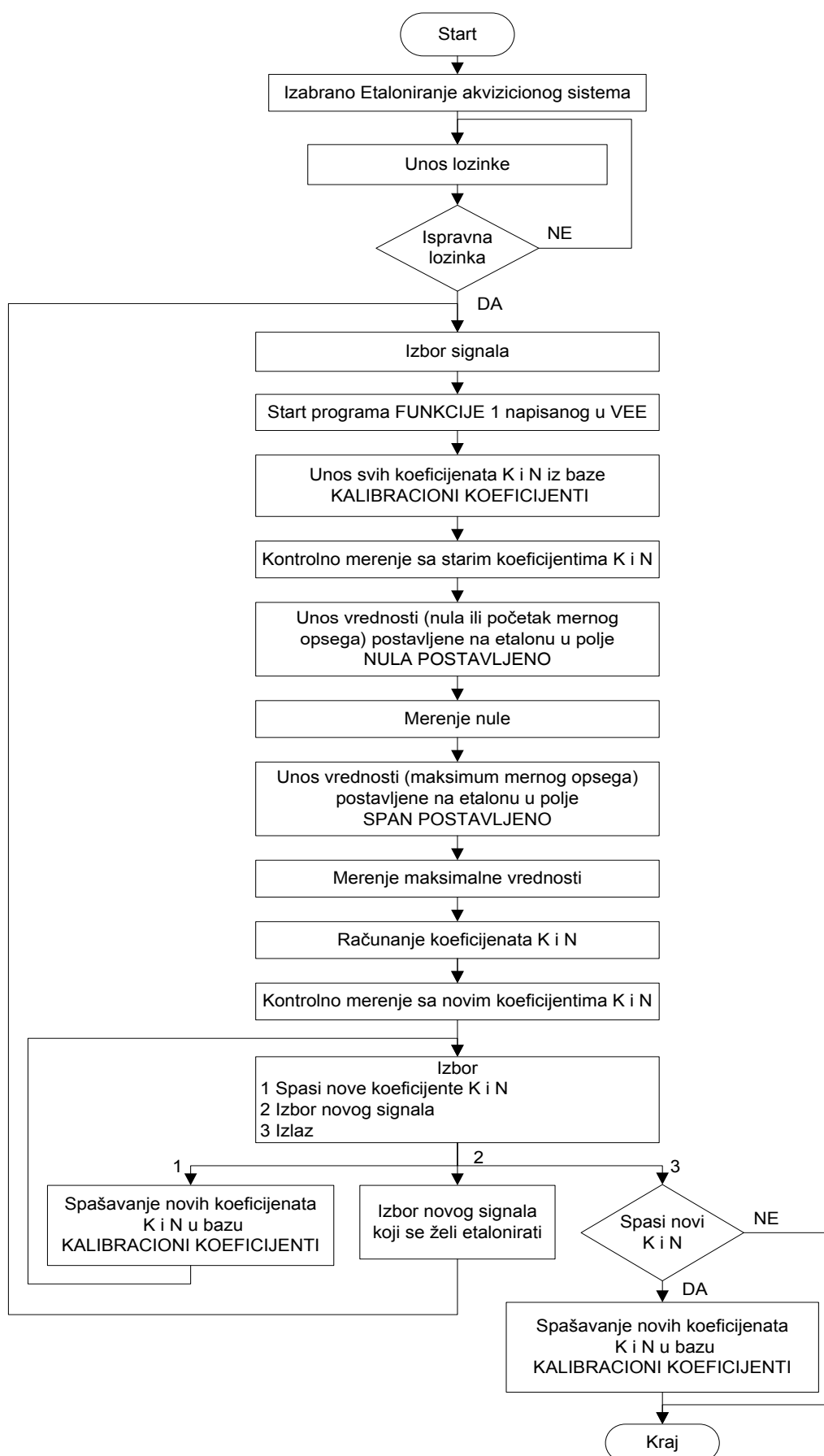
Kada se pojavi prozor prikazan na slici 4.17. iz liste (*Režim rada*) klikom miša treba izabrati režim rada motora, za koji se želi pretraživati arhiva snimljenih ispitivanja motora. Kada se izabere radni režim potrebno je klikom miša pritisnuti dugme **DA**. U levom polju (*Odaberi serijski broj motora*) pojaviće se

lista svih serijskih brojeva motora za koje postoje snimljene vrednosti parametra za izabrani režim. U polju do njega (*Odabrani serijski broj motora*) pojavi se odabrani serijski broj motora po kome pretražujemo arhivu. U polju do njega (*Odaberi Datum ispitivanja za izabrani režim*) pojavi se datum kada su za izabrani serijski broj i režim rada snimani parametri na motoru. Ako je ovo polje prazno, znači da za taj serijski broj motora i izabrani režim u bazi podataka nema snimljen nijedan podatak. Ako se u ovom polju pojavi više datuma, duplim klikom miša bira se željeni datum. Nakon toga se u polju do njega (*Odaberi Vreme ispitivanja za izabrani datum*) pojave vremena kada su za izabrani serijski broj, režim rada i datum snimanja, snimljeni parametri motora u bazu podataka. Pored svakog datuma pojavi se i komentar (samo ako postoji), koji dodatno opisuje izvršeno snimanje. Klikom miša na željeno vreme postaje aktivno dugme **Pregled pre štampe**. Klikom miša na dugme **Pregled pre štampe** otvoriće se prozor na kome se mogu videti snimljeni i korigovani parametri motora. Svi parametri koji izlaze iz dozvoljenih granica biće obojeni crvenom bojom. Klikom miša na dugme **Print** štampaju se izmereni i korigovani parametre na štampaču. Klikom miša na dugme **Povratak** izlazi se iz ovog prozora i vraćamo se na početak programa. Klikom miša na dugme **Novi režim** izlazi se iz ovog prozora i vraćamo se na prozor prikazan na slici 4.17. na kome se može izabrati drugi radni režim za pregled arhive.

Ako se želi pretraživati arhiva za neki drugi serijski broj motora koji se nalazi u listi u levom polju na slici 4.17., duplim klikom miša izabere se željeni serijski broj motora. On se pojavi u polju za odabrani serijski broj motora. Iz liste (*Režim rada*) odabere se željeni režim rada i klikom miša pritisne se dugme **DA**. Dalji postupak gledanja arhive je već opisan.

Ako se želi pretraživati arhiva za drugi tip motora tada se klikom miša izabere opcija željenog tipa motora (VIPER 632-41, VIPER 632-46 ili VIPER 633-41 u gornjem levom uglu prozora na slici 4.17.). Zatim se odabere režim rad motora i klikom miša pritisne dugme **DA**. U levom polju pojavi se lista svih serijskih brojeva motora za koje postoje snimljeni parametri motora za izabrani režim. Izabere se željeni serijski broj duplim klikom miša i on se pojavi u polju za odabrani serijski broj motora. Iz liste (*Režim rada*) ponovo se odabere željeni režim rada i klikom miša pritisne dugme **DA**. Dalji postupak gledanja arhive je već opisan.

Slika 4.17. Izgled ekrana prilikom gledanja arhive snimljenih ispitivanja motora



Slika 4.18. Dijagram toka dela glavnog programa koji opisuje etaloniranje akvizicionog sistema

4.2.2. Deo glavnog programa koji opisuje etaloniranje akvizicionog sistema

Etaloniranje signala na akvizicionom sistemu radi se programski, svaki put kada se radi etaloniranje klasičnih instrumenata na ispitnoj stanici ili kada se pojavi razlika između pokazivanja akvizicionog sistema i klasičnih instrumenata na ispitnoj stanici. Pretpostavio sam da je linearna zavisnost između stvarne vrednosti signala i vrednosti signala koja se dobije merenjem pomoću akvizicionog sistema, prema formuli (4.1). Za jednačinu prave $Y = K \cdot X + N$, kroz dve tačke $(X1, Y1)$ i $(X2, Y2)$, vidi sliku 4.19., potrebno je izračunati koeficijent K (nagib prave) i koeficijent N (odsečak na Y osi). Koeficijent K se računa prema formuli (4.2), a koeficijent N se računa prema formuli (4.3).

Prilikom etaloniranja akvizicionog sistema i instrumenata na ispitnoj stanici za svaki signal koji se meri akvizicionim sistemom određuju se koeficijenti K i N . Ovi koeficijenti se čuvaju u bazi podataka. Prilikom merenja svaki izmereni signal množi se sa koeficijentom K i na tu vrednost se dodaje koeficijent N . Dobijeni rezultat predstavlja stvarnu vrednost signala koji se meri i ta vrednost se u realnom vremenu prikazuje na monitoru akvizicionog sistema. Prilikom etaloniranja signala na akvizicionom sistemu prva tačka $(X1, Y1)$ je početak mernog opsega (NULA), a druga tačka $(X2, Y2)$ je kraj mernog opsega (SPAN).

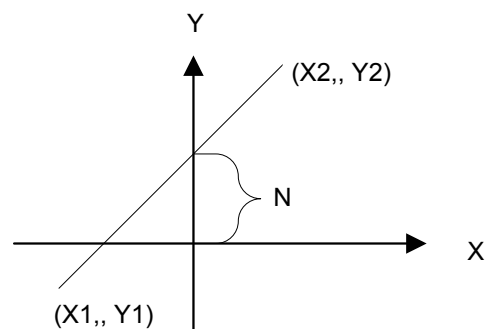
Na slici 4.18. prikazan je dio dijagrama toka glavnog programa AKVIZICIJA koji opisuje programsko etaloniranje akvizicionog sistema. Ako se nakon starta glavnog programa AKVIZICIJA izabere opcija *Etaloniranje akvizicionog sistema* pojavi se prozor na kome treba da se unese lozinka. Ispravan unos lozinke omogućava pristup delu glavnog programu u kome se radi etaloniranje akvizicionog sistema. Pristup ovom delu glavnog programa imaju samo radnici metrološke laboratorije VZ ORAO. Na ovaj način se onemogućava neovlašteni pristup delu programa za etaloniranje sistema, tj. neovlašćena izmena koeficijenta K i N . Kada se uđe u program za etaloniranje akvizicionog sistema prvo se iz ponuđene liste signala izabere signal koji se želi etalonirati. Zatim se poziva uslužni program FUNKCIJE napisan u VEE Pro 6.0., koji služi za merenje izabranog signala. Unose se stari koeficijenti K i N iz baze podataka KALIBRACIONI KOEFICIJENTI. Ako se želi proveriti da li za stare koeficijente K i N merni signal zadovoljava propisanu klasu tačnosti, onda se na ulazu u akvizicioni sistem simulira merni signal pomoću odgovarajućeg etalona. Uradi se kontrolno merenje akvizicionim sistemom. Uporedi se ova vrednost sa vrednošću koju pokazuje etalon i vidi se kolika je greška merenja akvizicionog sistema. Ako je greška merenja unutar granice dozvoljene greške za posmatrani merni signal, onda su vrednosti starih koeficijenata K i N dobre i nije potrebno određivati nove vrednosti. Ako je greška merenja veća od granice dozvoljene greške za posmatrani merni signal, onda je potrebno uraditi novo etaloniranje. U polje *Nula postavljeno* unosi se vrednost, sa početka mernog opsega, koja je postavljena na etalonu sa kojim se vrši simuliranje merenog signala. Izmeri se ova vrednost akvizicionim sistemom. Zatim se na etalonu zada vrednost sa kraja mernog opsega posmatranog mernog signala. Vrednost postavljena na etalonu unosi se u polje *Span postavljeno*. Izmeri se ova vrednost akvizicionim sistemom. Izračunaju se vrednosti novih koeficijenata K i N . Uradi se kontrolno merenje sa novim vrednostima koeficijenata K i N . Ova vrednost se uporedi sa vrednošću koju pokazuje etalon i vidi se kolika je greška merenja akvizicionog sistema. Ako je greška merenja unutar granice dozvoljene greške za posmatrani merni signal, onda su nove vrednosti koeficijenata K i N dobre. Novi koeficijenti se mogu spasiti u bazu podataka ili se mogu zadržati stari koeficijenti. Prilikom izlaska iz programa za etaloniranje uvek se pojavi pitanje: "Da li želiš da spasiš nove koeficijente K i N ?" Tako da, i ako se zaboravilo, prilikom izlaska iz programa za etaloniranje mogu se spasiti nove vrednosti koeficijenata K i N u bazu podataka.

$$\text{stvarna vrednost} = K \cdot \text{izmerena vrednost} + N \quad (4.1)$$

$$K = \frac{Y1 - Y2}{X1 - X2} \quad (4.2)$$

$$N = Y1 - X1 \cdot \frac{Y1 - Y2}{X1 - X2} \quad \text{ili}$$

$$N = Y1 - X1 \cdot K \quad (4.3)$$



Slika 4.19. Jednačina prave kroz dve tačke

5. ODREĐIVANJE MERNE NESIGURNOSTI MERENJA

Reč "nesigurnost" izražava sumnju, a "merna nesigurnost", odnosno "nesigurnost merenja" izražava sumnju u validnost rezultata merenja. Rezultat merenja je vrednost dobijena merenjem koja se pripisuje mernoj veličini. Potpuno iskazivanje rezultata merenja treba obuhvatiti i informaciju o mernoj nesigurnosti. Nesigurnost rezultata merenja je posledica nedostataka egzaktnog poznavanja vrednosti koja se meri. Rezultat merenja posle korigovanja za prepoznate sistematske efekte je i dalje samo procena merene vrednosti zbog:

- nesigurnosti koja potiče od slučajnih efekata i
- nesavršenosti korekcije za sistematske efekte.

Postupak merenja je složen proces i obuhvata niz elemenata kao što su informacije o etalonu i merilu, metodi merenja, korekcijama na dejstvo određenih uticajnih veličina, nesigurnosti sa kojom je dobijen rezultat i slično. Rezultat svakog realnog merenja sadrži u sebi određenu nesigurnost, što znači da se idealno tačna vrednost merene veličine ne može saznati. Uzroci mernih nesigurnosti mogu biti veoma brojni i po pravilu se ne mogu svi uzeti u obzir. Kada se prikazuju rezultati merenja potrebno je jasno iskazati da li on predstavlja pokazivanje merila, korigovanu ili nekorigovanu vrednost merene veličine, i da li je na osnovu niza ponovljenih merenja izvršeno usrednjavanje.

Da bi se postigla jednoobraznost u izražavanju mernih rezultata vodeće institucije međunarodnog metrološkog sistema (BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP i OIML), godine 1993. publikovale su *Uputstvo za izražavanje merne nesigurnosti* (eng. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement). Ovo uputstvo definiše harmonizovane i usaglašene metode izračunavanja i izražavanja merne nesigurnosti u laboratorijama za etaloniranje i ispitivanje sa procedurom proračuna merne nesigurnosti. Do tada za obradu i izražavanje rezultata bila je primenjivana klasična matematička disciplina, tzv. teorija grešaka. Načini obrade rezultata nisu bili ujednačeni pa je bilo teško poređenje istih merenja izvršenih u različitim institucijama.

Obradom mernih rezultata na način opisan u *Uputstvu* dobija se merni rezultat, zatim merna nesigurnost i statistička sigurnost sa kojom važe dobijeni podaci. Pojam greška merenja odnosi se isključivo na razliku dobijenog rezultata i odgovarajuće vrednosti dobijene pomoću etalonskog mernog instrumenta. Koncept izražavanja merne nesigurnosti iznesen u Uputstvu ima kao teorijsku podlogu isti matematički aparat koji se koristi kod teorije grešaka. Međutim, metod izražavanja merne nesigurnosti je praktično orijentisan i može se dobro primeniti u svim eksperimentalnim merenjima. Nasuprot tome, polazne veličine teorije grešaka su slučajne i sistematske greške koje kao idealizovani pojmovi ne postoje u praksi.

Sistematska greška predstavlja razliku između srednje vrednosti koja bi se dobila iz beskonačnog broja merenja iste merene veličine, obavljenih u uslovima ponovljivosti i prave vrednosti merene veličine. Kao i prava vrednost, tako i sistematska greška i njeni uzroci ne mogu biti u potpunosti poznati. Naime, sistematske greške, po klasičnoj teoriji, potiču od fizičkih veličina koje izazivaju promenu uvek iste veličine i znaka, dakle ona je predvidiva. Sistematske greške koje se mogu odrediti eksperimentalno ili proračunom mogu se eliminisati odgovarajućom korekcijom.

Nasuprot tome slučajne greške su prouzrokovane veličinama koje prouzrokuju isključivo slučajne (stohastičke) promene merene veličine. Slučajna greška predstavlja razliku između rezultata merenja i srednje vrednosti koja bi se dobila iz beskonačnog broja merenja iste merene veličine, obavljenih u uslovima ponovljivosti. Ovakve pretpostavke nisu ispunjene u stvarnim merenjima, jer se može obaviti samo konačan broj merenja.

Naime često jedna ista fizička veličina izaziva kako slučajne tako i sistematske efekte. Na primer, brze fluktuacije temperature imaju za posledicu efekte koji odgovaraju slučajnim greškama. Međutim sporije temperaturske promene mogu stvarati promene koje odgovaraju sistematskim greškama. Drugi primer, gde jedna veličina istovremeno izaziva i brze i spore promene, je napon napajanja pojačavača i mernih mostova. Napon napajanja dobijen iz mrežnog ispravljača ima brze fluktuacije (tzv. talasnost), a takođe i lagane promene koje zavise od temperature okoline i od nestabilnosti mrežnog napona. Otuda napon napajanja istovremeno prouzrokuje i slučajne i sistematske efekte.

Nasuprot teoriji grešaka pristup u izražavanju merne nesigurnosti dat u *Uputstvu* je praktično orijentisan pa ga je moguće primeniti u analizi eksperimentalnih rezultata merenja i rezultata etaloniranja.

5.1. IZRAŽAVANJE MERNE NESIGURNOSTI

Merna nesigurnost izražava interval u kome se nalazi prava vrednost fizičke veličine koja se meri i može se proceniti ili eksperimentalno odrediti uz određene uslove koji ograničavaju njenu vrednost. Jednostavnije rečeno, merna nesigurnost je parametar, pridružen rezultatu merenja, koji karakteriše rasipanje vrednosti koje se opravdano mogu pripisati merenoj veličini. Usvojeno je da se merna nesigurnost označava slovom u , (engl. Uncertainty - nesigurnost). Osnovni princip je da se svakom podatku o nesigurnosti pridruži odgovarajuća funkcija raspodele kao i verovatnoća, odnosno statistička sigurnost. Osim uobičajenih pojmova iz matematičke statistike, koriste se sledeći novi pojmovi.

Standardna merna nesigurnost u , po definiciji jednaka je standardnom odstupanju od srednje vrednosti $u = s_{x_s}$. Standardno odstupanje od srednje vrednosti s_{x_s} računa se prema formuli 5.3. A rezultat više ponovljenih merenja predstavlja srednju vrednost x_s , koja se računa prema formuli 5.1. Statistička sigurnost koja odgovara standardnoj mernoj nesigurnosti zavisi od raspodele koja se pripisuje datom merenju. Na primer u slučaju Gausove (normalne) raspodele mernih rezultata, intervalu širine jednog standardnog odstupanja, $x_s \pm s$, odgovara sigurnost od 68,2 %, a intervalu širine dva standardna odstupanja, $x_s \pm 2s$, odgovara sigurnost od 95,4 %.

Proširena merna nesigurnost, U , predstavlja umnožak standardne merne nesigurnosti i koeficijenta proširenja, k , tj. $U = k \cdot u$. Koeficijent k može imati vrednost u intervalu od $\sqrt{3}$ do 3, zavisno od raspodele. Proširenoj mernoj nesigurnosti odgovara visoka vrednost statističke sigurnosti. To znači da se merena veličina sa velikom sigurnošću nalazi u intervalu $x_s \pm U$.

U slučajevima kada se rezultatima merenja može pripisati Gausova raspodela i standardna nesigurnost pridružena izlaznoj proceni je dovoljno pouzdana, treba koristiti standardni koeficijent proširenja $k = 2$. Pripisanoj proširenoj nesigurnosti odgovara vrednost statističke sigurnosti od približno 95 %. Uslovi za Gausovu raspodelu su ispunjeni u većini slučajeva koji se sreću pri poslovima etaloniranja. Pretpostavka Gausove raspodele se ne može uvek eksperimentalno jednostavno potvrditi. Međutim u slučajevima kada se nekoliko komponenti nesigurnosti (na primer $N \geq 3$), izvedenih iz verovatnoće raspodele nezavisnih veličina koje se dobro ponašaju (npr. Gausove ili pravougaone raspodele), doprinose standardnoj nesigurnosti u uporedivim iznosima. Onda se na osnovu centralne granične teoreme može veoma približno pretpostaviti da je raspodela izlazne veličine Gausova. Za preostale slučajeve tj. sve slučajeve u kojima se ne može prihvatiti pretpostavka Gausove raspodele, moraju se primeniti podaci o stvarnoj verovatnoći raspodele radi dobijanja vrednosti koeficijenta proširenja k koji odgovara nivou statističke sigurnosti od približno 95 %.

U sertifikatima o etaloniranju mora se dati kompletan rezultat merenja sastavljen od procene merne veličine x_s i pridružene proširene merne nesigurnosti U (tj. kao $x_s \pm U$). Uz to treba dati napomenu sa objašnjenjem koja, uglavnom, treba da sadrži koeficijent proširenja k , funkciju raspodele izmerenih vrednosti i vrednost statističke sigurnosti. Sertifikat o etaloniranju potrebno je da sadrži i:

- naziv, tip, serijski broj i proizvođača merila koje se etalonira.
- Mernu metodu, odnosno određeni propis prema kome je urađeno etaloniranje.
- Naveći izjavu da je rezultat etaloniranja sledljiv do međunarodnog etalona ili nacionalnog etalona. Mogu se navesti i metrološke karakteristike etalona koji je korišten i broj njegovog uverenja.
- Uslove okoline u toku merenja.
- Datum obavljenog etaloniranja.
- Potpis lica koje je izvršilo merenje, kao i potpis njegovog rukovodioca.

Brojčana vrednost merne nesigurnosti treba biti data sa najviše dva značajna broja. Brojčanu vrednost rezultata merenja u završnom izveštaju treba zaokružiti na poslednji značajan broj vrednosti proširene nesigurnosti određene za taj rezultat merenja. Međutim, ako se zaokruživanjem smanjuje vrednost merne nesigurnosti za više od 5 %, treba primeniti zaokruživanje na više.

5.2. IZVORI (UZROCI) NASTAJANJA MERNE NESIGURNOSTI

Nesigurnost rezultata merenja odražava nedostatak potpunih saznanja o vrednosti merene veličine. Potpuna saznanja zahtevaju beskonačnu količinu informacija o izvršenom merenju. Fenomeni doprinosa nesigurnosti i činjenica da se rezultat merenja ne može okarakterisati kao jedinstvena vrednost nazivaju se izvori nesigurnosti. Praktično su mogući mnogi izvori nesigurnosti pri merenju koji uključuju:

- 1) nepotpuna definicija merne veličine,
- 2) nesavršena realizacija definicije merne veličine,
- 3) nereprezentativno uzorkovanje. Uzorak merene veličine ne predstavlja definisanu merenu veličinu,
- 4) nesavršenost u postavci merenja, merne metode i merne procedure,
- 5) neadekvatno poznavanje delovanja uslova okoline na merenje ili nesavršeno merenje istih,
- 6) subjektivna greška metrologa,
- 7) nesigurnost merne opreme, konačna rezolucija ili prag osetljivosti merila,
- 8) netačne vrednosti mernih etalona i referentnih materijala,
- 9) netačne vrednosti konstanti ili drugih parametara dobijenih od spoljašnjih izvora i korištenih pri izračunavanju rezultata,
- 10) aproksimacije i pretpostavke unete u proceduru i metodu merenja, softver i izračunavanje,
- 11) razlike u rezultatima merenja pri ponovljenim merenjima merne veličine uz prividno jednake uslove.

Ovi izvori nisu neophodno nezavisni. Neki od (1) do (10) faktora mogu doprineti faktoru (11).

5.3. TIPOVI MERNE NESIGURNOSTI

Postoje dva osnovna tipa merne nesigurnosti: *tip A* i *tip B*. Ova podela je zasnovana isključivo na osnovu metoda kojima se nesigurnosti određuju. U određenim uslovima, o kojima će biti reči, koristi se i tzv. *kombinovana merna nesigurnost*.

5.3.1. Merna nesigurnost tip A

Merna nesigurnost tip A određuje se isključivo metodom statističke obrade rezultata. Iz ovog sledi da merna nesigurnost tip A postoji samo ako se radi o merenju koje je ponovljeno više puta. Postoje dva podtipa procene ulazne veličine x tipa A i to kao:

- Eksperimentalno standardno odstupanje srednje vrednosti
- Kombinovana procena

Eksperimentalno standardno odstupanje srednje vrednosti računa se kada se radi o ponovljenim merenjima i kada se standardno odstupanje srednje vrednosti uzima kao standardna nesigurnost tip A. Ako su rezultati ponovljenih merenja predstavljeni uzorkom $x_1, x_2, \dots, x_i, x_n$, pomoću (5.1) može se izračunati srednja vrednost x_s koja, po pravilu predstavlja krajnju vrednost merenja,

$$x_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (5.1)$$

Standardna nesigurnost pojedinih elemenata jednaka je standardnom odstupanju pojedinih rezultata što je dato izrazom (5.2),

$$u_A = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_s)^2}{n-1}}. \quad (5.2)$$

Srednja vrednost x_s koja predstavlja rezultat merenja, ima svoje standardno odstupanje s_{x_s} , koje se zove standardno odstupanje srednje vrednosti. Standardno odstupanje srednje vrednosti predstavlja standardnu nesigurnost tip A, mernog rezultata,

$$u_{Ax_s} = s_{x_s} = \frac{u_A}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - x_s)^2}{n(n-1)}} \quad (5.3)$$

Merna nesigurnost tip A se određuje kada se raspolaže sa nizom od n međusobno različitih rezultata ponovljenih merenja. Ako je broj n dovoljno velik, srednja vrednost i njeno standardno odstupanje ispunjava uslove Centralne granične teoreme što znači da joj se po pravilu pridružuje Gausova raspodela (nezavisno od raspodele kojoj pripadaju elementi uzorka). Pri tome raspodela polaznih rezultata ne mora biti Gausova.

Primer 5.1. (Merna nesigurnost tip A)

Sa digitalnim frekvencometrom Agilent 53131A izvršeno je deset merenja frekvencije, signala koji se generiše pomoću generatora funkcija HP3325A (1 MHz). Prvo je izvršeno deset merenja kada vremenske baze digitalnog frekvencometra i generatora funkcija nisu bile sinhronizovane. Zatim je izvršeno 10 merenja kada je izvršena sinhronizacija vremenskih baza digitalnog frekvencometra i generatora funkcija pomoću standarda vremena GPS prijemnika Symmetricom 58503B. Potrebno je odrediti standardnu mernu nesigurnost srednje izmerene vrednosti frekvencije pre i posle sinhronizacije sa GPS prijemnikom. Dobijeni rezultati merenja prikazani su u tabeli 5.1.

Tabela 5.1. Rezultati merenja frekvencije

R.broj	Bez sinhronizacije sa GPS prijemnikom	Sa sinhronizacijom sa GPS prijemnikom
1.	1,000 001 840 MHz	1,000 000 000 01 MHz
2.	1,000 001 895 MHz	1,000 000 000 00 MHz
3.	1,000 001 802 MHz	1,000 000 000 01 MHz
4.	1,000 001 840 MHz	1,000 000 000 00 MHz
5.	1,000 001 729 MHz	1,000 000 000 01 MHz
6.	1,000 001 593 MHz	1,000 000 000 01 MHz
7.	1,000 001 616 MHz	1,000 000 000 00 MHz
8.	1,000 001 669 MHz	1,000 000 000 01 MHz
9.	1,000 001 686 MHz	1,000 000 000 01 MHz
10.	1,000 001 803 MHz	0,999 999 999 99 MHz

Rešenje

Srednja vrednost frekvencije za deset izvršenih merenja pre sinhronizacije je $f_s = 1,0000017473$ MHz.

Standardno odstupanje frekvencije pojedinih merenja je $s = 0,103$ Hz. Za standardnu mernu nesigurnost (Tip A) frekvencije pojedinih merenja, dobija se

$$u = s_{x_s} = s / \sqrt{10} = 0,0327 \text{ Hz.}$$

Srednja vrednost frekvencije za deset izvršenih merenja posle sinhronizacije sa GPS prijemnikom je $f_s = 1,000000000005$ MHz.

Standardno odstupanje frekvencije pojedinih merenja je $s = 0,000007$ Hz. Za standardnu mernu nesigurnost (Tip A) frekvencije pojedinih merenja, dobija se

$$u = s_{x_s} = s / \sqrt{10} = 0,0000022 \text{ Hz.}$$

Na osnovu analize dobijenih rezultata merenja frekvencije može su uočiti da se sinhronizacijom vremenske baze digitalnog frekvencometra i generatora funkcija sa GPS prijemnikom značajno smanjuje komponenta merne nesigurnosti tip A.

5.3.2. Kombinovana ili objedinjena merna nesigurnost tip A

Kao što je rečeno, merna nesigurnost tip A dobija se statističkom obradom većeg broja rezultata ponovljenih merenja. Međutim, praktične okolnosti često onemogućavaju da se neko merenje ponavlja veći broj puta, jer ponavljanje merenja značajno poskupljuje proces etaloniranja ili ispitivanja. Ako se merenje izvrši samo jedanput ili manji broj puta, na primer, dva ili tri puta, dobija se uzorak koji je suviše mali da bi se njegovom obradom došlo do valjanih statističkih podataka.

Merna nesigurnost, kod ovako malih uzoraka, može se odrediti na osnovu podatka koji se naziva kombinovana ili objedinjena nesigurnost¹. Pri pregledu nekog instrumenta u metrološkoj laboratoriji vrši se njegovo detaljno ispitivanje. Ono uključuje i višestruko ponavljanje merenja pri istim uslovima. Na osnovu jedne ili nekoliko serija ponovljenih merenja, određuje se standardno eksperimentalno odstupanje, tj. standardna merna nesigurnost tip A.

Kombinovana procena merne nesigurnosti tip A primenjuje se ukoliko su merenja dobro karakterisana i pod statističkom kontrolom. Za merenja koja su dobro karakterizirana i statistički se kontrolišu može se koristiti kombinovana ili objedinjena procena varijance s_p^2 koja bolje karakteriše rasipanje od procenjenog standardnog odstupanja postignutog ograničenim brojem merenja. Ako imamo slučaj određivanja vrednosti ulazne veličine X kao aritmetičke sredine x_s malog m broja nezavisnih merenja, varijanca srednje vrednosti može biti procenjena pomoću jednačine:

$$s^2(\bar{x}) = \frac{s_p^2}{m} \quad (5.4)$$

Kombinovna procena varijance s_p^2 zasnovna na N nezavisno ponovljenih serija merenja slučajne promenljive se dobija iz jednačine:

$$s_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^N v_i s_i^2}{\sum_{i=1}^N v_i} \quad (5.5)$$

pri čemu je s_i eksperimentalno standardno odstupanje i -te serije od n_i nezavisnih ponovljenih merenja (koje se računa prema formuli 5.2.) i ima broj stepeni slobode $v_i = n_i - 1$. Broj stepeni slobode kombinovane varijance je

$$v = \sum_{i=1}^N v_i .$$

Standardna nesigurnost se izvodi iz ove vrednosti primjenom jednačine

$$u_{Ap}(x) = s(x_s)$$

pa je standardna nesigurnost zasnovna na N nezavisno ponovljenih serija merenja, pri čemu serija sa malim brojem uzoraka, za koju se računa merna nesigurnost tip A, ima m merenja:

$$u_{Ap}(x) = \frac{s_p}{\sqrt{m}} \quad (5.6)$$

pri čemu broj stepeni slobode za $u(x)$ takođe iznosi v .

¹ Engleski: *Pooled uncertainty*

Primer 5.2. (Kombinovana procena merne nesigurnosti tip A)

Sa digitalnim frekvencmetrom Agilent 53131A izvršeno je pet serija od po deset merenja frekvencije signala koji se generiše pomoću generatora funkcija HP3325A (1 MHz), pri čemu je izvršena sinhronizacija vremenskih baza digitalnog frekvencmetra i generatora funkcija pomoću standarda vremena GPS prijemnika Symmetricom 58503B. Dobijeni rezultati merenja prikazani su u tabeli 5.1. Za svaku seriju od deset merenja izračunata je standardna devijacija s_i prema formuli 5.2. Potrebno je odrediti kombinovanu procenu merne nesigurnosti tip A i broj stepeni slobode, ako se merenje frekvencije radi 5 ili 10 puta.

Tabela 5.2. Pet serija merenja frekvencije

R.broj	Seriya 1 [MHz]	Seriya 2 [MHz]	Seriya 3 [MHz]	Seriya 4 [MHz]	Seriya 5 [MHz]
1.	1,00000000001	1,00000000001	1,00000000000	1,00000000000	1,00000000001
2.	1,00000000000	1,00000000000	1,00000000000	1,00000000001	1,00000000000
3.	1,00000000001	1,00000000000	1,00000000002	1,00000000000	1,00000000001
4.	1,00000000000	1,00000000003	1,00000000002	1,00000000000	1,00000000000
5.	1,00000000001	1,00000000000	1,00000000000	1,00000000000	1,00000000001
6.	1,00000000001	1,00000000001	1,00000000001	1,00000000001	1,00000000000
7.	1,00000000000	1,00000000001	0,99999999999	1,00000000000	0,99999999998
8.	1,00000000001	1,00000000001	1,00000000000	1,00000000000	1,00000000000
9.	1,00000000001	1,00000000002	1,00000000001	0,99999999999	0,99999999999
10.	0,99999999999	1,00000000001	0,99999999999	1,00000000000	1,00000000000
s_i	$7,071 \cdot 10^{-6}$ Hz	$9,428 \cdot 10^{-6}$ Hz	$1,075 \cdot 10^{-5}$ Hz	$5,674 \cdot 10^{-6}$ Hz	$9,427 \cdot 10^{-6}$ Hz

Rešenje

Kombinovna procena varijance s_p^2 , zasnovna na $N=5$ nezavisno ponovljenih serija merenja slučajne promenjive, dobija se iz jednačine 5.5. i iznosi $7,51 \times 10^{-11}$ Hz.

Kombinovana procena merne nesigurnosti tip A koja se računa prema jednačini 5.6. za pet merenja frekvencije ($m = 5$) iznosi $u_{Ap} = 0,00000387$ Hz, a za deset merenja ($m = 10$) iznosi $u_{Ap} = 0,00000274$ Hz. Broj stepeni slobode za jednu seriju od deset merenja je 9. Broj stepeni slobode kombinovane procene merne nesigurnosti tip A za pet merenja frekvencije je 45.

5.3.3. Merna nesigurnost tip B

Merna nesigurnost tip B određuje se svim ostalim metodama, izuzev statističke analize. Merna nesigurnost tip B može se odrediti i kod pojedinačnog merenja, kada merna nesigurnost tip A ne postoji. Valjano određivanje merne nesigurnosti tip B pretpostavlja upotrebu svih raspoloživih podataka i saznanja o korištenoj mernoj opremi, o uticaju parametara okruženja na merenje, o raznim vrstama smetnji i dr. Pri tome je poželjno da je metrolog koji vrši merenje iskusan, da ima što bolja teorijska znanja i da poznaje uticaj okruženja na merni proces.

Standardna merna nesigurnost, tip B, u_B , predstavlja standardno odstupanje dobijeno analizom različitih uticaja na merni rezultat. Pri tome je neophodno da se pridruži adekvatna funkcija raspodele ovoj nesigurnosti. Kod merne nesigurnosti tip B mogu se javiti razne raspodele (najčešće Gausova, pravougaona i trougaona). Nasuprot tome kod merne nesigurnosti tip A uglavnom je uvek reč o Gausovoj raspodeli.

Jedan od najvažnijih izvora podataka za određivanje merne nesigurnosti tip B su katalozi i priručnici koje proizvođači daju uz svoj instrument. Obično su dati podaci o nesigurnosti merenja u zavisnosti od mernog opsega, i pri određenim vrednostima parametara okoline, (opseg temperature, relativna vlažnost i dr).

Sva merila u zakonskoj metrologiji, po zakonu, treba da budu pregledana na propisani način pomoću opreme višeg nivoa tačnosti. Podaci u sertifikatu dobijenom nakon pregleda instrumenta, zajedno sa eventualnim dodatnim obaveštenjima stručnjaka koji su izvršili pregled, predstavljaju korisne izvore u određivanju merne nesigurnosti tip B.

Analizom merne metode treba ustanoviti da li dobijeni rezultat zaista predstavlja valjanu brojnu vrednost fizičke veličine koja treba da se izmeri. Na primer, pri merenju temperature nekog objekta treba ustanoviti da li je termički kontakt termometra i objekta dobar, tj. ustanoviti da li termometar zaista meri traženu temperaturu.

Pri merenju otpornosti nekog otpornika, pored ostalog, treba ustanoviti da li snaga koja se razvija u otporniku izaziva znatan porast temperature, pa time i izmenu otpornosti. Treba takođe voditi računa o uticaju temperature okoline, vlažnosti i atmosferskog pritiska, ako se radi o merenjima visoke tačnosti.

Poznato je da većina laboratorijskih merenja ima statički karakter, to jest očitavanje se obavlja tek nakon uspostavljanja stacionarnog stanja. Međutim, potpuna ustaljenost fizičkih veličina nije ostvariva u praksi. Tokom prikupljanja podataka merena veličina i parametri okoline imaju određenu brzinu promene, pa se javljaju određene dinamičke greške merenja. Instrumenti usled starenja ili primene u teškim radnim uslovima mogu promeniti svoje karakteristike. Neophodno je analizirati valjanosti algoritama korištenih u obradi rezultata i dr.

5.3.4. Slučajni karakter sistematskih efekata i nesigurnosti tip B

Pre upotrebe instrumenta neophodno je da svi sistematski efekti koji utiču na grešku budu potisnuti do minimuma. To se vrši postupkom etaloniranja. Nakon etaloniranja uvek postoje preostali sistematski efekti čije potiskivanje nije bilo moguće. Ovi preostali efekti ponašaju se kao slučajne veličine i samim tim imaju svoju funkciju raspodele. Nesigurnosti tipa B prouzrokovane su sistematskim efektima koje nije moguće u potpunosti otkloniti. Odgovarajući primer je otklanjanje sistematskog efekta kod voltmetra usled poremećaja “nule”, tzv. *nulovanje instrumenta*. Pri nulovanju ulazni krajevi ispitivanog voltmetra se kratko spajaju. Pri tome, umesto očekivanog nultog napona, na izlazu se očitava napon od, recimo, $+ 200 \mu\text{V}$. Merenje sa ovako razdešenim voltmetrom davalo bi rezultate koji su sistematski pomereni za približno toliki napon. Otuda je neophodno da se pre početka rada otkloni ovaj sistematski poremećaj. Kod instrumenta starije proizvodnje to se obavlja pomoću odvijača kojim se okreće potencijometar “nula” i pokazivanje indikatora dovodi do nulte vrednosti. Kod novijih voltmetra to se postiže pritiskom na taster “nula”, ili pri automatskom procesu provere i autokalibracije pri svakom uključenju instrumenta. Međutim, nakon nulovanja moguće je uočiti da se na indikatoru kratko spojenog instrumenta ipak javljaju manje promene pokazivanja reda veličine nekoliko μV . To je tzv. kratkotrajna nestabilnost nule. Ako bi se posmatranje produžilo, uočilo bi se dodatno sporije “šetanje” (drift) nule. Tako da sistematski pomeraj na izlazu ipak nije u potpunosti otklonjen. Dakle zaostali sistematski efekti nakon korekcije (etaloniranja) imaju slučajni karakter pa im je s toga potrebno pridružiti neku od odgovarajućih funkcija raspodele.

Izbor raspodele za merne nesigurnosti tip B može se izvršiti pomoću serije merenja. Time se dobija probni uzorak podataka sa kojima se crta histogram i sprovodi ispitivanje o tome koja je raspodela adekvatna. Za određivanje pogodne raspodele koriste se određeni statistički testovi. Slučajni karakter merne nesigurnosti tip B ilustruje se takođe i sledećim primerima.

Primer 5.3. (Merna nesigurnost usled rezolucije digitalnog instrumenta)

Odrediti mernu nesigurnost idealno tačnog digitalnog instrumenta, uzimajući u obzir samo rezoluciju instrumenta.

Rešenje Na skali instrumenta očitava se vrednost merene veličine prikazana brojem od N digita. Stvarna vrednost merene veličine, pri tome, ima neku analognu vrednost koja se sa podjednakom verovatnoćom može nalaziti u intervalu između $N - \frac{1}{2}$ do $N + \frac{1}{2}$ digita. U ovom slučaju sama rezolucija digitalnog instrumenta od jednog digita, unosi proširenu nesigurnost od $a = 0,5$ digita. Svaka vrednost unutar gornjeg intervala podjednako je verovatna. Otuda se nesigurnosti usled rezolucije digitalnih instrumenata

pridružuje pravougaona raspodela, čije je standardno odstupanje $s = \frac{a}{\sqrt{3}}$, pa je standardna nesigurnost

$$u_B = s = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ digita.}$$

Primer 5.4. (Merna nesigurnost na osnovu podataka proizvođača)

Komercijalni voltmetar pokazuje na svojoj skali napon $V = 1,000000 \text{ V}$. U katalogu proizvođača nalazi se podatak da u tom mernom opsegu maksimalna nesigurnost iznosi 0,002 % od očitane vrednosti plus 6 digita. Odrediti proširenu nesigurnost.

Rešenje Podatak iz kataloga ima smisao proširene nesigurnost U , jer je reč o garantovanim karakteristikama. Proširena nesigurnost iznosi

$$U = V \cdot 0,00002 + 0,000006 = 26 \mu\text{V}.$$

Iz tog podatka sledi da se stvarna vrednost napona nalazi u opsegu od

$$V = 1,000000 \text{ V} \pm 26 \mu\text{V}.$$

Uslov za izračunavanje standardne nesigurnosti je određivanje odgovarajuće raspodele na osnovu nekih dodatnih saznanja ili iskustava. Treba primetiti da kod ovog instrumenta nije neophodno uzimati u obzir nesigurnost usled digitalnog očitavanja (0,5 digita), jer je znatno manja od proširene nesigurnosti od 26 digita.

5.4. FUNKCIJE RASPODELE

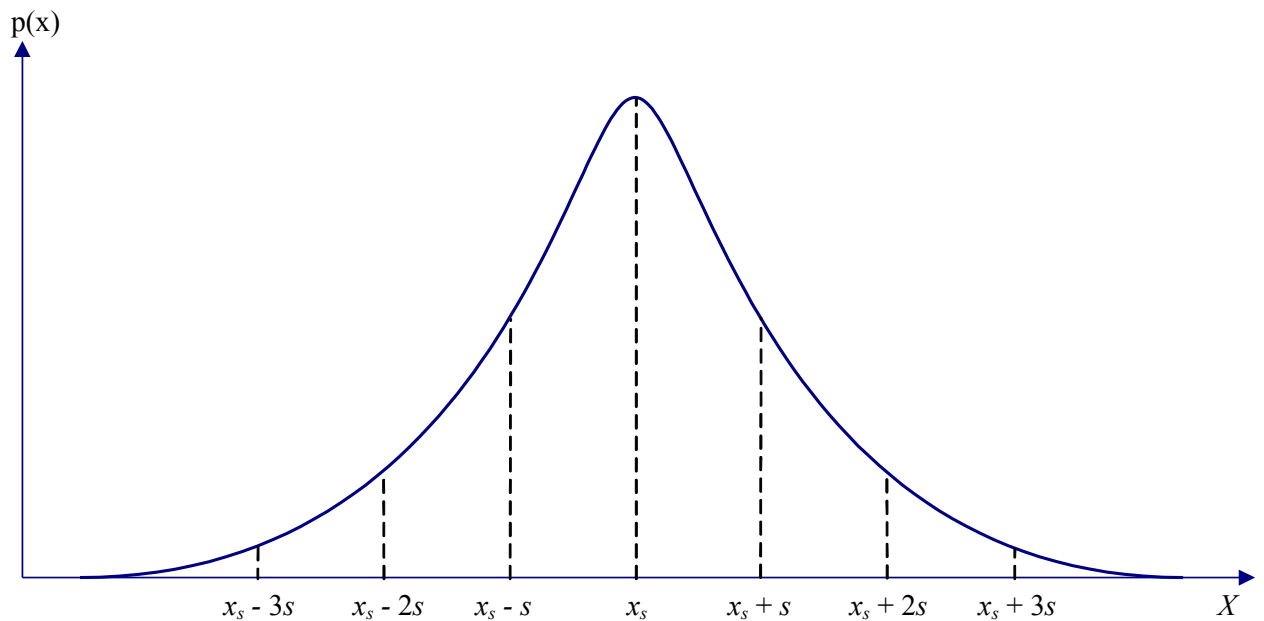
Jedna od osnovnih postavki u konceptu merne nesigurnosti je da se svakom sistematskom efektu pridruži neka funkcija raspodele. Samim tim može se odrediti i verovatnoća koja odgovara tom podatku. U pogledu pridruživanja raspodele postoji jasna razlika koncepta merne nesigurnosti u poređenju sa klasičnom teorijom grešaka. U klasičnoj teoriji, funkcija raspodele se pridružuje samo slučajnim greškama. Sistematske greške se u toj teoriji posmatraju kao determinističke veličine, tj. kao veličine koje nemaju slučajni karakter nego imaju konstantnu vrednost u posmatranom merenju.

Pri obradi mernih rezultata primenjuje se nekoliko vrsta raspodela. U ovom radu razmotriću sledeće raspodele:

- Gausovu ili normalnu,
- Pravougaonu ili uniformna i
- Trougaonu.

5.4.1. Gausova (normalna) raspodela

Eksperimentalno iskustvo pokazuje da se pri ponavljanju nekog merenja rezultati na neki način grupišu oko srednje vrednosti. Na bazi eksperimentalnog iskustva i teorijskih razmatranja Gaus je početkom XIX veka izveo raspodelu kojom se uspešno prikazuju rezultati merenja praćeni slučajnim greškama. Ova raspodela nazvana je Gausovom ili normalnom. Grafički prikaz Gausove raspodele dat je na slici 5.1. Parametri Gausove raspodele su *srednja vrednost* x_s i *standardno odstupanje* s . Oko srednje vrednosti podjednako verovatno su raspoređena pozitivna i negativna odstupanja. U opsegu (srednja vrednost $\pm$ standardno odstupanje) nalazi se oko 68 % rezultata. Ovo se može iskazati i drugim rečima *statističkoj sigurnosti od 68 % odgovara interval rezultata* ($x_s - s$, $x_s + s$). Važi i sledeće pravilo: svaki pojedinačni rezultat ima verovatnoću od 68 % da se nađe u intervalu ($x_s - s$, $x_s + s$). Na sličan način se pokazuje da opsegu $x_s \pm 2s$ odgovara statistička sigurnost od 95,4 %. U opsegu $x_s \pm 3s$ nalazi se 99,7 %, tj. u tom intervalu su praktično svi merni rezultati. Interval $x_s \pm 3s$ se naziva *maksimalna greška*. Ako je u nekom merenju poznato standardno odstupanje s , onda se rezultati sa greškom većom od $\pm 3s$ obično odbacuju jer najverovatnije potiču od neke grube greške.

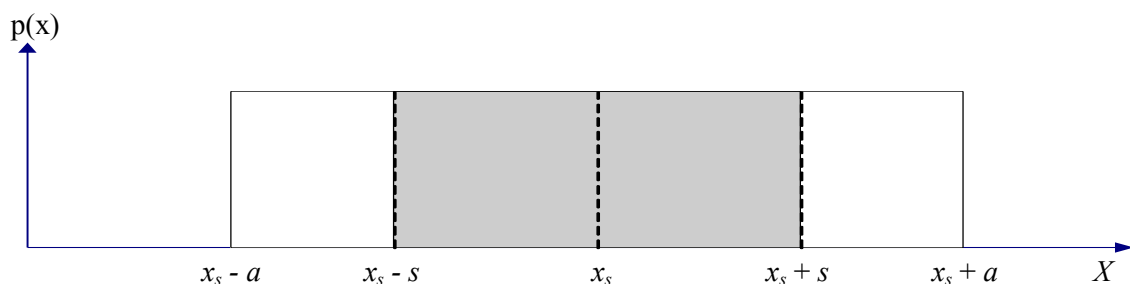


Slika 5.1. Gausova raspodela

5.4.2. Pravougaona (uniformna) raspodela

Dijagram simetrične pravougaone raspodele prikazan je na slici 5.2. Raspodela je određena srednjom vrednošću x_s i poluširinom intervala a . Sve vrednosti slučajne promenljive x nalaze se u opsegu $x \in (x_s - a, x_s + a)$, pri čemu je svaka vrednost unutar opsega podjednako verovatna. Pravougaona raspodela ispunjava uslov normiranosti, što znači da površina ispod krive raspodele $p(x)$ iznosi 1. Standardno odstupanje za pravougaonu raspodelu računa se kao

$$s = \frac{a}{\sqrt{3}}. \quad (5.7)$$

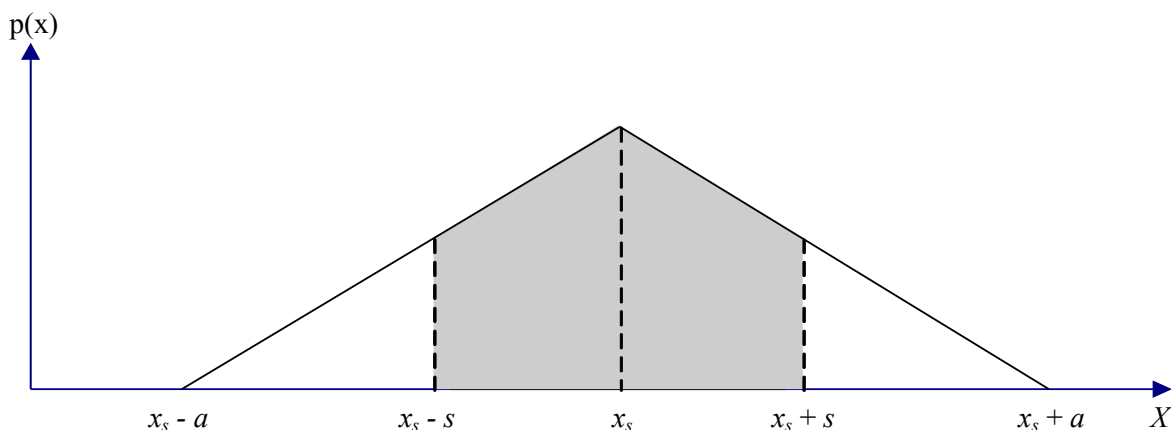
Slika 5.2. Simetrična pravougaona raspodela sa poluširinom a

U opsegu (srednja vrednost $\pm$ standardno odstupanje) nalazi se oko 57 % rezultata. Pravougaona raspodela se najčešće primenjuje kada se raspolaze sa malo informacija o nekom instrumentu.

Na primer, iz kataloga proizvođača se pročitao podatak da instrument ima klasu tačnosti $\pm 1,5$ % maksimalne vrednosti U_m . Ako ne postoji iskustvo ili drugo saznanje o eventualnom grupisanju rezultata oko srednje vrednosti, može se pretpostaviti da rezultati pri nekoj vrednosti merene veličine imaju uniformnu raspodelu sa poluširinom $a = 0,015 \cdot U_m$.

5.4.3. Trougaona raspodela

Dijagram simetrične trougaone funkcije raspodele prikazana je na slici 5.3. Trougaona i pravougaona raspodela imaju zajedničku osobinu da im je interval u kojem se nalaze rezultati **ograničen**. Sa slike 5.3. vidi se da se svi rezultati nalaze u ograničenom intervalu poluširine a simetrično raspoređeni oko srednje vrednosti x_s . Osnovna karakteristika trougaone raspodele je **skoncentrisanost** rezultata oko srednje vrednosti. To znači da su manja odstupanja rezultata od srednje vrednost verovatnija od većih odstupanja. Trougaona raspodela ispunjava uslov normiranosti, što znači da površina ispod krive raspodele $p(x)$ iznosi 1.



Slika 5.3. Simetrična trougaona raspodela sa poluširinom a

Standardno odstupanje za trougaonu raspodelu računa se kao

$$s = \frac{a}{\sqrt{6}}. \quad (5.8)$$

U opsegu (srednja vrednost $\pm$ standardno odstupanje) nalazi se oko 65 % rezultata. Poredeći ovu vrednost sa statističkom sigurnošću intervala $x_s \pm s$ kod pravougaone raspodele (57 %) vidi se da trougaona raspodela, usled skoncentrisanosti, ima veću sigurnost.

Trougaona raspodela se primenjuje u slučaju kada se iz iskustva zna da postoji jasno grupisanje mernih rezultata oko srednje vrednosti. Pri tome uslovi centralne granične teoreme nisu potpuno zadovoljeni, što znači da raspodela najverovatnije nije Gausova.

5.4.4. Uticaj izbora raspodele na izražavanje merne nesigurnosti

Radi lakšeg poređenja Gausove, pravougaone i trougaone raspodele u tabeli 5.3. date su statističke sigurnosti i koeficijenti proširenja k , kada se rezultati merenja nalaze grupisani oko srednje vrednosti u nekim intervalima. Iz tabele 5.3. može se lako uočiti da pravougaona raspodela ima najmanju statističku sigurnost u intervalu $x_s \pm s$ i najmanji koeficijent proširenja.

Tabela 5. 3. Upoređivanje tri funkcije raspodele

Raspodela	Interval rezultata merenja	Statistička sigurnost	Koeficijent proširenja k
Simetrična pravougaona	$x_s \pm s$	57,7 %	$\sqrt{3} = 1,73$
Simetrična Trougaona	$x_s \pm s$	65 %	$\sqrt{6} = 2,45$
Gausova	$x_s \pm s$	68,2 %	1
	$x_s \pm 2s$	95,4 %	2
	$x_s \pm 3s$	99,7 %	3

Primer 5.5. (Upoređivanje funkcija raspodele)

Izvršena je provera mase 10 proizvoda iste vrste, pri čemu su, pomoću digitalne vage sa rezolucijom 1 g dobijeni podaci dati u tabeli 5.4. Potrebno je odrediti standardnu i proširenu nesigurnost mase pojedinih proizvoda. Ne raspolaže se nikakvim dodatnim podacima u vezi merne nesigurnosti.

Tabela 5.4. Mase proizvoda

R.broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masa [kg]	1,001	0,995	0,997	1,008	0,999	1,011	0,997	1,012	1,008	0,996

Rešenje Srednja vrednost mase za deset izvršenih merenja mase je $m_s = 1002,4$ g. Standardno odstupanje mase pojedinih proizvoda je $s = 6,6$ g. Za standardnu mernu nesigurnost (Tip A) mase pojedinih proizvoda, dobija se $u = s_{x_s} = s / \sqrt{10} = 2,1$ g. U ovom slučaju je opravdano zanemarivanje standardne nesigurnosti usled digitalnog očitavanja, koja iznosi $(0,5 / \sqrt{3} = 0,29)$. Iz malog broja dobijenih rezultata nije moguće pouzdano proceniti koja raspodela je zastupljena.

Proširena nesigurnost U za slučaj tri raspodele ima sledeće vrednosti.

Pravougaona raspodela: $U = u\sqrt{3} = 3,6$ g, (P = 57,7 %);

Trougaona raspodela: $U = u\sqrt{6} = 5,1$ g, (P = 65 %);

Gausova raspodela: $U = u \cdot 2 = 4,2$ g, (P = 95,4 %), odnosno $U = u \cdot 3 = 6,3$ g, (P = 99,7 %).

5.5. KOMBINOVANA MERNA NESIGURNOST

Kombinovana merna nesigurnost je standardna merna nesigurnost rezultata merenja i koristi se u sledećim slučajevima:

- Za ponovljena merenja kod kojih je određena merna nesigurnost tip A i istovremeno je za ta merenja određena merna nesigurnost tip B.
- Kada na krajnji rezultat merenja utiču nesigurnosti bar dve ili više uticajnih veličina.

Standardnoj kombinovanoj mernoj nesigurnosti potrebno je pridružiti adekvatnu funkciju raspodele. Određivanje standardne kombinovane merne nesigurnosti i proširene kombinovane merne nesigurnosti po pravilu, predstavlja krajnji cilj obrade mernih podataka.

5.5.1. Kombinovana merna nesigurnost u slučaju nekorelisanih veličina

Dve veličine su nekorelisane (ili statistički nezavisne) onda, kada promene jedne od njih, ne izazivaju predvidljive promene druge veličine. Razmotrimo problem standardnog odstupanja indirektno merenih veličina

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_i, x_n), \quad (5.9)$$

gde su promene uticajnih veličina x_i međusobno nezavisne. Zamenom u izrazu za računanje standardnih odstupanja s_{xi} sa odgovarajućim nesigurnostima, dobija se standardno odstupanje indirektno merene veličine

$$u_y = \sqrt{\sum \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u_{xi}^2 \right]}, \quad (5.10)$$

gde je u_{xi} standardna merna nesigurnost tip B uticajne veličine x_i .

Ako je nelinearnost funkcije $y = f(x_i)$ značajna za izračunavanje kombinovanog standardnog odstupanja koristi se sledeća jednačina:

$$u_{yc}^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u_{xi}^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x_i \partial x_j} \right)^2 + \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{\partial^3 y}{\partial x_i \partial x_j^2} \right) \cdot u_{xi}^2 \cdot u_{xj}^2 \quad (5.11)$$

Parcijalni izvodi $\partial y / \partial x_i$ se nazivaju koeficijenti osjetljivosti. Oni opisuju kako procena izlazne veličine varira sa promenom vrednosti procene ulaznih veličina $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$. Kombinovna standardna nesigurnost procene izlazne veličine y se izračunava jednačinom:

$$u_{yc} = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u_{xi}]^2} \quad (5.12)$$

gde je:

$$c_i \equiv \frac{\partial y}{\partial x_i} \quad (5.13)$$

Merne nesigurnosti tip A i tip B kod neke serije ponovljenih merenja dobijaju se potpuno različitim metodama. To znači da su ove dve vrste nesigurnosti uvek nekorelisane slučajne veličine. Kada se odrede standardne nesigurnosti u_A i u_B , kombinovana standardna nesigurnost dobija se "sabiranjem" dveju nesigurnosti. Kod zbira više veličina

$$y = x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_n = \sum x_i \quad \text{važi} \quad \frac{\partial y}{\partial x} = 1$$

i (5.12) postaje

$$u_y = \sqrt{\sum u_{xi}^2} \quad (5.14)$$

Kombinovana merna nesigurnost u slučaju dve nekorelisane nesigurnosti u_A i u_B iznosi

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (5.15)$$

Primer 5.6. (Kombinovana merna nesigurnost na osnovu merne nesigurnosti tip A i merne nesigurnosti tip B).

Primenom voltmetra visoke rezolucije, u ustaljenom režimu nekog električnog kola više puta je ponovljeno merenje razlike potencijala. Na osnovu dobijenog uzorka rezultata određena je srednja vrednost $V_s = 1,003210$ V i standardno odstupanje srednje vrednosti $s_{V_s} = 6$ μ V. U katalogu proizvođača daje se podatak da instrument na tom mernom opsegu ima maksimalnu nesigurnost $\Delta V_m = 28$ μ V. Iskustvo u radu sa ovim instrumentom pokazuje da postoji određeno grupisanje rezultata oko srednje vrednosti. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu mernu nesigurnost u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Standardna merna nesigurnost tip A srednje vrednosti merenja voltmetra jednaka je standardnom odstupanju $u_A = s_{V_s} = 6$ μ V. Standardna merna nesigurnost tip B dobija se iz podatka koje proizvođač daje o maksimalnoj nesigurnosti uz usvajanje odgovarajuće funkcije raspodele. Iz uslova zadatka da se rezultati merenja grupišu oko srednje vrednosti sledi da se nesigurnosti tipa B može osnovano pridružiti trougaona raspodela sa poluširinom $a = 28$ μ V. (Mogla bi se takođe usvojiti i Gausova raspodela). Standardna merna nesigurnost tip B za trougaonu raspodelu iznosi $u_B = a/\sqrt{6} = 11,43$ μ V.

U ovom primeru opravdano je zanemarivanje merne nesigurnost usled digitalnog očitavanja rezultata jer odgovarajuća proširena nesigurnost iznosi 0,5 μ V, a standardna nesigurnost 0,29 μ V, videti primer (5.3).

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda kada postoje nesigurnosti tip A i tip B standardna kombinovana merna nesigurnost određuje se izrazom (5.15),

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 13 \mu V.$$

Proširena kombinovana merna nesigurnost dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele.

U cilju izbora optimalne funkcije raspodele kombinovane nesigurnosti razmatraju se sledeće činjenice.

- Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela.
- Nesigurnosti tipa B pridružena je trougaona, dakle jedna takođe skoncentrisana raspodela.
- Otuda se zaključuje da se kombinovanoj mernoj nesigurnosti u_{cAB} može opravdano pridružiti neka od skoncentrisanih raspodela (Gausova ili trougaona).

Koeficijent proširenja za trougaonu raspodelu iznosi $k = 2,45$, a za Gausovu raspodelu iznosi $k = 2$ ($P = 95\%$), (vidi tabelu 5.3.). Kao kompromisna vrednost, može se usvojiti $k = 2,2$, što je približno srednja vrednost gornjih koeficijenata. Dakle, proširena kombinovana merna nesigurnost, kojoj odgovara sigurnost bliska 95% , iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 28,6 \mu V$.

Primer 5.7. (Kombinovana merna nesigurnost na osnovu nekorelisanih mernih nesigurnosti tipa B).

U cilju dobijanja otpornika nominalne otpornosti $R_e = 1000 \Omega$ ostvarena je redna veza deset otpornika nominalne otpornosti $R = 100 \Omega$. Proširena nesigurnost (maksimalno odstupanje) svakog od otpornika iznosi $U_R = 0,1 \Omega$. Otpornici i podaci o njima potiču od različitih izvora (proizvođača ili laboratorija). Odrediti proširenu nesigurnost ekvivalentne otpornosti U_{Re} .

Rešenje Proširenoj mernoj nesigurnosti pojedinih otpornika, koji se nalaze u rednoj vezi, pridružuje se pravougaona raspodela, pa se za standardnu mernu nesigurnost jednog otpornika dobija

$$u_R = U_R / \sqrt{3} = 0,058 \Omega.$$

Ekvivalentna otpornost iznosi $R_e = \sum R_i$, odakle sledi $\frac{\partial R_e}{\partial R_i} = 1$. Prema uslovu zadatka, pojedine

otpornosti R_i etalonirane su različitom opremom, pa se mogu smatrati nekorelisanim veličinama. Primenom izraza (5.15) dobija se $u_{Re} = u_R \cdot \sqrt{10} = 0,18 \Omega$. Ekvivalentna otpornost R_e , kao zbir većeg broja slučajnih veličina, ispunjava uslove centralne granične teoreme, pa ima približno Gausovu raspodelu. Usvajajući koeficijent proširenja $k = 2$ ($P = 95\%$), proširena merna nesigurnost ekvivalentne otpornosti iznosi

$$U_{Re} = k \cdot u_{Re} = 0,36 \Omega, \text{ tj. } R_e = (1000 \pm 0,36) \Omega.$$

5.5.2. Kombinovana merna nesigurnost u slučaju korelisanih veličina

U klasičnoj teoriji grešaka razmatraju se sistematske greške indirektno merenih veličina koje se mogu izraziti u obliku $y = f(x_1, x_2, \dots, x_i, x_n)$. Kada su promene uticajnih veličine x_i u potpunosti korelisane sve promene se sabiraju. Ako se promene Δy i Δx_i zamene svojim standardnim nesigurnostima u_y i u_{xi} , respektivno, dobija se

$$u_y = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u_{xi}^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N c_i c_j u_{xy} r(x_i, x_j)}. \quad (5.16)$$

pri čemu je:

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u_{xi} \cdot u_{xj}} \quad (5.17)$$

i to predstavlja formulu za korelacione koeficijente (pri čemu je $i \neq j$ i $|r| \leq 1$). Ako su srednje vrednosti korelisanih ulaznih veličina x_i i x_j izračunate na osnovu n nezavisnih parova simultanih merenja pod istim uslovima tada je:

$$u(x_i, x_j) = s(\bar{x}_i, \bar{x}_j)$$

pri čemu je:

$$s(\bar{x}_i, \bar{x}_j) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j) \quad (5.18)$$

U specijalnom slučaju kada je $\left| \frac{\partial y}{\partial x_i} \right| = 1$ (funkcija y predstavlja zbir ili razliku veličina x_i i tada su

korelacioni koeficijenti jednaki jedan), nesigurnost je data zbirom nesigurnosti merenih veličina

$$u_y = \sum u_{x_i} \quad (5.19)$$

Treba imati u vidu da nesigurnosti i greške (slučajne ili sistematske) predstavljaju različite veličine. Dok odstupanja izmerene od srednje vrednosti mogu biti različitog znaka, dotle nesigurnost u_y kao i nesigurnosti uticajnih veličina u_{x_i} uvek su pozitivne veličine.

Primer 5.8. (Kombinovana merna nesigurnost na osnovu korelisanih mernih nesigurnosti tip B).

Otpornik nominalne otpornosti $R_e = 1000 \Omega$ dobijen je rednom vezom deset istih otpornika otpornosti $R = 100 \Omega$. Proširena merna nesigurnost (maksimalno odstupanje) svake od otpornosti iznosi $U_R = 0,1 \Omega$. Sve otpornosti su određene istom opremom i pomoću istog etalonskog otpornika. Odrediti nesigurnost ekvivalentne otpornosti U_{Re} .

Rešenje Ekvivalentna otpornost redne veze otpornika je $R_e = \sum R_i$. Sve otpornosti određene su istovetnom metodom i opremom pa se mogu smatrati potpuno korelisanim. Primenom formule (5.19) dobija se $u_{Re} = 10u_R$. U ovom slučaju ekvivalentna otpornost R_e , kao zbir korelisanih vrednosti, ne ispunjava uslove centralne granične teoreme. Otuda je raspodela R_e pravougaona, kao i kod pojedinih otpornosti. Proširena merna nesigurnost iznosi

$$U_{Re} = 10 \times U_R = 1 \Omega,$$

pa je

$$R_e = (1000 \pm 1) \Omega.$$

Treba obratiti pažnju da u ovom slučaju postoji uočljiva razlika dobijene proširene merne nesigurnosti, u odnosu na proširenu merna nesigurnost u primeru 5.7. Merna nesigurnost merenja sa korelisanim veličinama je veća od merne nesigurnosti sa nekorelisanim uticajnim veličinama.

5.6. POSTUPAK IZRAČUNAVANJA MERNE NESIGURNOSTI

Definisanje merne metode i postupka izračunavanja merne nesigurnosti u metrološkoj laboratoriji (ispitnoj laboratoriji) potrebno je da se vrši u pisanoj formi obično u sledećim koracima:

- 1) Identifikacija merne metode i postupka
- 2) Definisanje jednačine modela
- 3) Kvantifikovanje komponenti nesigurnosti
- 4) Određivanje kombinovane merne nesigurnosti
- 5) Određivanje proširene merne nesigurnosti
- 6) Analiza podataka i rezultata

5.6.1. Identifikacija merne metode

Merna metoda i postupak izračunavanja merne nesigurnosti za svaku vrstu etaloniranja (ispitivanja) koja se sprovodi u metrološkoj laboratoriji (ispitnoj laboratoriji) mora biti jednoznačno identifikovana i označena. Merna metoda mora imati naziv, kratak opis i standard prema kom se primenjuje merna metoda. Jednoznačna identifikacija se sastoji u tome da se jednoj mernoj metodi i odgovarajućem postupku izračunavanja merne nesigurnosti pridruži jedinstven identifikacioni broj. U mernoj metodi se navode svi etaloni (koji takođe trebaju biti jednoznačno identifikovani) sa kojima se vrši merenje, kao i karakteristike merila koje se etaloniraju, što dodatno jednoznačno određuje mernu metodu i postupak. Za svaki etalon treba biti navedena merna nesigurnost sa kojom je on etaloniran i kako se ostvaruje sledljivost do međunarodnog etalona.

5.6.2. Definisane jednačine modela

Procena merene veličine Y , se označava sa y a dobija se iz jednačine (5.20) koristeći procene ulaznih veličina X_i koje se označavaju sa x_i :

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N) \quad (5.20)$$

Funkcionalna zavisnost f koja odražava princip, metodu i postupak merenja se definiše kao model merenja koji opisuje kako se dobija procena vrednosti merene veličine y iz procene vrednosti ulaznih veličina x_i . Procene ulaznih veličina $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ od kojih zavisi procena izlazne veličine y mogu, same po sebi, biti zavisne od procene drugih veličina, uključujući korekcije i korekcijske faktore za sistematske efekte.

Funkcionalna zavisnost f može biti:

- eksplicitna,
- sastavljena od više funkcija,
- eksperimentalno određena,
- algoritam,
- kombinacija gore navedenih oblika.

Model funkcije f se mora izražavati tako da se u nju uključe sve one veličine, koje u značajnoj meri mogu doprineti mernoj nesigurnosti.

Ako analiza podataka ukazuje na to da funkcija f nije adekvatna stepenu zahtevane tačnosti mernih rezultata, u funkciju f se moraju uključiti dodatne ulazne veličine da bi se eliminisala ta neadekvatnost.

Ako ulazne vrednosti nisu korigovane zbog uticaja bitnih za model, neophodne korekcije treba uvesti kao posebnu ulaznu veličinu.

Model funkcije f treba pisati u takvoj formi da se broj korelisanih ulaznih veličina svede na najmanju moguću meru.

Standardna merna nesigurnost pridružena proceni y merene veličine Y , koja se označava sa $u(y)$, je standardno odstupanje merene veličine Y . Ona se određuje iz procene x_i ulaznih veličina X_i i njima pripadajuće standardne nesigurnosti $u(x_i)$. Standardna nesigurnost sa pridruženom procenom ima istu dimenziju kao i procena. U nekim slučajevima se može koristiti i relativna standardna merna nesigurnost merenja dobijena kada se merna nesigurnost procene podeli sa apsolutnom vrednošću procene te je prema tome bez dimenzije. Ovaj koncept se ne može koristiti ako je procenjena vrednost jednaka nuli.

Prilikom pisanja jednačina modela merenja potrebno je pridržavati se određenih pravila. Model merenja može biti dat sa jednom ili više jednačina pri čemu je obavezno za svaku veličinu u jednačini definisati oznaku, jedinicu i naziv. Ulazne veličine koje se unose u model su podeljene na glavne, nominalne, korekcijske i veličine granica pri čemu su za svaku od ovih ulaznih veličina definisana sledeća pravila pisanja:

- a) Glavne veličine su one ulazne veličine koje bitno doprinose merenoj veličini. One se pišu malim slovima italikom. Ukoliko predstavljaju razliku ispred njih se dodaje veliko grčko slovo delta.

Primer 5.9.

- t_{ix} – temperatura pokazivanja termometra X koji se etalonira. Indeks i znači pokazana (indikovana) vrednost.
 Δl – razlika u pomeraju prilikom merenja dužine.

- b) Nominalne veličine su veličine pridružene realizaciji veličine preko etalona ili mernog instrumenta. One su približne veličine koje čine glavni dio realizovane veličine. One se pišu velikim slovima italikom.

Primer 5.10.

- L – nominalna dužina paralelne granične merke koja se etalonira.

- c) Korekcione veličine su mala odstupanja od glavne vrednosti koja su poznata ili koja se moraju odrediti. U većini slučajeva korekcione veličine su aditivne. Pišu se slovom koje predstavlja veličinu koju razmatramo ispred kojeg se dodaje malo grčko slovo delta (δ).

Primer 5.11.

- δm_p – moguće odstupanje vrednosti etalonskog tega od njegovog zadnjeg etaloniranja.
 δm_c – korekcija zbog ekscentriteta opterećenja i magnetnih efekata pri etaloniranju tega.

- d) Veličine granica su utvrđene (fiksne) vrednosti mogućih varijacija vrednosti veličina. One se pišu slovom (simbolom) kojim je označena veličina koja se razmatra ispred kojeg se dodaje veliko grčko slovo delta.

Primer 5.12.

- $\Delta \alpha_x$ – procenjena poluširina intervala mogućeg odstupanja linearnog termičkog koeficijenta otpornosti otpornika, koji je dat u specifikaciji proizvođača za otpornik koji se etalonira.

- e) Definisane referentne vrednosti pišu se simbolom koji predstavlja veličinu sa indeksom 0.

Primer 5.13.

- p_0 - referentni pritisak, npr. 1000 mbar.

- f) Odnosi veličina iste vrste (bezdimenzionalni odnosi) se pišu malim slovima italikom.

Primer 5.14.

- $r = R_x / R_{iN}$ - odnos pokazivanja otpornika čiji je otpor nepoznat i etalonskog otpornika.

Ako se etaloniranje vrši komparacijom etalona i merila koje se etalonira direktno bez posrednika (komparater merila), rezultat komparacije je razlika u njihovim pokazivanjima, pa bi matematičku formulu u prvom koraku trebalo pisati u vidu:

$$d = (\text{pokazivanje etalona} \times \text{korekcija etalona}) - (\text{pokazivanje merila} \times \text{korekcija merila}) \quad (5.21)$$

Procenu merene veličine vršimo merilom i označavamo sa y , pa je jednačina modela data sa :

$$y = ((\text{pokazivanje etalona} \times \text{korekcija etalona}) - d) / (\text{korekcija merila}) \quad (5.22)$$

Ako se etaloniranje vrši komparacijom etalona i merila koje se etalonira indirektno preko posrednika (komparater merila), rezultat komparacije je korigovana razlika u njihovim pokazivanjima, pa bi matematičku formulu u prvom koraku trebalo pisati:

$$(\text{pokazivanje etalona} \times \text{korekcija etalona}) - (d \times \text{korekcija komparatera}) = (\text{pokazivanje merila} \times \text{korekcija merila}) \quad (5.23)$$

Procenu merene veličine vršimo merilom i označavamo sa y , pa je jednačina modela data sa :

$$y = ((\text{pokazivanje etalona} \times \text{korekcija etalona}) - (d \times \text{korekcija komparatera})) / (\text{korekcija merila}) \quad (5.24)$$

Jednačina modela u oba gore navedena slučaja dobija oblik:

$$y = x_s + d + \delta x + \delta d \dots \quad (5.25)$$

tako da je u opštem slučaju:

$$y = x_1 + x_2 + \dots + x_N \quad (5.26)$$

odnosno dobijamo jednačinu modela (5.20)

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N) \quad (5.20)$$

5.6.3. Kvantifikovanje komponenti nesigurnosti

Za svaku veličinu procene x_i u jednačini modela (5.20) daje se opis koji bliže određuje način na koji se dobijaju podaci o mernoj nesigurnosti procene te veličine. Svako veličini iz modela bilo da je ona ulazna ili izlazna obavezno treba dodati oznaku tipa koja određuje prirodu i položaj te veličine u modelu merenja kao i tip procene merne nesigurnosti.

Merna nesigurnost tip A određuje se isključivo metodom statističke obrade rezultata. Iz ovog sledi da merna nesigurnost tip A postoji samo ako se radi o merenju koje je ponovljeno više puta. Način određivanja merne nesigurnosti tip A opisan je u poglavlju 5.3.1.

Merna nesigurnost tip B određuje se svim ostalim metodama, izuzev statističke analize. Merna nesigurnost tip B može se odrediti i kod pojedinačnog merenja, kada merna nesigurnost tip A ne postoji. Valjano određivanje merne nesigurnosti tip B pretpostavlja upotrebu svih raspoloživih podataka i saznanja o korištenoj mernoj opremi, o uticaju parametara okruženja na merenje, o raznim vrstama smetnji i dr. Pri tome je poželjno da je metrolog koji vrši merenje iskusan, da ima što bolja teorijska znanja i da poznaje uticaj okruženja na merni proces. Način određivanja merne nesigurnosti tip B opisan je u poglavlju 5.3.2.

5.6.4. Određivanje proširene merne nesigurnosti

Određivanje kombinovane merne nesigurnosti i proširene kombinovane merne nesigurnosti po pravilu, predstavlja krajnji cilj obrade mernih podataka. Kombinovana merna nesigurnost je standardna merna nesigurnost rezultata merenja i koristi se u sledećim slučajevima:

- Za ponovljena merenja kod kojih je određena merna nesigurnost tip A i istovremeno je za ta merenja određena merna nesigurnost tip B.
- Kada na krajnji rezultat merenja utiču nesigurnosti bar dve ili više uticajnih veličina.

Standardnoj kombinovanoj mernoj nesigurnosti potrebno je pridružiti adekvatnu funkciju raspodele. Način određivanja kombinovane merne nesigurnosti opisan je u poglavlju 5.5.

Svaki rezultat merenja treba da se pridruži odgovarajuća proširena merna nesigurnost. *Proširena merna nesigurnost*, U , predstavlja umnožak standardne merne nesigurnosti i *koeficijenta proširenja*, k , tj. $U = k \cdot u$. Proširenoj mernoj nesigurnosti odgovara visoka vrednost statističke sigurnosti. To znači da se merena veličina sa velikom sigurnošću nalazi u intervalu $x_s \pm U$.

U slučajevima kada se rezultatima merenja može pripisati Gausova (normalna) raspodela i standardna nesigurnost pridružena izlaznoj proceni je dovoljno pouzdana, treba koristiti standardni koeficijent proširenja $k = 2$. Pridruženoj proširenoj mernoj nesigurnosti odgovara vrednost statističke sigurnosti od približno 95 %. Uslovi za Gausovu raspodelu su ispunjeni u većini slučajeva koji se sreću pri poslovanju etaloniranja.

5.6.5. Određivanje faktora pokrivanja na osnovu broja stepeni slobode

Za određivanje vrednosti faktora pokrivanja k koji odgovara specificiranoj verovatnoći pokrivanja potrebno je da se u proračun uzme pouzdanost standardne nesigurnosti $u(y)$ izlazne procene y . To znači razmotriti kako dobro $u(y)$ procenjuje standardno odstupanje pridruženo rezultatu merenja. Za ocenu standardnog odstupanja normalne raspodele, pogodna mera pouzdanosti je stepen slobode te procene, koji zavisi od veličine uzorka. Slično pogodna mera pouzdanosti standardne nesigurnosti, pridružene izlaznoj proceni, je njen efektivni stepen slobode V_{eff} . Efektivni stepen slobode V_{eff} je približan pogodnoj kombinaciji efektivnog stepena slobode njegovih raznih doprinosa nesigurnosti $u_i(y)$.

Tabela 5.5. Faktor pokrivanja k za razne efektivne stepene slobode V_{eff}

Broj stepeni slobode V_{eff}	Vrednost verovatnoće pokrivanja u procentima					
	68,27%	90%	95%	95,45%	99%	99,73%
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
8	1,07	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
9	1,06	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
10	1,05	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
11	1,05	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
12	1,04	1,78	2,18	2,23	3,05	3,76
13	1,04	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
14	1,04	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
15	1,03	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
16	1,03	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
17	1,03	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
18	1,03	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48
19	1,03	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
20	1,03	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
25	1,02	1,71	2,06	2,11	2,79	3,33
30	1,02	1,70	2,04	2,09	2,75	3,27
35	1,01	1,70	2,03	2,07	2,72	3,23
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞	1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000

Postupak izračunavanja pogodnog faktora pokrivanja k , kada su zadovoljeni uslovi centralne granične teoreme, obuhvata sledeća tri koraka:

- Dobijanje standardne nesigurnosti pridružene izlaznoj proceni postupkom korak po korak.
- Procena efektivnog stepena slobode V_{eff} za kombinovanu standardnu nesigurnost, koji se pridružuje izlaznoj proceni računa se prema sledećoj formuli

$$V_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{V_i}} \quad (5.27)$$

gde su:

- $u_c(y)$ kombinovana standardna nesigurnost.
- $u_i(y)$ ($i = 1, 2, 3 \dots N$) doprinosi standardne nesigurnosti pridruženi izlaznoj proceni y koja je rezultat standardne nesigurnosti pridružene ulaznoj proceni x_i , za koje je pretpostavljeno da su međusobno statistički nezavisne.
- V_i je efektivni stepen slobode doprinos standardne nesigurnosti $u_i(y)$.

Za standardnu mernu nesigurnost dobijenu procenom tip A, broj stepeni slobode je dat sa

$$V_i = n - 1.$$

Veći problem je pridružiti stepen slobode standardnoj mernoj nesigurnosti koja je dobijena na osnovu procene merne nesigurnosti tip B. Međutim, uobičajena je praksa izvođenje procena na način koji osigurava izbegavanje bilo kakvog nižeg ocenjivanja. Ako se, na primer, uvode donje i gornje granice a_- i a_+ , one se obično biraju tako da je izuzetno mala verovatnoća da konkretni rezultat merenja leži izvan tih granica. Pod pretpostavkom usvajanja takve prakse za stepen slobode standardne nesigurnosti $u(x_i)$ dobijene procenom tip B može se usvojiti da je $V_i \rightarrow \infty$.

- Usvojiti faktor pokrivanja k iz tabele 5.5. Ova tabela je zasnovana na t - raspodeli za različite vrednosti verovatnoće pokrivanja. Ako V_{eff} nije celi broj, što je većinom slučaj, tada V_{eff} zaokružiti na sledeći manji broj.

5.7. PRIMER ETALONIRANJA TERMOPARA TIP K NA 700 °C

U ovom poglavlju opisana je metoda etaloniranja termopara K tip na 700 °C. Ova metoda napravljena je u Metrološkoj laboratoriji ML-16 u VZ "ORAO". Izrađena je za potrebe akreditacije ove laboratorije kod Bosanskog akreditacionog tjela (BATA). Rezultat etaloniranja je izlazna elektromotorna sila termopara, za temperaturu njegovog toplog spoja, kada se hladni spoj nalazi na referentnoj temperaturi 0 °C. Ova metoda etaloniranja satoji se od dva koraka:

- određivanje temperature u peći pomoću etalonskog termopara S tip i
- određivanje elektromotorne sile termopara koji se etalonira.

Zato je i procena merne nesigurnosti podeljena u dva dela.

5.7.1. Opis metode

Prilikom etaloniranja termopara tip K na 700 °C, kao temperaturni izvor koristi se vertikalna kalibraciona peć (tip 912C, proizvođač Rosemount). Termopar koji se etalonira postavlja se u termo blok peći pored referentnog termopara tip S (tip 163A, proizvođač Rosemount) koji se koristi kao etalon za merenje temperature u peći. Potrebno je da vrh termopara koji se etalonira i vrh referentnog termopara budu na istoj visini. Kada peć dostigne temperaturu od 700 °C, potrebno je sačekati pola sata da se temperatura u peći stabilise. Elektromotorna sila koja se stvara na krajevima termopara koji se etalonira, kompenzacionim kablom tip K vodi se do referentne temperature hladnog spoja 0 °C. Na referentnoj temperaturi hladnog spoja vrši se spajanje kompenzacionog kabla tip K i bakarnih kablova sa kojim se signal dalje vodi do digitalnog multimetra (tip HP3458A, proizvođač Hewlet Packard). Spoj etalonskog termopara tip S i bakarnih kablova sa kojima se signal vodi na digitalni multimetar, vrši se takođe na

referentnoj temperaturi hladnog spoja 0 °C. Spoj kompenzacionog i bakarnog kabla postavlja se u staklenu epruvetu, kako u vodi ne bi došlo do kontakta između dva kraja termopara. Referentna temperatura hladnog spoja od 0 °C ostvaruje se pomoću destilovane vode i leda koji se mešaju u termos boci. Referentna temperatura hladnog spoja kontroliše se pomoću živinog termometra podele 0,1 °C (tip N16B, proizvođač Ludwig Schnider).

5.7.2. Jednačina modela

Jednačina modela merenja temperature T_x toplog spoja termopara koji se etalonira kada je hladni spoj na 0 °C, predstavljena je jednačinom

$$T_x = T_s + C_s \cdot \Delta V_s + C_s \cdot \Delta V_r - \Delta T_{os} \cdot (C_s / C_{so}) + \Delta T_h + \Delta T_a \quad (5.28)$$

gde su:

T_s (°C) - Temperatura referentnog termopara u funkciji napona hladnog spoja na 0 °C.

ΔV_s (μV) - Korekcija napona pri etaloniranju voltmetra

ΔT_{os} (°C) - Korekcija merenja referentne temperature 0 °C.

ΔT_h (°C) - Korekcija temperature zbog neravnomerne raspodele temperature u peći

C_s (°C/μV) - Osetljivost termopara S tip pri temperaturi 700 °C

C_{so} (°C/μV) - Osetljivost termopara S tip pri temperaturi 0 °C

ΔT_a (°C) - Razlika u pokazivanju temperature referentnog termopara (ovo je komponenta merne nesigurnosti tip A)

Jednačina modela merenja napona V_x na krajevima termopara koji se etalonira kada je hladni spoj na 0 °C, predstavljena je jednačinom

$$V_x = V_s + \Delta V_r + \Delta T / C_x + \Delta T_{ox} / C_{xo} + \Delta V_{LX} + \Delta V_a \quad (5.29)$$

gde su:

V_s (μV) - Pokazivanje voltmetra

ΔV_r (μV) - Korekcija voltmetra zbog ograničene rezolucije

ΔT (°C) - Odstupanje temperature na kojoj se radi etaloniranje od temperature peći

ΔT_{ox} - Korekcija merenja referentne temperature 0 °C.

C_x (°C/μV) - Osetljivost termopara K tip koji se etalonira pri temperaturi 700 °C

C_{xo} (°C/μV) - Osetljivost termopara K tip koji se etalonira pri temperaturi 0 °C

ΔV_{LX} (μV) - Korekcija merenja napona zbog kompenzacionog kabla

ΔV_a (μV) - Razlika u pokazivanju pri merenju napona na nepoznatom termoparu (ovo je komponenta merne nesigurnosti tip A)

5.7.3. Kvantifikovanje komponenti merne nesigurnosti

1) T_s (°C) - Temperatura referentnog termopara u funkciji napona hladnog spoja na 0 °C.

Termopar S tip koji se koristi kao etalon za merenje temperature u peći, etaloniran je u ZMDM Beograd. Za merenje temperature od 700 °C, sa etalonskim termoparom, u uverenju o etaloniranju data je proširena merna nesigurnost od 0,75 °C. Ova proširena merna nesigurnost data je za normalnu raspodelu rezultata merenja i koeficijent proširenja $k = 2$.

2) V_s (μV) - Pokazivanje digitalnog multimetra

Proizvođač digitalnog multimetra HP 3458A je na mernom opsegu 100 mV, koji se koristi za merenje napona na krajevima termopara, deklarirao grešku kao $\pm(0,3 \mu V \text{ od opsega} + 0,0005\% \text{ od očitavanja})$. Tako da na temperaturi od 700 °C prilikom merenja napona na krajevima termopara K tip, koji se etalonira, deklarirana greška merenja napona digitalnog multimetra iznosi $\pm 0,45 \mu V$. Pretpostavljeno je da rezultati merenja istosmernog napona pomoću ovog multimetra imaju pravouganu raspodelu.

3) ΔV_s (μV) - Korekcija napona pri etaloniranju digitalnog multimetra

Proizvođač digitalnog multimetra HP 3458A je na opsegu 100 mV, koji se koristi za merenje napona na krajevima termopara, deklarirao grešku kao $\pm(0,3 \mu V \text{ od opsega} + 0,0005\% \text{ od očitavanja})$. Tako da na temperaturi od 700 °C prilikom merenja napona na krajevima termopara S tip, koji se koristi kao etalonski termopar, deklarirana greška merenja napona digitalnog multimetra iznosi $\pm 0,34 \mu V$. Pretpostavljeno je da rezultati merenja istosmernog napona pomoću ovog multimetra imaju pravouganu raspodelu.

4) ΔV_r (μV) - Korekcija digitalnog multimetra zbog ograničene rezolucije

Proizvođač digitalnog multimetra HP 3458A je na opsegu 100 mV deklarirao najmanji značajan digit 0,01 μV . Iz ovoga sledi da se svako pokazivanje digitalnog multimetra nalazi u granicama $\pm 0,005 \mu V$. Pretpostavljeno je da uticaj zadnjeg digita na rezultat merenja istosmernog napona pomoću ovog multimetra ima pravouganu raspodelu.

5) ΔT_{os} i ΔT_{ox} (°C) - Korekcija merenja referentne temperature 0 °C.

Proizvođač živinog termometra (koji se koristi za merenje referentne temperature 0 °C) je deklarirao grešku kao $\pm 0,1$ °C. Pretpostavljeno je da rezultati merenja referentne temperature 0 °C imaju pravouganu raspodelu.

6) ΔT_h (°C) - Korekcija temperature zbog neravnomerne raspodele temperature u peći

Prema dokumentaciji proizvođača homogenost temperature u vertikalnoj kalibracionoj peći je $\pm 0,25$ °C za temperature do 800 °C, a $\pm 0,5$ °C za temperature od 800 °C do 1100 °C. Pretpostavljeno je da homogenost temperature u peći ima pravouganu raspodelu.

7) C_s (°C/ μV) - Osetljivost termopara S tip pri temperaturi 700 °C

Ova konstanta od 0,0952 °C/ μV uzeta je iz tabele zavisnosti elektromotorne sile termopara S tip od temperature, pri temperaturi 700 °C.

8) C_{so} (°C/ μV) - Osetljivost termopara S tip pri temperaturi 0 °C

Ova konstanta od 0,2 °C/ μV uzeta je iz tabele zavisnosti elektromotorne sile termopara S tip od temperature, pri temperaturi 0 °C.

9) C_x (°C/ μV) - Osetljivost termopara K tip pri temperaturi 700 °C

Ova konstanta od 0,0238 °C/ μV uzeta je iz tabele zavisnosti elektromotorne sile termopara K tip od temperature, pri temperaturi 700 °C.

10) C_{xo} (°C/ μV) - Osetljivost termopara K tip pri temperaturi 0 °C

Ova konstanta od 0,0256 °C/ μV uzeta je iz tabele zavisnosti elektromotorne sile termopara K tip od temperature, pri temperaturi 0 °C.

11) ΔT_a (°C) - Razlika u pokazivanju temperature referentnog termopara (komponenta merne nesigurnosti tip A)

Na svakoj mernoj tački u kojoj se radi etaloniranja termopara K tip vrši se po deset merenja temperature na referentnom termoparu i termoparu koji se etalonira. Doprinos ove komponente merne nesigurnosti merenja temperature na referentnom termoparu računa se kao standardno odstupanje srednje vrednosti. Za svako konkretno merenje dobija se druga komponenta merne nesigurnosti tip A. Ova merna nesigurnost se uzima sa normalnom raspodelom.

12) ΔV_a (μV) - Razlika u pokazivanju pri merenju napona na nepoznatom termoparu (komponenta merne nesigurnosti tip A)

Na svakoj mernoj tački u kojoj se radi etaloniranja termopara K tip vrši se po deset merenja temperature na referentnom termoparu i termoparu koji se etalonira. Doprinos ove komponente merne nesigurnosti merenja napona na termoparu koji se etalonira računa se kao standardno odstupanje srednje vrednosti. Za svako konkretno merenje dobija se druga komponenta merne nesigurnosti tip A. Ova merna nesigurnost se uzima sa normalnom raspodelom.

13) ΔV_{LX} (μV) - Korekcija merenja napona zbog kompenzacionog kabla

Termopar koji se etalonira kompenzacionim kablom se povezuje sa referentnom tačkom 0 °C, odakle se bakarnim kablovima signal vodi do digitalnog multimetra. Kompenzacioni kabal K tip ispitan je u temperaturnom području od 0 °C do 40 °C. Kao rezultat ovog ispitivanja utvrđeno je da pad napona na kompenzacionom kablju između termopara i bakarnih kablova iznosi $\pm 6 \mu V$.

14) $\Delta T = T - T_x$ - Odstupanje temperature na kojoj se radi etaloniranje od temperature peći

Doprinos merne nesigurnosti ove komponente dobije se na osnovu procene merne nesigurnosti temperature T_x toplog spoja termopara koji se etalonira, predstavljene u jednačini 5.28.

5.7.4. Merenje

Tabela 5.6. Rezultati etaloniranja termopara K tip na 700 °C

Termopar		S tip	K tip
Izmerena vrednost napona	1.	6311,94 μV	29266,16 μV
	2.	6313,74 μV	29279,24 μV
	3.	6315,38 μV	29271,68 μV
	4.	6314,24 μV	29268,31 μV
	5.	6313,59 μV	29264,54 μV
	6.	6312,68 μV	29259,12 μV
	7.	6312,17 μV	29257,53 μV
	8.	6311,73 μV	29251,64 μV
	9.	6311,24 μV	29248,82 μV
	10.	6310,67 μV	29242,79 μV
Srednja vrednost napona		6312,738 μV	29260,983 μV
Srednja vrednost temperature		703,55 °C	703,14 °C
Standardno odstupanje merenja napona za 10 merenja		1,47 μV	11,17 μV
Standardno odstupanje merenja temperature za 10 merenja		0,140 °C	0,266 °C
Standardno odstupanje srednje vrednosti merenja napona		0,47 μV	3,53 μV
Standardno odstupanje srednje vrednosti merenja temperature		0,044 °C	0,084 °C

U tabeli 5.6. prikazani su rezultati etaloniranja termopara K tip na 700 °C u Metrološkoj laboratoriji ML-16 u VZ "ORAO". Digitalnim multimetrom izvršeno je po deset merenja napona, koji se stvara na etalonskom termoparu S tip i na termoparu K tip koji se etalonira.

5.7.5. Budžet nesigurnosti merenja temperature u peći T_x

Na osnovu jednačine 5.28. modela merenja temperature T_x toplog spoja termopara koji se etalonira, napravljen je budžet doprinosa pojedinih komponenti mernih nesigurnosti prilikom merenja temperature u peći sa etalonskim termoparom S tip. Ovaj budžet mernih nesigurnosti prikazan je u tabeli 5.7.

Tabela 5.7. Budžet mernih nesigurnost merenja temperature u peći

Velicina	Procena	Standardna nesigurnost	Verovatnoća raspodele	Koeficijent osetljivosti	Doprinos nesigurnosti
T_s	703,55 °C	0,325 °C	normalna	1	0,325 °C
ΔV_s	0 μV	$(0,34/\sqrt{3}) \mu\text{V}$	pravougaona	0,0952 °C/ μV	0,019 °C
ΔV_r	0 μV	$(0,005/\sqrt{3}) \mu\text{V}$	pravougaona	0,0952 °C/ μV	0,00027 °C
ΔT_{os}	0 °C	$(0,1/\sqrt{3}) \text{°C}$	pravougaona	0,476	0,027 °C
ΔT_h	0 °C	$(0,25/\sqrt{3}) \text{°C}$	pravougaona	1	0,144 °C
ΔT_a	0 °C	0,044 °C	normalna	1	0,044 °C
C_s	0,0952 °C/ μV		konstanta		
C_{so}	0,2 °C/ μV		konstanta		
C_s/C_{so}	0,476		konstanta		
T_x	703,55 °C		normalna		0,36 °C

5.7.6. Budžet nesigurnosti merenja napona V_x na krajevima termopara

Na osnovu jednačine 5.29. modela merenja napona V_x na krajevima termopara koji se etalonira kada je hladni spoj na 0 °C, napravljen je budžet doprinosa pojedinih komponenti mernih nesigurnosti prilikom merenja napona na krajevima termopara sa digitalnim multimetrom HP3458A. Ovaj budžet mernih nesigurnosti prikazan je u tabeli 5.8.

Tabela 5.8. Budžet mernih nesigurnosti merenja napona V_x na krajevima termopara

Veličina	Procena	Standardna nesigurnost	Verovatnoća raspodele	Koeficijent osetljivosti	Doprinos nesigurnosti
V_s	29260,983 μV	$0,45/\sqrt{3}$ μV	pravougaona	1	0,26 μV
ΔV_r	0 μV	$(0,005/\sqrt{3})$ μV	pravougaona	0,0952 °C/ μV	0,0029 μV
ΔT	0,4 °C	(0,36) °C	normalna	42 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	15,12 μV
ΔT_{ox}	0 °C	$(0,1/\sqrt{3})$ °C	pravougaona	39 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	2,25 μV
ΔV_{LX}	0 μV	$(6/\sqrt{3})$ μV	pravougaona	1	3,47 μV
ΔV_a	0 °C	3,53 μV	normalna	1	3,53 μV
C_x	0,0238 °C/ μV		konstanta		
I/ C_x	42 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		konstanta		
C_{xo}	0,0256 °C/ μV		konstanta		
I/ C_{xo}	39 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		konstanta		
V_x	29277,95 μV		normalna		16,07 μV

5.7.7. Rezultat etaloniranja

Proširena merna nesigurnost pridružena merenju temperature peći je:

$$U = k \cdot u(T_x) = 2 \cdot 0,36 \text{ } ^\circ\text{C} = 0,72 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Proširena merna nesigurnost pridružena elektromotornoj sili termopara koji se etalonira je:

$$U = k \cdot u(V_x) = 2 \cdot 16,07 \text{ } \mu\text{V} = 32,14 \text{ } \mu\text{V} .$$

Rezultat etaloniranja termopara K tip na temperaturi 700 °C, pri čemu je njegov referentni spoj bio na 0 °C, je elektromotorna sila koja se javila na njegovim krajevima od:

$$29277,95 \text{ } \mu\text{V} \pm 32,14 \text{ } \mu\text{V} .$$

Navedena proširena merna nesigurnost merenja napona na krajevima termopara koji se etalonira kada je hladni spoj na 0 °C utvrđena je kao standardna merna nesigurnost pomnožena sa koeficijentom proširenja $k = 2$, koji za normalnu raspodelu odgovara nivou poverenja od približno 95%.

5.8. ZNAČAJ I DOPRINOS MERNE NESIGURNOSTI

Merna nesigurnost je kvantitativni pokazatelj rezultata merenja. Ona daje odgovor na pitanje koliko dobro rezultat predstavlja vrednost merene veličine i omogućava korisniku rezultata da oceni njegovu pouzdanost. Poznavanje merne nesigurnosti omogućuje poređenje rezultata merenja dobijenih iz različitih izvora, različitim metodama, u različitim laboratorijama i tako pomaže smanjenju trgovačkih barijera. Poznavanje merne nesigurnosti je značajno i presudno za ocenu usaglašenosti, kada se rezultat poredi sa graničnim vrednostima definisanim u specifikacijama ili propisima.

Merna nesigurnost je značajna za:

- kontrolu kvaliteta i obezbeđenje kvaliteta u proizvodnji,
- usklađivanje sa zakonom i zakonskim regulativama,
- sprovođenje osnovnih istraživanja i primenu istraživanja i razvoja u nauci i praksi,
- etaloniranje etalona i merila i sprovođenje ispitivanja u okviru nacionalnog metrološkog sistema, sa ciljem da se postigne sledljivost do nacionalnih, odnosno međunarodnih etalona,
- razvoj, održavanje i poređenje međunarodnih i nacionalnih referentnih etalona uključujući i referentne materijale,
- akreditaciju laboratorija za etaloniranje i ispitivanje.

6. PRORAČUN MERNE NESIGURNOSTI AKVIZICIONIH SISTEMA

Rezultat svakog realnog merenja, pa time i merenje akvizicionim sistemom, sadrži u sebi određenu mernu nesigurnost. Nesigurnost rezultata merenja je posledica nedostataka egzaktnog poznavanja mernog procesa i vrednosti koja se meri. To znači da se idealno tačna vrednost merene veličine ne može saznati. Uzroci mernih nesigurnosti mogu biti veoma brojni i po pravilu se ne mogu svi uzeti u obzir.

Svi parametri motora izmereni na ispitnoj stanici pomoću akvizicionog sistema sadrže u sebi određenu mernu nesigurnost. Zato je potrebno svakom izmerenom parametru motora pridružiti proširenu mernu nesigurnost U . Uz to treba dati koeficijent proširenja k , funkciju raspodele izmerenih vrednosti i vrednost statističke sigurnosti izmerenih vrednosti. Do sada publikovani radovi iz ove oblasti vrše opis akvizicionih sistema uz davanje podataka o njihovoj klasi tačnosti, ali ne i podataka o mernoj nesigurnosti konkretnih merenja.

U ovoj glavi opisaću postupak procene merne nesigurnosti za sve signale koji se mere akvizicionim sistemima za jedan stacionarni radni režim motora Viper 632-41 i motora MM-17. Predstaviću i poređenje mernih nesigurnosti za signale koji su snimani u stabilnom radnom režimu *maksimal MI* motora MM – 17, pre i posle modernizacije ovog akvizicionog sistema.

6.1. REZULTATI PRORAČUNA MERNE NESIGURNOSTI ZA TMM VIPER

TMM tip Viper 632-41 serijski broj 63241429Y ispitivan je na stacionarnoj ispitnoj stanici u radnom režimu *maksimal 100%* 11 minuta. Tek nakon dve minute stabilizacije rada motora na ovom radnom režimu izvršeno je po 10 merenja akvizicionim sistemom za svih 16 signala koji se koriste za proračun korigovanih parametara motora. Da bi režim rada *maksimal 100%* bio stabilan nastojalo se u toku ispitivanja TMM-a da broj obrtaja kompresora N1 što manje menja vrednost. Vrednosti izmerene akvizicionim sistemom date su u tabeli 6.1. i 6.2. U tabeli 6.1. i 6.2. za svaki signal pored izmerenih vrednosti data je srednja vrednost x_s , standardno odstupanje s i standardna merna nesigurnost tip A u_A . Standardna merna nesigurnost tip A svakog signala za deset merenja računa se kao standardno odstupanje srednje vrednosti prema sledećoj formuli

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{10}} .$$

Temperatura izduvnih gasova T4 se meri pomoću 4 termopara, ali su oni na motoru spojeni u paralelu, tako da na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3497A dolazi samo jedan signal.

Tabela 6.1. Vrednosti izmerene akvizicionim sistemom u režimu *maksimal 100%*

rb	Vreme	T1 [°C]	T4 [°C]	N1 [%]	Ro [lb]	Qg [lb/h]	Vibracije [in/s]	Bo [mbar]	dBo [mbar]
1	12:16:36	21,361	720,13	99,923	3754,9	3758,3	0,378	1012,01	0,755
2	12:18:10	21,389	721,16	99,913	3757,2	3760,3	0,381	1012,03	0,753
3	12:19:03	21,418	722,72	99,876	3766,5	3762,5	0,382	1012,07	0,751
4	12:20:42	21,364	720,33	99,882	3762,8	3761,2	0,385	1012,05	0,747
5	12:21:34	21,382	719,24	99,923	3752,4	3758,4	0,381	1012,02	0,743
6	12:22:25	21,425	721,28	99,907	3746,8	3757,2	0,38	1011,99	0,747
7	12:23:45	21,373	722,85	99,918	3754,4	3759,1	0,376	1011,96	0,75
8	12:25:17	21,376	720,18	99,886	3767,2	3760,6	0,373	1011,98	0,753
9	12:26:55	21,419	722,67	99,872	3754,6	3761,5	0,377	1012,01	0,752
10	12:27:42	21,352	719,46	99,906	3761,3	3762,3	0,382	1012,04	0,756
proračun									
x_s		21,386	721,002	99,9006	3757,81	3760,14	0,3795	1012,016	0,7507
s		0,0262	1,359	0,0198	6,52	1,81	0,0035	0,033	0,004
u_A		0,0083	0,43	0,0063	2,06	0,57	0,0011	0,011	0,0013

Tabela 6.2. Vrednosti izmerene akvizicionim sistemom u režimu maksimal 100%

rb	Vreme	P_{uum} [bar]	P_2 [bar]	P_{gum} [bar]	P_{sg} [bar]	P_{uuhp} [bar]	P_{uihp} [bar]	P_{mvA} [bar]	P_{mvB} [bar]
1	12:16:36	2,053	7,215	2,439	2,371	2,623	215,25	0,664	0,817
2	12:18:10	2,05	7,212	2,442	2,373	2,621	215,36	0,665	0,819
3	12:19:03	2,049	7,209	2,444	2,37,5	2,618	215,42	0,664	0,816
4	12:20:42	2,051	7,213	2,442	2,373	2,62	215,27	0,667	0,818
5	12:21:34	2,053	7,217	2,443	2,372	2,623	215,36	0,665	0,815
6	12:22:25	2,052	7,213	2,443	2,372	2,621	215,29	0,662	0,817
7	12:23:45	2,054	7,208	2,441	2,374	2,622	215,14	0,665	0,817
8	12:25:17	2,052	7,215	2,439	2,373	2,624	215,07	0,661	0,815
9	12:26:55	2,051	7,217	2,441	2,371	2,622	215,11	0,665	0,818
10	12:27:42	2,049	7,214	2,443	2,369	2,621	215,05	0,664	0,815
proračun									
x_s		2,0514	7,2133	2,4417	2,372	2,6215	215,232	0,6642	0,8167
s		0,0017	0,003	0,00170	0,0015	0,0017	0,13	0,0017	0,0014
u_A		0,0005	0,001	0,00054	0,00047	0,0005	0,04	0,0005	0,0004

U tabeli 6.3. za svaki signal data je standardna merna nesigurnost tip A u_A , standardna merna nesigurnost tip B u_B , standardna kombinovana merna nesigurnost u_c , funkcija raspodele kombinovane merne nesigurnosti, koeficijent proširenja k kombinovane merne nesigurnosti, statistička sigurnost P kombinovane merne nesigurnosti, proširena kombinovana merna nesigurnost Uc i krajnji rezultat merenja koji predstavlja zbir srednje vrednosti i proširene kombinovane merne nesigurnosti $x_s \pm Uc$. U daljem tekstu za svaki signal koji je sniman u režimu *maksimal 100%* biće detaljno opisan proračun merne nesigurnosti (skraćeno MN).

Tabela 6.3. Proračun MN za vrednosti izmerene u režimu maksimal 100%

Merni signal	u_A	u_B	u_c	Funkcija raspodele	k	P	Uc	Rezultat merenja
Tl [°C]	0,0083	0,17	0,17	Gausova	2	95 %	0,34	$21,386 \pm 0,34$
$T4$ [°C]	0,43	3,19	3,22	Gausova	2	95 %	6,44	$721,002 \pm 6,44$
Nl [%]	0,0063	0,0385	0,039	Gausova	2	95 %	0,078	$99,9 \pm 0,078$
Ro [lb]	2,06	4,87	5,28	Gausova	2	95 %	10,57	$3757,81 \pm 10,6$
Qg [lb/h]	0,57	11,08	11,1	Gausova	2	95 %	22,2	$3760,14 \pm 22,2$
$Vibracije$ [in/s]	0,0011	0,026	0,026	Gausova	2	95 %	0,053	$0,3795 \pm 0,053$
Bo [mbar]	0,011	0,43	0,43	Gausova	2	95 %	0,86	$1012,02 \pm 0,86$
dBo [mbar]	0,0013	0,058	0,058	Gausova	2	95 %	0,116	$0,7507 \pm 0,116$
P_{gum} [bar]	0,00054	0,0043	0,0043	Gausova	2	95 %	0,0087	$2,442 \pm 0,0087$
P_{uum} [bar]	0,0005	0,0061	0,0061	Gausova	2	95 %	0,0123	$2,051 \pm 0,0123$
P_2 [bar]	0,001	0,009	0,009	Gausova	2	95 %	0,019	$7,2133 \pm 0,019$
P_{sg} [bar]	0,00047	0,0043	0,0043	Gausova	2	95 %	0,0086	$2,372 \pm 0,0086$
P_{uuhp} [bar]	0,0005	0,0043	0,0043	Gausova	2	95 %	0,0087	$2,622 \pm 0,0087$
P_{uihp} [bar]	0,04	0,22	0,225	Gausova	2	95 %	0,45	$215,232 \pm 0,45$
P_{mvA} [bar]	0,0005	0,0006	0,0008	Gausova	2	95 %	0,0016	$0,664 \pm 0,0016$
P_{mvB} [bar]	0,0004	0,0006	0,0008	Gausova	2	95 %	0,0016	$0,817 \pm 0,0016$
P_{gok} [bar]	0	0,067	0,134	Gausova	2	95 %	0,134	
P_{gdk} [bar]	0	0,1	0,2	Gausova	2	95 %	0,2	

Napomena: Pritisci goriva osnovnog kolektora P_{gok} i dopunskog kolektora P_{gdk} mere se samo prilikom ispitivanja motora VIPER 633-41. Pošto su u tabeli 6.3. prikazani rezultati proračuna MN-i za stacionarni radni režim motora VIPER 632-41, nema komponente MN-i tip A za ove pritiske. Prikazana je samo komponenta MN-i tip B koja ne zavisi od izmerene vrednosti.

Primer 6.1.1. (Kombinovana MN za merenje temperature vazduha na ulazu u motor T1)

Temperatura vazduha na ulazu u motor *T1* meri se pomoću otpornog termometra Pt100 i elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 1) V koji je proporcionalan izmerenoj temperaturi. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri temperaturu *T1*. U katalogu proizvođača instrument za merenje temperature *T1* daje se podatak da se njegova greška merenja temperature nalazi u granicama $\pm 0,5$ F. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 1 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,16$ mV. Maksimalna merna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo temperaturu *T1* je $\pm 0,1$ °C. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti temperature, prikazanih u tabeli 6.1., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 21,386$ °C i standardno odstupanje $s = 0,0262$ °C. Standardna MN tip A merenja temperature *T1* jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0083$ °C.

Standardna MN tip B sastoji se od MN otpornog termometra u_{OT} , MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Prilikom etaloniranja temperature *T1* na ispitnoj stanici, kao nerastavljiva celina etalonira se otporni termometar i elektronski instrument. Tako da se kao dominantna uzima u obzir samo MN elektronskog instrumenta, a MN otpornog termometra se zanemaruje u proračunu ukupne MN. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje temperature *T1*, uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,5$ F (odnosno $a = 0,278$ °C). Standardna MN elektronskog instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 0,16$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,16$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje temperature *T1* promena izlaznog napona (koji je proporcionalan temperaturi *T1*) od 1 mV odgovara promeni temperature *T1* od 0,1 F, pa je poluširina $a = 0,016$ F (odnosno $a = 0,0089$ °C). Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,0051$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,1$ °C. Standardna MN je $u_E = a / \sqrt{3} = 0,058$ °C. Ove tri nesigurnosti (u_i , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,17 \text{ °C.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,17 \text{ °C.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost od 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,34$ °C.

Primer 6.1.2. (Kombinovana MN za merenje temperature izduvnih gasova T4)

Temperatura izduvnih gasova *T4* meri se pomoću termopara K tip i elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 1) V koji je proporcionalan izmerenoj temperaturi. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri temperaturu *T4*. U katalogu proizvođača instrument za merenje temperature *T4* daje se podatak da se njegova greška merenja temperature nalazi u granicama ± 1 °C. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 1 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,16$ mV. Maksimalna merna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo indikator temperature *T4* je $\pm 0,5$ °C. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti temperature, prikazanih u tabeli 6.1., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 721,002$ °C i standardno odstupanje $s = 1,359$ °C. Standardna MN tip A merenja temperature *T4* jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,43$ °C.

Standardna MN tip B sastoji se od MN termopara K tip u_{TP} , MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona kojim etaloniramo indikator temperature u_E .

Na osnovu pravilnika o metrološkim uslovima za termoparove MUS.13MS0201-01, uzimamo da uticaj termopara K tip (na temperaturi 721 °C) na MN rezultata merenja temperature ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 5,4$ °C. Standardna MN $u_{TP} = a / \sqrt{3} = 3,12$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje temperature T_4 , uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1$ °C. Standardna MN elektronskog instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 0,58$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,16$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje temperature T_4 promena izlaznog napona (koji je proporcionalan temperaturi T_4) od 1 mV odgovara promeni temperature T_4 od 1 °C, pa je poluširina $a = 0,16$ °C. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,092$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona sa kojim etaloniramo indikator temperature T_4 na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,5$ °C. Standardna MN je $u_E = a / \sqrt{3} = 0,29$ °C. Ove četiri nesigurnosti (u_{TP} , u_i , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_{TP}^2 + u_i^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 3,19 \text{ °C.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 3,22 \text{ °C.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 6,44$ °C.

Primer 6.1.3. (Kombinovana MN za merenje broja obrtaja kompresora niskog pritiska N1)

Broj obrtaja kompresora niskog pritiska N1 meri se pomoću elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 10) V koji je proporcionalan izmerenom broju obrtaja. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri broj obrtaja N1. U katalogu proizvođača daje se podatak da instrument za merenje broja obrtaja ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,06$ %. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo broj obrtaja N1 je $\pm 0,0001$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti broja obrtaja, prikazanih u tabeli 6.1., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 99,9$ % i standardno odstupanje $s = 0,0198$ %. Standardna MN tip A merenja broja obrtaja N1 jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0063$ %.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje broja obrtaja kompresora niskog pritiska N1, uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,06$ %. Standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 0,0347$ %. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje broja obrtaja N1, promena izlaznog napona (koji je proporcionalan broju obrtaja kompresora niskog pritiska) od 1 mV odgovara promeni broja obrtaja N1 od 0,018 %, pa je poluširina $a = 0,029$ %. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,0166$ %. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona vidi se da je MN etalona znatno manja od MN elektronskog merača broja obrtaja, pa se MN etalona zanemaruje u proračunu MN tip B. Ove dve nesigurnosti (u_i i u_{AS}) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2} = 0,0385 \% .$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,039 \% .$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,078 \%$.

Primer 6.1.4. (Kombinovana MN za merenje potiska motora Ro)

Potisak motora Ro meri se pomoću elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 1) V koji je proporcionalan izmerenom potisku motora. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri potisak motora Ro. U katalogu proizvođača daje se podatak da instrument za merenje potiska u kombinaciji sa mernom ćelijom za silu, ima maksimalnu grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,2 \%$. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 1 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,16$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo potisak Ro je $\pm 0,1 \%$. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti potiska motora, prikazanih u tabeli 6.1., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 3757,81$ lb i standardno odstupanje $s = 6,52$ lb. Standardna MN tip A merenja potiska Ro jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 2,06$ lb.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje potiska Ro, uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 7,515$ lb. Standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 4,34$ lb. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,16$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje potiska motora, promena izlaznog DC napona od 1 mV odgovara promeni potiska motora od 4 lb, pa je poluširina $a = 0,64$ lb. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,38$ lb. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 3,76$ lb. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 2,17$ lb. Ove tri nesigurnosti (u_i , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi $u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 4,87$ lb.

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 5,28 \text{ lb.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 10,57$ lb.

Primer 6.1.5. (Kombinovana MN za merenje protoka goriva Qg)

Protok goriva Qg meri se pomoću turbinskog merača protoka i elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom protoku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri protok goriva Qg. U katalogu proizvođača daje se podatak da instrument za merenje protoka zajedno sa turbinskim davačem protoka ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,5 \%$. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,548$ mV. Maksimalna nesigurnost

etalona sa kojim etaloniramo protok goriva je $\pm 0,1$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti protoka goriva, prikazanih u tabeli 6.1., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 3760,14$ lb/h i standardno odstupanje $s = 1,81$ kg/h. Standardna MN tip A merenja protoka goriva Q_g jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,57$ lb/h.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog instrumenta za merenje protoka goriva u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje protoka goriva Q_g , uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 18,8$ kg/h. Standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 10,85$ lb/h. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,16$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje protoka goriva promeni napona na izlazu instrumenta od 1 mV odgovara promena protoka na turbini od 6,55 lb/h, pa je poluširina $a = 1,05$ lb/h. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,6$ lb/h. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 3,76$ lb/h. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 2,18$ lb/h. Ove tri nesigurnosti (u_i , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 11,08 \text{ lb/h.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 11,1 \text{ lb/h.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 22,2$ lb/h.

Primer 6.1.6. (Kombinovana MN za merenje vibracija na motoru)

Vibracije na motoru mere se pomoću elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 1) V koji je proporcionalan izmerenim vibracijama. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri vibracije na motoru. U katalogu proizvođača daje se podatak da instrument za merenje vibracija ima grešku merenja koja se nalazi u granicama ± 3 % od punog opsega 1,5 in/s. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 1 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,16$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo vibracije je $\pm 0,5$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti vibracija motora, prikazanih u tabeli 6.1., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 0,3795$ in/s i standardno odstupanje $s = 0,0035$ in/s. Standardna MN tip A merenja vibracija na motoru jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0011$ in/s.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje vibracija na motoru, uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,045$ in/s. Pa je onda standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 0,026$ in/s. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,16$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje vibracija, promena izlaznog napona od 1 V odgovara promeni vibracija od 1,5 in/s. Tako da promena napona od 1 mV odgovara promeni protoka od 0,0015 in/s, pa je poluširina $a = 0,00024$ in/s. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,000139$ in/s. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0075$ in/s.

Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,0043$ in/s. Ove tri nesigurnosti (u_i , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,026 \text{ in/s.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,026 \text{ in/s.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,053$ in/s.

Primer 6.1.7. (Kombinovana MN za merenje barometarskog pritiska vazduha Bo)

Barometarski pritisak vazduha *Bo* meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri barometarski pritisak vazduha *Bo*. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.1. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 1012,016$ mbar i standardno odstupanje $s = 0,033$ mbar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,011$ mbar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 800 mbar do 1200 mbar), uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,3$ mbar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,173$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog DC napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,3 mbar, pa je poluširina $a = 0,48$ mbar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,277$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,5$ mbar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,28$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,43 \text{ mbar}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,43 \text{ mbar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,86$ mbar.

Primer 6.1.8. (Kombinovana MN za merenje pada pritiska vazduha u uvodniku vazduha dBo)

Pad pritiska vazduha u uvodniku vazduha *dBo* meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 10) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak *dBo*. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama ± 1 % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica

HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.1. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 0,756$ mbar i standardno odstupanje $s = 0,004$ mbar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0013$ mbar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska, uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,1$ mbar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,058$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog DC napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,001 mbar, pa je poluširina $a = 0,0016$ mbar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,0009$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0005$ mbar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,00029$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,058 \text{ mbar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,058 \text{ mbar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,116$ mbar.

Primer 6.1.9. (Kombinovana MN za merenje pritiska goriva na ulazu u motor Pgum)

Pritisak goriva na ulazu u motor Pgum meri se pomoću elektronskog davača pritiska koji meri apsolutni pritisak. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak Pgum. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska, prikazanih u tabeli 6.2., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 2,4417$ bar i standardno odstupanje $s = 0,0017$ bar. Standardna MN tip A merenja pritiska Pgum jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,00054$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN merenja barometarskog pritiska Bo u_{Bo} , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 7 bar apsolutno), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,007$ bar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,004$ bar. Na osnovu proračuna kombinovane merne nesigurnosti za merenje barometarskog pritiska Bo u ovom radnom režimu, koji je već opisan u primeru 6.1.7., uzima se da je standardna MN $u_{Bo} = 0,43$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog DC napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,0014 bar, pa je poluširina $a = 0,00224$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,00129$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima

pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0012$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,7$ mbar. Ove četiri nesigurnosti (u_d , u_{Bo} , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{Bo}^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,0043 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,00435 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,0087$ bar.

Primer 6.1.10. (Kombinovana MN za merenje pritiska ulja na ulazu u motor Puum)

Pritisak ulja na ulazu u motor Puum meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak Puum. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska, prikazanih u tabeli 6.2., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 2,0514$ bar i standardno odstupanje $s = 0,0017$ bar. Standardna MN tip A merenja pritiska Pgum jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0005$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg davača 0 bar do 10 bar), uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,01$ bar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,0058$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,002 bar, pa je poluširina $a = 0,0032$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,00185$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,001$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,6$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,0061 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,0061 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,0123$ bar.

Primer 6.1.11. (Kombinovana MN za merenje pritiska vazduha iza kompresora P2)

Pritisak vazduha iza kompresora P2 meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak P2. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku

merjenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merjenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merjenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska, prikazanih u tabeli 6.2., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 7,2133$ bar i standardno odstupanje $s = 0,003$ bar. Standardna MN tip A merjenja pritiska $P2$ jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,001$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg davača 0 bar do 15 bar), uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merjenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,015$ bar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,00867$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merjenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,003 bar, pa je poluširina $a = 0,0048$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,00277$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merjenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0036$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 2$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,009 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,009 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,019$ bar.

Primer 6.1.12. (Kombinovana MN za merenje pritiska startnog goriva P_{sg})

Pritisak startnog goriva P_{sg} meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Meranjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak P_{sg} . U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merjenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merjenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merjenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska, prikazanih u tabeli 6.2., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 2,372$ bar i standardno odstupanje $s = 0,0015$ bar. Standardna MN tip A merjenja pritiska P_{sg} jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,00047$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg davača 0 bar do 7 bar), uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merjenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,007$ bar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,004$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merjenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,0014 bar, pa je poluširina $a = 0,00224$ bar. Pa je onda standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,00129$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merjenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom

$a = 0,0012$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,7$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,0043 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,0043 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,0086$ bar.

Primer 6.1.13. (Kombinovana MN za merenje pritiska ulja na ulazu u hidropumpu *Puuhp*)

Pritisak ulja na ulazu u hidropumpu *Puuhp* meri se pomoću elektronskog davača pritiska koji meri apsolutni pritisak. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak *Puuhp*. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska, prikazanih u tabeli 6.2., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 2,6215$ bar i standardno odstupanje $s = 0,0017$ bar. Standardna MN tip A merenja pritiska *Puuhp* jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0005$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN merenja barometarskog pritiska Bo u_{Bo} , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 7 bar apsolutno), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,007$ bar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,004$ bar. Na osnovu proračuna kombinovane merne nesigurnosti za merenje barometarskog pritiska Bo u ovom radnom režimu, koji je već opisan u primeru 6.1.7., uzima se da je standardna MN $u_{Bo} = 0,43$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog DC napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,0014 bar, pa je poluširina $a = 0,00224$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,00129$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0012$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,7$ mbar. Ove četiri nesigurnosti (u_d , u_{Bo} , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{Bo}^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,0043 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,00436 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,0087$ bar.

Primer 6.1.14. (Kombinovana MN za merenje pritiska ulja na izlazu iz hidropumpe Puihp)

Pritisak ulja na izlazu iz hidropumpe *Puihp* meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak *Puihp*. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska, prikazanih u tabeli 6.2., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 215,232$ bar i standardno odstupanje $s = 0,13$ bar. Standardna MN tip A merenja pritiska *Puihp* jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,04$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg davača 0 bar do 350 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,35$ bar. Pa je onda standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,202$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,07 bar, pa je poluširina $a = 0,112$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,064$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,1$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,062$ bar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,22 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,225 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,45$ bar.

Primer 6.1.15. (Kombinovana MN za merenje pritiska motorskog vazduha A PmvA)

Pritisak motorskog vazduha A *PmvA* meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak *PmvA*. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska, prikazanih u tabeli 6.2., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 0,6642$ bar i standardno odstupanje $s = 0,0017$ bar. Standardna MN tip A merenja pritiska *PmvA* jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0005$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 1 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,001$ bar. Pa je onda standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,00058$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog

napona od 1 mV odgovara promeni pritiska na ulazu od 0,0002 bar, pa je poluširina $a = 0,00032$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,000185$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,00033$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,19$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,00063 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,00083 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,00166$ bar.

Primer 6.1.16. (Kombinovana MN za merenje pritiska motorskog vazduha B PmvB)

Pritisak motorskog vazduha B PmvB meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak PmvB. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska, prikazanih u tabeli 6.2., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 0,8167$ bar i standardno odstupanje $s = 0,0014$ bar. Standardna MN tip A merenja pritiska PmvB jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0004$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 1 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,001$ bar. Pa je onda standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,00058$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog napona od 1 mV odgovara promeni pritiska na ulazu od 0,0002 bar, pa je poluširina $a = 0,00032$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,000185$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,00041$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,29$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,00065 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,00079 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,0016$ bar.

Primer 6.1.17. (Proširena MN za merenje pritiska goriva osnovnog kolektora P_{gok})

Pritisak goriva osnovnog kolektora P_{gok} meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak P_{gok} . U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Ovaj pritisak se meri samo na motorima tip VIPER 633-41. Tako da za motor tip VIPER 632-41 serijski broj 63241429Y koji je ispitivan je na stacionarnoj ispitnoj stanici u radnom režimu *maksimal 100%* nema komponente MN tip A. Za ovaj radni režim je zato prikazana samo tip B komponenta MN.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 100 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,1$ bar. Pa je onda standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,058$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog napona od 1 mV odgovara promeni pritiska na ulazu od 0,02 bar, pa je poluširina $a = 0,032$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,0185$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,05$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,029$ bar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,067 \text{ bar.}$$

Proširena MN dobija se množeći u_B koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa B u ovom slučaju pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,134$ bar.

Primer 6.1.18. (Proširena MN za merenje pritiska goriva dopunskog kolektora P_{gdk})

Pritisak goriva dopunskog kolektora P_{gdk} meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak P_{gdk} . U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3497A na mernom opsegu od 10 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 1,6$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Ovaj pritisak se meri samo na motorima tip VIPER 633-41. Tako da za motor tip VIPER 632-41 serijski broj 63241429Y koji je ispitivan je na stacionarnoj ispitnoj stanici u radnom režimu *maksimal 100%* nema komponente MN tip A. Za ovaj radni režim je zato prikazana samo tip B komponenta MN.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A u_{AS} i MN etalona sa kojim se vrši etaloniranje davača u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 150 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,15$ bar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,0867$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1,6$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog napona od 1 mV odgovara promeni pritiska na ulazu od 0,03 bar, pa je poluširina $a = 0,048$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,028$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,075$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,043$ bar. Ove tri nesigurnosti (u_d ,

u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,1 \text{ bar.}$$

Proširena MN dobija se množeći u_B koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa B u ovom slučaju pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,2 \text{ bar.}$

6.2. REZULTATI PRORAČUNA MERNE NESIGURNOSTI ZA TMM MM-17

Nakon modernizacije akvizicionog sistema koji je ugrađen na stacionarnu ispitnu stanicu za ispitivanje TMM-a ruske proizvodnje, TMM tip MM - 17 serijski broj G71325043 ispitivan je u radnom režimu *maksimal M1* 9 minuta. Tek nakon dve minute stabilizacije rada motora na ovom radnom režimu izvršeno je po 10 merenja akvizicionim sistemom za svih 22 signala koji se koriste za proračun korigovanih parametara motora. Da bi režim rada motora bio stabilan u toku ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici, nastoji se da broj obrtaja kompresora niskog pritiska N1 bude što stabilniji. Vrednosti izmerene akvizicionim sistemom date su u tabeli 6.4. i 6.5. U tabeli 6.4. i 6.5. za svaki signal pored izmerenih vrednosti data je srednja vrednost x_s , standardno odstupanje s i standardna merna nesigurnost tip A u_A . Standardna merna nesigurnost tip A svakog signala za deset merenja računa se kao standardno odstupanje srednje vrednosti prema sledećoj formuli

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{10}}.$$

Temperature vazduha iza kompresora $T21$, $T22$, $T23$ i $T24$ mere se na motoru istovremeno sa četiri termopara K-tip. Sa svakog termopara merni signal se kompenzacionim kablom K-tip paralelno vodi do digitalnog instrumenta na komandno upravljačkom pultu i na akvizicioni sistem. U tabeli 6.4. $T2$ predstavlja srednju vrednost od četiri izmerene temperature $T2 = (T21 + T22 + T23 + T24)/4$. Standardno odstupanje i standardna merna nesigurnost tip A za temperaturu $T2$, izračunati su prema srednjoj vrednosti ove četiri temperature.

Temperatura izduvnih gasova $T4$ se meri pomoću četiri termopara, ali su oni na motoru spojeni u paralelu, tako da na akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3852A dolazi samo jedan signal.

Tabela 6.4. Vrednosti izmerene u režimu *maksimal M1* za TMM tip MM - 17

rb	Vreme	$T1$ [°C]	$T2$ [°C]	$T4$ [°C]	$N1$ [%]	$N2$ [%]	Ro [lb]	Qg [kg/h]	Bo [mbar]	dBo [mbar]
1	13:24:17	19,632	343,25	656,24	100,125	99,726	8032,4	3552,6	958,03	9,465
2	13:24:56	19,628	343,52	657,89	100,133	99,735	8041,6	3554,3	958,05	9,523
3	13:25:53	19,672	343,94	658,64	100,138	99,715	8050,1	3557,2	958,01	9,565
4	13:26:41	19,653	344,25	657,13	100,116	99,698	8033,6	3553,8	958,07	9,498
5	13:27:58	19,689	344,12	656,24	100,095	99,673	8025,3	3550,1	957,98	9,445
6	13:28:45	19,697	343,94	655,53	100,104	99,692	8027,6	3547,6	957,95	9,471
7	13:29:42	19,626	343,65	656,14	100,086	99,676	8019,4	3552,3	958,01	9,405
8	13:30:37	19,652	343,71	657,95	100,113	99,685	8022,3	3548,4	957,98	9,462
9	13:31:24	19,702	343,45	658,75	100,094	99,704	8014,6	3546,3	958,03	9,535
10	13:32:38	19,683	343,34	659,47	100,126	99,723	8037,1	3552,8	958,05	9,456
proračun										
x_s		19,663	343,72	657,4	100,113	99,703	8030,4	3551,5	958,02	9,4825
s		0,029	0,336	1,33	0,0178	0,0216	10,76	3,38	0,0375	0,0476
u_A		0,0092	0,106	0,42	0,0056	0,0068	3,4	1,07	0,0118	0,015

Tabela 6.5. Vrednosti izmerene u režimu maksimal M1 za TMM tip MM - 17

rb	Vreme	H_s [mbar]	P_2 [bar]	P_{2bar} [bar]	P_2' [bar]	P_2'' [bar]	P_2''' [bar]	P_{gdcn} [bar]	P_{gdfk} [bar]	Vibracije [mils]
1	10:03:36	173,82	8,75	8,76	2,045	5,005	0,663	2,065	4,452	0,563
2	10:04:10	173,75	8,77	8,73	2,047	5,009	0,662	2,062	4,453	0,566
3	10:06:03	173,79	8,76	8,75	2,046	5,012	0,663	2,052	4,451	0,557
4	10:07:42	173,65	8,73	8,76	2,048	5,005	0,661	2,061	4,452	0,553
5	10:09:34	173,74	8,75	8,73	2,046	5,009	0,663	2,069	4,449	0,561
6	10:10:15	173,86	8,74	8,74	2,044	5,011	0,664	2,072	4,451	0,567
7	10:10:45	173,78	8,78	8,76	2,045	5,003	0,661	2,065	4,449	0,554
8	10:13:27	173,76	8,77	8,75	2,046	4,999	0,663	2,063	4,452	0,563
9	10:15:55	173,68	8,74	8,76	2,045	5,012	0,661	2,067	4,45	0,568
10	10:19:52	173,79	8,73	8,73	2,046	5,004	0,662	2,075	4,452	0,557
proračun										
x_s		173,76	8,752	8,747	2,0458	5,0069	0,6623	2,0651	4,451	0,561
s		0,062	0,0175	0,0134	0,00113	0,00436	0,00106	0,00638	0,00137	0,0054
u_A		0,0196	0,0055	0,0042	0,00036	0,00138	0,00033	0,002	0,00043	0,0017

Tabela 6.6. Proračun MN za vrednosti izmerene u režimu maksimal M1

Merni signal	u_A	u_B	u_C	Funkcija raspodele	k	P	U_C	Rezultat merenja
$T1$ [°C]	0,0092	0,297	0,297	Gausova	2	95 %	0,595	$19,663 \pm 0,595$
$T2$ [°C]	0,106	1,5	1,51	Gausova	2	95 %	3,01	$343,72 \pm 3,01$
$T4$ [°C]	0,42	2,63	2,67	Gausova	2	95 %	5,34	$657,4 \pm 5,34$
$N1$ [%]	0,0056	0,0147	0,0157	Gausova	2	95 %	0,031	$100,113 \pm 0,031$
$N2$ [%]	0,0068	0,0147	0,0162	Gausova	2	95 %	0,032	$99,703 \pm 0,032$
Ro [lb]	3,4	11,7	12,2	Gausova	2	95 %	24,4	$8030,4 \pm 24,4$
Qg [kg/h]	1,07	11,4	11,5	Gausova	2	95 %	23	$3551,5 \pm 23$
Bo [mbar]	0,0118	0,668	0,668	Gausova	2	95 %	1,34	$958,02 \pm 1,34$
dBo [mbar]	0,015	0,058	0,06	Gausova	2	95 %	0,12	$9,482 \pm 0,12$
H_s [mbar]	0,0196	2,3	2,3	Gausova	2	95 %	4,6	$173,76 \pm 4,6$
P_2 [bar]	0,0055	0,037	0,038	Gausova	2	95 %	0,076	$8,752 \pm 0,076$
P_{2bar} [bar]	0,0042	0,037	0,038	Gausova	2	95 %	0,075	$8,747 \pm 0,075$
P_2' [bar]	0,00036	0,036	0,036	Gausova	2	95 %	0,072	$2,0458 \pm 0,073$
P_2'' [bar]	0,00138	0,015	0,015	Gausova	2	95 %	0,03	$5,0069 \pm 0,03$
P_2''' [bar]	0,00033	0,015	0,015	Gausova	2	95 %	0,03	$0,6623 \pm 0,03$
P_{gdcn} [bar]	0,002	0,036	0,036	Gausova	2	95 %	0,072	$2,0651 \pm 0,072$
P_{gdfk} [bar]	0,00043	0,23	0,23	Gausova	2	95 %	0,46	$4,451 \pm 0,46$
Vibracije [mils]	0,0017	0,009	0,0091	Gausova	2	95 %	0,018	$0,561 \pm 0,018$

Pritisci vazduha u uvodniku vazduha H_{s1} i H_{s2} mere se u novoj izvedbi akvizicionog sistema pomoću dva elektronska davača pritiska. U tabeli 6.5. H_s predstavlja srednju vrednost od dva izmerena pritiska $H_s = (H_{s1} + H_{s2})/2$. Standardno odstupanje i standardna merna nesigurnost tip A za pritisak H_s , računati su prema srednjoj vrednosti ova dva pritiska.

U režimu maksimal M1 pritisci P_2' , P_2'' , P_2''' , P_{gdcn} i P_{gdfk} imaju vrednosti koje su sa početka mernog opsega davača. Njihove izmerene vrednosti se ne koriste u proračunu korigovanih parametara režima maksimal M1. Prilikom ispitivanja motora u forsaznim režimima ovi pritisci imaju puno veće vrednosti i tada se koriste za proračun korigovanih parametara motora. Ispitivanje motora u forsaznim režimima je vremenski ograničeno zbog velikih opterećenja kojima je motor pri tome izložen, tako da se javljaju puno veće promene svih mernih signala na motoru nego kada se motor ispituje u režimu

maksimal MI. Upravo zbog toga je MN i za ove pritiske izračunata u režimu *maksimal MI* da bi bili ostvareni isti uslovi ispitivanja (a posebno broj obrtaja kompresora niskog pritiska *NI*) za sve signale u dužem vremenskom periodu.

U tabeli 6.5. za svaki signal data je standardna merna nesigurnost tip A u_A , standardna merna nesigurnost tip B u_B , standardna kombinovana merna nesigurnost u_c , funkcija raspodele kombinovane merne nesigurnosti, koeficijent proširenja k kombinovane merne nesigurnosti, statistička sigurnost kombinovane merne nesigurnosti P , proširena kombinovana merna nesigurnost U_c i krajnji rezultat merenja koji predstavlja zbir srednje vrednosti i proširene kombinovane merne nesigurnosti $x_s \pm U_c$. U daljem tekstu za svaki signal koji je sniman u režimu *maksimal MI* biće detaljno opisan proračun merne nesigurnosti.

Primer 6.2.1. (*Kombinovana MN za merenje temperature vazduha na ulazu u motor T1*)

Temperatura vazduha na ulazu u motor *T1* meri se pomoću otpornog termometra Pt100 i elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 10) V koji je proporcionalan izmerenoj temperaturi. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri temperaturu *T1*. U katalogu proizvođača instrument za merenje temperature *T1* daje se podatak da se njegova greška merenja temperature nalazi u granicama $\pm 0,5$ °C. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 30 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 5,7$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo temperaturu *T1* nalazi se u granicama $\pm 0,1$ °C. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti temperature *T1*, prikazanih u tabeli 6.4., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 19,663$ °C i standardno odstupanje $s = 0,029$ °C. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0092$ °C.

Standardna MN tip B sastoji se od MN otpornog termometra u_{OT} , MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Prilikom etaloniranja temperature *T1* na ispitnoj stanici, kao nerastavljiva celina etalonira se otporni termometar i elektronski instrument. Tako da se kao dominantna uzima u obzir samo MN elektronskog instrumenta, a MN otpornog termometra se zanemaruje u proračunu ukupne MN. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje temperature *T1*, uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,5$ °C. Standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 0,29$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 5,7$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje temperature *T1* promena izlaznog napona (koji je proporcionalan temperaturi *T1* i koji se vodi na akvizicioni sistem) od 1 mV odgovara promeni temperature *T1* od 0,01 °C, pa je poluširina $a = 0,057$ °C. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,033$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, sa kojim etaloniramo temperaturu *T1*, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,1$ °C. Standardna MN je $u_E = a / \sqrt{3} = 0,058$ °C. Ove tri nesigurnosti (u_i , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,297 \text{ °C.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,297 \text{ °C.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost od 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,595$ °C.

Primer 6.2.2. (Kombinovana MN za merenje temperature vazduha iza kompresora T2)

Temperatura vazduha iza kompresora T2 meri se pomoću termopara K tip. Akvizicioni sistem meri ovu temperaturu sa kompenzacijom hladnog kraja. U katalogu proizvođača daje se podatak da akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A ima grešku kompenzacije temperature hladnog kraja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ °C. Na mernom opsegu od 30 mV akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A ima grešku merenja napona koja se nalazi u granicama ± 30 μ V.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti temperature T2, prikazanih u tabeli 6.4., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 343,72$ °C i standardno odstupanje $s = 0,336$ °C. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,106$ °C.

Standardna MN tip B sastoji se od MN termopara K tip koji se koristi kao davač temperature u_{TP} , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN kompenzacije temperature hladnog kraja pri merenju temperature sa termoparom u_{HK} . Na osnovu pravilnika o metrološkim uslovima za termoparove MUS.13MS0201-01, uzimamo da uticaj termopara K tip (na temperaturi 343 °C) na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 2,5$ °C. Standardna MN $u_{TP} = a / \sqrt{3} = 1,44$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 30$ μ V. Za termopar K tip promeni temperature od 1 °C (na temperaturi 343 °C) odgovara promena napona od 41 μ V, pa je poluširina $a = 0,75$ °C. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,43$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj kompenzacije temperature hladnog kraja na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,1$ °C. Standardna MN $u_{HK} = a / \sqrt{3} = 0,058$ °C. Ove tri nesigurnosti (u_{TP} , u_{AS} i u_{HK}) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_{TP}^2 + u_{AS}^2 + u_{HK}^2} = 1,5$$
 °C.

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 1,51$$
 °C.

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 3,01$ °C.

Primer 6.2.3. (Kombinovana MN za merenje temperature izduvnih gasova T4)

Temperatura izduvnih gasova T4 meri se pomoću termopara K tip. Akvizicioni sistem meri ovu temperaturu sa kompenzacijom hladnog kraja. U katalogu proizvođača daje se podatak da akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A ima grešku kompenzacije temperature hladnog kraja koja se nalazi u granicama $\pm 0,1$ °C. Na mernom opsegu od 30 mV kontrolna jedinica HP3852A ima grešku merenja napona koja se nalazi u granicama ± 30 μ V.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti temperature T4, prikazanih u tabeli 6.4., izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 657,4$ °C i standardno odstupanje $s = 1,33$ °C. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,42$ °C.

Standardna MN tip B sastoji se od MN termopara K tip koji se koristi kao davač temperature u_{TP} , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN kompenzacije temperature hladnog kraja pri merenju temperature sa termoparom u_{HK} . Na osnovu pravilnika o metrološkim uslovima za termoparove MUS.13MS0201-01, uzimamo da uticaj termopara K tip (na temperaturi 657 °C) na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 4,5$ °C. Standardna MN $u_{TP} = a / \sqrt{3} = 2,6$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 30$ μ V. Za termopar K tip promeni temperature od 1 °C (na temperaturi 657 °C) odgovara promena napona od 43 μ V, pa je poluširina $a = 0,75$ °C. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,43$ °C. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da

uticaj kompenzacije temperature hladnog kraja na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Standardna MN $u_{HK} = a / \sqrt{3} = 0,058 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ove tri nesigurnosti (u_{TP} , u_{AS} i u_{HK}) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_{TP}^2 + u_{AS}^2 + u_{HK}^2} = 2,63 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 2,67 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 5,36 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Primer 6.2.4. (Kombinovana MN za merenje broja obrtaja kompresora niskog pritiska N1)

Broj obrtaja kompresora niskog pritiska N1 meri se pomoću elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 3) V koji je proporcionalan izmerenom broju obrtaja. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri broj obrtaja N1. U katalogu proizvođača daje se podatak da instrument za merenje broja obrtaja ima maksimalnu grešku $\pm 0,015 \text{ } \%$. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 3 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,548 \text{ mV}$. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo broj obrtaja N1 je $\pm 0,0001 \text{ } \%$. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti broja obrtaja N1 prikazanih u tabeli 6.4. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 100,113 \%$ i standardno odstupanje $s = 0,0178 \text{ } \%$. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0056 \text{ } \%$.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje broja obrtaja kompresora niskog pritiska N1, uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0147 \text{ } \%$. Standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 0,0085 \text{ } \%$. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,548 \text{ mV}$. Kod elektronskog instrumenta za merenje broja obrtaja N1, promena izlaznog napona (koji je proporcionalan broju obrtaja N1) od 1 mV odgovara promeni broja obrtaja N1 od 0,04 %, pa je poluširina $a = 0,021 \text{ } \%$. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,012 \text{ } \%$. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona vidi se da je MN etalona znatno manja od elektronskog merača broja obrtaja, pa se ona zanemaruje u proračunu MN tip B. Ove dve nesigurnosti (u_i i u_{AS}) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2} = 0,0147 \text{ } \%.$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,0157 \text{ } \%.$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,0315 \text{ } \%$.

Primer 6.2.5. (Kombinovana MN za merenje broja obrtaja kompresora visokog pritiska N2)

Broj obrtaja kompresora visokog pritiska N2 meri se pomoću elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 3) V koji je proporcionalan izmerenom broju obrtaja. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri broj obrtaja N2. U katalogu proizvođača daje se podatak da

instrument za merenje broja obrtaja ima maksimalnu grešku $\pm 0,015$ %. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 3 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,548$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo broj obrtaja N_2 je $\pm 0,0001$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti broja obrtaja N_2 prikazanih u tabeli 6.4. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 99,703$ % i standardno odstupanje $s = 0,0216$ %. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0068$ %.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje broja obrtaja kompresora visokog pritiska N_2 , uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0147$ %.

Standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 0,0085$ %. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,548$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje broja obrtaja N_2 , promena izlaznog napona (koji je proporcionalan broju obrtaja N_2) od 1 mV odgovara promeni broja obrtaja N_2 od 0,04 %, pa je poluširina $a = 0,021$ %. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,012$ %. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona vidi se da je MN etalona znatno manja od elektronskog merača broja obrtaja, pa se ona zanemaruje u proračunu MN tip B. Ove dve nesigurnosti (u_i i u_{AS}) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2} = 0,0147 \text{ \%}.$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,0162 \text{ \%}.$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,0324$ %.

Primer 6.2.6. (Kombinovana MN za merenje potiska motora Ro)

Potisak motora Ro meri se pomoću elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje naponski signal (0 do 5) V koji je proporcionalan izmerenom potisku motora. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri potisak motora Ro . U katalogu proizvođača daje se podatak da instrument za merenje potiska u kombinaciji sa mernom ćelijom za silu, ima maksimalnu grešku merenja potiska koja se nalazi u granicama $\pm 0,2$ %. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 3 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,548$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo potisak Ro je $\pm 0,1$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti potiska motora prikazanih u tabeli 6.4. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 8030,4$ lb i standardno odstupanje $s = 10,76$ lb. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 3,4$ lb.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje potiska Ro , uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 17,4$ lb. Standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 10$ lb. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,548$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje potiska motora, promena izlaznog DC napona od 1 mV odgovara promeni potiska od 11,25 lb, pa je poluširina $a = 6,16$ lb.

Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 3,5$ lb. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 8,7$ lb. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 5$ lb. Ove tri nesigurnosti (u_i , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 11,7 \text{ lb.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 12,2 \text{ lb.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 24,4$ lb.

Primer 6.2.7. (Kombinovana MN za merenje protoka goriva Q_g)

Protok goriva Q_g meri se pomoću elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje strujni signal (4 do 20) mA koji je proporcionalan izmerenom protoku. U akvizicionom sistemu na otporniku od 510 Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona meri se protok goriva Q_g . U katalogu proizvođača daje se podatak da instrument za merenje protoka ima maksimalnu grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,5$ %. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 3 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,548$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo protok goriva je $\pm 0,1$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti protoka goriva prikazanih u tabeli 6.4. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 3551,5$ kg/h i standardno odstupanje $s = 3,38$ kg/h. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 1,07$ kg/h.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN korišćenog etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje protoka goriva Q_g , uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 19,05$ kg/h. Standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 11$ kg/h. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja napona ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,548$ mV. Kod elektronskog instrumenta za merenje protoka goriva, promena struje na izlazu iz instrumenta od 1 mA odgovara promeni protoka od 3708 kg/h. Tako da promena izlaznog DC napona od 1 mV odgovara promeni protoka od 7,27 kg/h, pa je poluširina $a = 3,98$ kg/h. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 2,3$ kg/h. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 3,81$ kg/h. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 2,2$ kg/h. Ove tri nesigurnosti (u_i , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 11,45 \text{ kg/h.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 11,5 \text{ kg/h.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 23$ kg/h.

Primer 6.2.8. (Kombinovana MN za merenje barometarskog pritiska vazduha Bo)

Barometarski pritisak vazduha Bo meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje strujni signal (4 do 20) mA koji je proporcionalan izmerenom pritisku. U akvizicionom sistemu na otporniku od 510Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona meri se barometarski pritisak vazduha Bo . U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,25 \%$ od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 30 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 5,7$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05 \%$. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.4. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 958,02$ mbar i standardno odstupanje $s = 0,0375$ mbar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0118$ mbar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 800 mbar do 1200 mbar), uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 1$ mbar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,578$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 5,7$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlazne DC struje od 1 mA odgovara promeni pritiska od 25 mbar. Tako da promena izlaznog DC napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,049 mbar, pa je poluširina $a = 0,279$ mbar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,16$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona sa kojim radimo etaloniranje ovog pritiska, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,51$ mbar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,295$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,668 \text{ mbar}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,668 \text{ mbar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 1,34$ mbar.

Primer 6.2.9. (Kombinovana MN za merenje pada pritiska vazduha u uvodniku vazduha dBo)

Pad pritiska vazduha u uvodniku vazduha dBo meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 10) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak dBo . U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 1 \%$ od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 30 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 5,7$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05 \%$. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.4. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 9,487$ mbar i standardno odstupanje $s = 0,013$ mbar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,015$ mbar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska, uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,1$ mbar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,058$ mbar. Na

osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 5,7$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog DC napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,001 mbar, pa je poluširina $a = 0,0057$ mbar. Pa je onda standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,0033$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,005$ mbar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,0029$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,058 \text{ mbar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,06 \text{ mbar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,12$ mbar.

Primer 6.2.10. (Kombinovana MN za merenje pritiska vazduha u uvodniku vazduha H_s)

Pritisak vazduha u uvodniku vazduha H_s meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje naponski signal (0 do 10) V koji je proporcionalan izmerenom pritisku. Merenjem ovog napona akvizicioni sistem meri pritisak H_s . U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama ± 1 %. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 30 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 5,7$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.5. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 173,76$ mbar i standardno odstupanje $s = 0,062$ mbar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0196$ mbar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska, uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 4$ mbar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 2,3$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 5,7$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlaznog napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,04 mbar, pa je poluširina $a = 0,228$ mbar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,132$ mbar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,09$ mbar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,052$ mbar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 2,3 \text{ mbar}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 2,3 \text{ mbar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 4,6$ mbar.

Primer 6.2.11. (Kombinovana MN za merenje pritiska vazduha iza kompresora P2)

Pritisak vazduha iza kompresora P2 meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje strujni signal (4 do 20) mA koji je proporcionalan izmerenom pritisku. U akvizicionom sistemu na otporniku od 510Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona meri se pritisak P2. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,25 \%$ od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 30 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 5,7$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05 \%$. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.5. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 8,752$ bar i standardno odstupanje $s = 0,0175$ bar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0055$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 25 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,625$ bar. Pa je onda standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,036$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 5,7$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena struje na izlazu iz davača od 1 mA odgovara promeni pritiska na ulazu u davač od 1,56 bar. Tako da promena napona na ulazu u akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3852A od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,00306 bar, pa je poluširina $a = 0,0174$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,01$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0043$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,0025$ bar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,037 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,038 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,076$ mbar.

Primer 6.2.12. (Kombinovana MN za merenje pritiska vazduha iza kompresora P2bar)

Pritisak vazduha iza kompresora P2bar meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje strujni signal (4 do 20) mA koji je proporcionalan izmerenom pritisku. U akvizicionom sistemu na otporniku od 510Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona meri se pritisak P2bar. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,25 \%$ od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 30 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 5,7$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05 \%$. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.5. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 8,747$ bar i standardno odstupanje $s = 0,0134$ bar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0042$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 25 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN

rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,625$ bar. Pa je onda standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,036$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 5,7$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena struje na izlazu iz davača od 1 mA odgovara promeni pritiska na ulazu u davač od 1,56 bar. Tako da promena napona na ulazu u akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3852A od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,00306 bar, pa je poluširina $a = 0,0174$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,01$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0043$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,0025$ bar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,037 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,038 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,075$ mbar.

Primer 6.2.13. (Kombinovana MN za merenje pritiska vazduha iza kompresora P2')

Pritisak vazduha iza kompresora P2' meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje strujni signal (4 do 20) mA koji je proporcionalan izmerenom pritisku. U akvizicionom sistemu na otporniku od 510 Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona meri se pritisak P2'. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,25$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 3 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,548$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.5. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 2,0458$ bar i standardno odstupanje $s = 0,00113$ bar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,00036$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 25 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,625$ bar. Pa je onda standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,036$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,548$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena struje na izlazu iz davača od 1 mA odgovara promeni pritiska na ulazu u davač od 1,56 bar. Tako da promena napona na ulazu u akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3852A od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,00306 bar, pa je poluširina $a = 0,00167$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,00096$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,001$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,00058$ bar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,0374 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,0374 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,075 \text{ mbar}$.

Primer 6.2.14. (Kombinovana MN za merenje pritiska vazduha iza kompresora P2")

Pritisak vazduha iza kompresora P2" meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje strujni signal (4 do 20) mA koji je proporcionalan izmerenom pritisku. U akvizicionom sistemu na otporniku od 510 Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona meri se pritisak P2". U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,25$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 30 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 5,7 \text{ mV}$. Maksimalna nesigurnost etalona kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.5. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 5,0069 \text{ bar}$ i standardno odstupanje $s = 0,00436 \text{ bar}$. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,00138 \text{ bar}$.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona sa kojim se davač etalonira u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 10 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,025 \text{ bar}$. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,0144 \text{ bar}$. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 5,7 \text{ mV}$. Kod upotrebljenog elektronskog davača pritiska, promena struje na izlazu iz davača od 1 mA odgovara promeni pritiska na ulazu u davač od 0,625 bar. Tako da promena DC napona na ulazu u akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3852A od 1 mV odgovara promeni ulaznog pritiska od 0,001225 bar, pa je poluširina $a = 0,007 \text{ bar}$. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,004 \text{ bar}$. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0025 \text{ bar}$. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,0014 \text{ bar}$. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,015 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,015 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,03 \text{ mbar}$.

Primer 6.2.15. (Kombinovana MN za merenje pritiska vazduha iza kompresora $P2'''$)

Pritisak vazduha iza kompresora $P2'''$ meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje strujni signal (4 do 20) mA koji je proporcionalan izmerenom pritisku. U akvizicionom sistemu na otporniku od 510Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona meri se pritisak $P2'''$. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,25 \%$ od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 3 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,548$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05 \%$. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.5. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 0,6623$ bar i standardno odstupanje $s = 0,00106$ bar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,00033$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona sa kojim se davač etalonira u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 10 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,025$ bar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,0144$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,548$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena struje na izlazu iz davača od 1 mA odgovara promeni pritiska na ulazu u davač od 0,625 bar. Tako da promena napona na ulazu u akviziciono-kontrolnu jedinicu HP3852A od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,001225 bar, pa je poluširina $a = 0,00067$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,00039$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja pritiska ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,00033$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,00019$ bar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,015 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,015 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,03$ mbar.

Primer 6.2.16. (Kombinovana MN za merenje pritiska goriva iz pumpe DCN $Pgdcn$)

Pritisak goriva iz pumpe DCN $Pgdcn$ meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje strujni signal (4 do 20) mA koji je proporcionalan izmerenom pritisku. U akvizicionom sistemu na otporniku od 510Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona meri se pritisak $Pgdcn$. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,25 \%$ od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 3 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,548$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05 \%$. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.5. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 2,0651$ bar i standardno odstupanje $s = 0,00638$ bar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,002$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona sa kojim se davač etalonira u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 25 bar), uzimamo da uticaj ovog

davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,625$ bar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,036$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,548$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena izlazne struje iz davača od 1 mA odgovara promeni pritiska od 1,56 bar. Tako da promena napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,00306 bar, pa je poluširina $a = 0,00167$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,00096$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,001$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,00058$ bar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,036 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,036 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,072$ mbar.

Primer 6.2.17. (Kombinovana MN za merenje pritiska goriva dopunskog forsažnog kolektora *Pgdffk*)

Pritisak goriva dopunskog forsažnog kolektora *Pgdffk* meri se pomoću elektronskog davača pritiska. Ovaj davač daje strujni signal (4 do 20) mA koji je proporcionalan izmerenom pritisku. U akvizicionom sistemu na otporniku od 510 Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona meri se pritisak *Pgdffk*. U katalogu proizvođača daje se podatak da davač pritiska ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 0,25$ % od mernog opsega. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 3 V ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 0,548$ mV. Maksimalna nesigurnost etalona kojim etaloniramo pritisak je $\pm 0,05$ %. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti pritiska prikazanih u tabeli 6.5. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 4,451$ bar i standardno odstupanje $s = 0,00137$ bar. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,00043$ bar.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog davača pritiska u_d , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona sa kojim se davač etalonira u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog davača pritiska (merni opseg 0 bar do 160 bar), uzimamo da uticaj ovog davača na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,4$ bar. Standardna MN $u_d = a / \sqrt{3} = 0,2312$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,548$ mV. Kod elektronskog davača pritiska, promena DC struje na izlazu iz davača od 1 mA odgovara promeni pritiska na ulazu u davač od 10 bar. Tako da promena DC napona od 1 mV odgovara promeni pritiska od 0,0196 bar, pa je poluširina $a = 0,0107$ bar. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,0062$ bar. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ovog pritiska goriva ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,0022$ bar. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,0013$ bar. Ove tri nesigurnosti (u_d , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_d^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,23 \text{ bar.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,23 \text{ bar.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,46 \text{ mbar}$.

Primer 6.2.18. (Kombinovana MN za merenje vibracija na motoru)

Vibracije na motoru mere se pomoću elektronskog instrumenta. Ovaj instrument daje strujni signal (0 do 0,51) mA koji je proporcionalan izmerenim vibracijama. U akvizicionom sistemu na otporniku od 100 Ω ova struja pravi pad napona. Merenjem ovog pada napona mere se vibracije na motoru. U katalogu proizvođača daje se podatak da instrument za merenje vibracija na motoru ima grešku merenja koja se nalazi u granicama $\pm 1 \%$, od punog opsega 1,5 mils. Akviziciono-kontrolna jedinica HP3852A na mernom opsegu od 30 mV ima maksimalnu grešku merenja napona koja se nalazi u granicama $\pm 20 \mu\text{V}$. Maksimalna nesigurnost etalona sa kojim etaloniramo vibracije je $\pm 0,5 \%$. Odrediti standardnu i proširenu kombinovanu MN u slučaju date serije ponovljenih merenja.

Rešenje Na osnovu deset izmerenih vrednosti vibracija prikazanih u tabeli 6.5. izračunata je srednja vrednost signala $x_s = 0,561 \text{ mils}$ i standardno odstupanje $s = 0,0054 \text{ mils}$. Standardna MN tip A za deset merenja jednaka je $u_A = s / \sqrt{10} = 0,0017 \text{ mils}$.

Standardna MN tip B sastoji se od MN elektronskog instrumenta u_i , MN akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A u_{AS} i MN etalona sa kojim se etalonira merni sistem koji čini davač vibracija i elektronski instrument za merenje vibracija na motoru u_E . Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača elektronskog instrumenta za merenje vibracija na motoru, uzimamo da uticaj ovog instrumenta na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,015 \text{ mils}$. Standardna MN instrumenta je $u_i = a / \sqrt{3} = 0,0087 \text{ mils}$. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A, uzimamo da uticaj akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A na MN rezultata merenja napona ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 20 \mu\text{V}$. Kod elektronskog instrumenta za merenje vibracija, promena struje na izlazu iz instrumenta od 0,1 mA odgovara promeni vibracija na ulazu od 1,6 mils. Ova struja stvara pad napona na otporniku koji se nalazi u akviziciono-kontrolnoj jedinici. Tako da promena napona od 1 mV odgovara promeni vibracija od 0,16 mils, pa je poluširina $a = 0,0033 \text{ mils}$. Standardna MN $u_{AS} = a / \sqrt{3} = 0,0019 \text{ mils}$. Na osnovu podataka iz kataloga proizvođača etalona, uzimamo da uticaj etalona na MN rezultata merenja ima pravougaonu raspodelu sa poluširinom $a = 0,00195 \text{ mils}$. Standardna MN $u_E = a / \sqrt{3} = 0,0011 \text{ mils}$. Ove tri nesigurnosti (u_i , u_{AS} i u_E) koje čine MN tip B predstavljaju međusobno nekorelisane veličine. Ukupna standardna MN tip B iznosi

$$u_B = \sqrt{u_i^2 + u_{AS}^2 + u_E^2} = 0,009 \text{ mils.}$$

Nesigurnosti tip A i tip B uvek predstavljaju nekorelisane veličine, jer se određuju potpuno različitim postupcima. Otuda se standardna kombinovana MN određuje izrazom

$$u_{cAB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,0091 \text{ mils.}$$

Proširena kombinovana MN dobija se množeći u_c koeficijentom proširenja k čija vrednost zavisi od funkcije raspodele. Nesigurnosti tipa A, shodno centralnoj graničnoj teoremi odgovara Gausova raspodela. Nesigurnosti tipa B pridružena je pravougaona raspodela. Kombinovanoj MN u_{cAB} pridružena je Gausova raspodela sa koeficijentom proširenja $k = 2$ i statističkom sigurnosti od 95 %. Dakle, proširena kombinovana MN, kojoj odgovara sigurnost 95 %, iznosi $U_c = k \cdot u_c \approx 0,018 \text{ mils}$.

6.3. POREĐENJE REZULTATA MERENJA NA TMM-A MM-17

U poglavlju 6.2. predstavljeni su rezultati merenja parametara TMM-a MM-17 (serijski broj G71325043), koji su izmereni pomoću akvizicionog sistema u stabilnom radnom režimu *maksimal M1*, nakon izvršene modernizacije akvizicionog sistema. Na osnovu ovih podataka za svaki merni signal izračunata je merna nesigurnost tip A. U odnosu na srednje izmerene vrednosti, za svaki merni signal, izračunata je merna nesigurnost tip B. Pri tome su uzeti u obzir svi raspoloživi podaci i saznanja o korišćenoj mernoj opremi, etalonima i uticaju parametara okruženja na merne rezultate. Na kraju je za svaki merni signal izračunata i kombinovana merna nesigurnost, kao kombinacija merne nesigurnosti tip A i merne nesigurnosti tip B. U mom magistarskom radu "Razvoj i etaloniranje akvizicionog sistema na stanici za ispitivanje turbo-mlaznih motora" predstavio sam rezultate merenja parametara TMM-a MM-17 (serijski broj G82425122), koji su izmereni u stabilnom radnom režimu *maksimal M1* sa prvobitnom izvedbom akvizicionog sistema. U tabeli 6.6. prikazani su uporedni rezultati srednje vrednosti x_s , standardnog odstupanja s , procentualnog standardnog odstupanja $S\%$ i proširene kombinovane merne nesigurnosti U_C , za sve signale koji su izmereni akvizicionim sistemom u stabilnom radnom režimu *maksimal M1*, pre i posle modernizacije akvizicionog sistema. Na dijagramima prikazanim na slici 6.1., slici 6.2. i slici 6.3. predstavljen je odnos procentualnog standardnog odstupanja $S\%$ svakog signala pre i posle modernizacije akvizicionog sistema. Procentualno standardno odstupanje $S\%$ izračunato je kao procentualna vrednost standardnog odstupanja s za deset merenja, u odnosu na srednju vrednost signala x_s , prema sledećoj formuli

$$S\% = \frac{s}{x_s} \cdot 100\%, \quad (6.1)$$

osim za temperaturu vazduha na ulazu u motor T_I , gde je procentualno standardno odstupanje $S\%$ izračunato je kao procentualna vrednost standardnog odstupanja deset merenja, u odnosu na $15\text{ }^\circ\text{C}$, prema sledećoj formuli

$$S\% = \frac{s}{15} \cdot 100\%. \quad (6.2)$$

Tabela 6.6. Poređenje rezultata merenja i mernih nesigurnosti u režimu $M1$ za motor MM-17

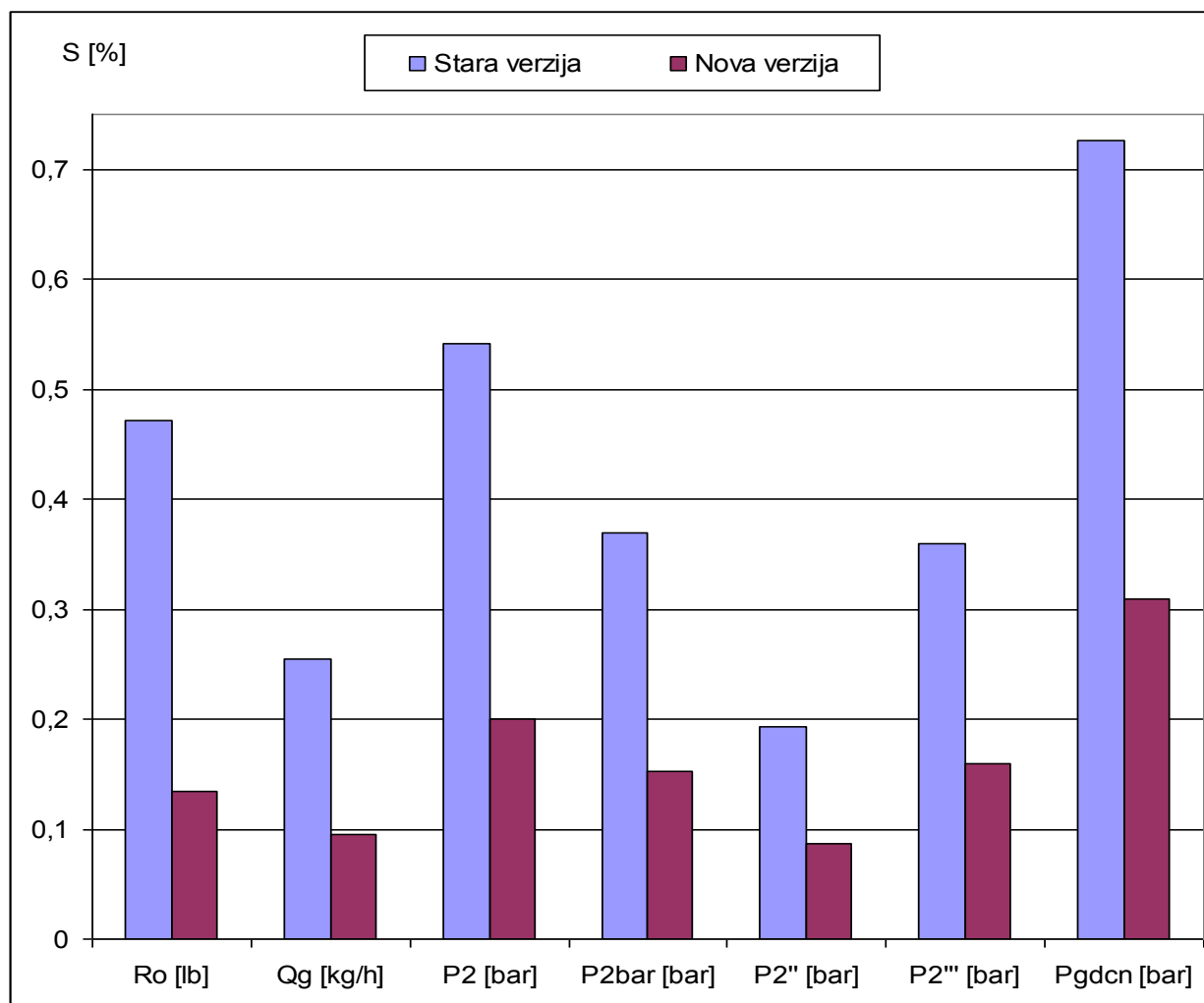
Merni signal	Pre modernizacije				Posle modernizacije			
	x_s	s	$S\%$	U_C	x_s	s	$S\%$	U_C
T_I [$^\circ\text{C}$]	2,066	0,095	0,64	0,76	19,663	0,029	0,19	0,595
T_2 [$^\circ\text{C}$]	306,09	1,146	0,37	3,8	343,72	0,336	0,098	3,01
T_4 [$^\circ\text{C}$]	608,49	4,3	0,7	6,6	657,4	1,33	0,2	5,34
$N1$ [%]	98,275	0,0577	0,059	0,054	100,113	0,0178	0,0177	0,031
$N2$ [%]	97,535	0,0699	0,072	0,06	99,703	0,0216	0,022	0,032
Ro [lb]	8712,2	41,05	0,47	46	8030,4	10,76	0,134	24,4
Qg [kg/h]	3811,3	9,71	0,255	31,6	3551,5	3,38	0,095	23
Bo [mbar]	1020,12	0,119	0,012	2,06	958,02	0,0375	0,0039	1,34
dBo [mbar]	6,783	0,969	14,3	0,62	9,482	0,0476	0,5	0,12
Hs [mbar]	181,49	0,283	0,156	2,4	173,76	0,062	0,036	4,6
P_2 [bar]	8,545	0,046	0,54	0,1	8,752	0,0175	0,2	0,076
P_{2bar} [bar]	8,567	0,0316	0,37	0,1	8,747	0,0134	0,153	0,075
$P_{2'}$ [bar]	2,44	0,0025	0,125	0,075	2,0458	0,00113	0,055	0,072
$P_{2''}$ [bar]	4,953	0,0096	0,194	0,04	5,0069	0,00436	0,087	0,03
$P_{2'''}$ [bar]	0,654	0,0023	0,36	0,03	0,6623	0,00106	0,16	0,03
P_{gdcn} [bar]	2,575	0,0149	0,73	0,074	2,0651	0,00638	0,31	0,072
P_{gdfk} [bar]	4,414	0,0039	0,089	0,48	4,451	0,00137	0,03	0,46
Vibracije [mils]	0,391	0,019	4,9	0,026	0,561	0,0054	0,96	0,018

Ovakav način izračunavanja relativnog standardnog odstupanja za temperaturu vazduha na ulazu u motor $T1$ je primenjen, jer se prilikom ispitivanja motora na ispitnoj stanici, ova temperatura direktno zavisi od temperature vazduha okoline. U tehničkoj dokumentaciji za ispitivanje motora na stacionarnim ispitnim stanicama stoji da se motori MM-16 i MM-17 mogu ispitivati kada se temperatura okoline kreće od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Međutim praktično kod nas se ovi motori ispituju kada se temperatura okoline kreće od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Samim tim i srednja vrednost temperature vazduha na ulazu u motor $T1$ koja se može izmeriti akvizicionim sistemom kreće se od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ako bi se za izračunavanje procentualnog standardnog odstupanja $S\%$ primenila formula (6.1), onda bi za merenja temperature vazduha sa istim standardnim odstupanjem s , dobijala vrlo različita procentualna standardna odstupanja $S\%$, u zavisnosti temperature vazduha u toku ispitivanja motora. Nizom praktičnih merenja temperature vazduha na ulazu u motor, pokazalo se da brojna vrednost standardnog odstupanja s , ima približno istu vrednost unutar čitavog mernog opsega. Zbog toga sam odlučio da procentualno standardno odstupanje $S\%$ računam u odnosu na $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, jer je to temperatura prema kojoj se radi proračun korigovanih parametara motora, a ujedno to je i sredina mernog opsega ove temperature. Zato je moguće realno poređenje rezultata proračuna procentualnog standardnog odstupanja $S\%$ temperature vazduha na ulazu u motor, koja se računaju prema formuli (6.2) i kada su merenja urađena u različitim godišnjim dobima, pri različitim atmosferskim prilikama.

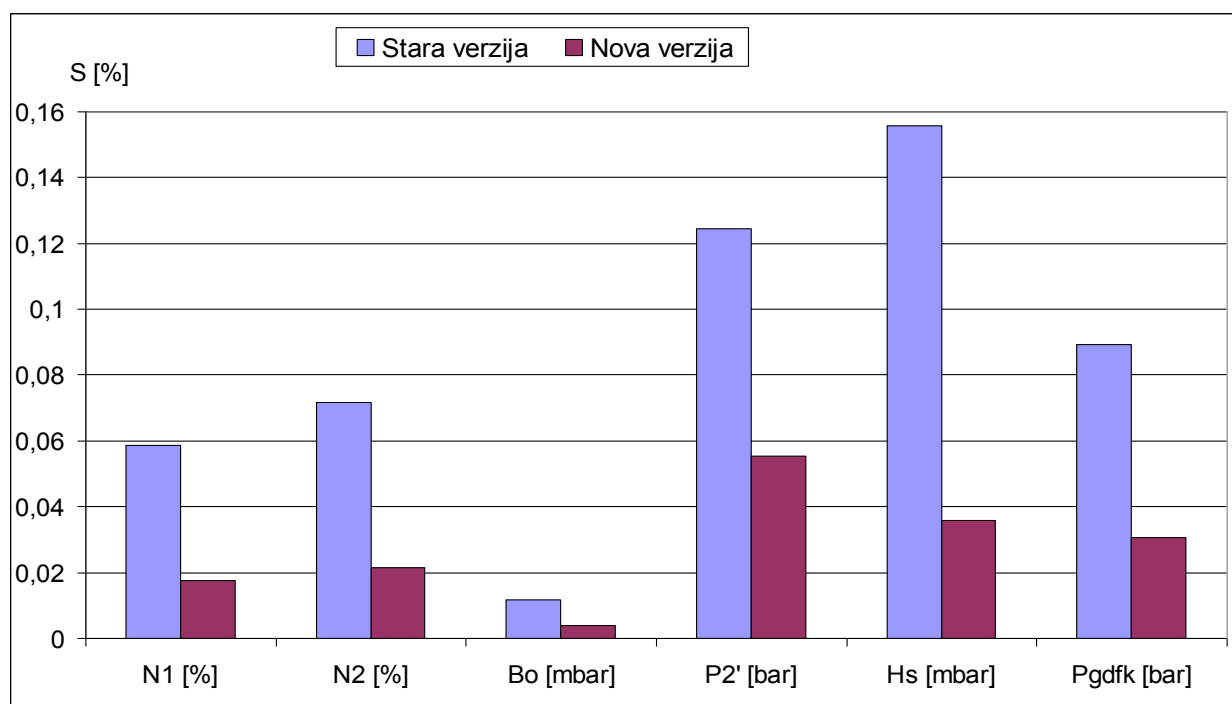
Poređenjem rezultata merenja prikazanih u tabeli 6.6., može se uočiti da je procentualno standardno odstupanje $S\%$ modernizovanog akvizicionog sistema za 2 do 4 puta manje od prvobitne izvedbe akvizicionog sistema. Izuzetak je diferencijalni pritisak dBo , kod koga je procentualno standardno odstupanje preko 20 puta manje kod modernizovanog akvizicionog sistema. Zbog toga je na dijagramu prikazanom na slici 6.3. izabrana logaritamska skala za prikaz procentualnog standardnog odstupanja $S\%$ ovog signala. Prvenstveni razlog za ovako veliko smanjenje procentualnog standardnog odstupanja leži u tome što se u novoj izvedbi akvizicionog sistema, diferencijalni pritisak dBo meri sa novom elektronskim davačem pritiska. U prvobitnoj izvedbi akvizicionog sistema sa jednim davačem pritiska merena su tri pritiska (dBo , $Hs1$ i $Hs2$), preko elektro mehaničkog selektora pritiska. Pritisci $Hs1$ i $Hs2$ imaju puno veću vrednost od pritiska dBo i to je bio glavni razlog velike merne nesigurnosti pri merenju pritiska dBo . Upotrebom novog davača, koji ima puno manji merni opseg od onog koji je korišten u prvobitnoj izvedbi, značajno je smanjena i komponenta merne nesigurnosti tip B, koja potiče od klase tačnosti davača pritiska. Pošto se klasa tačnosti za elektronske davače pritiska daje prema punom mernom opsegu davača.

Posmatranjem rezultata prikazanih u tabeli 6.5., može se uočiti, da se najmanje procentualno standardno odstupanje javlja prilikom merenja broja obrtaja motora, a zatim pri merenju pritiska. Najveće procentualno standardno odstupanje se javlja pri merenju temperatura $T2$ i $T4$ i vibracija na motoru. Ovo se objašnjava time što se broj obrtaja i pritisci na motoru relativno sporo menjaju prilikom ispitivanja motora u stabilnim radnim režimima. Sa druge strane, temperature $T2$ i $T4$ i vibracija na motoru imaju relativno brze i skokovite promene vrednosti i u stabilnim radnim režimima. Pri merenju broja obrtaja motora $N1$ i $N2$, meri se frekvencija naponskog signala. Pošto se frekvencija puno tačnije meri od svih ostalih fizičkih veličina, to je i procentualno standardno odstupanje merenja broja obrtaja motora najmanje.

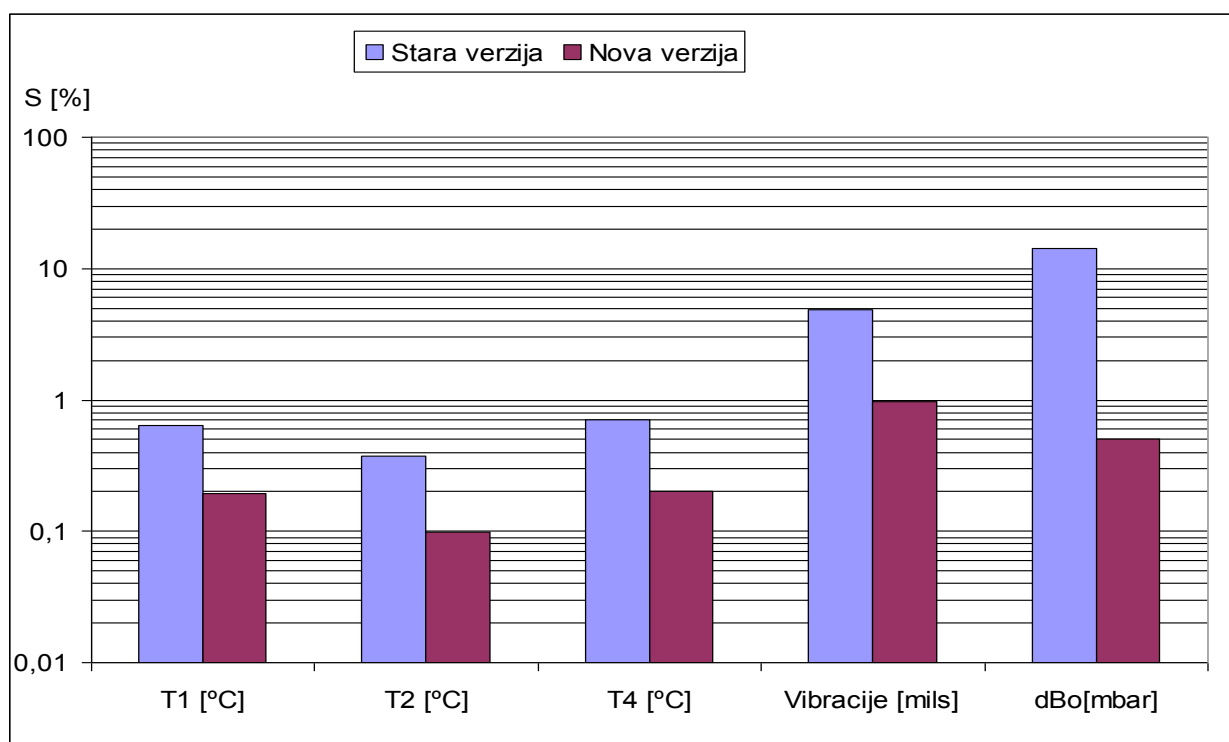
Prilikom posmatranja rezultata merenja i njima pridruženih mernih nesigurnosti, koji su prikazani u tabeli 6.6., moraju se uzeti u obzir određenja ograničenja. Prvo, ovi rezultati su dobijeni snimanjem parametara na dva motora istog tipa. Međutim, dva motora nikada nemogu imati sve iste karakteristike koje se snimaju na ispitnoj stanici. Drugo, ova dva motora su ispitivana pri različitim atmosferskim uslovima (velika razlika u temperaturi okolnog vazduha i atmosferskom pritisku). Atmosferski uslovi dosta utiču na vrednost izmerenih parametara motora na ispitnoj stanici. Kada se isti motor ispituje u različitim atmosferskim prilikama, on ima različite izmerene parametre, ali svaki motor treba da ima korigovane parametre motora u strogo definisanim granicama koje je propisao proizvođač motora. Suština korekcije izmerenih parametara motora na standardne atmosferske uslove leži u tome da se omogućí poređenje osnovnih radnih parametara motora sa parametrima koje je propisao proizvođač, a koji su dati za standardne atmosferske uslove. Sveukupno gledano, poređenjem izračunatih mernih nesigurnosti, modernizovani akvizicioni sistem ima značajno manju mernu nesigurnost, u odnosu na prvobitnu izvedbu akvizicionog sistema.



Slika 6.1. Dijagram procentualnog standardnog odstupanja parametara motora MM - 17



Slika 6.2. Dijagram procentualnog standardnog odstupanja parametara motora MM - 17



Slika 6.3. Dijagram procentualnog standardnog odstupanja parametara motora MM - 17

7. REZULTATI

Poslednja aktivnost u procesu remonta TMM-a, a pre njegove ugradnje na avion, je ispitivanje TMM-a na stacionarnoj ispitnoj stanici. Nakon završenog ispitivanja TMM-a, pravi se izveštaj o ispitivanju. Izveštaj o ispitivanju TMM-a sadrži:

- izmerene parametre motora,
- korigovane parametre motora i
- oscilogramе.

Izmereni i korigovani parametri motora daju se za stacionarne radne režime. Oscilogrami se daju za parametre koji se snimaju pri prelasku iz jednog u drugi radni režim motora.

7.1. REZULTATI MERENJA PARAMETARA TMM-A VIPER

Motori tip VIPER 632-41, VIPER 632-46 i VIPER 633-41 se ugrađuju u borbene avione Galeb i Orao. Motori tip VIPER 632-41 i VIPER 632-46 imaju sedam različitih radnih režima, sedam različitih proračuna korigovanih parametara, a time i sedam različitih izveštaja o ispitivanju motora. Motor tip VIPER 633-41 ima deset različitih radnih režima, deset različitih proračuna korigovanih parametara, a time i deset različitih izveštaja o ispitivanju motora. Ovi radni režimi se mogu podeliti na:

- režime u kojima se vrši proračun korigovanih parametara motora,
- režim u kome se snima kriva vibracija na motoru i
- režim u kome se snimaju radne krive motora.

7.1.1. Rezultati proračuna korigovanih parametara

U ovom radu prikazaću dva primera izveštaja o ispitivanju TMM-a VIPER u stacionarnim radnim režimima. Na slici 7.1. prikazan je izveštaj o ispitivanju motora VIPER 632-41 u stacionarnom radnom režimu 100%. Na slici 7.2. prikazan je izveštaj o ispitivanju motora VIPER 632-46 u stacionarnom radnom režimu 98%.

Na svakom izveštaju o ispitivanju motora obavezno treba da postoji: tip motora (VIPER 632-41, VIPER 632-46 ili VIPER 633-41), serijski broj motora, režim rada u kome je motor ispitivan i za koji je rađen proračun korigovanih parametara, ime ispitivača koji je radio ispitivanje, datum i vreme kada je urađeno merenje, kakav je bio unos izmerenih parametara motora (*automatski* ili *ručni*) i komentar gde može da se unese proizvoljan tekst koji dodatno opisuje izvršeno ispitivanje motora. Za datum i vreme ispitivanja uzima se sistemski datum i vreme sa računara. Na ovaj način otklanja se uticaj subjektivnog faktora pri unosu ovih vrednosti i sprečava da u bazi podataka o izvršenom ispitivanju motora postoje dva ispitivanja sa istim datumom i vremenom ispitivanja. Ako na izveštaju o ispitivanju unos parametara ima vrednost *automatski* (kao na slici 7.1.), to znači da su vrednosti izmerenih parametara TMM-a dobijene merenjem pomoću akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A. Ako na izveštaju o ispitivanju unos parametara ima vrednost *ručni* (kao na slici 7.2.), to znači da su vrednosti izmerenih parametara TMM-a dobijene merenjem pomoću instrumenata na komandno-upravljačkom pultu. Ručni unos izmerenih parametara TMM-a radi se samo ako se pojavio problem u radu akvizicionog sistema. Jedan od problema koji se može pojaviti je pojava smetnje na jednom ili više signala koji se mere akvizicionim sistemom, a da su svi preostali signali dobro izmereni. U tom slučaju se sa instrumenta na komandno upravljačkom pultu očita vrednost signala na kome se pojavila greška i ručno zapiše, a svi ostali signali se snime pomoću akvizicionog sistema i spase u bazu podataka. Naknadno, kada se završi ispitivanje motora ručno se unose vrednosti izmerenih parametara motora i dobija se proračun korigovanih parametara.

Nazivi izmerenih i korigovanih parametara motora dati su u skraćenom obliku. Uz naziv svakog parametra stoji i merna jedinica u kojoj se taj parametar meri. Neki izmereni parametri prikazani su u mernim jedinicama koje ne pripadaju SI sistemu mernih jedinica. Ovo je urađeno na zahtev naručioca

akvizicionog sistema koji je tražio da se poklapaju merne jedinice parametara izmerenih akvizicionim sistemom sa pokazivanjima instrumenata na komandno-upravljačkom pultu. Korigovani potisak motora Rk , prema tehnologiji ispitivanja TMM-a, dat je u jedinici kilogram sile

$$kgs = \frac{[F]}{[g]} = \frac{kg \frac{m}{s^2}}{\frac{m}{s^2}} = kg \quad (7.1)$$

Korigovana specifična potrošnja goriva CRk računa se prema formuli

$$CRk = \frac{Qvk}{Rk} \quad (7.2)$$

gde je Qvk korigovani protok goriva, a Rk korigovani potisak motora. Korigovana specifična potrošnja goriva CRk je bezdimenzionalna veličina, ali se u tehnologiji ispitivanja TMM-a ovaj koeficijent daje u jedinici $kg/(kgs \cdot h)$.

VZ ORAO ISPITNA STANICA	Izmereni parametri	Korigovani parametri
	Vibracije [in/s] 0,38	Vibracije [mm/s] 9,652
Tip motora: Viper 632-41	$T1$ [F] 70,5	$T1k$ [°C] 21,39
Serijski broj motora: 63241429Y	$T4$ [°C] 721,2	$T4k$ [°C] 695,95
Režim rada: 100%	$N1$ [%] 99,9	$N1k$ [%] 98,81
Ispitivač: Srđan	Ro [lb] 3760,1	Rk [lbs] 3747,61
Datum: 5.10.2005	Qg [lb/h] 3758,2	Qgk [lb/h] 3649,08
Vreme: 12:22:11	Bo [mbar] 1011,9	Crk [lb/(lbs·h)] 0,974
Unos parametara: Automatski	dBo [mbar] 0,35	
Broj trimera VU102262: 2	$Pgum$ [bar] 2,44	Rk [kgs] 1699,87
Broj trimera VU103115: 0	$Puum$ [bar] 2,05	Qgk [kg/h] 1655,19
dek: 343,271 mm	$P2$ [bar] 7,212	Crk [kg/(kgs·h)] 0,974
Komentar: Drugo zapuštanje	Psg [bar] 2,373	
	$Puuhp$ [bar] 2,621	
	$Puihp$ [bar] 215,36	
	$PmvA$ [bar] 0,665	
	$PmvB$ [bar] 0,819	

Slika 7.1. Izmereni i korigovani parametri motora VIPER 632-41 za režim 100%

VZ ORAO ISPITNA STANICA	Izmereni parametri		Korigovani parametri	
	Vibracije [in/s]	0,42	Vibracije [mm/s]	10,67
Tip motora: Viper 632-46	T1 [F]	70	T1k [°C]	21,11
Serijski broj motora: 63246325Y	T4 [°C]	709	T4k [°C]	685,269
Režim rada: 98%	N1 [%]	98,9	N1k [%]	97,867
Ispitivač: Srđan	Ro [lb]	3610,1	Rk [lbs]	3598,16
Datum: 27.10.2005	Qg [lb/h]	33654,2	Qgk [lb/h]	3551,98
Vreme: 13:42:11	Bo [mbar]	1012	Crk [lb/(lbs-h)]	0,9872
Unos parametara: Ručni	dBo [mbar]	0,35		
Broj trimera VU102262: 0	Pgum [bar]	2,44	Rk [kgs]	1632,09
Broj trimera VU103115: 0	Puum [bar]	2,05	Qgk [kg/h]	1611,14
dek: 343,32 mm	P2 [bar]	7,31	Crk [kg/(kgs-h)]	0,9872
Komentar: Probno zapuštanje	Psg [bar]	2,38		
	Puuhp [bar]	2,65		
	Puihp [bar]	212,4		
	PmvA [bar]	0,723		
	PmvB [bar]	0,821		

Slika 7.2. Izmereni i korigovani parametri motora VIPER 632-46 za režim 98%

Vrednosti izmerenih i korigovanih parametara koje izlaze iz granica koje je propisao proizvođač motora biće obojene crvenom bojom da bi bile lako uočljive.

Na osnovu izveštaja o ispitivanju prikazanih na slici 7.1. i slici 7.2. ispitivač može vrlo lako uočiti da ispitivani motori imaju karakteristike koje je propisao proizvođač i da nije potrebno izvršiti dodatna podešavanja na motoru.

7.1.2. Rezultati snimanja krive motora

Proizvođač Viper motora je preporučio da se kriva motora snima pri: 80%, 90%, 94%, 98%, 100%, 96%, 92%, 85%, 70%, 60%, 40%, 65% i 75% broja obrtaja motora. U toku snimanja krive motora meri se sedam mernih signala (*T1*, *N1*, *T4*, *Ro*, *Qg*, *dBo*, *Bo*). Kada se završi merenje parametara motora, izmerene vrednosti se šalju u glavni program gde se vrši proračun korigovanih parametara i pravi izveštaj za snimljeni režim. Izgled jednog izveštaja za režim snimanja krive vibracija prikazan je na slici 7.3. Svaki izveštaj o snimanju krive motora obavezno sadrži: tip motora (VIPER 632-41, VIPER 632-46 ili VIPER 633-41), serijski broj motora, režim rada u kome je motor ispitivan, ime ispitivača koji je radio

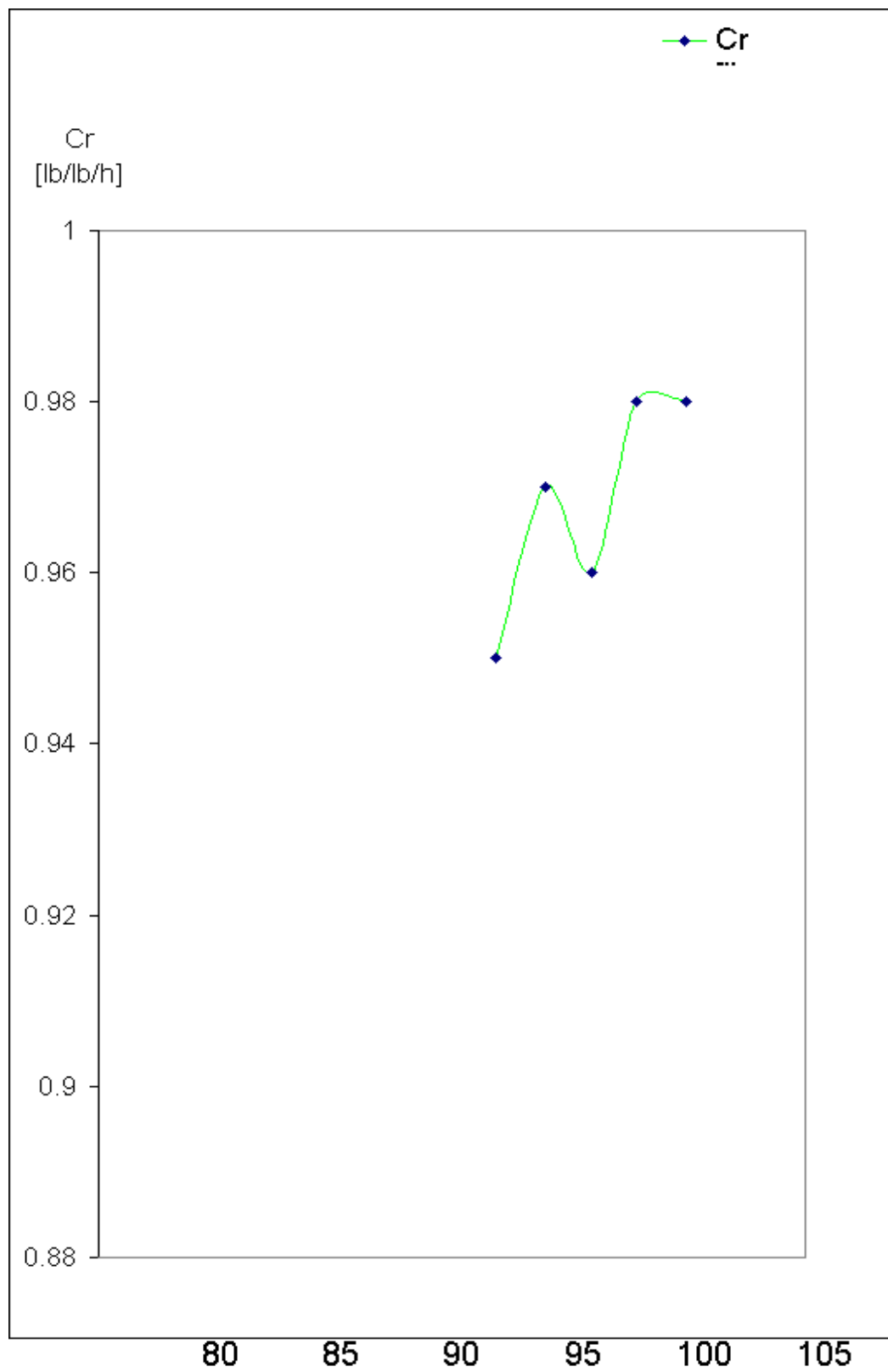
ispitivanje, datum i vreme kada je urađeno merenje, kakav je bio unos izmerenih parametara motora (*automatski* ili *ručni*) i komentar gde može da se unese proizvoljan tekst koji dodatno opisuje izvršeno ispitivanje motora. Za datum i vreme ispitivanja uzima se sistemski datum i vreme sa računara. Na ovaj način otklanja se uticaj subjektivnog faktora pri unosu ovih vrednosti i sprečava se da u bazi podataka o izvršenom ispitivanju motora postoje dva ispitivanja sa istim datumom i vremenom ispitivanja.

VZ ORAO ISPITNA STANICA

Tip motora: Viper 632-41		Svedeni korigovani parametri motora		
Serijski broj motora: 63241445Y	<i>Nk</i> [%]	95	98	100
Režim rada: Snimanje krive motora	<i>Rk</i> [lb]	3157,07	3647,5	3941,16
Ispitivač: Srđan	<i>Qgk</i> [lb/h]	3103,79	3635,24	3945,32
Datum: 5.10.2005	<i>T4k</i> [°C]	629,06	693,25	734,92
Vreme: 14:25:37	<i>Crk</i> [lb/lbh]	0,98	0,98	1
Unos parametara: Automatski		Svedeni korigovani parametri motora u zakonskim jedinicama		
Komentar: Kriva 1	<i>Rk</i> [kg]	1432,47	1654,47	1787,67
	<i>Qgk</i> [kg/h]	1407,85	1648,91	1789,56
	<i>Crk</i> [kg/kg/h]	0,98	0,98	1

Slika 7.3. Svedeni korigovani parametri motora za režim snimanje krive motora

Ako na izveštaju o ispitivanju unos parametara ima vrednost *automatski*, to znači da su vrednosti izmerenih parametara TMM-a dobijene merenjem pomoću akviziciono-kontrolne jedinice HP3497A. Ako na izveštaju o ispitivanju unos parametara ima vrednost *ručni*, to znači da su vrednosti izmerenih parametara TMM-a dobijene merenjem pomoću instrumenata na komandno-upravljačkom pultu. Ručni unos izmerenih parametara TMM-a radi se samo ako se pojavio problem u radu akvizicionog sistema. Nazivi izmerenih i korigovanih parametara motora dati su u skraćenom obliku. Uz naziv svakog parametra stoji i merna jedinica u kojoj se taj parametar meri. Neki izmereni parametri prikazani su u mernim jedinicama koje ne pripadaju SI sistemu mernih jedinica. Ovo je urađeno na zahtev naručioca akvizicionog sistema koji je tražio da se poklapaju merne jedinice parametara izmerenih akvizicionim sistemom sa pokazivanjima instrumenata na komandno-upravljačkom pultu. Na izveštaju prikazanom na slici 7.3. vide se tri kolone korigovanih parametara motora (potisak *R*, protok goriva *Qg*, temperatura izduvnih gasova *T4* i specifična potrošnja motora *Crk*), svedenih na 95% (prva kolona), 98% (druga kolona) i 100% (treća kolona) obrtaja motora *Nk*. U ovom Excel dokumentu se prikazuju četiri krive motora koje su nacrtane na osnovu korigovanih parametara motora. Na slici 7.4. prikazan je izgled jednog dijagrama sa četiri krive motora. Korigovani potisak motora *Rk* u funkciji korigovanog broja obrtaja motora *Nk*, predstavljen je na ovom dijagramu plavom bojom. Korigovani protok goriva *Qk* u funkciji korigovanog broja obrtaja motora *Nk*, predstavljen je na ovom dijagramu crvenom bojom. Korigovana temperatura izduvnih gasova *T4k* u funkciji korigovanog broja obrtaja motora *Nk*, predstavljen je na ovom dijagramu žutom bojom. Korigovana specifična potrošnja goriva *Crk* u funkciji korigovanog broja obrtaja motora *Nk*, predstavljen je na ovom dijagramu zelenom bojom.



Slika 7.4. Izgled dijagrama sa četiri krive motora

7.1.3. Rezultati snimanja krive vibracija

Proizvođač VIPER motora je preporučio da se kriva vibracija snima pri: 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 92%, 94%, 96%, 98% i 100% broja obrtaja motora. U toku snimanja krive vibracija mere se četiri merna signala:

- Vibracije motora,
- Broj obrtaja kompresora niskog pritiska $N1$,
- Temperatura izduvnih gasova $T4$ i
- Pritisak ulja na ulazu u motor P_{uum} .

Kada se završi merenje parametara motora za svaki traženi broj obrtaja motora, izmerene vrednosti se šalju u glavni program gde se pravi izveštaj za snimljeni režim. Izgled jednog izveštaja za režim snimanja krive vibracija prikazan je na slici 7.5.

VZ ORAO	Izmereni obrtaji [%]		Izmerene vibracije [in/s]		Izmerene vibracije [mm/s]	
ISPITNA STANICA						
	<i>N1</i>	40,25	<i>Vib1</i>	0,18	<i>Vib1</i>	4,572
Tip motora: Viper 632-41	<i>N2</i>	45,17	<i>Vib2</i>	0,16	<i>Vib2</i>	4,064
Serijski broj motora: 63241429Y	<i>N3</i>	50,35	<i>Vib3</i>	0,32	<i>Vib3</i>	8,128
Režim rada: Snimanje krive vibracija	<i>N4</i>	55,27	<i>Vib4</i>	0,31	<i>Vib4</i>	7,874
Ispitivač: Srđan	<i>N5</i>	59,89	<i>Vib5</i>	0,34	<i>Vib5</i>	8,636
Datum: 5.10.2005	<i>N6</i>	64,95	<i>Vib6</i>	0,28	<i>Vib6</i>	7,112
Vreme: 13:07:47	<i>N7</i>	70,16	<i>Vib7</i>	0,26	<i>Vib7</i>	6,604
Unos parametara: Automatski	<i>N8</i>	75,05	<i>Vib8</i>	0,26	<i>Vib8</i>	6,604
Vibmax = 0,38 [in/s]	<i>N9</i>	80,18	<i>Vib9</i>	0,37	<i>Vib9</i>	9,398
pri N = 100 [%]	<i>N10</i>	85,28	<i>Vib10</i>	0,28	<i>Vib10</i>	7,112
	<i>N11</i>	90,25	<i>Vib11</i>	0,28	<i>Vib11</i>	7,112
Komentar: Kriva 1	<i>N12</i>	92,13	<i>Vib12</i>	0,34	<i>Vib12</i>	8,636
	<i>N13</i>	94,45	<i>Vib13</i>	0,33	<i>Vib13</i>	8,382
	<i>N14</i>	96,15	<i>Vib14</i>	0,35	<i>Vib14</i>	8,89
	<i>N15</i>	98,75	<i>Vib15</i>	0,36	<i>Vib15</i>	9,144
	<i>N16</i>	99,88	<i>Vib16</i>	0,38	<i>Vib16</i>	9,652

Slika 7.5. Izmerenim parametrima motora za režim snimanje krive vibracija

Svaki izveštaj o snimanju krive vibracija na motoru obavezno treba da sadrži sledeće podatke: tip motora (VIPER 632-41, VIPER 632-46 ili VIPER 633-41), serijski broj motora, režim rada u kome je

motor ispitivan, ime ispitivača koji je radio ispitivanje, datum i vreme kada je urađeno merenje i komentar gde može da se unese proizvoljan tekst koji dodatno opisuje izvršeno ispitivanje motora. Na izveštaju se posebno naglašava broj obrtaja i vrednost vibracija, kada su izmerene maksimalne vibracije na motoru. Za datum i vreme ispitivanja uzima se sistemski datum i vreme sa računara. Na ovaj način otklanja se uticaj subjektivnog faktora pri unosu ovih vrednosti i sprečava se da u bazi podataka o izvršenom ispitivanju motora postoje dva ispitivanja sa istim datumom i vremenom ispitivanja. Nazivi izmerenih parametara motora dati su u skraćenom obliku. Uz naziv svakog parametra stoji i merna jedinica u kojoj se taj parametar meri. Neki izmereni parametri prikazani su u mernim jedinicama koje ne pripadaju SI sistemu mernih jedinica. Ovo je urađeno na zahtev naručioca akvizicionog sistema koji je tražio da se poklapaju merne jedinice parametara izmerenih akvizicionim sistemom sa pokazivanjima instrumenata na komandno-upravljačkom pultu. Na izveštaju prikazanom na slici 7.5. vide se tri kolone izmerenih parametara motora. U prvoj koloni prikazani su brojevi obrtaja motora za koje su snimane vibracije. U drugoj koloni prikazane su izmerene vibracije u inčima u sekundi, a u trećoj koloni prikazane su izračunate vibracije u milimetrima u sekundi.

7.2. REZULTATI MERENJA PARAMETARA TMM-A MM-16 I MM-17

Motori tip MM-16 i MM-17 se ugrađuju u borbene avione Mig 21. Motor tip MM-16 ima 10 različitih radnih režima, 10 različitih proračuna korigovanih parametara, a time i 10 različitih izveštaja o ispitivanju motora. Motor tip MM-17 ima 11 različitih radnih režima, 11 različitih proračuna korigovanih parametara, a time i 11 različitih izveštaja o ispitivanju motora. Oscilografisanje parametara motora koristi se prilikom starta motora i pri prelasku iz jednog u drugi radni režim. Oscilografisanje se radi zato što ispitivač nije u mogućnosti da u istom trenutku prati i ručno zapiše sve parametre potrebne za donošenje odluke u skladu sa kriterijumima prihvatljivosti datim u specifikaciji proizvođača TMM-a.

7.2.1. Rezultati proračuna parametara

U ovom radu prikazaću dva primera izveštaja o ispitivanju TMM-a, koji su dobijeni nakon snimanja parametara motora u stacionarnim radnim režimima, nakon modernizacije akvizicionog sistema koji je ugrađen na ispitnu stanicu za ispitivanje TMM-a MM-16 i MM-17. Na slici 7.6. prikazan je izveštaj o ispitivanju motora MM - 16 u stacionarnom radnom režimu *maksimal M2*. Na slici 7.7. prikazan je izveštaj o ispitivanju motora MM - 17 u stacionarnom radnom režimu *forsaz F3*.

Na svakom izveštaju o ispitivanju obavezno treba da postoji: tip motora (MM-16 ili MM-17), serijski broj motora, režim rada u kome je motor ispitivan i za koji je rađen proračun korigovanih parametara, ime ispitivača koji je radio ispitivanje, datum i vreme kada je urađeno merenje, kakav je bio unos izmerenih parametara motora (*automatski* ili *ručni*) i komentar gde može da se unese proizvoljan tekst koji dodatno opisuje izvršeno ispitivanje motora. Za datum i vreme ispitivanja uzima se sistemski datum i vreme sa računara. Na ovaj način otklanja se uticaj subjektivnog faktora pri unosu ovih vrednosti i sprečava da u bazi podataka o izvršenom ispitivanju motora postoje dva ispitivanja sa istim datumom i vremenom ispitivanja. Ako na izveštaju o ispitivanju unos parametara ima vrednost *automatski* (kao na slici 7.6.), to znači da su vrednosti izmerenih parametara TMM-a dobijene merenjem pomoću akviziciono-kontrolne jedinice HP3852A. Ako na izveštaju o ispitivanju unos parametara ima vrednost *ručni* (kao na slici 7.7.), to znači da su vrednosti izmerenih parametara TMM-a dobijene merenjem pomoću instrumenata na komandno-upravljačkom pultu. Ručni unos izmerenih parametara TMM-a radi se samo ako se pojavio problem u radu akvizicionog sistema. Jedan od problema koji se može pojaviti je pojava smetnje na jednom ili više signala koji se mere akvizicionim sistemom, a da su svi preostali signali dobro izmereni. U tom slučaju se sa instrumenta na komandno upravljačkom pultu očitava vrednost signala na kome se pojavila greška i ručno zapiše, a svi ostali signali se snime pomoću akvizicionog sistema i spase u bazu podataka. Naknadno, kada se završi ispitivanje motora ručno se unose vrednosti izmerenih parametara motora i dobija se proračun korigovanih parametara.

Nazivi izmerenih i korigovanih parametara motora dati su u skraćenom obliku. Uz naziv svakog parametra stoji i merna jedinica u kojoj se taj parametar meri. Neki izmereni parametri prikazani su u mernim jedinicama koje ne pripadaju SI sistemu mernih jedinica.

VZ ORAO ISPITNA STANICA	Izmereni parametri	Korigovani parametri
	Vibracije [mils] 0,85	Vibracije [mm] 0,0216
Tip motora: MM - 16	T1 [°C] 29,44	N1k [%] 92,265
Serijski broj motora: G32695119	Bo [mbar] 964,105	N2k [%] 91,861
Režim rada: M2	dBo [mbar] 8,8046	Rk [kgs] (1) 3488,6
Ispitivač: Srđan	N1 [%] 94,55	CRk [kg/(kgs·h)] 0,9291
Datum: 16.06.2005	N2 [%] 95,2	Qvk [kg/h] 2917,54
Vreme: 9:22:11	T4 [°C] 620,2	T2k [°C] 275,35
Unos parametara: Automatski	T2 [°C] 297,8	T4k [°C] 577,36
Komentar: 2 zpuštanje, 3 zapis	Ro [lb] 6810,6	S [%] 2,366
	Qg [kg/h] 2937,31	P2k [bar] 8,37
	P2 [bar] 7,53	P2bk [bar] 8,18
	P2b [bar] 7,45	

Slika 7.6. Izmereni i korigovani parametri motora MM - 16 u režimu M2

VZ ORAO ISPITNA STANICA	Izmereni parametri	Korigovani parametri
	Vibracije [mils] 1,05	Vibracije [mm] 0,0267
Tip motora: MM - 17	T1 [°C] 21,94	N1k [%] 99,013
Serijski broj motora: G2425170	Bo [mbar] 958,35	N2k [%] 100,819
Režim rada: F3	dBo [mbar] 11,51	Rk [kgs] 5350,9
Ispitivač: Srđan	N1 [%] 100,2	Qvk [kg/(kgs·h)] 8170,84
Datum: 29.9.2005	N2 [%] 100,9	CRk [kg/(kgs·h)] 1,527
Vreme: 9:45:33	T4 [°C] 708	T3kF [°C] 1105,3
Unos parametara: Ručni	Hs [mbar] 177.78	T4k [°C] 684,904
Komentar: Ručno uneseni parametri	Ro [lb] 10620,6	N2max [%] 85,737
	Qg [kg/h] 17352,85	

Slika 7.7. Izmereni i korigovani parametri motora MM - 17 u režimu F3

Ovo je urađeno na zahtev naručioca akvizicionog sistema koji je tražio da se poklapaju merne jedinice parametara izmerenih akvizicionim sistemom sa pokazivanjima instrumenata na komandno-upravljačkom pultu. Korigovani potisak motora R_k (pozicija (1) na slici 7.6.), prema tehnologiji ispitivanja TMM-a, dat je u jedinici kilogram sile

$$kgs = \frac{[F]}{[g]} = \frac{kg \frac{m}{s^2}}{\frac{m}{s^2}} = kg . \quad (7.3)$$

Korigovana specifična potrošnja goriva CR_k računa se prema formuli

$$CR_k = \frac{Qvk}{Rk} , \quad (7.4)$$

gde je Qvk korigovani protok goriva, a Rk korigovani potisak motora. Korigovana specifična potrošnja goriva CR_k je bezdimenzionalna veličina, ali se u tehnologiji ispitivanja TMM-a ovaj koeficijent daje u jedinici $kg/(kgs \cdot h)$.

Vrednosti izmerenih i korigovanih parametara koje izlaze iz granica koje je propisao proizvođač motora obojene su crvenom bojom. Na slici 7.7. vidi se da korigovani parametri CR_k i $T3kF$ nisu unutar granica koje je propisao proizvođač za motor MM-17 na režimu F3.

Na osnovu izveštaja o ispitivanju prikazanog na slici 7.7. ispitivač može vrlo lako uočiti da ispitivani motor nema karakteristike koje je propisao proizvođač i da je potrebno izvršiti dodatna podešavanja na motoru.

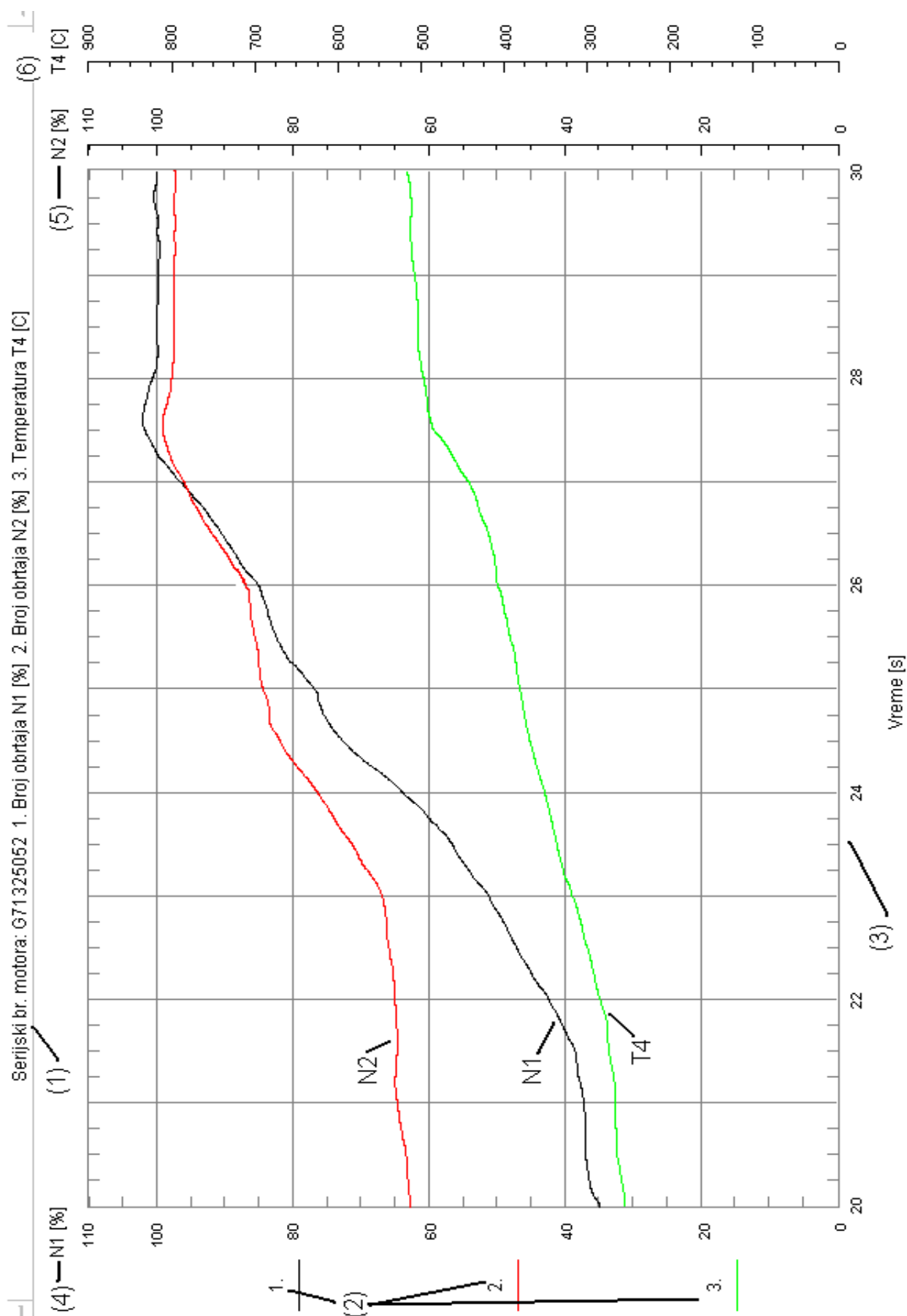
7.2.2. Rezultati oscilografisanja

Na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM oscilografisanje se koristi prilikom starta motora i pri prelasku iz jednog u drugi radni režim. Oscilografisanje se izvodi da bi se otkrile eventualne nepravilnosti u radu motora. Prilikom oscilografisanja svaki signal koji se snima meri se 4 puta u sekundi. Istovremeno se može oscilografisati 2 do 7 signala, pri čemu svaki signal ima svoju Y osu. Vremenska osa ima automatsko skaliranje, tako da se uvek na ekranu vidi kompletan oscilogram od početka do kraja oscilografisanja. Jedno oscilografisanje može trajati maksimalno 5 minuta. Nakon završenog snimanja izabere se optimalni vremenski interval u kome se želi posmatrati snimljeni oscilogram. Izmerene vrednosti se spašavaju u Excel tabelu, tako da se nakon završetka oscilografisanja može naknadno raditi analiza izmerenih vrednosti.

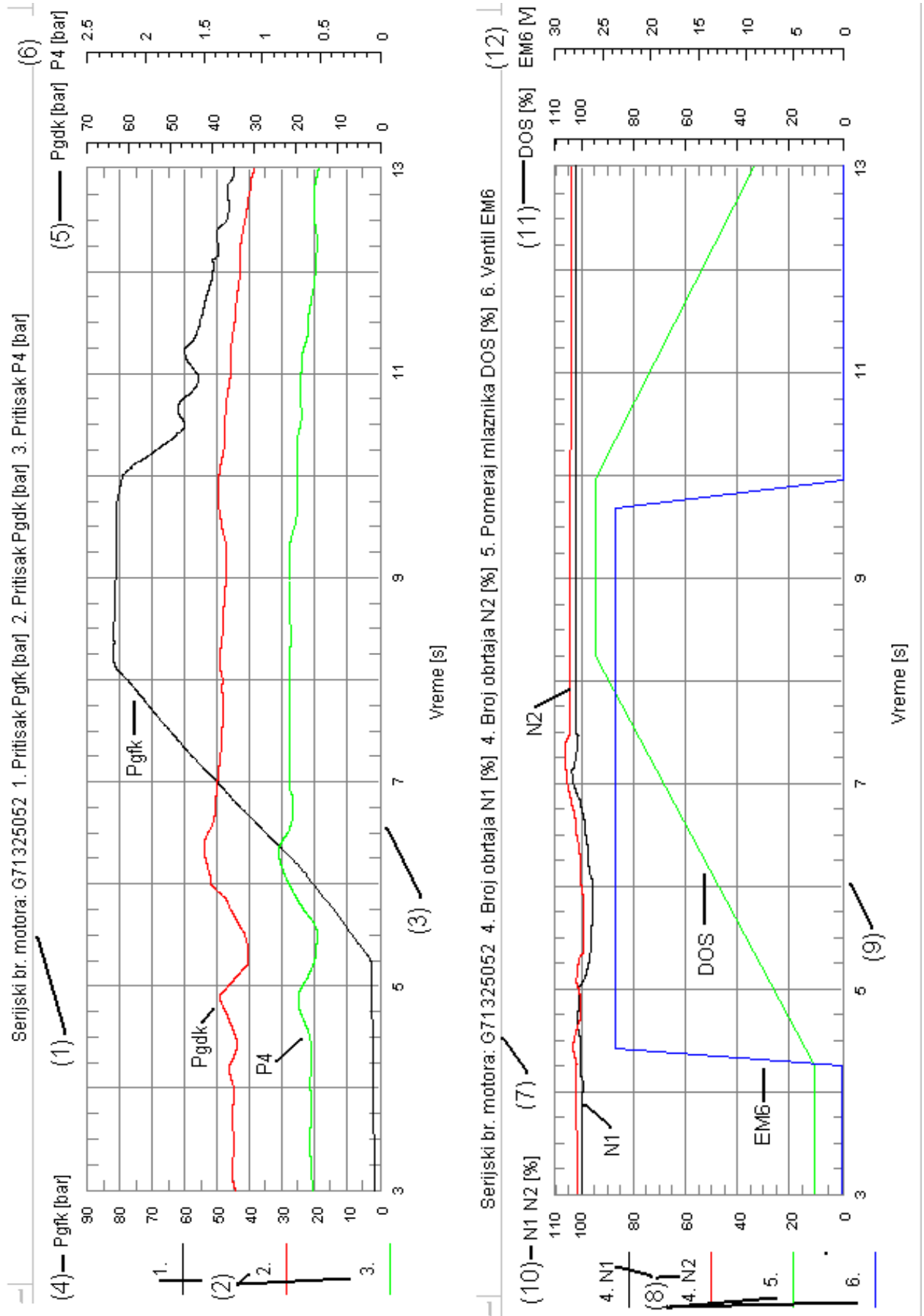
Na slici 7.8. prikazan je oscilogram sa 3 snimljena signala, a na slici 7.9. oscilogram sa 7 snimljenih signala prilikom ispitivanja TMM na ispitnoj stanici. Oscilogram na slici 7.8. snimljen je prilikom prelaska TMM sa režima mali gas (na kome broj obrtaja kompresora niskog pritiska NI ima vrednost oko 35 %) u režim maksimal MI (na kome broj obrtaja kompresora niskog pritiska NI ima vrednost $100,5 \% \pm 0,5 \%$). Na ovom oscilogramu prikazano je oscilografisanje broja obrtaja NI , broja obrtaja $N2$ i temperature izduvnih gasova $T4$.

U naslovu oscilograma (pozicija (1) na slici 7.8.) stoji:

- Serijski broj motora za koji je rađeno oscilografisanje
- 1. Naziv i merna jedinica prvog signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen crnom linijom na oscilogramu)
- 2. Naziv i merna jedinica drugog signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen crvenom linijom na oscilogramu)
- 3. Naziv i merna jedinica trećeg signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen zelenom linijom na oscilogramu).



Slika 7.8. Oscilografisanje N1, N2 i T4 pri prelasku iz režima mali gas u maksimal M1



Slika 7.9. Oscilografisanje 7 signala pri prelasku iz režima maksimal M1 u forsažni režim F1

Sa leve strane oscilograma (pozicija (2) na slici 7.8.) prikazano je kojom bojom je crtana linija za 1., 2. i 3. signal koji je oscilografisan. Ispod oscilograma (pozicija (3) na slici 7.8.) nalazi se vremenska osa u sekundama. Za oscilogram prikazan na slici 7.8. prikazane su vrednosti snimane između dvadesete i tridesete sekunde, od trenutka početka oscilografisanja. Ovaj vremenski interval izabran je posle završetka oscilografisanja. Sa leve strane oscilograma prikazana je Y osa za prvi signal koji je oscilografisan (pozicija (4) na slici 7.8.). Sa desne strane oscilograma prikazana je Y osa prvo za drugi (pozicija (5) na slici 7.8.), pa za treći signal koji je oscilografisan (pozicija (6) na slici 7.8.). Kada se za oscilografisanje akvizicionim sistemom izaberu 2 ili 3 signala uvek se dobije oscilogram sličan oscilogramu na slici 7.8.

Oscilogram prikazan na slici 7.9. snimljen je prilikom prelaska TMM iz režima *maksimal M1* u forsažni režim *F1*. Pošto je ovde oscilografisano 7 signala oni su raspoređeni na dva oscilograma koji su postavljeni jedan ispod drugog. Na prvom oscilogramu se snimaju tri pritiska *P4*, *Pgdcn* i *Pgdk*. Na drugom oscilogramu se snima broj obrtaja *N1*, broj obrtaja *N2*, pomeraj mlaznika DOS i uključenje elektromagnetnog ventila EM6. Ovo je urađeno jer jedan oscilogram može imati maksimalno tri Y ose, a za oscilografisanje ovih 7 signala potrebno je 6 različitih Y osa.

U naslovu prvog oscilograma (pozicija (1) na slici 7.9.) stoji:

- serijski broj motora za koji je rađeno oscilografisanje
- 1. Naziv i merna jedinica prvog signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen crnom linijom na oscilogramu)
- 2. Naziv i merna jedinica drugog signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen crvenom linijom na oscilogramu)
- 3. Naziv i merna jedinica trećeg signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen zelenom bojom na oscilogramu).

U naslovu drugog oscilograma (pozicija (7) na slici 7.9.) stoji:

- Serijski broj motora za koji je rađeno oscilografisanje
- 4. Naziv i merna jedinica četvrtog signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen crnom linijom na oscilogramu)
- 4. Naziv i merna jedinica petog signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen crvenom linijom na oscilogramu). Kod oscilografisanja 7 signala ponovo je korištena oznaka 4. jer se oscilografije broj obrtaja kompresora niskog pritiska *N1* i broj obrtaja kompresora visokog pritiska *N2* za koje se uzima samo jedna Y osa
- 5. Naziv i merna jedinica šestog signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen zelenom linijom na oscilogramu)
- 6. Naziv i merna jedinica sedmog signala koji je oscilografisan (koji je predstavljen plavom linijom na oscilogramu).

Sa leve strane prvog oscilograma (pozicija (2) na slici 7.9.) prikazano je kojom bojom je crtana linija za 1., 2. i 3. signal koji je oscilografisan. Sa leve strane drugog oscilograma (pozicija (8) na slici 7.4.) prikazano je kojom bojom je crtana linija za 4.(*N1*), 4.(*N2*), 5. i 6. signal koji je oscilografisan. Ispod oscilograma (pozicija (3) i pozicija (9) na slici 7.9.) nalazi se vremenska osa u sekundama. Za oscilogram prikazan na slici 7.9. prikazane su vrednosti snimane između treće i trinaeste sekunde, od trenutka početka oscilografisanja. Ovaj vremenski interval izabran je posle završetka oscilografisanja. Sa leve strane prvog oscilograma prikazana je Y osa za prvi signal koji je oscilografisan (pozicija (4) na slici 7.9.). Sa desne strane prvog oscilograma prikazana je Y osa prvo za drugi (pozicija (5) na slici 7.9.), pa onda za treći signal koji je oscilografisan (pozicija (6) na slici 7.9.). Sa leve strane drugog oscilograma prikazana je Y osa za četvrti i peti signal koji su oscilografisani (pozicija (10) na slici 7.9.). Sa desne strane drugog oscilograma prikazana je Y osa prvo za šesti (pozicija (11) na slici 7.9.), pa onda za sedmi signal koji je oscilografisan (pozicija (12) na slici 7.9.).

8. ZAKLJUČAK

U doktorskoj disertaciji izvršena je naučna rasprava o novoj savremenoj stacionarnoj ispitnoj stanici koja je razvijena i realizovana za potrebe ispitivanja karakteristika tri tipa TMM-a engleske proizvodnje (VIPER 632-41, VIPER 632-46 i VIPER 633-41). Osnovni doprinos teze je originalni algoritam za akviziciju i obradu mernih signala, kao i proračun korigovanih parametara motora, uz pridruživanje odgovarajuće merne nesigurnosti. Rad sadrži faze analitičkog projektovanja, postupke verifikacije simulacijom na računaru, kao i eksperimentalnu verifikaciju predloženog algoritma. Treba naglasiti da stacionarne ispitne stanice za analizu parametara TMM-a koji se ugrađuju u borbene avione predstavljaju kompleksne sisteme koji se teško mogu nabaviti na komercijalnoj osnovi. U javno dostupnoj literaturi nema puno publikovanih podataka o ispitnim stanicama koje se koriste u zemljama sa razvijenom vazduhoplovnom tehnikom.

U radu su opisana i nova rešenja koja se koriste prilikom merenja parametara TMM-a sa akvizicionim sistemom ugrađenim na ispitnu stanicu za ispitivanje TMM-a ruske proizvodnje (tip MM-16 i MM-17). Opisani akvizicioni sistemi koriste se za merenje parametara TMM-a u stabilnim radnim režimima i oscilografisanje, pri prelazu sa jednog radnog režima na drugi. Motori MM-16 i MM-17 imaju 11, a motori VIPER imaju 7 do 9 stacionarnih radnih režima. Za svaki stacionarni radni režim urađen je proračun korigovanih parametara motora prema standardnim atmosferskim uslovima (temperatura 15 °C i atmosferski pritisak 1013 mbar), bez obzira na realne uslove pri snimanju parametara. Realizovani akvizicioni sistemi se sastoje od akviziciono-kontrolne jedinice, davača mernih signala, personalnog računara, štampača i uređaja za neprekidno napajanje računara. Ovi merni sistemi odlikuju se kompleksnom strukturom i visokim mernim performansama, koje moraju biti usklađene sa strogim kriterijuma propisanih kod testiranja vazduhoplovne opreme i motora predviđenih za ugradnju u savremene letelice. Teza je podeljena na više celina, koje postepeno opisuju način razvoja akvizicionog sistema i postupak procene merne nesigurnosti.

U drugoj glavi daje se skup aktivnosti koji sačinjavaju remontni ciklus TMM pre pristupanja njegovom ispitivanju na stacionarnoj ispitnoj stanici. Osnovne metrološke komponente od kojih se sastoji ispitna stanica su 34 instrumenta za merenje većeg broja neelektričnih i nekoliko električnih veličina. Fizičke veličine koje se mere su sila potiska motora, temperature nekoliko vrsta fluida, na primer izduvnih gasova, vazduha na ulazu u motor, gasova na ulazu u motor, hidroulja, i dr. Manometri takođe predstavljaju vrlo značajne instrumente. Mere se pritisci na većem broju tačaka, kao na primer, atmosferski pritisak, pritisak goriva na ulazu u motor, goriva osnovnog kolektora, goriva dopunskog kolektora, ulja na ulazu u motor, ulja na ulazu i na izlazu iz hidropumpe, forsaznog goriva, startnog goriva, vazduha na izlazu kompresora, motorskog vazduha, motorskog ulja, ulja za konzervaciju motora i dr. Koriste se i neka druga merila, među kojima maseni protometar goriva, dva ampermetra, digitalni i analogni obrtometar, dva vibrometra i dr. Za svaki instrument dati su podaci o mestu priključka, merni opseg, deklarirana klasa tačnosti, proizvođač, princip rada i postupak etaloniranja.

Osnovne prednosti primene računara u metrologiji opisane su u trećoj glavi. Ovde je data i blok šema realizovanog akvizicionog sistema. Opisan je princip rada svake kartice u akviziciono-kontrolnoj jedinici HP3497A i princip rada svakog davača koji se koristi u akvizicionom sistemu za merenje parametara potrebnih za proračun korigovanih parametara motora. Prikazan je način proračuna korigovanih parametara za VIPER motore.

U četvrtoj glavi se dalje uočava da prilikom ispitivanja TMM-a, radni režim ne može biti u potpunosti stacionaran, već uvek postoje određene varijacije merenog signala u okolini njegove vrednosti pri ustaljenom režimu. Na prethodnim ispitnim stanicama koje nisu raspolagale merno-akvizicionim sistemima, vremenske varijacije signala se nisu mogle uzimati u obzir prilikom naknadnog proračuna korigovanih parametara motora. Rezultati analize akvizicionog sistema koji je ranije razvijen za potrebe ispitivanja TMM-a MM-16 i MM-17, iskorišćeni su za formulaciju novog algoritma za akviziciju i obradu mernih signala. Novi algoritam je razvijen kako bi se smanjio uticaj malih promena signala oko ustaljene vrednosti u stacionarnim radnim režimima. Pokazano je da novi algoritam znatno utiče na smanjenje komponente merne nesigurnosti tip A. Predloženi algoritam, koji je veoma jednostavan, lako je ugraditi u postojeće programske module i primenjiv je na akvizicione sisteme koji se koriste na ispitnim stanicama za razne tipove motora. Opisan je razvoj i projektovanje softvera pod nazivom "AKVIZICIJA". Dati su i opisani algoritmi uslužnih programa napisanih u programskom paketu VEE Pro 6.0. Ovi programi služe za merenje i prikaz parametara motora u stacionarnim radnim režimima, za oscilografisanje i ponovni prikaz memorisanih rezultata oscilografisanja.

U cilju jasnijeg prikaza ostvarenih rezultata, opisani su i uslužni programi za merenje parametara motora akvizicionim sistemom na ispitnoj stanici za motore MM-16 i MM-17, pre i posle modernizacije ovog akvizicionog sistema. Ova modernizacija urađena je u cilju smanjenja merne nesigurnosti merenja parametara motora. Dat je i opisan algoritam rada glavnog programa napisanog u programskom paketu Visual Basicu 6.0. Glavni program određuje trenutak startovanja i zaustavljanja mernog procesa, redosled mernih ciklusa, broj merenja u jednom ciklusu i odredište mernih podataka. U glavnom programu se obavljaju matematičke operacije nad izmerenim parametrima, kako bi se dobili korigovani parametri i automatski napravio izveštaj o ispitivanju motora. Iz glavnog programa se pozivaju uslužni programi napisani u VEE Pro 6.0., komunicira se sa bazama podataka i dokumentima koji služe za prikaz krivih motora.

Određivanje i izražavanje merne nesigurnosti opisano je u petoj glavi. Predstavljani su izvori i tipovi merne nesigurnosti. Izvršena je analiza kako funkcija raspodele rezultata merenja utiče na izražavanje merne nesigurnosti. Sa praktičnog stanovišta od posebnog interesa su praktični primeri proračuna mernih nesigurnosti.

U šestoj glavi opisan je postupak proračuna merne nesigurnosti za signale senzora svih neelektričnih veličina koji se mere akvizicionim sistemima u stabilnim radnim režimima. Ovo predstavlja naučni doprinos jer do sada publikovani radovi iz ove oblasti vrše opis akvizicionih sistema uz davanje podataka o njihovoj klasi tačnosti, ali ne i podataka o mernoj nesigurnosti konkretnih merenja. U ovoj glavi predstavljeno je i poređenje mernih nesigurnosti za 18 signala koji su snimani u stabilnom radnom režimu *maksimal M1* motora MM – 17, pre i posle modernizacije ovog akvizicionog sistema. Pokazano je da je hardverskom i softverskom modernizacijom akvizicionog sistema, ostvareno značajno smanjenje merne nesigurnosti u poređenju sa prethodnim sistemima ove vrest.

Praktična vrednost rezultata disertacije potvrđena je eksperimentalno, ispitivanjem više različitih turbo-mlaznih motora na ispitnim stanicama. Rezultati dobijeni prilikom merenja parametara TMM-a sa obadva akviziciona sistema i proračun korigovanih parametara TMM-a u stabilnim radnim režimima predstavljani su u sedmoj glavi. Predstavljani su i oscilogrami koji su dobijeni prilikom snimanja prelaznih režima TMM-a akvizicionim sistemom.

Osnovni doprinosi primene realizovanog akvizicionog sistema za ispitivanje TMM-a sastoje se u sledećem:

1) Velika brzina merenja

Povećanje brzine merenja postignuto je zahvaljujući znatno većoj brzini rada računara u poređenju sa čovekom kao operatorom. Operator koji ispituje motor na ispitnoj stanici može da očita i ručno zapiše rezultat sa nekog analognog mernog instrumenta na merno upravljačkom pultu maksimalnom brzinom od jednog očitavanja u pet sekundi. Tako da je za merenje svih mernih signala za jedan režim rada na kome se motor ispituje potrebno minimalno oko dve minute. U praksi je operatoru za očitavanje nekog signala često potrebno i puno više vremena, kada pokazivanje svih instrumenta nije stabilno. Sa druge strane, akvizicioni sistem koji je ugrađen na ispitnu stanicu uradi minimalno 20 očitavanja mernih signala u jednoj sekundi. Doprinos veće brzine merenja ima za posledicu skraćivanje ukupno potrebnog vremena za izvođenje merenja, a time i smanjenje troškova, inače skupog i složenog procesa ispitivanja TMM-a.

2) Rezultati se daju sa proširenom mernom nesigurnošću

Poznato je da su, ne tako davno, od međunarodnih metroloških ustanova, doneseni obavezujući propisi, koji nalažu da rezultati merenja budu praćeni i odgovarajućim podacima o mernoj nesigurnosti. Za svaki merni signal koji se koristi prilikom akvizicije parametara motora izračunata je komponenta merne nesigurnosti tip B. Komponenta merne nesigurnosti tip A dobija se statističkom obradom većeg broja rezultata ponovljenih merenja, a u proračun proširene merne nesigurnosti uzima se kao kombinovana (objedinjena) nesigurnost.

3) Manja merna nesigurnost

Uticaj subjektivnog faktora pri merenjima sveden je na najmanju meru, isključivanjem mogućih grubih grešaka pri očitavanju, zapisivanju ili obradi rezultata merenja. Kada operator vrši merenje svih mernih signala, za jedan režim rada na kome se motor ispituje, sa analognih mernih instrumenta na merno upravljačkom pultu potrebno mu je minimalno oko dve minute. Tako da, kada se meri poslednji signal, prvi izmereni signal može značajno da promeni vrednost i na taj način da se javi greška u proračunu korigovanih parametara motora. Ova greška se ne može

pojaviti kada merenje radimo sa akvizicionim sistemom pošto se u jednoj sekundi obavi merenje svih signala za režim rada na kome se motor ispituje.

- 4) **Fleksibilnost u izražavanju i predstavljanju rezultata merenja**
Svi signali koji su potrebni za proračun korigovanih parametara motora prikazuju se na jednom monitoru, što je puno preglednije nego posmatranje tih signala na analognim instrumentima na merno upravljačkom pultu. Sve vrednosti izmerene merno-akvizicionim sistemom mogu se odmah odštampati na štampaču i memorisati u bazu podataka. Tako se, posle završenog ispitivanja TMM-a, memorisane vrednosti mogu naknadno obrađivati, analizirati i štampati.
- 5) **Dobijanje korigovanih parametara motora u realnom vremenu**
Upotrebom akvizicionog sistema prilikom ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici, korigovani parametri se dobijaju u realnom vremenu dok traje ispitivanje motora. Na osnovu izmerenih i proračunatih korigovanih parametara može se odmah oceniti da li je remont dobro obavljen ili je potrebno izvršiti dodatna podešavanja na motoru. U slučaju da korigovani parametri motora malo odstupaju od granica koje je propisao proizvođač, mogu se izvršiti neka manja podešavanja dok motor radi. U slučaju da korigovani parametri ne ispunjavaju propisane kriterijume, mogućan je blagovremeni prekid ispitivanje, bez prelaženja na sledeće predviđene režime, čime se sprečava nepotrebna potrošnja goriva i smanjuju ukupni troškovi.
- 6) **Ispitivanje motora u režimima rada koji u izvesnoj meri odstupaju od stacionarnosti**
Po pravilu, određivanje parametara motora vrši se pri stacionarnom radnom režimu. Međutim, u praksi se stacionarnost radnog režima postiže tek nakon dužih intervala rada motora. U ovom radu je postavljeno kao cilj da se izvrši estimacija stacionarnih parametara takođe i u režimima rada koji u izvesnoj meri odstupaju od stacionarnosti. Ostvarivanjem ovog zahteva takođe se doprinosi skraćivanju procesa ispitivanja i poboljšanju ekonomičnosti, ali bez uticaja na pogoršanje merne nesigurnosti ili pouzdanosti karakterizacije motora.
- 7) **Oscilografisanje prelaznih režima rada TMM-a**
Proizvođač TMM-a je predvideo da se na motoru radi oscilografisanje 7 prelaznih radnih režima, a stara ispitna stanica nije imala ovu mogućnost. Na novoj ispitnoj stanici ugrađen je akvizicioni sistem koji može da radi oscilografisanje 18 mernih signala koji će se očitavati brzinom od 4 merenja u sekundi.
- 8) **Automatizacija procesa etaloniranja**
Automatizacija procesa etaloniranja ostvarena je na bazi originalnog algoritma kojom se postiže visoki stepen pouzdanosti, skraćanje celokupnog procesa etaloniranja uz minimalni broj profesionalno angažovanog osoblja metrološke laboratorije. Etaloniraju se svi signali koji se mere akvizicionim sistemom prilikom proračuna parametara i oscilografisanja na TMM-u.

Glavni naučni doprinos realizacije i primene akvizicionog sistema na ispitnoj stanici za ispitivanje TMM-a je unapređenje procesa ispitivanja i smanjenje vremena ispitivanja. Smanjenjem vremena ispitivanja smanjuje se utrošak goriva, ulja i električne energije. Sve ovo dovodi do smanjenja cene ispitivanja TMM-a na ispitnoj stanici. Primena akvizicionih sistema u ispitivanju turbo-mlaznih motora je veoma značajan rezultat, jer tržište danas konstantno zahteva umanjenje cene ispitivanja, ali ujedno i poboljšanje kvaliteta ispitivanja.

Buduća eksperimentalna ispitivanja TMM-a na realizovanim ispitnim stanicama daće nova iskustva, koja će se moći iskoristiti kako bi se dodatno smanjila merna nesigurnost merenja akvizicionim sistemom. Takođe je moguće izvršiti različite prepravke na postojećim ispitnim stanicama kako bi se one mogle koristiti za ispitivanje i drugih tipova TMM-a. Postoje višestruki pravci daljeg razvoja i primene predloženog algoritma za akviziciju i obradu mernih signala na ispitnim stanicama za ispitivanje ne samo avionskih, već i motora koji se koriste u automobilskoj industriji.

9. LITERATURA

- [1] Getting Started Guide HP3852A Data Acquisition/Control Unit, Hewlett Packard Company, 1987 .
- [2] Plug-in Accessories Configuration and Programming Manuals HP3852A Data Acquisition/Control Unit, Hewlett Packard Company, 1987 .
- [3] Mainframe Configuration and Programming Manual HP3852A Data Acquisition/Control Unit, Hewlett Packard Company, 1987 .
- [4] Command Reference Manual HP3852A Data Acquisition/Control Unit, Hewlett Packard Company, 1987 .
- [5] Quick Reference Guide HP3852A Data Acquisition/Control Unit, Hewlett Packard Company, 1987 .
- [6] Assembly Level Service Manual HP3852A Data Acquisition/Control Unit, Hewlett Packard Company, 1987 .
- [7] User's Guide Agilent 3497A Data Acquisition/Switch Unit, 1999.
- [8] User's Guide Agilent 82357A USB/GPIB Interface for Windows, Agilent Technologies, 2000.
- [9] VEE PRO 6.0. Help, Agilent Technologies, 2000.
- [10] Agilent Technologies Libraries for Instrument Control Revision: L.02.00, Agilent Technologies CD, 2002.
- [11] Microsoft Visual Basic 6.0 Help, Microsoft, 1999.
- [12] Uput za opštu opravku motora MM - 16, knjiga 62, VZ "ORAO" Rajlovac.
- [13] Uput za opštu opravku motora MM - 17, knjiga 63, VZ "ORAO" Rajlovac.
- [14] Uput za ispitivanje motora VIPER 432-41, knjiga 46, VZ "ORAO" Rajlovac.
- [15] Uput za ispitivanje motora VIPER 432-46, knjiga 47, VZ "ORAO" Rajlovac.
- [16] Uput za ispitivanje motora VIPER 433-41, knjiga 48, VZ "ORAO" Rajlovac.
- [17] Srđan Damjanović, "Razvoj i etaloniranje akvizicionog sistema na stanici za ispitivanje turbo-mlaznih motora," *Magistarski rad*, Beograd 2004.
- [18] Srđan Damjanović, Mirko Antić, "Akvizionni sistem MGC+ na ispitnoj stanici za turbo-mlazne motore," *Zbornik radova sa Kongresa metrologa Jugoslavije 2003*, Beograd 2003.
- [19] Srđan Damjanović, Mirko Antić, "Akvizionni sistem HP3852A na ispitnoj stanici za turbo-mlazne motore," *Zbornik radova sa XLVII Konferencije ETRAN 2003*, Herceg Novi 2003.
- [20] Srđan Damjanović, Mirko Antić, "Akvizionno-merni sistem na ispitnoj stanici za turbo-mlazne motore VIPER 632/633," *Zbornik radova sa XLIX Konferencije ETRAN 2005*, Budva 2005.
- [21] Srđan Damjanović, " Merna neignost merenja parametara turbo-mlaznih motora pre i posle modernizacija akvizicionog sistema," *Zbornik radova sa 50 Konferencije ETRAN 2006*, Beograd 2006.
- [22] B.Milatović, V.Bošković, "Razvoj sistema za računarsku akviziciju parametara TMM-a u dinamičkim uslovima rada," *izveštaj o projektu, VZ "ORAO" Rajlovac*, 1991.
- [23] Guy Degrave, "Next generation data acquisition and control systems for gas turbine engine testing," *Aerospace Testing Expo*, 2005.
- [24] Rolf Mendel, "Synhronisation of measurement data acquisition with DAQ systems from different manufacturers," *Aerospace Testing Expo*, 2005.
- [25] Tom Stone, "Network-centric aircraft data acquisition," *Aerospace Testing Expo*, 2005.
- [26] Miroslav Jovanović, Zoran Filipović, "Merenje motorskih parametara na avionu sa modifikovanom strukturom i uporedna analiza parametara sa etalon-avionom," *Zbornik radova sa 50 Konferencije ETRAN 2006*, Beograd 2006.
- [27] Dragan Lazić, Dejan Pavlović, "Realizacija kartice za povezivanje PCM akvizicionog računara UAM-V i PC preko USB porta," *Zbornik radova sa 50 Konferencije ETRAN 2006*, Beograd 2006.
- [28] Dragan Stanković, *Fizičko Tehnička Merenja - Senzori*, Univerzitetski Udžbenik, Beograd 1997.
- [29] Dragan Stanković, Predrag Osmokraković, *PRAKTIKUM LABORATORIJSKIH VEŽBI IZ FIZIKE*, Zavod za Fiziku Tehničkih Fakulteta u Beogradu, 2005.
- [30] Petar Pravica, Ivan Bagarić, *Metologija Električnih Veličina Opšti Deo*, Univerzitetski Udžbenik, Beograd 1993.
- [31] D.Tasić V.Živković, *Osnovi Metrologije*, SZMDM, Beograd 2000.

-
- [32] Međunarodni rečnik osnovnih i opštih termina u metrologiji, SZMDM, Beograd 1997.
 - [33] Pravilnik o metrološkim uslovima za otporne termometre MUS.13MS0101-01, Službeni list SRJ, br. 34/96.
 - [34] Metrološko uputstvo za pregled otpornih termometara MUP.13MS0101-01, GLASNIK SZMDM, br. 3/96.
 - [35] Pravilnik o metrološkim uslovima za termoparove MUS.13MS0201-01 i MUS.13MS0202-01, Službeni list SRJ, br. 34/96.
 - [36] Metrološko uputstvo za pregled termoparova MUP.13MS0201-01 i MUP.13MS0202-01, GLASNIK SZMDM, br. 4/98.
 - [37] Mile Pešaljević, *Ispitivanje električnih pokaznih mjernih instrumenata*, Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd 1977.
 - [38] Metrološki uslovi za merila električnih veličina, Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd 1979.
 - [39] Pravilnik o metrološkim uslovima za manometre, vakuummetre i manovakuummetre MUS.P-(1,2,4)/1, Službeni list SFRJ, br. 30/86.
 - [40] Metrološko uputstvo za pregled manometara, vakuummetara i manovakuummetara MUP. P-(1,2,4)/1, GLASNIK SZMDM, br. 2/88.
 - [41] Metrološko uputstvo za pregled elektromagnetnih merila protoka i zapremine MUP.Z-10/7, GLASNIK SZMDM, br. 1/83.
 - [42] Thermocouples, Part 1, Reference tables, *IEC 584-1 : 1995 (EN 60584-1 : 1996)*.
 - [43] Thermocouples, Part 3, Extension and Compensating Cables —Tolerances and Identification System, *IEC 584-3 : 1989*.
 - [44] Dragan Stanković "Obrada rezultata eksperimenata u fizici i određivanje merne nesigurnosti", *TEMPUS-TEHNIČKI FAKULTETI-BEOGRAD, predavanja iz fizike*.
 - [45] Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurement, ISO, 1993.
 - [46] EA-4/02 Expresion of the Uncertainty of Measurement in Calibration, *European co-operation for Accreditation*, 1999.
 - [47] EA-10/11 Guidelines on the Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurement, *European co-operation for Accreditation*, 2000.
 - [48] EA-10/15 Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters, *European co-operation for Accreditation*, 2001.
 - [49] EA-10/08 Calibration of Thermocouples, *European co-operation for Accreditation*, 1997.
 - [50] EA-10/07 Calibration of Oscilloscopes, *European co-operation for Accreditation*, 1997.
 - [51] Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurement, Supplement 1 Numerical Method for the Propagation of Distributions, *European co-operation for Accreditation*, 2004.
 - [52] Obuka u proračunavanju nesigurnosti u mjeriteljstvu, *PRAQ III Regionalni program osiguranja kvaliteta, Sarajevo*, 2000.
 - [53] W. Bich, "Simple Formula for the Propagation of Variances and Covariances," *Istituto di Metrologia "G. Colonnetti", Turin, Italy*, 1996.
 - [54] C.D. Ehrlich, S.D. Rasberry, "Metrological timelines in traceability," *Technology Services, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA*, 1997.
 - [55] Tyler W. Estler, "A Distribution-Independent Bound on the Level of Confidence in the Result of a Measurement," *National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA*, 1997.
 - [56] Ignacio H. Lira, Wolfgang Wöger, "The Evaluation of Standard Uncertainty in the Presence of Limited Resolution of Indicating Devices," *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany*, 1997.
 - [57] Leon Jay Gleser, "Assessing Uncertainty in Measurement," *University of Pittsburgh, Pennsylvania, USA*, 1998.
 - [58] Ignacio H. Lira, Wolfgang Wöger, "Evaluation of the Uncertainty Associated with a Measurement Result not Corrected for Systematic Effects," *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany*, 1998.
 - [59] Ignacio H. Lira, Wolfgang Wöger, "The Evaluation of the Uncertainty in Knowing a Directly Measured Quantity," *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany*, 1998.
 - [60] S. D. Phillips, "Calculation of Measurement Uncertainty Using Prior Information," *Technology Services, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA*, 1998.

-
- [61] W. Schulz, Klaus-Dieter Sommer, "Uncertainty of Measurement and Error Limits in Legal Metrology," *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany*, 1999.
 - [62] D. Turzeniecka, "Comments on the Accuracy of Some Approximate Methods of Evaluation of Expanded Uncertainty," *Technical University of Pozna, Poland*, 1999.
 - [63] Clemens Elster, "Evaluation of Measurement Uncertainty in the Presence of Combined Random and Analogue-to-digital Conversion Errors," *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin, Germany*, 2000.
 - [64] D. R. White, P. Saunders, "The Propagation of Uncertainty on Interpolated Scales, with Examples from Thermometry," *Measurement Standards Laboratory of New Zealand, New Zealand*, 2000.
 - [65] Emil Hazarian, "AN OVERVIEW OF MEASUREMENT UNCERTAINTY ASSESSMENT TECHNIQUES," *National Conference of Standard Laboratories International, San Diego, California, USA*, 2002.
 - [66] W. Sabuga, M. Bergoglio, G. Buonanno, J.C. Legras, L. Yagmur, "Calculation of the Distortion Coefficient and Associated Uncertainty of a PTB 1 GPa Pressure Balance Using Finite Element Analysis," *EUROMET Project 463*, 2005.
 - [67] David Deaver, "The Calibration and Use of Thermocouple Simulators," *Fluke Corporation, United Kingdom*, 2002.
 - [68] Thomas Kegel, "UNCERTAINTY ANALYSIS OF A VOLUMETRIC PRIMARY STANDARD," *Colorado Engineering Experiment Station, Inc.*, 2005.
 - [69] Alan Rowley, *Evaluating Uncertainty for Laboratories*, a Practical Guide and Handook, FRSC, 2001.
 - [70] G.M.S. De Silva, "Example of uncertainty calculations," *OIML Bulletin*, Vol XXXVIII, No. 1, 1997.
 - [71] M. Harwitz, "Statistical process measurement assurance used to ensure adequate confidence in the measurement process," *OIML Bulletin*, Vol XXXVIII, No. 1, 1997.
 - [72] Klaus-Dieter Sommer, Bernd Siebert "Importance of Measurement Uncertainty in Calibration and Conformity Testing of Measuring Instruments," *OIML Bulletin*, Vol XLII, No. 1, 2001.
 - [73] N. Vućjak, M. Pavlović, R. Dereta, "ZMDM Participation in EUROMET Key - Comparison of AC Power at 50 Hz - The Analysis od YDMDM results of Reference Voltage Measurement," *Zbornik radova sa 50 Konferencije ETRAN 2006*, Beograd 2006.
 - [74] Jasmina Lazarević, Tatjana Cincar-Vujović, Rade Dereta, "Postupak etaloniranja voltmetara naizmeničnog napona u dokumentovanom sistemu kvaliteta ZMDM," *Zbornik radova sa 50 Konferencije ETRAN 2006*, Beograd 2006.
 - [75] Mirjana Mladenović, Slobodan Eremija, "Etaloniranje digitalnih termometara sa platinskim otpornim termometrima," *Zbornik radova sa 50 Konferencije ETRAN 2006*, Beograd 2006.
 - [76] Rüdiger Kessel, "The 'GUM Workbench' program," *Gronau, Germany*, 1995.
 - [77] S M Lower, "Software Support for Metrology Best Practice Guide No. 9 Selection and Use of LIMS," *Sira Test & Certification Ltd, Kent, United Kingdom*, 2001.
 - [78] Uncertainty Calculator 3.2, software program, *NIST Technical Note 1297, etc*, 1993.
 - [79] Operating manual CATMAN V 3.1, *HBM*, 2001.
 - [80] Operating manual AMPLIFIER SISTEM MGC+, *HBM*, 2001.
 - [81] Test-System Development Guide Introduction to Test-System Design, *Application Note 1465-1 Agilent Technologies*, 2003.
 - [82] Test-System Development Guide Computer I/O Considerations, *Application Note 1465-2 Agilent Technologies*, 2003.
 - [83] Guide for Aircraft Ground Support Equipment, *Central Engineering Company USA*.
 - [84] Automatic Data Acquisition for You Engine Test Facility, *Central Engineering Company USA*.
 - [85] Model DA-5 Automatic Digital Data Acquisition System, Product Information, *Central Engineering Company USA*.
 - [86] Data Acquisition & Control Overview, *Keithley Instruments INC*.
 - [87] Advanced Test Cell Designs and Systems, *Aero Systems Engineerind INC*.
 - [88] Automatic Data Acquisition and Processing System for Aircraft Engine Testing, *Functional Description ORACLE, Aero Systems Engineerind INC*.
 - [89] Matthias Wagner, "The third generation, catman 3.0," *HOTINGER line NEWS FROM THE WORLD OF PROCESS MEASUREMENT TECHNOLOGY*, vol.3, pp.16-17, 1999

-
- [90] Luc Delage, "Brake testing," *The International Sound and Vibration Magazine from Bruel&Kjaer*, No.1, pp.8-9, 2003.
 - [91] Karl Kristian, "Advanced Engine Vibration Testing," *The International Sound and Vibration Magazine from Bruel&Kjaer*, No.1, pp.6-9, 2005.
 - [92] Andy Russell, "Advanced Defence and Aerospace Testing Systems," *The International Sound and Vibration Magazine from Bruel&Kjaer*, No.2, pp.12-15, 2005.
 - [93] Bob Faeber, "Advanced flight management system human interface, " *Air@SpaceEurope*, pp. 42-44, January 1999
 - [94] Sam Campbell, A profile of DARA's military engine test cell at Fleetlands in the UK, *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 54-59, June 2004
 - [95] Bob Patera, "Earth moving systems, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 60-63, June 2004
 - [96] CEC Vibration Products Inc, "Controlled monitoring, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 81, June 2004
 - [97] Karel van Gelder, Michel Guillaume, "The Swiss F/A-18 full-scale fatigue test - 77 channels of FCS Smart Test load control with fully integrated HBM Data acquisition system, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 66-69, September 2004
 - [98] Heinrich Hemker, "Testing is an essential element in the Maintance Repair and Overhaul procedure, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 30-35, December 2004
 - [99] Greg Caesar, "How the latest commercial storage technologies, such as RAID, Serial-ATA, and real-time recorder, can be cost-effectively inserted into modular test systems, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 51-55, December 2004
 - [100] Grahame Clinch, "Checking the pulse, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 64-65, December 2004
 - [101] BS2 MULTIDATA GmbH, "Precision data acquisition, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 71, December 2004
 - [102] Patrick Mattingly, "CEL Building test solutions, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 102-103, March 2004
 - [103] Don Drewry, "Sleeping next to 150,000 lbs of thrust, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 148, March 2004
 - [104] Thibauld Jongen, "Embracing the engine, " *Aero Space Testing International Magazine*, pp. 80-83, June 2005
 - [105] Paul Nicholls, "Quick prediction, " pp. 93, *Aero Space Testing International Magazine*, September 2005
 - [106] Charles Alcock, "Rolls-Royce weathers ongoing 9/11 storm," *Aviation International News Farnbough 2002*, pp.16, July 2002.
 - [107] David A. Lombardo, "Pratt&Whitney Canada retains its solid grip on bizav markets," *Aviation International News Farnbough 2002*, pp.69, July 2002.
 - [108] Series 4000 Advanced Flow Computer Reference Manual, COX Instrument 2002.
 - [109] Instruction Manual for Panel Tachometers, Monarch Instrument.
 - [110] Operating Manual 8000 Transducer Indicator, BLH Electronics, INC.
 - [111] Operating and Maintance Manual Vibration Meter Type 1-157, Bell&Howell.
 - [112] Operating and Maintance Manual Variable Filters Type 1-159, Bell&Howell.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Срђан Дамјановић

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом: Нова решења аквизиционог система на станицама за испитивање турбомлазног мотора са смањеном мерном несигурношћу

- ☒ резултат сопственог истраживачког рада;
- ☒ да докторска дисертација у цјелини ни у дјеловима није била предложена за стицање било које дипломе на другим високошколским установама;
- ☒ да су резултати коректно наведени и
- ☒ да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора



Мјесто: Бијељина

Датум: 22.12.2023.

Изјава о истовјетности штампане и електронске верзије докторске дисертације

Име и презиме аутора: Срђан Дамјановић

Наслов рада: Нова решења аквизиционог система на станицама за испитивање турбомлазног мотора са смањеном мерном несигурношћу

Ментор: Драган Станковић

Изјављујем да је штампана верзија моје докторске дисертације истовјетна електронској верзији коју сам предао/ла.

Ову изјаву дајем у сврху похрањивања моје докторске дисертације у **Дигитални репозиторијуму Универзитета у Источном Сарајеву**.

Потпис аутора



Мјесто: Бијељина

Датум: 22.12.2023.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитет у Источном Сарајеву да унесе моју докторску дисертацију у Дигитални репозиторијум под насловом:

Нова решења аквизиционог система на станицама за испитивање турбомлазног мотора са смањеном мерном несигурношћу

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Источном Сарајеву и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

- ☐ Ауторство (CC BY)
- ☒ Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- ☐ Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
- ☐ Ауторство – некомерцијално – дијелити под истим условима (CC BY-NC-SA)
- ☐ Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
- ☐ Ауторство – дијелити под истим условима (CC BY-SA)

Потпис аутора



Мјесто: Бијељина

Датум: 22.12.2023.

**Појашњење типа лиценце Креативне заједнице
за потребе попуњавања Изјаве о коришћењу**

1. **Ауторство (CC BY).** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство - некомерцијално (CC BY-NC).** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дјела.
3. **Ауторство - некомерцијално - без прерада (CC BY-NC-ND).** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, без промјена, преобликовања или употребе дјела у свом дјелу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дјела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дјела.
4. **Ауторство - некомерцијално - дијелити под истим условима (CC BY-NC-SA).** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дјела и прерада.
5. **Ауторство - без прерада (CC BY-ND).** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, без промјена, преобликовања или употребе дјела у свом дјелу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дјела.
6. **Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA).** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дјела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дјела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.