

POJAM, ZNAČENJE I ISKAZIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI

Dušan Benčić – Zagreb*

SAŽETAK. U ovom radu istaknuta su mišljenja stručnjaka o složenosti značenja osnovnih pojmova kao što su istinita vrijednost mjerene veličine, pogreška i mjerna nesigurnost s osobitim osvrtom na stavove i preporuke najuglednijih međunarodnih organizacija u području metrologije, a koje su rezultirale međunarodnim dogovorom za iskazivanje mjerne nesigurnosti što ga je publicirala Međunarodna organizacija za normizaciju ISO.

Ključne riječi: mjerna nesigurnost, istinita vrijednost, pogreška, metrologija.

1. UVOD

Svrha je svakoga mjerenja određivanje vrijednosti mjerne veličine. Izražena vrijednost u obliku mjernog rezultata, pri stručno i savjesno obavljenom mjernom postupku odgovarajućim mjernim instrumentima i priborom, trebala bi se približiti istinitoj vrijednosti dovoljno točno. No u suvremenoj mjernoj tehnici zahtijeva se iscrpna mjeriteljska informacija koja će korisnicima dati jasne iskaze o rezultatu, ali i njegovoj nesigurnosti, te koja mora biti utemeljena na jasnoći pojmova i podataka o izabranom matematičkom modelu i primijenjenoj matematičko-statističkoj analizi. Problemi nastaju zbog toga što se u različitim područjima mjerenja upotrebljavaju različiti izrazi i pojmovi, pa se i mjeriteljska informacija iskazuje različito. Još od Gaußova doba postoje teorije pogrešaka mjerenja. Pogreške se jednostavno dijele na slučajne i sustavne. Aritmetička sredina najvjerojatnija je vrijednost, a najčešći je kriterij za ocjenu točnosti *srednja pogreška* pa se npr. upotrebljavaju izrazi: srednja pogreška jednog (ili pojedinog) mjerenja i srednja pogreška aritmetičke sredine (Čubranić 1967). Razvojem matematičke statistike i statističkih analiza pojavljuje se nova terminologija u svim područjima mjeriteljstva. Umjesto "pogreške" primjenjuje se izraz "odstupanje", a kao mjera rasipanja "standardno odstupanje". U stručnoj se literaturi nalaze čak i nazivi "standardno odstupanje pojedinog mjerenja" ("Standardabweichung einer Einzelmessung" Witte, 1996), jer se pogreška mjerenja izjednačuje s mjernim odstupanjem.

Kako bi se različitosti terminologije i dvojbe izbjegle, međunarodne norme već niz godina tumače i propisuju uporabu različitih osnovnih pojmova u mjernoj tehnici (Ben-

* Prof.dr.sc. Dušan Benčić, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10 000 Zagreb.

čić, 1996). Prema njima, pogrešci mjerenja vraća se izvorno značenje, a to je odstupanje od *istinite vrijednosti* mjerene veličine (ISO 7078 E/F, 1985).

U svakom mjerenju postoje nesavršenosti koje uzrokuju pogrešku u mjernom rezultatu, no kako je i sama "istinita" vrijednost samo idealiziran pojam, to je i pogreška idealizirana i neodrediva veličina (vidi: t. 3.). Stoga je u novije vrijeme uveden nov pojam; zbog nesavršenosti mjerenja različitih uzroka jednostavno se kaže da je rezultat *nesiguran*.

Mjerna nesigurnost (engl. uncertainty of measurement, njem. Messunsicherheit) izraz je za činjenicu da za određenu *mjernu vrijednost* ili njezin mjerni rezultat ne postoji jedna vrijednost, već je moguć beskonačan broj vrijednosti raspršenih oko tog rezultata. Dakle, bit je u promatranju rasipanja mjernih vrijednosti i njegovo izražavanje mjernom nesigurnošću.

Zbog djelovanja slučajnih i *neizbježno* sustavnih utjecaja pri mjerenjima rezultat nije *najvjerojatnija vrijednost* mjerene veličine, već nakon primjerenih ispravaka *najbolja procjena vrijednosti* te veličine. Ta je dilema poznata još od Gaußa, jer se zbog nedostatka opsežnijeg kolektiva ne može tvrditi daje li se najvjerojatnija vrijednost (Höpcke 1980). Pretpostavi li se, dakle, da je mjerni rezultat *najbolja procjena* mjerene veličine, ostaje *nesigurnost* navedenog rezultata, tj. sumnja koliko dobro mjerni rezultat prikazuje vrijednost mjerene veličine. Zbog toga mjeriteljska informacija mora nužno uz mjerni rezultat sadržavati i *iskaz nesigurnosti*.

Međutim, i o mjernoj nesigurnosti postoje različite definicije i načini iskazivanja (Schmidt 1995). Prema normi DIN 1319, dio 3, 1983, mjerna se nesigurnost najčešće iskazuje sastavljenom od dva dijela: slučajne i sustavne sastavnice (Schmidt 1995; Benčić, Dusman 1994). U doba svjetskog tržišta prijeko je potrebno da u cijelom svijetu bude *jednaka metoda proračuna i izražavanja* mjerne nesigurnosti kako bi se mjerenja provedena u različitim zemljama mogla usporediti i primijeniti, slično kao što je to uvedeno sveopćom uporabom međunarodnog sustava jedinica (SI). Radi ostvarenja međunarodnog dogovora o proračunavanju, jednoznačnom tumačenju i iskazivanju nesigurnosti rezultata u vrlo različitim područjima mjerenja, kao npr. u znanosti, inženjerstvu, trgovini, industriji, Međunarodno je povjerenstvo za mjere i utege (CIPM) još 1978. godine zatražilo od Međunarodnog ureda za mjere i utege (BIPM) da razmotri problem dogovora za iskazivanje mjerne nesigurnosti. Osnovana je radna skupina stručnjaka koja je izradila preporuku INC-1 (1980) za izračunavanje eksperimentalnih nesigurnosti (vidi t. 2.). Preporuku INC-1 odobrio je i ponovno potvrdio CIPM u svojoj preporuci 1 (CI-1981) u kojoj ističe "potrebu da se nađe spoznavan način izražavanja mjerne nesigurnosti u metrologiji", te ponovo u preporuci 1 (CI-1986). Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti konačno priprema radna skupina četiriju najvažnijih međunarodnih organizacija s područja mjeriteljstva: ISO; IEC (Međunarodna elektrotehnička komisija); BIPM; OIML (Međunarodna organizacija za zakonsku metrologiju), a izdaje Međunarodna organizacija za normizaciju ISO (1993). Osim tih organizacija Upute su poduprle i objavile u njihovo ime: IFCC (Međunarodni savez za kliničku kemiju), IUPAP (Međunarodna udruga za čistu i primijenjenu fiziku) i IUPAC (Međunarodna udruga za čistu i primijenjenu kemiju).

Upute je prihvatio kao obavezne i Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo Republike Hrvatske i obznanio ih pod nazivom Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti, 1995 (u daljnjem tekstu: Upute).

Budući da je preporuka INC-1 temelj na kojemu su izrađene Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti, prvo se iznose njezine osnovne postavke, a zatim u daljnjem prikazu šire razrađuju osnovna načela i preporuke Uputa, zbog toga što predstavljaju sadašnje međunarodno gledanje na iskazivanje mjerne nesigurnosti.

2. PREPORUKA INC-1 O IZRAŽAVANJU EKSPERIMENTALNIH NESIGURNOSTI

1. Nesigurnost mjernog rezultata sastoji se općenito od više sastavnica što se prema primijenjenoj metodi kojom se procjenjuje njihova brojčana vrijednost mogu svrstati u dvije kategorije (vrste):

A sastavnice koje se proračunavaju statističkim metodama,

B sastavnice koje se proračunavaju na drugi način.

Ne postoji uvijek jednostavna veza između svrstavanja u kategoriju A ili B i prije korištenih svrstavanja u "slučajne" ili "sustavne" sastavnice nesigurnosti. Izraz "sustavna nesigurnost" može navoditi na pogrešna tumačenja i treba ga izbjegavati.

Svaki iscrpan izvještaj o nesigurnosti trebao bi sadržavati potpun popis tih sastavnica, navodeći za svaku sastavnicu metodu upotrijebljenu za dobivanje njezine brojčane vrijednosti.

2. Sastavnice A-vrste karakterizirane su procijenjenim varijancama s_i^2 (ili procijenjenim "standardnim odstupanjima" s_i) i brojem stupnjeva slobode. Kad postoje korelacije trebaju se dati i kovarijance.

3. Sastavnice B-vrste trebale bi biti karakterizirane veličinama u_j^2 koje se mogu smatrati približnim vrijednostima odgovarajućih varijanci. S veličinama u_j^2 može se postupiti kao s varijancama, a s veličinama u_j kao sa standardnim odstupanjima. Kad je to slučaj s kovarijancama se postupa na analogni način.

4. *Sastavljena nesigurnost* trebala bi biti karakterizirana vrijednošću dobivenom primjenom uobičajene metode sastavljanja varijanci. Sastavljena nesigurnost jednako kao i njezine sastavnice trebaju biti izražene u obliku "standardnih odstupanja".

5. Ako je za posebne primjene potrebno sastavljenu nesigurnost množiti s faktorom kako bi se dobila sveukupna ili *proširena nesigurnost*, treba uvijek navesti brojčanu vrijednost toga faktora.

3. MJERENA VELIČINA, ISTINITA VRIJEDNOST, POGREŠKA I NESIGURNOST

Za tumačenje osnovnih postavki Uputa za iskazivanje mjerne nesigurnosti potrebno je razmotriti neke osnovne pojmove u svjetlu međunarodnih normi i međunarodnog dogovora pri izradi Uputa. U tom će se prikazu iznijeti i mišljenja istaknutih geodetskih autora.

3.1. Mjerena veličina i istinita vrijednost

Mjerena veličina treba se s obzirom na zahtijevanu točnost odrediti s dostatnom potpunosti, tako da njezina vrijednost bude jedinstvena, što zahtijeva točan opis, odnosno njezino *određenje*. U tom smislu upotrebljava se izraz *vrijednost mjerene veličine*. Npr. pri mjerenju duljine s većom točnošću njezin opis trebao bi uključivati temperaturu, tlak i druge relevantne uvjete pri kojima je ona mjerena. Općenito, *određenje* mjerene veličine *točno utvrđuje* fizička stanja ili uvjete mjerenja. Određenje je npr. nepotpuno kad pretpostavlja parametre zanemarivog djelovanja, a to realno nije opravdano, ili kad se pretpostavljaju uvjeti koji nikad nisu potpuno ispunjeni, odnosno čije je nesavršeno ostvarenje teško uzeti u obzir. Mjerni rezultat ostvarene veličine ispravlja se za svako odstupanje od uvjeta za određenje i druga opažena značajna sustavna odstupanja. Premda se konačni *ispravljeni rezultat* katkad smatra najboljom procjenom "istinite" vrijednosti mjerene veličine ili "najvjerojatnijom" vrijednosti, u stvarnosti taj je re-

zultat, prema Uputama jednostavno: najbolja procjena mjerene veličine. U statistici postoji temeljni opći pojam "vjerojatnost", a ne najvjerojatnija vrijednost.

O problemu "istinite" vrijednosti i određenja mjerne veličine pisali su i brojni autori u geodetskoj stručnoj literaturi, tako npr. Wenderlein (1988) piše: "Ako pretpostavimo valjanost zakonitosti klasične fizike, dakle, prirodne zakone, to znači da se pri fizikalnim tokovima i okolnostima u istim uvjetima postiže uvijek isto ... ali klasični idealni slučaj apsolutne i konstantne jednakosti stvari ne postoji u prirodi, iako se često pretpostavlja ili tome teži. Posve točna mjerenja su nerealna." Isti autor (1989): "Što podrazumijevamo kao istinitu veličinu i istinitu vrijednost? O tom se pitanju uvijek raspravljalo. Npr. Grossman piše "Umjesto da mjerenja shvaćamo kroz matematičke modele, danas promatramo mjerenja više kao fizikalne događaje ... istinitu vrijednost ne može se nikada odrediti, ni u svjetlu moderne fizike definirati" (Grossman 1969). U istom smislu Gotthardt ističe da se stvarnost zamjenjuje pojednostavljenim *matematičkim modelom* pa se govori i o pogreškama modela. Gotthardt postavlja pitanje postoji li uopće istinita vrijednost, pri čemu se napokon ne smije previdjeti ni vremenska promjena svake fizikalne veličine (Gotthardt 1968). Dakle, jesu li u stvarnosti same stvari tako točne kao što mjerimo (Wenderlein 1989)? Wolf stoga govori o fikciji mjerenja (Wolf 1963).

U pogledu fizikalne neodredivosti istinite vrijednosti kao dane veličine stručnjaci imaju vrlo slična mišljenja. No problem istinite vrijednosti u širokom spektru mjerenja može se postaviti i šire. Pretpostavimo da je mjerena veličina debljina planparalelne ploče. Što je istinita vrijednost debljine, ako se posebno ne određuje da bi ta debljina trebala biti izmjerena na nekom definiranom mjestu na ploči? Nepotpuno određenje mjerne veličine postoji, dakle, i nakon svih ispravaka (npr. ispravci zbog temperature ploče od referencijske vrijednosti, odstupanja zbog moguće deformacije poradi pritiska pri kontaktnom mjerenju). Znači, i sama istinita "vrijednost" ima svoju nesigurnost. U ovom slučaju ona bi se mogla proračunati (procijeniti) iz mjerenja izvedenih na brojnim različitim mjestima na ploči.

Zaključujemo, općenito, da na nekoj razini svaka mjerena veličina ima "svojevite" nesigurnost koja se načelno može na određeni način samo procijeniti.

Najbolje moguće mjerenje bit će uvjetovano i *najmanjom nesigurnosti određenja* mjerene veličine.

Zbog svega toga naziv "istinita vrijednost mjerene veličine" (kratko: "istinita vrijednost") treba *izbjegavati* jer se riječ "istinita" smatra *suvišnom*. Stoga se u Uputama kaže: "Istinita" vrijednost mjerene veličine (ili veličine) jednostavno je *vrijednost te mjerene veličine* (ili *veličine*). Kako je naprijed pokazano, nedostižna "istinita" vrijednost samo je idealiziran pojam.

3.2. Pogreška

Općenito u svakom mjerenju postoje nesavršenosti koje uzrokuju pogrešku. Budući da se danas pogreška mjerne vrijednosti smatra njezinim odstupanjem od "istinite" vrijednosti, to na osnovi rečenog slijedi da je ona samo idealiziran pojam. Sve teorije o pogreškama mjerenja temelje se, dakle, još od Gaußa na pojmu koji je prema današnjem shvaćanju neodrediv. Temeljene na aksiomu najvjerojatnijih vrijednosti u mjerenjima koja danas dostižu preciznosti u nanometrima, one mogu uzrokovati različite nejasnoće pri iskazu mjeriteljske informacije.

Pri mjerenjima i u statističkim analizama govorimo o *odstupanjima* od referencijske vrijednosti, pa je danas i *temeljna* mjera rasipanja (mjernih) vrijednosti "*standardno odstupanje*". No pri nekim mjerenjima, kao što je to npr. u području zakonske metrologije (npr. pri usporedbi s mjernim etalonom, kad su nesigurnosti pridružene mjernom etalonu i postupku zanemarive s obzirom na zahtijevanu točnost) na mjerenje se može gledati kao na određivanje *pogreške* uređaja koji se ispituje. U teoriji pogrešaka pogreška se smatra sastavljenom od dviju sastavnica: slučajne i sustavne. Za slučajnu se

pogrešku, za razliku od sustavne, pretpostavlja da nastaje iz nepredvidljivih ili slučajnih uzroka. Tako npr. Gotthardt kaže: "sve one pogreške koje ne slijede bilo koji od nas poznati zakon, a ne mogu se svesti na nepažnju, stavljamo u skupinu slučajnih ili nepravilnih pogrešaka. Polazimo od spoznaje da slučajne pogreške pri svakom mjerenju uzimaju druge veličine i više ili manje egzaktno slijede zakone vjerojatnoće" (Gotthardt 1968).

No podjela pogrešaka na slučajne i sustavne vrlo je pojednostavljena jer ih je u nizu slučajeva teško razlučiti. Npr. u kratkom vremenskom razdoblju niz slučajnih pogrešaka s duljom periodičnosti promjena djeluju kao sustavne pogreške (korelirana mjerenja). Tako Höpcke kaže: "sustavnost i slučajnost pogrešaka isključuju se međusobno, to su *ekstremne suprotnosti*. Što je veća korelacija to više se djelovanje pogrešaka približava onom sustavnih pogrešaka" (Höpcke 1980). Uzrok je korelacija preklapanje slučajnih i sustavnih utjecaja o kojem funkcionalni model ne vodi dovoljno računa (Matthias 1986).

Zbog toga se u Uputama izbjegava podjela na slučajne i sustavne utjecaje, pa se i postavljaju pitanja jesu li svi utjecaji za koje se pretpostavlja da su slučajni i stvarno slučajni te, slijedom toga, do koje su mjere opetovana opažanja potpuno neovisna ponavljanja mjernog postupka?

Ako pri mjerenjima u terenskim uvjetima dolazi do promjena temperature, tlaka i vlage koje se mogu predvidjeti, ipak u tim promjenama postoji i snažan neslučajni element koji se ne može predvidjeti, ali ga je vrlo teško uzeti u obzir ili isključiti bez velikog iskustva i znanja, pa i posebnih istraživanja, npr. posebnim programom mjerenja u uvjetima ponovljivosti i obnovljivosti (Benčić, Dusman 1995, 1996). Takva istraživanja mogu dati saznanje o iskazivanju sastavnice standardne nesigurnosti B vrste, što će povećati mjernu nesigurnost rezultata, ali i realno iskazati tu nesigurnost.

Ako sustavna pogreška potječe od utvrđenog djelovanja utjecajne veličine na mjerni rezultat, onda ta djelovanja treba količinski iskazati i, ako su u odnosu na zahtijevanu mjernu točnost znatna, primijeniti *ispravak*. No i ispravak ima svoju nesigurnost. Nesigurnost ispravka nije, kako se katkad naziva, sustavna pogreška u mjernom rezultatu zbog tog djelovanja. Ona je sastavnica nesigurnosti rezultata zbog nepotpunog poznavanja ispravka.

Može se zaključiti da je zbog nepoznavanja "istinite" vrijednosti mjerene veličine pogreška samo idealiziran pojam. Stoga za ocjenu mjernog rezultata nećemo primijeniti naziv "pogreška". U novije vrijeme uveden je nov pojam – *nesigurnost*. Nazivi "pogreška" i "nesigurnost", međutim, *potpuno su različiti pojmovi*. Tako npr. (eksperimentalno) standardno odstupanje aritmetičke sredine *nije slučajna pogreška* srednje vrijednosti, premda se tako označuje u nekim publikacijama. Standardno odstupanje srednje vrijednosti je mjera *nesigurnosti* srednje vrijednosti zbog slučajnih djelovanja (Upute 1995).

3.3. Mjerna nesigurnost

U praksi postoji mnogo mogućih izvora nesigurnosti u mjerenju, kao npr. nepotpuno određenje mjerne veličine i nesavršeno određenje mjerne veličine, nedovoljno poznavanje djelovanja uvjeta okoliša na mjerenje ili nesavršeno mjerenje uvjeta okoliša, približna određenja i pretpostavke uključene u mjernu metodu, promjene opetovanih opažanja mjerene veličine u prividno istovjetnim uvjetima, pogreške instrumenata i uređaja, itd.

Proračun nesigurnosti nužno pridružene rezultatu uvijek je vrlo težak i odgovoran zadatak mjeritelja. Metoda za iskazivanje mjerne nesigurnosti mora dati najbolju proračunanu vrijednost i mora biti istovjetna u širokom spektru mjerenja, što znači:

- *sveobuhvatna*, primjenjiva na *sve vrste* mjerenja i *sve vrste* ulaznih podataka pri mjerenju.

Veličina koja se upotrebljava za izražavanje nesigurnosti trebala bi biti:

- *unutarnje povezana*, izravno izvodiva iz sastavnica koje joj pridonose i neovisna o tome kako su te sastavnice svrstane u skupine,
- *prenosiva*, što znači da bi trebalo biti moguće upotrijebiti nesigurnost proračunatu za jedan rezultat kao sastavnicu u proračunu nesigurnosti drugog mjerenja u kojem se upotrebljava taj prvi rezultat (Upute 1995).

Treba imati na umu da bi *umanjen* iskaz nesigurnosti mogao uzrokovati previše povjerenja u iskazane vrijednosti rezultata s katkad nepriličnim ili čak katastrofalnim posljedicama. Namjerno *preuveličan* iskaz nesigurnosti mogao bi imati neželjene posljedice. Mogao bi, npr., navesti korisnike mjerne opreme da kupuju mnogo skuplje mjerne instrumente nego što je potrebno, ili uzrokovati da se skupi proizvodi nepotrebno odbace, a isto tako uzrokovati primjenu znatno skupljih mjernih postupaka itd.

Određenje mjerne nesigurnosti usmjereno je na *mjerni rezultat* i njegovu proračunatu nesigurnost. Međutim, ono *nije nespojivo* s drugim pojmovima, kao što su:

- mjera *moguće pogreške* u procijenjenoj vrijednosti mjerene veličine dobivene mjernim rezultatom,
- procjena koju opisuje *područje vrijednosti* u kojem leži "istinita" vrijednost mjerne veličine.

Premda su ta dva uobičajena pojma valjana, ona ipak stavljaju u *žarište* neutvrđive veličine: "pogrešku" mjernog rezultata i "istinitu" vrijednost mjerne veličine nasuprot njezinoj procijenjenoj vrijednosti (Upute 1995).

Postoje dva mišljenja o iskazivanju mjerne nesigurnosti. Prvo je da iskazana nesigurnost treba biti "sigurna" ili "konzervativna", što znači da nikad ne smije biti pogrešna u smislu smanjenja njezine vrijednosti. Zbog toga se ona *namjerno* povećava. Drugo nastoji da utjecaji koji uzrokuju mjernu nesigurnost budu uvijek prepoznatljiviji kao "slučajni" i "sustavni", pa bi se i nesigurnosti trebale iskazivati posebno. No, kako je istaknuto, teško je i nepotrebno provoditi takvu podjelu, pa prema Uputama ne postoji bitna razlika između sastavnice nesigurnosti koja potječe od slučajnih djelovanja i sastavnice koja potječe od sustavnih djelovanja.

Međunarodni dogovor o iskazivanju mjerne nesigurnosti *prekida* često zbujujuću vezu između nesigurnosti i neutvrđivih veličina, kao što su "istinita" vrijednost i "pogreška". Tako, npr., mjerni rezultat nakon ispravka može biti neodredivo *blizu* vrijednosti mjerne veličine i prema tome imati *zanemarivu pogrešku* premda može imati *veliku nesigurnost*. Nesigurnost mjernog rezultata ne smije se brkati ni s preostalom nepoznatom pogreškom.

Kako međunarodno prihvaćena preporuka INC-1 (vidi t. 2) postavlja da se *nesigurnost rezultata* izražava u obliku *standardnih odstupanja*, to su uvedeni novi izrazi i pojmovi:

Standardna nesigurnost

Nesigurnost mjernog rezultata izražena kao standardno odstupanje.

Proračun nesigurnosti A-vrste

Metoda proračuna nesigurnosti statističkom analizom niza opažanja.

Proračun nesigurnosti B-vrste

Metoda proračuna nesigurnosti na načine koji su različiti od statističke analize niza opažanja.

Sastavljena (složena) standardna nesigurnost

Standardna nesigurnost mjernog rezultata, dobivenog iz vrijednosti više drugih veličina, jednaka pozitivnom drugom korijenu zbroja članova koji čine varijance i kovarijance tih drugih veličina pomnožene koeficijentima osjetljivosti koji odražavaju odnos promjene mjernog rezultata prema promjeni tih veličina.

Proširena nesigurnost

Veličina koja određuje interval oko mjernog rezultata za koji se može očekivati da obuhvaća velik dio razdiobe vrijednosti što bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini.

Kako bi se intervalu određenom ukupnom nesigurnošću pridružila specifična razina pouzdanosti ili povjerenja, potrebno je izravno ili neizravno pretpostaviti razdiobu vjerojatnosti vrijednost mjerene veličine.

Napomena:

U prijevodu Uputa (1995) upotrebljava se izraz: "povećana nesigurnost". Kako se on može krivo tumačiti, ne preporuča se. U izvorniku preporuke INC-1 na francuskom jeziku upotrijebljen je izraz "incertitude globale". Dobar izraz "proširena nesigurnost" upotrebljava se u (Godec 1995).

Faktor proširenja

Brojčani faktor koji se upotrebljava kao množitelj sastavljene standardne nesigurnosti da bi se dobila proširena nesigurnost.

Taj faktor k obično je između 2 i 3. Izbor njegove vrijednosti olakšat će iskustvo i poznavanje primjene mjernog rezultata.

Napomena:

U prijevodu Uputa (1995) upotrijebljen je izraz: "faktor pokrivanja".

Od novih izraza *temeljno značenje* ima "standardna nesigurnost", što je zapravo skraćeni izraz, budući da se mjerna *nesigurnost* rezultata izražava *standardnim odstupanjem* (prema preporuci INC-1 i sve sastavnice mjerne nesigurnosti).

Tako npr., pri nizu *ponovljenih mjerenja* u uvjetima ponovljivosti za ocjenu rezultata ne ćemo više upotrebljavati izraz "srednja pogreška aritmetičke sredine", a "standardno odstupanje srednje vrijednosti" iskazat ćemo kao *standardnu nesigurnost* rezultata, u ovom slučaju zbog slučajnih djelovanja. Kako se radi o statističkom proračunu, to će biti *standardna nesigurnost A-vrste* i može se označiti s u_A .

Ukoliko mjerena veličina nije dobivena iz opetovanih opažanja te se ne može primijeniti statistički proračun mjerne nesigurnosti, standardno se odstupanje može odrediti (procijeniti) na osnovi malog broja podataka pomoću apriornih razdioba ili drugih pouzdanih podataka, npr. intervala mjerne nesigurnosti i vjerojatnosti, mjerne vrijednosti, ponovljivosti ili obnovljivosti (Benčić, Dusman 1995) itd. danih na osnovi prethodnih ispitivanja. Tako određeno standardno odstupanje bit će izraženo kao *standardna nesigurnost B-vrste* i može se označiti s u_B .

Opis proračuna sastavnica nesigurnosti A-vrste i B-vrste, sastavljene nesigurnosti i proširene nesigurnosti izložit će se u sljedećim radovima.

LITERATURA

- Benčić D., Dusman F. (1994): Od mjerenja do mjeriteljske informacije, Geodetski list, 2, 129-146.
- Benčić D. (1996): Osnovni pojmovi mjerne tehnike u svjetlu međunarodnih normi, Geodetski list, 2, 143-153.
- Benčić D., Dusman F. (1995): Pojam i značenje mjerne ponovljivosti obnovljivosti, Geodetski list, 2, 107-120.
- Benčić D., Dusman F. (1996): Analiza višestrukih mjerenja, Geodetski list, 3, 255-567.
- Čubranić N. (1967): Teorija pogrešaka s računom izjednačenja, Tehnička knjiga, Zagreb.
- Godec Z. (1995): Iskazivanje mjernog rezultata, Graphis, Zagreb.
- Grossman W. (1969): Grundzüge der Ausgleichrechnung, Springer-Verlag 3. Auflage.
- Gotthardt E. (1968): Einführung in die Ausgleichrechnung, Sammlung Wichmann, Band 3.

- Höpcke W. (1980): Fehlerlehre und Ausgleichrechnung, Berlin-New York.
- Schmidt H. (1995): Messabweichungen, Korrelationen und Messunsicherheit, ZfV 11, 545-555.
- Wenderlein W. (1988): Zum Begriff Genauigkeit in der Geodäsie, AVN 4, 147-148.
- Wenderlein W. (1989): Das Prinzip Genauigkeit, AVN 6, 240-242.
- Witte B. (1996): Zur Problematik der inneren und äusseren Genauigkeit elektrooptischer Distanzmesser AVN 1, 18-26.
- Wolf H. (1963): Ausgleichrechnung und der Methode der kleinsten Quadrate, Hanseatische Verlagsanstalt, Hamburg.
- Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti (1995), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Grafok, d. o. o., Zagreb.
- Međunarodne norme: ISO-7078 E/F, 1985; DIN 1319, Teil 3, 1983.

CONCEPTS, MEANING AND EXPRESSING OF THE MEASURING UNCERTAINTY

ABSTRACT. This paper brings the opinions of experts about the complexity of the meaning that the basic items like the true value of the measuring quantity, error and measuring uncertainty have, accompanied with a special review of the attitudes represented by the most eminent international organizations in the field of metrology, which resulted in the international agreement for expressing measuring uncertainty published by the International Organization of Standardization ISO.

Key words: measuring uncertainty, true value, error, metrology.

Primljeno: 1998-01-22