

UDK 528.02:53.08:001.4:006.3(100)  
Pregledni članak

## OSNOVNI POJMOVI MJERNE TEHNIKE U SVJETLU MEĐUNARODNIH NORMI

Dušan BENČIĆ – Zagreb\*

*SAŽETAK. Povijesni razvoj tehničkih i prirodnih znanosti uzrokovao je heterogenost terminologije i nejasnoću u primjeni nekih osnovnih pojmova mjerne tehnike. Stoga su u ovome radu prikazana tumačenja osnovnih pojmova i izraza u svjetlu međunarodnih normi.*

### 1. UVOD

Razvoj tehničkih i prirodnih znanosti, međusobno uslovljen i povezan, no različit po svojim specifičnostima, uzrokovao je i osebujan razvoj terminologije. To je osobito došlo do izražaja usporednim razvojem teorije vjerojatnosti i matematičke statistike sa specifičnom terminologijom, koja je poslije usvojena na području mjerne tehnike u mnogobrojnim analizama mjernih podataka. Rezultat takvog razvoja vidimo u različitostima tumačenja i primjene niza pojmova mjerne tehnike. Osim toga, svestrani tehnološki razvoj, a posebice razvoj znanstvene metrologije zahtijeva i razvoj stručne terminologije, pa su i neki pojmovi običnoga govornog jezika dobili posve egzaktno stručno značenje u teoriji mjerenja. Spomenimo npr. stručne izraze kao što su: preciznost, točnost, nepouzdanost, nesigurnost, ponovljivost, obnovljivost, odstupanje (mjerno), pogreška itd. Osnovna svrha ovog rada je komparativni prikaz mjerodavnih tumačenja pojmova i izraza u međunarodnim normama uz komentar.

### 2. ZNAČENJE NORMI I NORMIRANJA

Norma je dokument sastavljen konsenzusom i odobren od ovlaštenog organa, namijenjen općoj i višekratnoj upotrebi, koji određuje pravila, odrednice ili značajke djelovanja ili njihovih rezultata radi postizanja optimalne uređenosti u području na koje se norma odnosi. Norme se trebaju zasnivati na uopćenim rezultatima znanosti, tehnologije i iskustva u cilju promicanja najpovoljnije koristi za zajednicu (Kurelec, 1992).

Postoje različite razine normiranja: interne, granske, nacionalne, regionalne i međunarodne norme. Sve razine tvore sustav s uzajamnim vezama i međusobno

---

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

se prekrivaju. Međunarodne su norme u vrhu piramide. Valja istaknuti da danas postoje dvije međunarodne organizacije koje su specijalizirane za normizaciju. To je ISO (The International Organisation For Standardization), koja pokriva sva područja osim elektrotehnike i elektronike, a taj dio pokriva IEC (International Electrotechnical Commission). ISO je zapravo federacija nacionalnih tijela za normizaciju (ISO member bodies), a međunarodne se norme pripremaju putem ISO tehničkih komiteta. Svaka članica ima pravo biti reprezentirana u tehničkom komitetu. Međunarodne norme prihvaćene u tehničkim komitetima kruže najprije među tijelima – članovima u svrhu glasovanja. Publiciranje međunarodne norme zahtijeva odobrenje najmanje 75% članica koje imaju pravo glasovanja. Norme su obvezatne za sve zemlje-članice koje u **svojim odnosima s drugim zemljama** zahtijevaju ispunjavanje tih normi, pa ISO norme imaju **široko međunarodno značenje**.

Informacijska mreža ISO utemeljena je 1975. pod nazivom ISO Network (ISONET) i povezuje nacionalne informacijske centre. Svaki je nacionalni centar odgovoran za informacije o normativnim dokumentima u svojoj zemlji, a ISONET na međunarodnoj razini.

Od nacionalnih normi značajne su DIN-norme koje izrađuje i donosi Deutsches institut für Normung. One su prihvaćene u Europskoj zajednici kao europske norme (EN) pa one imaju također posebno značenje i za Hrvatsku kao europsku zemlju.

Budući da norme izrađuju vrhunski stručnjaci za odgovarajuća područja, a nužan je poseban postupak prihvaćanja, to one imaju široko značenje ne samo u opisima i propisima, već i u tumačenju pojmova i primjeni terminologije prihvaćene na međunarodnoj razini. Naravno, treba uzeti u obzir da su općim tehničkim razvojem i norme podložne promjenama.

Istaknimo da je u Republici Hrvatskoj 1991. osnovan Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo s više odjela. Odjel za normizaciju ima zadatak koordinaciju rada i rad na izradbi, donošenju i primjeni normi i tehničkih propisa. U dogovoru s Državnom geodetskom upravom u postupku je izrada i donošenje hrvatskih normi u području geodetske djelatnosti i mjeriteljstva.

Ovaj osvrt ima i tu svrhu da istakne njihovo značenje.

### 3. PRAVA, ISPRAVNA I OČEKIVANA VRIJEDNOST (VELIČINE)

#### 1. **Prava (istinita) vrijednost** (engl. true value, njem. Wahrer Wert):

Prema ISO 7078 E/F (1985) to je vrijednost koja karakterizira savršeno definiranu veličinu u onim uvjetima kad se ta veličina opaža.

Bilješke: 1. Srednja vrijednost dovoljno velikog uzorka opažanja istog objekta, nakon eliminacije sustavnih pogrešaka, općenito se smatra najboljom procjenom prave vrijednosti.

2. Za izvjesne svrhe, dane referentne vrijednosti mogu se smatrati kao prave vrijednosti.

Prema DIN 55350, dio 13 (1987) to je stvarna vrijednost karakteristične veličine u danim mjernim uvjetima.

Napomena 1. Često je prava vrijednost idealna vrijednost, budući da bi se ona mogla utvrditi samo ako bi se izbjegla pojedinačna odstupanja rezultata ili teorijskim putem.

Napomena 2. Prava vrijednost matematičko-teorijske karakteristike naziva se i *egzaktna vrijednost*.

## 2. **Ispravna vrijednost** (engl. conventional true value, njem. Richtiger Wert)

Prema DIN 55350, dio 13 to je vrijednost u svrhe usporedbe s odstupanjem od prave vrijednosti koje se može zanemariti pri usporedbi.

Napomena 1. Ispravna vrijednost je približna vrijednost prave vrijednosti. Ona se može ostvariti iz internacionalnih, nacionalnih ili radnih etalona, referentnih materijala ili referentnih postupaka (npr. na osnovi posebno organiziranih ispita).

Napomena 2. Postoji više naziva sinonima za *ispravnu vrijednost*. Ove nazive treba izbjegavati radi mogućih nesporazuma.

Napomena 3. Primjenjuje se i (*dogovorna*) *ispravna vrijednost* [njem. (konventionell) richtiger Wert].

## 3. **Očekivana vrijednost** (engl. expectation, njem. Erwartungswert):

Prema DIN 55350, dio 13 to je srednja vrijednost rezultata koja bi se mogla dobiti pri neprekidnom ponavljanju primijenjenog postupka u danim uvjetima.

Prema ISO 3534 E/F (1977) to je očekivanje (srednja vrijednost) slučajne varijable:

a) Za diskretnu slučajnu varijablu  $X$  koja ima vrijednosti  $x_i$  s vjerojatnosti  $p_i$ , očekivanje je definirano sa:  $E(X) = \sum p_i x_i$ , suma je uzeta za sve vrijednosti  $x_i$  koje može poprimiti  $X$ .

b) Za kontinuiranu slučajnu varijablu  $X$  s gustoćom razdiobe  $f(x)$ , očekivanje se definira:  $E(X) = \int x f(x) dx$ , integral proširen na sve vrijednosti intervala varijable  $X$ .

## 4. TOČNOST, ISPRAVNOST I PRECIZNOST

### 1. **Točnost** (engl. accuracy (of measurement), njem. Genauigkeit)

Prema ISO 7078 E/F, 1985 to je bliskost slaganja rezultata mjerenja (istinske mjerne vrijednosti)<sup>2</sup> i prave vrijednosti ili vrijednosti mjerne veličine uzete kao prave.

Bilješka. *Izrazi preciznost i točnost* moraju se rabiti u ispravnom značenju i pritom ih treba razlikovati.

Prema DIN 55350, dio 13, 1987 to je kvalitativna oznaka za mjeru približenja rezultata referentnoj vrijednosti pri čemu ta vrijednost već prema utvrđenom ili dogovorenom, može biti prava, ispravna ili očekivana.

Napomena 1. Nipošto se ne savjetuje pogrešno uzimanje kvantitativnih podataka za tu mjeru približenja s oznakom *točnost*. Za kvantitativne podatke vrijedi pojam nesigurnosti rezultata, a kod mjernih rezultata pojam mjerne nesigurnosti (vidi točku 7.).

Napomena 2. Točnost se odnosi na očekivanu vrijednost samo ako ne postoji prava (ili ispravna) vrijednost. U tom slučaju ne može se primijeniti ni pojam ispravnosti. Podaci o preciznosti su istodobno i podaci o točnosti.

Napomena 3. Pri mjernom rezultatu točnost je određena s pažnjom s kojom su isključena poznata sustavna odstupanja i s pomoću mjerne nesigurnosti.

### 2. **Ispravnost** (engl. trueness, njem. Richtigkeit)

Prema DIN 55350, dio 13, 1987 to je kvalitativna oznaka za mjeru približenja

<sup>2</sup> U normi ISO 7078 istinska mjerna vrijednost (actual measured value) definirana je kao vrijednost veličine koja se dobiva nakon korekcije mjerenja za poznate pogreške mjerenja.

očekivane vrijednosti rezultata referentnoj vrijednosti pri čemu, već prema utvrđenom ili dogovorenom, ta vrijednost može biti prava ili ispravna.

Napomena 1. Što su manja sustavna odstupanja rezultata, to je ispravniji postupak.

Napomena 2. Pri kvantitativnim se podacima kao mjera ispravnosti primjenjuje općenito ono sustavno odstupanje rezultata, koje se daje kao razlika između srednje vrijednosti rezultata, koji se utvrđuje višestrukom primjenom utvrđenog postupka, i ispravne vrijednosti.

### 3. Preciznost (engl. precision, njem. Präzision)

Prema ISO 7078 E/F, 1985 to je bliskost slaganja između mjernih vrijednosti dobivenih višekratnom primjenom mjernog postupka u propisanim uvjetima.

Bilješka: Standardno odstupanje je mjera preciznosti. Što su manje slučajne pogreške, to je precizniji postupak. Izraz preciznost često se neispravno primjenjuje da označi visoku kvalitetu mjernog instrumenta ili postupka, npr. precizna mjerna vrpca. Preciznost se ne smije zamijeniti s točnošću.

Prema ISO 5725 (E), 1986 to je bliskost slaganja međusobno neovisnih rezultata ispita u propisanim uvjetima.

Bilješka: Preciznost ovisi samo o razdiobi slučajnih pogrešaka i ne odnosi se na pravu vrijednost, istinitu ili specificiranu vrijednost.

Prema DIN 55350, dio 13, 1987 to je kvalitativna oznaka za mjeru približenja međusobno neovisnih rezultata pri višestrukoj primjeni utvrđenog postupka u danim uvjetima.

Napomena 1. Što je veća mjera međusobnog približenja međusobno neovisnih rezultata, to je precizniji postupak.

Napomena 2. Dani uvjeti mogu biti vrlo različiti. Stoga se razmatraju dva ekstremna slučaja, uvjeti ponovljivosti i uvjeti obnovljivosti.

**Komentar.** Kako se vidi iz citiranih normi vrlo je jasna razlika pojmova točnosti, ispravnosti i preciznosti, a tumačenja su suglasna. Norme jasno ističu da se ti pojmovi pri uporabi moraju razlikovati. Moramo razlikovati kvalitativne oznake od kvantitativnih podataka i mjera. Npr. norma ISO 7078 E/F, 1985 propisuje razrede točnosti (accuracy class) na sljedeći način:

1. Klasifikacija mjernih rezultata u grupe kojih članovi pokazuju sličnu točnost unutar specificiranih granica pogrešaka.

2. Klasifikacija po specificiranom zahtjevu točnosti za mjerni instrument ili mjernu metodu.

Iz normi nije tu prenijeto tumačenje ponovljivosti i obnovljivosti mjerenja, kao ni opis uvjeta ponovljivosti i obnovljivosti, budući da je o tome opširno pisano u ovom listu (v. Benčić, Dusman, 1995). No, istaknimo da preciznost ovisi o danim uvjetima i može biti uz različite uvjete (ali dane uvjete) različita (vidi: Napomena 2, DIN 55350, dio 13, 1987 pri tumačenju preciznosti). Klasifikacija na *unutarnju* i *vanjsku* točnost pri mjerenjima prema H. Wolfu ne može se više primijeniti. O točnosti pri mjerenjima može se govoriti samo u odnosu na bliskost slaganja ili mjeru približenja pravoj (ili ispravnoj) vrijednosti.

Moglo bi se navesti niz primjera neispravne uporabe tih pojmova i u novijoj stručnoj literaturi, no to nije svrha ovog prikaza. Znatno veći problemi pojavljuju se u primjeni kvantitativnih mjera.

## 5. MJERNO OdstUPANJE I POGREŠKA MJERENJA

### 1. Mjerno odstupanje (odmak) (engl. measuring deviation, njem. Messabweichung)

Prema DIN 1319, dio 1, 1985, mjerno odstupanje je razlika između mjerne vrijednosti i referentne vrijednosti.

Napomena 1. U mjernoj tehnici referentna je vrijednost pri danim uvjetima prava vrijednost mjerne veličine (u principu nepoznata) ili konvencionalna ispravna vrijednost mjerne veličine (poznata).

Napomena 2. Mjerno odstupanje može sadržavati slučajna i sustavna odstupanja (DIN 1319, dio 3, 1983).

Napomena 3. Za mjerno odstupanje prije se upotrebljavao izraz *pogreška*.

### 2. Pogreška (engl. nonconformity, error, njem. Fehler)

Prema DIN 55350, dio 11, 1987 definirana je općenito kao neispunjavanje jednog zahtjeva.

Npr. ako karakteristična vrijednost leži izvan područja tolerancije radi se o pogrešci.

Napomena: Pojam pogreške prije se upotrebljavao u drugom smislu, npr. u području mjerne tehnike u smislu odstupanja.

Prema ISO 7078 E/F, 1985, to je rezultat mjerenja minus prava vrijednost mjerne veličine.

U geodeziji i graditeljstvu to znači razliku između opažane ili računalne vrijednosti ili veličine i prave vrijednosti ili vrijednost veličine uzete kao prave.

Bilješke:

1. Pogreška se može općenito dijeliti na slučajnu i sustavnu. Grube pogreške su propusti, kao npr. neispravno očitavanje skale.
2. Prava je vrijednost obično nepoznata, tako da se pogreška može samo procijeniti.

### 3. Slučajno odstupanje (njem. zufällige Abweichung)

Prema DIN 18709, dio 4, 1984, to je razlika između opažane vrijednosti (mjerna vrijednost) i očekivane vrijednosti slučajne veličine (mjerna veličina).

Napomena: Naziv *slučajno odstupanje* se ne shvaća kao prije upotrebljavan *slučajna pogreška*. Taj prijašnji naziv imao je smisla ako je za slučajnu veličinu postojala prava vrijednost.

### 4. Slučajna pogreška (engl. random error, accidental error)

Prema ISO 7078 E/F, 1985, to je sastavnica pogreške mjerenja koja se tijekom brojnih mjerenja iste veličine mijenja na nepredvidiv način u stvarno identičnim uvjetima.

### 5. Sustavno odstupanje (njem. systematische Abweichung, engl. bias)

Prema DIN 18709, dio 4, 1984, to je razlika očekivane i prave vrijednosti mjerne veličine.

**Komentar.** Zanimljivo je da je u toj normi uz naziv *systematische Abweichung* u zagradu stavljeno i *systematischer Fehler*, iako se sustavno provodi izraz *Abweichung* (v. slučajno odstupanje). To bi značilo da se izraz pogreška može primijeniti ako se radi o odstupanjima u odnosu na **pravu vrijednost**. Doista, ukoliko se radi o odstupanjima mjernih vrijednosti od prave vrijednosti mjerne veličine, onda možemo smatrati da su mjerenja u tim iznosima pogrešna – to su (prave) pogreške mjerenja. No, promotrimo u toj normi i definiciju i opis izraza *pravo odstupanje*.

## 6. Pravo odstupanje (njem. wahre Abweichung)

Prema DIN 18709, dio 4, 1984, to je razlika između opažane vrijednosti (mjerne vrijednosti) i prave vrijednosti slučajne veličine (mjerne veličine); također to je i zbroj sustavnog odstupanja i slučajnog odstupanja.

Napomena 1. Ako opažane vrijednosti ne sadrže sustavna odstupanja, slučajno je odstupanje jednako pravom. To je prije šutke pretpostavljeno.

Napomena 2. Prije upotrebljavan naziv *prava pogreška* u skladu i s terminologijom u normi DIN 1319, dio 3, 1983 ne bi se više trebao upotrebljavati.

## 7. Sustavna pogreška (engl. systematic error)

Prema ISO 7078 E/F, 1985, to je sastavnica pogreške mjerenja koja tijekom brojnih mjerenja iste veličine ostaje konstantna ili se mijenja na predvidiv način ako se mijenjaju uvjeti.

Bilješka:

1. Uzroci sustavne pogreške mogu biti poznati ili nepoznati.
2. Neke sustavne pogreške mogu biti identificirane i odvojene, a njihov učinak uklonjen primjenom propisanog mjernog postupka, računom ili kalibracijom. One ne mogu, u pravilu, biti određene npr. ponovljenim mjerenjima.

## 8. Ukupna (totalna) pogreška mjerenja (engl. total measuring error)

Prema ISO 7078 E/F, 1985, ukupna pogreška mjerenja sadrži slučajnu i sustavnu pogrešku.

- a) apsolutna pogreška mjerenja izražena u jedinicama mjerne veličine; to je rezultat mjerenja minus prava vrijednost;
- b) relativna pogreška je omjer između apsolutne pogreške i prave vrijednosti.

**Komentar:** Mjerno odstupanje ili pogreška mjerenja?

Pri usporedbi citiranih normi prvo se postavlja gornje pitanje. Napomenimo da su sve navedene bilješke i napomene izvorni prijevodi iz spomenutih normi, što jasno pokazuje izričite stavove u normama.

Uočujemo da se u svim navedenim DIN-normama upotrebljava izraz *odstupanje* (Abweichung), a u ISO-normama dosljedno provodi izraz *pogreška* (error). Usporedimo u ovom dijelu 5.1. (DIN 1319,1) i 5.2. (ISO 7078 E/F), zatim 5.3. i 5.4., 5.5. i 5.7. U DIN-normama se izričito ističe da se pojam pogreške **prije** upotrebljavao u smislu odstupanja. U normi DIN 1319, dio 3, 1983, koja se često citira, stoji: »Mjerna odstupanja kraće nazivamo odstupanjima«. Slučajna odstupanja mjernih vrijednosti **prije su se nazivala slučajne pogreške**, a sustavna odstupanja *sustavne pogreške*. Na kraju se u objašnjenjima ukazuje na DIN-Mitteilungen 59, 1980 o zaključcima radnog tijela da se pri mjerenju fizikalne veličine (mjerna veličina) izraz *pogreška* zamijeni s *mjerno odstupanje* (kraće *odstupanje*), a da se *utvrđeno sustavno odstupanje* pri mjernim uređajima (npr. pokazni mjerni uređaji) može nazvati i *pogreškom*.

Navedene norme stare su više od 10 godina, a kako su i norme podložne promjenama, postavlja se pitanje kakvo je stanje u toj temeljnoj dilemi danas. Ostat ćemo pri usporedbi DIN-normi i ISO-normi, a koristit ćemo norme koje nas najviše zanimaju, a to su norme iz područja mjernih instrumenata.

Dug je bio postupak za donošenje tih normi, a treba istaknuti da su održani i konzultativni sastanci radnih grupa s Komisijom 5 FIG-a u kojoj sam bio delegat.

Objavljene su:

- norme ISO 8322 u 8 dijelova s osnovnim nazivom »Building construction-

Measuring instruments-Procedures for determining accuracy in use«, u razdoblju od 1989. do 1992. godine,

– norme DIN 18723 u 7 dijelova s osnovnim nazivom »Feldverfahren zur Genauigkeitsuntersuchung geodätischer Instrumente«, tijekom 1990. godine.

U DIN-normama 18723 za sve osnovne pojmove poziva se na definicije dane u DIN-normama koje smo u osnovnim crtama prikazali (DIN 55350, 18709, 1319). Dosljedno je upotrijebljen izraz *odstupanje* (npr. sustavno odstupanje), zatim *standardno odstupanje* (v. točku 6). Pri ispitivanjima daljinomjera, za odstupanje od ispravne vrijednosti na osnovici, primjenjuje se izraz *pravo odstupanje* (wahre Abweichung), dok se npr. pri zaokruživanju očitane vrijednosti govori o *pogreški zaokruživanja* (Rundungsfehler).

Zanimljivo je da se u nazivu normi govori o »terenskim postupcima za ispitivanje točnosti geodetskih instrumenata«, dok se u razradi opisuje *preciznost* označena standardnim odstupanjem.

U ISO-normama 8322 upotrebljava se također izraz *odstupanje* (deviation), npr. *calculate the deviations of each value from arithmetic mean* (računaj odstupanje svake vrijednosti od aritmetičke sredine). Isto tako dosljedno se rabi izraz *standardno odstupanje*. Izraz *pogreška* (error) u ovim ISO-normama primjenjuje se samo u specifičnim slučajevima. Tako se npr. također govori o pogreškama zaokruživanja (roundings errors).

Značajno je da se izraz *pogreška* (error) primjenjuje pri ispitivanju elektroničkih daljinomjera na osnovici za račun razlike između srednje vrijednosti mjerene duljine daljinomjerom i duljine koja je prihvaćena kao prava. Također u normi ISO-8322-8, u kojoj se opisuje ispitivanje elektroničkih daljinomjera, aneks A ima naslov »Systematic errors inherent in the instrument« (sustavne pogreške svojstvene instrumentu), a opisuje se ispitivanje tzv. nulte pogreške i cikličke pogreške pod naslovom »Procedure for determining the zero error and the cyclic error«.

Vidimo, da izraz *pogreška* u novim normama općenito dobiva određeni smisao. To bi u osnovi bila definicija dana u t. 5.2. prema ISO 7078 E/F-1985.

Zaključujemo, općenito treba upotrebljavati izraz *odstupanje* ili, što je u hrvatskom jeziku također pravilno, *odmak* za sva odstupanja mjernih vrijednosti od referentne vrijednosti, kao što je prava vrijednost, istinita vrijednost, ali i očekivana vrijednost, odnosno procjena: aritmetička sredina. Izraz *pogreška* upotrebljava se u novim međunarodnim normama samo u smislu **pravog odstupanja**.

Logično je da je ispravno govoriti i o **pogreškama instrumenta**, kao npr. pogreška horizontalne osi teodolita ili pogreška vertikalne osi nivelira, jer je položaj tih osi stvarno pogrešan za iznos odstupanja od **pravog položaja**. Izraz *pogreška* se logično upotrebljava za odstupanja koja prelaze zadanu veličinu, danu teorijskim razmatranjem ili ispitivanjem, kao i statističkom analizom. Mjerenja s takvim odstupanjima su doista pogrešna. Ispravno je, prema tome, reći »gruba pogreška« mjerenja.

## 6. SREDNJA (KVADRATNA) POGREŠKA I STANDARDNO ODSTUPANJE

1. **Srednja (kvadratna) pogreška** (engl. mean square error, njem. mittlerer quadratischer Fehler)

Još je početkom 19. stoljeća C. F. Gauss preporučao pojam *srednja pogreška*. To je bila mjera, kako je Gauss rekao, »srednjeg odstupanja od istinitosti«.

Njegova je definicija glasila: kvadrat srednje pogreške je srednja vrijednost kvadrata neizmerno mnogo **pravih** pogrešaka  $\varepsilon$  (Reissmann, 1983):

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}}; n = \infty.$$

Uz  $n \neq \infty$ , to je samo približna vrijednost.

U udžbenicima teorije pogrešaka nalazimo više načina i izvoda formule za račun srednje pogreške pri konačnom broju mjerenja na osnovi poznatih **najvjerojatnijih** pogrešaka, naravno uz pretpostavku **normalne razdiobe slučajne mjerne veličine**. Na taj način dolazimo do **procjene** teoretske srednje pogreške prema Gaussu:

$$(m) = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}; n \neq \infty,$$

gdje je  $v$  odstupanje mjerne vrijednosti od aritmetičke sredine kao najvjerojatnije vrijednosti mjerne veličine. U tom je slučaju ispravno reći da je srednja pogreška, kao empirijska veličina, reprezentativna vrijednost **pravih slučajnih** odstupanja. To je razlog što se u novijoj stručnoj literaturi **srednja pogreška** izjednačila s novim izrazom preuzetim iz statističke teorije **standardnim odstupanjem** (Höpcke, 1980).

Međutim, prema svemu onome što je rečeno o razlici izraza pogreška i odstupanje, to izjednačivanje **nije ispravno**, posebno zato što su pri mjerenjima uvijek prisutna sustavna odstupanja koja dolaze to više do izražaja što je mjerenje preciznije.

**Srednja pogreška** u novim normama nije definirana, ali se napominje da se taj izraz više **ne treba upotrebljavati** (DIN 18709, dio 4, 1984). U normi DIN 18723, dio 1 od 1975, definirano je standardno odstupanje, a u zagradi označeno (izjednačeno) i kao srednja pogreška, što prema današnjem razlikovanju nije ispravno, a kao što je već rečeno, izraz *pogreška* u odnosu na *odstupanje* ima drugi smisao.

## 2. Standardno odstupanje (engl. standard deviation, njem. Standardabweichung)

Pojam *standardno odstupanje* pojavljuje se znatno kasnije od *srednje pogreške*, a potječe iz teorije vjerojatnosti krajem 19. stojeća (Reissmann, 1983). Razvojem matematičke statistike standardno odstupanje uz srednju vrijednost osnovni je parametar osnovnoga statističkog skupa i označuje se sa  $\sigma$  ili  $\sigma_x$  (za varijablu  $X$ ), dok se empirijsko standardno odstupanje računato iz uzorka označuje sa  $s$ , odnosno  $s_x$ .

Prema DIN 18709, dio 4, 1984: standardno odstupanje je kvadratni korijen iz varijance  $\sigma_x^2$  je

$$\sigma_x^2 = \sigma^2(x) = E(x - \mu_x)^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu_x)^2 f(x) dx,$$

gdje je  $\mu_x = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x) dx$  očekivana vrijednost.

U istoj normi definira se (empirijsko) standardno odstupanje kao kvadratni korijen empirijske varijance  $s_x^2$ :

$$s_x^2 = s^2(x) = 1/(n-1) \sum v_i^2,$$

gdje je  $v_i$  slučajno odstupanje, tj. razlika između opažane vrijednosti (mjerna vrijednost)  $x_i$  i očekivane vrijednosti  $\mu_x$  slučajne veličine (mjerne veličine)  $X$ .



Napomena. Naziv *slučajno odstupanje* ne shvaća se kao prije upotrebljavan *slučajna pogreška*. Prijašnji je naziv imao smisla ako je za slučajnu veličinu  $X$  postojala prava vrijednost.

Pridjev empirijsko može se izostaviti, kako ne bi došlo do zamjene s prije definiranim standardnim odstupanjem  $\sigma_x$ .

Naziv *srednja pogreška* ne treba se više upotrebljavati.

Prema ISO 7078-1985 E/F to je pozitivni kvadratni korijen varijance, definiran kao:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}},$$

gdje je  $x_i$  mjerna vrijednost,  $\bar{x}$  aritmetička sredina,  $s$  standardno odstupanje,  $n$  broj mjerenja.

Bilješke:

1. Vrijednost  $n-1$  izražava broj prekobrojnih mjerenja.
2. U geodeziji i izmjeri izraz standardno odstupanje često je zamijenjen s izrazom srednja kvadratna pogreška ili korijen srednje kvadratne pogreške (RMS), posebno nakon postupka rektifikacije. Taj se izraz također upotrebljava u postupcima kalibracije, gdje su mjerne veličine uspoređivane s danim (pravim vrijednostima). Rezultat takve kalibracije može se prikazati

$$\text{kao koncept točnosti: } \hat{s} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}}.$$

3. Povećanje broja mjerenja rezultira reduciranim standardnim odstupanjem sredine  $\bar{x}$ , izražene kao:  $s_{\bar{x}} = s/\sqrt{n}$ .

U spomenutim normama iz područja mjernih instrumenata ISO 8322, 1989-1992 i DIN 18723, 1990 isključivo se upotrebljava izraz *standardno odstupanje*. Standardno odstupanje **mjera je preciznosti** (v. 4.3. Preciznost).

Komentar: Iz ovog prikaza normi vidimo da su međunarodne norme u terminologiji danas prilično usklađene.

Dileme *odstupanje* ili *pogreška* opisane u t. 5. više nema. Izraz *pogreška* i *srednja pogreška* zadržali su se kad se radi o odstupanjima u odnosu na pravu vrijednost. Kao da smo se na neki način vratili na izvornu definiciju C. F. Gaussa s time da danas, zbog znatno povećanih preciznosti mjerenja, provodimo složene analize ispitivanja sustavnih odstupanja u svrhu njihova određivanja ili procjene.

Uveden je i pojam **standardno odstupanje ponovljivosti**  $s_r$ , određen višestrukim mjerenjima, odnosno usporedbanim mjerenjima, uz mjerenja u uvjetima ponovljivosti, na osnovi kojeg se određuje mjerna vrijednost ponovljivosti  $r$  (Benčić, Dusman, 1995), kao *mjera preciznosti*.

Još dvije napomene:

1. Za *standardno odstupanje* neki mjeriteljski krugovi predlažu izraz *normirani odmak* (Međunarodni normacijski priručnik, 1993).

To se obrazlaže time, što se riječ *standard* u hrvatskom jeziku prevodi s *norma*. Međutim, riječ *standard* se i u našem jeziku upotrebljava u širem smislu, pa se tako kaže: *standardni rječnik hrvatskog jezika* (ne normirani rječnik!), *životni standard* itd. Pa čak u prijevodu engleske riječi *standard*, stoji: *norma, etalon, dakle, ima više značenja*. Kako je *standardno odstupanje* također usvojena **mjera** disperzije, a nije normirana veličina, to se predloženi naziv **ne može prihvatiti**. Treba upotrebljavati izraz *standardno odstupanje*, odnosno *standardni odmak*. To je u skladu i s engleskim i njemačkim, nama u struci najbližim jezicima.

2. Standardno odstupanje je parametar osnovnog statističkog skupa i mjera je disperzije. Ako je statistički uzorak, kojemu procjenjujemo standardno odstupanje, mjerni niz, onda je ono karakteristika čitavog niza, odnosno osnovnog skupa. Stoga ne treba pisati *standardno odstupanje jednog mjerenja*, jer ono to nije, a sam izraz *standardno odstupanje* jasno određuje karakteristiku niza kao mjeru disperzije. Taj zastarjeli neispravan izraz, za statističku analizu neprihvatljiv, potječe još od primjene izraza *srednja pogreška jednog mjerenja* (npr. DIN 18723, 1, 1975: mittlerer Fehler einer Beobachtung = Standardabweichung eines Messwertes). Može se reći da i aritmetička sredina  $\bar{x}$  ima standardno odstupanje. Naravno, sve aritmetičke sredine koje pripadaju istom osnovnom skupu imaju svoju mjeru disperzije. Tada se to označuje kao **standardno odstupanje sredine**  $S(\bar{x})$  ili  $s_{\bar{x}}$ .

No u mjernoj tehnici se danas, ukoliko se mogu zanemariti sustavna odstupanja, ocjenjuje **nepouzdanost** srednje vrijednosti (prema DIN 1319, dio 3, 1983) izrazom  $C = ts/\sqrt{n}$ , uz razinu pouzdanosti  $(1-\alpha)$ , gdje je  $t$  faktor Studentove  $t$ -razdiobe. Uz  $(1-\alpha) = 0.683$  i dovoljno velik broj mjerenja ( $n$ ),  $t = 1$ , pa je **nepouzdanost srednje vrijednosti**  $C = s/\sqrt{n}$ , u tom slučaju **jednaka** standardnom odstupanju sredine. Prema tome rezultat (srednju vrijednost) možemo uvijek izraziti s **nepouzdanošću** uz naznaku razine pouzdanosti  $(1-\alpha)$ ; (Benčić, Dusman, 1994).

Kao što je u t. 4. prema DIN 55350, dio 13, 1987 rečeno u napomeni 1, kvantitativna **mjera točnosti** mjernih rezultata je **mjerna nesigurnost**.

## 7. MJERNA NESIGURNOST

Pri iskazivanju mjeriteljske informacije i u jednostavnom slučaju, kada se radi o direktnom mjerenju, postupak je složen. Srednju vrijednost  $\bar{x}$  mjernog niza treba korigirati za iznos poznatih sustavnih odstupanja. Ukoliko se korekcija ne izvrši, rezultat je neispravan (DIN 1319, dio 3, 1983).

**Mjerna nesigurnost** (engl. uncertainty of measurement, njem. Messunsicherheit)

Prema DIN 1319, dio 3, 1983 to je razlika između gornje granice intervala, u kojemu očekujemo da se nalazi prava vrijednost, i korigirane srednje vrijednosti, odnosno razlika između korigirane srednje vrijednosti<sup>3</sup> i donje granice ovog intervala.

Obje razlike nemaju uvijek jednaku vrijednost.

Mjerna nesigurnost je mjera točnosti, i ima dvije komponente: slučajnu  $u_z$  i sustavnu  $u_s$ , koja se odnosi na procjenu nepoznatih sustavnih odstupanja. O određivanju mjerne nesigurnosti i iskazivanju mjernog rezultata vidi: Benčić, Dusman (1994).

Na kraju ovog kratkog prikaza međunarodnih normi zaključak nije potreban; možemo ga donijeti sami na osnovi pažljivog čitanja definicija i tumačenja.

## NAPOMENA I ZAHVALA

Ovaj rad nastao je u okviru suradnje Geodetskoga fakulteta i Državne geodetske uprave Republike Hrvatske na izradbi prijevoda međunarodnih normi u dogovoru s Državnom geodetskom upravom.

<sup>3</sup> Istinska srednja vrijednost (actual measured value) prema normi ISO 7078 E/F, 1985.

## LITERATURA

- Bančić, D., Dusman, F. (1994): Od mjerenja do mjeriteljske informacije. Geodetski list, 2, 129–146.
- Benčić, D., Dusman, F. (1995): Pojam i značenje mjerne ponovljivosti i obnovljivosti. Geodetski list, 2, 107–120.
- Höpcke, W. (1980): Fehlerlehre und Ausgleichrechnung. Berlin–New York.
- Kurelec, V. (1992): Standardizacija, TE Leksikografskog zavoda, Zagreb.
- Reissmann (1983): Was ist der Unterschied zwischen dem mittleren Fehler und der Standardabweichung, Referat, Geodätische und Kartographische Tage, Dresden.
- Međunarodne norme: DIN 18723, dio 1, 1975; DIN 1319, dio 1, 1985; DIN 1319, dio 3, 1983; DIN 18709, dio 4, 1984; DIN 55350, dio 11, 1987; DIN 55350, dio 13, 1987.
- DIN 18723 u 7 dijelova, 1990 s nazivom: Terenski postupci za ispitivanje točnosti geodetskih instrumenata.
- ISO 3534 E/F, 1977; ISO 7078 E/F, 1985; ISO 5725 (E), 1986.
- ISO 8322 u 8 dijelova, 1989–1992 s nazivom: Građevinske konstrukcije – Mjerni instrumenti – Postupci za određivanje točnosti pri upotrebi.
- Međunarodni normacijski priručnik, Hrvatsko mjeriteljsko društvo, Zagreb, 1993.

## BASIC TERMS IN THE MEASURING TECHNIQUE IN THE LIGHT OF INTERNATIONAL STANDARDS

**SUMMARY.** The historical development of the technical and natural sciences brought about the heterogeneity of terminology and ambiguity in the application of some basic terms in measuring technique. The paper presents the interpretations of basic terms and expressions in the light of international standards.

Primljeno: 1996–03–28