

UDK 528:088:53.088:519.2
Originalni znanstveni članak

KONTROLA PRECIZNOSTI MJERENJA, MJERNIH INSTRUMENATA I UREĐAJA, PRIHVATLJIVOST REZULTATA

Dušan BENČIĆ, Federico DUSMAN – Zagreb*

SAŽETAK: Preciznost mjerenja temelj je svakog točnog mjerenja. Neophodna je, stoga, kontrola preciznosti primjenjenih metoda, mjernih instrumenata i uređaja, u njihovoj uporabi tijekom razdoblja mjerenja i u duljem vremenskom razdoblju, zbog neizbježnih promjena njihove funkcije, kao i promjenljivosti uvjeta. U ovome radu prikazane su metode kontrole u uvjetima ponovljivosti i obnovljivosti mjerenja od jednostavnih provjera do složenijih ispita uz poopćenje kriterija ponovljivosti i obnovljivosti mjerenja i mjerne kompatibilnosti.

1. UVOD

Pod preciznošću podrazumjevamo stupanj međusobnog slaganja niza pojedinih izmjerenih vrijednosti dobivenih ponovljenim mjerenjima fizikalne veličine. Preciznost je općenit izraz za varijabilnost između ponovljenih ispita (ISO 5725-1986(E)). Preciznost mjerenja i mjernih instrumenata i uređaja osnovni je uvjet za dovoljno točnu procjenu prave vrijednosti veličine, kad se uklone sustavna odstupanja, a to je cilj svakog mjerenja.

I ne samo to. Mjerenje istog objekta, istim načinom, istom metodom uz jednake uvjete i **istom preciznošću** trebalo bi rezultirati jednakim mjeriteljskim informacijama, bez obzira na ispitivališno mjesto ili mjeriteljsku ekipu, instrumente i mjerne uređaje, ili vremensko razdoblje. Takovi zahtjevi uvjetuju, ne samo kvantitativno određivanje mjera preciznosti, već i stalnu kontrolu preciznosti mjernih instrumenata i uređaja, mjeritelja i opreme. **Usporedbenim mjerenjima** između različitih ispitivališnih mjesta (npr. mjernih laboratorija) treba utvrditi i usporediti preciznost mjerenja u uvjetima ponovljivosti i obnovljivosti. No kako bi se mjerenja izvodila na isti način, to se za metode mjerenja dogovaraju i ispituju standardni postupci, a kako bi preciznost bila u dozvoljenim granicama nepromjenjena, moraju se provoditi kontrolna mjerenja. Kontrola preciznosti mjerenja neophodna je posebno u istra-

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

Prof.dr. Federico Dusman, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 1, Zagreb

živačkim mjernim zadacima, kad se izvodi veći broj ponovljenih mjerenja u duljem vremenskom razdoblju (primjer, vidi: Benčić, Dusman 1996.).

U ovome radu prikazane su mogućnosti provedbe kontrolnih postupaka pri ispitivanjima preciznosti na osnovi promatranja **razlika mjernih rezultata**, koristeći pri tome osnovna načela primjene **mjera ponovljivosti i obnovljivosti** opisanih u međunarodnim normama za usporedbena mjerenja (v. Benčić, Dusman 1995/2), kao i kriterija **kompatibilnosti** mjernih rezultata, koji su prvo postavljeni i primijenjeni pri usporedbenim mjerenjima niza paralelnih graničnih mjerki, a koja su izvršili Laboratorij za precizna mjerenja dužina Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu i Instituto di Metrologia "G. Colonetti" u Torinu (IMGC)1984. godine (Benčić, Dusman 1995/4).

U međunarodnoj normi ISO 5725–1986(E) u uvodnom se dijelu ističe da su, citiramo: "dvije mjere preciznosti, nazvane ponovljivost i obnovljivost, pronađene kao potrebne za velik broj praktičnih slučajeva, dovoljne da prikažu varijabilnost ispitne metode. **Ponovljivost** se odnosi na ispite izvedene u uvjetima koliko je to moguće konstantnim s ispitivanjima izvedenim u **kratkom vremenskom razdoblju** na jednom ispitivališnom mjestu po jednom mjeritelju uz primjenu iste opreme. S druge strane **obnovljivost** se odnosi na ispite uz široke varijacije uvjeta na različitim ispitivalištima s različitim mjeriteljima i različitom opremom. Stoga su ponovljivost i obnovljivost dva ekstrema, prvi mjereći minimum i drugi maksimum varijabilnosti rezultata. Druge međumjere varijabilnosti između ova dva ekstrema mogu se preporučiti, kao što su **ispiti ponovljivosti** unutar ispitivališta u **duljem vremenskom intervalu**, po različitim mjeriteljima, ili uključivanjem učinka rekaliciracije, ali ovo sve nije predmet razmatranja u ovoj međunarodnoj normi."

U našim teorijskim istraživanjima i praktičnim ispitima pažnja je poklonjena, stoga, međumjerama varijabilnosti preporučenim u međunarodnoj normi, a koje su od posebnog značaja za kontrolu preciznosti **unutar ispitivališta**, zbog neizbježnih promjena na mjernim uređajima i mjernim instrumentima, starenja, trošenja materijala, dejstava, posljedica rekaliciracije, a u geodetskim mjerenjima i različitosti djelovanja brojnih vanjskih utjecaja.

Osnovno o ponovljivosti i obnovljivosti, o određivanju i računanju mjernih vrijednosti ponovljivosti r i obnovljivosti R , te primjene kriterija kritične razlike, već je pisano u ovom listu (Benčić, Dusman 1995/2). No istaknut ćemo, da su mjerne vrijednosti r i R , definirane prema normi ISO 5725–1986(E), zamišljene kao kriterij pomoću kojih se **prosuduje** koliko se razlika između dvaju **pojedinačnih rezultata** može pripisati **slučajnim** utjecajima i promjenama. Razlika veća od r , ili R , dovodi do sumnje i može opravdati zaključak da postoji sustavni utjecaj, što zahtjeva **daljnja** ispitivanja. Budući da se radi o statističkim analizama, veličine r i R su povezane s razinom pouzdanosti, odnosno vjerojatnošću P (najčešće se uzima $P=95\%$). No kako su po definiciji r i R teorijske veličine, a određuju se na osnovi ispitnih mjerenja, to su one praktički samo procjene konstanti, a vjerojatnost samo reda veličine 95%, što vrijedi i za sve kritične razlike izvedene iz ovih konstanti. To je neizbježno, ali to ne umanjuje njihovo praktično značenje pri prosudbi, da li se razlike rezultata mogu pripisati samo slučajnim utjecajima pri ispitu. Pri svakoj sumnji potrebna su daljnja ispitivanja.

Prije izvođenja novih mjerenja potrebno je provjeriti i pouzdanost procjene mjerenih vrijednosti r i R , određenih prethodno na osnovi usporedbe mjerenja. To se u prvom redu odnosi na broj mjernih vrijednosti na osnovi kojih je izvršena

njihova procjena, tj. da li je ona bila dovoljno pouzdana za praktičnu svrhu u primjeni. Ako ispitivanja i mjerni podaci očito pokazuju da ovaj uvjet nije zadovoljen, ili su nastale promjene, npr. u mjernim uređajima, tada treba ponovno procijeniti r i R na osnovi novih mjerenja.

Prema normi ISO 5725–1986(E) procijenjene vrijednosti r i R imaju različite mogućnosti primjene, npr. za verifikaciju mjerne tehnike ispitivališta, za postupke u kontroli kvalitete proizvoda, pri usporedbi rezultata ispita uzorka u proizvodnji, pri usporedbi istog uzorka po dobavljaču i potrošaču, kao i pri usporedbi ispitnih metoda.

U ovome radu primjena ovih parametara preciznosti je s naglaskom na mjernu tehniku u ispitnim mjerenjima u geodeziji i strojarstvu, uz korištenje dijelom već uvedenih i primjenjenih postupaka, ali i vlastitih istraživanja, što se posebno odnosi na primjenu općeg kriterija ponovljivosti mjerenja, kao i poopćenja kriterija mjerne kompatibilnosti.

2. OPĆI KRITERIJ PONOVLJIVOSTI MJERENJA

Kritična razlika ponovljivosti (CrD_r) prema ISO 5725–1986(E) je vrijednost unutar koje se može očekivati da leži razlika dvaju **pojedinačnih** rezultata ispitivanja dobivenih uz **uvjete ponovljivosti** sa specificiranom vjerojatnosti P .

Promatramo li više mjernih vrijednosti iste mjerne veličine, to uz **ispravan** postupak pri mjerenjima u uvjetima ponovljivosti, uz pretpostavku vjerojatnosti P , npr. 95%, tek za 20 razlika rezultata mogla bi se u prosjeku pojaviti jedna koja je veća od kritične razlike. Kako **mjerne nizove** uzimamo s malim brojem mjernih vrijednosti (x), to će prva osnovna kontrola mjernog niza biti pomoću kritične razlike:

$$CrD_r(|x_{maks} - x_{min}|) = r,$$

gdje je r mjerna vrijednost ponovljivosti (Benčić, Dusman 1995/2).

U koliko razlika najveće i najmanje mjerne vrijednosti nije veća od mjerne vrijednosti r , to je uvjet kritične razlike zadovoljen **za sve mjerne vrijednosti** niza. Svako odstupanje od tog uvjeta daje povod za sumnju u ispravnost divergentne mjerne vrijednosti (v. 4.1).

U uvodu je istaknuto, da treba izvršiti **dovoljan broj** mjerenja za svaku dovoljno točnu procjenu kritične razlike, ali i samih mjernih vrijednosti ponovljivosti r i R . To se posebno odnosi pri kontroli preciznih mjerenja, pri verifikaciji mjernih instrumenata i uređaja, mjerne tehnike ispitivališta, kao i pri ispitivanjima djelovanja promjenljivih vanjskih utjecaja, što je posebno izraženo u geodetskim mjerenjima. Mjerenja se u tom slučaju, dakle i pri **većem broju** mjernih vrijednosti (kada je to moguće, ako pojedino mjerenje ne traje dugo) moraju izvoditi u **uvjetima ponovljivosti**, ali u **mjernim nizovima**, s brojem mjernih vrijednosti u nizu ne većem od deset, u vremenskom razdoblju u kojem ne očekujemo značajnije promjene uvjeta.

Drugi uvjet je, a koji se postavlja iz više razloga, **jednakost** broja mjernih vrijednosti u svim nizovima ($n_1 = n_2 = \dots = n_k$). Ukoliko su ta dva osnovna uvjeta zadovoljena, možemo postaviti **opći kriterij ponovljivosti mjerenja**, koji će znatno pojednostaviti kontrole preciznosti uz otkrivanje **sustavnih** utjecaja.

Analogno, kao i pri osnovnoj definiciji kritične razlike dvaju pojedinačnih rezultata, promatramo razlike (rezultata) srednjih vrijednosti mjernih nizova, ali s parametrom $r/\sqrt{n} = \bar{r}$ (vidi izraz 8.). Taj parametar navodi se u spomenutoj normi za dva mjerna niza (uz $n_1 = n_2$) (Benčić, Dusman 1995/2).

Uz veći broj mjernih vrijednosti možemo definirati općenito:

Mjerna vrijednost ponovljivosti $\bar{r} = r/\sqrt{n}$ je vrijednost unutar koje se može očekivati da leži razlika između dvaju **srednjih vrijednosti mjernih nizova** dobivenih uz **uvjete ponovljivosti** uz vjerojatnost P i uz $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$.

Za kriterij **kritične razlike ponovljivosti** odabrat ćemo specifičnu vjerojatnost P (najčešće $P=95\%$) i razliku srednjih vrijednosti koja je najznačajnija, pa je **opći kriterij ponovljivosti** dan izrazom:

$$CrD_r(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|) = \frac{r}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

uz specifičnu vjerojatnost P i uvjet $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$.

Uvjete ponovljivosti, koji su definirani, nije moguće u realnosti dosljedno ostvariti, posebno kad se radi o istim okolišnim uvjetima (uvjetima upotrebe), kao što je to slučaj i u geodetskim mjerenjima. U usporedbenim mjerenjima različitim ispitivalištima nema istih mjeritelja, mjernih uređaja i opreme, pa ipak se prepostavlja ju ispiti u **uvjetima ponovljivosti**, ako se ne ustanove signifikantne razlike ponovljivosti između varijanci ponovljivosti. Pomoću kriterija kritične razlike ponovljivosti upravo i ispitujemo da li su **promjene uvjeta ponovljivosti** djelovale **signifikantno**. Ukoliko je opći kriterij ponovljivosti zadovoljen, to znači, da **razlika najveće (\bar{x}_{maks}) i najmanje srednje vrijednosti (\bar{x}_{min}) nije veća od kritične** (izraz 1.), uz vjerojatnost P , zaključujemo, da u vremenskom razdoblju ispitivanja promjene nisu djelovale signifikantno na rezultate – mjerenja su **ponovljiva**.

U slučaju neudovoljavanja općeg kriterija ponovljivosti, ispitivanja treba proširiti ispitivanjem prihvatljivosti rezultata (v. točku 4.).

Prvo treba promotriti da li postoji divergentni rezultat. Ukoliko je više rezultata sumnjivo treba tražiti uzroke sve do zaključka, da određeni uvjeti ponovljivosti nisu zadovoljeni, pa se i rezultati ne mogu prihvatiti.

U izrazu za opći kriterij ponovljivosti mjerna vrijednost ponovljivosti r može biti **dani parametar** preciznosti određen usporedbenim mjerenjima, pa govorimo o ispitivanju vanjske preciznosti (vidi točku 4.1a i 4.1b). Ukoliko r nije poznat i određuje se iz ispitivanih mjernih nizova na osnovi njihovih varijanci, onda je kritična razlika ponovljivosti CrD_r , **mjera unutarne preciznosti** nizova.

3. ISPITIVANJE UNUTARNJE PRECIZNOSTI MJERNIH NIZOVA POOPĆENJE KRITERIJA MJERNE KOMPATIBILNOSTI

Ako su mjerni nizovi mjereni u **uvjetima ponovljivosti**, a to znači i u vremenskom razdoblju kad ne očekujemo signifikantne promjene uvjeta, tada možemo na osnovi procijenjenih varijanci nizova $s_1^2, s_2^2, \dots, s_k^2$ izračunati varijancu ponovljivosti:

$$s_r^2 = \frac{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_k^2}{k}, \quad (2)$$

gdje je k broj mjernih nizova.

Uzmemo li: $r = t\sqrt{2}s_r$ (Benčić, Dusman 1995/2) i $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$, tj. jednak broj mjernih vrijednosti u svakom nizu (jednaka težina mjerenja), slijedi:

$$\bar{r} = \frac{r}{\sqrt{n}} = \sqrt{t^2 \frac{(s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_k^2)}{n}} \sqrt{\frac{2}{k}}.$$

Kako je izraz

$$\frac{ts}{\sqrt{n}} = C \text{ nepouzdanost srednje vrijednosti,}$$

dobit ćemo izraz za *opći kriterij ponovljivosti* unutar ispitivanih mjernih nizova, prema 1.:

$$\begin{aligned} CrD_r(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|) &= \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + \dots + C_k^2} \sqrt{\frac{2}{k}}, \\ \text{ili } CrD_r(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|) &= \sqrt{\sum_{i=1}^k C_i^2} \sqrt{\frac{2}{k}}, \end{aligned} \quad (3)$$

uz danu vjerojatnost P i $n_1 = n_2 = \dots = n_k$.

Ako je broj mjernih vrijednosti u nizovima jednak, **kritična razlika ponovljivosti** jednaka je drugom korjenu zbroja kvadrata mjernih nesigurnosti pomnoženom s konstantom $\sqrt{\frac{2}{k}}$, uz uvjet, da se iskazane mjerne nesigurnosti ne razlikuju značajno od nepouzdanosti srednjih vrijednosti.

Uz $k=2$, tj. za dva mjerna niza, kritična razlika ponovljivosti prelazi u izraz:

$$CrD_r(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) = \sqrt{C_1^2 + C_2^2},$$

koji je izveden u objavljenom radu (Benčić, Dusman 1995/4).

Ukoliko su nepouzdanosti srednjih vrijednosti nizova mjerenih u **uvjetima ponovljivosti** približno **jednake**, tj.:

$$C_1 \approx C_2 \approx \dots \approx C_k,$$

to možemo uz taj **uvjet uzeti**:

$$\sqrt{\frac{C_1^2 + C_2^2 + \dots + C_k^2}{k}} \approx \frac{|C_1| + |C_2| + \dots + |C_k|}{k}.$$

Uvrštavanjem ove približne jednakosti u izraz 3. za opći kriterij ponovljivosti, biti će:

$$CrD_r(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|) = (|C_1| + |C_2| + \dots + |C_k|) \frac{\sqrt{2}}{k}.$$

Označimo li konstantu $\frac{\sqrt{2}}{k}$ za određeni broj mjernih nizova kao **koeficijent kompatibilnosti** k_u , dobit ćemo **poopćenje kriterija mjerne kompatibilnosti**:

$$\left. \begin{aligned} CrD_K(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|) &= k_u (|C_1| + |C_2| + \dots + |C_k|), \\ \text{ili } CrD_K(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|) &= k_u \sum_{i=1}^k |C_i|, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\text{uz } k_u = \frac{\sqrt{2}}{k}.$$

Kritična razlika mjerne kompatibilnosti jednaka je zbroju mjernih nesigurnosti pomnoženom s koeficijentom kompatibilnosti $\frac{\sqrt{2}}{k}$, uz uvjet da se iskazane mjerne nesigurnosti ne razlikuju značajno od nepouzdanosti srednjih vrijednosti.

Tablica koeficijenata kompatibilnosti:

k	k_u	k	k_u	k	k_u
2	0,71	5	0,28	10	0,14
3	0,47	6	0,24	12	0,12
4	0,35	8	0,18	14	0,10

Za dva mjerena niza ($k=2$) kriterij mjerne kompatibilnosti prelazi u poznati izraz:

$$CrD_K(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) = 0,71(|C_1| + |C_2|),$$

$$\text{uz } C_1 \approx C_2.$$

Uz $k=14$:

$$CrD_K(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) = 0,10 \sum_{i=1}^{14} |C_i|,$$

uz $C_1 \approx C_2 \approx \dots \approx C_{14}$ i vjerojatnost P kojom su dane nepouzdanosti srednjih vrijednosti.

Što je broj mjerenih nizova (k) veći, to je sigurnost prosudbe veća, uz uvjet da **nema signifikantnih promjena** uvjeta ponovljivosti. Pri izboru broja mjernih nizova mora se, dakle, naći kompromis između sigurnosti prosudbe i što egzaktnijeg zadovoljenja uvjeta ponovljivosti, a što zahtjeva i što kraće vremensko razdoblje mjerenja. No upravo kriterij kritične razlike ponovljivosti i mjerne kompatibilnosti omogućit će nam da mjerenja držimo stalno pod kontrolom.

Zaključujemo:

1. Ako su kritične razlike na osnovi općeg kriterija mjerne ponovljivosti, prema izrazu 1., odnosno 3. i mjerne kompatibilnosti, prema izrazu 4., približno **jednake**, onda između nepouzdanosti srednjih vrijednosti **nema signifikantne razlike**.

To slijedi iz uvjeta približne jednakosti nepouzdanosti srednjih vrijednosti mjernih nizova pri izvodu poopćenog kriterija mjerne kompatibilnosti.

2. Na osnovi približne jednakosti nepouzdanosti srednjih vrijednosti i jednakog broja mjernih vrijednosti u nizovima slijedi uvjetno i približna jednakost varijanci mjernih nizova ($s_1^2 \approx s_2^2 \approx \dots \approx s_k^2$).

Ako su varijance mjernih nizova približno jednake, **unutarnja preciznost** mjernih nizova je **stabilna**, te se može računati varijanca ponovljivosti, potrebna pri određivanju mjernih vrijednosti ponovljivosti r i obnovljivosti R za svrhe usporedbe i kontrole preciznosti za **dulje vremensko razdoblje** ispitivanja.

3. Kompatibilnost mjernih rezultata na osnovi poopćenog kriterija kompatibilnosti (prema izrazu 4.) temeljna je mjera za ocjenu **unutarnje preciznosti** i homogenosti rezultata mjernih nizova pri mjerenjima u uvjetima ponovljivosti.

Ako razlika bilo kojih srednjih vrijednosti mjernih nizova nije veća od kritične, a to znači u svakom slučaju kad je $(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|) \leq k_u \sum_{i=1}^k |C_i|$, **rezultati**

su **prihvatljivi** i kompatibilni a unutarnja preciznost mjernih nizova **homogena** i uz **moćna odstupanja** od uvjeta **ponovljivosti** tijekom mjerenja (npr. promjenljivost okolišnih uvjeta, odnosno uvjeta upotrebe, ili promjene mjeritelja i/ili mjernih uređaja) – **mjerenja su ponovljiva**.

Ukoliko je razlika rezultata veća od kritične, treba ispitati, da li postoji divergentni rezultat (vidi točku 4.), a prvo postoji sumnja da nisu zadovoljeni uvjeti ponovljivosti.

4. ISPITIVANJE PRECIZNOSTI MJERNIH NIZOVA NA OSNOVI UTVRĐENIH (POZNATIH) MJERNIH VRIJEDNOSTI PONOVLJIVOSTI I OBNOVLJIVOSTI PRIHVATLJIVOST REZULTATA

Najprije objasnimo pojam ispitivališta, s posebnim osvrtom na geodetska mjerenja, budući da pojmovi ponovljivosti i obnovljivosti i metode usporedbenih mjerenja nisu do sada primjenjivani u geodetskim ispitnim mjerenjima. Uspješno su

primjenjena i uvedena pri istraživanjima u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta u Zagrebu (Benčić, Dusman 1996).

U međunarodnim normama pod ispitivalištem se najčešće podrazumjeva mjerni laboratorij. Pri usporedbenim mjerenjima isti mjerni predmet se prenosi na različita ispitivališta, kako bi se usporedila preciznost mjerenja i utvrdili parametri mjerne ponovljivosti i obnovljivosti. Kada predmet nije prenosiv, onda se normama predviđa mjerenje na istom mjestu gdje se nalazi mjerni objekt s različitim mjeriteljima, mjernim uređajima i opremom.

Pri geodetskim mjerenjima ispitivalište je najčešće na jednom mjestu, npr. kalibracijska baza, ispitni poligon, mjerni laboratorij (za sada u Hrvatskoj postoji samo na Geodetskom fakultetu u Zagrebu).

U tom slučaju se pri ispitivanjima formiraju **ispitne jedinice**. One se razlikuju, npr. izmjenom mjeritelja i/ili opreme, ili mjerenjima istom opremom na terenu u različito doba dana, različitim danima u približno istim uvjetima, u vremenskom odmaku, mjerenjima različitim metodama jednake preciznosti (usporedba metoda), ali u istim uvjetima.

Pri određivanju mjerne vrijednosti ponovljivosti r ispiti se izvode u uvjetima ponovljivosti.

Pri određivanju mjerne vrijednosti obnovljivosti R utvrđuju se prvo različite ispitne jedinice i **specificiraju uvjeti** za svaku ispitnu jedinicu.

Mjerne vrijednosti ponovljivosti r i obnovljivosti R određuju se propisanim postupcima usporedbenih mjerenja:

– **između ispitivališta** (mjernih laboratorija, ispitnih jedinica) i izravne su i **objektivne mjere preciznosti** primijenjenih mjernih metoda, mjeritelja i mjernih uređaja i opreme, te homogenosti mjernih rezultata. Kada su utvrđene i usvojene postaju jedinstvene mjere za sva homogena ispitivališta (npr. nacionalne mjeriteljske laboratorije),

– **unutar ispitivališta** za provjeru preciznosti i stalnu kontrolu mjerne tehnike, mjeritelja, uređaja i opreme **u duljem vremenskom razdoblju**, kao i za kontrolu preciznosti mjerenja pri ispitivanjima funkcije mjernih instrumenata i uređaja kako bi mjerenja bila pod stalnom kontrolom **tijekom** mjernog procesa. Za razliku od ispita unutarnje preciznosti, kad se mjerne vrijednosti r i R određuju iz samih mjernih nizova, **već utvrđene** vrijednosti r i R su vanjski parametri preciznosti za **daljnje kontrole** u mjernom procesu, pa pojednostavljeno govorimo o ispitu vanjske preciznosti nizova, kako bi se istakla razlika u analizi preciznosti.

U geodetskim mjerenjima u terenskim uvjetima ove mjere preciznosti imaju značenje radi ispita i kontrole djelovanja i utjecaja promjenljivih okolišnih uvjeta tijekom mjernog procesa. Može se utvrditi i dozvoljeni R/r .

Na osnovi utvrđenih kontrolnih parametara preciznosti može se razmatrati i **prihvatljivost rezultata** uz primjenu kriterija kritične razlike ponovljivosti (oznaka CrD_r) i obnovljivosti (oznaka CrD_R). U prikazu će se koristiti osnovne postavke međunarodnih normi ISO 4259–1992(E) i ISO 5725–1986(E).

4.1. Usporedba i prihvatljivost rezultata (eng. *acceptability of results*) na osnovi kritične razlike ponovljivosti

a. Prihvatljivost rezultata unutar mjernog niza

Vrlo često izvode se brze i jednostavne kontrole na osnovi samo **dva mjerna rezultata**. Uz mjerenja u uvjetima ponovljivosti kritična razlika ponovljivosti je:

$$CrD_r = r. \quad (5)$$

Ova kontrola često je primjenjena pri kontroli izradka ili uzorka. Može se primjeniti i pri jednostavnoj (prvoj) kontroli mjernih instrumenata nakon popravka ili rekalkibracije, kao i kontroli **tijekom** mjernog procesa. Neophodna je kad se izvode i složenija i skupa ispitna mjerenja uz malen broj ponavljanja.

Ukoliko je uvjet kritične razlike ponovljivosti (izraz 5.) zadovoljen, što znači da je razlika dvaju rezultata $(|x_1 - x_2|) \leq r$, to su uz specificiranu statističku vjerovatnost rezultati **prihvatljivi**. Tijekom mjernog procesa znači da su mjerenja pod kontrolom.

No kao što je uvodno rečeno statistička analiza nije sigurna, pa se rezultati u slučaju da uvjet nije zadovoljen ne odbacuju kako se ne bi učinila statistička pogreška prve vrste.

Razlikuju li se dva rezultata više od r , **oba se smatraju sumnjivim**. Preporuča se izvršiti nova mjerenja – najmanje tri.

Uključujući i prva dva rezultata promatra se kritična razlika između najviše divergentnog rezultata i srednje vrijednosti ostalih rezultata \bar{x}_{ost} . Tada je kritična razlika (prema ISO 4259-1992(E)):

$$r_1 = CrD_r (|x_{maks.div} - \bar{x}_{ost}|) = r \sqrt{\frac{n}{2(n-1)}}, \quad (6)$$

gdje je: n ukupni broj mjernih vrijednosti,
 $x_{maks.div}$ mjerna vrijednost maksimalne divergencije,
 \bar{x}_{ost} srednja vrijednost ostalih mjernih vrijednosti.

Uz $n=2$, izraz (6) se svodi na (5).

Ukoliko je uvjet kritične razlike zadovoljen, svi se rezultati prihvaćaju. U protivnom slučaju odbacuje se $x_{maks.div}$ i postupak se nastavlja, dok se ne dobije prihvatljiv niz rezultata. Srednja vrijednost prihvaćenih rezultata uzima se kao procijenjena vrijednost mjerne veličine. Ako su odbačena dva ili više rezultata od ukupno do dvadeset rezultata, mjerni postupak i mjerni uređaj mora se ispitati i izvršiti novi niz mjerenja.

Sigurnija procjena će se postići, ako se izvrše mjerenja u dva mjerna niza u kratkom vremenskom razdoblju.

b. Prihvatljivost rezultata mjernih nizova

Ako su u uvjetima ponovljivosti izmjerena dva mjerna niza sa po n_1 i n_2 mjernih vrijednosti, kritična će razlika biti (prema ISO 5725-1986(E)):

$$CrD_r(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) = r \sqrt{\frac{1}{2n_1} + \frac{1}{2n_2}}, \quad (7)$$

gdje su \bar{x}_1 i \bar{x}_2 srednje vrijednosti.

Ukoliko je $n_1 = n_2 = n$ slijedi:

$$CrD_r(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) = \frac{r}{\sqrt{n}}. \quad (8)$$

Ako je uvjet kritične razlike prema 8. zadovoljen, rezultati su prihvatljivi.

Razlikuju li se srednje vrijednosti nizova (uz $n_1 = n_2$) više od kritične, to se preporuča izvršiti dodatna mjerenja nizova uz jednak broj mjernih vrijednosti n . Analiza će se izvršiti analogno opisanoj pod "a". To znači, da, uključujući i prva dva rezultata \bar{x}_1 i \bar{x}_2 , promatramo razliku između najviše divergentnog rezultata $\bar{x}_{maks.div}$ i srednje vrijednosti $\bar{\bar{x}}_{ost}$ ostalih srednjih vrijednosti mjernih nizova \bar{x}_i . Kritična razlika je:

$$CrD_r(|\bar{x}_{maks.div} - \bar{\bar{x}}_{ost}|) = r \sqrt{\frac{k}{2(k-1)}} \frac{r}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

gdje je k ukupan broj srednjih vrijednosti mjernih nizova mjerenih u uvjetima ponovljivosti uz **jednak broj** mjernih vrijednosti n u nizovima.

Ukoliko se mjeri veći broj mjernih nizova ($k > 2$) u uvjetima ponovljivosti, to se uz uvjet jednakog broja mjernih vrijednosti nizova n , **kritična razlika** računa prema izrazu 1.:

$$CrD_r(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|) = \frac{r}{\sqrt{n}},$$

gdje je mjerna vrijednost r određena usporedbenim mjerenjima (vanjski parametar preciznosti).

Ova kritična razlika nije samo kriterij prihvatljivosti rezultata, već i **objektivni kriterij preciznosti**. Usporedimo li ovu kritičnu razliku s onom računatom prema izrazu 3. (kritična razlika ponovljivosti) i s kriterijem mjerne kompatibilnosti (izraz 4.) i ako se one signifikantno razlikuju, to postoji sumnja u djelovanje promjenljivih sustavnih utjecaja tijekom mjerenja, te su potrebna daljnja istraživanja.

Ako je $(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|)$ veće od kritične razlike, a ustanovljeno je više od jednog divergentnog rezultata, treba izvršiti provjeru mjernih uređaja i opreme, a nakon toga nova mjerenja.

U slučaju novih neslaganja treba ispitati i odrediti i nove parametre preciznosti usporedbenim mjerenjima uz povećani broj mjerenja.

4.2. Usporedba i prihvatljivost rezultata na osnovi kritične razlike obnovljivosti

Prihvatljivost rezultata na osnovi ispitne **metode obnovljivosti**, uz utvrđenu mjernu vrijednost R , razmatra se na slijedeći način:

Ako su dobivena samo dva mjerna rezultata **u uvjetima obnovljivosti** (različita ispitivališta, odnosno ispitne jedinice), njihova je kritična razlika:

$$CrD_R = R.$$

Ukoliko razlika rezultata nije veća od kritične razlike, rezultati su prihvatljivi ili pojedinačno, ili kao srednja vrijednost, koja se smatra kao procijenjena vrijednost.

No ako je razlika veća od R , oba se rezultata smatraju sumnjivim i na **svakom** ispitivalištu (ili ispitnoj jedinici) treba izvršiti najmanje tri nova mjerenja koja su prihvatljiva. U tom slučaju imamo dva mjerna niza na prvom ispitivalištu sa srednjom vrijednosti (uz n_1 mjernih vrijednosti), i na drugom sa srednjom vrijednosti (uz n_2 mjernih vrijednosti), pa prihvatljivost rezultata promatramo prema kritičnoj razlici za dva mjerna niza.

a. Prihvatljivost rezultata za dva mjerna niza mjenjenih u uvjetima obnovljivosti

Kritična razlika obnovljivosti za dva mjerna niza (prema ISO 5725–1986(E)),

$$CrD_R(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) = \sqrt{R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{2n_1} - \frac{1}{2n_2}\right)}, \quad (11)$$

a uz jednak broj mjernih rezultata $n_1 = n_2 = n$:

$$CrD_R(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) = \sqrt{R^2 - r^2 \left(\frac{n-1}{n}\right)}, \quad (12)$$

te uz $n_1 = n_2 = 2$:

$$CrD_R(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) = \sqrt{R^2 - \frac{r^2}{2}}, \quad (13)$$

gdje su r i R prethodno utvrđene mjerne vrijednosti ponovljivosti i obnovljivosti usporedbenim mjerenjima.

Ako je razlika između srednjih vrijednosti nizova \bar{x}_1 i \bar{x}_2 manja ili jednaka kritičnoj, obje su srednje vrijednosti **prihvatljive** i njihova sredina smatra se procijenjenom vrijednosti mjerne veličine.

To znači, ako se npr. u geodetskim mjerenjima ispitne jedinice **razlikuju** po okolišnim uvjetima mjerenja, rezultati su i uz **takove** razlike uvjeta **prihvatljivi** – **mjerenja su obnovljiva**.

b. Prihvatljivost rezultata za više mjernih nizova
mjerenih u uvjetima obnovljivosti

Pri usporedbi prihvatljivih rezultata više ispitivališta (ispitnih jedinica) promatra se razlika između srednje vrijednosti mjernog niza najveće divergencije sa srednjom vrijednosti svih **ostalih** srednjih vrijednosti nizova (N ispitivališta). Kri- tična razlika, prema međunarodnoj normi ISO 4259–1992(E) je:

$$CrD_r \left(\left| \bar{x}_{maks.div} - \bar{\bar{x}}_{ost} \right| \right) = r \sqrt{\frac{R_1^2}{2} + \frac{R_2^2}{2N}}, \quad (14)$$

gdje je: N broj ostalih rezultata (srednjih vrijednosti) iz kojih je izračunata srednja vrijednost $\bar{\bar{x}}_{ost}$.

$$N = k - 1$$

$$\left. \begin{aligned} R_2^2 &= R^2 - \frac{r^2}{N} \left(N - \frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} - \dots - \frac{1}{n_N} \right) \\ \text{ili } R_2^2 &= R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{n_i} \right), \\ R_1^2 &= R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{N} \right). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

R_1 se računa, dakle, prema izrazu 12. i odgovara mjernom nizu (ispitivalištu) sa srednjom vrijednosti najveće divergencije, uz n mjernih vrijednosti u tom nizu.

Ako je u mjernim nizovima $n_1 = n_2 = \dots = n_k$, što se uvijek preporuča, bit će:

$$\sum_{i=1}^N \frac{1}{n_i} = N \frac{1}{n}, \text{ pa prema 15. slijedi}$$

$$R_2^2 = R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{n} \right).$$

Dakle, uz $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$, slijedi $R_2^2 = R_1^2$, pa prema 14. dobivamo:

$$CrD_R \left(\left| \bar{x}_{maks.div} - \bar{\bar{x}}_{ost} \right| \right) = \sqrt{R_1^2 \left(\frac{N+1}{2N} \right)}.$$

Kako je $N = k - 1$, bit će:

$$CrD_R \left(\left| \bar{x}_{maks.div} - \bar{\bar{x}}_{ost} \right| \right) = \sqrt{R^2 - r^2 \left(\frac{n-1}{n} \right)} \sqrt{\frac{k}{2(k-1)}}, \quad (16)$$

gdje je k ukupan broj mjernih nizova i $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$.

Za dva mjerna niza ($k=2$), izraz 16. prelazi u izraz za kritičnu razliku prema 12.

Ukoliko je uvjet kritične razlike prema izrazu 14., odnosno 16., zadovoljen, svi su rezultati prihvatljivi i njihova srednja vrijednost uzima se kao procijenjena vrijednost mjerne veličine. U protivnom slučaju odbacuje se srednja vrijednost najveće divergencije (ispitivalište s najvećom divergencijom rezultata) i ispitivanje nastavlja po opisanom postupku, no za ostala ispitivališta. Ako su odbačene dvije, ili više srednjih vrijednosti od ukupno ne više od dvadeset, treba provjeriti i ispitati mjerni postupak i mjerne uređaje.

Uzmemo li ponovno primjer za geodetska mjerenja, gdje smo pri ispitivanjima uzeli ispitne jedinice koje se razlikuju po okolišnim uvjetima, neudovoljenje uvjeta kritične razlike prema 14., odnosno 16. (uz $n_1=n_2= \dots =n_k$) znači, da rezultate dobivene opisanom postupkom, uz mjerenja u takvim uvjetima ne možemo prihvatiti.

Ocjena pouzdanosti (mjerne nesigurnosti) rezultata

Ako mjeritelj mjeri unutar granica preciznosti metode i dobije prihvaćenu srednju vrijednost \bar{x} , to se može pretpostaviti uz vjerojatnost P , da se očekivana (prava) vrijednost μ nalazi u granicama prema ISO 4259-1992(E):

– za dva ispitivališta uz $n_1=n_2=n$:

$$\bar{x} - \frac{R_1}{\sqrt{2}} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{R_1}{\sqrt{2}}, \quad (17)$$

– za k ispitivališta (k mjernih nizova):

$$\bar{x} - \frac{R_2}{\sqrt{2N}} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{R_2}{\sqrt{2N}}. \quad (18)$$

Uz $n_1=n_2= \dots =n_k=n$, slijedi $R_1=R_2$, a uz $k=2$ dobivamo izraz 17., budući da je $N = k - 1$. R_1 se računa prema 15.

Opći kriterij obnovljivosti mjerenja

Usporedimo li izraze za kritičnu razliku ponovljivosti 9. i obnovljivosti 16., uz jednak broj mjerenja u nizovima (uz $n_1=n_2= \dots =n_k$), vidimo analogiju ovih izraza. Za kritičnu razliku ponovljivosti mjernih nizova osnovni je parametar preciznosti r/\sqrt{n} a obnovljivosti:

$$\sqrt{R^2 - r^2 \left(\frac{n-1}{n} \right)} \quad (\text{vidi izraz 12}).$$

Opći kriterij obnovljivosti je prema tome dan izrazom:

$$CrD_R(|\bar{x}_{maks} - \bar{x}_{min}|) = \sqrt{R^2 - r^2 \left(\frac{n-1}{n}\right)}, \quad (19)$$

uz specificiranu vjerojatnost i **uvjet** $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$.

Ispitivanja obnovljivosti pomoću općeg kriterija obnovljivosti mjerenja pojednostovit će analize prihvatljivosti rezultata mjernih nizova u odnosu na one predložene međunarodnim normama.

U slučaju neudovoljenja općeg kriterija obnovljivosti, mogu se primjeniti ispitivanja promatranjem divergentnih rezultata kako je to predloženo u normi.

Računom parametra preciznosti r i R iz mjernih nizova i uspoređujući ih s danim parametrima iz usporednih mjerenja možemo, u slučaju signifikantnih razlika, također, uz ostale opisane kriterije, zaključiti o ispravnosti primjenjenih mjernih metoda, mjernih instrumenata i uređaja. Svakako postoji i sumnja da je tijekom vremena došlo do promjene preciznosti, zbog mogućih promjena na mjernim instrumentima i uređajima.

4.3. Usporedba s referentnom vrijednošću

a) za jedno ispitivalište

Ako se na ispitivalištu mjeri n mjernih vrijednosti mjernog objekta u uvjetima obnovljivosti i dobije srednja vrijednost \bar{x} koja se uspoređuje s referentnom vrijednošću m_0 , tada je varijanca razlike srednjih vrijednosti, prema ISO 3725-1986(E):

$$s_{\bar{x}}^2 = s_L^2 + \frac{1}{n} s_r^2 = s_R^2 - s_r^2 \left(\frac{n-1}{n}\right), \text{ a kritična razlika:}$$

$$CrD_R(|\bar{x} - m_0|) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{R^2 - r^2 \left(\frac{n-1}{n}\right)}. \quad (20)$$

Pri mjerenjima u **uvjetima ponovljivosti** parametar preciznosti je r/\sqrt{n} , pa se kritična razlika ponovljivosti CrD_r svodi na vrijednost nepouzdanosti srednje vrijednosti C .

b) za više ispitivališta

Ako se na više ispitivališta izvrši n_i određivanja srednjih vrijednosti mjerne veličine \bar{x}_i i dobije opća vrijednost:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i, \text{ koja se uspoređuje s referentnom vrijednosti } m_0,$$

varijanca ove razlike, prema ISO 5725-1986(E) je:

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{k} \left(s_L^2 + \frac{1}{k} \sum \frac{1}{n_i} s_r^2 \right), \text{ a kritična razlika:}$$

$$CrD_R \left(\left| \bar{x} - m_0 \right| \right) = \frac{1}{\sqrt{2k}} \sqrt{R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{1}{n} \right)}. \quad (21)$$

Uz $k = 1$, izraz 21. prelazi u 20.

Ukoliko je referentna vrijednost istinita ili ispravna vrijednost, a razlika rezultata u odnosu na tu vrijednost veća od kritične, to postoji sumnja u djelovanje sustavnih utjecaja, što zahtjeva daljnja istraživanja njihova uzroka ili izvora.

5. KRATKI PREGLED KONTROLNIH MJERA I POSTUPAKA

Preciznost mjerenja ovisi o kvaliteti izvedbe i mjerne funkcije instrumenta, mjernih uređaja i opreme, ali i o utjecajnim veličinama koje djeluju tijekom mjernog procesa i u duljem vremenskom razdoblju.

Kvaliteta mjerenja i mjeriteljske informacije ovise o mjeritelju.

Kontrola preciznosti ima namjenu provjeriti i osigurati **stabilnost preciznosti** tijekom mjernog procesa i **homogenosti rezultata** i s tim u vezi **otkriti djelovanje utjecajnih veličina**, posebno, ako je mjerni proces duljeg trajanja. Ona omogućuje provjeru ispravnosti mjerne tehnike, rada mjeritelja, mjernih uređaja i opreme u duljem vremenskom razdoblju, posebno nakon rekalkibracije ili justaže, što je od **posebnog značaja** za svaki mjerni laboratorij.

Za tu svrhu predlažu se ili propisuju metode i kriteriji kontrole s odgovarajućim matematičko-statističkim modelima sa zadatkom, da se na osnovi mjernih vrijednosti:

- provjeri moguće djelovanje utjecajnih veličina i ukaže na sumnjive rezultate,
- analizira prihvatljivost rezultata uz odbacivanje neprihvatljivih mjernih vrijednosti, odnosno i mjerenja u cjelini,
- zaključuje o stabilnosti preciznosti i homogenosti rezultata i, konačno, o ispravnosti mjerenja i mjerne tehnike.

Mjerne vrijednosti ponovljivosti r i obnovljivosti R , kao osnovni parametri preciznosti, određuju se:

- **iz ispitnih mjernih nizova.**

Na osnovi kritičnih razlika provjerava se **unutarnja preciznost** mjernih nizova uz primjenu općeg kriterija ponovljivosti mjerenja, odnosno mjerne kompatibilnosti (točka 3.).

Utvrđeni parametri preciznosti mogu se koristiti pri provjeri stabilnosti preciznosti i otkrivanju sustavnih utjecaja u daljnjem toku mjerenja:

- **propisanim postupcima na osnovi usporedbenih mjerenja.**

Utvrđuju se:

- a) **unutar ispitivališta** – za provjeru i stalnu kontrolu mjernog uređaja i opreme u duljem vremenskom razdoblju,
- b) **između ispitivališta** – za svrhu prihvaćanja jedinstvenih mjera za sva homogena ispitivališta.

Utvrđeni parametri preciznosti su parametri objektivne kontrole preciznosti (točka 4.).

Osim primjene kritičnih razlika kao mjera stabilnosti preciznosti i za otkriće djelovanja utjecajnih veličina, mogući su i drugi načini analiza, kao što su usporedbe parametara preciznosti s prethodno utvrđenim, a zatim i promatranja omjera mjernih vrijednosti R/r . Ukoliko je taj omjer veći od dva, prevelike su razlike uvjeta obnovljivosti i ponovljivosti za precizna mjerenja u tim uvjetima. Što je taj omjer bliži jedinici, to promjene uvjeta manje djeluju na mjerni proces.

Opisani postupci ne registriraju moguće promjene mjernog objekta, osim onih, koje utječu na preciznost mjerenja, odnosno onih, koje nastaju tijekom ispitnih mjerenja.

Signifikantnu promjenu mjernog objekta može se ispitati samo usporedbom mjernih veličina objekta i mjerenih u vremenskom razdoblju na osnovi kritične razlike:

$$CrD_K(|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) = 0,71(|C_1| + |C_2|),$$

gdje su C_1 i C_2 nepouzdanosti srednjih vrijednosti mjernih nizova, uz uvjet da su mjerenja objekta izvedena u uvjetima ponovljivosti, te da je $C_1 \approx C_2$.

6. ZAKLJUČAK

Mjeritelju je osnovni zadatak ispitati preciznost mjernih instrumenata i uređaja i osigurati kontrolu preciznosti mjerenja, a temeljni je problem, za sva precizna mjerenja, u istraživanju i otkrivanju utjecajnih veličina (u geodetskim mjerenjima posebno promjenljivih okolišnih uvjeta) i sustavnih odstupanja rezultata s konačnom svrhom iskaza potpune i ispravne mjeriteljske informacije (Benčić, Dusman 1994),

Za tu svrhu provedena su istraživanja analiza rezultata i opisani postupci kontrole u ovom radu.

LITERATURA:

- Benčić 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.
 Benčić D., Dusman F., (1995): Mjerna kompatibilnost i usporedivost mjernih rezultata, Geodetski list, 4, 275–288.
 Benčić D., Dusman F., (1996): Analiza višestrukih mjerenja, Geodetski list, 3, 255–267.

Međunarodne norme:

- ISO (1986): Precision of Test Methods
 Determination of Repeatability and Reproducibility by Interlaboratory Test, ISO 5725–1986(E)
 ISO (1992): Determination and application of precision data in relation to methods of test, ISO 4259–1992(E)

CONTROL OF PRECISION OF MEASUREMENTS, MEASURING INSTRUMENTS AND DEVICES, *ACCEPTABILITY OF RESULTS*

SUMMARY: Precision of measurements is the basis of every accurate measurement. It is therefore indispensable to control the precision of the applied methods, measuring instruments and devices, in their usage during the measuring period and during a longer period because of inevitable changes in their functions, as well as because of changeability of conditions. This paper presents the methods of control in the conditions of repeatability and reproducibility of measurements from simple checking to more complex tests accompanied by the generalization of the criteria of repeatability and reproducibility of measurements and measuring compatibility.

Primljeno: 1996-12-04

CB primopredajnici

PRESIDENT

- * Idealno sredstvo komunikacije za geodete.
- * Jedino sredstvo (ukinuta prof. frekvencija)
- * Najekonomičnija veza (godišnja naknada samo 30 kn, dozvola vrijedi 5 godina)
- * Domet ručnih postaja u slučaju optičke vidljivosti veći od 10 km.
- * PRESIDENT - najkvalitetniji CB uređaji na svijetu jamstvo 2 god.
- * Mogućnost izgradnje radio sustava većeg dometa, s pokrivanjem u krugu cc. 100 km.
- * Mogućnost postavljanja bazne postaje u kući ili poduzeću, mobilnih u vozilima.
- * Idealna radio veza s primjenom u manjim poduzećima, autoprijevozu, poljoprivredi, lovu, športu, rekreaciji, obitelji itd.

ELEMENT-PROJEKT
Miramarska 23, Zagreb
tel/fax: 01 6119383

