UDK 528.489:629.12
Pregledni članak

RAVNINSKI I PROSTORNI MJERNI LANCI

Petar CEROVAC - Split i Miljenko LAPAINE - Zagreb*

SAŽETAK. U članku je prikazano svođenje ravninskih i prostornih mjernih lanaca na linearne i proračun njihove točnosti.

1. UVOD

Teorija mjernih lanaca postavljena je na osnovi proračuna tolerancija (dopuštenih odstupanja), tj. određivanja ukupne pogrešnosti povezanih elemenata. Ta je teorija posebno poznata u montažnoj industriji. Prije se do dopuštenih odstupanja dolazilo na temelju prikupljenih iskustvenih podataka (što je često imalo i neželjenih posljedica), dok se danas ta odstupanja sve češće određuju na osnovi matematičke statistike te teorije mjernih lanaca. Taj način omogućuje utvrđivanje međusobnih veza i odgovarajućih tolerancija izrade i montaže konstrukcija, te na osnovi toga iznalaženje optimalnih konstruktivno-tehnoloških rješenja (Mavrić, 1976, 1984).

U radu (Cerovac, 1986) je prikazano rješavanje linernoga mjernog lanca. Međutim, mjerni se lanci u linearnim veličinama mogu pojaviti u još dva oblika: kao ravninski i kao prostorni mjerni lanci. U navedenom radu oni su samo spomenuti, pri čemu je rečeno da se mogu svesti na linearne mjerne lance pa se taj problem posebno analizira.

Općenito, niz međusobno povezanih veličina raspoređenih po zatvorenoj konturi koje određuju međusobni položaj ploha ili osi jednog elementa ili više elemenata u sklopu naziva se mjerni lanac. Pojedine veličine koje čine mjerni lanac nazivaju se karikama lanca (Gornik i Hrabrić 1962; Mavrić, 1976; Stanić, 1981). Pritom, kako Gornik i Hrabrić (1962) pišu: »Karika može biti mjera promjera, razmak između površina ili osi, dužina nekog dijela i slično.«

Općenito, mjera je brojčana vrijednost neke veličine, izražena u odgovarajućoj jedinici. Mjera se, ako je upisana na crtežu, naziva kotom, a grafički se prikazuje s pomoću linija, simbola i oznaka, odnosno kotnih linija (mjernica). Položaj kota na crtežu je rezultat kombinacija različitih konstukcijskih zahtjeva (JUS 1968, JUS 1984, JUS 1988).

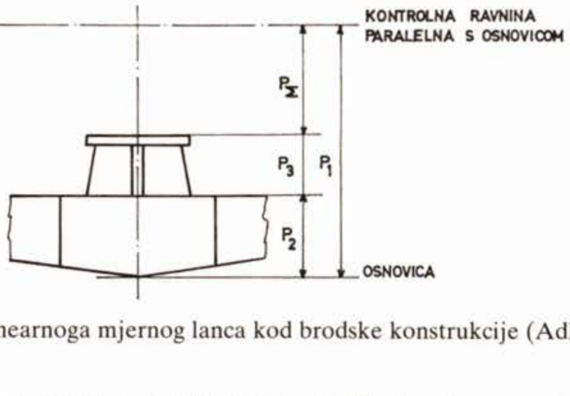
* Mr. sc. Petar Cerovac, Građevinski fakultet, Split, Matice hrvatske 15, i mr. sc. Miljenko Lapaine, Geodetski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26.

Prema navedenom, osnovno je svojstvo mjernog lanca zatvorenost jer se svaka karika može izraziti s pomoću preostalih. Tako je, primjerice, na slici 1. u linearnom lancu dimenzija (Cerovac, 1986):

$$P_\Sigma = P_1 - P_2 - P_3.$$

Svaki se mjerni lanac sastoji od jedne zaključne karike (u primjeru prikazanu na sl. 1 označena s P_Σ) i najmanje dviju sastavnih karika (u primjeru prikazanu na sl. 1 označene s P_i, $i = 1$, 2 i 3). Ta podjela karika je uvjetna i vezana uz određeni zadatak. Ovisno o potrebi u jednom te istom mjernom lancu, bilo koja karika može biti zaključna karika. Obično su toj karici dodijeljeni zahtjevi točnosti promatranog elementa. U određenoj konstrukciji mjerni lanci mogu biti međusobno povezani. Neke karike jednoga mjernog lanca mogu ulaziti u sastav drugoga, a zaključna karika jednoga može biti zaključna karika drugoga mjernog lanca.

S obzirom na međusobni položaj karika mjerni se lanci dijele na:
- linearne, kod kojih su karike koje ulaze u mjerni lanac raspoređene na jednom ili međusobno paralelnim pravcima,
- ravninske, kod kojih su karike koje ulaze u mjerni lanac raspoređene u jednoj ravnini, ali nisu sve paralelne i
- prostorne, kod kojih su veličine koje ulaze u mjerni lanac raspoređene u prostoru (Gornik i Hrabrić, 1962; Mavrić, 1976; Stanić, 1981; Inženjersko tehnički priričnik, 1967).



Slika 1. Primjer linearnoga mjernog lanca kod brodske konstrukcije (Adlerštejn i Sokolov, 1968)

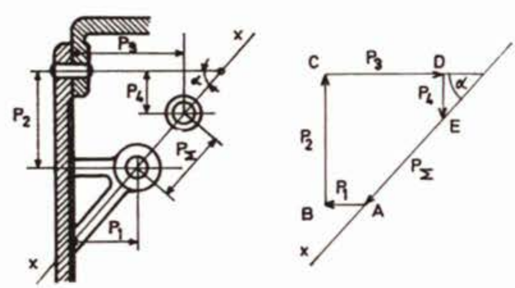
U literaturi se govori o površinskim mjernim lancima, a u ovome radu zbog preciznosti izražavanja prednost se daje terminu ravninski mjerni lanci. Nadalje, za pojam mjerni lanci u našoj literaturi stoje različiti nazivi:
- lanac dimenzija (Gornik i Hrabrić, 1962; Jurdana, 1972; Mavrić, 1976, 1984)
- lanac mjera (Oberšmit, 1991)
- lanac kota (Rovešnjak, 1966).

U radu (Cerovac, 1986) je za taj pojam primijenjen naziv lanac dimenzija. Međutim, zbog višeznačnosti, odnosno moguće nejasnoće pri iskazivanju odgovarajućeg značenja toga naziva, autori su za taj pojam u ovome radu usvojili drugo, čini se sretnije rješenje – naziv mjerni lanac. Za taj pojam na drugim jezicima stoji:
- na engleskome measuring chains (Juran i dr., 1974)

- na njemačkome Maßkette (Korsakov, 1969)
- na ruskom razmerneye cepi (Inženjersko tehnički priručnik, 1967; Adlerštejn i Sokolov, 1968; Bronskij i dr., 1974; Fedoseev, 1971; Glozman i Vasilev, 1971; Mackevič, 1980).

2. SVOĐENJE RAVNINSKIH I PROSTORNIH MJERNIH LANACA NA LINEARNE MJERNE LANCE

Ako je kontura mjernog lanca poligonalna crta, a pojedine karike mjere udaljenosti između njezinih prijelomnih točaka, tada se takav mjerni lanac može svesti na linearni lanac. Kod ravninskih i prostornih mjernih lanaca to se može postići projiciranjem svih sastavnih karika na pogodno izabrani pravac (najčešće na pravac zaključne karike).



a) b)

Slika 2. Svođenje ravninskoga mjernog lanca na linearni mjerni lanac (Stanić, 1981); a) sastavni nacrt, b) geometrijska shema (Paunić, 1962), (Sliku dopunili autori).

U prilog zornosti prikaza svođenja mjernih lanaca na linearne mjerne lance tu se navodi mogući praktični primjer svođenja ravninskoga mjernog lanca na linearni mjerni lanac (Stanić, 1981), slika 2. U tom primjeru zaključnu kariku čini osna udaljenost ležišta koja se dobije nakon montaže njihova nosača. Pritom je za pravac na koji se projiciraju sastavne karike usvojen pravac zaključne karike kao os x.

Označimo prijelomne točke poligonalne linije redom s A, B, C, D i E, te uočimo da su moguća dva smjera za obilazak konture. Odaberimo jedan od njih i označimo strelicama odgovarajuće vektore stranica poligonalne linije. Vidimo da su mjere P_Σ, P_1, P_2, P_3, P_4 duljine stranica poligonalne linije istodobno i duljine odgovarajućih vektora. Možemo napisati:

$$\overrightarrow{AB}+\overrightarrow{BC}+\overrightarrow{CD}+\overrightarrow{DE}+\overrightarrow{EA}=\overrightarrow{o}\,. \tag{1}$$

i odatle

$$\overrightarrow{EA}=-\overrightarrow{AB}-\overrightarrow{BC}-\overrightarrow{CD}-\overrightarrow{DE} \tag{2}$$

Nakon skalarnog množenja s vektorom $\overrightarrow{EA}$

$$|\overrightarrow{EA}|^2 = -\overrightarrow{AB}\,\overrightarrow{EA} - \overrightarrow{BC}\,\overrightarrow{EA} - \overrightarrow{CD}\,\overrightarrow{EA} - \overrightarrow{DE}\,\overrightarrow{EA} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{EA}|^2 = & -|\overrightarrow{AB}|\,|\overrightarrow{EA}|\cos(\overrightarrow{AB},\overrightarrow{EA}) - |\overrightarrow{BC}|\,|\overrightarrow{EA}|\cos(\overrightarrow{BC},\overrightarrow{EA}) - \\ & -|\overrightarrow{CD}|\,|\overrightarrow{EA}|\cos(\overrightarrow{CD},\overrightarrow{EA}) - |\overrightarrow{DE}|\,|\overrightarrow{EA}|\cos(\overrightarrow{DE},\overrightarrow{EA}), \end{aligned} \tag{4}$$

odnosno

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{EA}| = & -|\overrightarrow{AB}|\cos(\overrightarrow{AB},\overrightarrow{EA}) - |\overrightarrow{BC}|\cos(\overrightarrow{BC},\overrightarrow{EA}) - \\ & -|\overrightarrow{CD}|\cos(\overrightarrow{CD},\overrightarrow{EA}) - |\overrightarrow{DE}|\cos(\overrightarrow{DE},\overrightarrow{EA}) \end{aligned} \tag{5}$$

što je uz oznake sa slike 2

$$P_\Sigma = -P_1 \cos\alpha - P_2 \cos(\alpha + 90°) - P_3 \cos(\alpha + 180°) - P_4 \cos(\alpha + 270°) \tag{6}$$

i odatle

$$P_\Sigma = -P_1 \cos\alpha + P_2 \sin\alpha + P_3 \cos\alpha - P_4 \sin\alpha. \tag{7}$$

Primijetimo na kraju da se u provedenom izvodu nigdje ne koristi podatak da se radilo o mjernom lancu u ravnini. Dakle, postupak vrijedi kako za mjerne lance u ravnini, tako i zamjerne lance u prostoru. Opisani postupak nije ništa drugo nego primjena poznatog stavka iz analitičke geometrije prema kojemu je projekcija na proizvoljni pravac zbroja vektora jednaka zbroju projekcija na taj isti pravac pojedinih vektora.

Izrazi (6) i (7) mogu se napisati u obliku

$$P_\Sigma = A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + A_4P_4 \tag{8}$$

i koeficijenti A_1, A_2, A_3, A_4 se tada zovu prijenosni odnosi.

Kod linearnoga mjernog lanca prijenosni odnosi su 1 ili -1. Ti se predznaci mogu odrediti i prema shemi mjernog lanca sastavljnoj od projekcija svih sastavnih karika na pogodno izabrani pravac, najčešće na pravac zaključne karike (Adlerštejn i Sokolov, 1968; Bronskij i dr., 1974; Mackevič i dr., 1980; Paunić, 1962; Stanić, 1981; Inženjersko tehnički priručnik 1967).

3. PRORAČUN TOČNOSTI RAVNINSKIH I PROSTORNIH MJERNIH LANACA

Od postojećih metoda proračuna točnosti mjernih lanaca najčešće se primijenjuju dvije: metoda potpune zamjenjivosti (metoda maksimum-minimum i metoda nepotpune zamjenjivosti.

Ako se točnost promatranih mjernih lanaca proračunava metodom potpune zamjenjivosti, ona se proračunava na osnovi odstupanja od nazivnih mjera. Tako se ukupno odstupanje zaključne karike određuje po fomuli, u općem obliku (Fedeseev, 1971; Stanić, 1981):

$$\Delta_\Sigma = \sum_{1=i}^{n} |A_i \Delta_i|,$$

gdje je:

Δ_i – odstupanje od nazivne vrijednosti sastavne karike.

Ako se točnost promatranih mjernih lanaca proračunava metodom nepotpune zamjenjivosti, ona se proračunava primjenom teorije vjerojatnosti. Tako se polovina polja rasipanja, odnosno tolerancije zaključne karike određuje po formuli, u općem obliku (Adlerštejn i Sokolov, 1968; Korsakow, 1969; Fedoseev, 1971; Stanić, 1981):

$$\delta_\Sigma = \frac{1}{k_\Sigma}\sqrt{\sum_{i=1}^{n} A_i^2 k_i^2 \delta_i^2},$$

gdje je:
δ_i – polovina polja rasipanja, odnosno tolerancije sastavne karike.
Koeficijent k ovisi o zakonu razdiobe elemenata. Najčešće se susreću:
- normalna razdioba, gdje je k = 1;
- uniformna razdioba, gdje je k = 1,73;
- Simpsonova razdioba (razdioba po zakonu trokuta), gdje je k = 1,22 (Gornik i Hrabrić, 1962; Fedoseev, 1971; Stanić, 1981).

4. NAPOMENA

Svrha je ovih razmatranja ukazati na mogućnost rješavanja ravninskih i prostornih mjernih lanaca svođenjem na linearne mjerne lance. Očekuje se da će unapređenjem montažne proizvodnje primjena ravninskih i prostornih mjernih lanaca, i pored njihove složene analize, biti sve značajnija.

LITERATURA

Adlerštejn, L.C. i Sokolov, B.F. (1968): Spravočnik po sudovym razmetočnym i proveročnym rabotam, Sudostroenie, Leningrad.
Bronskij, A.I., Glozman, M.K. i Kozljakov, V.V. (1974): Osnovy vybora konstrukcij korpusa sudna, Sudostroenie, Leningrad.
Cerovac, P. (1986): Prilog proračunu točnosti lanca dimenzija, Geodetski list, 7–12, 221–225.
Fedoseev, D.N. (1971): Kačestvo sboročnyh operacij, Mašinostroenie, Leningrad.
Glozman, M.K. i Vasilev, A.L. (1971): Tehnologičnost konstrukcij korpusa sudna, Sudostroenie, Leningrad.
Gornik, ?. i Hrabrić, ?. (1962): Projektiranje tehnoloških procesa, Privreda, Zagreb.
Juran, M. i dr. (1974): Quality Control Handbook, third edition, McGraw-Hill.
Jurdana, N. (1972): Sastavljanje proizvoda, praktičar 2, Strojarstvo, Zagreb.
Korsakow, W.S. (1969): Grundlagen der Technologie des Maschinenbau, VEB Verlag Technik, Berlin.
Mackevič, V.D. i dr. (1980): Osnovy tehnologii sudostroenija, Sudostroenie, Leningrad.
Mavrić, I. (1976): Točnost i kvaliteta izrade i montaže trupa broda, II. simpozij Teorija i praksa brodogradnje, Zagreb, svezak 2, str. 5.33–5.44.
Mavrić, I. (1984): Točnost izrade i montaže sekcija trupa broda, VI. simpozij Teorija i praksa brodogradnje, Beograd, svezak 2, str. 5.19–5.29.
Oberšmit, E. (1991): Osnove konstruiranja, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
Paunić, Z. (1962): Tehnička kontrola (skripta), Novi Sad.
Rovešnjak, M. (1966): Statistička kontrola kvalitete, Panorama, Zagreb.
Stanić, J. (1981): Osnove teorije mernih lanaca, Mašinski fakultet, Beograd.
Inženjersko tehnički priručnik (1967): Merni lanci, inženjersko tehnički priručnik, četvrta knjiga (prevod s ruskog), Beograd.

JUS (1968): Tolerancija dužinskih mjera, objašnjenja i definicije ISO–sustava tolerancija i naleganja, JUS M. Al. 110, str. 1–8.
JUS (1984): Tehnički crteži, opći principi prikazivanja, JUS A.AO. 110, str. 1–14.
JUS (1988): Tehnički crteži – kotiranje, JUS A. AO. 114, str. 1–23.

PLANE AND SPATIAL MEASURING CHAINS

This paper presents the reduction of plane and spatial measuring chains to linear ones, as well as the computation of their accuracy.

Primljeno: 1995–04–01