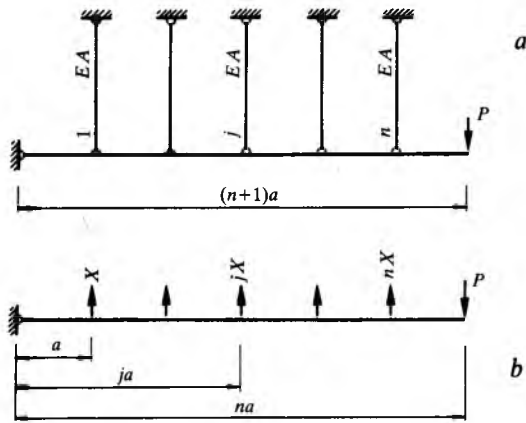


Sl. 116. Poseban slučaj okvira prema sl. 115



Sl. 117. Objеšena greda

$$\sum_{j=1}^n jX \cdot ja = (n+1)a \cdot P \tag{201}$$

Kako je

$$\sum_{j=1}^n j^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \tag{202}$$

nepoznanica, tj. sila u štapu *l*, iznosi

$$X = \frac{6}{n(2n+1)} P \tag{203}$$

DUALNOST I USPOREDBA METODE SILA I METODE POMAKA

Dualnost. Metoda sila, koja se naziva i metodom podatljivosti ili metodom fleksibilnosti ako deformacije potječu uglavnom od savijanja, konvencionalna je metoda za proračun statički neodređenih konstrukcija. Metoda pomaka, koja se naziva i metodom krutosti, konvencionalna je metoda za proračun kinematički neodređenih konstrukcija, najčešće okvira.

Cilj je obiju metoda da se utvrde ležajne i unutrašnje sile koje, za sustav kao cjelinu i za sve njegove dijelove, zadovoljavaju i uvjete ravnoteže i uvjete kompatibilnosti (konzistentnosti, suvislosti) deformacija.

Metoda sila i metoda pomaka dualne su (recipročne, konjugirane) metode. Zadani sustav izložen zadanom vanjskom djelovanju (opterećenja, promjene temperature, pomaci ležaja ili drugih veza) analizira se primjenom osnovnog sustava izloženog vanjskom djelovanju i statički, odnosno kinematički prekobrojnim veličinama. Zadani i osnovni sustav mehanički su ekvivalentni. U metodi sila utjecaj vanjskog djelovanja na osnovni sustav zadovoljava uvjete ravnoteže; superponira mu se *n* uravnoteženih stanja tako da budu zadovoljeni i uvjeti kompatibilnosti. U metodi pomaka utjecaj vanjskog djelovanja na osnovni sustav zadovoljava uvjete kompatibilnosti; superponira mu se *m* kinematički kompatibilnih stanja tako da budu zadovoljeni i uvjeti ravnoteže.

Usporedba. a) U osnovnom sustavu, pri primjeni metode sila, utjecaji se statički prekobrojnih sila i vanjskog djelovanja često rasprostiru na veće područje sustava. U osnovnom sustavu, pri primjeni metode pomaka, utjecaji se kinematički prekobrojnih pomaka obično rasprostiru samo na dva susjedna štapa, a utjecaj vanjskog djelovanja samo na odnosni štap; s obzirom na vanjsko djelovanje sustav je, dakle, raščlanjen na niz međusobno neovisnih štapova. b) Koeficijenti i slobodni članovi u jednadžbi metode sila pronalaze se množenjem dijagrama, a koeficijenti i slobodni članovi u jednadžbi metode pomaka lakše i brže pomoću sl. 114. c) U metodi sila unutrašnje se i ležajne sile pronalaze neposredno, a u metodi pomaka posredno, na osnovi pomaka. d) Metoda sila pojmovno je razumljivija. e) Za programiranje i primjenu na elektroničkim računalima metoda je pomaka povoljnija od metode sila, jer je proračun koeficijenata i slobodnih članova jednadžbe prekobrojnih veličina lakše sistematizirati.

U tabl. 4 navedeni su stupanj *n* statičke neodređenosti i stupanj *m* kinematičke neodređenosti za nekoliko okvira; kad je okvir simetričan, vrijednosti za *n* i *m* navedene su odvojeno za simetrično i antisimetrično vanjsko djelovanje.

Tablica 4
STUPNJEVI STATIČKE (*n*) I KINEMATIČKE (*m*) NEODREĐENOSTI NEKOLIKO OKVIRA

	Okvir					
	nesimetričan		simetričan			
			Opterećenje			
	proizvoljno	simetrično		antisimetrično		
	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>
	3	3	2	1	1	2
	6	4	3	1	3	3
	9	5	5	2	4	3
	6	6	4	2	2	4
	12	8	6	2	6	6
	6	8	3	3	4	3
	3	4				

ENERGETSKE METODE

Proračun statički neodređenih sustava primjenom drugog Castiglianova poučka. Deformacijska energija sustava izrazi se kao funkcija napadnih sila *P* i prekobrojnih sila *X*, $U = U(X)$. Sustav linearnih algebarskih jednadžbi za pronalaženje prekobrojnih sila slijedi iz uvjeta

$$\frac{\partial U(X)}{\partial X_j} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n), \tag{204}$$

odnosno u matričnom obliku

$$\frac{dU(X)}{d\{X\}} = \{0\}. \tag{205}$$

Ako je sustav na mjestu prekobrojnih sila izložen zadanim pomacima veza, npr. ležaja (*c_k* pomak na mjestu *i* u

orijentiranom smjeru X_k), deformacijska je energija funkcija samo prekobrojnih sila. Sustav linearnih algebarskih jednadžbi za određivanje prekobrojnih sila slijedi iz uvjeta

$$\frac{\partial U(X)}{\partial X_k} = c_k \quad (k = 1, 2, \dots, n), \quad (206)$$

odnosno u matricnom obliku

$$\frac{dU(X)}{d\{X\}} = \{c\}. \quad (207)$$

Proračun kinematički neodređenih sustava primjenom prvog Castiglianova teorema. Ako napadne sile P djeluju samo na mjestu i u smjeru prekobrojnih pomaka Y , deformacijska je energija sustava funkcija samo tih pomaka, $U = U(Y)$. Sustav linearnih algebarskih jednadžbi za određivanje prekobrojnih pomaka slijedi iz uvjeta

$$\frac{\partial U(Y)}{\partial Y_j} = P_j \quad (j = 1, 2, \dots, m), \quad (208)$$

odnosno u matricnom obliku

$$\frac{dU(Y)}{d\{Y\}} = \{P\}. \quad (209)$$

Primjer. Za okvir na sl. 118a označeni su na sl. 118b prekobrojni pomaci Y_1 , Y_2 i Y_3 ; uvjeti za određivanje sustava jednadžbi jesu:

$$\frac{\partial U(Y)}{\partial Y_1} = 0, \quad \frac{\partial U(Y)}{\partial Y_2} = 0, \quad \frac{\partial U(Y)}{\partial Y_3} = P. \quad (210)$$

Deformacijska energija sustava sastoji se od doprinosa obaju stupova i prečke, pa iznosi

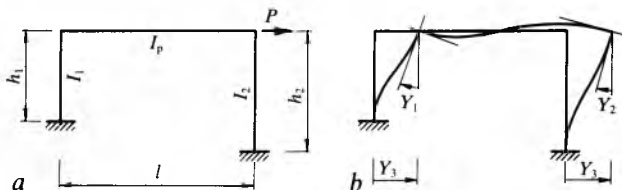
$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_p = \\ &= 2 \left[(\alpha_1 + \alpha_p) Y_1^2 + (\alpha_p + \alpha_2) Y_2^2 + \alpha_p Y_1 Y_2 + \right. \\ &\left. + 3 \left[-\frac{\alpha_1}{h_1} Y_1 Y_3 - \frac{\alpha_2}{h_2} Y_2 Y_3 + \left(\frac{\alpha_1}{h_1^2} + \frac{\alpha_2}{h_2^2} \right) Y_3^2 \right] \right]. \end{aligned} \quad (211)$$

Uvjeti (210) daju sustav jednadžbi za pronalaženje prekobrojnih pomaka Y_1 , Y_2 i Y_3 :

	Y_1	Y_2	Y_3	P
	$4(\alpha_1 + \alpha_p)$ kNm	$2\alpha_p$ kNm	$-6\frac{\alpha_1}{h_1}$ kN	0 kNm
		$4(\alpha_p + \alpha_2)$ kNm	$-6\frac{\alpha_2}{h_2}$ kN	0 kNm
simetr.			$12\left(\frac{\alpha_1}{h_1^2} + \frac{\alpha_2}{h_2^2}\right)$ kN/m	1 kN

(212)

Dvostruka vertikalna linija označuje znak jednakosti jednadžbi. Sustav koeficijentata s lijeve strane te linije matrica je krutosti sustava.



Sl. 118. Portalni okvir sa stupovima različitih visina

LIT.: K. Beyer, Statika armiranih betonskih konstrukcija. Građevinska knjiga, Beograd 1963. – K. Sattler, Lehrbuch der Statik. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1969. – J. Meek, Matrix Structural Analysis. McGraw-Hill, New York 1971. – A. Смирнов, Строительная механика. Стройиздат, Москва 1981.

R. Rosman

STATISTIČKA KONTROLA KVALITETE, skup metoda i postupaka za prikupljanje, obradbu, analizu, tumačenje i prikaz podataka radi osiguranja kvalitete industrijskih proizvoda i proizvodnog procesa. Pravilna primjena statističke kontrole kvalitete omogućuje smanjenje dorade i

škarta (odmetka, neispravnih proizvoda) u proizvodnom procesu, smanjenje troškova proizvodnje, a posebno smanjenje troškova kontrole kvalitete.

Da bi se provodila statistička kontrola kvalitete, potrebno je utvrditi standarde kvalitete za proizvod i proizvodni proces. Svrha je te kontrole da se utvrdi sposobnost procesa za proizvodnju proizvoda koji zadovoljavaju te standarde, da se prati proizvodni proces kako bi se otkrile promjene zbog kojih proces izmiče kontroli i kako bi se poduzele mjere za korekciju proizvodnog procesa i njegovo održavanje pod kontrolom. To se postiže statističkom analizom kvalitete proizvoda.

METODE STATISTIČKE KONTROLE KVALITETE

Statistička se kontrola kvalitete obavlja uzimanjem uzoraka iz skupa jedinica (strojni dijelovi, sastavni dijelovi proizvoda ili gotov proizvod) koje treba kontrolirati. Uzorci se kontroliraju prema *atributivnim* ili *mjerljivim karakteristikama*, a na temelju rezultata kontrole zaključuje se o kvaliteti skupa. Postoje dva bitno različita načina primjene statističke kontrole kvalitete: kontrola nakon dovršene proizvodnje i u toku proizvodnje.

Kontrola nakon dovršene proizvodnje; svaka je jedinica skupa dostupna za kontrolu. Uzima se uzorak od n jedinica (ili više uzoraka od n_1, n_2, \dots jedinica) iz osnovnog skupa od N jedinica koji se temeljito kontrolira. Ako je broj škartnih jedinica manji od dopuštenog, čitav se skup ocjenjuje kao dobar i prihvaća se, a ako je broj škartnih jedinica veći od dopuštenog, ocjenjuje se kao loš i odbija se. Rezultat ocjene bitno ovisi o razini kvalitete koja vrijedi za kontroliranu proizvodnju. Uzimanje uzoraka i dalji postupak s njima propisan je *planom prijema*. Plan prijema posebno je razrađen za atributivne i za mjerljive karakteristike.

Kontrola dok je proizvodnja u toku. Jedan je dio jedinica koje treba kontrolirati dovršen, a drugi dio još nije proizveden, pa ga nije moguće ni kontrolirati. Tada se iz proizvodnje koja je u toku uzimaju uzorci s malim brojem jedinica koji se potpuno kontroliraju, tj. kontrolira se svaka jedinica u uzorku. Obradba rezultata kontrole pokazuje tendenciju odstupanja kontrolirane karakteristike dovršenih jedinica. Uzimanje uzoraka i dalji postupak s njima propisan je *kontrolnim kartama*. Kontrolne se karte primjenjuju u toku proizvodnje i djeluju preventivno na osiguranje kvalitete proizvoda.

Uzimanje uzoraka iz osnovnog skupa jedinica najdelikatnija je faza u primjeni statističke kontrole kvalitete jer je potrebno osigurati reprezentativnost osnovnog skupa jedinica. Reprezentativnost uzorka ovisi o omjeru broja jedinica n u uzorku i ukupnog broja jedinica N u osnovnom skupu, te o slučajnom izboru jedinica iz osnovnog skupa. Teško je, međutim, osigurati slučajnost izbora uzoraka, što utječe na pouzdanost primjene statističke kontrole kvalitete. Planovi prijema i kontrolne karte posebno su razrađeni za mjerljive i atributivne karakteristike.

Atributivne se karakteristike ocjenjuju. Promjer se strojnog dijela, npr., kontrolira stalnim kalibrom, pa se smatra da je kontrolirani strojni dio loš ako ne prolazi kroz kalibar. Serija se strojnih dijelova ocjenjuje prema utvrđenom postotku škarta u njoj. Mjerljive su karakteristike, npr., dimenzije ili masa strojnog dijela, one koje se mogu dovoljno precizno mjeriti.

Metode i postupci statističke kontrole kvalitete primjenjuju se u svim proizvodnim područjima. Najviše se, međutim, statistička kontrola kvalitete primjenjuje u industrijskoj komadnoj proizvodnji, kojoj je osnovna karakteristika nekontinuiranost proizvodnog i tehnološkog procesa.

Nekontinuiranost proizvodnog i tehnološkog procesa očituje se u odvojenoj proizvodnji sastavnih dijelova (I. faza) od sastavljanja proizvoda (II. faza) koje se može obavljati u neposrednoj blizini ili bilo gdje drugdje. Nekontinuiranost je karakteristika i proizvodnje serija sastavnih dijelova nekog proizvoda u različitim vremenskim razdobljima i na različitim