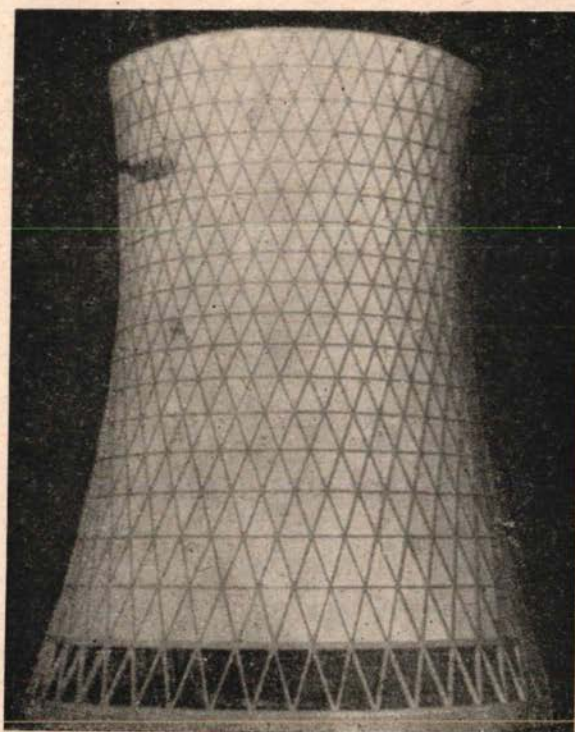


REALIZACIJA PROJEKTA IZGRADNJE RASHLADNOG TORNJA HIPERBOLOIDNOG OBLIKA - ODREĐIVANJE GEOMETRIJSKIH ELEMENATA

SMAILBEGOVIĆ Dr ing FATHULAH profesor — Sarajevo

Ovaj će članak tretirati jednu metodu za rješenje naslovnog problema primjenjenu na konkretnom slučaju izgradnje rashladnog tornja Termoelektrane »Lukavac«, ali je njegova istovremena svrha da ukaže



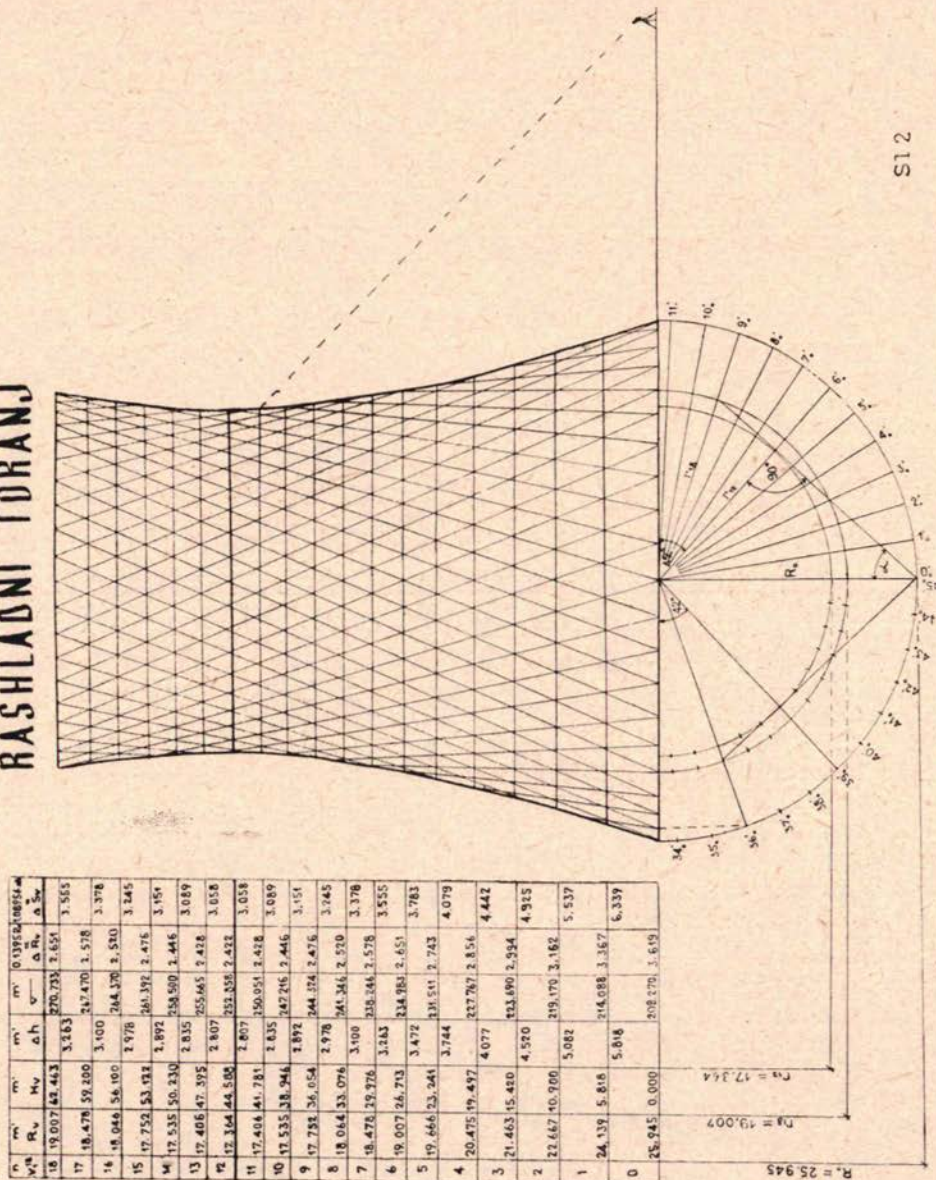
Sl. 1

i na potrebu saradnje građevinskih i geodetskih stručnjaka naročio prilikom projektovanja i izgradnje većih objekata.

Projektom pomenute Termoelektrane predviđena je između ostalih objekata i izgradnja rashladnih tornjeva. Ovi tornjevi imaju oblik hiperboloidne plohe sastavljene od štapova sa međuispunom (sl. 1).

RASHLADNI TORANJ

n	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
R_n	R_{n-1}	H_n	Δh	$\frac{m}{\Delta R_n}$	$\frac{m}{\Delta R_{n-1}}$	$\frac{m}{\Delta R_n}$	$\frac{m}{\Delta R_{n-1}}$	$\frac{m}{\Delta R_n}$	$\frac{m}{\Delta R_{n-1}}$	$\frac{m}{\Delta R_n}$	$\frac{m}{\Delta R_{n-1}}$	$\frac{m}{\Delta R_n}$	$\frac{m}{\Delta R_{n-1}}$
18	19.007	43.443	3.283	270.733	2.651	3.555							
17	18.478	59.200	3.100	247.470	2.578	3.378							
16	18.046	56.100	2.978	264.370	2.520	3.245							
15	17.752	53.933	2.892	261.392	2.475	3.159							
14	17.535	50.530	2.835	258.590	2.445	3.089							
13	17.406	47.395	2.807	255.645	2.428	3.058							
12	17.364	44.500	2.807	252.235	2.422	3.058							
11	17.406	41.781	2.835	250.051	2.428	3.089							
10	17.535	38.246	2.892	247.246	2.446	3.159							
9	17.735	36.054	2.978	244.374	2.476	3.245							
8	18.044	33.076	3.100	241.346	2.520	3.378							
7	18.478	29.378	3.283	238.046	2.578	3.555							
6	19.007	26.773	3.472	234.981	2.651	3.781							
5	19.666	23.241	3.744	231.501	2.743	4.079							
4	20.475	19.437	4.077	227.767	2.856	4.442							
3	21.463	15.480	4.520	223.800	2.984	4.915							
2	22.667	10.900	5.082	219.170	3.182	5.537							
1	24.139	5.818	5.818	214.088	3.367	6.339							
0	25.945	0.000	0.000	208.270	3.619								



S12

Pojedini je rashladni toranj visine 62,463 metra, veličine prečnika u bazi 51,890, a u vrhu 38,014 m, sa 18 etaža (prstenova), na kojima se sijeku štapovi. Na dvanaestom prstenu toranj je najuži sa prečnikom dužine 34,728 metara kuda prolaze osi hiperboloida. Priloženi nacrt sa upisanim numeričkim podacima detaljno precizira izgled i veličinu ovog interesantnog i velikog objekta (sl. 2).

Određivanje, računanje i prenošenje geometrijskih elemenata za realizaciju projekta na licu mjesta je geodetski zadatak, koji se sastoji u postepenom označavanju presjeka štapova (čvorova) u prostoru na pojedinim prstenima kao i praćenju njihovog pravilnog fiksiranja.

Prema projektu predmetnog tornja bila je predviđena tzv. »geodetska skela« u centru objekta, sa koje bi se vršio prenos geometrijskih elemenata — uglova i dužina, te njihovo označavanje.

Mora se priznati da je ovaj metod prividno pojednostavnio cio postupak mjerenja tako, da bi ga mogla obavljati i geodetski manje obrazovana lica.

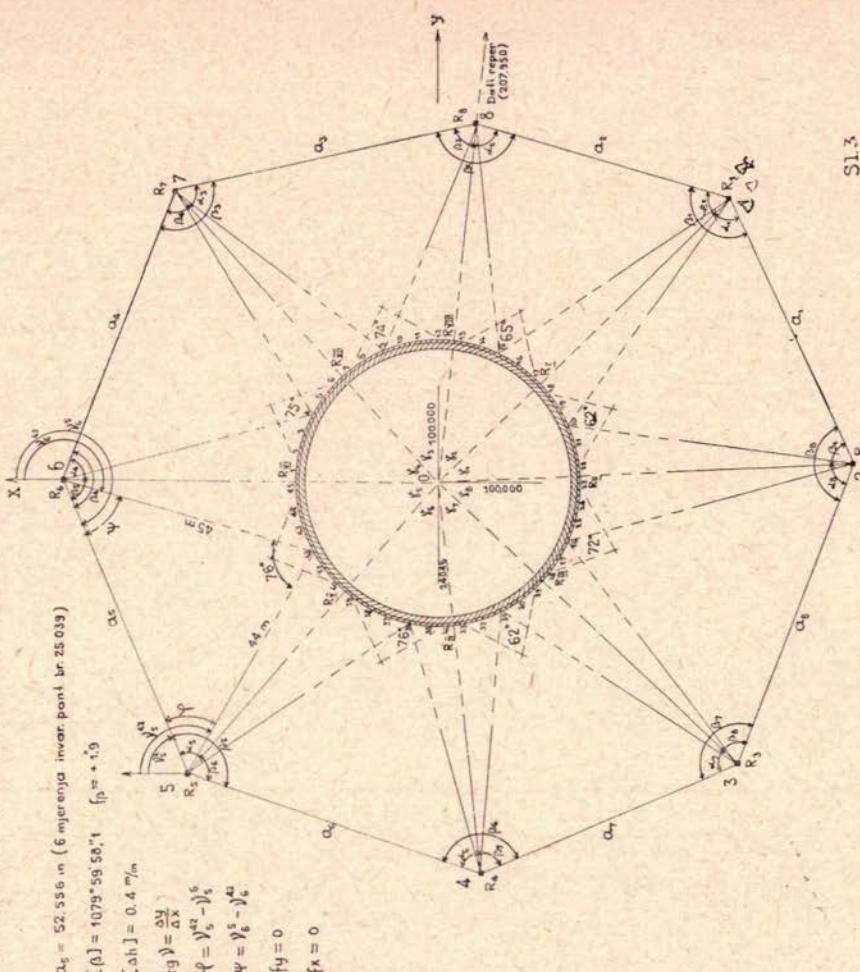
Međutim protiv ovakvog načina obilježavanja govori više razloga. Prije svega, po uzoru na izgradnju visokih piramida na trigonometrijskim tačkama, pomenuta bi se skela morala sastojati iz dva odvojena dijela: centralnog, vrlo čvrsto izgrađenog nosioca geodetskog instrumenta i perifernog, koji bi morao biti potpuno odvojen od centralnog zbog neminovnih vibracija, koje nastaju kretanjem operatora oko instrumenta, a koje bi se prenosile na instrumenat i onemogućile tačnost mjerenja uglova. Osim toga njena bi izgradnja morala postepeno napredovati sa izgradnjom objekta do posljednje etaže na visini od cca 63 metra, ili bi se morali na toj skeli izgraditi specijalni spratovi za opažanja. Prema tome, ova bi skela sama za sebe predstavljala veliki objekat relativno visoke cijene.

Sa navedene bi se skele iz centra objekta mjerili i prenosili uglovi teodolitom, a odstojanja od centra do presjeka čvorova pantljkama. Mjerenje pantljkama bi opet bio poseban problem obzirom na opšte nedostatke mjerenja dužina pantljikom pogotovo, kada bi se ova našla cijelom svojom dužinom na velikoj visini bez oslonca. Ako bi se pribjegli optičkom mjerenju ovih odstojanja, na što se nije ni pomišljalo, i to bi također u konkretnom slučaju bio vrlo težak problem, jer dužine u prostoru nisu fiksirane, nego ih tek treba odmjeriti. Dakle i jedan i drugi način mjerenja dužina bio bi vezan za velike poteškoće već pri samoj organizaciji rada, a da se i ne govori koliko bi te poteškoće uticale na tačnost rezultata mjerenja.

Prednjem izlaganju treba dodati i to, da bi pomenutom skelom bio zauzet dragocjeni unutarnji prostor objekta, koji se može iskoristiti za bolju organizaciju izgradnje, a korištenje nekog drugog uređaja postavljenog u drugu svrhu, istovremeno i za geodetska mjerenja ne dolazi uopšte u obzir iz razloga, što bi to bio neminovan izvor grubih grešaka u rezultatima mjerenja, koje bi i formalno upropastile dosljedno izvođenje projekta.

Ideja pak, da se štapovi montiraju bez geodetske kontrole na osnovi njihove veličine ne pruža nikakove garancije u pogledu tačnosti obzirom

GEODETSKA OSNOVA (PRENOS HOR. UGLOVA)



$\alpha_2 = 52.556 \text{ m (6 mjerenja invar. point. br. 25 039)}$

$[\beta] = 1079^{\circ} 59' 58.1'' \quad f_{\beta} = +1.9$

$[d_{oh}] = 0.4 \text{ m}^2/m$

$f_{\beta} \gamma = \frac{\Delta V}{\Delta L}$

$\psi = \psi_{\text{teor}} - \psi_{\text{izm}}$

$\psi = \psi_{\text{teor}} - \psi_{\text{izm}}$

$f_{\gamma} = 0$

$f_{\kappa} = 0$

BROJ TAČKE-REPERA	KOORDINATE I VISINE		TREBAO IZVESTI NA VISINI
	Y	X	
0	100 000	100 000	1
0.1	147 765.3	50 539.4	206 814.3
0.2	104 906.3	30 125.3	206 819.8
0.3	51 561.5	43 811.5	206 583.3
0.4	23 723.1	91 959.7	206 432.4
0.5	51 714.4	143 463.3	207 371.2
0.6	100 000.1	164 214.4	207 324.4
0.7	151 323.3	146 170.1	207 444.3
0.8	159 833.7	93 716.8	207 370.1
0.8 doh			207 350.5
0.8.1 (kod 0.1)			206 833.1
0.8.2 (kod 0.2)			206 852.1
0.8.3 (kod 0.3)			206 617.4
0.8.4 (kod 0.4)			206 441.2
0.8.5 (kod 0.5)			207 331.4
0.8.6 (kod 0.6)			207 350.1
0.8.7 (kod 0.7)			207 474.4
0.8.8 (kod 0.8)			207 404.1
0.8.9			208 036.1
0.8.10			208 272.1
0.8.11			208 637.1
0.8.12			208 620.1
0.8.13			208 631.1
0.8.14			208 649.1
0.8.15			208 619.1
0.8.16			208 625.1
0.8.17			208 628.1
0.8.18			208 627.1

SI.3

na velike dimenzije objekta, kao i na to da ovi štapovi u krajnjoj liniji moraju dati hiperboloidnu plohu.

U vezi sa naprijed navedenim obrazloženjem u cilju pravilnog rješenja naslovnog problema odabrana je metoda određivanja geometrijskih elemenata i njihovog prenošenja »spolja« (izvan objekta) kao najracionalnija, a i najekonomičnija. U tu je svrhu potpisani autor izradio projekat geodetske osnove (sl. 3), čije su tačke prenesene na teren i obilježene trajnim biljegama, nakon čega su izvršena potrebna mjerenja i računanja.

Projektom pomenute geodetske osnove i prijedlogom o vanjskom obilježavanju i praćenju izgradnje rashladnog tornja otpala je »geodetska skela« i sve poteškoće u vezi sa njom. Ovim je prijedlogom projektovano 8 tačaka geodetske osnove izvan objekta, koje su obilježene betonskim stubovima veličine $30 \times 30 \times 60$ cm ukopane u zemlju tako, da budu sa gornjom površinom u ravnini terena, na čijem su dijagonalnom presjeku ubetonirane metalne pločice sa rupicama presjeka 1m/m kao centrima za horizontalna mjerenja. Osim toga i u neposrednoj blizini na cca 10 cm odstojanja u istim stubovima sa gornje njihove strane ugrađene su zaobljene željezne biljege kao reperi za visine (mogu se adaptirati iste biljege i za horizontalna i za vertikalna mjerenja). Zatim je naknadno ugrađeno još 8 željeznih klinova sa oblim glavama u donji vijenac rashladnog tornja sa njegove gornje površine u svrhu određivanja horizonata instrumenata prilikom označavanja čvorova u visinskom pogledu, ali i za oskultaciju eventualnih vertikalnih deformacija objekta.

Odabrani će način obilježavanja geodetske osnove betonskim biljegama u ravnini terena najmanje smetati komuniciranju oko samog objekta, osim što su i odostojanja od objekta (35—50 m) dovoljno velika, da bi se omogućilo viziranje instrumentima pod povoljnim visinskim uglovima.

Numeracija tačaka geodetske osnove izvršena je arapskim brojevima od 1—8, a repera na objektu rimskim brojevima od I—VIII.

Ranije je postavljen niz repera za visinsko obilježavanje ostalih objekata Termoelektrane, od kojih je uzet jedan kao »početni« i njegova kota određena tehničkim nivelanjem od repera državnog nivelmana; zatim je, također ranije, za visinsko određivanje temelja rashladnog tornja u njegovoj neposrednoj blizini obilježen i jedan reper, na kome je označena određena visina horizontalnim zarezom i ekserom.

Napominje se, da je prema projektu geodetske osnove bilo poželjno njenih 8 tačaka obilježiti pod određenim uglovima uzetim iz projekta rashladnog tornja u smjeru izvodnica i mjerenim iz centra objekta u veličini od 48° odnosno 40° te na istom odstojanju od objekta. Međutim, hitnost odpočinjanja radova kao i dilema o izboru metode označavanja prilikom praćenja izgradnje, te terenski uslovi organizacije radova, nisu dozvolili da se geodetska osnova obilježi prije početka izgradnje i da se dosljedno sprovede njezin projekat, nego je obilježavanje njenih tačaka izvršeno nakon dovršenja prve etaže (vijenca) sa instrumentom, kod koga

ISPITIVANJE TAČNOSTI

HORIZONTALNI UGLOVI

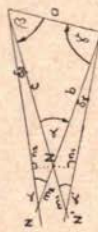
$$\cos \alpha = \frac{\beta^2 c^2 - a^2}{2bc} \quad \alpha = \arccos \frac{\beta^2 c^2 - a^2}{2bc}$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial a} = \frac{a}{bc\sqrt{1 - \frac{(\beta^2 c^2 - a^2)^2}{4b^2 c^2}}} \quad \frac{\partial \alpha}{\partial b} = \frac{a^2 \beta^2 c^2}{2bc^2 \sqrt{1 - \frac{(\beta^2 c^2 - a^2)^2}{4b^2 c^2}}} \quad \frac{\partial \alpha}{\partial c} = \frac{a^2 \beta^2 c}{2bc^2 \sqrt{1 - \frac{(\beta^2 c^2 - a^2)^2}{4b^2 c^2}}}$$

$$m_\alpha = \pm \rho \sqrt{\left(\frac{\partial \alpha}{\partial a}\right)^2 m_a^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial b}\right)^2 m_b^2 + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial c}\right)^2 m_c^2}$$

U DATOM SLUČAJU

za $b = c = 60 \text{ m}$, $\alpha = 50^\circ$, $m_a = m_b = m_c = \pm 0.005 \text{ m}$
 $\frac{\partial \alpha}{\partial a} = 0.0197$, $\frac{\partial \alpha}{\partial b} = 0.0079$, $\frac{\partial \alpha}{\partial c} = 0.0079$; $m_\alpha = \pm 23''$
 $m_\alpha = \pm 16''$



PRESJEK

$$n = \frac{b \sin \gamma}{a}$$

$$m = \frac{b \sin \alpha}{\rho \sin \alpha} = \frac{b \sin \alpha}{\rho \sin \alpha} = \frac{b}{\rho}$$

U DATOM SLUČAJU

za: $b = c = 60 \text{ m}$, $\alpha = \beta = \gamma = 50^\circ$, $m_a = m_b = m_c = \pm 0.005 \text{ m}$, $m = \pm 1.8''$

VERTIKALNI UGLOVI

$$\text{tg } \epsilon = \frac{\Delta h}{d} \quad \epsilon = \arctg \frac{\Delta h}{d}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial \Delta h} = \frac{1}{d \sqrt{1 + \frac{\Delta h^2}{d^2}}} \quad \frac{\partial \epsilon}{\partial d} = \frac{-\Delta h}{d^2 \sqrt{1 + \frac{\Delta h^2}{d^2}}}$$

$$m_\epsilon = \pm \rho \sqrt{\left(\frac{\partial \epsilon}{\partial \Delta h}\right)^2 m_{\Delta h}^2 + \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial d}\right)^2 m_d^2}$$

U DATOM SLUČAJU

za: $\Delta h_{\text{max}} = 62 \text{ m}$; $d_{\text{min}} = 42 \text{ m}$; $m_{\Delta h} = \pm 0.005 \text{ m}$, $m_d = \pm 0.005 \text{ m}$, $m_\epsilon = \pm 13.6''$
 za: $\Delta h_{\text{min}} = 11 \text{ m}$; $d_{\text{max}} = 42 \text{ m}$; $m_{\Delta h} = \pm 0.005 \text{ m}$, $m_d = \pm 0.005 \text{ m}$, $m_\epsilon = \pm 22.5''$
 za $\Delta h_{\text{max}} = 62 \text{ m}$; $d_{\text{min}} = 60 \text{ m}$; $m_{\Delta h} = \pm 0.005 \text{ m}$; $m_d = \pm 0.005 \text{ m}$; $m_\epsilon = \pm 12.3''$
 $m_\epsilon = \pm 23''$; $m_\rho = \pm 16''$

je vrijednost najmanjeg podioka na mikroskopu svega jedna uglovna minuta sa mogućnošću ocjenjivanja njene desetinke. Ovo je imalo za posljedicu izvjesno odstupanje u tačnosti prenošenja uglova, što je ustanovljeno naknadnim mjerenjem pomoću sekundnog instrumenta sa optičkim centrisanjem. Isto tako su konstatovane i izvjesne razlike u dužinama i visinama, o čemu će biti riječi u daljnjem izlaganju.

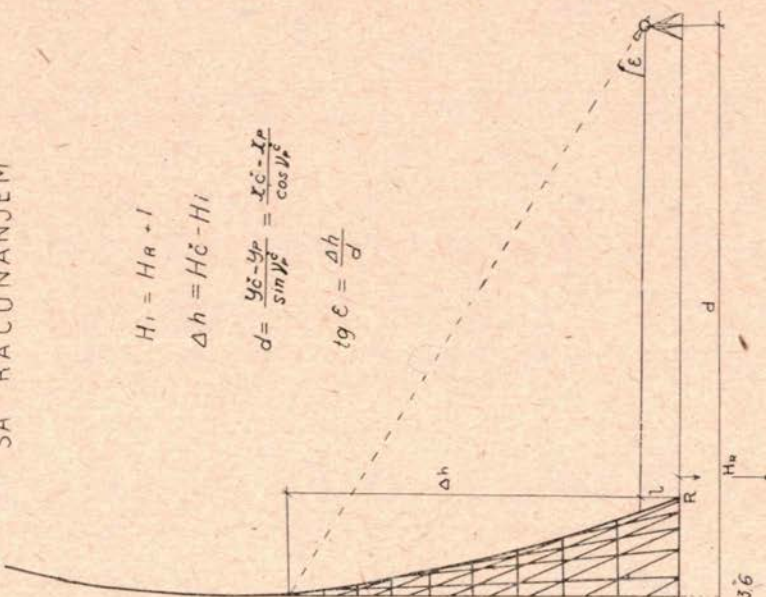
PRENOS VIS. UGLA SA RAČUNANJEM

$$H_i = H_R + l$$

$$\Delta h = H\dot{c} - H_i$$

$$d = \frac{H\dot{c} - H_i}{\sin \gamma \dot{c}} = \frac{H\dot{c} - H_i}{\cos \beta \dot{c}}$$

$$\text{tg } \epsilon = \frac{\Delta h}{d}$$



Sl. 4

Naime, u svrhu dobivanja računskih podataka geodetske osnove izvršena su na terenu potrebna mjerenja 28 jula 1962 godine i to:

— mjerenje bazisa invarnom pantljkikom od tačke 5 do tačke 6, a za kontrolna računanja od 3 do 4 i od 2 do 3. Ovi su rezultati prikazani na sl. 5;

— mjerenje u svrhu kontrole svih odstojanja tačaka osnovne mreže međusobno i odstojanja ovih tačaka od tačaka ranije privremeno obilježenih na gornjoj površini prvoga vijenca, do kojih su mjerene dužine čeličnom pantljkikom od centra objekta prilikom obilježavanja. Pomenuta su odstojanja mjerena metodom paralaktične poligonometrije teodolitom Wild T2 uz invarnu bazisnu letvu iste firme. Rezultati su ovoga mjerenja prikazani također na sl. 5. Upoređivanjem ovih mjerenja sa ranijim mjeranjima izvršenim čeličnom pantljkikom konstatovane su razlike u veličini od 2 do 3 cm na 24 metra dužine. Naknadno je komparacijom pak utvrđeno da su ove razlike nastale zbog zatezanja čelične pantljkike silom znatno većom (tri puta) od normalne sile zatezanja;

— mjerenje uglova sekundnim teodolitom, koje zatvaraju strane osnovne mreže međusobno i uglova koje zatvaraju te strane sa pravcima na centar odnosno na one iste ranije privremeno obilježene tačke pri preošnjenju uglova sa centra minutnim instrumentom ($48''$ odnosno $40''$), kojom je prilikom instrumenat bio postavljen na skeli i centrisan iznad središta objekta pomoću običnog viska, jer je već bio, kako je navedeno, izgrađen prvi vijenac. Zbog ovih su se razloga pokazale razlike u tim uglovima uzetim iz projekta i faktično obilježenim, a sada izračunatim kao dopuna do $180^{\circ}00'00''$ dvaju uglova u trouglima mjerenim sekundnim instrumentom u 4 girusa (8 ponavljanja). Ove su razlike vidljive na slici 5. Međutim one neće uticati na određivanje elemenata za daljnje prenošenje projekta izgradnje, jer će se za računanje koordinata geodetske osnove koristiti periferni uglovi poligona s jedne strane, a za računanje koordinata čvorova zadati uglovi iz projekta rashladnog tornja;

— mjerenje vertikalnih uglova također pomoću sekundnog instrumenta Wild T2 i to sa tačaka geodetske osnove broj 1, 3, 5 i 7 na odgovarajuće tačke izgrađenog prvog vijenca u svrhu kontrolisanja njegove visine, koja je još ranije prenesena u odnosu na centralnu tačku objekta. Razlike su vidljive iz sl. 5, one iznose u prosjeku 22 m/m što je svakako djelomično posljedica i izvedbe. Ovo se može uzeti u obzir već na slijedećem vijencu i daljnja izgradnja dovesti podpuno u sklad sa projektom i u visinskom pogledu;

— mjerenje visinskih razlika izvršeno je paralelno sa mjerenjem horizontalnih i vertikalnih uglova, pri čemu je korišten precizni nivelir Wild N3 uz invarne letve. Mjerene su visinske razlike u odnosu na naprijed pomenuti »početni« reper sa kotom 207,950 m i to sve visinske razlike dvostruko između svih stabiliziranih kako repera tako i tačaka. Razlike su dvostrukog niveliranja bile u granicama od 0,1 m/m, odnosno poligon se zatvorio sa svega 0,4 m/m na 4 visinske razlike.

Nakon svih izvršenih mjerenja izračunate su koordinate tačaka geodetske osnove, zatim apsolutne visine svih tačaka i repera, čime je daljnje računanje i prenošenje geometrijskih elemenata podpuno obezbijede-

MJERENJE DUŽINA			RAČUNATO		RAZLIKA	
JUŽINA	MJERENA DUŽINA RANIJE PANTLIJKOM 24,04E m + OSTATAK MJEREN BAZISNOM LETCOM 28 VII 1962		IZ DALE 5-6		Δ	
05-06	49.970 + 2.586 = 52.556 m					
t = 24°	49.970 + 2.586 = 52.556 m					
	49.970 + 2.580 = 52.556 m					
	50.000 + 2.556 = 52.556 m					
	50.000 + 2.556 = 52.556 m					
	50.000 + 2.556 = 52.556 m					
	Δh = 0.046 m					
	r = 0.000 m					
	05-06 = 52.556 m					
3-0	69.726 m	69.747 m	+0.021			
2-0	70.019 m	70.043 m	+0.024			
4-0	76.680 m	76.697 m	+0.017			
1-0	68.733 m	68.756 m	+0.018			
8-0	60.193 m	60.209 m	+0.016			
7-0	68.936 m	68.960 m	+0.024			
6-0	64.192 m	64.214 m	+0.022			
5-0	64.939 m	64.966 m	+0.027			

RAČUNANJE VIS RAZLIKA I VISINA VIJENCA I	
02-N2	
ε = 7°20'26"0	
d = 45.726 m	
R ₁ = 206.839 m	
Δh = 1.638 m	
Δh' = 5.890 m	
N2 = 214.367 m (treba 214.388 m) Izvedeno za 21‰ niže	
04-N4	
ε = 6°49'02"0	
d = 52.374 m	
R ₃ = 206.617 m	
Δh = 1.480 m	
Δh' = 6.261 m	
N4 = 214.358 m (treba 214.388 m) Izvedeno za 30‰ niže	
06-N6	
ε = 7°38'49"0	
d = 39.905 m	
R ₅ = 207.391 m	
Δh = 1.612 m	
Δh' = 5.350 m	
N6 = 214.361 m (treba 214.388 m) Izvedeno za 17‰ niže	
08-N8	
ε = 0°21'53"5	
d = 35.907 m	
R ₇ = 208.618 m	
Δh = 0.458 m	
Δh' = 5.280 m	
N8 = 214.366 m (treba 214.388 m) Izvedeno za 22‰ niže	

MJERENJE UGLOVA	
γ ₁ = 39°59'04.2	
γ ₂ = 40°00'31.7	
γ ₃ = 48°01'03.9	
γ ₄ = 47°58'23.9	
γ ₅ = 48°00'31.9	
γ ₆ = 48°00'05.7	
γ ₇ = 40°00'21.7	
γ ₈ = 47°59'59.9	
[γ] = 360°00'01.9	
treba 360°00'00.0	
Δ = -0°00'01.9	
β ₁ = 131°06'44.3	
β ₂ = 154°57'13.5	
β ₃ = 118°46'32.0	
β ₄ = 137°20'15.3	
β ₅ = 141°46'52.1	
β ₆ = 118°02'16.5	
β ₇ = 143°41'31.2	
Δβ = 134°16'33.2	
[β] = 1079°59'58.1	
treba 1080°00'00.0	
Δ = +0°00'01.9	
γ ₁	γ ₂
68°32'52"0	59°40'40"5
71°28'03.8	80°18'47.8
140°00'55"8	139°59'28"3
39°59'04.2	40°00'31.7
γ ₃	γ ₄
74°38'25"7	61°26'02"6
57°20'30.4	70°35'34.5
131°58'56"1	132°01'36"1
48°01'03.9	47°58'23.9
γ ₅	γ ₆
66°44'40"8	55°27'49"5
65°14'47.3	76°32'04.8
131°59'28"1	131°59'54.3
48°00'31.9	48°00'05.7
γ ₇	γ ₈
77°25'11"3	65°43'41"2
62°34'27.0	66°16'19.4
139°59'38"3	132°00'01"1
40°00'21.7	47°59'59.9

no. Pri ovom računanju za horizontalne koordinate odabran je lokalni koordinatni sistem sa njegovim početkom u centru objekta, čije su koordinate uzete: $y = 100,000$ m; $x = 100,000$ m da ne bi bilo negativnih koordinata. Smjer x-osi je uzet pravac koji ide preko centra »O« prema tački broj 6 geodetske osnove — približno prema Sjeveru.

Svi su podaci mjerenja i računanja propisno registrovani u odgovarajućem elaboratu, pa je konačno sačinjen pregled koordinata i kota tačaka i repera geodetske osnove prikazanih na sl. 3.

Na osnovi koordinata i kota geodetske osnove i numeričkih podataka iz projekta rashladnog tornja predviđeno je računanje geometrijskih elemenata pomoću kojih će se vršiti neposredno označavanje bar osam presjeka štapova (čvorova) na pojedinim vijencima i to:

a) u horizontalnom smislu: iz koordinata osnovne mreže (tačke 1 do 8) sračunatih, kako je već rečeno u odnosu na centar objekta »O« te koordinata pojedinih čvorova (vanjski presjeci štapova) na objektu treba sračunati odstojanja i njihove direkcione uglove.

Dakle, pošto su već sračunate koordinate tačaka geodetske osnove, treba predhodno sračunati i koordinate čvorova, koji će se označavati na licu mjesta u prostoru. Ove se koordinate računaju iz uglova i odstojanja (radiusa) uzetih iz projekta. Računanje se mora vršiti u istom koordinatnom sistemu, u kome su računate i tačke geodetske osnove (origo koordinatnog sistema — centar objekta »O« sa koordinatama $y = 100,000$; $x = 100,000$, i pravac orijentacije — spojnica centra »O« i tačke broj 6). Pri tome treba voditi računa da se radiusi uzimaju do vanjskog, vidljivog, presjeka štapova, te da se računanje koordinata vrši sa tačnošću do na milimetar, a direkcionih uglova do na sekundu, zbog čega se moraju koristiti tablice najmanje sa 6 decimala i svakako upriličiti poznate geometrijske kontrole.

Prilikom računanja dužina spojnica tačaka geodetske osnove i čvorova, te njihovih direkcionih uglova treba voditi računa, da se svaki čvor određuje sa tri najbliže tačke i pod povoljnim presjecima. Naime, za određivanje jednog čvora neophodna su dva pravca, ali za kontrolu i dobivanje najvjerovatnijeg položaja čvora, potrebno je vizirati i sa treće tačke geodetske osnove, čime se pruža i mogućnost izravnjanja grešaka uzimanjem težišta trougla, koji nastaje presjekom tri pravca, za definitivno mjesto čvora.

Direkcioni se uglovi računaju po formuli: $\text{tg } n = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, gdje Δy i Δx predstavljaju koordinatne razlike između čvora i tačaka geodetske osnove. Neposredno iza toga se računaju i odstojanja: $d = \frac{\Delta y}{\sin n} = \frac{\Delta x}{\cos n}$ pa se usvoji, ona veličina za svako odstojanje, koja je dobivena iz veće koordinatne razlike.

Zatim se izračunaju razlike između ovih direkcionih uglova i direkcionih uglova odgovarajućih strana geodetske osnove (sl. 3). Na taj se način dobiju po dva odnosno po tri horizontalna ugla, pod kojima će se vršiti viziranje, tj. tri tačke geodetske osnove sa pojedinom tačkom čvora čine dva trougla. Pošto su direkcioni uglovi njihovih strana već

poznati, to se nađu razlike i dobiju horizontalni uglovi za davanje smjera na svaki čvor, i to po dva »sa strane« i treći iz sredine. Tačnost računanja i prenošenja ovih uglova treba da bude sekundnog reda.

b) U visinskom pogledu. Iz apsolutnih visina repera ugrađenih u betonske biljege tačaka geodetske osnove i repera na objektu (I—VIII) viziranjem teodolitom pri horizontalnoj vizuri odredi se horizont instrumenta. Viziranje se vrši na lenjir sa milimetarskom podjelom i to obavezno na susjedne repere. Aritmetička sredina čitanja na reperima geodetske osnove sa njihovim apsolutnim visinama daje visinu horizonta, a vizura na reper objekta je kontrola ne samo sračunate visine horizonta nego i eventualne visinske deformacije objekta u toku gradnje.

Pri određivanju horizonta instrumenta i prenošenju vertikalnog ugla treba strogo voditi računa o njegovoj rektifikaciji. Tu rektifikaciju odnosno njenu kontrolu treba vršiti prilikom svakog postavljanja instrumenta, što se postiže pomoću tzv. indeksne libele. Samo ispitivanje i rektifikacija se vrši na jedan od poznatih načina. Najpraktičnije je u konkretnom slučaju dovesti vertikalni limb odnosno njegove indekse u »horizont« (Wild T2— 90° — 270°), indeksnu libelu do vrhunjenja i čitati na metalnom lenjiru u prvi i drugi položaj durbina (krug lijevo, krug desno). Lenjir je sa milimetarskom podjelom postavljen na jednom od susjednih repera. Zatim treba uzeti sredinu čitanja na lenjiru i navesti vizuru na to srednje čitanje. Onda se navede indeks na 90° odnosno na 270° i indeksna libela korigira njenim zavrtanjima. Ispitivanje treba ponoviti i postići tačnost od $2''$ — $3''$, što daje grešku u visini horizonta na 50 m odstojanja od 0,50—0,75 m/m. Dalje je dovoljan pogled na indeksnu libelu i konstatacija njenog vrhunskog položaja mjehura pri svakom mjerenju odnosno prenošenju vertikalnog ugla.

Zatim je nužno ispitati i eventualno korigirati tzv. »optički visak«. To se čini na taj način da se prethodno korigira libela na alhidadi i dovede obrtna os u vertikalni položaj, također i centrična libela na donjem dijelu instrumenta, ako postoji. Zatim se kod Wild T2/1956 instrumenta izvrne i otpusti odgovarajući vijak za tronožac. Onda se vizira kroz mali durbin optičkog viska i obilježi na bijelom papiru postavljenom ispod instrumenta, tačkica. Potom se instrument, vadeći ga iz tronošca i vraćajući da ponovo u tronožac, zaokrene još dva puta po 120° i obilježi svaki put tačkica. Za slučaj nekorigovanog stanja, dobiju se tri tačke. One se spoje i nađe težište trougla, pa obilježi, zatim korekcionim zavrtanjima u blizini okulara malog durbina optičkog viska — dovede presjek konaca »viska« odnosno markica, na obilježenu tačku. Treba otpustiti horizontalne vijke pa trećim prvo voditi markicu naprijed — nazad, a onda horizontalno lijevo — desno. Na kraju se svi vijci pričvrste, kako oni na malom durbinu optičkog viska, tako i onaj koji se nalazi na donjoj površini instrumenta — tronošca. Ako optički visak na instrumentu stoji visočije, vezan za obrtnu os (Zeiss 010), onda se ispitivanje vrši na način izložen u Geodetskom priručniku I. Jasno je, da pored prednjega, moraju biti prethodno vrlo pažljivo ispitani i popravljani svi uslovi za mjerenje uglova. Eventualni ostatak grešaka računski treba uzeti u obzir, jer se prenos geometrijskih elemenata principijelno vrši u jednom položaju durbina.

Vertikalni ugao se dobije iz odnosa visinske razlike i dužine ranije sračunate pomoću koordinata geodetske osnove i tačaka čvorova. Visinske razlike predstavljaju razlike u visini čvorova uzete iz projekta rashladnog tornja i odgovarajućih visina horizonata instrumenta. Ovaj se ugao dobije po formuli: $\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\Delta h}{d}$, a iz toga odgovarajući ε , pod kojim

se sa dvije tačke osnove dotjeruju vanjski presjeci štapova (čvorova), a za kontrolu se mora odgovarajući presjek vidjeti pod odgovarajućim uglom i sa treće tačke. Treća, pa i druga vizura omogućavaju zauzimanje najvjerojatnijeg položaja čvora, koji se potom definitivno učvrsti.

Terensku operaciju prenosa horizontalnih i vertikalnih uglova treba da vrše sinhronizovano dva stručna lica sa dva sekundna teodolita, što ne isključuje mogućnost istovremene upotrebe i trećeg instrumenta sa »srednjih« tačaka.

No prije svih mjerenja i računanja kao i prije prenosa geometrijskih elemenata izvršena je analiza tačnosti prema uslovu, koji su pismeno postavili projektanti i izvođač podpisanom autoru slijedećim riječima: »Ujedno Vas obavještavamo, da se u pogledu davanja podataka direktnim izvođačima na gradilištu zadovoljavamo u granicama tačnosti $\pm 5 \text{ m/m}$ «.

Pošto je postavljeni zahtjev tačnosti u dužinskoj mjeri,, a mjerenja i prenos geometrijskih elemenata vršice se uglovima, to je ispitivanje tačnosti izvršeno odvojeno za horizontalne, odvojeno za vertikalne uglove u zavisnosti od dužinskih elemenata, kako je to prikazano na slici broj 4. Vidljivo je da su srednje greške pojedinih pravaca dobivene u veličini od $\pm 16''$ i to u najnepovoljnijem datom slučaju. Međutim greške u mjerenju uglova imaju svoje uzroke u greškama čitanja, centrisanja, viziranja, zatim u spoljnim prilikama, u instrumentalnim greškama i greškama datih veličina. Prema tome na svaku od ovih grešaka, pa i na čitanje, pod pretpostavkom jednog uticaja, otpada po $\pm 6'',5$, što će reći da je za ova mjerenja potrebno obezbijediti sekundni teodolit. Što se pak tiče same ocjene tačnosti horizontalnih mjerenja, budući da se čvorovi određuju presjekom pravaca, potrebno je bilo ispitati i tačnost presjeka pod uglom od 50° kao najnepovoljnijim presjekom u datom slučaju i pod uslovom da se mjerenja vrše sekundnim instrumentom, što je pokazano također na slici 4. Treći pak kontrolni pravac poboljšava tačnost uzimanjem težišta eventualno nastalog trougla za najvjerojatnije mjesto indiciranog čvora.

Što se tiče visinskih mjerenja, također je vidljiv rezultat tačnosti iz navedene slike osim što za ovaj slučaj jedna vizura određuje jednu visinu, a svaka daljnja poboljšava tačnost ukoliko se uzima srednji položaj čvora kao njegovo najvjerojatnije mjesto i u visinskom pogledu.

Da bi se mogla sva računanja za terenske operacije kao i sama prenošenja uglova vršiti organizovano i sistematski, potrebno je sačiniti pregled, koji treba da sadrži osnovne podatke geometrijskih elemenata i to: brojeve tačaka osnovne mreže i brojeve odabranih čvorova (vanjskih presjeka štapova); odstojanja (d); direkcione uglove strana osnovne mreže (ni); direkcione uglove računatih dužina (n); razlike tih uglova,

koji daju uglove prenosa (φ i ψ); apsolutne visine tačaka kako osnovnih repera tako i tačaka osnovne mreže, visine horizonata instrumenta (h_i) koji se na terenu određuju na već izloženi način, razlike visina čvorova na objektu i visina horizonata instrumenta (Δh), kvocijent te razlike i odstojanja »d« kao tangens nagibnog ugla durbina sa osnovnih tačaka mreže ($\frac{\Delta h}{d}$) i konačno veličine uglova » ϵ « pod kojima će se vizirati u vertikalnim ravninama odnosno pod kojima će se nagnuti durbini pri fiksiranju čvorova.

Navedenom metodom, za koju su dati i potrebni podaci geodetske osnove u konkretnom slučaju rashladnog tornja Termoelektrane »Lukavac«, može se projekat realizovati i odabrane čvorove odnosno svih 45 čvorova na pojedinim horizontima označiti neovisno tako, da se izbjegne i nagomilavanje slučajnih i sistematskih grešaka mjerenja pa i izvođenja. Pored toga moguća je još u toku gradnje, a i poslije toga kontrola i utvrđivanje eventualnih deformacija objekta pomoću istih tačaka geodetske osnove. Ova bi se mreža mogla naknadno i dopuniti za slučaj potrebe u svrhu ispitivanja deformacija objekta za još četiri tačke obilježene stubovima, koji će precizno fiksirati položaj i visinu instrumenta.

Prema prednjem rješenju sadržanom i u tehničkom izvještaju autora od 25 avgusta 1962 godine, a na osnovi rezultata mjerenja i računanja geodetske osnove, te numeričkih podataka iz projekta rashladnog tornja, pristupljeno je mjeseca septembra prenošenju geometrijskih elemenata pojedinih čvorova i fiksiranju montažnih elemenata objekta.

Nakon izgradnj trećeg prstena geometar Građevinskog preduzeća »Tehnika« iz Tuzle Maglić Fuad podnio je izvještaj 28 decembra iste godine, u kome je između ostalog naglasio, da je on sa svojim pomoćnikom vršio označavanje čvorova, kao i to da je ova metoda praktična i efikasna te da je potpuno uspjela. Tom je prilikom načinjena analiza do tada obavljenih geodetskih radova i njihove tačnosti, nakon čega je nastavljeno s obilježavanjem i montažom elemenata objekta po istom postupku dosljedno uputstvu sadržanom u navedenom tehničkom izvještaju i analizi, tako da je izgradnja napredovala do šestog prstena u roku do 14 marta o. g., kada se je mogao sagledati i konačan opšti uspjeh pomenutog preduzeća na polju montažne izgradnje ovakovih objekata.

U momentu završavanja ovog izlaganja na dan 18 aprila o. g. radovi su na rashladnom tornju napredovali do desetog prstena odnosno 39 metara visine, što će reći da je ostalo još svega 8 etaža sa oko 23,5 metara visine. Ova činjenica, pored naprijed izloženog, neosporno ukazuje ne samo na uspješno rješenje konkretnog zadatka, nego i na efikasne mogućnosti primjene geodetske nauke i njenih metoda u rješavanju i najosjetljivijih tehničkih problema naše izgradnje.

Na kraju naglašavam, da su saradnici na mjerenju i računanju podataka geodetske osnove bili: Aganović Ing Ismet, Filipović Ing Faruk, Lukić Ing Vladimir i Zirojević Prof Savo svi iz Sraajeva, dok je stabilizaciju mreže pored prenosa geometrijskih elemenata vršio geometar Maglić Fuad iz Tuzle sa svojim pomoćnikom, pa im svima ovom prilikom izražavam i svoju zahvalnost.