

**XXIV**XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna  
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009**awarie budowlane**

Dr hab. inż. BERNARD WICHTOWSKI, prof. PS

Politechnika Szczecińska

Mgr inż. BOGUSŁAWA FIŁONIUK

Politechnika Szczecińska

## SKRĘCENIE TRZONU WIEŻ ANTENOWYCH W ŚWIETLE POMIARÓW GEODEZYJNYCH

### TORSIONAL DEFLEXION OF THE AERIAL TOWERS IN THE LIGHT OF THEIR SURVEY

**Streszczenie** Wymagania dotyczące terminów i zakresu badań diagnostycznych wież telekomunikacyjnych podaje „Instrukcja ER-01. Eksploatacja wież i masztów”. W referacie na przykładzie 10 wież antenowych, które były przedmiotem rektyfikacji, przedstawiono wyniki pomiarów geometrii ich konstrukcji. Dokładnej analizie poddano ustalenie skręcenia trzonów trójściennych wież. Uzyskane wyniki zinterpretowano zgodnie z zaleceniami obowiązujących przepisów i norm. Podane wnioski mogą być przydatne przy projektowaniu tych konstrukcji i przy badaniach diagnostycznych.

**Abstract** Requirements concerning the scope and time-limits of the telecommunication towers inspection are given in the “Instruction ER-01. Operational use of towers and masts. Results of geometry measurements of ten aerial towers at the stage and after their adjustment have been presented in this paper. The detailed analysis of determination of the triangular towers shafts torsional deflexion was carried out. The results were interpreted in accordance with up-to date obligatory codes and standards. Conclusions described in the paper can be useful in the process of designing and/or inspecting such structures.

### 1. Wprowadzenie

Odchyłki wymiarów rzeczywistych od wymiarów nominalnych powstają na wszystkich etapach wytwarzania konstrukcji oraz na placu budowy w czasie montażu i eksploatacji. Dopuszczalny zakres zmienności poszczególnych wymiarów, określonych mianem tolerancji, jest podany w odpowiednich aktach normatywnych. W odniesieniu do stalowych konstrukcji wież i masztów wymagania w tym zakresie regulują normy PN-B-06200-2002 [1] i PN-B-03204:2002 [2] oraz „Instrukcja ER-01” [3]. Wymagania w zakresie ustawienia trzonu wieży dotyczą:

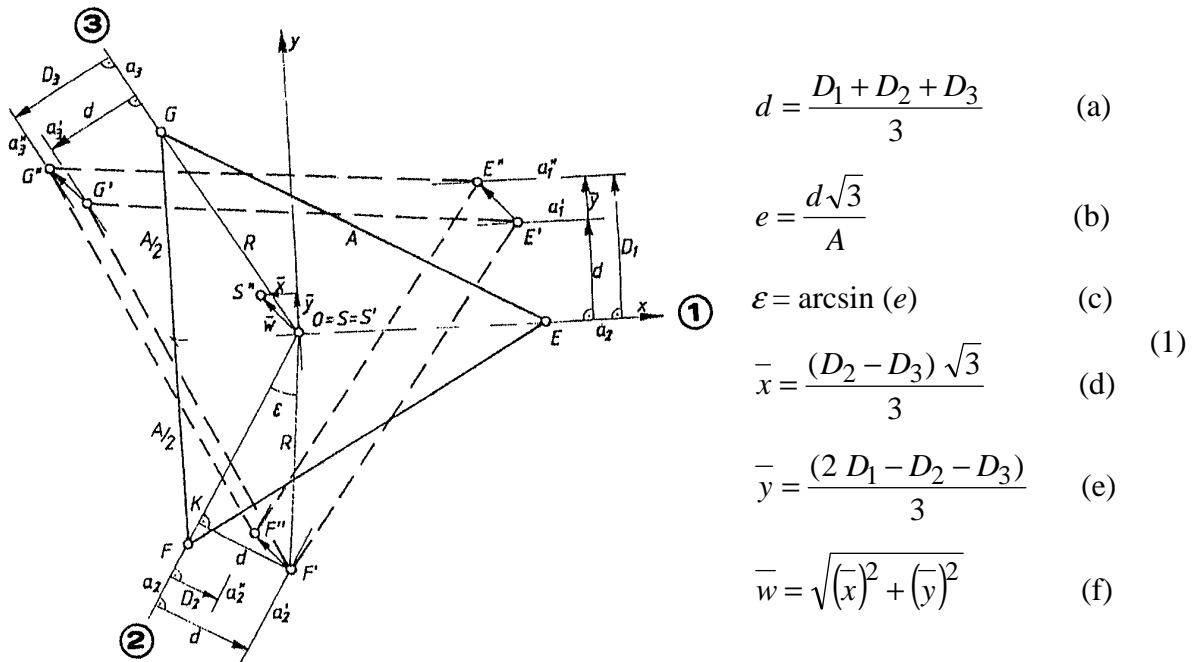
- odchylenia osi trzonu od pionu,
- skręcenia trzonu.

Powyższe czynniki mają istotne znaczenie w wieżach antenowych z uwagi na zachowanie niezakłóconej łączności telekomunikacyjnej. Ugięcie wierzchołka tych wież nie może przekraczać 0,001 jej wysokości nad poziomem zamocowania, a skręcenie przekroju trzonu nie powinno przekraczać wartości  $\varepsilon = 0,5^\circ$  – na odcinku 3 m i  $\varepsilon = 5^\circ$  na całej wysokości [2]. Dotychczasowa norma [4] i przepisy [3, 5] za dopuszczalne skręcenie przekroju trzonu wieży w stosunku do położenia w miejscu odległym o  $L$  zalecały przyjmować wartość kąta obliczonego przy średnim przemieszczeniu, na danym poziomie, prętów krawężnikowych  $d = L/2000$ .

W referacie na przykładzie 10 wież telekomunikacyjnych, które były przedmiotem inspekcji okresowych, przedstawiono wyniki pomiarów ich geometrii, które wymagały przeprowadzenia rektyfikacji trzonów. Szczegółowej analizie poddano skrócenie przekroju ich trzonów, które jak już zaznaczono ma istotne znaczenie w wieżach antenowych. Niekiedy w założeniach technologicznych podaje się graniczną wartość kąta obrotu przekroju poziomego w zależności od typu anten. Zwykle wynosi on  $0,5^\circ$ , ale niektóre typy anten wymagają kąta obrotu nie większego niż  $0,2^\circ$  [6]. Podane uwagi i wnioski mogą być przydatne przy interpretacji wyników z prowadzonych badań podobnych konstrukcji.

## 2. Kąt skrócenia trzonów wież

Nie zawsze w literaturze jednoznacznie jest interpretowane skrócenie trzonu wieży – patrz [3, 4, 5]. Niekiedy wartość  $d$  (rys. 1 i 2) przyjmowana jest jako kąt skrócenia  $\varepsilon$ , o wartości określonej ze wzorów (1, 2) podanych w [3], które współautorka referatu wyprowadziła we wcześniejszych pracach [7, 8]. Wzory (1c i 2c) dla skróconego i przemieszczonego trzonu wieży trójściennej i czterościennej wyznaczamy według rys. 1 i 2.



Rys. 1. Skrócenie trzonu wieży trójściennej

Dla wieży trójściennej przemieszczenie  $d$  wynosi:  $d = D_1 - \bar{y}$ , a po podstawieniu wyrażenia (1e) i uporządkowaniu otrzymujemy:

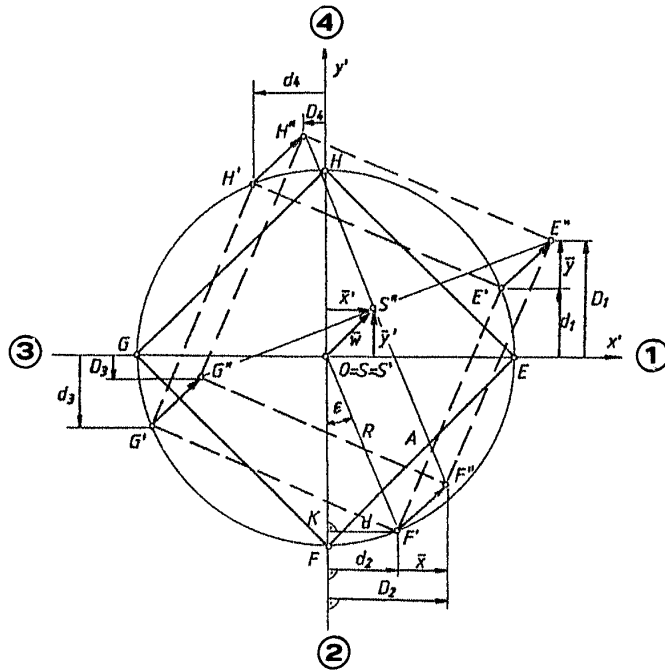
$$d = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}$$

Po obrocie trójkąta EFG o kąt  $\varepsilon$ , uzyskujemy trójkąt prostokątny OKF' o kącie wierzchołkowym  $\varepsilon$  i przeciwprostokątnej  $R = A/\sqrt{3}$  (promień okręgu opisanego na trójkącie EFG) oraz przyprostokątnej  $d$ . Z trójkąta OKF' obliczamy:

$$e = \sin \varepsilon = \frac{d}{R} = \frac{d\sqrt{3}}{A} \quad (1b)$$

i ostatecznie kąt skręcenia

$$\varepsilon = \arcsin (e) \quad (1c)$$



$$d = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4}{4} \quad (a)$$

$$e = \frac{d\sqrt{2}}{A} \quad (b)$$

$$\varepsilon = \arcsin (e) \quad (c)$$

$$\bar{x} = \frac{D_2 - D_4}{2} \quad (d)$$

$$\bar{y} = \frac{D_1 - D_3}{2} \quad (e)$$

$$\bar{w} = \sqrt{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \quad (f)$$

Rys. 2. Skręcenie trzonu wieży czterościennej

Wzór na kąt skręcenia trzonu wieży o przekroju kwadratowym wyznaczamy w sposób analogiczny, jak dla wieży trójściennej. Zgodnie z rysunkiem 2, przeciwprostokątna trójkąta prostokątnego OKF' (promień okręgu opisanego na kwadracie EFGH)  $R = A / \sqrt{2}$ .

Stąd:

$$\varepsilon = \sin \varepsilon = \frac{d}{R} = \frac{d\sqrt{2}}{A} \quad (2b)$$

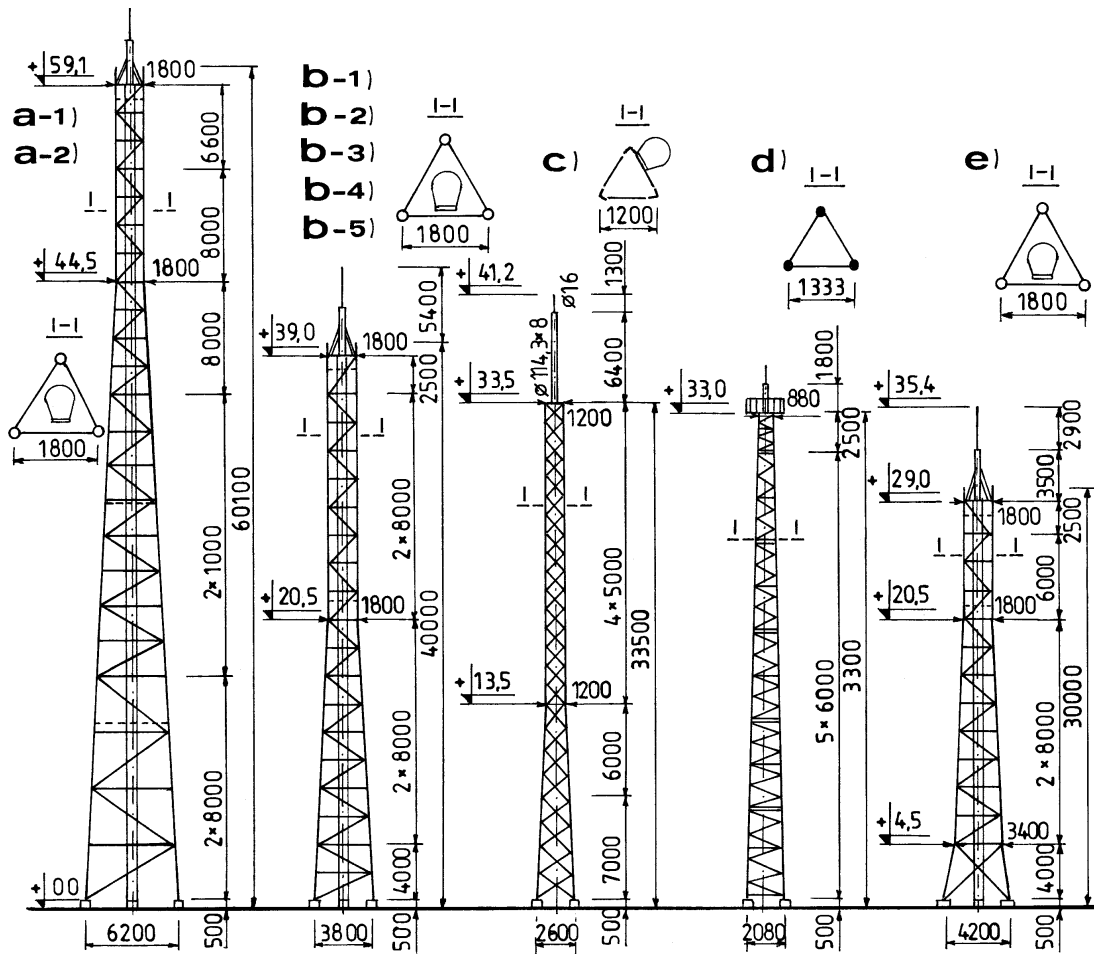
i ostatecznie

$$\varepsilon = \arcsin (e) \quad (2c)$$

### 3. Charakterystyka badanych wież i wyniki pomiarów geodezyjnych

W trakcie inspekcji okresowych przeprowadzono pomiary odkształceń konstrukcji dziesięciu wież przedstawionych na rys. 3, których dane techniczne zamieszczono w tabl. 1.

Pomiary geodezyjne miały na celu określić: odchyłki trzonu wieży od pionu i skręcanie konstrukcji trzonu. Pomiaru powyższych parametrów dokonano w punktach charakterystycznych danej wieży, którymi dla omawianych konstrukcji były styki poszczególnych segmentów montażowych oraz wierzchołek wieży. Mierzono wartości przemieszczeń poszczególnych krawężników wież trójściennych z 3 stanowisk ustawianych w punktach 1, 2, 3 (rys. 1).



Rys. 3. Konstrukcja badanych wież trójściennych

Tablica 1. Dane techniczne konstrukcji wież

Wieża (rys. 3)	Wysokość m	Bok trójkąta A mm	Elementy konstrukcyjne, mm		
			Krawężniki	Wykratowanie (rozstaw węzłów)	Słupki
a-1 a-2	59,10	6200÷1800	$\phi 139,7/16$ ÷ $\phi 88,9/5$	$\phi 114,3/5$ ÷ $\phi 88,9/5$ +L80×80×6 (2000÷2200)	L120×12 ÷L60×6
b-1 b-2 b-3 b-4 b-5	39,00	3800÷1800	$\phi 114,3/8$ ÷ $\phi 88,9/5$	L 100×8÷L 80×6 (2000÷2500)	L80×6 ÷L60×6
c	33,50	2600÷1200	L 120×12 ÷L 80×8	L 60×5÷L 50×4 (1750÷1250)	–
d	33,00	2080÷880	$\phi 65$ ÷ $\phi 40$	$\phi 35$ ÷ $\phi 16$ (795÷495)	$\phi 45$ ÷ $\phi 16$
e	29,00	4200÷1800	$\phi 114,3/10$ ÷ $\phi 88,9/5$	L 90×6÷L 80×6 (2250÷2000)	L90×6 ÷L60×6

Wykorzystując wartości pomierzonych przemieszczeń poszczególnych krawężników  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  na poziomach pomiarowych, obliczono kąty skęcenia trzonu wieży  $\varepsilon$  wg (1c) oraz wychYLE-  
nia wypadkowe osi wieży wg (1f). W referacie przedstawiono jedynie analizę odchylenia osi  
trzonu od pionu oraz jego skęcenie na trzech poziomach (tabl. 2), usytuowanych raczej w rów-  
nych odstępach po wysokości. Pomierzone wychYLEnia na poszczególnych poziomach wieży  
i obliczone wychYLEnia wypadkowe  $\bar{w}$  oraz kąty skęcenia  $\varepsilon$  zamieszczono w tabl. 2.

W kolumnie 8 tabelicy 2 określono także dopuszczalne wartości średniego przemieszczenia,  $d_d = h/2000$ , krawężników na danym poziomie pomiarowym, które pozwala obliczyć dopuszczalny kąt skręcenia trzonu wieży, podany w kol. 10, zgodnie z zaleceniami poz. [3, 4, 5]. Jednocześnie w kolumnie 10 podano dopuszczalny kąt skręcenia trzonu wieży o wartości  $5^\circ$  zalecanej przez normę PN-B-03204:2002 [2].

Tabela 2. Wychylenia krawężników i trzonu oraz kąty skręcenia wieży przed rektyfikacją

Wieża (rys. 3)	Poz. pom.	Wychylenia [mm] i skręcenia [°]							
		pomierzone <sup>1)</sup>			obliczone <sup>2), 3)</sup>				
		D1	D2	D3	$\bar{w}$	$d$	$d_d$ [3, 4]	$\varepsilon$	$\varepsilon_d$ [4, 2]
a-1	59,1	43	-118	-80	98	-52	30	2,87	1,65
	36,5	7	-57	-29	37	-26	18	0,99	0,69 (5,0)
	16,5	-5	-31	5	22	-10	8	0,22	0,17
a-2	59,1	-135	88	-12	129	-20	30	1,10	1,65
	36,5	-157	-40	-76	69	-91	18	3,48	0,69 (5,0)
	16,5	-160	-74	-158	57	-131	8	2,83	0,17
b-1	39,0	66	62	92	18	73	20	4,03	1,10
	28,5	32	55	74	25	54	14	2,98	0,77 (5,0)
	12,5	8	15	30	13	18	6	0,69	0,23
b-2	39,0	-75	79	-30	91	-9	20	0,50	1,10
	28,5	-70	51	-21	71	-13	14	0,72	0,77 (5,0)
	12,5	-42	5	18	37	-6	6	0,23	0,23
b-3	39,0	-84	55	-5	75	-11	20	0,61	1,10
	28,5	-70	62	-17	84	-8	14	0,44	0,77 (5,0)
	12,5	-10	3	-5	9	-4	6	0,15	0,23
b-4	39,0	-122	-70	89	127	-34	20	1,87	1,10
	28,5	-100	-50	96	117	-18	14	0,99	0,77 (5,0)
	12,5	-38	-2	54	54	5	6	0,19	0,23
b-5	39,0	90	-18	92	73	55	20	3,03	1,10
	28,5	82	-15	74	62	47	14	2,59	0,77 (5,0)
	12,5	5	0	2	3	2	6	0,08	0,23
c	33,5	24	-31	-106	52	-38	17	3,14	1,41
	23,4	34	2	-40	26	-1	12	0,08	0,99 (5,0)
	13,4	22	-10	-15	7	-1	7	0,08	0,58
d	32,5	290	-221	-71	303	-1	16	0,11	1,80
	24,0	230	-186	-53	245	-3	12	0,25	0,99 (5,0)
	12,0	135	-121	-19	149	-2	6	0,12	0,36
e	29,0	67	36	55	18	53	15	2,92	0,83
	20,5	33	29	23	6	28	10	1,54	0,55 (5,0)
	12,5	19	25	2	14	15	6	0,57	0,23

1) – wartości dodatnie to wychylenie w prawo, a ujemne to wychylenie w lewo  
 2) – wartość średniego wychylenia dopuszczalnego  $d_d = h/2000$   
 3) – wartość w nawiasie  $5^\circ$  to tolerancja skręcenia przekroju trzonu na całej wysokości wg PN-B-03204:2002 [2]

Z porównania obliczonych wartości  $d$  z wartościami dopuszczalnymi  $d_d$  (kol. 7 i 8) wynika, że w górnych antenowych odcinkach siedmiu wież przekroczona jest wartość graniczna odchylek montażu podanych w normie BN-69/2940-01 [4] i „Instrukcji ER-01” [3]. W sześciu

wieżach przekroczone jest wartość  $d_d$  w przekrojach wierzchołkowych. Przekroczenie to waha się od 1,7 (wieża „b4”) do 3,66 razy (wieża „b1”) [9]. Bazując na wartości  $d$ , w kol. 9 podano obliczoną wartość kąta skręcenia wieży  $\varepsilon$  wg wzoru (1c). Wartość tego kąta dla przekrojów wierzchołkowych waha się od  $0,11^\circ$  (wieża „d”) do  $4,03^\circ$  (wieża „b1”) i przekracza wartości oszacowane od  $d_d$  w sześciu wieżach, w tych gdzie  $d > d_d$ .

Łatwo zauważyć, że obliczone w kol. 9 wartości kąta skręcenia wieży każdorazowo są mniejsze od wartości granicznej odchyłki montażu wg PN-B-03204:2002 [2] –  $\varepsilon = 5^\circ$ . Biorąc pod uwagę wartości obliczonego wychylenia wież  $\bar{w}$  (kol. 6) oraz kąta skręcenia  $\varepsilon$  (kol. 9) użytkownik zlecił ich rektyfikację celem przywrócenia geometrii do wymogów normowych.

#### 4. Rektyfikacja trzonów wież

Usunięcia odchylenia trzonów wież dokonano przez podniesienie odpowiednich podpór (przy poluzowanych nakrętkach na śrubach fundamentowych) i podłożeniu stosownych podkładek.

Zestawienie pomierzonych odchyłek osi poszczególnych krawężników wież, na trzech poziomach, od pionowości i obliczone wypadkowe odchylenia osi trzonu oraz średnią pomierzoną wartość przesunięcia krawężników i obliczony kąt skręcenia trzonu na danym poziomie podano w tabl. 3. Dodatkowo podobnie jak w tabl. 2, dla celów porównawczych podano w kol. 8 dopuszczalne wartości granicznego montażowego przemieszczenia poziomego krawężników według zaleceń norm i instrukcji [3, 4, 5], a w kol. 10 obliczone wg tych wartości kąty skręcenia trzonu wież. W kolumnie 10 podano także dopuszczalną wartość kąta skręcenia trzonu wieży ( $\varepsilon = 5^\circ$ ) zalecanej przez normę [2].

Przeprowadzona rektyfikacja praktycznie doprowadziła pionowość wież do wymogów normowych. Każdorazowo odchylenie osi górnego odcinka wieży jest mniejsze od dopuszczalnych wartości montażowych. Odchylenia wierzchołków wież wahają się od 1 do 36 mm (kol. 6). Wielkości te stanowią odpowiednio 3 i 92% wartości montażowych odchyłek dopuszczalnych [2, 3]. W wieżach „a1” i „b4” pomierzone odchylenie na wysokości ok.  $2/3 h$  (0,62 i 0,73  $h$ ) przekracza wartość dopuszczalną  $0,001 h$  o 4,1 i 15,8%, a w pięciu wieżach na poziomie w  $1/3$  ich wysokości, odchylenia poziome przekraczają wartość dopuszczalną odpowiednio: 27,3; 76,0; 68,0; 20,0 i 12%. Są to wieże: „a2”, „b1”, „b2”, „b4” i „e”.

Podczas rektyfikacji wież priorytetowym zadaniem było doprowadzenie do pionowości ich górnych antenowych odcinków. W skrajnym przypadku (wieża „a2”) zmniejszono wychylenie wypadkowe wierzchołka z wartości 129 do 26 mm. Zmiana wychyleń wieży na poszczególnych wysokościach pomiarowych zmieniła jednocześnie wartość wychylenia średniego krawężników  $d$ , a zatem i kąt skręcenia trzonu wieży.

Wartość obliczonego wychylenia  $d$  waha się od 1 do 156 mm, a w przekrojach wierzchołkowych od 1 do 34 mm. W 16 przekrojach pomiarowych wartość wychylenia  $d$  jest mniejsza od wartości dopuszczalnej  $d_d$ , równej  $L/2000$  wg [3, 4, 5], a w pozostałych 14 przekrojach przekracza wartość graniczną. Wartość przekroczonego wychylenia waha się od  $L/106$  do  $L/1781$ . W siedmiu przypadkach była to wartość  $>$  od  $L/1000$  ( $L/106 \div L/985$ ), a w siedmiu  $<$   $L/1000$  ( $L/1031 \div L/1781$ ). W trzech wieżach: „b4”, „b5” i „c” przekroczenie wychylenia  $d$ , związanego a kątem  $\varepsilon$ , występuje w przekrojach wierzchołkowych i mają one wartości -33, 31 i 34 mm. Wartość dopuszczalna  $d_d$  jest przekroczone: 1,65; 1,55 i 2,0 razy.

Uwzględniając wartość  $d$  z kol. 7 obliczono kąty skręcenia przekrojów trzonu wież  $\varepsilon$  wg wzoru (1c). Wartość tego kąta dla 30 analizowanych przekrojów pomiarowych waha się od  $0,04^\circ$  (wieża „b3”) do  $3,69^\circ$  (wieża „a2”), a dla przekrojów wierzchołkowych od  $0,11^\circ$  (wieża „d”) do  $2,81^\circ$  (wieża „c”). W 14 przekrojach pomiarowych, w których przekroczone jest wartość wychylenia granicznego  $d_d$ , kąt skręcenia trzonu waha się od  $0,31^\circ$  do  $3,69^\circ$ , a wychy-

lenie osi wieży w tych skrajnych przekrojach wynosi 10 i 30 mm. Obliczone w kolumnie 9 wartości kąta skręcenia wieży każdorazowo są mniejsze od wartości  $\varepsilon = 5^\circ$ , która jest wartością graniczną odchyłki montażu wg normy [2].

Tablica 3. Wychylenia krawężników i trzonu oraz kąty skręcenia wieży po rektyfikacji

Wieża (rys. 3)	Poz. pom.	Wychylenia [mm] i skręcenia [°]							
		pomierzone <sup>1)</sup>			obliczone <sup>2), 3)</sup>				
		D1	D2	D3	$\bar{w}$	d	$d_d$ [3, 4]	$\varepsilon$	$\varepsilon_d$ [4, 2]
a-1	59,1	-26	-32	8	25	-13	30	0,72	1,65
	36,5	-39	26	-17	38	-10	18	0,38	0,69 (5,0)
	16,5	-23	-3	-23	14	-16	8	0,35	0,17
a-2	59,1	-27	-20	14	26	-11	30	0,61	1,65
	36,5	-85	-78	-127	30	-97	18	3,69	0,69 (5,0)
	16,5	-175	-139	-153	21	-156	8	3,36	0,17
b-1	39,0	9	20	6	9	12	20	0,64	1,10
	28,5	8	23	-18	24	4	14	0,22	0,77 (5,0)
	12,5	-12	17	-20	22	-5	6	0,19	0,23
b-2	39,0	-40	20	5	36	-5	20	0,28	1,10
	28,5	-3	-11	-14	6	-9	14	0,51	0,77 (5,0)
	12,5	0	-34	-7	21	-14	6	0,53	0,23
b-3	39,0	1	35	13	20	16	20	0,88	1,10
	28,5	-3	31	20	20	16	14	0,88	0,77 (5,0)
	12,5	-5	10	-1	9	1	6	0,04	0,23
b-4	39,0	44	12	42	20	33	20	1,82	1,10
	28,5	57	7	58	33	41	14	2,26	0,77 (5,0)
	12,5	15	-1	25	15	13	6	0,50	0,23
b-5	39,0	44	11	38	21	31	20	1,71	1,10
	28,5	38	10	34	18	27	14	1,49	0,77 (5,0)
	12,5	11	-2	14	10	8	6	0,31	0,23
c	33,5	-10	-40	-53	25	-34	17	2,81	1,41
	23,4	9	-16	-17	17	-8	12	0,66	0,99 (5,0)
	13,4	-9	1	-15	9	-8	7	0,66	0,58
d	32,5	-2	0	-1	1	-1	16	0,11	1,80
	24,0	-6	3	-4	6	-2	12	0,17	0,99 (5,0)
	12,0	-3	2	-3	4	-1	6	0,06	0,36
e	29,0	-2	1	-18	12	-6	15	0,33	0,83
	20,5	14	4	0	8	6	10	0,33	0,55 (5,0)
	12,5	-12	-29	-5	14	-15	6	0,57	0,23

## 5. Wnioski

- Stwierdzone imperfekcje geometrii wież trójściennych, podczas geodezyjnych pomiarów przedrektyfikacyjnych (tab. 1), występują również w wieżach czterościennych [10].
- Wykonana regulacja pionowości dziesięciu analizowanych wież telekomunikacyjnych doprowadziła ich wychylenia poziome na odcinkach górnych, wierzchołkowych (strefach antenowych), do wartości dopuszczalnego wychylenia normowego. Jednocześnie uległ też zmianie kąt skręcenia trzonów wież na poszczególnych poziomach pomiarowych. Na poziomach górnych kąt skręcenia przed rektyfikacją wahał się w granicach  $0,11 \div 4,03^\circ$ , a po re-

ktyfikacji  $0,11 \div 2,81^\circ$ . Analogicznie na środkowych poziomach pomiarowych usytuowanych na wysokości  $2/3 h$ : przed rektyfikacją  $0,08 \div 3,48^\circ$  a po rektyfikacji  $0,17 \div 3,69^\circ$  i na poziomach dolnych od  $0,08 \div 2,83^\circ$  do  $0,04 \div 3,36^\circ$ .

- Rektyfikacja pionowości wieży prowadzi do jednoczesnej zmiany kąta skręcenia trzonu, który jest funkcją przemieszczenia poziomego (1c, 2c). Zmiana ta nie jest regularna, jest przypadkowa i nieprzewidywalna (patrz. tabl. 1 i 2). W związku z powyższym rodzi się pytanie: jak rektyfikować pionowy trzon wieży z uwagi na przekroczoną dopuszczalną wartość kąta skręcenia. Taki wymóg zgodnie z zaleceniami „Instrukcji ER-01” [3], występuje w 8 wieżach, w których  $d > d_d$  (tabl. 3, kol. 7 i 8). We wszystkich rektyfikowanych przez autorów referatu masztach i wieżach, skręcenie trzonu było zagadnieniem drugorzędym. Zagadnienie to ma znaczenie podczas eksploatacji obiektu, głównie z uwagi na zachowanie niezakłóconej łączności telekomunikacyjnej. Przykładowo wymagania CENTERTELU dla konstrukcji wsporczych ram antenowych ograniczają całkowite odchylenie anten (zarówno poziome jak i pionowe) spowodowane naporem wiatru do wartości:  $20'$  dla anten parabolicznych RL i  $1^\circ$  dla anten panelowych GSM1800 [11].
- Za słuszne należy uważać złączenie, przez normę PN-B-03204:2002 [2], wymogu dotyczącego odchyłki montażu związanej ze skręceniem przekroju trzonu wieży. Norma ta podaje montażową tolerancję skręcenia przekroju trzonu na całej wysokości wieży  $\varepsilon = 5^\circ$ . Analizowane w referacie wieże trójścienne spełniają ten warunek przed i po ich rektyfikacji.

### Literatura

1. PN-B-06200:2002. Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe.
2. PN-B-03204:2002. Konstrukcje stalowe. Wieże i maszty. Projektowanie i wykonanie.
3. Instrukcja ER-01. Eksploatacja wież i masztów. Załącznik do zarządzenia nr 31 Prezesa Zarządu TP S.A. z dnia 30.06.1994 r., Warszawa 1994.
4. BN-69/2940-01. Konstrukcje stalowe. Maszty oraz wieże radiowe i telewizyjne. Wymagania i badania.
5. Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlano-montażowych. Tom III. Konstrukcje stalowe. Arkady, Warszawa 1992.
6. Rykaluk K.: Konstrukcje stalowe. Kominy, wieże, maszty. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
7. Jankowska B.: Błąd wzoru do wyznaczania przemieszczenia masztu 3-ściennego wg Instrukcji ER-01. XVII Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji na Wydziałach Niegeodezyjnych. Zielona Góra-Łagów 2001.
8. Jankowska B.: Wyznaczanie wartości przemieszczeń i kąta skręcenia wieży czterościennej. XVIII Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji na Wydziałach Niegeodezyjnych. Rzeszów-Olszanica 2002.
9. Wichtowski B.: Geometria stalowych wież antenowych podczas ich rektyfikacji. Inżynieria i Budownictwo, nr 11/2008.
10. Wichtowski B.: Geometria stalowych wież i masztów radiowo-telewizyjnych na podstawie inspekcji okresowych. Budownictwo, Prace Naukowe PS, nr 561, Szczecin 2002.
11. Kowalczyk K.: Wytyczne technologiczne. PTK Centertel Departament Operacyjny Biura Inwestycji. Dział Strategii Inwestycyjnych. Warszawa 2005.