

prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielewski\*  
dr hab. inż. Piotr Górski\*  
dr inż. Lesław Tarczyński\*

# Poprawa dokładności pomiarów przemieszczeń komina przemysłowego techniką GPS

*Improvement of measurement accuracy of the industrial chimney displacements by GPS technology*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań przemieszczeń komina nr 1 Elektrowni Bełchatów pod wpływem słabego wiatru w czasie sesji pomiarowej wykonanej 1-3.12.2008 r. z zastosowaniem czterech odbiorników GPS. Obecnie dokonano analizy błędów pomiarowych systemu GPS i zaproponowano sposób poprawy dokładności pomiarów.

**Słowa kluczowe:** komin przemysłowy, GPS, pomiary przemieszczeń, błędy pomiarowe.

**Abstract.** The present paper describes field tests conducted on the tall industrial chimney, located in the power station of Bełchatów (Poland), where the GPS rover receivers were installed at the southern façade of the chimney at three various levels. Verification of background noise as well as an improvement of measurement accuracy of the industrial chimney displacements by GPS technology are presented.

**Keywords:** industrial chimney, GPS, displacement monitoring, background noise.

W ostatnich piętnastu latach wykonano wiele badań mających na celu ustalenie dokładności i zakresu stosowania techniki GPS do pomiaru przemieszczeń wysokich budowli. W pracach [1, 2] wykazano, że dokładność pomiarów przemieszczeń dużych konstrukcji budowlanych, charakteryzujących się dostatecznie długim okresem drgań własnych (powyżej 0,5 s), wynosi  $\pm 1$  cm w przypadku przemieszczeń poziomych i  $\pm 2$  cm w przypadku przemieszczeń pionowych. W artykule [3] przedstawiono wyniki badań przemieszczeń komina przemysłowego nr 1 Elektrowni Bełchatów pod wpływem słabego wiatru w czasie sesji pomiarowej wykonanej 1-3.12.2008 r. z zastosowaniem czterech odbiorników GPS. Celem tego artykułu jest wykonanie testu statycznego, analiza wpływu błędów systemu GPS w czasie wykonywanych pomiarów i propozycja ich filtracji w celu poprawy dokładności pomiarów.

Na fotografii przedstawiono widok ogólny komina, lokalizację odbiorników ruchomych na kominie i sposób ich instalacji w czasie sesji pomiarowej. Opis zestawu pomiarowego i jego rozmieszczenie na kominie przedstawiono w pracy [3].



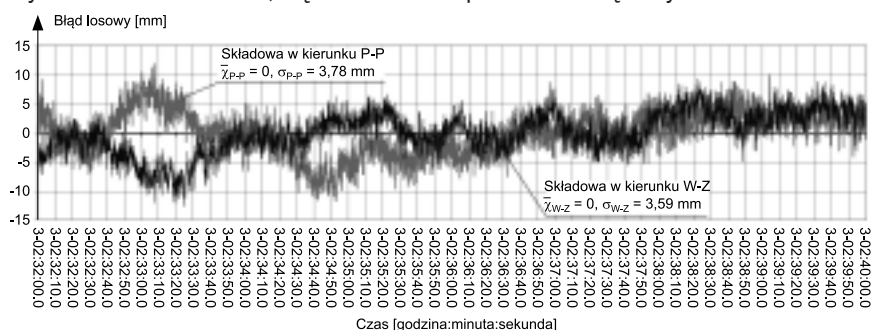
Lokalizacja 3 odbiorników GPS typu „rover” na kominie i sposób ich instalacji do barierki galerii zewnętrznych [Fot. P. Breuer]

## Weryfikacja błędu pomiarów przy teście statycznym

W celu zbadania najlepszej dokładności pomiarów techniką GPS (metodą różnicową), wykonano testy kalibracyjne w warunkach terenowych, które były wolne od zasłaniania, błędu wielo-

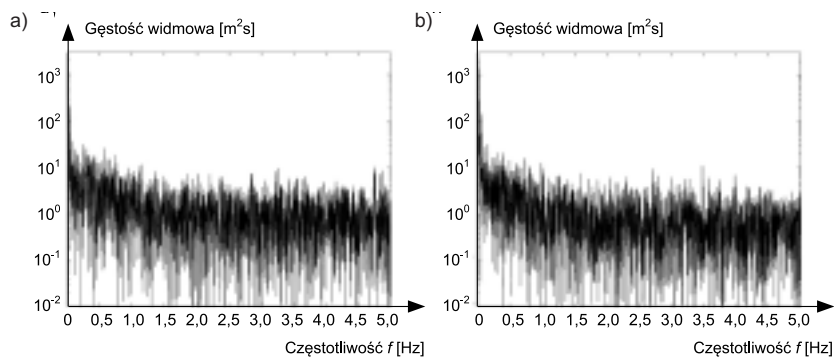
rowości i przy małym błędzie wzajemnego ustawienia satelitów.

Na rysunku 1 przedstawiono wynik pomiaru testu statycznego w skali czasu w ciągu 8 min przy założeniu, że oba odbiorniki (stacjonarny i „ruchomy”, odległe od siebie o 5 m) były nieruchome. Te pseudo-przemieszczenia rozdzielono na dwa kierunki: południowo-północny (P-P) i wschodnio-zachodni (W-Z). Na podstawie obu składników stwierdzamy, że są to zakłócenia (błędy losowe), które zawierają drgania o małym i dużym okresie, i że oba składniki można opisać matematycznie jako procesy stochastyczne stacjonarne o właściwościach ergodycznych. W przypadku obu składników obliczono: wartość średnią ( $\bar{x}_{P-P} = 0$ ,  $\bar{x}_{W-Z} = 0$ ); odchylenie standardowe ( $\sigma_{P-P} = 3,78$  mm,  $\sigma_{W-Z} = 3,59$  mm) i gęstość widmową przedstawioną na rysunku 2.



Rys. 1. Pomiary błędu losowego w skali czasu w ciągu 8 min

\*Politechnika Opolska, Wydział Budownictwa



Rys. 2. Gęstość widmowa składników w kierunku: a) południowo-północnym (P-P); b) wschodnio-zachodnim (W-Z)

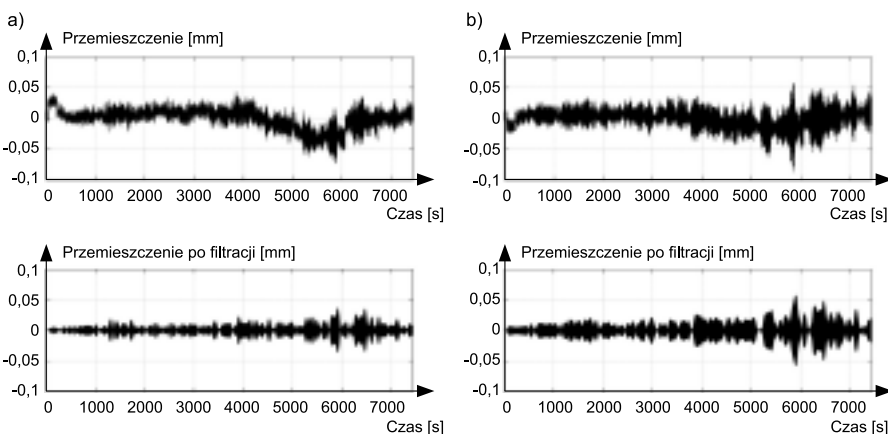
Znając charakterystyki widmowe obu składników zakłóceń oraz częstość drgań własnych budowli, można dokonać odfiltrowania tych zakłóceń od pomiarów przemieszczeń drgającej konstrukcji.

### Przykład pomiarów przemieszczeń poziomych komina spowodowanych działaniem wiatru

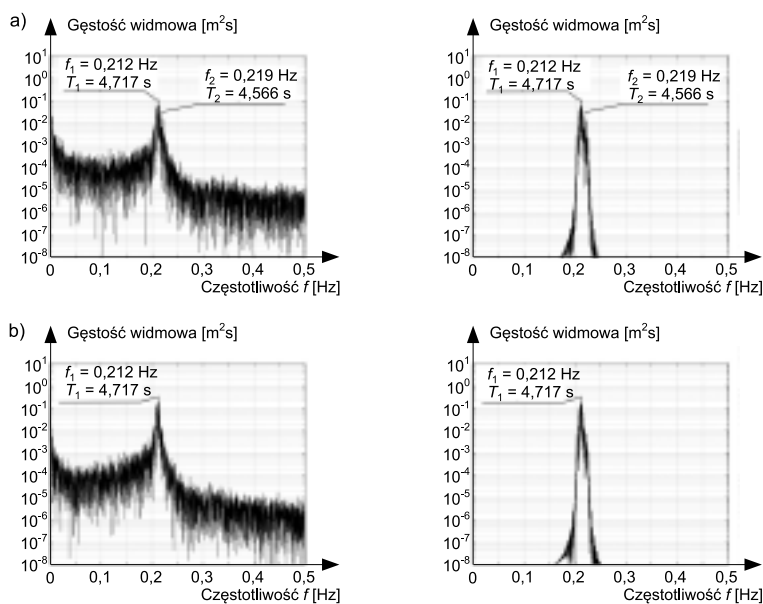
Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów przemieszczeń komina w płaszczyźnie poziomej spowodowanych działaniem wiatru w kierunku P-P (rysunek 3a) i W-Z (rysunek 3b). Pomiarzy wykonano 1.12.2008 r. w czasie od 14: 31: 00 do 16: 35: 00 (124 minuty) z częstotliwością próbkowania 10 Hz. Prędkość wiatru mierzona na wysokości wierzchołka komina została oszacowana w przedziale od 18 do 26 m/s, a średni azymut wiatru wyniósł 150°, co oznacza wiatr południowo-wschodni.

Wyniki pomiarów przemieszczeń punktu wierzchołkowego komina (rysunek 3) zawierają błędy pomiarowe (pseudodrgania), ale ze względu na czas ich trwania umożliwiają określenie częstości drgań swobodnych komina za pomocą szybkiej transformacji Fouriera. Wykres funkcji gęstości widmowej odpowiedzi komina przed i po filtracji (po zastosowaniu filtru Chebysheva typ 1, pasmowo-przepustowego dla częstości w przedziale 0,205 – 0,225 Hz) w kierunkach P-P i W-Z przedstawiono na rysunku 4. W czasie badań wykonano także krótkotrwałe cykle pomiarowe, trwające 3 min i 50 s, za pomocą trzech odbiorników GPS zainstalowanych na różnej wysokości komina, tj. 297, 293 i 179 m. Wszystkie odbiorniki rejestrowały dane jednocześnie w tych samych odstępach czasu z częstotliwością próbkowania

10 Hz. Wyniki pomiarów dynamicznych przemieszczeń komina w płaszczyźnie poziomej spowodowanych działaniem wiatru w kierunku jego działania i w kierunku poprzecznym z 1.12.2008 r. w czasie od 21:03:00 do 21:03:30



Rys. 3. Przemieszczenia punktu wierzchołkowego komina Elektrowni Bełchatów zarejestrowane z częstotliwością próbkowania 10 Hz w czasie od 14:31:00 do 16:35:00 w dniu 1.12.2008 r. przed i po filtracji w kierunkach: a) P-P i b) W-Z



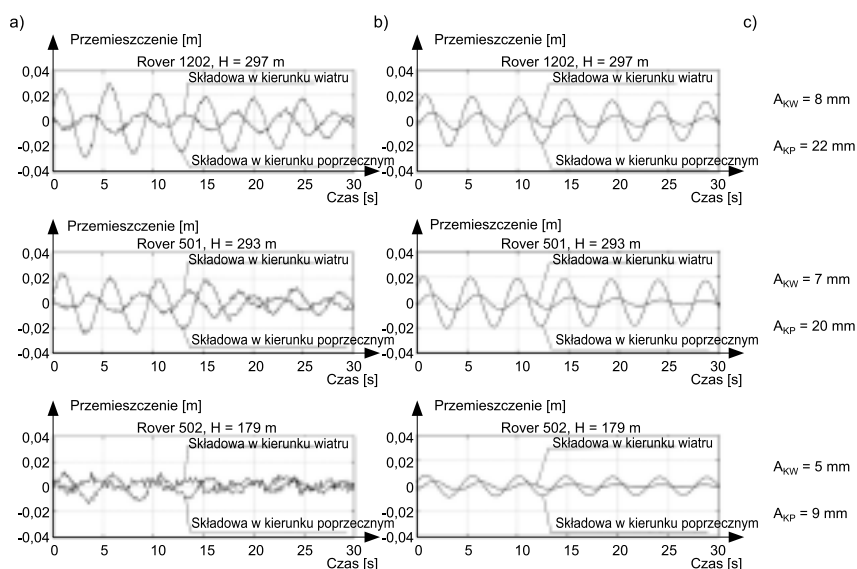
Rys. 4. Wykresy funkcji gęstości widmowej odpowiedzi wierzchołka komina Elektrowni Bełchatów przed i po filtracji w kierunkach: a) P-P; b) W-Z

(30 s – ten czas poprawia czytelność graficznej prezentacji drgań) przed i po filtracji przedstawiono na rysunku 5.

### Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych testów statycznych dotyczących błędów pomiarowych i zastosowanych metod filtracji do pomierzonych przemieszczeń sformułowano następujące wnioski:

- 1) niewielkiego wpływu jonosfery, małych błędów wzajemnego ustawienia satelitów ( $DOP \leq 4$ ) i innych błędów systemu GPS nie można wyeliminować, gdyż mają one charakter losowy (stochastyczny), a nie błędu systematycznego;
- 2) w czasie pomiarów drgań komina przemysłowego, na drgania te nakładają się pseudodrgania (zakłócenia) wynikające z nieuniknionych błędów



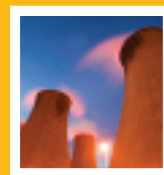
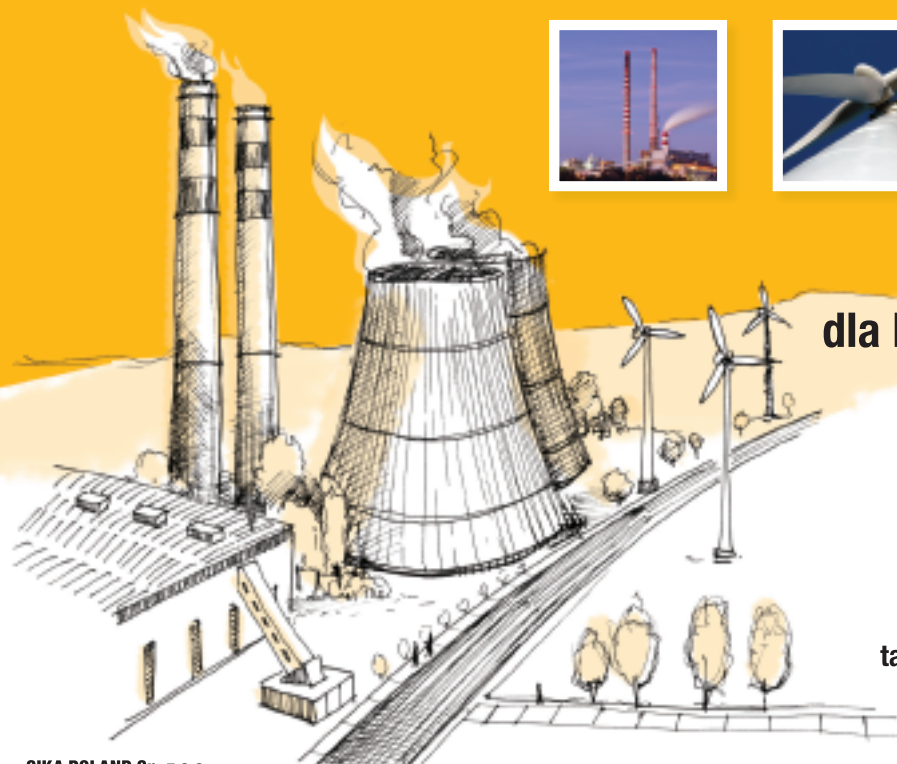
Rys. 5. Przeszczenia dynamiczne w kierunku wiatru i w kierunku poprzecznym na trzech r3nych wysokořciach kominu: a) przed filtracj3; b) po filtracji; c) maksymalne amplitudy przeszczenia dla obu kierunk3w (KW – w kierunku wiatru, KP – w kierunku poprzecznym)

pomiarowych systemu GPS, które m3j3 charakter drgań o małych i wi3kszych okresach. Te pseudodrgania moŹna wyeliminować z pomierzonego wibrogramu metodami filtracji;

3) technika filtracji drgań pozwala na uzyskanie poprawy dokłaďności wyznaczanych przeszczenia, poleg3cej na eliminacji błąd3w losowych, co przedstawiono na rysunku 5.

## Literatura

- [1] Psimoulis P., Pytharouli S., Karambalis D., Stiros S., Potential of Global Positioning System (GPS) to measure frequencies of oscillations of engineering structures, *Journal of Sound and Vibration*, 318, 2008, 606–623.
- [2] Casciati F., Fuggini C., Engineering vibration monitoring by GPS: long duration records, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 8, 3, 2009, 459–467.
- [3] Chmielewski T., Breuer P., G3rski P., Konopka E., Okreřlenie pionowego profilu przeszczenia wysokiej kominu przemysłowego technik3 satelitarn3 GPS, *Przełład Budowlany*, 5, 2012, 71 – 74.



## Technologie Sika dla konstrukcji inŹynierskich w branŹy energetycznej

**Materiały do zabezpieczenia i napraw:  
komin3w i chł3dni kominowych  
linii i stacji elektroenergetycznych  
turbin wiatrowych  
tac bezpieczeŹstwa pod transformatorami**

**SIKA POLAND Sp. z o.o.**  
ul. Karczunkowska 89 • 02-871 Warszawa  
Tel: (22) 31 00 700 • Fax: (22) 31 00 800  
e-mail: sika.poland@pl.sika.com  
www.sika.pl

**BUDUJ3CE ROZWI3ZANIA**

