

Marian BELA,  
Jacek PIECZYRAK

## OPIS I ANALIZA PRZEBIEGU OSIADAŃ PODŁOŻA GRUNTOWEGO KOMINÓW W NOWYM CZARNOWIE

**Streszczenie.** W artykule opisano, rejestrowany przez 7,5 lat, proces osiadania dwóch kominów żelbetowych. Przedstawiono również geotechniczny opis podłoża gruntowego oraz hipsograficzny opis wahań zwierciadła wody gruntowej, wywołany długotrwałym odwadnianiem gruntu. W pracy zamieszczono analizę opisanego wcześniej procesu osiadań.

### 1. WSTĘP

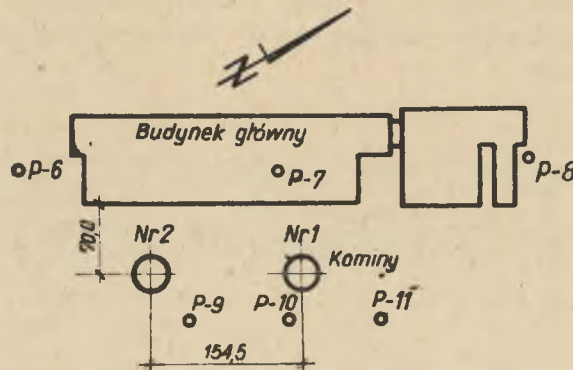
W sierpniu 1975 roku, odbierając wykop pod fundament dla turbozespołu nr 7 Elektrowni "Dolna Odra" w Nowym Czarnowie koło Szczecina, stwierdzono, że warunki geotechniczne podłoża są gorsze od opisanych w dokumentacji geologicznej. Podłoże wzmocniono tu palami zwirowymi. Stwierdzono jednak, że słabe podłoże znajduje się i w innych obszarach tego terenu, a w szczególności w obrębie estakady kolejowej i turbozespołu nr 3. W czerwcu 1976 dokonano awaryjnego odstawienia turbozespołu nr 3, uszkodzenia płyty fundamentowej okazały się niebezpieczne. Z tych powodów we wrześniu i październiku 1976 roku wykonano dodatkowe badania podłoża gruntowego. Stwierdzono, że zalegając tu grunty niespoiste mają mniejsze zagęszczenie od tego, jakie stwierdzono przed przystąpieniem do budowy. Za przyczynę tych zmian uznano wahania zwierciadła wody gruntowej. Istotnie, w latach 1971-1976, za pomocą studni głębinowych dokonywano okresowego, znacznego obniżania zwierciadła wody gruntowej. Wody tej używano jako wody technologicznej; pompownia jest usytuowana na przedpolu maszynowni.

Postanowiono przeto poddać obserwacji i analizie stan obiektów rozlokowanych w obszarze zaistniałych wpływów, aby określić ich aktualne warunki pracy i stan bezpieczeństwa.

W Zakładzie Geotechniki przeprowadzono analizę warunków pracy dwu kominów usytuowanych w tym obszarze. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analiz oraz część materiałów z opracowania [1].

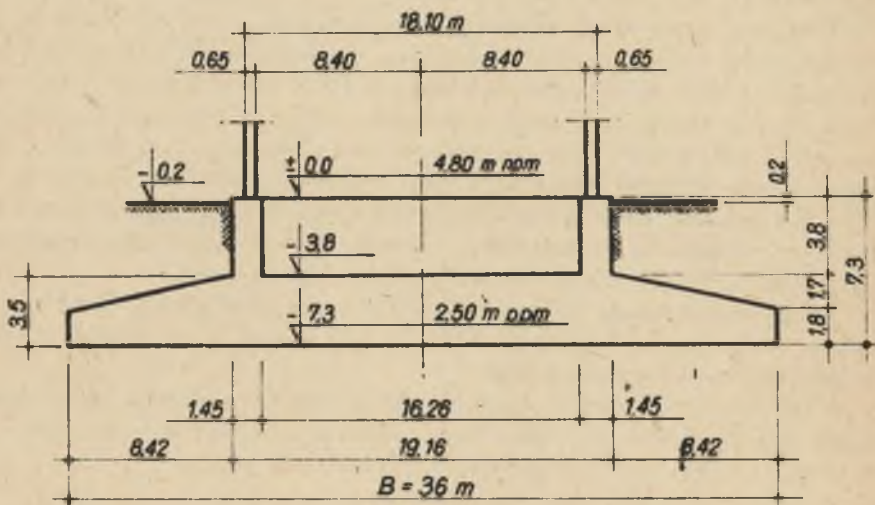
## 2. OPIS POSADOWIENIA KOMINÓW

Obydwa kominy są identycznej konstrukcji i wymiarów. Usytuowane są one równoległe do budynku głównego, w odległości 70 m od niego.



Rys. 1. Plan rozmieszczenia kominów i piezometrów

Są to żelbetowe kominy o wysokości 250 m, posadowiono na głębokość 7,1 m ppt. poprzez żelbetowe, kołowe płyty fundamentowe.



Rys. 2. Fundament kolumny

W tabelicy 1 zestawiono obciążenia jednostkowe, jakie fundament przekazuje na podłoże gruntowe.

Tabela 1

## Zestawienie obciążeń podłoża gruntowego

Ciężar fundamentu i części trzonu do poziomu $\pm 0,0$ m	$Q_F = 70700$	kN
Ciężar fundamentu i części trzonu do poziomu $\pm 0,0$ m wraz z gruntem (fundament zasypany)	$Q_{FZ} = 123000$	kN
Ciężar trzonu komina	$Q_T = 83133$	kN
Ciężar trzonu, izolacji i wykładziny	$Q_{TIW} = 103691$	kN
Sumaryczny moment w poziomie posadowienia	$M = 469307$	kNm

Schemat obciążenia	Nacisk jednostkowy na grunt, kPa		
	$q_{\xi r}$	$q_{max}$	$q_{min}$
$Q_F$	69	-	-
$Q_{FZ}$	121	-	-
M	-	102	-102
$1Q_F + Q_T + M$	151	253	49
$Q_{FZ} + Q_T + M$	203	305	101
$Q_{FZ} + Q_{TIW} + M$	223	325	121

Kominy były budowane w różnym czasie. Poszczególne etapy realizacji kominów i przedziały czasowe tych prac przedstawiono w tabelicy 2.

Tabela 2

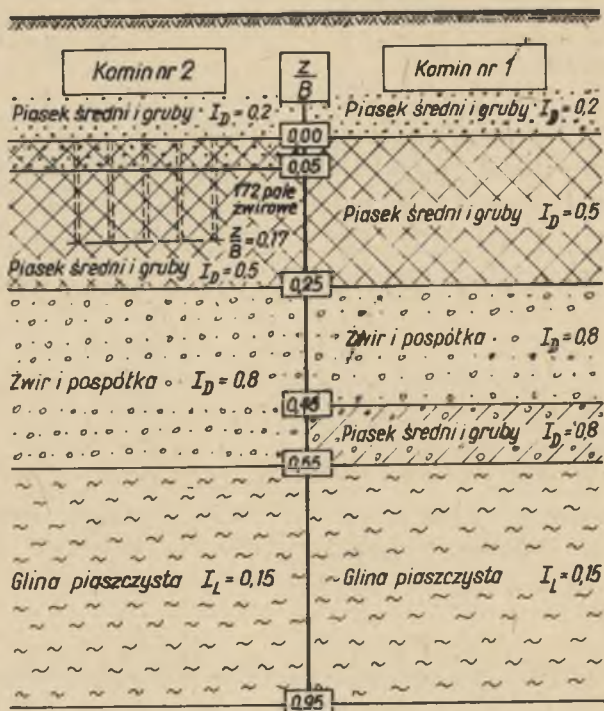
## Harmonogram wykonanych prac przy budowie kominów

	Komin Nr 1	Komin Nr 2
Wykopy fundamentowe	XII.70 r. - 26.I.71 r.	8.I.72 - 16.IV.72
Roboty palowe (pale zwirowe)	-	12.VI.71 - 17.VII.72
Stabilizacja podłoża gruntowego	-	25.VII - 8.VIII.72
Chudy beton	27.I - 30.I.71	9.VIII - 22.VIII.72
Roboty izolacyjne, montaż zbrojenia	22.II - 2.VIII.71	7.IX - 24.IX.72
Detonowanie płyty	20.IX - 24.IX.71	27.XI - 30.XI.72
Zасыpanie fundamentu	I/II.72	I.73
Budowa trzonu komina	III.72 - IV.73	II.73 - IX.74
Izolacja i wykładzina wewnątrz komina	2.V. - 30.XI.73	16.X.74 - 30.IV.75



## 3. OPIS PODŁOŻA GRUNTOWEGO

W rejonie obydwu kominów podłoże rozpoznano 13 otworami badawczymi. Na rysunku 3 przedstawiono uśrednione profile geotechniczne podłoża gruntowego tych kominów.



Rys. 3. Uśrednione profile geotechniczne podłoży gruntowych kominów

Dla obydwu kominów podłoże gruntowe ma bardzo podobną budowę. Z uwagi na małe zagęszczenie piasków w górnej części podłoża, zdecydowano się wzmocnić je, wykonując pod komin nr 2 172 pale żwirowe o średnicy 0,45 m i długości 6,0 m.

W 1976 roku wykonano w rejonie kominów 8 sondowań kontrolnych, lekką sondą wbijaną z końcówką krzyżakową typu ITB-ZW. Podłoże gruntowe kominów okazało się średnio zagęszczone i zagęszczone.

#### 4. WARUNKI WODNO-GRUNTOWE

Woda gruntowa o zwierciadle swobodnym utrzymywała się w przypowierzchniowej warstwie gruntów niespoistych na poziomie około 2,0 m ppt., czyli około 4,5 m ponad poziom posadowienia fundamentów kominów.

Cały rejon budowy Elektrowni był odwadniany w czasie trwania budowy, zastosowano 88 studni głębinowych G-80 i G-125. Wodę pompowano przez okres 4 $\frac{1}{2}$  lat.

Dla odwodnienia podłoża gruntowego kominu nr 1 wykonano 9 studni G-100 i G-125. Studnie rozmieszczano równomiernie wzdłuż okręgu, oddalonego od zewnętrznego obrysu płyty fundamentowej o około 4 m, tj. o średnicy około 44 m. Odwodnienie działało od stycznia 1971 do grudnia 1972 roku. Uzyskano depresję wody o około 8 m, czyli jej poziom ustalił się na głębokości 10 m ppt. Odwodnienie było na tyle skuteczne, że nie było już potrzeby odwodnienia terenu w rejonie kominu nr 2. Poziomy wody gruntowej obserwowane w 6 piezometrach rozmieszczonych w tym obszarze (rys. 1). Obraz wahań wód gruntowych przedstawiono na rysunku 4.

Jak widać z wykresu, uzyskano odwodnienie terenu do głębokości posadowienia kominów ( $\frac{z}{H} = 0,0$ ) aż do końca 1974 roku. Maksymalne odwodnienie dochodziło do głębokości względnej  $\frac{z}{H} = 0,1$ .

#### 5. OPIS I WYNIKI OBSERWACJI OSIADAŃ KOMINÓW

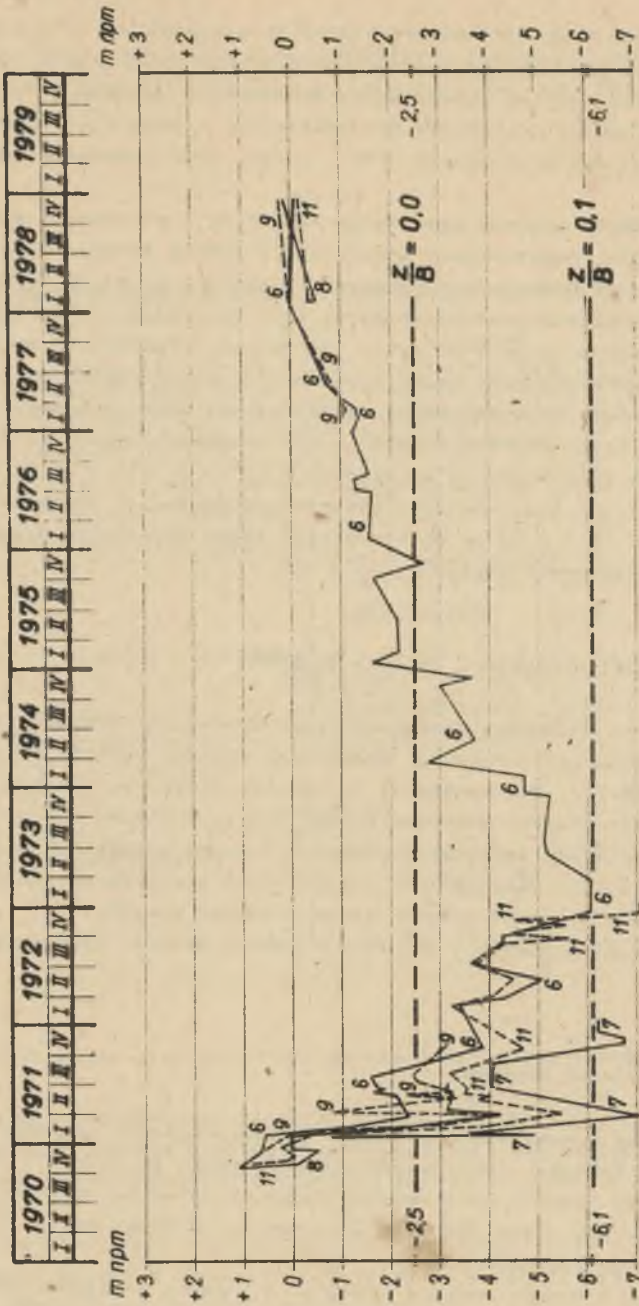
Począwszy od 1972 roku prowadzono pomiary osiadań kominów. Na każdym z kominów założone po 12 reperów. Obserwacje osiadań kominów były prowadzone od 12.04.1972 r. dla kominu nr 1 i od 16.03.1973 r. dla kominu nr 2, ostatnie zaś odczyty wykonano 21.08.1979 r. Wykonano 934 pomiary pionowych przemieszczeń reperów, niektóre z reperów uległy zniszczeniu i dlatego do analizy nie uwzględniono początkowych pomiarów na nich. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono wykresy osiadań obydwu kominów.

Wszystkie wyniki pomiarów i obserwacji poddane zostały opracowaniu statystycznemu.

#### 6. ANALIZA OSIADAŃ KOMINÓW

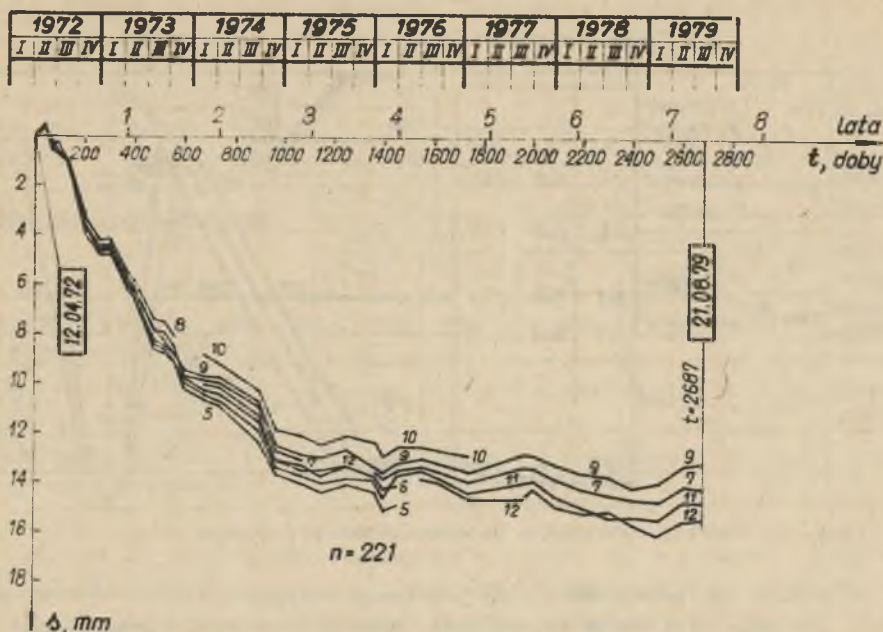
Celem badań i analiz było określenie bezpośrednich przyczyn zaistniałych osiadań kominów, jak również ocena dalszego przebiegu zjawiska, a zatem określenie stanu bezpieczeństwa badanych obiektów. Należało wyjaśnić, jaki był tu wpływ zmian poziomów wód gruntowych oraz wpływ konsolidacji warstwy gruntów spoistych.

Na rysunku 7 podano rozkład naprężeń w podłożu gruntowym kominu nr 1. Wykresy naprężeń pierwotnych, wtórnych i dodatkowych przedstawiono dla różnych poziomów wody gruntowej.

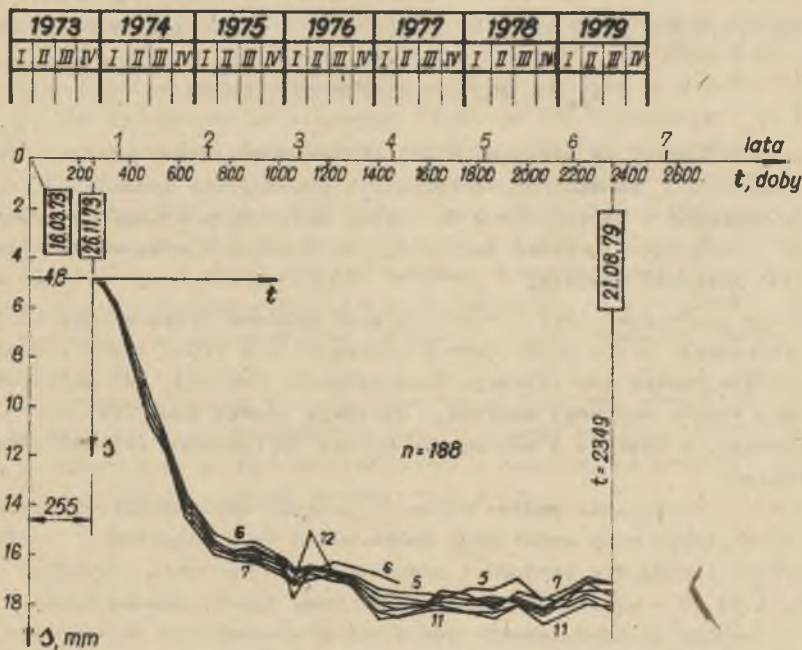


Rys. 4. Wykresy wahań wód gruntowych określone na podstawie wskazań piezometrów P-6, P-7, P-8 (—) oraz P-9 i P-11 (-----)

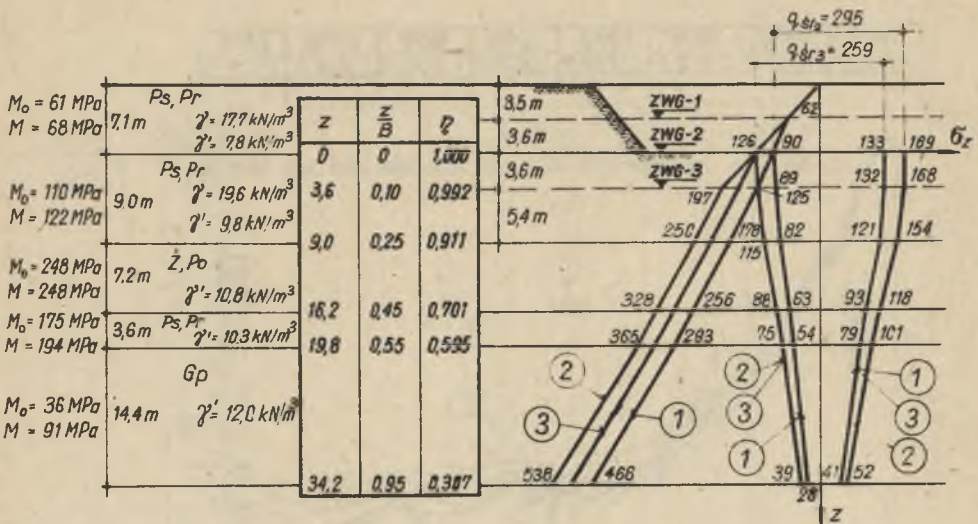




Rys. 5. Wyniki pomiarów pionowych przemieszczeń reperów (komin nr 1)



Rys. 6. Wyniki pomiarów pionowych przemieszczeń reperów (komin nr 2)



Rys. 7. Rozkład naprężeń w podłożu gruntowym kominu nr 1

Dla obniżonego zwierciadła wody gruntowej przyjęto, że dociążenie podłoża, wywołane likwidacją wyporu wody, realizowane jest w całości już w poziomie posadowienia. Mamy wtedy:

$$q_{sr_3} = 223 - 3,6 \gamma' + 3,6 \gamma = 223 + 3,6 (\gamma - \gamma') \cong 223 + 3,6 \cdot 10 \cong 259 \text{ kPa},$$

$$q_{sr_2} = 223 + 7,2 \cdot 10 \cong 295 \text{ kPa}.$$

Warto tu wyjaśnić, że przyjęty model obliczeniowy, jak również ocena wartości założonych parametrów obciążenia i gruntu, nie upoważniają do określenia naprężeń z dokładnością do 1 kPa. Obliczenia i analizę prowadzono jednak, przyjmując wartości zestawione na wykresach rysunku 7, traktując je jako wartości średnie.

W podłożu gruntowym (rys. 7) zalegają, od poziomu posadowienia do głębokości względnej  $z:B = 0,55$ , grunty niespoiste, a więc charakteryzujące się krótkim czasem konsolidacji filtracyjnej. Poniżej tej głębokości, aż do spągu strefy aktywnej podłoża, zalegają dłużej konsolidujące się grunty spoiste. W tabelicy 3 zestawiono wyniki obliczonych osiadań ostatecznych kominu.

W tabelicy 3 oddzielnie podano wartości osiadań obliczonych dla różnych położen zwierciadła wody gruntowej. Wpływ wahań wody (obniżenie poziomu) jest znaczący i daje dla poziomu 2 przyrost o 31% wartości osiadań, zaś dla ZWG-3 o 11,5% - w stosunku do poziomu wody ZWG-1. Zwraca ponadto uwagę znaczny udział osiadań gruntów spoistych w stosunku do całkowitych, wynosi on od 53,3% do 55,0%. Wynika więc stąd, że ponad 50% osiadań będzie



realizowane w długotrwałym procesie. Osiadania od zmian poziomów wody gruntowej będą długotrwałe również w takim samym stosunku.

Tablica 3

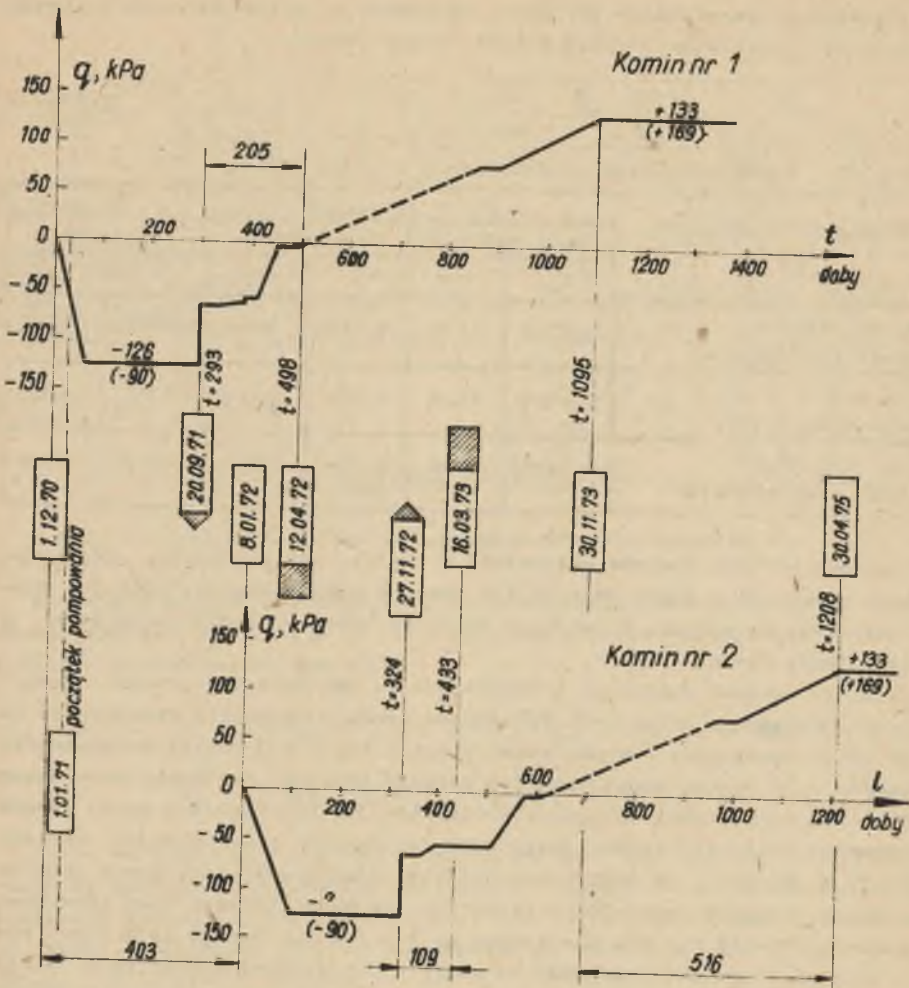
## Wyniki obliczeń spodziewanych osiadań kolumna

Miąższość warstwy [m]	Osiadania					
	przy ZWG-1		przy ZWG-2		przy ZWG-3	
	[m]	% całk.	[m]	% całk.	[m]	% całk.
$0 \leq z < 19,8$ (grunty niespoiste)	0,0250	45,0	0,0331	45,5	0,0289	46,7
$19,8 \leq z \leq 34,2$ (grunty spoiste),	0,0305	55,0	0,0396	54,5	0,0330	53,3
$0 \leq z \leq 34,2$ (osiadania całkowite)	0,0555	100,0	0,0707	100,0	0,0619	100,0

Pomiary osiadań kolumnów rozpoczęto w chwili, gdy w podłożu gruntowym proces zmian stanu naprężenia, a tym samym i odkształcenia, miał już swoją historię. Na rysunku 8 pokazano przebieg zmian wartości obciążenia  $q$  jako funkcję czasu.

Pomiary osiadań kolumna nr 1 rozpoczęto po 205 dobach od chwili rozpoczęcia betonowania płyty oraz 498 dób od czasu rozpoczęcia wykopów. Dla kolumna nr 2 odpowiednio odcinki czasu wynoszą 109 i 433 doby. Z pomiarów nie uzyskano więc bezwzględnej wartości osiadań kolumnów, nie można przeto przyrównać ich do wartości obliczonych (tablica 3). Interesujące są tu jednak porównania dotyczące konsolidacji podłoża. Pomiary potwierdzają wniosek wysnuty z obliczeń, że proces osiadań jest długotrwały, osiadania gruntów spoistych stanowią ponad 50% całkowitych. Prędkość osiadań była stosunkowo duża w okresie 772 dób dla kolumna nr 1 i 702 dla kolumna nr 2 (por. rys. 5 i 6). Ten długi okres osiadań świadczy o utrudnionej konsolidacji gliny piaszczystej z powodu dużej miąższości warstwy. Po tym okresie obserwuje się gwałtowną zmianę prędkości osiadań i zanik przyrostu. Podłoże uległo konsolidacji.

Zaobserwowano pewną różnicę pomiędzy osiadaniem obydwu kolumnów, różnica ta dotyczy zmian prędkości osiadań i etapów poszczególnych faz konsolidacji. Różnice te są wyraźnie związane z przebiegiem procesu pompowania wody ze studzien (porównaj wykresy 5, 6 i 4).



Rys. 8. Historia obciążenia podłoża gruntowego kominów  
(na poziomie  $z = 0$ )

## 7. WNIOSKI I ZAKOŃCZENIE

Wykonane badania i przeprowadzona analiza pozwoliły na określenie stanu konsolidacji podłoża i bezpieczeństwa kominów. Przebieg osiadań w czasie oraz prędkości osiadań odpowiadały warunkom konsolidacji filtracyjnej warstwy gliny piaszczystej, zalegającej w strefie aktywnej podłoża gruntowego.

Obniżenie zwierciadła wody gruntowej spowodowało przyrost osiadań o około 30% w stosunku do osiadań całkowitych.

## LITERATURA

- [1] Bela M., Pieczyrak J.: Analiza odkształcalności i nośności podłoża gruntowego kominów nr 1 i 2 Elektrowni "Dołna Odra" w Szczecinie (maszynopis w Zakładzie Geotechniki Instytutu Budowy Dróg Pol. Śl.) Gliwice 1980 r.

Recenzent: Doc. dr inż. Maciej Gryczmański

Wpłynęło w listopadzie 1980 r.

## ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ КОДА ОСЕДАНИИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИИ ДЕМОВЫХ ТРУБ В НОВОМ ЧАРНОВЕ

### Р е з ю м е

В статье описан зарегистрированный на протяжении 7,5 лет процесс оседания двух железобетонных дымовых труб. Представлены тоже геотехническое описание грунтового основания и гипсометрическое колебаний зеркала грунтовых вод, вызванных продолжительным дренажем грунта. В работе представлен анализ описанного раньше процесса оседания.

## DESCRIPTION AND ANALYSIS OF THE CONSOLIDATION PROCESS OF SUBSOIL FOR CHIMNEYS IN NOWY CZARNÓW

### S u m m a r y

In the paper, the consolidation process of two reinforced concrete chimneys is discussed, based on a seven and a half year observation period. The paper also presents a geotechnical description of subsoil and hypsometrical description of ground water level movements caused by long-lasting draining of soil. An analysis of the above mentioned consolidation process is also described.