

MIECZYSLAW SMÓŁKA

SKOMPUTERYZOWANY SYSTEM POMIAROWY Z APARATURĄ STRUNOWĄ ORAZ PRZYKŁADY JEGO ZASTOSOWAŃ

Omówiony w niniejszej pracy skomputeryzowany system pomiarowy został opracowany i wykonany w Instytucie Geodezji i Kartografii w ramach projektu badawczego nr 9 T12E 006 08 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych¹.

ZARYS TREŚCI: Omówiono zasadę działania przetworników strunowych, przyrządy pomiarowe z przetwornikami strunowymi oraz schemat skomputeryzowanego systemu pomiarowego. Następnie przedstawiono dwa przykłady zastosowania opracowanego systemu pomiarowego. W jednym przykładzie pokazano przemieszczenia budowli wlotowej górnego zbiornika wodnego Elektrowni Wodnej „Żarnowiec” spowodowane zmianą poziomu wody w górnym zbiorniku. W drugim przykładzie przedstawiono zmiany szerokości i zmiany kształtu szczeliny dylatacyjnej w długim pięciopiętrowym budynku, spowodowane zmianą temperatury jego ścian zewnętrznych.

1. WSTĘP

Przemieszczenia i odkształcenia różnych obiektów są wyznaczane na podstawie parametrów uzyskiwanych najczęściej w wyniku stosowania geodezyjnych przyrządów pomiarowych. W miarę rozwoju geodezji inżynierskiej zaczęto konstruować i wytwarzać specjalistyczne urządzenia o różnym przeznaczeniu. Niektóre z nich są dodatkowym wyposażeniem istniejącej aparatury geodezyjnej, inne zaś mają postać samodzielnych przyrządów pomiarowych. Nowe, coraz trudniejsze zadania stawiane przed geodezją inżynierską wymuszają nieustanny postęp w budowie aparatury dla tej dziedziny pomiarowej.

Prace w zakresie projektowania, badania i wytwarzania specjalistycznej aparatury pomiarowej na potrzeby geodezji inżynierskiej są prowadzone również w Instytucie Geodezji i Kartografii. W ciągu kilkudziesięciu lat opracowa-

¹ Kierownikiem projektu badawczego jest dr. inż. Mieczysław Smółka, głównymi współwykonawcami - inż. Mieczysław Kołodziejczyk i dr inż. Witold Markowski

no wiele nowych przyrządów, które na stałe weszły w skład zestawów aparatury stosowanej w geodezji inżynierskiej. Do najbardziej rozpowszechnionych przyrządów opracowanych w IGiK można zaliczyć: szczelinomierze przenośne i stałe, pochylomierze nasadkowe, klinometry, wahadła oraz różnorodny sprzęt pomocniczy, taki jak celowniki, repery specjalne, płyty centrujące, łatki niwelacyjne. Prowadzone są również prace badawczo-wdrożeniowe w zakresie automatyzacji pomiarów geodezyjnych.

W ostatnim okresie w Dziale Mechaniczno - Konstrukcyjnym IGiK opracowano i wykonano skomputeryzowany system przeznaczony do zdalnego, automatycznego pomiaru parametrów niezbędnych do wyznaczania przemieszczeń i odkształceń różnych obiektów. Omawiany system umożliwia jednoczesny pomiar pochyleń, przemieszczeń liniowych oraz temperatury wybranych fragmentów badanego obiektu. Mierzona jest również temperatura wewnątrz i na zewnątrz badanego obiektu. Dla każdego wyniku pomiaru komputer rejestruje datę i czas pomiaru. Dzięki temu można mierzyć nie tylko wielkości zmian przemieszczeń, ale również określać tempo ich narastania. Wyniki pomiarów są automatycznie rejestrowane w pamięci komputera i w każdej chwili mogą być monitorowane lub wydrukowane w postaci tabelarycznej lub graficznej².

W omawianym systemie pomiarowym zastosowano oryginalne przetworniki strunowe opracowane w Instytucie Geodezji i Kartografii.

2. PRZETWORNIKI POMIAROWE

Przetwornik, w najogólniejszym ujęciu, stanowi uporządkowany zespół elementów konstrukcyjnych i służy do przetwarzania wielkości wejściowej na wielkość wyjściową. W metrologii stosuje się wiele typów i rodzajów przetworników pomiarowych. Ich klasyfikacja jest przeprowadzana według różnych kryteriów. Z punktu widzenia konstrukcji i zasady działania przetworniki pomiarowe można podzielić na analogowe i cyfrowe. Przetworniki analogowe mające na wyjściu sygnał analogowy nie znajdują zastosowania w skomputeryzowanych systemach pomiarowych. Ich użycie w takich systemach jest możliwe dopiero po przetworzeniu sygnałów analogowych na sygnały cyfrowe. Przetworniki cyfrowe mają na wyjściu sygnały cyfrowe.

Charakterystyka przetworników z reguły jest nieliniowa. Liniowość uzyskuje się po odpowiedniej linearyzacji charakterystyki pierwotnej. Zastępcza, zlinearyzowana charakterystyka przetwornika może być styczna do pierwotnej nieliniowej charakterystyki lub być cięciwą tej krzywej. Linearyzację przeprowadza się różnymi sposobami. Charakterystyka krzywoliniowa też bywa linearyzowana metodą linii łamanej. Metoda ta polega na wyznaczeniu odcinków

² Monitorować → prowadzić monitoring czegoś, monitoring → prowadzenie stałej obserwacji, dokonywanie ciągłych, systematycznych pomiarów (ang.), Słownik współczesnego języka polskiego. Red. nauk. prof. dr. hab. Bogusław Dunaj, WILGA, Warszawa 1996.

krzywej, a następnie przeprowadzeniu linearyzacji kolejnych odcinków tej krzywej.

W skomputeryzowanym systemie pomiarowym, opracowanym w Instytucie Geodezji i Kartografii, zastosowano cyfrowe przetworniki jedno- i dwustrunowe. Przetworniki te nie stanowią samodzielnych zespołów konstrukcyjnych osadzonych w poszczególnych przyrządach pomiarowych, lecz są układami wkomponowanymi w konstrukcję całego systemu pomiarowego. W omawianych przetwornikach strunowych rolę czujników pomiarowych spełniają napięte struny pobudzane do poprzecznych drgań zanikających. Częstotliwości drgań tych strun są przetwarzane na wartości wielkości mierzonych.

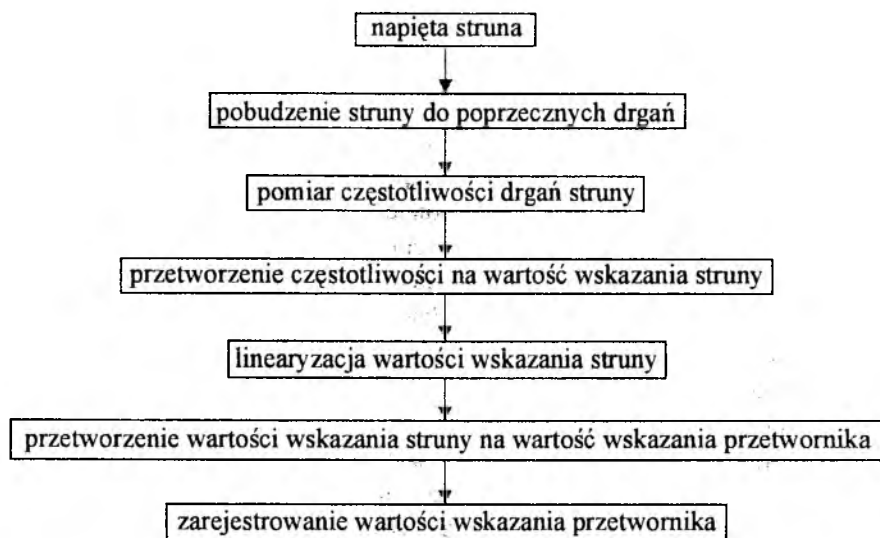
Czujniki strunowe są znane na świecie od dawna, ale ich zastosowanie w metrologii napotykało na wiele trudności różnej natury. Dużym problemem był precyzyjny pomiar częstotliwości poprzecznych drgań strun i przetwarzanie tej częstotliwości na wartości mierzonych wielkości. Ponowne zainteresowanie techniką strunową w ostatnich latach zostało spowodowane rozwojem elektroniki, a w szczególności komputeryzacją procesów pomiarowych.

W kraju przyrządy pomiarowe z czujnikami strunowymi po raz pierwszy zostały opracowane w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP, a wytwarzane przez Zakład Aparatury Naukowej Uniwersytetu Jagiellońskiego ZAN-UJ. Przyrządy te, wykorzystywane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, były dostosowane do potrzeb technicznej kontroli zapór wodnych. W latach 1987-89 rozważano możliwość zastosowania techniki strunowej do pomiaru zmian geometrycznych budynków Elektrowni Jądrowej Żarnowiec³. W związku z tym w Instytucie Geodezji i Kartografii przebadano kilkadziesiąt czujników strunowych opracowanych w MERA-PIAP i wykonanych przez ZAN-UJ. Każdy z badanych czujników był wyposażony w jedną strunę i wahadło z obciążnikiem zanurzonym w oleju. Pobudzania struny do poprzecznych drgań i pomiaru częstotliwości tych drgań dokonywano za pomocą specjalnego miernika elektronicznego. Wyniki badań wykazały, że czujniki te, mimo wielu zalet, nie mogły być zastosowane w EWŻ, ponieważ jednocześnie reagowały zarówno na zmiany temperatury, jak i na zmiany zadawanych pochyleń. Ze wspólnego wyniku pomiaru tych dwóch wielkości nie można było wydzielić jednej jego części powodowanej zmianą temperatury i drugiej zmianą pochylenia. Te badania przyczyniły się jednak do opracowania nowych skomputeryzowanych przetworników jedno- i dwustrunowych.

³ Autor uczestniczył wówczas w interdyscyplinarnym zespole, który opracowywał „System zdalnego pomiaru zmian cech geometrycznych obiektów Elektrowni Jądrowej Żarnowiec”. Zespół działał pod kierunkiem prof. dr. hab. Mirosława Żaka. Prace zostały przerwane z powodu zaniechania budowy EWŻ.

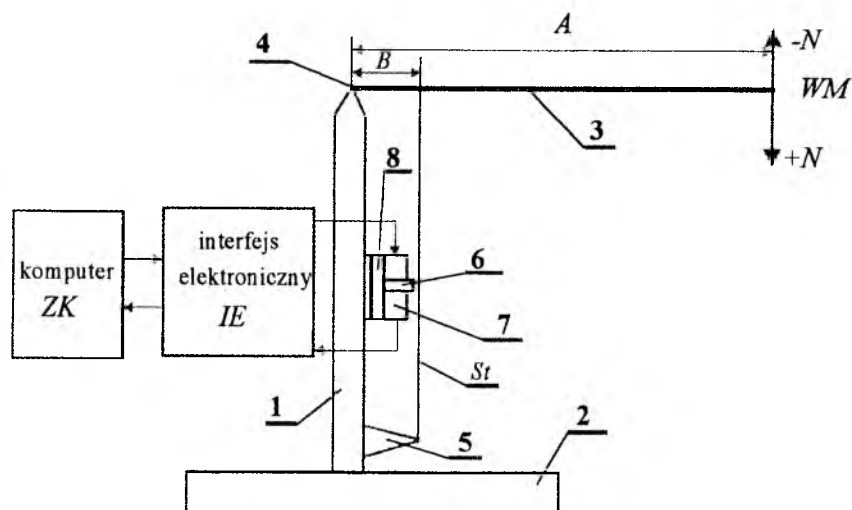
2.1. Przetwornik jednostrunowy

Algorytm działania modelu przetwornika jednostrunowego pokazano na rysunku 1. Napięta struna jest sprzężona, poprzez odpowiednie mechanizmy przetwornika i przyrządu pomiarowego, z obiektem dostarczającym zmiany wielkości mierzonych. Zmiany wielkości mierzonych powodują zmiany napięcia struny. W ustalonym momencie struna zostaje pobudzona do poprzecznych drgań zanikających, po czym następuje pomiar częstotliwości jej drgań. Pomierzona częstotliwość jest przetworzona na wartość wskazania struny. Wartość ta jest z kolei zlinearyzowana i następnie przetworzona na wartość wskazania przetwornika. Wynik tego przetworzenia jest rejestrowany w pamięci komputera. Różnica wskazań przetwornika z dwóch pomiarów jest miarą wartości zmiany mierzonej wielkości powstałej w okresie między tymi pomiarami.



Rys. 1. Algorytm działania modelu przetwornika jednostrunowego.

Schemat modelu przetwornika jednostrunowego pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat modelu przetwornika jednostrunowego

Konstrukcją nośną omawianego modelu przetwornika jest kolumna 1 osadzona w podstawie 2. Z wierzchołkiem kolumny łączy się dźwignia 3 za pomocą beztarciowego przegubu 4. Do dźwigni, w odległości B od przegubu, zamocowano jeden koniec struny St , a drugi jej koniec, przy odpowiednim napięciu struny, sprężnięto ze wspornikiem 5 zintegrowanym z kolumną 1. Do kolumny przytwierdzono również zespół elektromagnetyczny składający się z trzech zasadniczych elementów: rdzenia 6 usytuowanego w pobliżu struny St , cewki 7 i magnesu stałego 8. Magnes wytwarza w obrębie struny stałe pole magnetyczne, natomiast rdzeń 6 i cewka 7 tworzą elektromagnes przeznaczony do pobudzania struny do poprzecznych drgań zanikających. Cewka jest połączona kablem z interfejsem IE współdziałającym z komputerem ZK wyposażonym w odpowiednie oprogramowanie.

Przykładana do dźwigni 3 siła N o różnej wartości powoduje zmiany nachylenia dźwigni w kierunku dodatnim lub ujemnym. Z punktu widzenia metrologii ruch dźwigni można traktować jako jej nachylenie lub przemieszczanie punktu, w którym jest przyłożona siła N . Przedmiotem pomiaru może być też wartość siły N . W niniejszym opisie zasady działania modeli przetworników, zarówno jedno- jak i dwustrunowego, nie rozróżnia się poszczególnych rodzajów wielkości mierzonych lecz przyjmuje się ogólne określenie „wielkość mierzona” i oznacza ją symbolem WM .

Przetwornik jednostrunowy działa w następujący sposób. Przy początkowym położeniu dźwigni 3 z komputera ZK zostaje wysłany do interfejsu IE sygnał, który uruchamia w nim wygenerowanie krótkotrwałego impulsu elektrycznego⁴. Pod wpływem tego impulsu elektromagnes 6-7 pobudza strunę *St* do poprzecznych drgań zanikających. Drgająca w polu magnetycznym struna powoduje w cewce 7 indukcję sygnałów elektrycznych, które są przesyłane do interfejsu IE, gdzie następuje pomiar częstotliwości generowania tych sygnałów, a tym samym pomiar częstotliwości drgań struny. Pomiar częstotliwości drgań struny polega na zliczeniu ustalonej liczby pełnych okresów i pomierzeniu czasu trwania tej liczby okresów. Pomiar tego czasu rozpoczyna się po upływie krótkiego czasu x' , jaki upływa od momentu zaniku impulsu pobudzającego strunę do drgań do momentu przechodzenia jej przez stan zerowy, kiedy charakterystyka zanikania drgań jest już ustabilizowana (rys. 3a). Zakończenie pomiaru czasu trwania ustalonej liczby okresów następuje również w momencie przechodzenia struny przez stan zerowy. Czas pomierzony jest miarą stanu napięcia struny i traktowany w niniejszym opracowaniu jako wartość jej wskazania oznaczona symbolem *W*. Nachylenie dźwigni 3 w kierunku dodatnim powoduje skrócenie struny i zmniejszenie jej napięcia. Częstotliwość drgań rozluźnionej struny jest mniejsza, a wartość wskazania *W'*, takiej samej ustalonej liczby okresów drgań struny, jest większa (rys. 3b). Po odchyleniu dźwigni w kierunku ujemnym struna wydłuża się i bardziej napina, a wskazanie *W''* zmniejsza się (rys. 3c). Dla wyżej opisanych położów dźwigni 3 przyrosty wskazań wynoszą:

$$W' - W = +\Delta W' \quad (1)$$

$$W'' - W = -\Delta W'' \quad (2)$$

Wartości ΔW są miarą zmian wartości mierzonych wielkości *WM*, natomiast znak + lub - określa kierunek zmian tych wielkości.

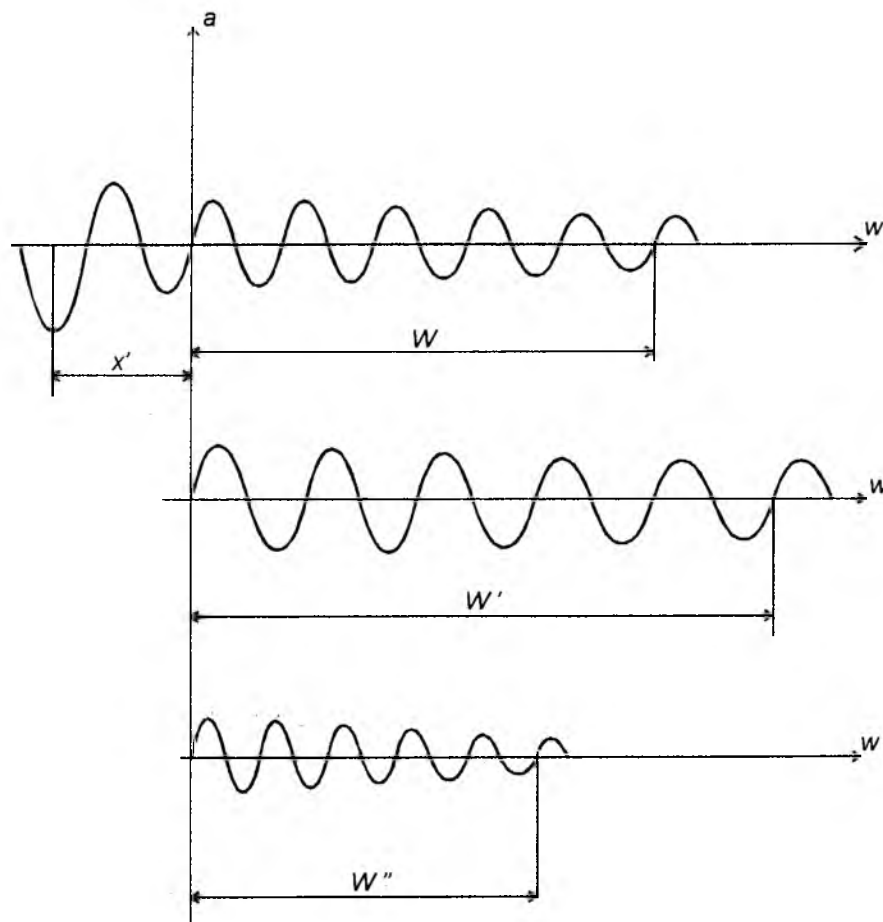
Metrologiczną zależność pomiędzy wartościami wskazań *W* struny i wskazań przetwornika ustala się podczas jego testowania.

Testowanie polega na zadawaniu wartości wzorcowych *WW* w miejsce wartości *WM* i na zarejestrowaniu wartości wskazań *W* struny dla każdej zadanej wartości wzorcowej.

Przykład wyników testowania omawianego modelu przetwornika jednostrunowego podano w tabeli 1⁵. Testowanie, w stałej temperaturze, przeprowadzono dla liniowego przemieszczania końca dźwigni w punkcie przyłożenia siły *N*.

⁴ W omawianym przykładzie przyjęto, że początkowe położenie dźwigni ma miejsce wtedy, gdy jest ona równoległa do podstawy 2, przy napięciu struny odpowiadającej połowie jej użytecznego obciążenia.

⁵ Wartości podane w tym przykładzie zostały ustalone na podstawie uśrednionych i wyrównanych wartości wskazań przetwornika jednostrunowego wielokrotnie badanego w Instytucie Geodezji i Kartografii



Rys. 3. Wartości wskazań W struny
w zależności od stanu jej napięcia

Tabela 1

WW mm	W	ΔW	W_{lin}	ΔW_{lin}
1	2	3	4	5
-0,7	20 041,3	-212,2	24 897,2	519,2
-0,6	20 253,5	-219,2	24 378,0	519,2
-0,5	20 472,7	-226,5	23 858,8	519,2
-0,4	20 699,2	-234,1	23 339,6	519,2
-0,3	20 933,3	-242,3	22 820,4	519,2
-0,2	21 175,6	-250,9	22 301,2	519,2
-0,1	21 426,5	-260,0	21 782,0	519,2
0	21 686,5		21 262,8	
0,1	21 956,2	269,7	20 743,6	-519,2
0,2	22 236,3	280,1	20 224,4	-519,2
0,3	22 527,3	291,3	19 705,2	-519,2
0,4	22 830,1	302,8	19 186,0	-519,2
0,5	23 145,4	315,3	18 666,8	-519,2
0,6	23 474,2	328,8	18 147,6	-519,2
0,7	23 817,4	343,2	17 628,4	-519,2

W kolumnie 1 podano zadawane wzorcowe wartości WW . Zerowej wartości WW odpowiada początkowe położenie dźwigni. W kolumnie 2 podano wartości wskazań W struny dla kolejnych położań dźwigni przemieszczanej co 0,1 mm. Jednej jednostce wskazania W odpowiada czas 50 nanosekund. W kolumnie 3 podano wartości kolejnych przyrostów ΔW wskazań struny dla przyrostów wartości wzorcowych $\Delta WW = 0,1$ mm. Zmieniające się wartości kolejnych przyrostów ΔW świadczą o tym, że wartości wskazań W nie są proporcjonalne do zadawanych wartości wzorcowych WW . Proporcjonalność taką uzyskuje się dopiero po linearyzacji wartości W . Linearyzacja wartości W w omawianym przykładzie została przeprowadzona na podstawie empirycznego wzoru:

$$W_{lin} = \frac{K}{W^2} \quad (3)$$

gdzie: K jest stałą wartością dla określonej konstrukcji przetwornika. Dla omawianego modelu przetwornika $K=10^{13}$.

Zlinearyzowane według zależności (3) wartości W_{lin} podano w kolumnie 4, a w kolumnie 5 wartości zlinearyzowanych kolejnych przyrostów ΔW_{lin} . Jednakowe wartości tych przyrostów świadczą o proporcjonalności pomiędzy wartościami W_{lin} i zadanymi wartościami WW .

Zlinearyzowane wartości W_{lin} są podstawą do obliczania wartości wielkości mierzonych WM na podstawie zależności:

$$WM = \frac{W_{lin} - a}{c} \quad (4)$$

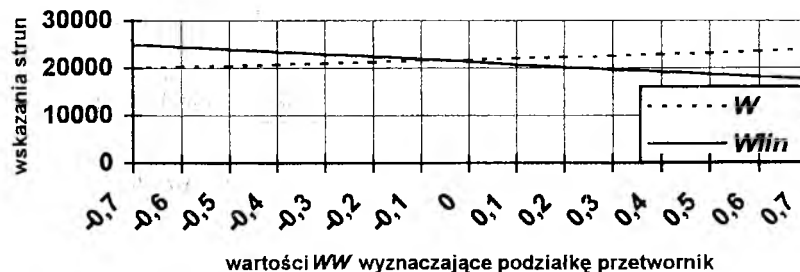
gdzie c jest współczynnikiem nachylenia linii wyznaczonej przez zlinearyzowane wartości W_{lin} , natomiast a jest wartością przesunięcia tej linii na osi pionowej w miejscu zera podziałki. Wartość współczynnika c oblicza się na podstawie poniższej zależności:

$$c = \frac{\Delta W_{lin}}{\Delta WW} \quad (5)$$

i jest ona stała dla całego zakresu pomiarowego przetwornika, natomiast wartość a zależy od tego, w którym punkcie podziałki jest przyjęte miejsce jej zera. Dla omawianego przykładu $c = -5\,192$, natomiast $a = 21\,262,8$.

O rozdzielczości, a tym samym o dokładności pomiarowej przetwornika decyduje w największym stopniu wartość przyrostu ΔW_{lin} na jednostkę wartości wzorcowej WW . W omawianym przykładzie rozdzielczość przetwornika, w całym zakresie pomiarowym, wynosi średnio około $0,2\ \mu\text{m}$.

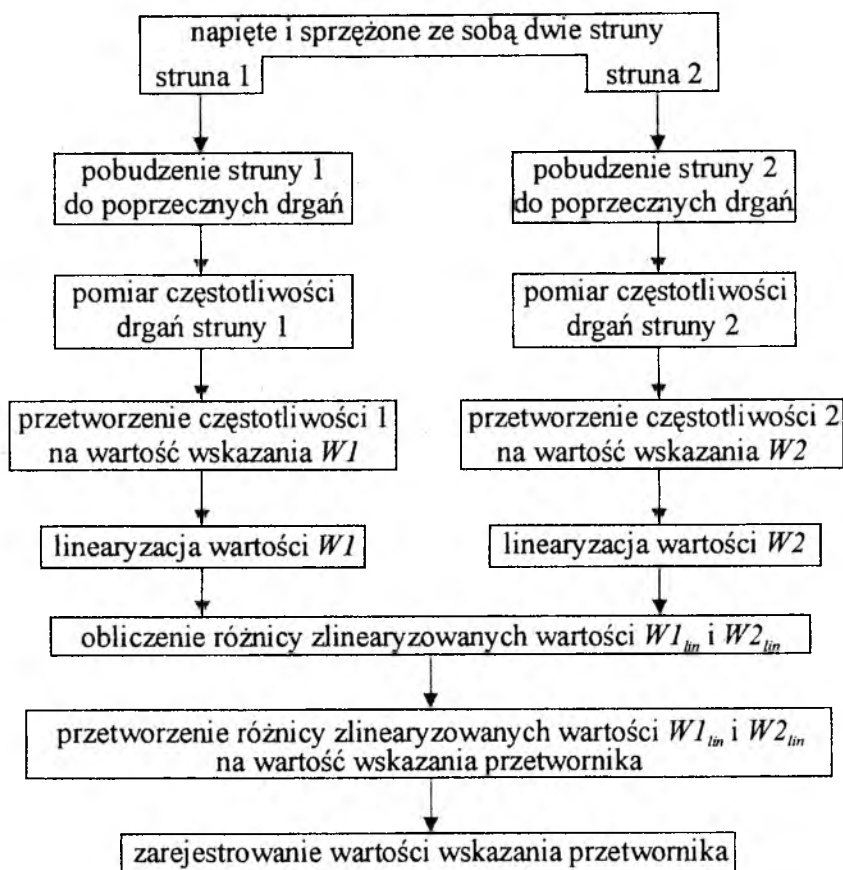
Graficzny obraz zależności pomiędzy zadanymi wartościami wzorcowymi WW z jednej strony i wartościami wskazań W oraz zlinearyzowanymi wartościami W_{lin} z drugiej strony pokazano na wykresie (rys. 4). Pozioma oś siatki wykresu z wartościami WW stanowi podziałkę przetwornika. Wartości wskazań W pokazano linią przerywaną, natomiast ich wartości zlinearyzowane linią ciągłą. Wartości W_{lin} układają się wzdłuż linii odwrotnie nachylonej niż linia wyznaczona przez wartości wskazań W . Zmiana nachylenia linii W_{lin} jest konsekwencją przyjętej zależności (3) wykorzystywanej do linearyzacji wartości wskazań W .



Rys. 4. Wartości W wskazań przetwornika i ich zlinearyzowane wartości W_{lin} .

2.2. Przetwornik dwustrunowy

Algorytm działania przetwornika dwustrunowego pokazano na rysunku 5.

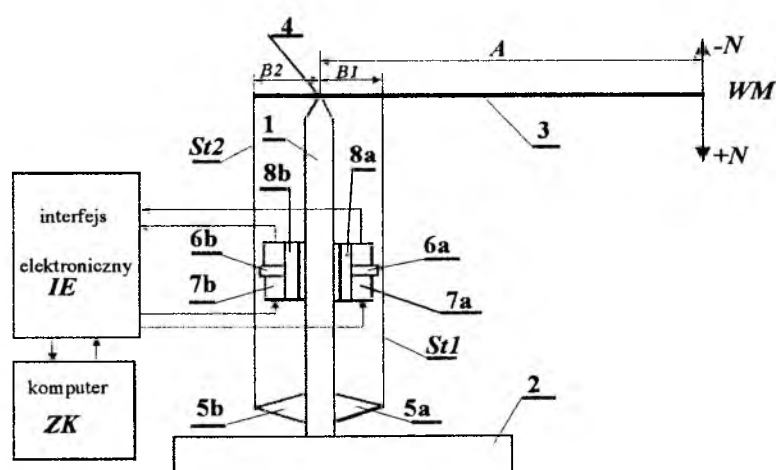


Rys. 5. Algorytm działania przetwornika dwustrunowego

Przetwornik dwustrunowy powstał w wyniku integracji dwóch przetworników jednostrunowych działających w układzie różnicowym. W przetworniku dwustrunowym obydwie struny współdziałają ze sobą i, podobnie jak w przetworniku jednostrunowym, są sprzężone z badanym obiektem. Różnica w sprzę-

zeniu polega na tym, że zmiana wielkości mierzonej powoduje zwiększanie napięcia jednej struny i jednocześnie zmniejszanie napięcia drugiej struny. Zasada działania obydwu składowych przetworników jest taka sama jak w omówionym przetworniku jednostrunowym. Dalsza procedura działania przetwornika dwustrunowego obejmuje: obliczenie różnic zlinearyzowanych wartości wskazań $W1_{lin} - W2_{lin}$ lub $W2_{lin} - W1_{lin}$, przetworzenie wartości tej różnicy na wartość wskazania przetwornika i zarejestrowanie jej.

Schemat modelu przetwornika dwustrunowego pokazano na rysunku 6. Przetwornik ten jest wyposażony w dwie jednakowe wstępnie napięte struny $St1$ i $St2$ usytuowane po obydwu stronach kolumny 1 w jednakowych odległościach $B1$ i $B2$ od beztarciowego przegubu 4^6 . W pobliżu strun, w jednakowych od nich odległościach, są zamocowane dwa jednakowe zespoły elektromagnetyczne współdziałające z jednym interfejsem elektronicznym IE . Współdziałanie obydwu zespołów elektromagnetycznych z tym samym interfejsem jest uzasadnione nie tylko względami ekonomicznymi konstrukcji, ale również względami dokładnościowymi przetwornika. Pobudzanie obu strun do poprzecznych drgań następuje pod wpływem impulsów elektrycznych wygenerowanych przez ten sam układ, a zliczanie czasu trwania takiej samej liczby okresów dla obydwu strun odbywa się też przez jeden i ten sam zespół. Takie rozwiązanie przetwornika dwustrunowego zmniejsza do minimum wpływ błędów instrumentalnych.



Rys. 6. Schemat modelu przetwornika dwustrunowego

⁶ W modelu przetwornika dwustrunowego przyjęto zasadę, że struny są takie same i tak samo wstępnie napięte jak w omówionym modelu przetwornika jednostrunowego.

Przemieszczając dźwignię 3 w kierunku dodatnim lub ujemnym można doprowadzić obydwie struny do jednakowego wstępnego ich napięcia. Dwie jednakowe i jednakowo napięte struny pobudzone z jednakową siłą do poprzecznych drgań zanikających drgają z taką samą częstotliwością, a tym samym wykazują jednakowe wartości wskazań $W1_0$ i $W2_0$. Zatem różnica zarówno bezpośrednich, jak i zlinearyzowanych, według zależności (3), wartości wskazań wynosi zero.

$$RW_0 = W1_0 - W2_0 = 0 \quad (6)$$

oraz

$$RW_{0lin} = W1_{0lin} - W2_{0lin} = 0 \quad (7)$$

Stan równowagi napięcia obu strun wyznacza na podziałce przetwornika miejsce zera, od którego liczy się dodatnie i ujemne zmiany wielkości WM . Po przemieszczeniu dźwigni 3 w kierunku dodatnim nastąpi skrócenie struny $St1$ i jednocześnie wydłużenie, o taką samą wielkość, struny $St2$. Przy takim położeniu dźwigni wartość wskazania $W1$ dla struny $St1$ jest większa od wartości wskazania $W2$ dla struny $St2$. Różnica tych wskazań jest dodatnia:

$$RW_1 = W1_1 - W2_1 > 0 \quad (8)$$

natomiast

$$RW_{1lin} = W1_{1lin} - W2_{1lin} < 0^7 \quad (9)$$

Po przemieszczeniu dźwigni 3 w kierunku ujemnym różnice wskazań będą odwrotne.

$$RW_2 = W1_2 - W2_2 < 0 \quad (10)$$

natomiast

$$RW_{2lin} = W1_{2lin} - W2_{2lin} > 0 \quad (11)$$

Jak już wyjaśniono, zasada działania poszczególnych, zintegrowanych ze sobą przetworników jest taka sama jak wcześniej omówionego przetwornika jednostrunowego. Po pobudzeniu do poprzecznych drgań jednej struny, zapamiętaniu wartości wskazania $W1$ i po przetworzeniu jej na zlinearyzowaną wartość $W1_{lin}$ następuje natychmiastowe automatyczne powtórzenie takich samych czynności dla drugiej struny. Obliczona różnica zlinearyzowanych wartości wskazań obydwu strun jest przetworzona na wartość wskazania przetwornika dwustrunowego i zapamiętana w komputerze.

Testowanie przetwornika dwustrunowego przeprowadza się w podobny sposób jak przetwornika jednostrunowego.

Wartości wskazań przetwornika dwustrunowego, odpowiadające wartościom wielkości mierzonych WM , ustalane są na podstawie następującej zależności:

$$WM = \frac{(W1_{lin} - W2_{lin}) - a}{c} \quad (12)$$

⁷ Zmiana znaku jest konsekwencją przyjęcia zależności (3) wykorzystanej do linearyzacji wartości wskazań $W1$ i $W2$.

w której c jest współczynnikiem nachylenia linii utworzonej przez zbiór wartości $W1_{lin} - W2_{lin}$ lub $W2_{lin} - W1_{lin}$. Współczynnik c oblicza się ze wzoru:

$$c = \frac{\Delta RW_{lin}}{\Delta WW} \quad (13)$$

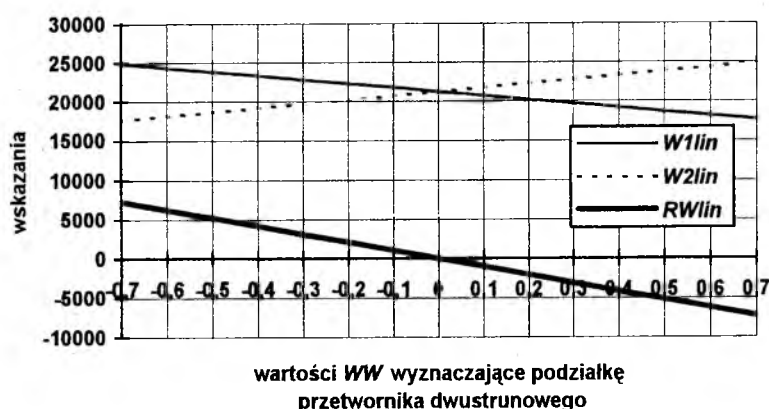
natomiast wartość a zależy od miejsca obrania początku układu pomiarowego. Dla początku układu pomiarowego obranego w punkcie podziałki przetwornika, kiedy $W1_{lin} = W2_{lin}$ wartość a równa się zero. Taki układ stanowi podstawową podziałkę przetwornika dwustrunowego. Dla omawianego przykładu $c = -10\,384$, natomiast $a = 0,00$.

Dla układu pomiarowego, w którym miejsce zera podziałki przetwornika dwustrunowego obrano w innym punkcie na osi pomiarowej, wartość a należy obliczyć indywidualnie dla każdego obranego układu.

Przykład wyników testowania modelu przetwornika dwustrunowego, dla takich samych strun i takich samych zakresów pomiarowych jak dla omówionego przetwornika jednostrunowego, podano w tabeli 2. Graficzny obraz zależności pomiędzy zadanymi wartościami wzorcowymi WW i wskazaniami oraz różnicami wskazań obydwu strun uwidoczniło na wykresie (rys. 7).

Tabela 2

WW mm	$W1$	$W1_{lin}$	$W2$	$W2_{lin}$	$RW_{lin} =$ $W1_{lin} - W2_{lin}$	ΔRW_{lin}
1	2	3	4	5	6	7
-0,7	20 041,3	24 897,2	23 817,4	17 628,4	7 268,8	1 038,4
-0,6	20 253,5	24 378,0	23 474,2	18 147,6	6 230,4	1 038,4
-0,5	20 472,7	23 858,8	23 145,4	18 666,8	5 192,0	1 038,4
-0,4	20 699,2	23 339,6	22 830,1	19 186,0	4 153,6	1 038,4
-0,3	20 933,3	22 820,4	22 527,3	19 705,2	3 115,2	1 038,4
-0,2	21 175,6	22 301,2	22 236,3	20 224,4	2 076,8	1 038,4
-0,1	21 426,5	21 782,0	21 956,2	20 743,6	1 038,4	1 038,4
0	21 686,5	21 262,8	21 686,5	21 262,8		
0,1	21 956,2	20 743,6	21 426,5	21 782,0	-1 038,4	-1 038,4
0,2	22 236,3	20 224,4	21 175,6	22 301,2	-2 076,8	-1 038,4
0,3	22 527,3	19 705,2	20 933,3	22 820,4	-3 115,2	-1 038,4
0,4	22 830,1	19 186,0	20 699,2	23 339,6	-4 153,6	-1 038,4
0,5	23 145,4	18 666,8	20 472,7	23 858,8	-5 192,0	-1 038,4
0,6	23 474,2	18 147,6	20 253,5	24 378,0	-6 230,4	-1 038,4
0,7	23 817,4	17 628,4	20 041,3	24 897,2	-7 268,8	-1 038,4



Rys. 7. Zlinearyzowane wartości $W1_{lin}$ i $W2_{lin}$ oraz różnice RW_{lin} tych wartości.

W kolumnie 1 podano zadawane wartości wzorcowe WW co 0,1 mm w zakresie $\pm 0,7$ mm. W kolumnach 2 i 3 wykazano wartości wskazań $W1$ i $W1_{lin}$ pierwszego składowego przetwornika ze struną $St1$, a w kolumnach 4 i 5 takie same wartości wskazań drugiego przetwornika ze struną $St2$. Ponieważ w modelu przetwornika dwustrunowego, działającego w układzie różnicowym, obydwie struny są jednakowe, to i bezwzględne wartości wskazań obydwu zintegrowanych przetworników też są jednakowe, ale wartości te narastają w przeciwnych kierunkach. W kolumnie 6 podano różnice zlinearyzowanych wartości RW_{lin} , natomiast w kolumnie 7 przyrosty ΔRW_{lin} kolejnych różnic RW_{lin} . Dla przetwornika dwustrunowego wartości przyrostów ΔRW_{lin} są dwukrotnie większe niż analogiczne przyrosty ΔW_{lin} przetwornika jednostrunowego (kolumna 5 w tabeli 1). Dwukrotne zwiększenie przyrostów ΔRW_{lin} powoduje również dwukrotne zwiększenie pomiarowej rozdzielczości przetwornika.

Omówione przetworniki - zarówno jedno- jak i dwustrunowe - w porównaniu z innymi przetwornikami, cechują się następującymi właściwościami:

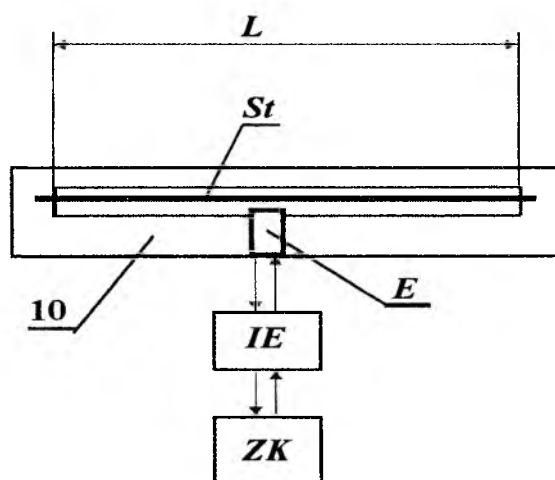
- silnym sygnałem cyfrowym,
- bardzo dużą czułością pomiarową,
- dużą trwałością i stabilnością struny jako czujnika pomiarowego,
- niezawodnością działania,
- prostotą konstrukcji czujnika strunowego,
- łatwością testowania przy wspomaganie komputerowym,
- wrażliwością na zmiany temperatury; ta cecha przetwornika jest pozytywna tylko w niektórych wypadkach, np. w konstrukcji termometru, natomiast w konstrukcjach wielu przyrządów pomiarowych jest ona zdecydowanie negatywna.

3. APARATURA STRUNOWA

Aparaturę strunową stanowią te zespoły systemu pomiarowego, które są przytwierdzone do badanego obiektu. W omawianym systemie pomiarowym zastosowano trzy rodzaje aparatury strunowej: termometr, szczelinomierz i pochyłomierz grawitacyjny. Do budowy termometru wykorzystano przetwornik jednostrunowy, natomiast do budowy szczelinomierza i pochyłomierza przetworniki dwustrunowe.

3.1. Termometr strunowy

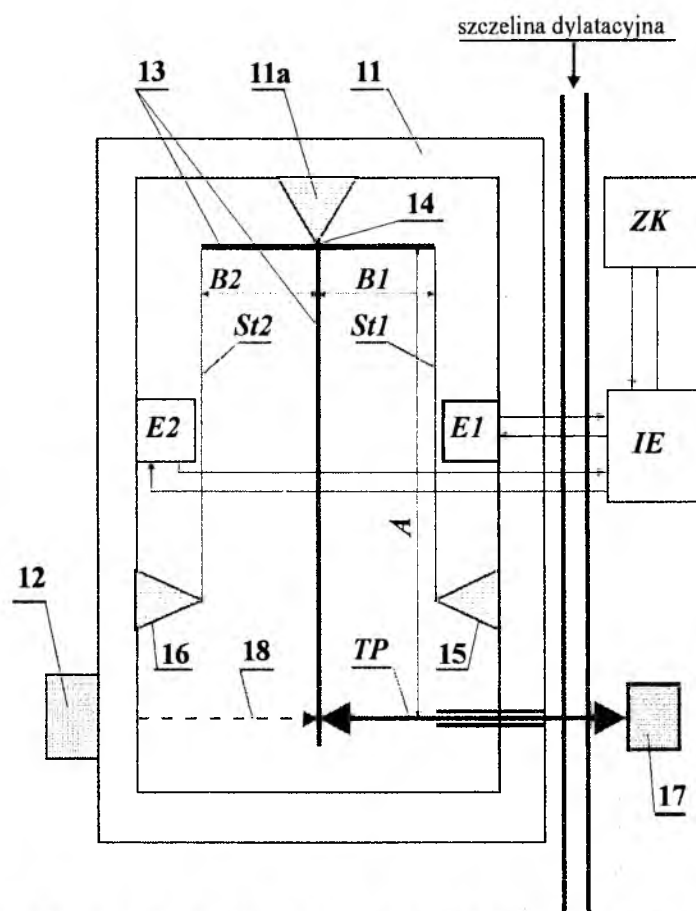
Schemat termometru strunowego przedstawiono na rysunku 8. Składa się on z korpusu 10, do którego jest przytwierdzona na stałe napięta struna St o długości L . W korpusie, w pobliżu struny, jest osadzony elektromagnetyczny zespół E połączony, za pomocą kabla, z interfejsem elektronicznym IE współpracującym z oprogramowanym komputerem ZK . Współczynnik rozszerzalności korpusu termometru jest większy niż współczynnik rozszerzalności struny. Podczas zwiększania temperatury korpus wydłuża się bardziej niż struna, powodując mocniejsze jej napięcie, natomiast podczas obniżania temperatury zachodzi odwrotne zjawisko. Procedura pobudzania struny i przetwarzania zmian częstotliwości drgań struny na zmiany wartości mierzonej temperatury jest analogiczna do procedury w opisanym modelu przetwornika jednostrunowego



Rys. 8. Schemat termometru strunowego

3.2. Szczelinomierz

Schemat szczelinomierza, na tle szczeliny dylatacyjnej, pokazano na rysunku 9.



Rys. 9. Schemat szczelinomierza (na tle szczeliny dylatacyjnej)

Korpus 11 szczelinomierza jest przymocowany do elementu 12 zastabilizowanego w badanym obiekcie w odpowiedniej odległości od szczeliny dylatacyjnej. Wewnątrz szczelinomierza znajduje się czujnik dwustrunowy. Dwuramienna dźwignia 13 tego czujnika jest połączona sprężystym przegubem 14 z łącznikiem 11a zintegrowanym z korpusem. Dwie jednakowe wstępnie napięte struny *St1* i *St2* jednymi końcami są połączone z krótszymi ramionami dźwigni,

a drugimi końcami są przytwierdzone do wsporników 15 i 16 przymocowanych do korpusu. Z dolnym końcem dłuższego ramienia dźwigni styka się jeden koniec trzpienia pomiarowego *TP*, a drugi jego koniec opiera się o płaską powierzchnię bolca 17 zastabilizowanego po drugiej stronie szczeliny dylatacyjnej badanego obiektu. Nieustanny docisk trzpienia zarówno do bolca 17, jak i do dłuższego ramienia dźwigni zapewnia sprężyna 18. Długość trzpienia *TP* jest regulowana, co umożliwia właściwe napinanie strun podczas montowania szczelinomierza na badanym obiekcie. Zmienna długość trzpienia pozwala też powiększać zakres pomiarowy szczelinomierza bez potrzeby przestawiania go na stanowisku pomiarowym.

Zmiana szerokości szczeliny dylatacyjnej powoduje jednoczesną zmianę napięcia obydwu strun. Procedura działania czujnika dwustrunowego, a tym samym przetwornika, jest taka sama jak omówionego w drugim rozdziale przetwornika dwustrunowego.

Podczas testowania szczelinomierza ustala się w jakim kierunku przyrosty jego wskazań mają być dodatnie. Wybór ten jest uwarunkowany rodzajem prowadzonych badań, np. dla pomiaru zmian szerokości szczeliny dylatacyjnej lub pęknięcia ściany praktycznie jest przyjąć zasadę, aby powiększanie się szerokości szczeliny powodowało dodatni przyrost wskazań szczelinomierza.

3.3. Pochyłomierz grawitacyjny

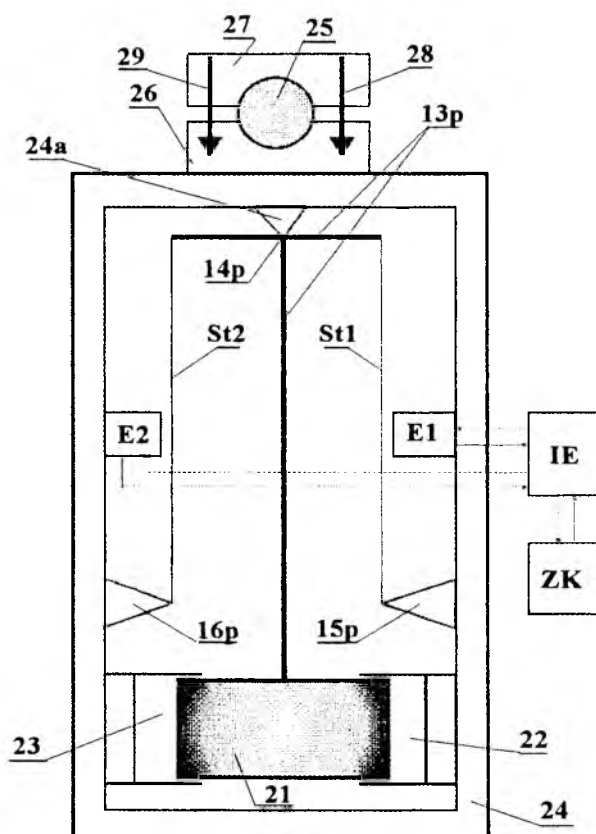
Schemat pochyłomierza grawitacyjnego pokazano na rysunku 10. Konstrukcja dwustrunowego czujnika pochyłomierza jest podobna do konstrukcji czujnika opisanego szczelinomierza. Główna różnica w konstrukcji tych czujników polega na tym, że w pochyłomierzu na końcu dłuższego ramienia dźwigni 13p zamocowano obciążnik 21 w kształcie poziomego walca. Dłuższe ramie dźwigni z obciążnikiem tworzy wahadło zawieszone na sprężystej zawieszce 14p. Obydwa końce walcowego obciążnika są umieszczone w dwóch cylindrach 22 i 23 przymocowanych do korpusu 24. Pomiedzy obciążnikiem i obydwoma cylindrami są małe szczeliny przeznaczone do przepływu powietrza podczas przemieszczania się obciążnika względem cylindrów. Dzięki takiemu układowi obciążnik i cylindry spełniają rolę tłumików drgań wahadła.

Pochyłomierz mierzy pochylenia względem pionowej płaszczyzny prostopadłej do płaszczyzny wyznaczonej przez obydwie struny czujnika. Położenie tej płaszczyzny jest oznaczone wskaźnikami na zewnątrz korpusu pochyłomierza.

Pochyłomierz jest podwieszony do elementu 25 zastabilizowanego w badanym obiekcie. Fragment elementu stabilizacyjnego, do którego jest podwieszany pochyłomierz ma kształt kulisty. Pochyłomierz z elementem 25 łączy się za pomocą dwóch zacisków, z których dolny 26 jest zintegrowany z korpusem, a górny zacisk 27 jest sprzęgany z korpusem dwoma śrubami 28 i 29. Taki

sposób łączenia pochylomierza z elementem 25 zapewnia łatwe pozycjonowanie tego przyrządu przed rozpoczęciem pomiarów i umożliwia zmianę jego położenia w celu zwiększenia zakresu pomiarowego. Ustawienie płaszczyzny pomiarowej pochylomierza względem płaszczyzny odniesienia odbywa się przez obrót i pochylanie pochylomierza na złączu kulistym. Mocowanie pochylomierza do bolca stabilizacyjnego następuje poprzez dokręcenie śrub 28 i 29. Zaciiski 26 i 27, w standardowym rozwiązaniu, umożliwiają sytuowanie płaszczyzny pomiarowej pochylomierza w płaszczyźnie odniesienia równoległej lub prostopadłej do ściany, w której jest zastabilizowany element 25. Płaszczyzny odniesienia można orientować również w innych kierunkach, np. względem kierunku północ-południe.

Podczas testowania pochylomierza ustala się w jakiej płaszczyźnie odniesienia będzie on instalowany i w którym kierunku, względem tej płaszczyzny odniesienia, przyrosty wskazań pochylomierza mają być dodatnie.



Rys. 10. Schemat pochylomierza grawitacyjnego

Jeżeli badany fragment obiektu, wraz z elementem 25, zostanie odchyłony od położenia poprzedniego, to wraz z nim odchyli się korpus 24, natomiast dłuższe ramię dźwigni, wraz z obciążnikiem, będzie usiłowało pozostać w poprzedniej (pionowej) pozycji, co spowoduje zmianę napięcia strun. Nieustanna zależność zmiany napięcia strun od zmiany pochylenia badanego fragmentu obiektu umożliwia dokonanie pomiaru pochylenia tego fragmentu w każdej chwili. Zatem zmiany napięcia obu strun w pochyłomierzu są miarą zmiany nachylenia badanego fragmentu obiektu.

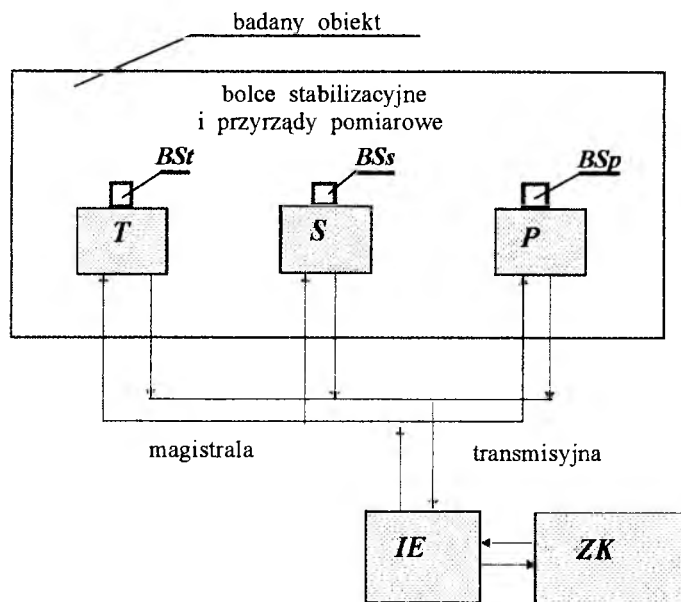
4. SKOMPUTERYZOWANY SYSTEM POMIAROWY

Uproszczony schemat omawianego systemu pomiarowego pokazano na rysunku 11. System ten posiada budowę modułową. Poszczególne moduły systemu pomiarowego oznaczono następującymi symbolami:

BSt - bolec stabilizacyjny termometru,
BSts - bolec stabilizacyjny szczelinomierza,
BSp - bolec stabilizacyjny pochyłomierza,
T - termometr,
S - szczelinomierz⁸,
P - pochyłomierz,
IE - interfejs elektroniczny,
ZK - zestaw komputerowy.

Moduły *T*, *S* i *P* to przyrządy pomiarowe połączone z badanym obiektem. Przyrządy z obiektem łączy się za pomocą specjalnych elementów metalowych osadzonych w wybranych miejscach tego obiektu. Elementy te - *BSt*, *BSts*, *BSp*, o różnych konfiguracjach, zwane najczęściej bolcami stabilizacyjnymi lub bolcami pomiarowymi, są pośrednikami pomiędzy fragmentem badanego obiektu i przyrządami pomiarowymi. Spełniają one różne role, z których trzy są najważniejsze. Po pierwsze, bolce te są bazami pomiarowymi, czyli jednoznaczными reprezentantami badanych fragmentów budowli. Po drugie, mogą one być traktowane jako punkty kontrolowane nawiązane do pomiarowej sieci odniesienia. Po trzecie, bolce pomiarowe spełniają rolę wymienników ciepła pomiędzy zainstalowanymi przyrządami pomiarowymi i badanymi fragmentami obiektu. Ta ostatnia funkcja umożliwia wyrównywanie temperatury pomiędzy przyrządem i badanym fragmentem obiektu. Jest to szczególnie ważne wtedy, gdy przyrządy są zainstalowane na zewnątrz badanego obiektu, a zwłaszcza od strony nasłonecznianej. Bolce jako wymienniki ciepła, po odpowiednim ich ukształtowaniu i zastabilizowaniu, pozwalają mierzyć temperaturę na różnych głębokościach wybranych fragmentów badanego obiektu.

⁸ Przyjęta w niniejszym opracowaniu nazwa szczelinomierz jest kontynuacją nazewnictwa tego rodzaju przyrządów pomiarowych stosowanych w geodezji inżynierskiej.



Rys. 11. Uproszczony schemat skomputeryzowanego systemu pomiarowego.

Każdy z przyrządów pomiarowych omawianego systemu pozwala mierzyć zmiany tylko wyselekcjonowanych wielkości - np. względnych przemieszczeń liniowych, zmian pochyleń. Kierunki przemieszczeń liniowych ustala się w trakcie instalowania szczelinomierzy. Każdy pochylomierz mierzy zmiany pochyleń tylko względem jednej pionowej płaszczyzny odniesienia, która jest orientowana względem badanego obiektu podczas łączenia pochylomierza z jego bolcem stabilizacyjnym. Tak więc jeden pochylomierz pozwala mierzyć tylko część zmian pochyleń względem ustalonej płaszczyzny odniesienia. Pochylomierz ten nie reaguje na boczne odchylenia badanego fragmentu obiektu. Aby wyznaczyć całkowitą zmianę pochylenia wybranego fragmentu obiektu, należy zainstalować obok siebie dwa pochylomierze ustawione w dwóch pionowych i prostopadłych do siebie płaszczyznach odniesienia.

Pomierzone zmiany wyselekcjonowanych wielkości mogą posłużyć bezpośrednio do oceny stanu bezpieczeństwa wybranych fragmentów badanego obiektu lub mogą stanowić składniki elementów metrologicznych potrzebnych do wyznaczenia przemieszczeń i odkształceń całego badanego obiektu. W bardzo wielu wypadkach pomierzone wartości przemieszczeń wybranych fragmentów obiektu mogą być traktowane jako podstawowe informacje o zachowaniu się obiektu. Na przykład zmiana szerokości szczeliny dylatacyjnej pomiędzy

sąsiednimi segmentami zapory wodnej może sygnalizować przecieki wody, ale dla doświadczonego obserwatora może zawierać również inne informacje o zachowaniu się całego układu zapor - zasób wody w zbiorniku. Pomierzone zmiany pochylenia fundamentu w różnych miejscach wznoszonego obiektu mogą być ważną informacją o nierównomiernym osiadaniu tego obiektu.

Jeden zestaw pomiarowy może być kompletowany z różnych rodzajów oraz różnych liczb przyrządów pomiarowych, a łączna liczba wszystkich przyrządów może dochodzić do kilkuset.

Przyrządy pomiarowe są połączone z interfejsem elektronicznym *IE* za pomocą kablowej magistrali transmisyjnej. Przyrządy pomiarowe mają charakter uniwersalny, natomiast magistrala transmisyjna w każdym zestawie pomiarowym jest dostosowywana zarówno do liczby przyrządów pomiarowych, jak i do ich rozmieszczenia na obiekcie.

Interfejs elektroniczny współdziała z oprogramowanym zestawem komputerowym *ZK*. Oprogramowanie jest dostosowane do ustalonej procedury pomiarowej realizowanej przez system pomiarowy. Program komputerowy steruje procesem pomiarowym, wykonując pomiary kolejno poszczególnymi przyrządami według ustalonej kolejności. Cykle pomiarowe mogą być powtarzane w ustalonych odstępach czasu. Uporządkowane wyniki pomiarów są rejestrowane w pamięci komputera. Program umożliwia również monitoring i wydruk wyników zarówno w postaci tabelarycznej, jak i graficznej.

Dzięki modułowej budowie systemu można, w trakcie badań obiektu, zwiększać liczby używanych rodzajów przyrządów pomiarowych lub dołączać inne rodzaje przyrządów przeznaczonych do pomiaru takich wielkości, jak np. ciśnienie wody gruntowej, kierunek i siła wiatru. Po zakończeniu pomiarów na jednym obiekcie system pomiarowy może być łatwo przeniesiony na inny obiekt.

Omawiany system pomiarowy przetwarza, w trakcie pomiaru, uzyskane wyniki na pożądaną postać (np. na °C, milimetry, sekundy kątowe). Podczas wykonywania pomiarów rejestrowane są data i czas pomiaru, co pozwala określać dynamikę zmian geometrycznych badanego obiektu i umożliwia przeprowadzanie analiz wyników pomiarów, głównie w celu ustalenia zależności pomiędzy pomierzonymi wartościami poszczególnych wielkości.

5. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA SKOMPUTERYZOWANEGO SYSTEMU POMIAROWEGO

W niniejszym rozdziale podano dwa przykłady zastosowania skomputeryzowanego systemu pomiarowego opracowanego i wykonanego w Instytucie Geodezji i Kartografii - jeden w odniesieniu do obiektu hydrotechnicznego, a drugi - do pięciopiętrowego budynku. Obiektem hydrotechnicznym jest budowla wlotowa górnego zbiornika wodnego w Elektrowni Wodnej „Żarnowiec”. W przykładzie tym wykazano zmiany przemieszczeń budowli wlotowej powstałe

pod wpływem zmian poziomu wody w górnym zbiorniku. W drugim przykładzie omówiono zmiany szerokości i zmiany kształtu szczeliny dylatacyjnej w budynku, spowodowane zmianami temperatury jego ścian.

W obydwu przykładach zastosowano zestawy aparatury pomiarowej o różnej konfiguracji, lecz składające się z takich samych rodzajów modułów: komputer, interfejs elektroniczny, termometry, szczelinomierze i pochyłomierze.

Charakterystyki metrologiczne przyrządów pomiarowych wchodzących w skład obydwu systemów pomiarowych podano w tabeli 3.

Tabela 3

Nazwa przyrządu → Parametr ↓	Termometr °C	Szczelinomierz mm	Pochyłomierz sekundy
Zakres pomiarowy	od -10 do +40	±10	±2 400 (±40')
Rozdzielczość	0,01	0,001	0,5
Dokładność pomiaru	0,1	±0,05 ⁹	±3

Podane parametry metrologiczne przyrządów zostały ustalone na podstawie badań strun pomiarowych, a następnie potwierdzone w trakcie badań laboratoryjnych tych przyrządów.

5.1. Pomiary przemieszczeń budowli wlotowej Elektrowni Wodnej „Żarnowiec”

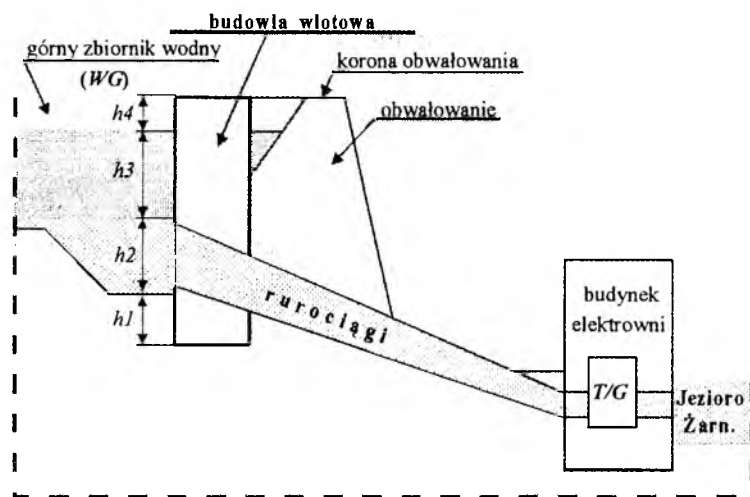
5.1.1. Usytuowanie i charakterystyka budowli wlotowej

Budowla wlotowa górnego zbiornika wodnego stanowi jeden z niewralgicznych fragmentów Elektrowni Wodnej „Żarnowiec”. Schemat tej elektrowni, w pionowym przekroju równoległym do osi rurociągów, pokazano na rysunku 12.

Budowla wlotowa, składająca się z dwóch symetrycznych części oddzielonych od siebie pionową szczeliną dylatacyjną, jest osadzona w wewnętrznym, pochylonym zboczu ziemnego obwałowania górnego zbiornika wodnego. Z każdej części tej budowli wychodzą po dwa rurociągi, których średnice w ich pobliżu wynoszą 710 cm, a przy wejściu do budynku elektrowni 540 cm. Rurociągi łączą, poprzez turbiny generatorów T/G i odpowiednie układy sterowni-

⁹ W krótkookresowych pomiarach, przy stałej temp. przyrządu dokładność pomiaru wynosi 0,01 mm.

cze, górny zbiornik wodny z Jeziorem Żarnowieckim. Podczas pracy elektrowni rurociągami przepływa woda na przemian do dołu (wytwarzanie energii elektrycznej) lub do góry (pompowanie wody do górnego zbiornika wodnego). Maksymalny przepływ wody wszystkimi rurociągami wynosi $700 \text{ m}^3/\text{sek}$, czyli tyle ile wynosi średnio przepływ Wisły w okolicach Warszawy.



Rys. 12. Schemat Elektrowni Wodnej „Żarnowiec”
(przekrój pionowy równoległy do osi rurociągów)

W konstrukcji i posadowieniu omawianej budowli można wyróżnić cztery poziome strefy. Najniższa strefa $h1$ obejmuje część budowli osadzonej w podłożu górnego zbiornika. Występują tam prawie ustabilizowane warunki termiczne i wilgotnościowe. Strefa $h2$ obejmuje tę część budowli, która z jednej strony styka się z obwałowaniem, a z drugiej strony jest nieustannie zanurzona w wodzie. Tutaj warunki wilgotnościowe też są ustabilizowane, a zmienia się tylko temperatura, głównie w zależności od pory roku. W strefie $h3$ sytuacja jest zróżnicowana. Ta część budowli z jednej strony częściowo styka się na stałe z obwałowaniem i częściowo (okresowo) z wodą, a z drugiej strony na skutek zmiany poziomu wody jest nią na przemian zasłaniana i odsłaniana. Zmiana poziomu wody w cyklu dobowym dochodzi do 16 metrów. We wnętrzu tej części budowli warunki termiczne i wilgotnościowe zmieniają się powoli, natomiast odsłaniane i często nasłoneczniane niektóre powierzchnie mocno się nagrzewają, a potem są szybko chłodzone wodą. W wyniku częstych i szybkich zmian temperatury i wilgotności powstają duże naprężenia powierzchniowe powodujące rozwarstwianie zewnętrznych warstw budowli. Strefa $h4$ budowli,

całkowicie odsłonięta, znajduje się pod wpływem bardzo zróżnicowanych warunków atmosferycznych - nasłonecznienia, deszczu, mrozu. Na górnej powierzchni tej właśnie części budowli została zainstalowana aparatura pomiarowa.

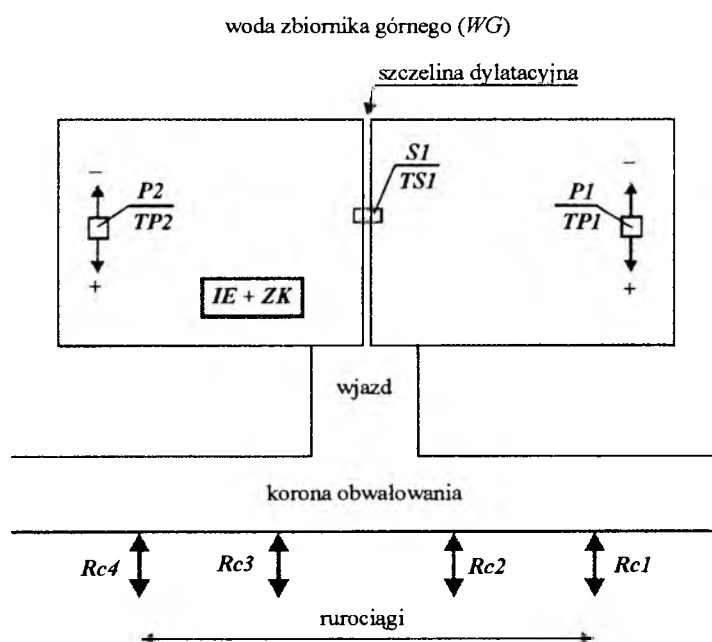
5.1.2. Aparatura pomiarowa i jej rozmieszczenie na budowli wlotowej

Schemat rozmieszczenia aparatury pomiarowej pokazano na rysunku 13. W skład zestawu pomiarowego wchodzi: szczelinomierz *SI* i połączony z nim termometr *TSI*, dwa pochyłomierze *P1* i *P2* oraz połączone z nimi termometry *TP1* i *TP2*, interfejs elektroniczny *IE* oraz zestaw komputerowy *ZK*. Szczelinomierz umieszczono w niewielkim zagłębieniu pod górną powierzchnią budowli, tak aby bolce stabilizacyjne były osadzone w monolitycznym bloku tej budowli. Szczelinomierz wraz z termometrem został zamknięty w hermetycznej, gumowej oponicy, a całe zagłębienie nakryto metalową osłoną. Pochyłomierze zawieszono na stalowych pionowych kolumnach osadzonych głęboko w bloku budowli. Tak samo jak szczelinomierz, obydwa pochyłomierze wraz z termometrami zostały zamknięte w hermetycznych oponicach i osłonięte metalowymi osłonami. Jedna osłona zestawu *P1+TP1* jest wykonana tylko z blachy, natomiast osłonę zestawu *P2+TP2* wyposażono w izolację termiczną. Wszystkie przyrządy połączono kablami z interfejsem *IE* współpracującym z zestawem komputerowym *ZK*. Komputer i interfejs umieszczono w budynku posadowionym na budowli wlotowej. Komputer został wyposażony w oprogramowanie opracowane w Dziale Mechaniczno-Konstrukcyjnym Instytutu Geodezji i Kartografii.

Szczelinomierz ustawiono tak, aby początkowe jego wskazania kształtowały się na poziomie bliskim zeru. Dodatni przyrost wskazań szczelinomierza oznacza powiększanie się szerokości szczeliny dylatacyjnej, a ujemna zmiana - zmniejszanie się szerokości. Umieszczenie termometrów *TSI*, *TP1* i *TP2*, pod oponicą gumową, na zewnątrz korpusów szczelinomierza i pochyłomierzy umożliwia pomiar temperatur, w jakich funkcjonują te przyrządy. Ze względu na kontakt szczelinomierza z blokiem budowli poprzez krótki bolec stabilizacyjny i umieszczenie szczelinomierza w zagłębieniu, temperaturę wykazaną przez termometr *TSI* potraktowano w niniejszym opracowaniu również jako temperaturę tego fragmentu budowli, w której jest osadzony szczelinomierz. Pochyłomierze *P1* i *P2* są ustawione w taki sposób, że mierzą zmiany pochylenia budowli względem pionowych płaszczyzn prostopadłych do szczeliny dylatacyjnej, czyli pochylenia budowli „na wodę” i „od wody”. Dodatnie przyrosty wskazań pochyłomierzy oznaczają, że budowla odchyła się „od wody” zbiornika, a ujemne zmiany wskazań oznaczają nachylenie budowli „na wodę” zbiornika.

Odształcenia i przemieszczenia budowli wlotowej mogą być powodowane różnymi przyczynami. W prowadzonych badaniach uwzględniono dwie

przyczyny przemieszczeń budowli - zmiany temperatury i zmiany poziomu wody w górnym zbiorniku. Przy jednoczesnym działaniu obydwu czynników nie można ustalić, którego wpływ jest większy. W omawianym przykładzie pokazano wpływ zmian poziomu wody w górnym zbiorniku na przemieszczanie się budowli wlotowej. Wybrano więc okres, w którym zmiany temperatury w cyklu dobowym były tak małe, że z założenia nie powodowały znaczących przemieszczeń badanej budowli. Mierzono zatem zmiany pochyleń obydwu części budowli wlotowej i zmianę szerokości szczeliny pomiędzy nimi spowodowane zmianą poziomu wody w górnym zbiorniku.



Rys. 13. Schemat rozmieszczenia aparatury pomiarowej na budowli wlotowej

5.1.3. Przykład wyników pomiarów przemieszczeń budowli wlotowej

Przykład wyników pomiarów przemieszczeń budowli wlotowej, z okresu od 15 listopada godz. 21⁰⁰ do 18 listopada godz. 1⁰⁰ 1996 r., podano w tabeli 4. Poziomy wody WG w górnym zbiorniku są zredukowane o 100 metrów wzglę-

dem poziomu wody w Jeziorze Żarnowieckim¹⁰. Pogrubioną czcionką podano maksymalne i minimalne poziomy wody *WG* oraz maksymalne i minimalne wskazania *s1* szczelinomierza¹¹. Trudno jest dokładnie ustalić ekstremalne wartości wskazań *p1* i *p2* pochylomierzy grawitacyjnych, ponieważ praca turbogeneratorów powoduje duże i nieregularne drgania budowli wlotowej.

Porównując poziomy wody *WG* oraz wartości wskazań *s1* widać charakterystyczną zależność pomiędzy tymi wartościami. Jeżeli poziom wody rośnie, to zmniejsza się szerokość szczeliny i odwrotnie - szerokość szczeliny powiększa się podczas obniżania się poziomu wody. Tempo zmian wartości wskazań *s1* zależy od tempa zmian poziomu wody. Przy ustabilizowanym poziomie wody zmiany szerokości szczeliny są minimalne. Te minimalne zmiany można tłumaczyć bezwładnością układu budowla wlotowa - woda górnego zbiornika. Wysoką rozdzielczość, z jaką są rejestrowane wartości wskazań *s1*, można w tym wypadku traktować jako dokładność pomiaru szczeliny dylatacyjnej. Maksymalne poziomy wody *WG* i minimalne wartości wskazań *s1* występują w tym samym czasie, natomiast maksymalne wartości wskazań *s1* szczelinomierz wykazuje z pewną nieregularnością w stosunku do minimalnego poziomu wody. Te zależności oraz zmiany pochyłeń obydwu części budowli wlotowej są jeszcze lepiej uwidocznione na wykresach (rys. 14 i 15).

Obydwa wykresy sporządzono według jednolitego układu. Każdy z nich składa się z dwóch nałożonych na siebie wykresów. Na lewych pionowych osiach są podawane wartości pomierzonych temperatur i wartości *WG* względnych poziomów wody w górnym zbiorniku¹². Na prawej pionowej osi wykresu (rys. 14) podane są wartości wskazań pochylomierzy, natomiast na takiej samej osi drugiego wykresu (rys. 15) - wartości wskazań szczelinomierza. Na poziomej osi każdego wykresu podano godziny, w których były wykonywane pomiary. Na początku i na końcu poziomej osi podano datę i godzinę rozpoczęcia i zakończenia pomiarów.

Na wykresie (rys. 14), tak samo jak w tabeli 3, widać, że wartości wskazań *p1* i *p2* obydwu pochylomierzy nie są regularne w tym czasie, kiedy regularnie zmienia się poziom wody *WG*. Jak już wspomniano, pracują wtedy zarówno generatory, jak i turbiny, powodując silne drgania budowli wlotowej. W godzinach popołudniowych, przy stałym poziomie wody, tzn. nie obciążonych turbogeneratorach, wskazania obydwu pochylomierzy są stałe. Widać też, że podczas zmiany poziomu wody większą nieregularność wskazań wykazuje pochylomierz *P1* zainstalowany na segmencie budowli, z którego wychodzą rurociągi *Rc1* i *Rc2* (rys. 13). Stopień nieregularności wskazań omawianych pochylomie-

¹⁰ Poziom wody w górnym zbiorniku był mierzony aparaturą Elektrowni Wodnej „Żarnowiec”.

¹¹ W omawianych przykładach dużymi literami oznaczono symbole przyrządów pomiarowych, natomiast małymi literami symbole wartości wskazań odpowiednich przyrządów.

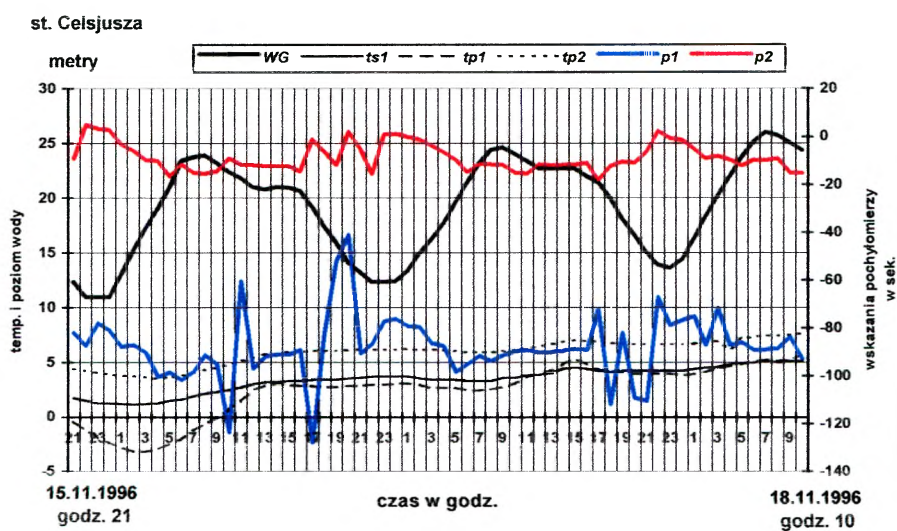
¹² Umieszczenie na wspólnej osi wartości poziomów wody i temperatur jest możliwe dzięki zbliżonym wartościom liczbowym poziomów i temperatur.

Tabela 4

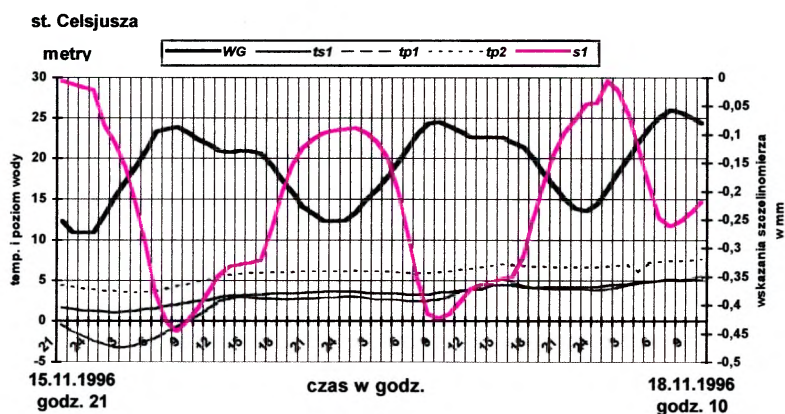
Data	Godz.	WG m	tsl °C	tp1 °C	tp2 °C	s1 mm	p1 sek	p2 sek
1	2	3	4	5	6	7	8	9
15.11.96	21	12,3	1,7	-0,4	4,3	-0,006	-82,2	-9,0
	22	10,9	1,5	-1,2	4,2	-0,012	-87,5	4,8
	23	10,9	1,3	-1,8	4,0	-0,017	-78,0	3,1
	24	10,9	1,3	-2,8	3,7	-0,022	-81,0	2,8
16.11.96	1	13,0	1,2	-2,8	3,7	-0,083	-88,1	-3,4
	2	15,2	1,1	-3,2	3,7	-0,113	-87,3	-6,1
	3	17,2	1,2	-3,2	3,6	-0,157	-90,3	-9,9
	4	19,0	1,3	-3,0	3,5	-0,219	-100,5	-10,2
	5	21,0	1,5	-2,5	3,6	-0,293	-98,6	-16,7
	6	23,4	1,6	-2,1	3,1	-0,381	-101,9	-11,6
	7	23,7	1,9	-1,3	4,0	-0,429	-98,4	-14,9
	8	23,9	2,1	-0,7	4,3	-0,446	-91,4	-15,5
	9	23,2	2,3	0,0	4,5	-0,427	-95,0	-14,6
	10	22,4	2,5	0,7	4,8	-0,405	-123,8	-9,0
	11	21,8	2,7	1,5	5,1	-0,378	-60,6	-11,6
	12	21,0	3,0	2,4	5,1	-0,348	-97,1	-11,9
	13	20,8	3,2	2,8	5,7	-0,332	-92,0	-12,5
	14	21,0	3,2	3,0	5,8	-0,329	-91,1	-12,5
	15	20,9	3,3	2,9	5,9	-0,326	-91,1	-12,5
	16	20,6	3,3	2,8	5,9	-0,322	-89,3	-14,5
	17	19,2	3,4	2,8	6,0	-0,265	-127,9	-11,0
	18	17,4	3,4	2,7	6,0	-0,200	-81,2	-6,3
	19	15,9	3,4	2,7	6,0	-0,153	-52,2	-5,0
	20	14,1	3,5	2,8	6,1	-0,123	-41,0	+1,9
	21	13,2	3,6	2,8	6,1	-0,107	-90,6	-5,2
	22	12,3	3,7	2,9	6,1	-0,097	-86,7	-3,7
	23	12,4	3,7	2,9	6,1	-0,093	-77,2	+1,0
	24	12,4	3,7	3,0	6,1	-0,090	-76,2	+1,3
17.11.96	1	13,3	3,7	3,0	6,2	-0,088	-79,2	-0,2
	2	14,9	3,5	2,9	6,1	-0,096	-79,7	-1,1
	3	16,2	3,4	2,6	6,1	-0,112	-86,4	-4,0
	4	17,7	3,4	2,6	6,1	-0,138	-87,6	-6,6
	5	19,6	3,4	2,6	6,0	-0,195	-98,5	-9,6
	6	21,4	3,3	2,4	5,9	-0,274	-95,2	-14,8
	7	23,2	3,3	2,4	5,9	-0,357	-91,6	-11,6
	8	24,4	3,3	2,5	5,9	-0,415	-93,8	-11,6
	9	24,6	3,6	2,7	6,0	-0,424	-91,5	-12,0
	10	24,0	3,6	3,0	6,1	-0,416	-89,8	-15,1
	11	23,4	3,8	3,6	6,3	-0,394	-89,1	-15,7
	12	22,7	3,9	3,9	6,4	-0,371	-90,3	-11,6
	13	22,7	4,0	4,2	6,6	-0,364	-90,3	-12,2
	14	22,7	4,4	4,8	6,8	-0,359	-89,5	-12,0
	15	22,7	4,5	5,3	7,0	-0,354	-88,8	-11,9
	16	22,0	4,4	4,8	6,9	-0,351	-89,2	-11,0
	17	21,5	4,2	4,3	6,8	-0,315	-72,1	-18,3
	18	20,0	4,1	4,1	6,7	-0,247	-112,1	-12,5
	19	18,1	4,2	4,0	6,7	-0,182	-82,0	-10,4
	20	16,6	4,2	3,9	6,6	-0,130	-109,3	-11,0
	21	15,0	4,2	3,9	6,6	-0,095	-110,5	-6,3
	22	13,9	4,2	3,9	6,6	-0,073	-67,0	+2,2
	23	13,6	4,2	3,9	6,6	-0,047	-78,8	-0,8
	24	14,4	4,2	3,8	6,6	-0,044	-76,9	-1,6
18.11.96	1	16,3	4,4	3,9	6,7	-0,006	-75,3	-5,4

rzy grawitacyjnych można traktować też jako dodatkowe źródło informacji o zachowaniu się budowli wlotowej. Problem ten nie będzie omawiany w niniejszej publikacji. Mimo nieregularności wskazań obydwu pochyłomierzy widać, że wzrost poziomu wody *WG* powoduje zmniejszanie wartości ich wskazań. Oznacza to, że budowla pochyla się wtedy „na wodę”. Zjawisko to można wytłumaczyć tym, że wzrost poziomu wody wywołuje największy wzrost jej ciśnienia w pobliżu dna zbiornika, co powoduje największy wzrost parcia wody na dolną część budowli. Dolna część budowli jest bardziej „wciskana” w obwałowanie niż jej części położone wyżej. Obniżanie poziomu wody *WG* powoduje zwiększanie wartości wskazań obydwu pochyłomierzy, czyli pochylanie się budowli „od wody”. Po zmniejszeniu parcia wody dolna część budowli częściowo „cofa się” w granicach sprężystości układu budowla-obwałowanie.

Zmiana poziomu wody działa w podobny sposób na dno zbiornika oraz na mury oporowe stykające się z budowlą wlotową. Zmiana parcia wody na te mury oporowe jest prawdopodobnie główną przyczyną powstawania na tym obszarze szczelin przeciekowych.



Rys. 14. Zmiany pochyleń budowli wlotowej w zależności od zmian poziomu wody *WG*.



Rys. 15. Zmiany szerokości szczeliny dylatacyjnej w zależności od zmian poziomu wody WG.

Na wykresie (rys. 15) pokazano zmiany szerokości szczeliny dylatacyjnej oddzielającej obydwie części budowli wlotowej. Zależność pomiędzy zmianą poziomu wody i zmianą szerokości szczeliny jest bardzo klarowna. Jeżeli poziom wody rośnie, to zmniejsza się wartość wskazania s_1 wykazana przez szczelinomierz. Oznacza to, że szczelina w górnej strefie budowli zwęża się, a podczas obniżania poziomu wody - rozszerza się. Okresowe zmiany szerokości szczeliny, przy zmianie poziomu wody o 15 m, dochodzą do 0,45 mm. Zmniejszanie się szerokości szczeliny dylatacyjnej pod wpływem wzrostu poziomu wody w górnym zbiorniku powodowane jest parciem wody na boczne pionowe powierzchnie budowli (równoległe do szczeliny dylatacyjnej). W wyniku tego parcia obydwie części budowli, mimo uszczelnienia szczeliny dylatacyjnej, zbliżają się do siebie i oddalają się po obniżeniu poziomu wody. W wyniku tych zmian powstają również szczeliny przeciekowe pomiędzy dnem zbiornika i bocznymi powierzchniami budowli.

Równomierne narastanie zmian szerokości szczeliny dylatacyjnej, spowodowane równomierną zmianą poziomu wody w górnym zbiorniku, świadczy o tym, że drgania budowli, zarejestrowane przez pochyłomierze grawitacyjne, nie mają wpływu na dokładność działania szczelinomierza. Równomierność ta jest podstawą do oczekiwania, że wartości zmian szerokości szczeliny powinny być proporcjonalne do zmian poziomu wody. Wykres (rys. 15) obrazuje, że takiej proporcjonalności nie ma. Podczas nocnego napełniania zbiornika górnego, pomiędzy 15 i 16 listopada, poziom wody wzrósł o 13 m, a szerokość szczeliny zmniejszyła się o 0,44 mm (0,034 mm/m przyrostu poziomu wody). Po dwuetapowym obniżeniu poziomu wody o 11,6 m szerokość szczeliny powiększyła się o 0,446 mm (0,038 mm/m). Następný wzrost poziomu wody o 12,3 m

spowodował zmniejszenie szerokości szczeliny o 0,336 mm (0,027 mm/m). Kolejne dwuetapowe obniżenie poziomu wody o 11 m spowodowało powiększenie się szerokości szczeliny o 0,418 mm (0,038 mm/m). Po kolejnym zwiększeniu poziomu wody o 12,4 m szerokość szczeliny zmalała o 0,256 mm (0,021 mm/m). W omawianym przykładzie maksymalny przyrost szerokości szczeliny na 1 m przyrostu poziomu wody jest prawie dwukrotnie większy od analogicznego przyrostu minimalnego.

Jest jeszcze jedna charakterystyczna cecha wspólna dla wykresów przedstawionych na rysunkach 14 i 15. Po nieregularnych zmianach pochylenia pierwszej części budowli, 16 listopada 1996 r. w godzinach 17⁰⁰-20⁰⁰, obniżyło się apogeum krzywej obrazującej zmianę szerokości szczeliny dylatacyjnej, a po kolejnych nieregularnych wskazaniach tego samego pochyłomierza, 17 listopada w godzinach 18⁰⁰-22⁰⁰, najniższy punkt tej krzywej został znacznie przesunięty do góry, przy jednoczesnym dużym zmniejszeniu przyrostu zmiany szerokości szczeliny spowodowanej zmianą poziomu wody o jeden metr. Analizując wpływy jednoczesnych nieregularnych zmian pochyłeń tej części budowli, na której jest zamocowany pochyłomierz *P1* i zmian szerokości szczeliny można wnioskować, że duże drgania budowli powodują jej przemieszczanie nie tylko kątowe, ale również liniowe. Dokładne określenie tych złożonych przemieszczeń byłoby możliwe po zainstalowaniu na budowli wlotowej większej liczby przyrządów pomiarowych.

5.2. Pomiary zmian szerokości i zmian kształtu szczeliny dylatacyjnej w pięciopiętrowym budynku

Zainstalowanie skomputeryzowanego systemu pomiarowego w pięciopiętrowym budynku miało na celu ustalenie zależności pomiędzy zmianami temperatur ścian zewnętrznych badanego budynku a zmianami szerokości i kształtu szczeliny dylatacyjnej dzielącej ten budynek na dwie symetryczne części.

5.2.1. Charakterystyka budynku

Obiektem badań jest pięciopiętrowy budynek przy ul. Jasnej 2/4 w Warszawie. Budynek ten, o długości 88 m, szerokości 15 m i wysokości 25 m, jest posadowiony na jednolitym fundamencie i w połowie długości podzielony szczeliną dylatacyjną na dwie symetryczne części. Żelbetowa konstrukcja nośna budynku jest wypełniona cegłą paloną. Obydwie długie zewnętrzne ściany prawie na całej długości są tylko częściowo monolityczne na wysokości 65 cm, mierzząc od podłogi każdej kondygnacji, a powyżej znajdują się filary o przekrojach poprzecznych 30x45 cm. Pomiędzy filarami wmontowane są okna. Płaski i cienki dach żelbetowy, pokryty papą, jest ułożony na żelbetowej kratownicy zintegrowanej ze ścianami nośnymi. Dłuższe boki budynku są usytuowane prawie pro-

stopadłe do kierunku północ-południe. Przy takim położeniu budynku, w dni bezchmurne, jedna ściana szczytowa jest nasłoneczniana rano, a druga ściana szczytowa w godzinach popołudniowych. Najbardziej nasłoneczniana jest ściana południowa, natomiast druga ściana północna jest w tym czasie całkowicie ocieniona. Częściowe i krótkotrwałe nasłonecznianie ściany północnej następuje tylko we wczesnych godzinach rannych i późnym popołudniem. Wokół budynku odbywa się intensywny ruch samochodowy.

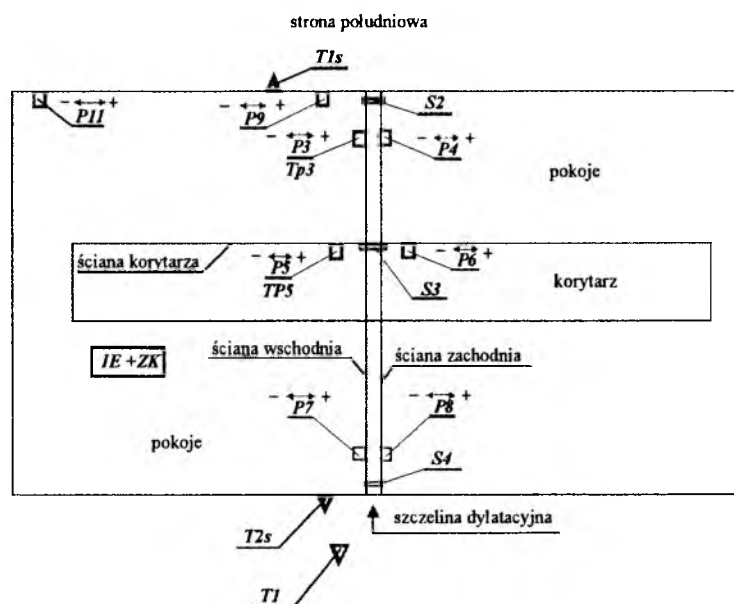
5.2.2 Aparatura pomiarowa i jej rozmieszczenie w budynku

Schemat rozmieszczenia aparatury pomiarowej w badanym budynku pokazano na rysunku 16. Najwięcej aparatury pomiarowej zlokalizowano w obrębie szczeliny dylatacyjnej na jednakowej wysokości na piątym piętrze.

Szczelinomierze *S2* i *S4* zostały zamocowane do ściany wschodniej w taki sposób, że trzpienie pomiarowe tych przyrządów przechodzą przez otwory wykonane w ścianie wschodniej i opierają się o kowadzelka pomiarowe osadzone w ścianie zachodniej. Trzeci szczelinomierz *S3* oraz jego kowadzelko pomiarowe zostały zamocowane do ściany korytarza. Charakterystyki pomiarowe szczelinomierzy ustalono tak, aby powiększaniu się szerokości szczeliny towarzyszyły dodatnie przyrosty wskazań tych przyrządów, a zmniejszaniu szerokości szczeliny - przyrosty ujemne. Podczas mocowania szczelinomierzy starano się, aby początkowe ich wskazania były bliskie zera.

Pochyłomierze *P3* i *P7* zamocowano do ściany wschodniej, a *P4* i *P8* do ściany zachodniej. Pochyłomierze *P5* i *P6*, podobnie jak szczelinomierz *S3*, osadzono na ścianie korytarza w pobliżu szczeliny dylatacyjnej. Pozostałe dwa pochyłomierze, *P9* i *P11*, przytwierdzono do końców ściany południowej wschodniej części budynku. Wszystkie pochyłomierze są jednakowo zorientowane i mierzą zmiany pochyłeń względem pionowych płaszczyzn równoległych do pionowej płaszczyzny symetrii szczeliny dylatacyjnej. Dodatni przyrost wskazań każdego pochyłomierza oznacza zmianę pochylenia w kierunku zachodnim, zaś ujemny przyrost wskazań - zmianę pochylenia w kierunku wschodnim.

Rozlokowanie termometrów jest różne. Na zewnątrz budynku znajdują się trzy termometry: *T1s* przeznaczony do pomiaru temperatury ściany południowej, *T2s* - do pomiaru temperatury ściany północnej i *T1* - do pomiaru temperatury powietrza od strony północnej budynku. Dwa pierwsze termometry są umieszczone na głębokości 4 cm od zewnętrznych powierzchni ścian. Termometr *TP3* styka się z pochyłomierzem *P3* i razem są osłonięte opończą gumową w celu zminimalizowania wpływu na nie zmian temperatury podczas nasłoneczniania pomieszczeń i otwierania okien. Takimi samymi opończami gumowymi osłonięto wszystkie przyrządy usytuowane w pobliżu ścian południowej i północnej. Termometr *TP5* styka się z pochyłomierzem *P5*.



Rys. 16. Schemat rozmieszczenia aparatury pomiarowej w budynku przy ul. Jasnej 2/4 w Warszawie

Przyrządy pomiarowe i termometry są połączone kablami z interfejsem elektronicznym *IE* współdziałającym z komputerem *ZK*. Interfejs i komputer znajdują się również na tym samym piętrze badanego budynku.

Komputer jest wyposażony w specjalne oprogramowanie opracowane przez polską firmę *OLBRYSZ ELECTRONIC*. Oprogramowanie składa się z dwóch części - pomiarowej i analityczno-prezentacyjnej. Pomiarowa część oprogramowania zapewnia sterowanie procesem pomiarowym, automatyczny pomiar i gromadzenie w bazie danych komputera uporządkowanych wyników pomiarów. Kolejność uruchamiania poszczególnych przyrządów systemu jest ustalana przed rozpoczęciem badań obiektu i wpisana do programu komputerowego. Pomiary mogą być wykonywane z jednego lub wielokrotnego pobudzenia struny. Czas pomiaru i rejestracji wyniku z jednego pobudzenia struny wynosi około 3 sekund. Po zakończeniu pomiaru jednym przyrządem następuje automatycznie pomiar następnym przyrządem. Czas trwania pomiaru całej serii pomiarowej na omawianym budynku (5 sztuk termometrów, 8 sztuk pochylomierzy i 3 sztuki szczelinomierzy) wynosi 2 min. i 20 sek. Odstępów pomiędzy kolejnymi seriami pomiarowymi mogą wynosić 5, 10, 15, 30, 60 min. lub 24 godz. Wybór odstępów pomiędzy kolejnymi seriami pomiarowymi ustala się przed rozpoczęciem pomiarów i w każdej chwili można dokonać zmiany. W

omawianym przykładzie odstępy czasowe pomiędzy kolejnymi seriami pomiarowymi wynosiły 60 min. Program analityczno-prezentacyjny umożliwia wybór pojedynczych lub wybranych grup wyników pomiarów z dowolnych okresów badania obiektu. Wybrane wyniki mogą być monitorowane w różnych konfiguracjach oraz drukowane w postaci tabelarycznej, wykresów lub map.

5.2.3. Przykład wyników pomiarów zmian szerokości i zmian kształtu szczeliny dylatacyjnej

Przykład wyników badań zmian szerokości i zmian kształtu szczeliny dylatacyjnej w omawianym budynku, z dwudobowego okresu, podano w tabelach 5 i 6. Pomiary wykonywano 22 i 23 kwietnia 1997 r., kiedy zmiany temperatur ścian zewnętrznych były największe i najczęstsze. W celu ułatwienia analizowania wyników pomiarów zawartych w tabelach ekstremalne wartości wskazań przyrządów podano pogrubioną czcionką.

Wyniki niektórych pomiarów, w różnych konfiguracjach, przedstawiono na wykresach (rys. 17-21). Na wykresach tych zmiany temperatur, szerokości i kształtu szczeliny dylatacyjnej podano z trzydobowego okresu, tj. od 22 kwietnia 1997 r. godz. 00⁰⁰ do 24 kwietnia godz. 22⁰⁰.

Na wykresie (rys. 17) uwidoczniło się wartości temperatur pomierzonych przez wszystkie zainstalowane termometry. Wartości pomierzonych temperatur zależały od miejsca zainstalowania termometrów. 22 kwietnia między godziną 3⁰⁰ i 4⁰⁰ temperatura powietrza (*t1*) na zewnątrz budynku wynosiła około 0°C i od tego czasu szybko rosła aż do godziny 14⁰⁰, a następnie zaczęła opadać. Krótkotrwały wzrost temperatury *t1*, około godziny 17⁰⁰, został spowodowany nasłonecznieniem stanowiska, w którym umieszczono termometr *T1*. Od godziny 17⁰⁰ zaczął się szybki i dosyć równomierny spadek temperatury *t1* aż do osiągnięcia minimalnej wartości około godziny 4⁰⁰ następnego dnia. W cyklach dobowych charakter zmian wartości temperatury wykazywanej przez termometr *T1* w dni słoneczne jest podobny. Zmiana temperatury *t1s* ściany południowej jest bardzo równomierna, a jej wartość ściśle uzależniona od stopnia nasłonecznienia budynku. Temperatura *t2s* ściany północnej jest zbliżona do temperatury powietrza na zewnątrz budynku. Wartości wszystkich trzech temperatur *t1*, *t1s* i *t2s* są najbardziej zbliżone do siebie we wczesnych godzinach porannych, co świadczy o tym, że o tej porze doby budynek jest najbardziej termicznie ustabilizowany. Tylko w tym okresie każdej doby wykonywane pomiary mogą być wykorzystane do oceny zmian geometrycznych i przemieszczeń badanego obiektu w długim okresie. Temperatury wewnątrz budynku też są zróżnicowane i zależą od miejsca oraz sposobu posadowienia termometru. Temperatura *tp3* jest temperaturą pochylomierza *P3* umieszczonego w pobliżu ściany południowej. Mimo zastosowania oponczy gumowej, temperatura ta była w pewnym stopniu uzależniona od nasłonecznienia budynku, natomiast temperatura *tp5* na korytarzu była stała.

Tabela 5

DATA	CZAS godz:min:sek	$t1s$ °C	$t2s$ °C	$t1$ °C	$tp3$ °C	$tp5$ °C
1	2	3	4	5	6	7
97-04-22	00:00:00	4,55	5,02	1,97	20,13	20,13
97-04-22	01:00:00	3,91	4,67	2,27	19,59	20,14
97-04-22	02:00:01	3,30	4,23	1,15	19,19	20,15
97-04-22	03:00:00	2,75	3,79	0,60	18,89	20,16
97-04-22	04:00:00	2,15	3,55	0,02	18,84	20,18
97-04-22	05:00:01	2,05	3,35	1,00	18,53	20,23
97-04-22	06:00:00	2,01	3,50	1,56	18,28	20,27
97-04-22	07:00:00	2,46	4,42	3,54	18,41	20,35
97-04-22	08:00:01	3,70	5,55	5,02	18,93	20,38
97-04-22	09:00:01	6,72	6,85	6,84	19,84	20,41
97-04-22	10:00:01	9,86	9,74	8,22	20,42	20,47
97-04-22	11:00:00	11,89	10,66	9,31	20,94	20,55
97-04-22	12:00:00	15,43	11,32	9,63	21,20	20,71
97-04-22	13:00:01	18,72	11,61	9,58	21,23	20,74
97-04-22	14:00:01	17,28	11,41	12,52	20,15	20,71
97-04-22	15:00:00	14,83	12,20	12,27	20,55	20,62
97-04-22	16:00:00	12,27	11,96	11,49	20,49	20,56
97-04-22	17:00:01	12,13	13,43	15,09	20,50	20,57
97-04-22	18:00:00	11,48	13,65	11,94	20,41	20,34
97-04-22	19:00:00	10,22	11,80	9,34	20,40	20,24
97-04-22	20:00:01	8,85	9,61	6,88	20,46	20,18
97-04-22	21:00:00	8,03	8,45	5,99	20,60	20,14
97-04-22	22:00:00	6,13	7,10	4,79	20,40	20,16
97-04-22	23:00:01	5,30	6,60	4,13	20,33	20,17
97-04-23	00:00:00	4,73	6,18	3,91	20,29	20,18
97-04-23	01:00:00	4,36	5,87	3,96	20,26	20,21
97-04-23	02:00:01	4,00	5,44	3,54	20,30	20,21
97-04-23	03:00:00	4,36	5,14	3,56	20,82	20,15
97-04-23	04:00:01	4,43	5,02	2,99	21,08	20,04
97-04-23	05:00:01	4,22	4,93	3,11	21,20	20,02
97-04-23	06:00:00	4,29	4,82	3,12	21,35	20,00
97-04-23	07:00:01	4,61	4,55	2,95	21,57	20,14
97-04-23	08:00:00	7,67	5,39	4,05	21,80	20,13
97-04-23	09:00:00	11,52	6,27	5,38	21,70	20,17
97-04-23	10:00:01	14,60	8,42	6,19	21,86	20,32
97-04-23	11:00:00	16,35	9,51	7,36	22,03	20,42
97-04-23	12:00:00	17,12	8,94	8,24	22,04	20,49
97-04-23	13:17:42	20,57	10,91	8,26	22,11	20,51
97-04-23	14:00:17	19,59	12,89	8,34	22,07	20,49
97-04-23	15:00:00	17,68	9,81	8,60	22,00	20,35
97-04-23	16:00:01	14,57	9,68	8,47	21,98	20,24
97-04-23	17:00:00	12,67	12,39	13,01	22,12	20,22
97-04-23	18:00:00	11,33	10,88	8,38	22,14	20,26
97-04-23	19:00:01	10,24	11,29	8,60	22,13	20,17
97-04-23	20:00:00	9,00	8,60	6,59	22,12	20,12
97-04-23	21:00:00	7,89	7,47	6,00	22,15	20,12
97-04-23	22:00:01	7,19	6,94	5,67	22,18	20,10
97-04-23	23:00:00	6,53	6,39	4,89	22,21	20,10
97-04-24	00:00:01	5,77	5,91	4,02	22,14	20,12

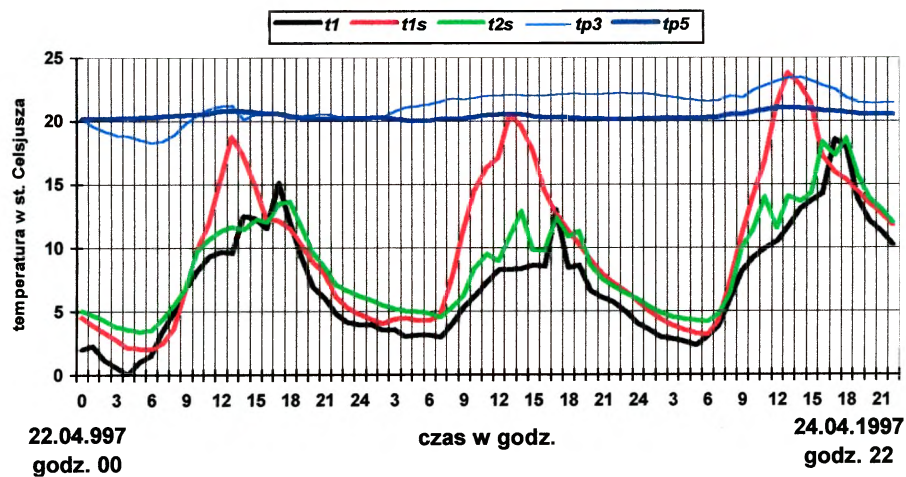
Tabela 6

DATA	CZAS godz:min:sek	p3 sek.	p4 sek.	p5 sek.	p6 sek.	p7 sek.	p8 sek.	p9 sek.	p11 sek.	s2 mm	s3 mm	s4 mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
97-04-22	00:00:00	-126,4	14,8	33,5	1,4	15,8	16,7	-25,8	-4,5	-1,181	-0,159	-0,477
97-04-22	01:00:00	-126,5	16,6	31,7	4,0	14,4	18,5	-25,9	-2,5	-1,115	-0,130	-0,456
97-04-22	02:00:01	-128,5	18,2	31,8	4,0	13,5	19,4	-27,4	-2,2	-1,051	-0,100	-0,435
97-04-22	03:00:00	-128,2	19,4	30,1	5,4	12,8	20,3	-27,7	0,6	-0,988	-0,069	-0,412
97-04-22	04:00:00	-129,7	19,9	28,7	6,5	12,0	22,4	-28,4	1,8	-0,930	-0,038	-0,388
97-04-22	05:00:01	-130,7	21,5	27,4	7,8	10,2	24,2	-29,5	4,1	-0,872	-0,001	-0,367
97-04-22	06:00:00	-132,1	20,9	25,3	7,7	10,2	26,4	-31,0	4,6	-0,820	0,027	-0,353
97-04-22	07:00:00	-134,5	17,9	26,2	6,9	12,4	27,3	-33,2	8,3	-0,787	0,046	-0,350
97-04-22	08:00:01	-137,6	23,2	30,1	6,6	5,0	25,2	-36,5	9,6	-0,781	0,047	-0,368
97-04-22	09:00:01	-130,3	20,3	28,9	3,5	7,8	23,8	-30,2	12,3	-0,836	0,012	-0,397
97-04-22	10:00:01	-125,8	21,3	34,4	6,0	14,9	21,4	-24,6	2,7	-0,959	-0,053	-0,444
97-04-22	11:00:00	-118,2	18,6	36,7	5,1	11,2	22,3	-17,3	11,3	-1,094	-0,123	-0,488
97-04-22	12:00:00	-116,1	13,9	35,7	4,9	15,6	13,0	-15,2	-2,8	-1,237	-0,203	-0,533
97-04-22	13:00:01	-112,1	12,1	38,8	-6,2	10,4	12,8	-11,3	-7,2	-1,416	-0,299	-0,571
97-04-22	14:00:01	-116,0	10,5	41,6	-3,8	19,3	9,8	-15,5	-14,2	-1,494	-0,355	-0,623
97-04-22	15:00:00	-116,7	5,7	38,9	-5,9	22,1	9,6	-15,6	-14,7	-1,495	-0,384	-0,684
97-04-22	16:00:00	-112,8	3,2	41,9	-5,3	20,0	7,6	-11,5	-15,3	-1,468	-0,387	-0,711
97-04-22	17:00:01	-115,2	4,0	38,3	-8,6	20,2	4,9	-14,3	-13,7	-1,437	-0,383	-0,730
97-04-22	18:00:00	-113,1	4,1	40,1	-6,1	20,1	6,2	-12,1	-16,1	-1,416	-0,388	-0,763
97-04-22	19:00:00	-114,6	5,3	40,7	-7,3	21,1	6,1	-13,7	-16,7	-1,368	-0,377	-0,775
97-04-22	20:00:01	-114,2	7,4	37,7	-3,7	21,7	5,2	-13,1	-14,9	-1,333	-0,362	-0,774
97-04-22	21:00:00	-114,9	8,9	37,8	-3,3	21,7	6,0	-13,8	-13,2	-1,299	-0,345	-0,766
97-04-22	22:00:00	-116,4	8,2	37,2	-3,6	19,9	7,6	-15,3	-7,6	-1,249	-0,327	-0,749
97-04-22	23:00:01	-116,5	10,5	35,7	-1,6	19,1	8,9	-15,4	-11,3	-1,201	-0,300	-0,728
97-04-23	00:00:00	-118,2	12,5	36,4	-0,5	19,4	10,4	-17,3	-8,6	-1,145	-0,277	-0,707
97-04-23	01:00:00	-118,5	13,5	35,1	-0,5	18,3	12,6	-17,5	-8,3	-1,096	-0,253	-0,686
97-04-23	02:00:01	-119,4	14,3	34,9	0,6	18,1	13,6	-18,3	-6,5	-1,056	-0,229	-0,667
97-04-23	03:00:00	-120,2	15,2	35,3	0,9	17,2	13,7	-19,2	-6,4	-1,026	-0,210	-0,654
97-04-23	04:00:01	-121,1	15,7	34,1	1,1	16,3	15,8	-20,3	-4,2	-1,010	-0,196	-0,635
97-04-23	05:00:01	-120,2	16,7	34,3	2,2	13,6	18,0	-20,4	-3,8	-0,979	-0,171	-0,616
97-04-23	06:00:00	-124,6	17,2	31,8	4,4	14,8	18,2	-24,3	-3,0	-0,959	-0,161	-0,601
97-04-23	07:00:01	-122,5	18,7	35,3	1,2	16,4	17,2	-22,3	-0,6	-0,961	-0,150	-0,581
97-04-23	08:00:00	-122,9	22,9	35,4	1,5	15,9	14,8	-22,8	11,2	-1,038	-0,181	-0,585
97-04-23	09:00:00	-116,3	14,7	38,1	1,6	13,0	17,6	-17,5	8,7	-1,196	-0,248	-0,593
97-04-23	10:00:01	-113,5	11,4	37,5	3,4	16,8	13,9	-14,4	-6,1	-1,370	-0,332	-0,599
97-04-23	11:00:00	-107,1	10,7	40,3	-1,9	12,3	14,3	-8,2	-4,1	-1,526	-0,393	-0,607
97-04-23	12:00:00	-114,0	7,7	41,3	-5,9	19,7	8,2	-14,0	-8,5	-1,623	-0,441	-0,631
97-04-23	13:17:42	-111,4	-4,3	44,9	-4,3	21,9	7,8	-11,8	-15,2	-1,777	-0,522	-0,650
97-04-23	14:00:17	-104,5	2,7	44,5	-3,5	23,5	3,9	-4,3	-21,1	-1,827	-0,549	-0,668
97-04-23	15:00:00	-105,8	-1,3	47,0	-14,5	25,6	2,1	-4,9	-18,9	-1,853	-0,580	-0,694
97-04-23	16:00:01	-108,7	0,3	42,1	-10,9	24,8	3,0	-7,9	-20,4	-1,834	-0,577	-0,703
97-04-23	17:00:00	-108,5	-5,2	43,3	-8,9	26,6	0,6	-7,4	-26,1	-1,818	-0,581	-0,729
97-04-23	18:00:00	-111,2	2,0	42,1	-11,7	23,6	1,4	-10,1	-22,8	-1,778	-0,576	-0,746
97-04-23	19:00:01	-110,8	3,0	41,2	-10,2	24,5	1,3	-10,2	-22,5	-1,708	-0,549	-0,770
97-04-23	20:00:00	-111,7	2,3	38,9	-9,0	24,5	3,3	-11,2	-21,2	-1,659	-0,531	-0,765
97-04-23	21:00:00	-112,5	7,0	40,6	-5,1	24,1	3,8	-12,3	-16,7	-1,613	-0,507	-0,746
97-04-23	22:00:01	-114,2	6,0	38,3	-6,5	22,3	4,5	-13,4	-14,5	-1,562	-0,478	-0,720
97-04-23	23:00:00	-116,3	9,1	36,6	-3,4	22,7	6,3	-15,8	-13,3	-1,519	-0,451	-0,695
97-04-24	00:00:01	-116,6	9,4	37,1	-2,9	22,0	7,9	-17,1	-13,5	-1,469	-0,424	-0,671

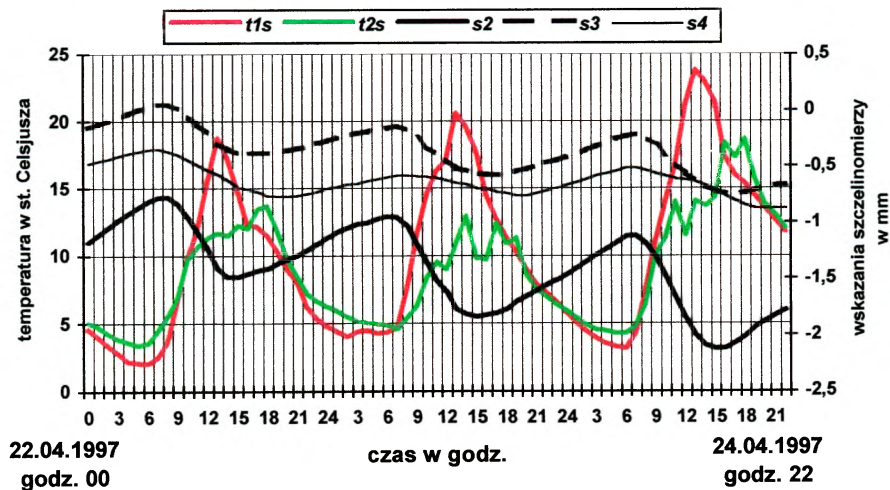
Na wykresie (rys. 18) pokazano zmiany temperatur ścian zewnętrznych oraz zmiany szerokości szczeliny dylatacyjnej w trzech pionowych płaszczyznach prostopadłych do badanej szczeliny dylatacyjnej: s_2 przy ścianie południowej, s_3 na korytarzu i s_4 przy ścianie północnej. Największe zmiany szerokości szczeliny występują przy ścianie południowej, nieco mniejsze na korytarzu, a najmniejsze i najłagodniejsze przy ścianie północnej. Wzrost temperatur zewnętrznych ścian budynku powoduje zmniejszanie szerokości szczeliny dylatacyjnej, a obniżanie temperatur tych ścian - zwiększanie szerokości szczeliny. Tempo i zakres zmian szerokości szczeliny są ściśle zależne od zakresu i tempa zmian temperatur ścian. We wszystkich trzech przekrojach występują dwa rodzaje zmian szerokości szczeliny: zmiany w cyklach dobowych i zmiany w dłuższych okresach. Charakter zmian długookresowych uwarunkowany jest nie tylko wielkością i tempem zmian temperatur ścian zewnętrznych, ale również wilgotnością powietrza na zewnątrz budynku oraz temperaturą wewnątrz pomieszczeń. Na wykresie (rys. 18) widać też wyraźnie, że ekstremalne wartości t/s temperatury ściany nasłonecznianej wyprzedzają w czasie ekstremalne zmiany szerokości szczeliny, a czas wyprzedzania zależy od tempa nagrzewania lub ochładzania tej ściany. Wyprzedzanie zmian termicznych powodowane jest bezwładnością cieplną omawianego budynku. Z punktu widzenia mechaniki zjawisko to można wyjaśnić w następujący sposób. Na początku nasłoneczniania ściany jest nagrzewana jej zewnętrzna warstwa i ona szybko zwiększa swoją objętość, oddając jednocześnie część swego ciepła następnym warstwom ściany. W tym czasie gruba ściana zachowuje swoją poprzednią długość i wysokość. Wtedy szerokość szczeliny nie zmienia się. Powstają tylko duże naprężenia pomiędzy warstwami ścian o zróżnicowanej temperaturze. Są one jedną z głównych przyczyn rozwarstwiania najpierw tynków a potem głębszych warstw ścian. Po pewnym czasie nagrzane grubsze warstwy ściany mają decydujący wpływ i powodują jej wydłużenie i podwyższenie, a tym samym wpływają na zmianę szerokości szczeliny dylatacyjnej. Podczas obniżania temperatur zewnętrznych powierzchni ścian zachodzi odwrotne zjawisko. Potwierdzeniem szkodliwego działania termicznego jest wygląd omawianego budynku przy ul. Jasnej 2/4. Od strony północnej tynk jest w dobrym stanie, natomiast od strony południowej uszkodzony, zwłaszcza w obrębie szczeliny dylatacyjnej. Analiza rozkładu temperatur w budynku sugeruje, że z punktu widzenia trwałości budynku ścianę południową należałoby przede wszystkim termicznie izolować, np. „ocieplić” ją przez oklejenie styropianem.

Na zakończenie omawiania wykresu (rys. 18) należy przypomnieć, że badania zmian szerokości i kształtu szczeliny dylatacyjnej były prowadzone na najwyższym piętrze budynku. Budynek jest nakryty żelbetowym dachem, również podzielonym tą samą szczeliną dylatacyjną. Jego szybsze nagrzewanie i szybsze chłodzenie, w porównaniu z dolną częścią budynku, ma także niewątpliwie wpływ na omawiane zmiany szerokości i kształtu szczeliny dylatacyjnej.

Podczas dalszych badań prowadzonych na tym obiekcie będzie mierzona również temperatura dachu.

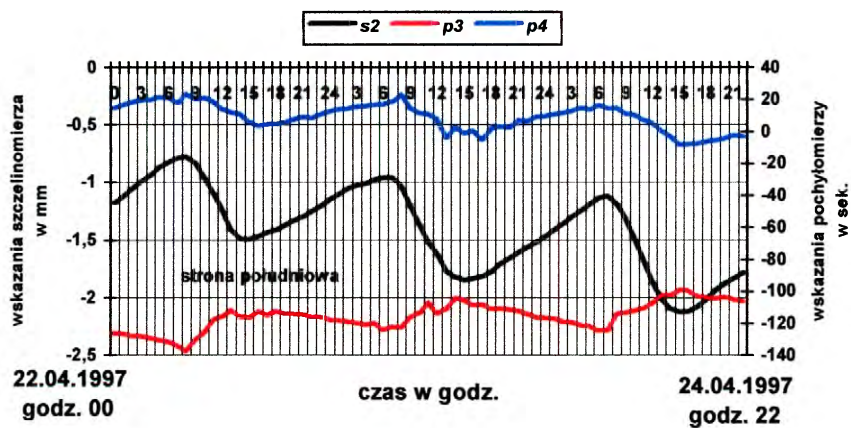


Rys. 17. Wartości temperatur pomierzonych przez wszystkie zainstalowane termometry.

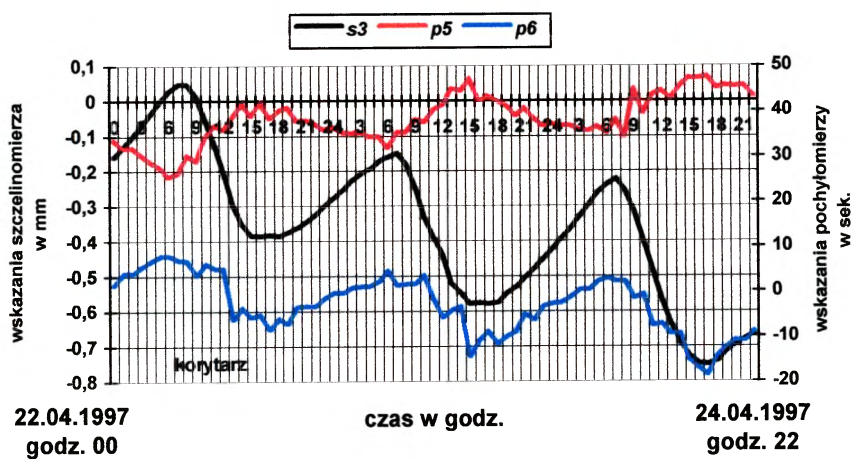


Rys. 18. Zmiany szerokości szczeliny dylatacyjnej w zależności od zmian temperatur ścian.

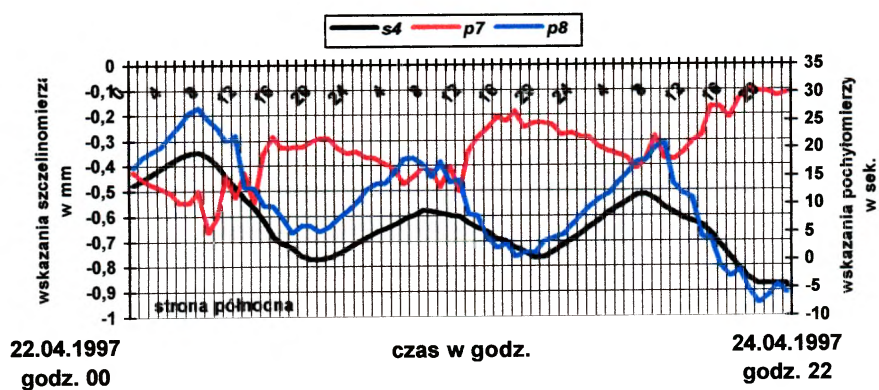
Na trzech kolejnych wykresach (rys. 19, 20, 21) pokazano, w pionowych przekrojach w miejscach osadzenia szczelinomierzy S2, S3 i S4 oraz trzech par pochyłomierzy P3-P4, P5-P6 i P7-P8, zależności pomiędzy zmianami szerokości szczeliny dylatacyjnej a zmianami pochyłeń ścian wschodniej i zachodniej, oddzielonych od siebie badaną szczeliną (rys. 16). Ze względu na zróżnicowanie skal omawianych wykresów linie obrazujące zmiany szerokości szczeliny mają nieco zmienione kształty w porównaniu z odpowiednimi liniami na wykresie (rys. 18). Różne położenie linii obrazujących zmiany pochyłeń względem linii zmian szerokości szczeliny wynikają z różnych początkowych wskazań pochyłomierzy. Wzrostowi szerokości szczeliny towarzyszą ujemne przyrosty wskazań *p3*, *p5* i *p7* pochyłomierzy zainstalowanych na ścianie wschodniej oraz dodatnie przyrosty wskazań *p4*, *p6* i *p8* pochyłomierzy zainstalowanych na ścianie zachodniej. Wszystkie trzy omawiane wykresy wykazują, że powiększaniu się szerokości szczeliny towarzyszy rozchyłanie się ścian wschodniej i zachodniej, natomiast podczas zmniejszania się szerokości szczeliny ściany te nachylają się do siebie. Te zmiany są traktowane w niniejszym opracowaniu jako zmiany kształtu szczeliny dylatacyjnej. Niewielkie rozbieżności wskazań pochyłomierzy, spowodowane drganiami badanego budynku, nie mają istotnego wpływu na określenie wielkości i charakteru zmian jego pochyłeń.



Rys. 19. Zmiany pochyłeń sąsiednich ścian w zależności od zmian szerokości szczeliny dylatacyjnej - strona południowa.



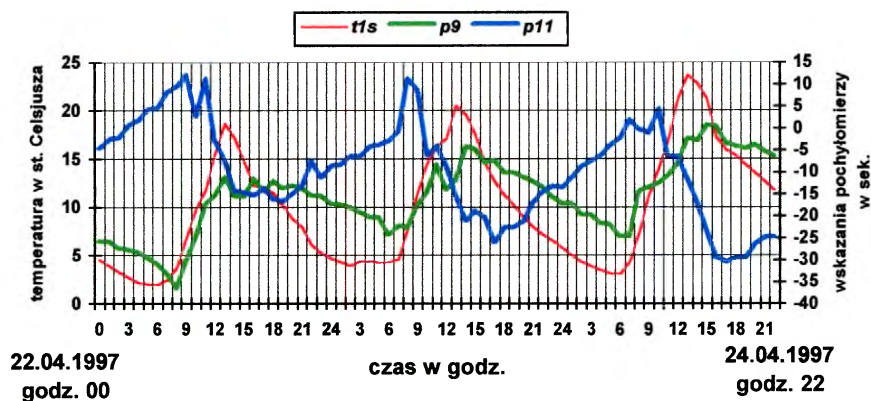
Rys. 20. Zmiany pochyłeń sąsiednich ścian w zależności od zmian szerokości szczeliny dylatacyjnej - korytarz.



Rys. 21. Zmiany pochyłeń sąsiednich ścian w zależności od zmian szerokości szczeliny dylatacyjnej - strona północna.

5.2.4. Deformacja ściany nasłonecznianej

Na wykresie (rys. 22) pokazano zmiany wskazań $p9$ i $p11$ dwóch pochyłomierzy $P9$ i $P11$ przytwierdzonych, wewnątrz budynku, na końcach jednej ściany południowej. Na wykresie tym podano również wskazania $t1s$ termometru osadzonego w ścianie południowej. Wzrostowi temperatury towarzyszy dodatni wzrost wskazań $p9$ i zmniejszanie wartości wskazań $p11$. Oznacza to, że pod wpływem wzrostu temperatury nasłonecznianej ściany jej wydłużeniu towarzyszą pochYLENIA końców ścian jednego w kierunku zachodnim, a drugiego w kierunku wschodnim. Przy zmniejszaniu temperatury omawianej ściany jej końce pochylają się w kierunku pionowej osi symetrii tej ściany. Kierunki pochylania się końca ściany południowej, w miejscu osadzenia pochyłomierza $P9$, są takie same, jak kierunku pochylania się ściany wschodniej w miejscach osadzenia pochyłomierzy $P3$, $P5$ i $P7$.



Rys. 22. Deformacja ściany nasłonecznianej.

6. ZAKOŃCZENIE

Niniejsze opracowanie nie wyczerpuje wszystkich problemów towarzyszących budowie i zastosowaniu opracowanego systemu pomiarowego. Omówienie przetworników strunowych, przyrządów oraz skomputeryzowanego systemu pomiarowego ma na celu przedstawienie struktury tego systemu oraz zasady jego działania. Podane dwa przykłady wyników fragmentarycznych badań obiektu hydrotechnicznego i pięciopiętrowego budynku, za pomocą omawianego systemu, mają na celu zaprezentowanie działania tego systemu w warunkach eksploatacyjnych. Omówienia niektórych wyników badań obiektu hydrotechnicznego i budynku oraz próby interpretacji tych wyników dokonano z punktu widzenia konstruktora tego systemu. Ocena tych wyników może być inna zarówno z punktu widzenia geodety, jak i projektanta badanego obiektu.

Przedstawiony system pomiarowy, dzięki jego modułowej budowie, można różnie konfigurować dostosowując go do rodzaju badanego obiektu oraz liczby punktów pomiarowych. Dzięki łatwemu przesyłaniu sygnałów pomiarowych na odległość do 1 km, system ten może być stosowany również w takich sytuacjach, w których poszczególne przyrządy pomiarowe będą instalowane na różnych obiektach niezbyt oddalonych od siebie. Przykładem takiego zastosowania omawianego systemu może być kontrola stabilności położenia budynków, w pobliżu których prowadzi się budowę nowych wysokich budowli posadowionych w głębokich wykopach.

Przedstawione w niniejszym opracowaniu wyniki pomiarów, mimo niewielkiej liczby użytych przyrządów pomiarowych, wskazują na nowe, różnorodne możliwości zastosowania w geodezji inżynierskiej skomputeryzowanego systemu pomiarowego opracowanego w IGiK. W porównaniu z klasyczną aparaturą pomiarową i stosowanymi w geodezji inżynierskiej metodami pomiaru, omówiony system pomiarowy wyróżnia się wieloma zaletami, takimi jak:

- pomiar jest całkowicie zautomatyzowany, sterowany komputerem bez udziału człowieka;
- przyrządy pomiarowe mogą być instalowane w miejscach niewidocznych i trudno dostępnych, a pomiary można wykonywać w każdych warunkach atmosferycznych i w trakcie prowadzenia prac budowlanych lub remontowych; jedynie pochylomierze grawitacyjne, zainstalowane na obiektach drgających reagują niekorzystnie na te drgania; w takich wypadkach uzyskuje się wynik pomiarowy uśredniony z wielu pojedynczych następujących po sobie pomiarów;
- duża szybkość pomiaru; pomiar na wszystkich stanowiskach badanego obiektu jest wykonywany w ciągu kilku minut;
- pomiary mogą być powtarzane w dowolnych odstępach czasu;
- rejestrowanie i prezentowanie wyników pomiarów ma postać czytelną dla przeciętnego użytkownika;
- pomiary każdego parametru wykonywane w ustalonych odstępach czasu, z podaniem daty i czasu pomiaru, pozwalają określać tempo ich zmian zarówno w krótkim, jak i długim okresie;
- wszystkie wyniki pomiarów są automatycznie rejestrowane w pamięci komputera i w razie potrzeby mogą być szczegółowo analizowane;
- system pomiarowy może być wyposażony w aparaturę sygnalizującą (np. dźwiękową, świetlną), którą włącza komputer po przekroczeniu ustalonych wartości mierzonych parametrów

Badanie i rozbudowa omówionego systemu pomiarowego są prowadzone w Instytucie Geodezji i Kartografii w ramach następnego projektu badawczego nr 9 T12E 007 14, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

LITERATURA

1. Czaja J. [1993]: *Wybrane zagadnienia z geodezji inżynierskiej*. Kraków: AGH.
2. Elektrownia Wodna „Żarnowiec”, prospekt firmowy.
3. Gałda M., Kujawski E., Przewłocki S. [1994]: *Geodezja i miernictwo budowlane*. Warszawa-Wrocław: PPWK.
4. *Geodezja inżynierska*. Pr. zb. Warszawa: PPWK t. I 1979, t. II 1994.
5. Janusz W. [1975]: *Obsługa geodezyjna budowli i konstrukcji*. Warszawa: PPWK.
6. Janusz W. [1964]: *Zagadnienia automatycznego wyznaczania odkształceń budowli przy pomocy modelu konstrukcji geodezyjnej w postaci stałej instalacji zespołu urządzeń pomiarowych*. Prace IGiK t. XI z. 2(24).
7. *Katalog znaków i urządzeń pomiarowo-kontrolnych do pomiarów przemieszczeń i odkształceń*. Warszawa: IGiK 1973.
8. *Mała encyklopedia metrologii*. Warszawa: WNT 1989.
9. Piotrowski J. [1979]: *Podstawy metrologii*. Warszawa: PWN.
10. *Pochyłomierz grawitacyjny*. Patent PL nr 169734 M. Smółka, M. Kołodziejczyk, W. Markowski, A. Skirmunt.
11. *Pochyłomierz grawitacyjny*. Zgłoszenie patentowe nr P 315105 (zgłoszenie dodatkowe do patentu PL nr 169734) M. Smółka, M. Kołodziejczyk, W. Markowski.
12. *Słownik współczesnego języka polskiego*. Red. nauk. prof. dr hab. Bogusław Dunaj, Warszawa: WILGA 1996.
13. Smółka M. [1996]: *Przykłady zastosowania systemu przeznaczonego do zdalnego, automatycznego pomiaru przemieszczeń liniowych i kątowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Budownictwo z. 82.
14. Smółka M. [1994]: *System do zdalnego, automatycznego pomiaru przemieszczeń i odkształceń dużych obiektów*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Geodezja i Urządzenia Rolne XII nr 251.
15. Żurowski A. [1981]: *Pomiary geodezyjne w budowie dróg, lotnisk i mostów*. Warszawa: WKiŁ.

Wykaz ważniejszych oznaczeń literowych:

- A - długie ramię dźwigni przetwornika
 a - współczynnik przesunięcia miejsca zera podziałki przetwornika w układzie xy
 B - krótkie ramię dźwigni przetwornika
 BS - bolce stabilizacyjne
 c - współczynnik nachylenia prostej wyznaczonej przez zlinearyzowane wartości wskazań przetwornika
 E - zespół elektromagnetyczny
 IE - interfejs elektroniczny
 K - stała instrumentalna przetwornika
 L - długość struny
 N - nacisk na dźwignię przetwornika
 P - pochylomierz
 p - wartości wskazań pochylomierzy
 Rc - rurociągi w Elektrowni Wodnej „Żarnowiec”
 RW - różnica wartości wskazań dwóch strun
 RW_{lin} - różnica zlinearyzowanych wartości wskazań dwóch strun
 S - szczelinomierz
 s - wartości wskazań szczelinomierzy
 St - struna przetwornika
 T - termometr
 T_p - termometr pochylomierza
 T_s - termometr szczelinomierza
 t - wartości wskazań termometrów
 TP - trzpień pomiarowy szczelinomierza
 W - wartości wskazań struny
 W_{lin} - zlinearyzowane wartości wskazań struny
 WG - poziom wody w górnym zbiorniku Elektrowni Wodnej „Żarnowiec”
 WM - wielkość mierzona
 WW - wielkość wzorcowa
 ZK - zestaw komputerowy
 ΔRW_{lin} - kolejne przyrosty różnic zlinearyzowanych wartości wskazań strun
 ΔW - kolejne przyrosty wartości wskazań strun
 ΔW_{lin} - kolejne przyrosty zlinearyzowanych wartości wskazań strun
 ΔWW - kolejne przyrosty wartości wielkości wzorcowych

Recenzował: prof. dr hab. Witold Prószyński

MIECZYŚŁAW SMÓŁKA

COMPUTERISED MEASURING SYSTEM WITH STRING MEASURING INSTRUMENT

S u m m a r y

Computerised measuring system designed for remote, automatic measurements of building's displacements and deformations was constructed in the Institute of Geodesy and Cartography within research project No 9 T12E 006 08, financed by the Scientific Research Committee.

The measuring instrument, being a part of the system, was equipped with string converter, whose sensors are formed from tensed strings, which are activated to crosswise, fading vibrations. Change of vibration frequency is a measure of change of the measured value. One-string converters were used for constructing thermometers, while two-string converters were applied for constructing gravitation inclinometers and gap gauges. Thermometers, inclinometers and gap gauges are fastened firmly to the examined object; they are connected to the interface, linked to the computer. Owing to the specialised software computer controls the measuring process, processes the results of measurements to the needed form and stores them in the computer memory. The results of measurements can be monitored and printed in digital or graphical form.

Two sets of measuring systems were prepared; one of them was installed on hydraulic engineering object, while the second was mounted on long, six-storey building. In first case the system measures displacements of inlet construction, belonging to the upper reservoir of Żarnowiec electric power plant, which were caused by changes in water level. The system mounted on six-storey building was used for measuring temperature of building's walls and ambient temperature, as well as for measuring changes in width and shape of expansion gap. For both applications of the computerised measuring system the results of measurements were given in table and graphical form.

Translation: Zbigniew Bochenek

МЕЧИСЛАВ СМУЛКА

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА СО СТРУННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРОЙ

Р е з ю м е

Компьютерная измерительная система, предназначенная для дистанционного автоматизированного измерения сдвигов и деформаций построек, была разработана в Институте геодезии и картографии в рамках исследовательского проекта № 9 T12E 006 08, финансируемого Комитетом научных исследований.

Измерительная аппаратура, входящая в состав системы, была снабжена струнным преобразователем, в котором струны, натянутые и возбуждаемые к поперечным затухающим колебаниям, исполняют роль измерительных датчиков. Изменение частоты колебаний струны является мерой изменения значения измеряемой величины. Однострунные преобразователи были использованы для создания термометров, зато двухструнные преобразователи были применены в конструкции гравитационных эклиметров (уклономеров) и щупов. Термометры, эклиметры и щупы были стабильно закреплены до исследуемого объекта и соединены с электронным интерфейсом, сопряжённым с компьютером. Благодаря специальному программному обеспечению компьютер управляет измерительным процессом, преобразовывает результаты измерений в заданный вид и накапливает их в памяти компьютера. Результаты измерений могут демонстрироваться на мониторе или печататься в цифровой или графической форме.

Создано два набора измерительной системы, из которых один установлен на гидротехническом объекте, а другой на большом шестизэтажном здании. В первом случае система измеряет сдвиги впускной постройки верхнего водохранилища гидростанции „Жарновец”, вызванные изменением уровня воды.

Система, установленная на шестизэтажном здании, используется для измерения температур стен здания и температуры окружения, а также для измерения изменений ширины и изменений формы дилатационной трещины. Для этих обоих применений компьютерной измерительной системы даны примеры результатов измерений как в виде таблицы, так и в графической форме.

Перевод: Ружа Толстикова