

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP

Al. Jerozolimskie 202

02-222 Warszawa

Telefon 23-70-81

Ośrodek Pomiarów Ruchu i Czasu

Pracownia Pomiarów Drogi

BE 10

Główny wykonawca dr. inż. E. Golonka

Wykonawcy inż. Z. Bojar mgr inż. L. Nowakowski
mgr inż. M. Muter tech. J. Zduniak

Konsultant

Nr zlecenia 1715

"Opracowanie i wdrożenie urządzeń pomiarowych dla kompleksowej kontroli i obserwacji stanu technicznego budowli wodnych z uwzględnieniem automatyzacji pomiarów"

Podtemat VI

"Opracowanie i wykonanie prototypowych czujników /sond/ pomiarowych do pomiaru nacisków /ciśnień/ w odwiertach /dynamometrów otworowych/ w ilości 6 szt."

Zleceńodawca Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej

Pracę rozpoczęto dnia 1.01.80r.

zakończono dnia 31.10.84r.

Kierownik Pracowni

Kierownik Ośrodka

dr inż. E. Golonka

DYREKTOR

dr inż. J. Winiecki

prof. dr inż. St. Dwojak

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 5

Egz. 1 PIAP-BOINTE

rysunków

Egz. 2 IMGW

fotografii

Egz. 3 PIAP-ORC

tabel

Egz. 4 IMGW

tablic

Egz. 5 IMGW

załączników 1 dok. konstr.

Egz. 6 PIAP-ORC

Nr rejestr. 5274

Analiza deskryptorowa

Aparatura Pomiarowa: Aparatura Kontrolno-pomiarowa Długości Wzdłuż -
Pomiar Ciężkości Ciężkości

Analiza dokumentacyjna

Aparatura Kontrolno Pomiarowa Oparta na Metodzie Strunowej /Tensometria
Strunowa/ ~~Przeznaczona do~~ Mierzonych i Diagnostycznych /lub Kształtujących/
pomiarów ciężkości ciężkości

65.011.56 Autocalypacja
~~62-50~~

621:317.39.084.2 Ciężkości pomiarowe

Tytuły poprzednich sprawozdań

Podzestaw Nr I "Zakresy Konstrukcyjne i Długości stanu techniki"
Nr rejestr. 4004/es 2,11,111.

Podzestaw Nr II "Opracowanie i wyk. zestaw. 4 + 6 rodzajów prototypowych
czujników strunowych do pomiarów odkształceń /..../ oraz
opracowanie czujników do pomiaru przesunięć liniowych
/....?". Nr rejestr. 4132.

Podzestaw Nr III "Opracowanie i wykonanie zestawu prototypowych czujników
indukcyjnych /... / wraz z aparaturą odbiorczą /... /"
Nr rejestr. 4975.

Podzestaw Nr IV "Opracowanie i wykonanie zestawu prototypów /sond/ po-
miarowych do szalnego pomiaru odchyła kątowych niereg-
nych w spójalnych rurach /inclinometrów rurkowych/ /.../."
Nr rejestr. 5337

Podzestaw Nr V "Opracowanie i wykonanie prototypowych szczelinomiernicy
strunowych w ilości po 10 szt. dla trzech zakresów
pomiarowych. Nr rejestr. 5104.

UKD

MERA-PIAP/TW 331/78 5000

SPIS TREŚCI

	str.
1. Sprawy formalne	3
1.1. Przedmiot pracy	3
1.2. Zamawiający	3
1.3. Podstawa wykonania pracy	3
1.4. Zakres pracy	3
2. Badania laboratoryjne i wzorcowanie serii prototypowej dynamometrów strunowych	3
2.1. Cel badań	3
2.2. Przedmiot badań	4
2.3. Sprawdzenie jakości sygnałów pomiarowych i prawidłowości wykonania mechanicznego czujników	4
2.4. Wzorcowanie czujników	4
2.5. Badanie wpływu temperatury otoczenia na wskazanie czujników	5
3. Omówienie wyników badań i wnioski	5

1. SPRAWY FORMALNE

1.1. Przedmiot pracy.

Przedmiotem pracy przedstawionej w niniejszym sprawozdaniu było opracowanie, wykonanie, badania laboratoryjne i wzorcowanie partii prototypowej dynamometrów strunowych /czujników strunowych do pomiaru ciśnienia górotworu/.

1.2. Zamawiający.

Praca została zamówiona przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie i stanowi podtemat VI tematu p.t. "Opracowanie i wdrożenie urządzeń pomiarowych dla kompleksowej kontroli i obserwacji stanu technicznego budowli wodnych z uwzględnieniem automatyzacji pomiarów" wchodzącego do Programu Rządowego PR-7 "Kształtowanie i wykorzystanie zasobów wodnych".

1.3. Podstawa wykonania pracy.

Umowa 1325/80/zlecenie 1715/ zawarta pomiędzy IMGW a MERA-PIAP.

1.4. Zakres pracy.

Praca obejmowała: opracowanie konstrukcji modelu, wykonanie ~~modeli~~ modeli i ich badanie, a następnie wykonanie dokumentacji konstrukcyjnej dla serii prototypowej, wykonanie 6 prototypów o dwóch zakresach pomiarowych, ich montaż i wzorcowanie oraz przeprowadzenie innych badań, dających podstawy do dalszego udoskonalenia konstrukcji czujników.

2. BADANIA LABORATORYJNE I WZORCOWANIE SERII PROTOTYPOWEJ DYNAMOMETRÓW OTWOROWYCH.

2.1. Cel badań.

Przeprowadzenie badań miało na celu:

Na etapie modeli - sprawdzenie koncepcji strunowego dynamometru otworowego, sprawdzenie prawidłowości wyprowadzenia wzorów i poprawności obliczeń konstrukcyjnych oraz zdobycie doświadczeń w technologii wykonania części i montażu czujników.

Na etapie prototypów - sprawdzenie serii wykonanych czujników pod względem działania, jakości i wielkości sygnałów, sprawdzenie powtarzalności parametrów metrologicznych w serii czujników, zbadanie wpływu temperatury na wskazanie oraz wzorcowanie i obliczenie stałych pomiarowych.

2.2. Przedmiot badań.

Badaniom poddano 6 strunowych dynamometrów otworowych, o numerach: 01, 02, 03, 04, 05 i 06.

2.3. Sprawdzenie jakości sygnałów pomiarowych i prawidłowości wykonania mechanicznego czujnika.

Sprawdzenia jakości sygnałów pomiarowych dokonano wykonując pomiary częstotliwości na miernikach SAM-10 i SMC-02. Stwierdzono, że jakość sygnałów pomiarowych odpowiada wymaganiom sformułowanym w założeniach konstrukcyjnych oraz wymaganiom Normy Zakładowej ZAN UJ.

2.4. Wzorcowanie czujników.

Wzorcowania czujników dokonano w specjalnym przyrządzie Rys. 1 ustawionym wraz z czujnikiem na maszynie wytrzymałościowej, na której zadawano kolejno naciski, od 0 do nacisku, który odpowiadał maksymalnemu zakresowi nacisku mierzonego przez czujniki tj. 40 kN / 4 ton/.

Odczytów dokonywano za pomocą miernika SMC-02. Wzorcowanie odbywało się w temp. $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$

Na podstawie otrzymanych wyników obliczono stałe pomiarowe czujników.

Wyniki pomiarów podane są w ~~tablicach~~ tablicach Nr.1.

2.5. Badanie wpływu temperatury otoczenia na wskazania czujników.

Do badań użyto suszarki typu OW z termometrem przemysłowym o zakresie $0^{\pm} - 200^{\circ}\text{C}$ o dokładności $0,5^{\circ}\text{C}$ oraz miernika typu SCM-02.

Wyniki badań przedstawiono w tabelicy Nr.2.

Współczynniki błędu temperaturowego zbadanych czujników wynoszą około 0,25% zakresu pomiarowego na 1°C /maksymalnie 0,31% zakresu pomiarowego na 1°C /. Błąd temperaturowy jest w znacznym stopniu eliminowany przez dokonanie pomiarów częstotliwości odniesienia /zerowych/ w temperaturze, w której będą wykonywane pomiary.

Przy dużych wahaniami temperatury można wprowadzić odpowiednią poprawkę błędu temperaturowego.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ I WNIOSKI.

Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość pomiaru ciśnienia w odwiertach np. na styku bloków betonowych, w szczelinach dylatacyjnych zapór wodnych i wielu innych przypadkach np. w górnictwie i geologii do badań nacisku górotworu.

Czujniki serii prototypowej uzyskały parametry metrologiczne zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi tj.:

założony zakres pomiarowy - 80 MN/m^2 / 80 kg/cm^2 /,

powtarzalność wskazań - 1% każdego zakresu pomiarowego

zdolność rozdzielcza - 0,2% zakr. pom. z miernikiem SAM-10

0,05% " " " SMC-02

0,036% " " " SMC-10

i SMCL-10.

Doświadczenie zdobyte w trakcie produkcji i badań serii prototypowej pozwala, na udoskonalenie konstrukcji czujnika w kierunku ułatwienia wykonawstwa przy jednoczesnym ujednoczeniu czułości czujników w ramach danego zakresu pomiarowego.

Wyniki wzorcowania czujników strunowych typu SCD0

zakres pomiarowy

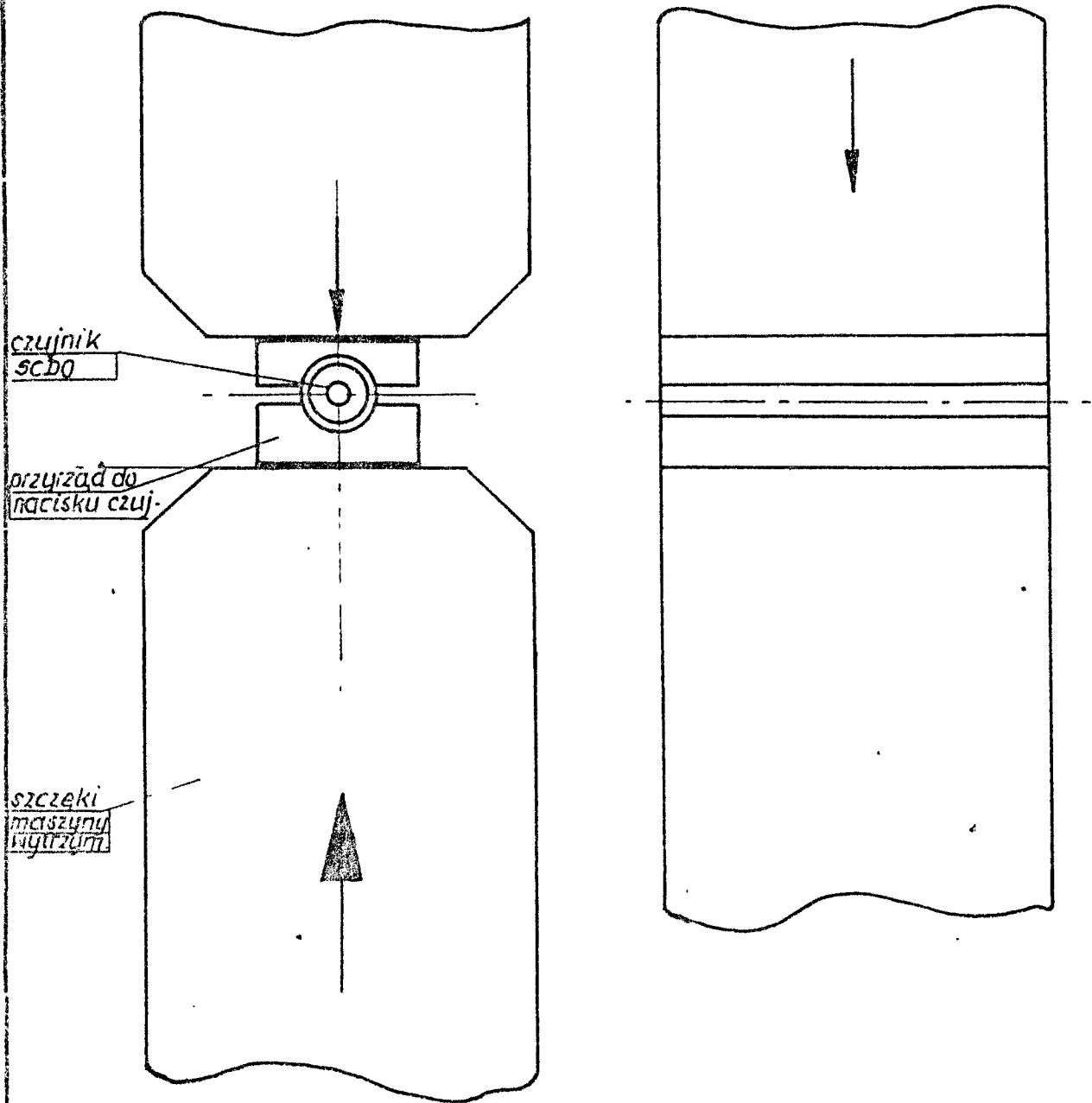
Tablica Nr.1

Lp.	Siła [kN]	Ciężar [kP]	ODCZYTY NA MIERNIKU TYPU SMC - 02																	
			Czujnik Nr. 01			Czujnik Nr. 02			Czujnik Nr. 03			Czujnik Nr. 04			Czujnik Nr. 05			Czujnik Nr. 06		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1.	0	0	936	944	939	943	926	910	905	896	920	931	916	872	879	974	920	926	917	931
2.	1,0	0,2																		
3.	2,0	0,4																		
4.	3,0	0,6																		
5.	4,0	0,8	945	950	920	958	935	897	914	898	903	990	980	958	983	975	963	934	921	916
6.	5,0	1,0																		
7.	6,0	1,2																		
8.	7,0	1,4																		
9.	8,0	1,6	949	956	904	963	942	890	920	899	887	991	981	840	987	976	946	937	931	897
10.	9,0	1,8																		
11.	10,0	2,0																		
12.	12,0	2,4	954	967	885	969	949	975	925	899	870	993	989	805	991	976	930	941	940	880
13.	14,0	2,8																		
14.	16,0	3,2	887	971	869	973	955	859	929	901	856	994	997	998	996	977	911	944	945	866
15.	18,0	3,6																		
16.	20,0	4,0	963	977	849	980	961	841	935	902	840	996	1005	773	1000	978	895	948	952	850
17.	24,0	4,8	967	983	830	985	966	825	939	903	821	996	1012	758	1005	979	880	951	980	833
18.	28,0	5,6	972	989	811	990	971	807	945	903	806	998	1020	742	1006	981	873	854	967	816
19.	32,0	6,4	978	996	791	996	977	799	950	905	801	999	1028	726	1004	987	858	858	975	800
20.	36,0	7,2	983	1002	772	1002	982	777	956	908	784	1000	1035	711	1009	982	842	961	982	980

Tablica Nr 2

Typ Nr csujnika	Temp. °C	Cykl I odczyt w Hz			Cykl II odczyt w Hz			Współcz. br. temp. w Hz/1°C		
		Nr struny			Nr struny					
		I	II	III	I	II	III			
SCDO Nr 01	22	935	943	938	935	936	939	0,38	0,36	0,58
	36	929	938	931	930	936	932			
	50	924	929	926	924	930	926			
SCDO Nr 02	22	943	925	910	943	925	911	0,53	0,41	0,48
	36	935	916	902	936	917	903			
	50	928	913	897	929	914	898			
SCDO Nr 03	22	964	957	961	965	959	962	0,46	0,53	0,43
	36	955	948	955	956	948	957			
	50	950	942	949	952	942	950			
SCDO Nr 04	22	982	973	978	983	974	979	0,57	0,57	0,61
	36	972	963	967	973	964	968			
	50	966	957	961	967	958	962			
SCDO Nr 05	22	977	968	978	978	967	979	0,57	0,50	0,36
	36	967	958	975	969	960	976			
	50	961	957	968	962	954	969			
SCDO Nr 06	22	924	917	931	927	925	930	0,47	0,51	0,49
	36	918	910	922	919	920	923			
	50	912	905	916	913	914	918			

Sposób nacisku prasy wytrzy- matościowej na czujnik SCDO



Rys. 1

INSTRUKCJA OBSŁUGI DTR
STRUNOWEGO CZUJNIKA DYNAMOMETRU OTWOROWEGO
Typ. SCDO

Opracował: mgr inż. M. Muter

Warszawa 1984r.

Spis treści

	str.
1. Przeznaczenie	3
2. Sposób instalacji czujnika w miejscu pomiarowym ...	3
3. Zasada działania czujnika i obliczanie wyniku pomiaru	4
4. Przechowywanie, transport	7
5. Konserwacja i naprawy	7

1. Przeznaczenie.

Czujniki strunowe typu SCDO /dynamometry strunowe/ przeznaczone są do pomiarów zmian płaskiego stanu odkształceń betonu w dużych budowlach, górotworze, skałach, ewentualnie w innych ośrodkach np. /węgiel/ w płaszczyźnie prostopadłej do osi symetrii czujnika.

2. Sposób instalacji czujnika w miejscu pomiarowym.

Czujnik /Zsp. ark.1 dok.4477/ jest wprowadzony do badanego ośrodka poprzez specjalnie do tego celu wykonany otwór o średnicy \varnothing 46 lub większej, przechodzący w końcowym odcinku o długości ok. 1 m w otwór \varnothing 46 o możliwie dokładnie wykonanej średnicy.

Czujnik jest wprowadzony do otworu pomiarowego na specjalnych rurach /zsp 4 dok.4477, ark.1/, których łączna długość może osiągnąć kilkanaście a w razie potrzeb i więcej metrów.

Gdy czujnik osiągnie dno otworu, pod działaniem siły osiowej z jaką oddziaływujemy na rury ugina się sprężyna /cz.6/, a stożkowa tuleja zespołu pomiarowego /Zsp.3/ wsuwa się w tuleję odkształcalną /cz.4/ rozprężając ją do momentu, w którym średnica tulei odkształconej dopasuje się do średnicy otworu pomiarowego. W zależności od siły osiowej z jaką oddziaływuje się na rury /Zsp.4/ można zadać większy lub mniejszy nacisk wstępny części pomiarowej czujnika na ścianki otworu. Kolejne połączenie gwintowe rur należy kołkować aby zapobiec ich obrotowi, rysy na ich złączach mają być zwrócone ku górze, co zapewnia właściwą orientację czujnika.

W razie potrzeby, np. przy małej /rzędu 0,5 m/ długości otworu

12

pomiarowego można instalować w otworze samą tuleję odkształcalną /cz.4/ wraz z zespołem pomiarowym czujnika /Zsp.3/ i ewentualnie uchwytem /Zsp.2/.

Można również zabetonować /ew. zagipsować/ sam zespół pomiarowy, jednak ten sposób instalacji raczej uniemożliwia odzyskanie czujnika. W obu tych przypadkach należy znać położenie rysy wykonanej na większej średnicy tulei stożkowej zespołu pomiarowego /najlepiej skierować ją ku górze/.

Podczas wyciągania czujnika z miejsca pomiarowego sprężyna /cz.6/ spycha tuleję odkształcalną /cz.4/ z tulei stożkowej zespołu pomiarowego /Zsp.3/.

Tuleja odkształcalna /cz.4/ zmniejsza swoją średnicę umożliwiając wycofanie całego czujnika.

3. Zadania działania czujnika i obliczanie wyniku pomiaru.

Czujnik rozprężony w otworze pomiarowym stanowi inkluzję twardą w badanym ośrodku. Odkształcenia ośrodka przenoszone są na czujnik, a w związku z tym odkształcenia, ^{naprężenia/} sprężyste elementów pomiarowych czujnika są proporcjonalne do naprężeń ośrodka, przy czym współczynnik proporcjonalności zależy od właściwości sprężystych badanego ośrodka. Odkształcenia elementów pomiarowych przenoszone są na 3 struny pomiarowe umieszczone promieniowo, co 120° i prostopadle do osi wzdłużnej czujnika. Struny pomiarowe na skutek odkształcenia zmieniają częstotliwość drgań własnych zgodnie ze znaną zależnością:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\mu}} \sqrt{\varepsilon} ;$$

gdzie:

- f [Hz] - częstotliwość drgań własnych struny
- l [m] - długość struny

13

σ [Pa] - naprężenie struny

E [Pa] - moduł Younga struny materiału struny

$\mathcal{E} \left[\frac{\text{m}}{\text{m}} \right]$ - odkształcenie struny.

Ostatecznie, zmianę naprężenia maksymalnego w ośrodku badanym i jego kierunek można wyznaczyć w zależności od częstotliwości drgań strun czujnika z następujących wzorów;

$$\Delta \sigma_{\max} = \frac{C_1 \Delta f_1^2 + C_2 \Delta f_2^2 + C_3 \Delta f_3^2}{3} + \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{\frac{C_1 \Delta f_1^2 - C_2 \Delta f_2^2}{2} + \frac{C_2 \Delta f_2^2 - C_3 \Delta f_3^2}{2} + \frac{C_1 \Delta f_1^2 - C_3 \Delta f_3^2}{2}}$$
$$\text{tg } 2\alpha = \frac{\sqrt{3} |C_2 \Delta f_2^2 - C_3 \Delta f_3^2|}{2 C_1 \Delta f_1^2 - |C_2 \Delta f_2^2 + C_3 \Delta f_3^2|}$$

gdzie:

α - kąt pomiędzy kierunkiem max. naprężenia a kierunkiem wyznaczonym przez strunę 1.

$C_i \left[\frac{\text{Pa}}{\text{Hz}^2} \right]$ - stała pomiarowa i - tej / $i = 1, 2, 3$ / struny

$$\Delta f_i = f_{ik} - f_{i0}$$

f_{ik} [Hz] - częstotliwość drgań własnych i - tej struny uzyskana w trakcie pomiaru

f_{i0} [Hz] - częstotliwość drgań własnych i - tej struny początkowa /przyjęta za zerową/ .

Przy pomiarach częstotliwości drgań strun miernikami mierzącymi okres drgań, zamiast Δf^2 należy podstawić:

$$- \frac{10^6}{T^2} \text{ dla SMC - } 10 \text{ / } T \text{ [s] - okres drgań/}$$

14

- 100X dla SMC-10 $\left/ X \left[\frac{10^{-2}}{s^2} \right] \right.$ - liczba z tablic SMC-10/
- $10^6 Y$ dla SMCL-10 $\left/ Y \left[\frac{10^{-6}}{s^2} \right] \right.$ - liczba odczytana z miernika /

Jeżeli pomiary odbywają się w zmiennej, w istotnym stopniu temperaturze, wyniki pomiarów częstotliwości można korygować wg. następującego wzoru

$$f'_{ik} = f_{ik} - \alpha_{ti} / t_k - t_0 /$$

gdzie:

$f_{ik} [Hz]$ - wartość skorygowana częstotliwości f_{ik} ;

$t_k [^{\circ}C]$ - temperatura w pobliżu czujnika zmierzona w trakcie kolejnego pomiaru,

$t_0 [^{\circ}C]$ - temperatura w pobliżu czujnika w trakcie dokonywania pomiaru częstotliwości zerowej,

$\alpha_{ti} \left[\frac{Hz}{^{\circ}C} \right]$ - współczynnik temperatury i-tej struny.

Stałe pomiarowa poszczególnych strun C_1, C_2, C_3 , zależą od własności sprężystych badanego ośrodka i dla dokładnych badań powinny być określone dla poszczególnych rodzajów ośrodków/skał skał, betonu itp./, przez ściskanie, na maszynie wytrzymałościowej próbki skały o określonym przekroju z umieszczonym w jej wnętrzu czujnikiem, przy czym kierunek osi wzorcowanej struny, powinien być zgodny z kierunkiem działania siły.

Stałą pomiarową C_i wyznacza się ze wzoru:

$$C_i = \frac{\Delta F}{s \cdot \Delta f^2}$$

gdzie:

$\Delta F [N]$ - przyrost siły ściskającej

$s [m^2]$ - pole powierzchni przekroju próbki

$\Delta f^2 [Hz^2]$ - przyrost kwadratu częstotliwości drgań strun odpowiadający przyrostowi siły ΔF .

4. Przechowywanie, transport.

Czujniki powinny być przechowywane w temperaturze od -10°C do 55°C nie narażone na ciągłe zmiany temperatury, wstrząsy i działania czynników powodujących korozję.

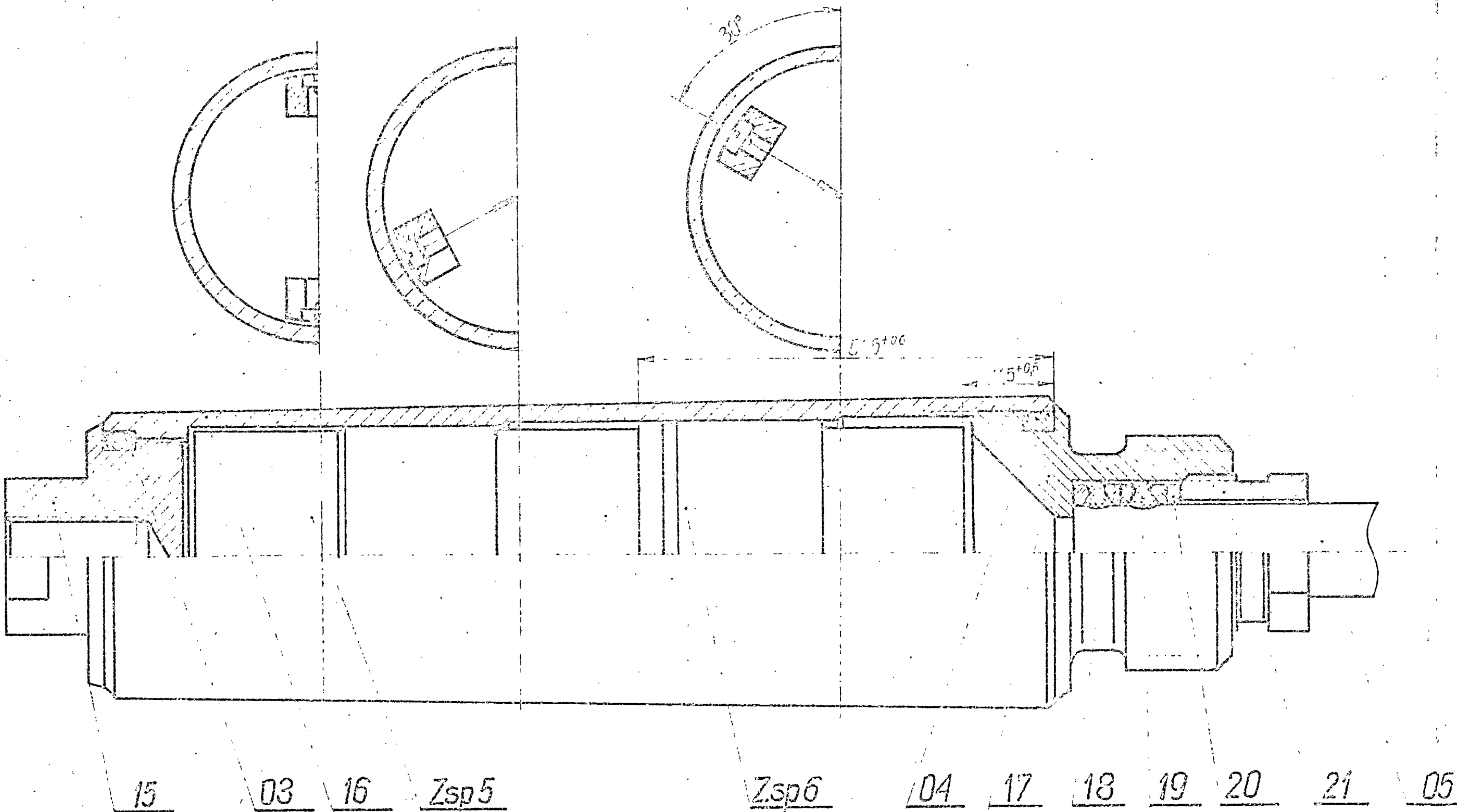
Transport czujników powinien odbywać się dobrze resorowanymi pojazdami w warunkach możliwie zbliżonych do warunków przechowywania.

Konserwacja i naprawy.

Po zakończeniu pomiarów czujnik powinien zostać oczyszczony z gruntu, odłamków skał itp.

Powieźchnie tulei odkształconej /cz.4/ i tulei stożkowej zespołu pomiarowego /Zsp.3/, a w razie uszkodzenia powłoki antykorozyjnej również inne metalowe części czujnika powinny zostać powleczone smarem stałym bądź olejem o dużej lepkości.

Naprawy należy przerówaadzać w porozumieniu z producentem.



05	1	Wielki TYL 4.000	17
04	1	Podkładka uszczelniająca II	17
03	1	Wielki TYL 4.000	17
21	1	Wielki TYL 4.000	17
20	1	Podkładka	17
19	2	Podkładka uszczelniająca	16
18	4	Podkładka rozprężająca	13
17	1	Wielki TYL 4.000	14
16	1	Tuleja obudowy	15
15	1	Wielki TYL 4.000	14
Zsp6	1	Zespół pomiarowy II	5
Zsp5	1	Zespół pomiarowy I	5

Zespół pomiarowy kompletny 2:1

4477 Zsp3