

JAN CISAK

528.511.021.1.061.6

Prace nad wyznaczaniem współczynnika wydłużenia termicznego przymiarów drutowych

W wielu pomiarach geodezyjnych o najwyższej dokładności narzędziem do pomiaru długości jest przymiar drutowy. Określenie chwilowej długości przymiaru wymaga: laboratoryjnego wyznaczenia jego długości w temperaturze odniesienia, dokładnego pomiaru temperatury w terenie oraz znajomości matematycznej zależności długości od temperatury. Wszystkie te elementy można ująć we wzór matematyczny zwany równaniem przymiaru:

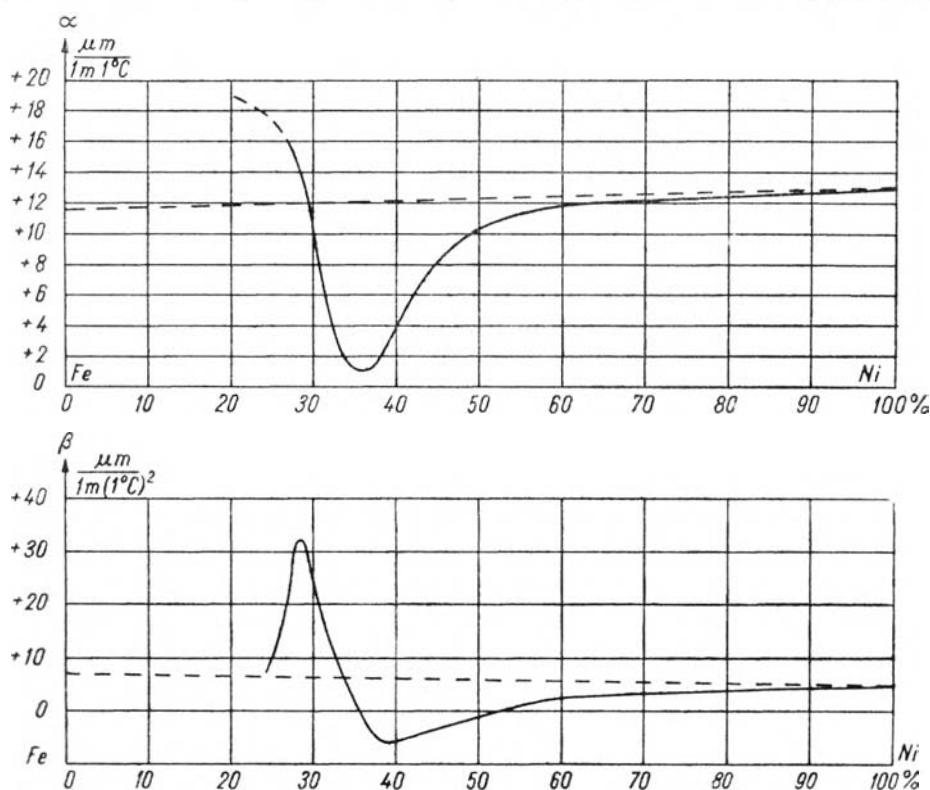
$$L_t = L_0 + L_0[\alpha(t-t_0) + \beta(t-t_0)^2 + \gamma(t-t_0)^3 + \dots].$$

Współczynniki α , β , γ , ..., w tym równaniu noszą nazwę współczynników wydłużenia termicznego.

Do wyrobu przymiarów drutowych używa się stali lub inwaru. Wiadomo, że zmiany długości przymiarów stalowych wraz ze zmianą temperatury zachowują się w sposób liniowy w zakresie temperatur występujących przy pomiarach w terenie. Przymiary wykonane ze stali byłyby więc bardzo dobre do prac o wysokiej dokładności. Niestety duży współczynnik wydłużenia termicznego ($11,5 \mu\text{m}/1 \text{ m } 1^\circ$) wymaga wysokiej dokładności pomiaru temperatury przymiaru w terenie. Jest to zadanie trudne i w wielu wypadkach niemożliwe. Dlatego od dawna poszukiwano takiego materiału, dla którego współczynnik wydłużenia termicznego byłby bliski zeru. Pod koniec XIX wieku francuscy uczeni Guillome i Benoît przeprowadzili badania stopu żelaza i niklu i stwierdzili, że współczynnik wydłużenia termicznego tego stopu wykazuje odstępstwa od prawa mieszanin (rys. 1), a przy pewnym stosunku zawartości obu metali współczynnik ten osiąga minimum i jest znacznie mniejszy od przewidywanego teoretycznie.

Stop o zawartości 35,6% niklu, 0,4% manganu, 0,1% węgla i reszta żelazo, Guillome nazwał inwarem. Obecnie najbardziej rozpowszechnionym inwarem używanym do wyrobu przymiarów drutowych jest stop o składzie chemicznym 35 do 37% niklu, 0,2% chromu, 0,3% węgla i reszta żelazo.

Dalsze prace badawcze wykazały, że poddając ten stop nagłym zmianom temperatury współczynnik można jeszcze znacznie zmniejszyć osiągając jego wartość bardzo bliską zeru, a nawet ujemną. Stwierdzono również, że długość drutu inwarowego ulega zmianie przy poddawaniu go pewnej obróbce mechanicznej. Dlatego precyzyjne przymiary drutowe inwarowe, przed oddaniem ich do prac pomiarowych, poddawane są tzw. procesowi starzenia, który składa się zarówno z części termicznej jak i me-



Rys. 1

chanicznej. Pomimo poddawania przymiarów procesowi sztucznego starzenia, wykazują one ciągle powolne zmiany długości i współczynnika termicznego. Wszystkie te wspomniane własności inwaru spowodowały, że koniecznym stało się wyznaczanie współczynnika wydłużenia termicznego gotowych przymiarów inwarowych w trakcie ich wykorzystywania do pomiarów. Zadanie to wymaga posiadania aparatury pozwalającej na pomiar wydłużenia przymiaru przy zmianie jego temperatury. Pierwsze próby tego wyznaczenia prowadzono w klimatyzowanych piwnicach wyposażonych w komparator o długości równej długości przymiaru [1]. Zmieniając i mie-

rząc temperaturę w pomieszczeniu oraz mierząc wydłużenie przymiaru można było wyznaczyć zależność długości od temperatury. Metoda ta była bardzo kosztowna, długotrwała i pozwalająca wyznaczać współczynniki w niewielkim zakresie temperatur. W 1927 roku przeprowadzono w Berlinie prace nad wyznaczaniem współczynnika termicznego [1], wykorzystując zależność zmiany oporu elektrycznego wraz ze zmianą temperatury. Ogrzewanie drutu otrzymano na drodze przepuszczania prądu przez drut, mierząc jednocześnie jego temperaturę za pomocą pomiaru oporu elektrycznego. Ten sposób nie pozwalał na wykorzystywanie zakresu temperatur poniżej temperatury pokojowej.

Obecnie w wielu laboratoriach zagranicznych, np. w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag, w Instytucie Metrologicznym WNIIM w Leningradzie, w Centralnym Instytucie Fizyki Ziemi w Poczdamie itp. istnieją specjalne urządzenia zwane dylatometrami różniące się między sobą zasadami konstrukcyjnymi i sposobem odczytu wydłużenia i temperatury, których wspólnym elementem konstrukcyjnym jest tunel termiczny, w którym umieszcza się przymiar i poddaje się go zmianom temperatury. Wszystkie te urządzenia mają dość skomplikowaną budowę pozwalającą na otrzymywanie różnych i wyrównanych temperatur wewnątrz tunelu termicznego. W żadnym z tych dylatometrów nie można jednak uzyskiwać temperatur ujemnych [2], [3], [4].

W Polsce do prac najwyższej dokładności używa się przymiarów drutowych importowanych przyjmując współczynnik wydłużenia termicznego podawany przez producentów. Krajowe przymiary drutowe produkowane przez Wytwórní Sprzętu Geodezyjnego posiadają współczynnik wydłużenia termicznego określany na podstawie teoretycznych własności stopu.

Jak już powiedziano wyżej istnieje konieczność zweryfikowania znanych współczynników ze względu na możliwość występowania różnic między teoretycznymi a praktycznymi (chwilowymi) wartościami tych współczynników. Konieczność ta spowodowała, że w Pracowni Metrologii Geodezyjnej Instytutu Geodezji i Kartografii zbudowano dylatometr, opierając się na doświadczeniach laboratoriów zagranicznych, wprowadzając wiele istotnych zmian konstrukcyjnych, które pozwoliły na znaczne skrócenie czasu wykonania i zmniejszenie kosztów urządzenia w porównaniu do wzorów zagranicznych. Istotną zaletą tego dylatometru jest możliwość uzyskiwania temperatur ujemnych.

Dylatometr składa się z tunelu termicznego, urządzenia mierzącego wydłużenie przymiaru, zespołu przyrządów do pomiaru temperatury za pomocą pomiaru oporu elektrycznego oraz urządzenia kontrolującego stałość odległości między zaczepami przymiaru. Szczegółowy opis konstrukcji będzie tematem oddzielnej pracy źródłowej.

W początkowym stadium badań dylatometru, pomiaru temperatury drutu dokonywano za pomocą siedmiu równomiernie rozmieszczonych termometrów rtęciowych o wartości najmniejszej działki $0,2^{\circ}\text{C}$. Obecnie znajduje się w końcowym stadium realizacji przyrząd do pomiaru temperatury wykorzystujący znaną zależność oporu elektrycznego od temperatury. Zaletą tego termometru jest pomiar rzeczywistej temperatury przymiaru, a nie jego otoczenia, oraz uniezależnienie się od występowania różnic temperatury wzdłuż całego tunelu, bowiem termometr oporowy będzie dawał temperaturę już uśrednioną.

W lipcu 1973 roku przeprowadzono wstępne badanie śruby mikrometrycznej urządzenia mierzącego. Do badania wykorzystano komplet płytek wzorcowych imitując przy ich pomocy wydłużenie przymiaru. Na podstawie powtarzalności wyników (tablica 1) można stwierdzić, że przy tej dokładności pomiaru, wydłużeniu przymiaru o $2\text{ }\mu\text{m}$ odpowiada dokładnie jedna działka mikromierza, a śruba nie wykazuje błędów postępowych i okresowych. W następnym etapie prac badawczych przywiduje się wykonanie bardziej dokładnego badania śruby mikrometrycznej. Opis tego

Tablica 1

Grubość płytki w mm	Odczyty mikromierza w działkach		
	I	II	III
0	14 98,9	14 99,4	14 98,6
1,00	9 98,6	9 99,0	9 97,8
1,02	9 88,6	9 89,1	9 88,5
1,04	9 78,5	9 79,0	9 78,4
1,06	9 68,2	9 68,8	9 68,4
1,08	9 58,9	9 58,9	9 58,2
1,10	9 48,9	9 49,1	9 48,4
1,12	9 39,0	9 39,1	9 38,6
1,14	9 29,1	9 29,0	9 28,6
1,16	9 19,2	9 18,9	9 18,6
1,18	9 09,3	9 08,9	9 08,7
1,20	8 99,2	8 98,9	8 98,8
0	23 00,2	23 00,0	23 00,1
0,50	20 49,8	20 49,6	20 50,0
1,00	18 00,0	18 00,0	18 00,1
1,50	15 49,8	15 50,9	15 49,6
2,00	13 00,0	13 00,0	13 00,2
2,50	10 50,0	10 50,0	10 50,0
3,00	7 99,2	7 99,8	8 00,0
3,50	5 48,6	5 49,8	5 50,2
4,00	2 99,9	2 99,6	2 99,8
4,50	0 49,9	0 50,2	0 50,0

badania i uzyskane wyniki będą zamieszczone we wspomnianej już pracy źródłowej.

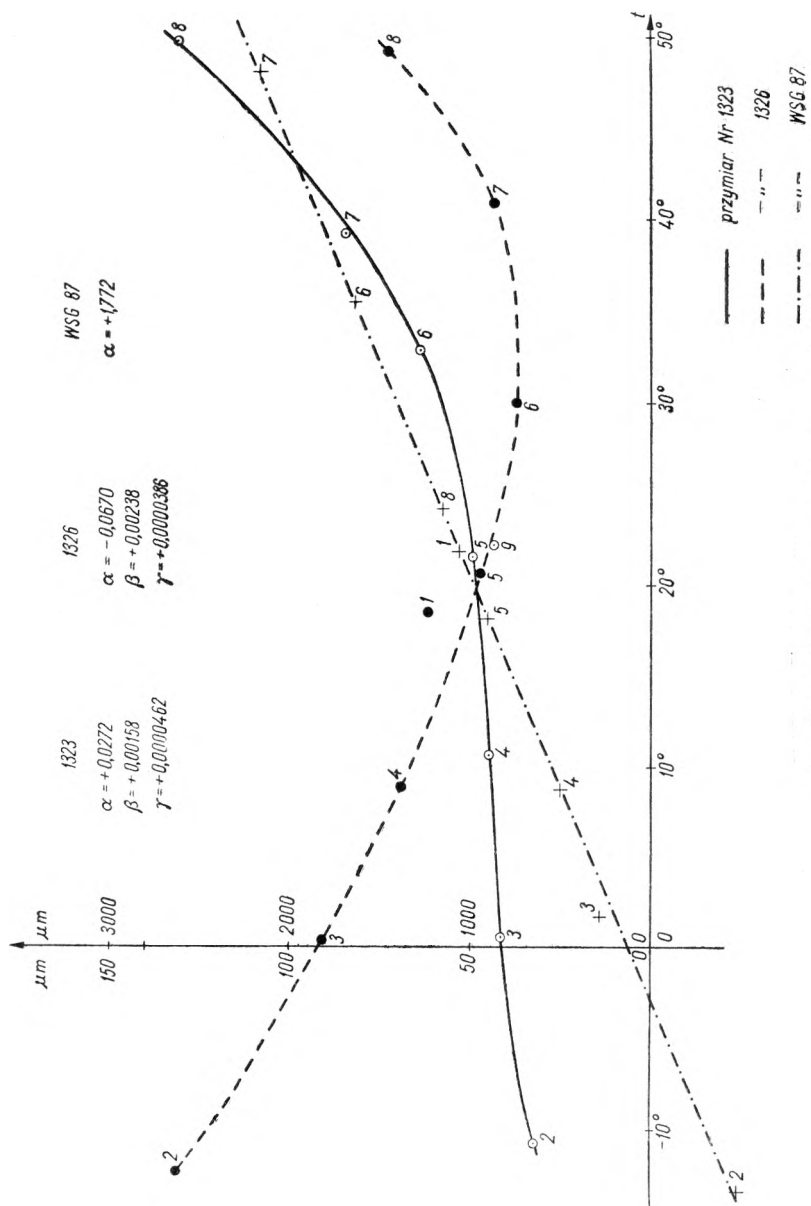
Od stycznia 1973 roku prowadzone są w naszym dylatometrze wyznaczenia współczynników wydłużenia termicznego przymiarów inwarowych. Do szczegółowego badania wybrany został przymiar produkcji francuskiej oznaczony numerem 1323 z kompletu należącego obecnie do IGiK. Drut ten charakteryzuje się bardzo dobrym stanem technicznym oraz dobrymi własnościami metrologicznymi co oznacza, że jest już dobrze wystarczony i nie zmienia swojej długości w czasie. Już pierwsze pomiary wykazały, że współczynnik wydłużenia termicznego tego przymiaru jest bardzo mały, rzędu $0,04 \mu\text{m}/\text{m}1^\circ$ i nie wykazuje charakteru liniowego w dostępnym zakresie temperatur (rys. 2).

Trudności w uzyskaniu dostępu do maszyny elektronowej i konieczność szybkiego policzenia wartości współczynników skłoniły do ułożenia schematu obliczeniowego pozwalającego na szybkie wyrównanie graficzno-analityczne. Za podstawowe równanie w tym schemacie przyjęto wspomniane już równanie przymiaru w rozwinięciu do trzeciego stopnia włącznie, obliczając α , β , γ . Jako temperaturę odniesienia przyjęto 20°C , a wartości wydłużenia dla temperatur -10° , 0° , 10° , 20° , 30° , 40° i 50° odczytuje się z uprzednio wykonanego wykresu. Przy tak dobranych założeniach układ równań poprawek ma następującą postać:

$$\begin{aligned} v_{-10} &= -720\alpha + 12\,000\beta - 648\,000\gamma - \left(L_{-10} - \frac{[L]}{7} \right) \\ v_0 &= -480\alpha - 192\,000\gamma - \left(L_0 - \frac{[L]}{7} \right) \\ v_{10} &= -240\alpha - 7\,200\beta - 24\,000\gamma - \left(L_{10} - \frac{[L]}{7} \right) \\ v_{20} &= -9\,600\beta - \left(L_{20} - \frac{[L]}{7} \right) \\ v_{30} &= +240\alpha - 7\,200\beta + 24\,000\gamma - \left(L_{30} - \frac{[L]}{7} \right) \\ v_{40} &= +480\alpha + 192\,000\gamma - \left(L_{40} - \frac{[L]}{7} \right) \\ v_{50} &= +720\alpha + 12\,000\beta + 648\,000\gamma - \left(L_{50} - \frac{[L]}{7} \right) \end{aligned}$$

Przyjmując $100\alpha = \alpha'$, $1000\beta = \beta'$, $100\,000\gamma = \gamma'$ oraz oznaczając

$$\left(L_i - \frac{[L]}{7} \right) = l_i$$



Uwaga! Prawa skala pionowa odnosi się do pryzmiaru WSG 87

Rys. 2

otrzymamy układ uproszczony:

$$\begin{aligned}
 v_{-10} &= -7,2\alpha + 12,0\beta - 6,48\gamma - l_{-10} \\
 v_0 &= -4,8\alpha \quad \quad \quad -1,92\gamma - l_0 \\
 v_{10} &= -2,4\alpha - 7,2\beta - 0,24\gamma - l_{10} \\
 v_{20} &= \quad \quad \quad -9,6\beta \quad \quad \quad -l_{20} \\
 v_{30} &= +2,4\alpha - 7,2\beta + 0,24\gamma - l_{30} \\
 v_{40} &= +4,8\alpha \quad \quad \quad +1,92\gamma - l_{40} \\
 v_{50} &= +7,2\alpha + 12,0\beta + 6,48\gamma - l_{50}
 \end{aligned}$$

Układ równań normalnych ma wówczas postać:

$$\begin{aligned}
 161,28\alpha' \quad \quad \quad + 112,90\gamma' + [al] &= 0; \\
 \quad \quad \quad 483,84\beta' \quad \quad \quad + [bl] &= 0; \\
 112,90\alpha' \quad \quad \quad + 91,47\gamma' + [cl] &= 0.
 \end{aligned}$$

Tablica 2

Nr	Data	α	v	β	v	γ	v
1	30.01.73	+0,0454	-96	0,00156	-5	0,0000324	+54
2	5.02.73	690	-332	174	-23	394	-16
3	02.73	424	-66	132	+19	104	+274
4	20.02.73	404	-46	113	+38	184	+194
5	7.03.73	342	+16	127	+24	402	-24
6	21.03.73	248	+110	163	-12	558	-180
7	28.03.73	312	+46	154	-3	394	-16
8	4.04.73	224	+134	154	-2	464	-86
9	12.04.73	370	-12	175	-24	348	+30
10	27.04.73	344	+14	128	+23	270	+108
11	27.06.73	296	+62	131	+20	394	-16
12	10.07.73	266	+92	165	-14	486	-108
13	11.07.73	306	+52	155	-4	416	-38
14	26.07.73	360	-2	127	+24	370	+8
15	23.08.73	452	-94	151	0	382	-4
16	29.08.73	346	+12	172	-22	422	-44
17	5.09.73	440	-82	175	-25	336	+42
18	12.09.73	334	+24	160	-9	370	+8
19	19.09.73	272	+86	158	-7	462	-84
20	16.10.73	460	-102	131	+19	220	+158
21	18.10.73	362	-4	141	+9	370	+8
22	25.10.73	250	+108	149	+2	532	-154
23	15.11.73	282	+76	178	-28	488	-110
średnie		0,0358		0,00151		0,0000378	

Tablica 3

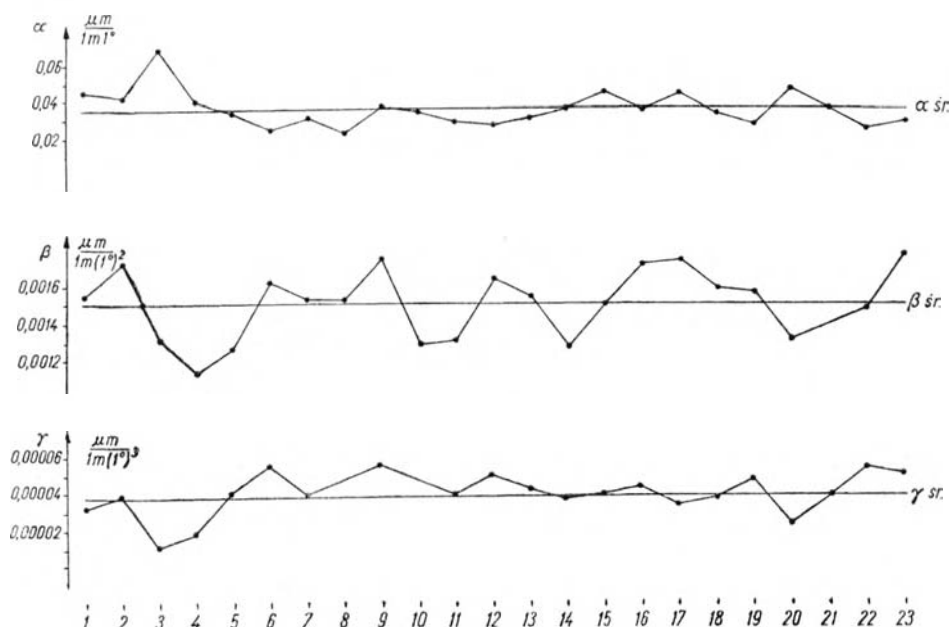
Nr przymiaru	Data	α	β	γ
1327	6.06.73	-0,066	+0,00328	+0,000058
1327	13.06.73	-0,064	+0,00254	+0,000058
1326	24.05.73	-0,052	+0,00114	+0,000005
1326	30.05.73	-0,054	+0,00188	+0,000005
1326	20.06.73	-0,068	+0,00238	+0,000038

Rozwiązując ten układ przy pomocy wyznaczników otrzymujemy:

$$\alpha = \frac{W_a}{200587}, \beta = \frac{[bl]}{483840}, \gamma = \frac{W_\gamma}{200587000}.$$

Według tego schematu policzone zostały wszystkie dotychczasowe pomiary współczynników przymiaru 1323 oraz przymiarów AGH oznaczonych numerami 1326 i 1327. Tablice 2 i 3 przedstawiają wyniki poszczególnych wyznaczeń.

Dla lepszego zorientowania się w rozbieżnościach, poszczególne wartości α , β , γ dla przymiaru 1323 zostały naniesione na wspólny wykres (rys. 3).



Rys. 3

Z rozbieżności pomiędzy średnią i poszczególnymi wynikami obliczono średnie błędy pojedynczego spostrzeżenia i średnie błędy średnich arytmetycznych.

$$\begin{aligned} M_{\alpha} &= \pm 0,0100 & m_{\alpha} &= \pm 0,0020; \\ M_{\beta} &= \pm 0,00018 & m_{\beta} &= \pm 0,00004; \\ M_{\gamma} &= \pm 0,0000108 & m_{\gamma} &= \pm 0,0000022. \end{aligned}$$

Przy wyznaczaniu współczynników wydłużenia termicznego przymiarów WSG (rys. 2) stwierdzono, że są one wielokrotnie większe (rzędu $2,0 \mu\text{m}/1\text{m}1^{\circ}$) od współczynników przymiarów francuskich i w granicach błędów pomiarowych można uznać, że w dostępnym zakresie temperatur mają one charakter liniowy. Podczas dotychczasowej, krótkiej pracy dylatometru wyznaczono wartości współczynnika α dla sześciu przymiarów produkcji WSG i zauważono, że maksymalna różnica tych wartości wynosi ponad $0,5 \mu\text{m}/1\text{m}1^{\circ}$ ($\alpha_{\max} = +2,30 \mu\text{m}/1\text{m}1^{\circ}$; $\alpha_{\min} = +1,77 \mu\text{m}/1\text{m}1^{\circ}$).

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki pomiarów współczynnika wydłużenia termicznego drutów inwarowych pozwalają stwierdzić, że dla wszystkich instytucji używających przymiarów drutowych powinno stać się koniecznością zweryfikowanie tych współczynników, ponieważ nieznanie ich dokładnej wartości nie pozostaje bez wpływu na dokładność pomiarów geodezyjnych.

L I T E R A T U R A

- [1] Gigas E. h. E.: Physikalisch-Geodätische Messverfahren Lieferung 2.
- [2] Bonhoure A.: Le nouveau dilatomètre pour fils geodesiques du Bureau International. Paris, 1955.
- [3] Kajak Ł. K., Toropin S. I.: Ustanowka dla opriedielenija tiempieraturnych koefficientow lentocznyh i prowołocznyh mier dlinoj do 24 m. Trudy institutow Goskomiteta, wydruk 78 (138).
- [4] Geodätisches Institut Potsdam. Aufgaben und Einrichtungen des Geodätischen Instituts Potsdam (Als Manuskript gedruckt 1966).

Przedstawiono na I Seminarium na temat metrologii geodezyjnej

Rękopis złożono w Redakcji w grudniu 1973 r.

ЯН ЧИСАК

РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМИЧЕСКОГО УДЛИНЕНИЯ ПРОВОЛОЧНЫХ МЕР

Р е з ю м е

Представленный доклад является результатом труда коллектива сотрудников лаборатории геодезической метрологии Института геодезии и картографии под научным руководством доц. Е. Ясножевского и доц. М. Добжицкой в области определения коэффициентов термического удлинения геодезических проволочных мер.

В труде содержится краткое описание принципа действия созданного в лаборатории дилатометра, а также результаты первых исследовательских работ.

JAN CISAK

A STUDY ON DETERMINING THE COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION OF MEASURING WIRES

S u m m a r y

The results of studies on determining the coefficient of thermal expansion of geodetic measuring wires are presented. The work was carried out by the team of researches from the Laboratory of Geodetic Metrology of the Institute of Geodesy and Cartography under the scientific guidance of assistant professors J. Jasnorzewski and M. Dobrzycka.

A short discription of the principles of work of the dilatometer constructed in the Laboratory and the results of the first research works are included.

SPIS TREŚCI

JERZY GAŹDZICKI	
O błędach średnich współrzędnych w sieciach niezależnych	3
JANINA DERYŁO-STĘPNIAK	
ANDRZEJ KOPCEWICZ	
JAN ŚLIWKA	
Badanie dokładności numerycznych modeli terenu na przykładach liczbowych	11
JAN CISAK	
MARIA DOBRZYCKA	
ADAM MAZUR	
Prace nad konserwacją jednostki długości dla Polskiej Służby Geodezyjnej	23
JERZY JASNORZEWSKI	
Zadania metrologii	31
MARIA DOBRZYCKA	
Realizowanie międzynarodowej jednostki długości w pomiarach geodezyjnych	37
JERZY GLIWIŃSKI	
Odtwarzanie i przekazywanie jednostki kąta płaskiego za pomocą powierzchniowych i kreskowych wzorców kąta	45
TOMASZ GOMOLISZEWSKI	
ADAM PALASZEWSKI	
Projekt komparacji drutów na komparatorze Instytutu Geodezji Górniczej i Przemysłowej AGH dla potrzeb przemysłu	53
ZBIGNIEW ZĄBEK	
BOGUSŁAWA KALINOWSKA	
Poziomo-pionowy komparator i wyznaczanie średniego metra łąty w pozycji pionowej	63
JAN CISAK	
Prace nad wyznaczaniem współczynnika wydłużenia termicznego przymiarów drutowych	75

СОДЕРЖАНИЕ

ЕЖИ ГАЗЬДЗИЦКИ	
Об ошибках средних координат в независимых сетях	3
ЯНИНА ДЭРЫЛО-СТЭНПНЯК	
АНДЖЕЙ КОПЦЕВИЧ	
ЯН СЛИВКА	
Анализ точности номерных моделей местности на цифровых примерах	11
ЯН ЧИСАК	
МАРИЯ ДОБЖИЦКА	
АДАМ МАЗУР	
Работы по обслуживанию сталона длины для Польской геодезической службы	23
ЕЖИ ЯСНОЖЕЗКИ	
Задачи метрологии	31
МАРИЯ ДОБЖИЦКА	
Использование международной единицы длины при геодезических измерениях	37
ЕЖИ ГЛИВИНСКИ	
Воспроизведение и передача единицы плоского угла при помощи поверхностных и штриховых образцов угла	45
ТОМАШ ГОМОЛИШЕВСКИ	
АДАМ ПАЛАШЕВСКИ	
Проект компарации проволок на компараторе Института горной и промышленной геодезии Горно-металлургической Академии АГХ, предназначенного для промышленных потребностей	53
ЗБИГНЕВ ЗОМБЕК	
БОГУСЛАВА КАЛИНОВСКА	
Горизонтально-вертикальный компаратор и определение среднего метра рейки в вертикальном положении	63
ЯН ЧИСАК	
Работы в области определения коэффициента термического удлинения проволочных мер	75

CONTENTS

JERZY GAŻDZICKI	
Variances of point coordinates in independent nets	3
JANINA DERYŁO-STĘPNIAK	
ANDRZEJ KOPCEWICZ	
JAN ŚLIWKA	
A study on the accuracy of numerical models of terrain	11
JAN CISAK	
MARIA DOBRZYCKA	
ADAM MAZUR	
A study on the maintenance of the unit of length for geodetic works in Poland	23
JERZY JASNORZEWSKI	
Tasks of metrology	31
MARIA DOBRZYCKA	
Realization of the international unit of length in geodetic measurements	37
JERZY GLIWIŃSKI	
Reproduction and transfer of the unit of plane angle by plane and mark standards of angle	45
TOMASZ GOMOLISZEWSKI	
ADAM PALASZEWSKI	
Project of the measuring wires comparison on the comparator of the institute of mining and industrial geodesy of the academy of mining and metalurgy for the needs of industry	53
ZBIGNIEW ZĄBEK	
BOGUSŁAWA KALINOWSKA	
Horizontal-vertical comparator and determining the mean length of one metre of the levelling rod in vertical position	63
JAN CISAK	
A study on determining the coefficient of thermal expansion of measuring wires	75

