

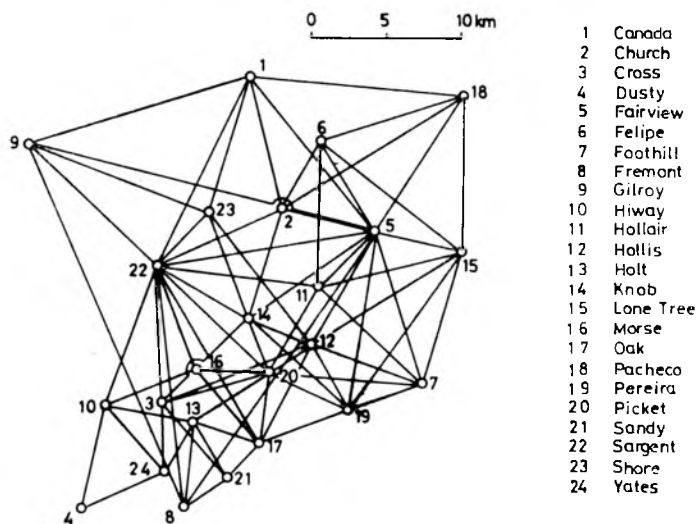
WOJCIECH JANUSZ

Przemieszczenia poziome w sieci testowej Near Hollister (Kalifornia) w świetle analiz przeprowadzonych metodą WJ *)

Zarys treści. Wyrównano różnice odległości w sieci Near Hollister pomierzonych w 9 cyklach w okresie 1973—1980. Zidentyfikowano grupy punktów zachowujące wewnętrzną stałość. Obliczono wzajemne przemieszczenia i obroty 4-ch płyt tektonicznych oraz deformacje tych płyt w miejscach punktów sieci. Rezultaty przedstawiono w formie tabelarycznej i graficznej oraz omówiono zauważone specyficzne cechy zachowania się fragmentów płyt tektonicznych w strefie uskokuwej.

Wprowadzenie

W rejonie Near Hollister w Kalifornii występują silne trzęsienia Ziemi oraz wzajemne przemieszczenia schodzących się tam płyt oddzielonych uskokiemi tektonicznymi. W rejonie tym, na obszarze około 300 km²



Rys. 1. Sieć testowa Near Hollister
Fig. 1. Testing network Near Hollister

*) Metoda identyfikacji punktów stałych i obliczania przemieszczeń opracowana przez Wojciecha JANUSZA, przedstawiona w [10] (Prace IGiK, t. XXX, z. 1, 1983)

założono geodezyjną sieć kontrolną, składającą się z 24 punktów (rys. 1), w której prowadzone są okresowe pomiary odległości poziomych w celu określania przemieszczeń. Sieć ta oraz wyniki dotychczas przeprowadzonych badań zostały omówione w [13]. Sieć kontrolna Near Hillister została przyjęta przez komitet „ad hoc” działający w ramach roboczej grupy C, 6 Komisji FIG jako jedna z sieci testowych służących do zaprezentowania i skonfrontowania wartości różnych metod obliczania i analizy przemieszczeń, istniejących na świecie. Wyniki pomiarów okresowych sieci testowej Near Hollister zostały udostępnione autorowi dzięki uprzejmości Prof. Adama Chrzanowskiego, przewodniczącego wspomnianego komitetu „ad hoc”.

Autor zgodnie z intencją komitetu wykorzystał otrzymane wyniki pomiarów do obliczenia przemieszczeń i wykrycia ich osobliwości w sieci Near Hollister, starając się w miarę możliwości nie sugerować się wnioskami przedstawionymi w publikacji [13].

Postępowanie zastosowane przy badaniu sieci

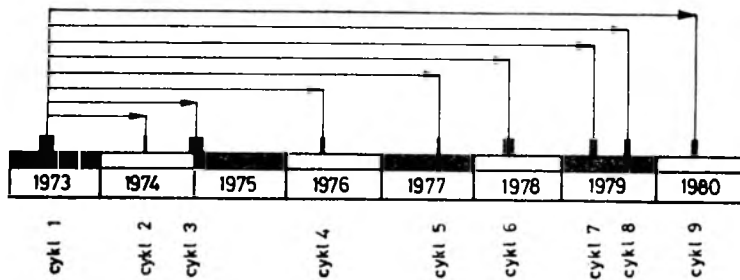
Punktom sieci testowej nadałem numery porządkowe, jak na rysunku 1, którymi operuję we wszystkich obliczeniach i tekście niniejszej pracy.

Otrzymane wyniki powtarzanych pomiarów odległości poselekcjonowałem, zaliczając je do cykli pomiarów, jak w tabelicy 1. Ilustracją rozmieszczenia i czasu trwania poszczególnych cykli jest rysunek 2. Przy selekcjonowaniu okazało się, że pomiary wykonane w 1 cyklu umożliwiały wyznaczalność całej sieci, obejmującej 24 punkty, natomiast w późniejszych cyklach rezygnowano z pomiaru niektórych odległości tak, że na przykład w cyklu ostatnim wyznaczalna okazała się sieć zawierająca 18 punktów, pokazana na rysunku 3.

W I etapie badań analizą przy użyciu metody WJ objęto te wyniki pomiarów wykonanych we wszystkich cyklach, które określają sieć we-

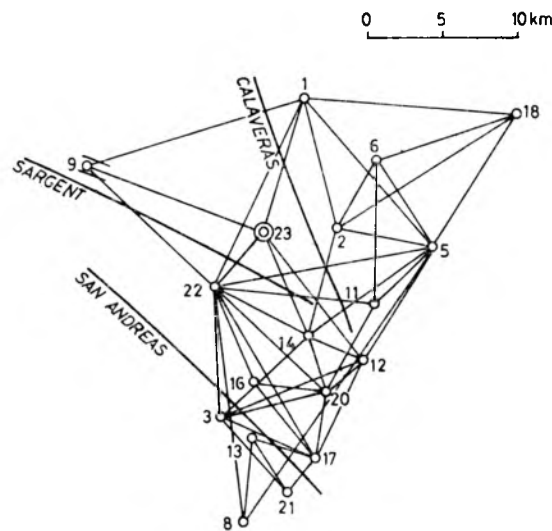
Tablica 1

Numer cyklu	Okres wykonania	Średni moment-epoka	Czas trwania cyklu	Okres	Odstęp czasu
1	1973,114 ÷ 73,157	1973,136	43 dni		
2	1974,162 ÷ 74,172	74,167	10	1—2	396 dni
3	1974,338 ÷ 75,028	75,000	55	1—3	594
4	1976,146 ÷ 76,159	76,152	13	1—4	1111
5	1977,224 ÷ 77,237	77,230	13	1—5	1555
6	1978,123 ÷ 78,163	78,143	40	1—6	1833
7	1979,114 ÷ 79,137	79,126	23	1—7	2181
8	1979,247 ÷ 79,262	79,254	15	1—8	2309
9	1980,169 ÷ 80,183	80,176	14	1—9	2596



Rys. 2
Fig. 2.

dług rysunku 3, bowiem daje to możliwość jednolitego przedstawienia zmian jakie następowały w sieci Near Hollister w całym okresie badań od epoki 1973, 136¹⁾ do epoki 1980, 176. W II etapie badań przeprowadzono analizę sieci obejmujących wszystkie punkty wyznaczalne w poszczególnych cyklach.



Rys. 3. Sieć testowa Near Hollister bez punktów obserwowanych sporadycznie
Fig. 3. Testing network Near Hollister without points sporadically observed

Etap I badań

Obliczono różnice niezredukowanych do poziomemu długości pomierzonych w każdym cyklu w stosunku do wyniku z cyklu 1 i wyrównano sieci tak obliczonych różnic $dd = d' - d$. Przy wyrównaniach zwagowano pomierzone różnice dd korzystając z błędów a priori $m_{dd(2)} = \sqrt{2}(3 + 0,2 \cdot d \cdot 10^{-6})$ mm¹⁾. Wyrównania przeprowadzono przy ograni-

¹⁾ Po przecinku podano numer kolejny dnia w roku.

Tablica 2

Przemieszczenia pozorne dx , dy z wyrównań różnic dd przy dostosowaniu sieci do punktu 23 i kierunku 23-9

Table 2

Apparent displacements dx , dy from adjustments of differences dd at accomodation of the network to point 23 and direction 23-9

Por*) cykli	1-2		1-3		1-4		1-5		1-6		1-7		1-8		1-9	
	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm
1	-2,8	-10,3	-21,9	-7,7	-27,0	-8,0	-49,9	-1,9	-57,7	-0,5	-68,2	7,4	-129,8	27,4	-160,2	39,2
2	-1,8	6,5	-16,5	-0,1	-20,7	4,1	-53,3	-14,3	-54,5	0,7	-79,9	11,4	-116,8	-5,1	-149,9	-3,0
3	18,9	9,9	32,0	-13,8	46,5	-15,6	53,7	-43,3	62,6	-29,7	68,7	-44,8	53,0	-76,5	65,4	-99,3
5	16,3	8,2	-4,2	-0,1	-3,4	12,0	-38,2	3,1	-36,0	20,9	-55,8	20,1	-110,4	25,5	-143,6	28,2
6	7,1	-4,6	-11,5	-11,4	-16,6	-2,6	-42,3	0,1	-43,7	11,4	-60,3	23,5	-105,9	36,9	-145,6	37,7
8	17,9	25,5	31,8	2,7	45,6	6,5	57,7	-37,6	67,5	2,1	78,1	1,5	49,4	-76,5	53,6	-95,7
9	0,5	-1,1	-5,3	12,5	0,9	-2,2	1,9	-4,6	0,7	-1,7	4,9	-11,7	2,9	-7,0	4,1	-9,8
11	6,6	11,1	-11,3	-1,7	-12,0	17,0	-40,4	-1,3	-42,3	24,2	-55,5	23,4	-88,3	-17,8	-130,0	3,4
12	17,8	27,4	-4,3	10,3	5,7	29,1	-19,7	15,2	-14,9	35,3	-28,6	43,2	-73,1	25,8	-88,5	20,8
13	22,1	18,6	35,8	-12,1	58,2	-6,3	65,0	-38,1	76,2	-16,7	87,3	-25,3	76,6	-68,2	62,7	-95,2
14	10,9	17,7	10,3	-1,8	21,7	7,1	16,2	-12,5	21,8	7,5	20,3	4,2	-6,5	-17,2	-12,3	-24,9
16	27,1	20,8	26,1	3,9	27,8	2,5	25,6	-24,0	35,6	0,1	21,8	-17,5	10,4	-48,2	7,3	-56,5
17	27,5	34,6	19,9	1,1	33,2	18,6	29,1	-2,9	45,0	17,4	37,2	21,4	6,4	-20,0	4,2	-34,7
18	39,9	-23,9	2,2	-24,3	10,4	-16,7	-38,5	-13,1	-19,4	-4,7	-49,2	5,8	-112,0	29,5	-144,8	33,8
20	16,2	24,8	19,3	-2,0	30,9	6,8	27,7	-14,7	34,9	6,4	36,1	3,9	7,3	-24,9	-1,8	-35,0
21	39,7	28,1	38,6	-12,5	59,7	-5,3	58,1	-51,5	78,1	-22,4	90,5	-30,3	56,8	-79,4	57,4	-93,5
22	17,6	5,4	18,3	-1,8	15,2	-6,8	9,3	-21,3	20,1	-16,9	15,2	-24,3	6,3	-35,9	11,5	-34,9
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
m_0	1,09 ± 0,21		0,56 ± 0,09		0,50 ± 0,08		0,77 ± 0,14		0,77 ± 0,14		0,96 ± 0,18		0,82 ± 0,15		0,76 ± 0,14	
n_n	14		21		19		16		16		15		15		16	

*) Comparison of cycles

czeniu 3-ch stopni swobody, to jest przyjmując za niezmienny w toku wyrównania punkt 23 i kierunek 23 — 9.

W wyniku przeprowadzonych wyrównań otrzymano składowe dx , dy przemieszczeń pozornych, błędy m_o i liczbę stopni swobody (obserwacji nadliczbowych n_n), zestawione w tabelicy 2. Ponadto, na podstawie dx , dy zestawionych w tabelicy 2, obliczono parametry: $d\alpha$ — współczynnik zmiany kierunku, $d\beta$ — współczynnik zmiany skali (odległości) według wzorów (2, 1) z pracy [10]:

$$d\alpha_{ik} = -a_{ik}(dx_k - dx_i) - b_{ik}(dy_k - dy_i)$$

$$d\beta_{ik} = \frac{dd_{ik}}{d_{ik}} = -b_{ik}(dx_k - dx_i) - a_{ik}(dy_k - dy_i)$$

gdzie

$$-a = \frac{\Delta y \cdot \varrho}{d^2}; \quad b = \frac{\Delta x \cdot \varrho}{d^2}$$

Na podstawie macierzy wariancyjno-kowariancyjnych obliczono błędy średnie tych parametrów, według wzorów (4, 3) z pracy 10:

$$m_{d\alpha_{ik}} = m_o \sqrt{f_\alpha \cdot (apa)^{-1} \cdot f_\alpha}$$

$$m_{d\beta_{ik}} = m_o \sqrt{f_\beta \cdot (apa)^{-1} \cdot f_\alpha}$$

Parametry i ich błędy obliczono dla odcinków łączących punkty sieci testowej według rysunku 3 we wszystkich kombinacjach.

Wyrównania i obliczenie parametrów oraz ich błędów przeprowadzono przy użyciu programu BIGR opracowanego przez K. Kuczerę [11].

Oznaczenia do schematu kolizji

Tablica 3

Notations to the scheme of collision

Table 3

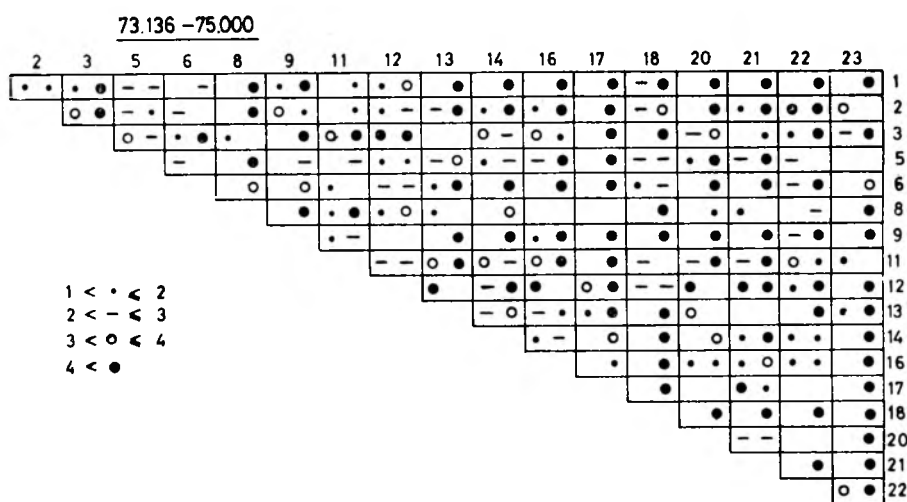
Przedział	Oznaczenie liczbowe		Oznaczenie graficzne	
	$\frac{d\alpha}{m_{d\alpha}} = E$	$\frac{d\beta}{m_{d\beta}} = F$	$\frac{d\alpha}{m_{d\alpha}}$	$\frac{d\beta}{m_{d\beta}}$
1	$0 < E \leq 1$	$0 < F \leq 1$		
2	$1 < E \leq 2$	$1 < F \leq 2$.	.
3	$2 < E \leq 3$	$2 < F \leq 3$	—	—
4	$3 < E \leq 4$	$3 < F \leq 4$	○	○
5	$4 < E < \infty$	$4 < F < \infty$	●	●

1) Wcześniej przeprowadzono wyrównanie eksperymentalne, wając różnice dd zgodnie z wzorem $m_{dd(1)} \sqrt{2(3^2 + 0,2^2 \cdot d^2 \cdot 10^{-12})}$ na podstawie informacji o dokładności pomiarów, zaczerpniętej z [13], jednak wynik nie był pozytywny, co omówiono dalej w dyskusji błędów.

Obliczone wartości $d\alpha$, $d\beta$, $m_{d\alpha}$, $m_{d\beta}$ posłużyły do wykrywania w sieci grup punktów wewnątrznie stałych oraz do sprawdzania, czy kryteria stałości według metody WJ zostały w tych grupach spełnione.

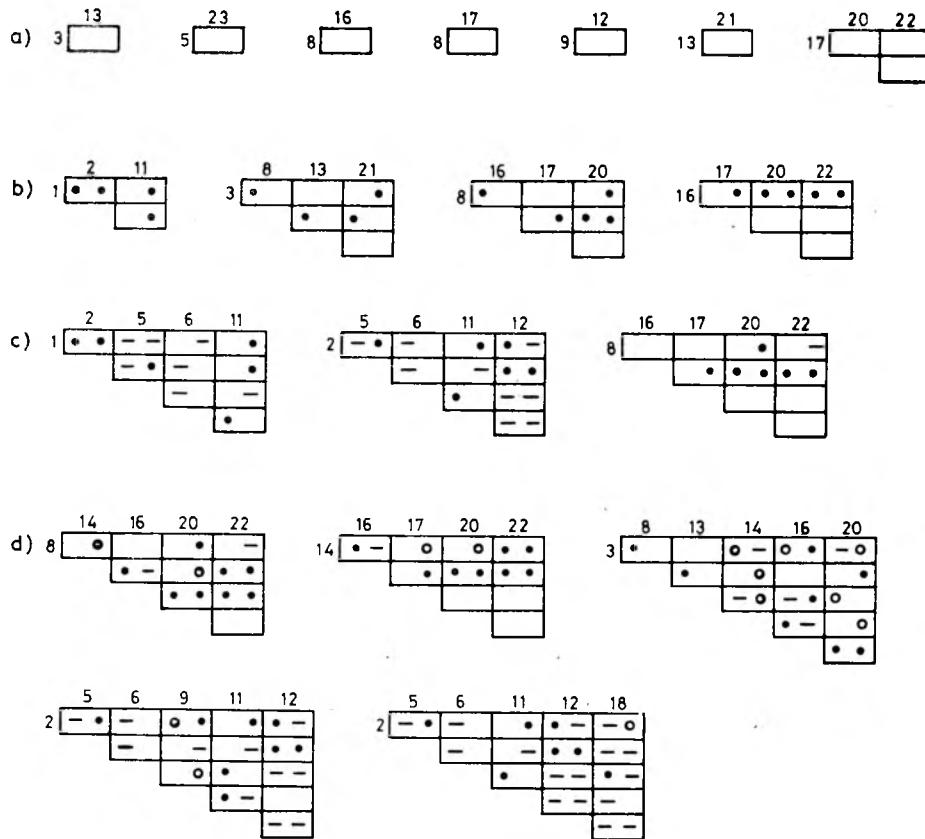
Do wykrywania grup punktów wewnątrznie stałych służy schemat kolizji. W celu utworzenia takiego schematu oblicza się wielkości $\frac{d\alpha}{m_{d\alpha}}$, $\frac{d\beta}{m_{d\beta}}$ dla wszystkich odcinków łączących punkty sieci we wszystkich kombinacjach. Obliczone wielkości kwalifikuje się do przedziałów i oznacza graficznie jak w tabelicy 3.

Na przykład dla sieci różnic dd z okresu między cyklami 1-3 otrzymano schemat kolizji jak na rysunku 4.



Schemat kolizji sygnalizuje połączenia punktów obserwacjami, których zmiany przekraczają określoną wielokrotność błędu średniego wyznaczenia zmiany. Umożliwia on łatwe wykrycie fragmentów sieci nie wykazujących kolizji, to jest takich, których punkty łączone są odcinkami nie wskazującymi nadmiernych zmian kierunku i względnych zmian długości.

Brak kolizji można rozpatrywać na różnych poziomach. Za najwyższy poziom braku kolizji uznać można wymaganie, aby wszystkie odcinki spełniały warunek przedziału 1. Oznacza to, że za grupę punktów stałą wewnątrznie na poziomie najwyższym uznaje się taką, której wszystkie odcinki wykazują zmiany kierunku i względne zmiany długości mniejsze od błędu średniego. Analizując schemat kolizji pokazany na rysunku 4 dochodzimy do wniosku, że w sieci różnic dd z okresu między epokami 1973,136 ÷ 1975,000 wewnątrznie stałe na poziomie najwyższym są grupy punktów oznaczone schematycznie na rysunku 5a. Z ry-



Rys. 5. Schematy grup wewnętrznie stałych (wyciągi ze schematu kolizji)
 Fig. 5. Scheme of the groups being intrinsically fixed (extracts from the scheme of the collision)

sunku 5a wynika, że na poziomie najwyższym wewnętrzną stałość wykazało tylko 6 odcinków: 3-13, 5-23, 8-16, 8-17, 9-12, 13-21 oraz grupa utworzona przez trzy punkty (17, 20, 22).

Rozpatrując brak kolizji na poziomie niższym, dopuszczającym na przykład mieszanie się wartości $d\alpha$, $d\beta$ w granicach nie przekraczających dwukrotnego błędu średniego ich wyznaczenia, [4], [16], możemy wykryć grupy wewnętrznie stałe zawierające większe liczby punktów. Ilustracją tego dla sieci różnic dd z okresu między epokami 1973,136 ÷ 1975,000 jest rysunek 5b, z którego wynika, że wzajemną (wewnętrzną) stałość na poziomie nie przekraczającym 2-krotnego błędu średniego wykazała grupa 3-ch punktów (1, 2, 11) oraz trzy grupy zawierające po 4 punkty (3, 8, 13, 21) i (8, 16, 17, 20), (16, 17, 20, 22). Rozpatrując brak kolizji na jeszcze niższym poziomie, to jest przy dopuszczeniu zmian nie przekraczających trzykrotnego błędu ich wyznaczenia otrzymujemy wyniki ja na rysunku 5c, wskazujące dodatkowo na wewnętrzną stałość 3-ch grup 5-punktowych: (1, 2, 5, 6, 11), (2, 5, 6, 11, 12), (8, 16, 17, 20, 22).

Tablica 4

Przykład kontroli wewnętrznej stałości grupy punktów

Table 4

An example of the checking the intrinsic stability of the group of points

Odcinek	$d\alpha$	$m_{d\alpha}$	$d\beta$	$m_{d\beta}$	$\times 10^{-6}$
16—17	0,9	1,1	0,5	0,4	$d\alpha_{sr} = \frac{-0,40}{8,14} = -0,05$
16—20	1,3	1,0	-1,1	0,6	
16—22	-1,0	0,9	-0,7	0,4	$d\beta_{sr} = \frac{-6,22}{55,39} = -0,11$
17—20	-0,6	1,0	-0,2	0,5	
17—22	-0,2	0,7	0,0	0,2	$m_{o\alpha} = 0,90$
20—22	-0,1	0,7	-0,1	0,3	$m_{o\beta} = 1,23$

Możliwe jest rozpatrywanie braku kolizji na jeszcze niższym poziomie, to jest przy dopuszczeniu zmian nie przekraczających czterokrotnego błędu ich wyznaczenia, co pokazano na rysunku 5d ujawniającym dodatkowo 2 grupy 5-punktowe: (8, 14, 16, 20, 22), (14, 16, 17, 20, 22) i 3 grupy 6-punktowe: (3, 8, 13, 14, 16, 20), (2, 5, 6, 9, 11, 12), (2, 5, 6, 11, 12, 18).

Dopuszczanie zmian w granicach do 3 lub 4 krotnego błędu średniego wskazuje na możliwość zidentyfikowania grup punktów o większej liczebności, jednak odbywa się to kosztem słabszej ich wewnętrznej stałości. W rezultacie trzeba się liczyć z tym, że przy takim złagodzeniu wymagań może nastąpić niespełnienie dalej omawianych kryteriów stałości wewnętrznej. O możliwości spełnienia tych kryteriów decyduje też liczba wystąpień zmian dużych w stosunku do błędów średnich ich wyznaczenia.

Wykrywanie grup punktów stałych wewnętrznie w wyżej zilustrowany sposób, przy użyciu schematu kolizji, stanowi pierwsze przybliżenie, które winno uzyskać potwierdzenie przy użyciu kryteriów stałości.

Do sprawdzenia, czy wykryte grupy punktów stałe wewnętrznie spełniają kryteria stałości posłużono się wzorami 9÷12 z pracy [10].

W tym celu dla każdej grupy wykrytej przy użyciu schematu kolizji zestawiono obliczone parametry $d\alpha$, $d\beta$ i ich błędy $m_{d\alpha}$, $m_{d\beta}$ i obliczono na ich podstawie wartości wg wspomnianych wzorów z [10]. Przykład takiego obliczenia dla grupy punktów (16, 17, 20, 22) w sieci różnic dd między epokami 1973,136—1975,000 (rys. 5b) zawiera tablica 4. Korzystając z danych tablicy 4 stwierdzono następujące spełnienie kryteriów stałości:

$$m_{o\alpha} < 1 + \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 5}} \quad (0,90 < 1,32)$$

$$m_{o\beta} < 1 + \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 5}} \quad (1,23 < 1,32)$$

$$|d\beta_{sr}| < \frac{3 \cdot m_{o\beta}}{[p\beta]} \quad (|-0,11| < 0,50)$$

Tablica 5

Wyniki kontroli wewnętrznej stałości grup punktów,

Table 5

Effects of the checking the intrinsic stability of groups of points

Porównanie cykli Comparison of cycles	Grupa I (17,20,22)					Grupa II (3,8,13,21)					Grupa III (1,5,6,18)				
	$d\alpha_r$	$d\beta_r$	m_{0r}	m_{0g}	$\frac{3m_{0g}}{\sqrt{[p]}}$	$d\alpha_r$	$d\beta_r$	m_{0r}	m_{0g}	$\frac{3m_{0g}}{\sqrt{[p]}}$	$d\alpha_r$	$d\beta_r$	m_{0r}	m_{0g}	$\frac{3m_{0g}}{\sqrt{[p]}}$
1-2	-1,66	0,31	0,33	2,28	2,25	-3,48	-0,34	0,34	1,00	1,59	-2,63	-0,49	0,55	0,68	0,91
1-3	-0,24	-0,05	0,30	0,36	0,47	-1,37	-0,24	0,69	0,90	0,69	-1,53	-0,86	0,65	1,07	0,45
1-4	-2,12	-0,34	0,17	1,16	0,53	-2,61	-0,19	1,12	2,00	1,36	-2,48	-0,57	0,69	0,61	0,36
1-5	-1,84	-0,64	0,21	0,20	0,70	0,13	-0,31	1,05	1,33	1,48	-0,85	-0,73	0,19	0,57	0,61
1-6	-2,57	-0,25	0,53	2,69	1,83	-2,86	-0,29	1,16	1,25	1,39	-2,48	-0,42	0,53	0,53	0,60
1-7	-3,42	0,20	0,10	1,05	0,92	-4,31	-0,40	1,02	1,09	1,58	-1,32	-0,38	0,59	0,92	0,71
1-8	-0,92	0,51	0,10	0,62	0,67	0,09	1,49	1,54	2,48	3,08	-0,49	-0,52	1,48	1,22	0,76
1-9	0,48	0,45	0,39	1,84	1,25	0,00	1,53	0,10	0,24	1,11	-0,17	-0,84	0,91	1,55	0,86

Stwierdzono więc w niewątpliwy sposób, że grupa punktów (16, 17, 20, 22) w rozpatrywanym okresie tworzyła figurę, której kształt i wymiary nie uległy zmianie (zachowane zostały w granicach dokładności wyznaczenia). Jednocześnie stwierdzono, że grupa ta nie uległa obroto-
wi w stosunku do kierunku odcinka 23-9 przyjętego przy wyrównaniu sieci różnic za niezmienny ($d\alpha_{sr} = -0,05 \cdot 10^{-6} = -0'',01$ przy możli-
wej do stwierdzenia dokładności tego obrotu

$$\frac{3 m_{o\alpha}}{[p_\beta]} = 0,95 \cdot 10^{-6} = 0'',2$$

Należy podkreślić, że w sieci testowej Near Hollister, w której po-
mierzone odległości między punktami, nie mierzono zaś azymutów ani
kierunków orientacyjnych, nie zachodzi konieczność spełniania kryte-
rium $|d\alpha_{sr}| < \frac{R m_{o\alpha}}{[p_\alpha]}$, choć wielkości $d\alpha_{sr}$ obliczono jako przydatne do
ocen ewentualnych obrotów grup punktów względem siebie.

W wyżej zilustrowany sposób przeanalizowano spełnienia kryteriów
stałości (11, 12) według pracy [10] przez wszystkie grupy punktów wy-
kryte jako stałe wewnętrznie. Spośród wielu grup spełniających lub
nieznacznie przekraczających granice kryteriów stałości wewnętrznej
wysuwały się trzy grupy, w których warunki stałości były spełniane
lub nieznacznie przekraczane we wszystkich cyklach. Ponadto grupy te
charakteryzują się tym, że nie stanowią wzajemnej kombinacji ani nie
nakładają się na siebie (są odrębne pod względem podobszarów sieci,
na których są położone). Są to grupy:

I utworzona przez punkty 17, 20, 22

II utworzona przez punkty 3, 8, 13, 21

III utrzymana przez punkty 1, 5, 6, 18

Wyniki analizy spełnienia kryteriów stałości przez te grupy zesta-
wiono w tablicy 5.

Z uwagi na to, że grupa I jest usytuowana centralnie w sieci Near
Hollister, przyjęto ją jako grupę punktów odniesienia i obliczono prze-
mieszczenia dx , dy wszystkich punktów sieci. W tym celu wykonano
transformacje przemieszczeń pozornych dx , dy zawartych w tablicy 2
przy dostosowaniu sieci do punktów 17, 20, 22. Transformacje te zostały
wykonane przy użyciu metody omówionej w [9], [10] nie powodującej
zmiany skali figury transformowanej. Uzyskane rezultaty przedstawiono
w tablicy 6 i na rysunku 6. Bliższe objaśnienie sposobu obliczania prze-
mieszczeń zawiera praca [14].

Na rysunku 6 pokazano zidentyfikowane grupy punktów stałe we-
wnętrznie przez obwiedzenie ich linią przerywaną. Linie te poprowadzono
tak, by obejmować w zamkniętych konturach punkty tworzące grupy
o zachowanej wewnętrznej stałości, nie zmykając w nich żadnych innych
punktów sieci.

Tablica 6

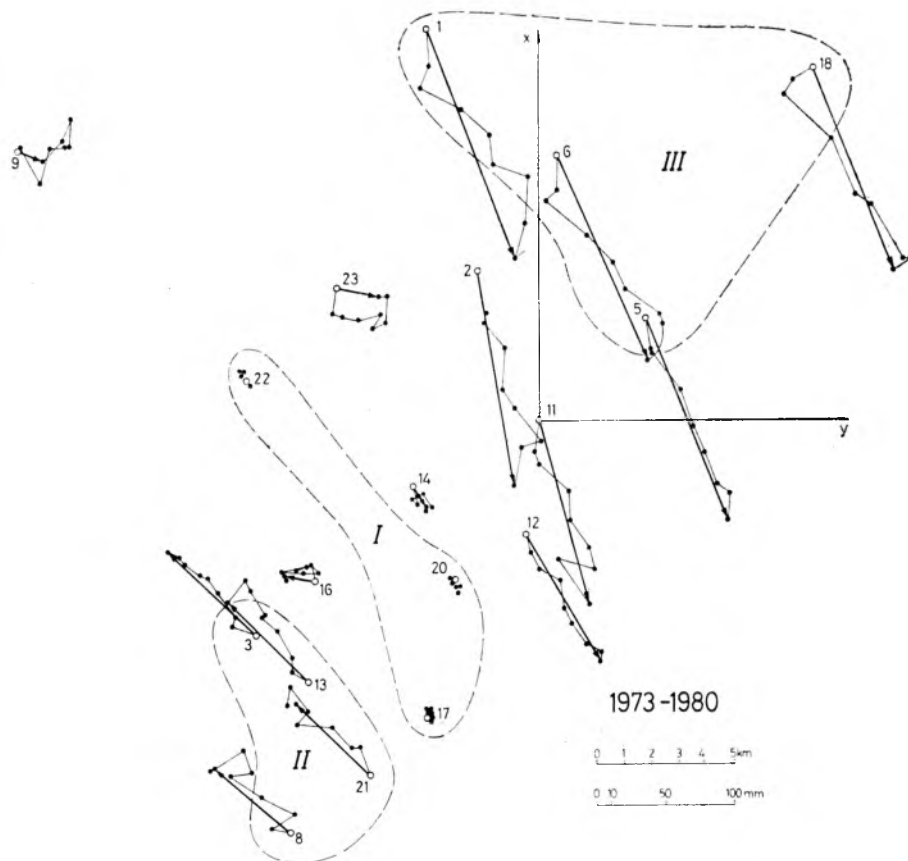
Przemieszczenia dx , dy punktów sieci po dostosowaniu do I grupy (punktów 17, 20, 22)

Table 6

Displacements dx , dy of points of the network after accommodation to the group I (points 17, 20, 22)

Por. cykli Comparison of cycles	1-2		1-3		1-4		1-5		1-6		1-7		1-8		1-9		Strefa Zone	Pod-obszar (plyta) Sub-region (plate)
	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm		
17	3,7	2,7	0,3	0,8	2,7	0,1	3,6	-0,4	6,4	-0,8	1,0	0,9	-2,1	1,6	0,5	2,9	silna strong	I
20	-9,3	1,9	-0,4	-1,2	-1,6	-0,9	0,5	-3,0	-6,3	2,1	-3,4	1,1	-2,1	1,3	-5,1	0,2		
22	5,7	-4,7	0,1	0,4	-1,0	0,7	-4,0	3,4	0,0	-1,4	2,4	-2,1	4,0	-3,0	4,7	-3,0		
14	-11,9	0,9	-9,2	-0,4	-7,6	6,7	-8,3	5,4	-15,2	12,7	-13,9	13,4	-14,5	12,2	-16,3	8,7	slaba weak	I
16	10,8	-2,2	7,4	4,7	6,3	-5,3	7,8	-12,4	8,6	-4,3	0,3	-20,5	5,8	-22,0	1,6	-21,2		
3	6,5	-16,7	13,7	-13,5	29,6	-27,8	39,9	-35,4	41,6	-39,7	54,8	-55,1	50,4	-52,2	58,7	-63,1	silna strong	II
8	3,2	-14,1	13,2	1,6	26,0	-21,2	41,5	-43,0	43,0	-28,1	59,8	-34,1	45,7	-59,0	47,5	-56,1		
13	6,2	-10,7	17,1	-12,1	37,2	-21,7	47,6	-33,0	49,9	-30,9	66,7	-40,7	72,3	-45,3	56,9	-58,3		
21	19,8	-7,7	19,5	-13,2	33,9	-28,4	36,6	-53,0	45,5	-46,6	61,9	-58,4	50,3	-59,9	52,7	-54,9		
1	-26,5	2,4	-41,5	-2,9	-57,3	26,8	-75,2	46,1	-96,1	50,2	-104,2	74,3	-138,2	72,1	-163,9	65,1	silna strong	III
5	-21,9	2,1	-25,4	2,5	-51,0	24,3	-78,4	31,9	-96,8	42,5	-120,1	50,1	-126,3	60,4	-143,5	59,0		
6	-25,2	-0,1	-32,0	-7,6	-57,2	22,4	-76,5	39,8	-93,4	49,5	-113,1	74,3	-118,8	77,4	-147,1	65,8		
18	-9,3	-13,7	-20,2	-19,9	-50,4	15,1	-90,0	32,4	-97,3	42,2	-135,2	67,8	-133,7	72,9	-141,8	60,4		
2	-28,9	3,3	-36,4	2,9	-55,1	19,9	-84,1	17,5	-98,1	26,9	-122,4	47,2	-127,0	31,4	-152,7	27,1	slaba weak	III
11	-24,4	-1,5	-31,7	0,2	-51,1	21,6	-73,3	20,9	-92,1	35,8	-105,9	40,8	-100,5	14,1	-131,8	35,9		
12	-12,4	7,4	-24,6	11,4	-32,4	24,8	-51,7	29,8	-63,4	35,4	-77,3	46,0	-84,9	53,5	-90,5	55,3		
9	3,6	3,5	-21,9	16,3	2,6	23,0	4,0	35,2	3,8	36,6	21,6	39,4	8,4	33,5	-6,7	18,2	slaba weak	IV
23	-17,8	-4,2	-18,9	2,8	-23,3	14,6	-19,4	30,8	-29,3	24,6	-24,5	33,8	-5,4	35,9	-5,3	30,3		

Na rysunku 6 pokazano wektory przemieszczeń wszystkich punktów utworzone przez składowe \underline{dx} , \underline{dy} z tablicy 6, charakteryzujące przemieszczenia punktów w epoce 1980,176 w stosunku do epoki 1973,136. Jednocześnie linią cieniową oznaczono trajektorię ruchu każdego punktu w całym okresie badań 1973,136÷1980,176, pokazując kropkami pozycje punktów w cyklach pośrednich.



Rys. 6. Wektory \underline{dp} przemieszczeń punktów (na podstawie \underline{dx} , \underline{dy} z tablicy 6)
 Fig. 6. Vectors of \underline{dp} displacements of points (on the basis of \underline{dx} , \underline{dy} , taken from Table 6)

Graficznym wyrazem wewnętrznej stałości I grupy punktów (17, 20, 22) tworzącej przyjęty układ odniesienia przetransformowanych przemieszczeń \underline{dx} , \underline{dy} jest znaczne skupienie pozycji tych punktów w cyklach pośrednich, praktycznie uniemożliwiające narysowanie w zastosowanej skali trajektorii ich ruchu w całym okresie badań. Rozrzut tych pozycji można uznać za podstawę do oceny dokładności stwierdzenia wewnętrznej stałości I grupy punktów. Służy do tego błąd punktu dostosowania obliczony przy transformacjach:

Porównanie cykli Comparison of cycles	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9
m_p (mm)	9,1	1,1	2,5	5,0	6,6	3,5	4,4	5,7

Widoczne jest, że błąd m_p wyznaczony z poszczególnych transformacji zmieniał się w granicach od 1,1 mm (nierealnie mały w stosunku do dokładności wykonywanych pomiarów) do 9,1 mm. Jest to wynik określania błędu w każdym cyklu na podstawie wewnętrznej zgodności układu o małej liczebności (3 punkty dostosowania). Tym nie mniej na podstawie zbioru błędów uzyskanych z transformacji, dotyczących kolejnych porównań, można wyrobić sobie pogląd na temat dokładności, z jaką została stwierdzona wewnętrzna zgodność grupy punktów.

Na rysunku 6 widoczne jest, że punkty 14, 16 wykazują stosunkowo małe przemieszczenia w stosunku do grupy I i znajdują się w pobliżu niej. Widoczne jest też, że punkty 9, 23 wykazują niewielkie przemieszczenia w stosunku do grupy I, jednak wyraźnie większe od przemieszczeń punktów 14, 16, co stwarza podejrzenie, że punkty 9, 23 mogą należeć do osobnej grupy reprezentującej indywidualny ruch.

Widoczne jest, że punkty 3, 8, 13, 21 wykazują w stosunku do grupy I duże przemieszczenia o jednakowych w przybliżeniu wektorach, co jest graficznym wyrazem uprzedniego stwierdzenia, iż tworzą oddzielną grupę (II) o zachowanej wewnętrznej stałości.

Widoczne jest, że punkty 1, 5, 6, 18 mają duże, lecz w przybliżeniu jednakowe wektory przemieszczeń, wyraźnie inne aniżeli wektory punktów grupy II. Jest to graficznym wyrazem uprzedniego stwierdzenia, że tworzą oddzielną grupę (III) o zachowanej wewnętrznej stałości. Widoczne jest, że punkty 2, 11, 12, nie zaliczone uprzednio do żadnej grupy o zachowanej wewnętrznej stałości, mają wektory przemieszczeń zbliżone do wektorów przemieszczeń punktów tworzących grupę III.

Z rysunku 6 płynie wniosek, że na obszarze sieci występują trzy charakterystyczne podobszary, mające swoje indywidualne ruchy. Można też podejrzewać, że istnieje czwarty podobszar o indywidualnych ruchach, do którego należą punkty 9, 23.

Podobszar I określony jest przez I grupę punktów stałą wewnątrznie (17, 20, 22) obwiedzioną na rysunku 6 linią przerywaną, oraz podobnie przemieszczające się punkty 14, 16.

Podobszar II określony jest przez II grupę punktów stałą wewnątrznie (3, 8, 13, 21) obwiedzioną na rysunku 6 linią przerywaną.

Podobszar III określony jest przez III grupę punktów stałą wewnątrznie (1, 5, 6, 18) obwiedzioną na rysunku 6 linią przerywaną oraz podobnie przemieszczające się punkty 2, 11, 12.

Należy zwrócić uwagę, że z obwiedzeniem na rysunku 6 fragmentów sieci, zamykających wewnątrz grupy punktów o zachowanej wewnętrznej

stałości, wiązaliśmy dotychczas znaczenie porządkowe, umożliwiające graficzną segregację punktów zachowujących się podobnie lub nieruchomych względem siebie.

Obecnie, wprowadzając termin „podobszar” zaczynamy okonturowaniu grup punktów wewnętrznie stałych przypisywać inną rolę i znaczenie, mające charakter generalizacyjny. Mianowicie przyjmujemy, że w zamkniętym konturze znajduje się podobszar terenu (podłoża), który zachowuje się podobnie jak reprezentujące go punkty sieci. Tym samym przyjmujemy, że jeśli okonturowana grupa punktów zachowuje wewnętrzną stałość, to zawarty w konturze podobszar ma charakter płyty nie podlegającej odkształceniom lub odkształcającej się nieznacznie. To „generalizacyjne” podejście, zaprezentowane uprzednio przez autora w pracach [6], [7], [8], ma oczywiście charakter hipotetyczny i wymaga potwierdzenia w wyniku innego rodzaju badań, głównie geologicznych.

Przebieg ustalonej linii odgraniczającej podobszar ma częściowe podstawy w postaci rozmieszczenia punktów wchodzących w skład grupy o zachowanej wewnętrznej stałości lub zachowujących się podobnie jak taka grupa, w stosunku do rozmieszczenia innych sąsiadujących punktów sieci, które wykazują odmienne przemieszczenia. Trzeba jednak podkreślić, że szczegółowy przebieg tej linii, wobec braku innego rodzaju danych, jest wynikiem fantazji rysującego. Występuje to zwłaszcza na skrajach sieci, gdzie linia nie może być prowadzona między punktami zachowującymi się w sposób zróżnicowany — jest ekstrapolowana. Oczywiście środkiem zmniejszającym udział subiektywizmu i nieskrępowanej fantazji jest zagęszczenie sieci punktów, na których możliwe jest wyznaczenie przemieszczeń.

Obwiedzione na rysunku 6 grupy I, II, III można uznać za strefy „silne” poszczególnych podobszarów, charakteryzuje się małymi wzajemnymi przemieszczeniami punktów tworzących grupy stałe wewnętrznie. Pozostałe punkty zaliczone do poszczególnych podobszarów znajdują się w strefach „słabych” tych podobszarów, wykazujących podobne tendencje ruchu jak ich strefy silne, lecz podlegających większym przemieszczeniom z powodu większych odkształceń własnych podłoża.

W celu silniejszego uwydatnienia powyższych stwierdzeń obliczono średnie przemieszczenia dx_0 , dy_0 środków ciężkości grup II, III i hipotetycznej grupy IV tworzonej przez punkty 9, 23. Następnie obliczono zredukowane przemieszczenia $dx_r = dx - dx_0$, $dy_r = dy - dy_0$ punktów zaliczonych do poszczególnych podobszarów, w stosunku do ich środków ciężkości. Wynik tego obliczenia zawarty jest w tablicy 7 i przedstawiony na rysunku 7. W tablicy 7 podano zestawienie składowych przemieszczeń wszystkich punktów dx_r , dy_r oraz składowe przemieszczenia dx_0 , dy_0 środków ciężkości grup punktów stałych.

Na rysunku 7 oznaczono podwójnymi koncentrycznymi kołami środki ciężkości grup punktów stałych oraz liniami grubymi wektory przemiesz-

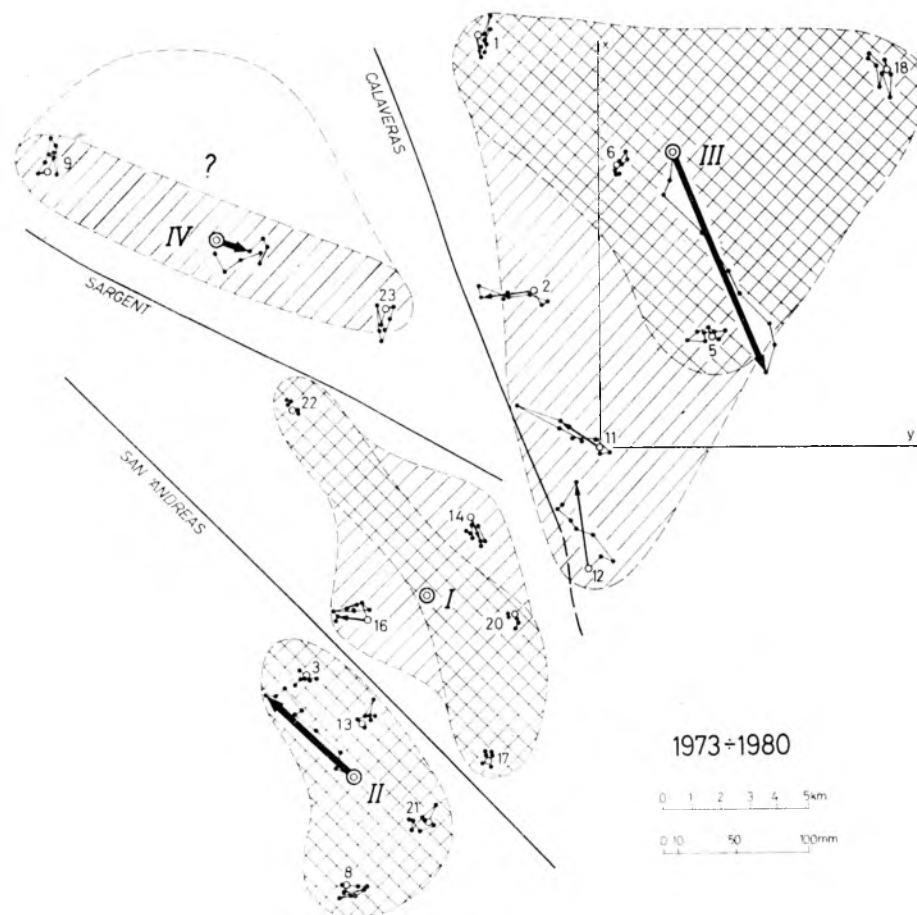
Tablica 7

Składowe dx_0, dy_0 wektorów przemieszczeń podobszarów (plyt) II, III, IV względem podobszaru I.
 Składowe wektorów przemieszczeń punktów $dx_r = dx - dx_0, dy_r = dy - dy_0$, zredukowane o przemieszczenie podobszaru

Table 7

Components dx_0, dy_0 of vectors of displacements of subregions (plates) II, III, IV in relation to subregion I.
 Components of vectors of displacements of points $dx_r = dx - dx_0, dy_r = dy - dy_0$, reduced by the displacement of the subregion

Por. cykli Comparison of cycles	1-2		1-3		1-4		1-5		1-6		1-7		1-8		1-9		Plyta Plate
	dx_r mm	dy_r mm	dx_r mm	dy_r mm	dx_r mm	dy_r mm	dx_r mm	dy_r mm	dx_r mm	dy_r mm	dx_r mm	dy_r mm	dx_r mm	dy_r mm	dx_r mm	dy_r mm	
3	-2,4	-4,4	-2,2	-4,2	-2,1	-3,0	-1,5	5,7	-3,4	-3,4	-6,0	-8,0	-4,3	1,9	4,7	-5,0	II
8	-5,7	-1,8	-2,7	10,9	-5,7	3,6	0,1	-1,9	-2,0	8,1	-1,0	13,0	-9,0	-4,9	-6,5	2,0	
13	-2,7	1,6	1,2	-2,8	5,5	3,1	6,2	8,1	4,9	5,4	5,9	6,4	17,6	8,8	2,9	-0,2	
21	10,9	4,6	3,6	-3,9	2,2	-3,6	-4,8	-11,9	0,5	-10,3	1,1	-11,3	-4,4	-5,8	-1,3	3,2	
1	-5,8	4,7	-11,7	4,1	-3,3	4,6	4,8	8,5	0,3	4,1	14,0	7,7	-9,0	1,4	-14,8	2,5	III
5	-1,2	4,4	4,4	9,5	3,0	2,1	1,6	-5,7	-0,4	-3,6	-1,9	-16,5	2,9	-10,3	5,6	-3,6	
6	-4,5	2,2	-2,2	-0,6	-3,2	0,2	3,5	2,2	1,0	3,4	5,1	7,7	10,4	6,7	2,0	3,2	
18	11,4	-11,4	9,6	-12,9	3,6	-7,1	-10,0	-5,2	-0,9	-3,9	-17,0	1,2	-4,5	2,2	7,3	-2,2	
2	-8,2	5,6	-6,6	9,9	-1,1	-2,3	-4,1	-20,1	-1,7	-19,2	-4,2	-19,4	2,2	-39,3	-3,6	-35,5	IV
11	-3,7	0,8	-1,9	7,2	2,9	-0,6	6,7	-16,7	4,3	-10,3	12,3	-25,8	28,7	-56,6	17,3	-26,7	
12	8,3	9,7	5,2	18,4	21,6	2,6	28,3	-7,8	33,0	-10,7	40,9	-20,6	44,3	-17,2	58,6	-7,3	
9	10,7	3,9	-1,5	6,7	13,0	4,2	11,7	2,2	16,6	6,0	23,0	2,8	6,9	-1,2	-0,7	-6,0	
23	-10,7	-3,8	1,5	-6,8	-12,9	-4,2	-11,7	-2,2	-16,5	-6,0	-23,1	-2,8	-6,9	1,1	0,7	6,1	
	dx_0	dy_0	dx_0	dy_0	dx_0	dy_0	dx_0	dy_0	dx_0	dy_0	dx_0	dy_0	dx_0	dy_0	dx_0	dy_0	
I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
II	8,9	-12,3	15,9	-9,3	31,7	-24,8	41,4	-41,1	45,0	-36,3	60,8	-47,1	54,7	-54,1	54,0	-58,1	
III	-20,7	-2,3	-29,8	-7,0	-54,0	22,2	-80,0	37,6	-96,4	46,1	-118,2	66,6	-129,2	70,7	-149,1	62,6	
IV	-7,1	-0,4	-20,4	9,6	-10,4	18,8	-7,7	33,0	-12,8	30,6	-1,4	36,6	1,6	34,7	-6,0	24,2	



Rys. 7. Wektory dP_0 przemieszczeń podobszarów (płyt) i wektory dp_r przemieszczeń punktów zredukowane o wektory przemieszczeń podobszarów. Trajektorie przemieszczeń w okresie między cyklami 1-9 (1973,136—1980,176)
 Fig. 7. Vectors of dP_0 displacements of subregions (plates); vectors of dp_r displacements of the points reduced by vectors of subregion displacements. Trajectories of displacements in the period between cycles 1-9 (1973,136—1980,176)

czeń tych punktów między epokami 1973,136÷1980,176. Jednocześnie linią cienką i kropkami oznaczono trajektorie przemieszczeń tych punktów w momentach cykli pośrednich. Te wektory i trajektorie uznano za charakteryzujące generalne tendencje ruchu podobszarów II, III, IV w stosunku do podobszaru I (którego środek ciężkości nie ma wektora przemieszczenia). Oczywiście można przyjąć inną konwencję dostosowania, traktując inny obszar jako nieruchomy lub sięgając do absolutnego poziomu odniesienia, jednak wyrażenie ruchów podobszarów otaczających w stosunku do podobszaru umieszczonego centralnie ma swe walory. Trzeba też wspomnieć, że sieć Near Hollister, jako obejmująca ograniczony powierzchniowo teren strefy uskokowej nie daje podstawy do snuć wniosków na temat, którą z zidentyfikowanych grup punktów

stałą wewnątrznie uznać można również za stałą absolutnie i przyjmując jako układ oddzielenia do obliczenia przemieszczeń bezwzględnych (absolutnych).

Na rysunku 7 pokazano też wektory względnych przemieszczeń poszczególnych punktów zredukowane o przemieszczenia podobszarów (dx_r , dy_r) bądź też pokazano przemieszczone pozycje punktów w pośrednich cyklach pomiarowych, dające wyobrażenie o rozrzucie wyników w miejscach punktów zaliczających się do grup punktów stałych wewnątrznie.

Na rysunku 7 oznaczono strefy „silne” podobszarów przez podwójne ich zakreskowanie zaś strefy „słabe” przez zakreskowanie pojedyncze. Należy podkreślić jeszcze raz, że granice stref nie określają szczegółowo ich rzeczywistego położenia w terenie, bowiem prowadzone są jedynie na zasadzie „oddzielenia” od siebie punktów zakwalifikowanych jako wchodzących do grupy stałej wewnątrznie lub zachowujących się podobnie jak grupa punktów stałych wewnątrznie i oddzielania od siebie podobszarów sieci zachowujących się odmiennie pod względem generalnej tendencji ruchu. Podobszar IV potraktowano w całości jako strefę słabą pomimo, że grupa punktów 9, 23 wykazuje dobrą zgodność wewnątrznią. Wynika to stąd, że grupa zawierająca zaledwie dwa punkty może wykazywać zgodność wewnątrznią w sposób przypadkowy — wnioskowanie o sztywności określonego przez nią podobszaru i o jego indywidualnym ruchu w stosunku do innych podobszarów jest obciążone stosunkowo dużym ryzykiem.

Na rysunek 7 przeniesiono z Fig. 1 pracy [13] linie uskoków tektonicznych CALAVERAS, SARGENT, SAN ANDREAS. Widoczne jest, że w okresie 1973,136 ÷ 1980,176 na obszarze sieci Near Hollister dały się wydzielić na podstawie wyników pomiarów podobszary o indywidualnych ruchach należące terytorialnie do poszczególnych płyt tektonicznych, oddzielonych przez uskoki. W dalszym ciągu podobszary te będziemy identyfikować z płytami tektonicznymi, którym nadamy numerację przyjętą dla podobszarów.

Widoczne jest, że płyta II w stosunku do płyty I przyjętej za nieruchomą przemieszczała się równolegle do uskoku SAN ANDREAS w kierunku na półn-zachód zaś płyta III przemieszczała się w stosunku do płyty I równolegle do uskoku CALAVERAS na półd-wschód. Płyta hipotetyczna IV przemieściła się w stosunku do płyty I nieznacznie w kierunku wschodnim, równolegle do uskoku SARGENT.

Na rysunku 7 widoczne jest, że trajektorie przemieszczeń podobszarów (płyt) ustalone na podstawie pośrednich cykli pomiarowych 2-8 odbiegają nieco od kierunków wektorów wyrażających przemieszczenia w epoce 1980,176 w stosunku do epoki 1973,136. Z rysunku tego nie wynika w sposób bezpośredni, z jaką prędkością płyty przemieszczały się wzajemnie w okresach między sąsiednimi cyklami pomiarów.

Do rozpoznania prędkości ruchów wzdłuż trajektorii i prędkości

Tablica 8

Prędkości i kierunki przemieszczeń płyt II, III względem płyty I

Table 8

Velocities and directions of displacements of plates II, III in relation to the plate I

Płyty, Plates		II—I						III—I					
Okr. Period	Δt	dp	Az.	dp'	Az.	V	V'	dp	Az.	dp'	Az.	V	V'
	dni days	mm	o	mm	o	$\frac{\text{mm}}{\text{dzień}}$ day	$\frac{\text{mm}}{\text{dzień}}$ day	mm	o	mm	o	$\frac{\text{mm}}{\text{dzień}}$ day	$\frac{\text{mm}}{\text{dzień}}$ day
1—2	396	16	302	15	314	0,040	0,038	21	186	18	157	0,053	0,045
2—3	198	8	25	3	314	0,040	0,015	11	204	8	157	0,056	0,040
3—4	517	22	307	22	314	0,043	0,043	37	129	33	157	0,072	0,064
4—5	444	19	302	18	314	0,043	0,041	30	149	30	157	0,068	0,068
5—6	278	6	57	-1	314	0,022	-0,004	19	152	19	157	0,068	0,068
6—7	348	20	327	19	314	0,057	0,055	28	135	26	157	0,080	0,075
7—8	128	9	228	0		0,070	0,000	13	157	13	157	0,102	0,102
8—9	287	3	265	2	314	0,010	0,007	22	203	15	157	0,077	0,052
1—9	2596	78				$V_{pr} = 0,030$		162				$V'_{pr} = 0,062$	

składowych, zrzutowanych na kierunki wektorów przemieszczeń płyt pokazanych na rysunku 7 służy zestawienie podane w tablicy 8. W tablicy tej podano przemieszczenia w okresach między cyklami pośrednimi wzdłuż trajektorii i składowe przemieszczenia w tych okresach zrzutowane na kierunki wektorów przemieszczeń płyt w całym okresie badań. Dla okresów między kolejnymi cyklami obliczono prędkości przemieszczeń wyrażone w mm/dzień.

Stwierdzono, że płyta II przemieszczała się w stosunku do płyty I z prędkością średnią $V = 0,030$ mm/dzień, przy czym w okresach pośrednich prędkość V wzdłuż trajektorii zmieniała się od 0,010 do 0,070 mm/dzień a wzdłuż wektora przemieszczeń płyty z rysunku 7 prędkość V' zmieniała się od $-0,004$ do 0,055 mm/dzień.

Stwierdzono, że płyta III przemieszczała się w stosunku do płyty I z prędkością średnią $V = 0,062$ mm/dzień, przy czym w okresach pośrednich prędkość V wzdłuż trajektorii zmieniała się od 0,53 do 0,102 mm/dzień a wzdłuż wektora przemieszczeń płyty III z rysunku 7 prędkość V' przemieszczeń zmieniała się od 0,40 do 0,102 mm/dzień.

Prędkości ruchu płyty hipotetycznej IV nie podaję, ponieważ nie ma w niej wyraźnej systematyki.

Podkreślić należy, że w poszczególnych krótkich okresach między sąsiednimi cyklami pomiarów miały miejsce nieduże przemieszczenia w stosunku do dokładności ich wyznaczenia. W związku z tym należy mieć mniejsze zaufanie do prędkości przemieszczeń obliczonych dla okresów między sąsiednimi cyklami aniżeli do prędkości w dłuższych okresach, np. prędkości średniej obliczonej dla 7-letniego okresu badań między epokami 1973,136 a 1980,176.

Rozpatrując szczegółowo rysunek 7 możemy zauważyć kilka charakterystycznych zjawisk.

Na Fig. 1 pracy [13] uskoku CALAVERAS został doprowadzony w pobliżu punktu 12 (Hollis) bez wykazania dalszego jego przebiegu. **Jeśli odmienność ruchu przylegających do siebie podobszarów można traktować jako przejaw odrębności płyt tektonicznych**, to wyniki pomiarów wyraźnie wskazują, że punkt 12 (Hollis) zalicza się do płyty III, zaś punkt 20 (Picket) zalicza się do płyty I. Na tej podstawie na rysunku 7 narysowano linią przerywaną hipotetyczną linię przedłużenia uskoku CALAVERAS w kierunku na półd-wschód **między punktami Hollis i Picket**.

Na rysunku 7 widoczne jest, że punkty 2, 11, 12 w słabej strefie płyty III wykazują tendencję „opóźnienia” w stosunku do kierunku i prędkości ruchu strefy silnej. Można to hipotetycznie wiązać z tarciem płyty III przemieszczającej się w stosunku do płyt I i IV i związanym z tym charakterystycznym odkształceniem się słabej strefy płyty III. Podobne zjawisko można zauważyć w zachowaniu się obu słabych stref płyty I. Strefa określona przez punkt 14 wykazuje niewielkie „pociąganie” przez przemieszczającą się płytę III w kierunku na półd-wschód, zaś strefa określona przez punkt 16 wykazuje niewielkie „pociąganie” przez przemieszczającą się płytę II w kierunku na półn-zachód.

Przemieszczenia zestawione w tabelicy 7 poddano dalszej analizie, ponieważ stwierdzono, że wykazują one charakterystyczne tendencje wskazujące na możliwość drobnych ruchów obrotowych grup II, III, IV w stosunku do przyjętej za nieruchomą grupy punktów I. W związku z tym składowe \underline{dx} , \underline{dy} przemieszczeń punktów należących do podobszarów II, III, IV przetransformowano przy dostosowaniu do punktów tworzących grupy stałe wewnątrz II, III, IV. Tak przetransformowane przemieszczenia \underline{dx} , \underline{dy} oraz obliczone przy tym kąty α obrotu płyt II, III IV w stosunku do płyty zamieszczono w tabelicy 9.

W wyniku tego przemieszczenia stwierdzono, że dla punktów znajdujących się w sferach silnych płyt II, III oraz na płycie IV zostały spełnione nierówności.

$$|\underline{dx}^2 + \underline{dy}^2| < [dx_r^2 + dy_r^2]$$

gdzie

dx_r, dy_r — składowe przemieszczeń przed uwzględnieniem obrotu, wykorzystane do pokazania wektorów przemieszczeń na rysunku 7;
 $\underline{dx}, \underline{dy}$ — składowe przemieszczeń zredukowane o wpływ obrotu.

Jest to świadectwem, że składowe dx_r, dy_r były rzeczywiście obciążone wpływem obrócenia się płyt II, III, IV w stosunku do płyty I. Widoczne jest to zwłaszcza na rysunku 13 — płyta III. Maksymalna obliczona wielkość obrotu płyty IV wyniosła $\alpha = 0''{,}72$ i dotyczyła położenia tej płyty w czasie 7 cyklu pomiarów. W tym samym cyklu stwierdzono też obrót płyty III o maksymalny kąt $\alpha = 0''{,}44$. Dokładność stwierdzenia,

Przemieszczenia dx, dy punktów sieci zredukowane o wpływ przemieszczeń i obrotów podobzarów
 Displacements dx, dy of points of the network reduced by the effect of displacements and turnings of subregions

Tablica 9
 Table 9

Nr pkt. No of the point	1-2		1-3		1-4		1-5		1-6		1-7		1-8		1-9		Płyta Plate
	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	dx mm	dy mm	
3	-0,4	-0,6	0,8	1,5	-1,0	-1,0	-4,6	-0,1	-2,4	-1,5	-3,3	-3,0	-6,4	-2,0	5,7	-3,1	II $m_p = 8,7$ mm
8	-5,1	-5,9	-1,8	4,7	-5,4	1,4	-0,9	4,4	-1,7	6,0	-0,2	7,6	-9,7	-0,6	-6,2	0,0	
13	-2,8	3,7	1,1	0,4	5,5	4,3	6,3	4,8	4,9	6,5	5,8	9,2	17,7	6,6	2,9	0,9	
21	8,3	2,8	-0,3	-6,6	0,8	-4,6	-0,9	-9,2	-0,8	-11,2	-2,3	-13,6	-1,7	-3,9	-2,6	2,3	III $m_p = 7,6$ mm
1	1,0	8,8	-2,3	9,8	-0,4	6,3	-1,8	4,5	-1,3	3,2	-0,6	-1,1	-11,5	-0,1	-9,6	5,7	
5	-2,5	-2,0	2,6	0,6	2,5	-0,6	2,9	0,5	-0,1	-2,1	0,9	-2,8	3,4	-7,9	4,6	-8,5	
6	-2,5	1,8	0,5	-1,2	-2,4	0,0	1,6	2,6	0,5	3,5	0,9	8,7	9,7	6,9	3,5	2,9	IV $m_p = 5,5$ mm
18	3,9	-8,7	-0,8	-9,1	0,5	-6,0	-2,8	-7,8	0,8	-4,5	-0,9	-4,6	-1,7	1,2	1,6	-0,1	
2	-3,3	0,9	0,2	3,3	1,0	-4,3	-8,9	-15,5	-2,8	-18,1	-14,8	-9,2	0,4	-37,5	0,2	-39,0	
11	-1,0	-9,2	1,8	-6,7	4,0	-4,8	4,1	-7,0	3,7	8,0	6,5	-4,3	27,7	-52,9	19,4	-34,4	IV $m_p = 5,5$ mm
12	11,5	-4,5	9,6	-1,3	22,9	-3,3	25,6	5,5	32,3	-7,4	34,1	9,8	43,1	-12,0	61,0	-18,2	
9	0,2	-0,5	-2,6	6,2	0,5	-1,1	1,0	-2,6	0,4	-0,8	2,4	-5,8	1,4	-3,5	2,1	-4,8	
23	-0,2	0,6	2,6	-6,3	-0,4	1,1	-1,0	2,5	-0,3	0,8	-2,5	5,8	-1,5	3,5	-2,1	4,9	
	dx α'	dy α''	dx α'	dy α''	dx α'	dy α''	dx α'	dy α''	dx α'	dy α''	dx α'	dy α''	dx α'	dy α''	dx α'	dy α''	
I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
II	8,9	-12,3	15,9	-9,3	31,7	-24,8	41,4	-41,1	45,0	-36,3	60,8	-47,1	54,7	-54,1	54,0	-58,1	
III	-20,7	-2,3	-29,8	-7,0	-54,0	22,2	-80,0	37,6	-96,4	46,1	-118,2	66,6	-129,2	70,7	-149,1	62,6	
IV	-7,1	-0,4	-20,4	9,6	-10,4	18,8	-7,7	33,0	-12,8	30,6	-1,4	36,6	1,6	34,7	-6,0	24,2	

iz nastąpiły obroty płyt, w świetle dokładności wykonanych pomiarów i struktury sieci oszacować można jako równą $m_a = 0''{,}3$.

Należy podkreślić, że składowe dx , dy przemieszczeń zestawione w tablicy 9 można używać do ewentualnych głębszych ocen pod warunkiem pamiętania, iż są one zredukowane o wpływ obrotów, który to wpływ nie znajduje odzwierciedlenia graficznego. W tej sytuacji korzystniejsze jest stosowanie do tych celów składowych dx_r , dy_r mających swój wyraz graficzny w wektorach na rysunku 7.

Etap II badań

Drugi etap badań objął ocenę rozwoju przemieszczeń w okresie 1973,136÷1980,176, który doprowadził w ostatnim cyklu do stanu zilustrowanego na rysunku 7. Uwzględniono przy tym przemieszczenia sześciu punktów, które były obserwowane sporadycznie (por. sieć z rysunku 1 i rysunku 3).

W tym celu wyrównano ponownie różnice dd wyznaczając przemieszczenia pozorne dx' , dy' w sieciach wyznaczających wszystkie zaobserwowane punkty. W rezultacie otrzymano powtórnie wyznaczone składowe dx' , dy' przemieszczeń pozornych 18 punktów uprzednio wyznaczonych, tworzących jednorodną sieć o strukturze niezmiennej we wszystkich cyklach oraz dodatkowo przemieszczenia pozorne punktów nr nr 4, 10, 24; 7, 15, 19 w tych cyklach, w których były one wyznaczone.

W tablicy 10 zestawiono tak obliczone składowe dx' , dy' przemieszczeń punktów 17, 20, 22 stanowiących układ odniesienia do transformacji oraz składowe punktów 4, 10, 24, 7, 15, 19. W dolnej części tablicy wykazano różnice, jakie wystąpiły między składowymi dx , dy punktów 17, 20, 22 wyznaczonymi z wyrównania sieci 18 punktów a ponownie wyznaczonymi składowymi dx' , dy' tych punktów z wyrównania sieci obejmującej również punkty dodatkowe, wyznaczalne sporadycznie.

Na podstawie składowych dx' , dy' zestawionych w tablicy 10 obliczono składowe dx' , dy' po przetransformowaniu ich do układu zadanego przez punkty 17, 20, 22, otrzymując rezultaty zestawione w tablicy 11. W dolnej części tablicy 11 zestawiono różnice między składowymi dx , dy punktów 7, 20, 22 uzyskanymi po transformacji w I fazie badań i dx' , dy' uzyskanymi aktualnie. Różnice te okazały się niewielkie w stosunku do wielkości błędu średniego dostosowania.

Dyskusja błędów wyznaczeń

Przedstawione na rysunkach 6 i 7 wektory przemieszczeń punktów w epoce 1980,176 w stosunku do stanu w epoce 1973,136, to jest w ciągu ponad siedmiu lat, okazały się na tyle duże, że fakt ich istnienia nie budzi wątpliwości nawet przy pobieżnej ocenie dokładności wyznaczeń.

Tablica 10
Table 10

Przemieszczenia pozorne dx' , dy' punktów obserwowanych sporadycznie
Apparent displacements dx' , dy' of points sporadically observed

Por. cykli Comparison of cycles	1-2		1-3		1-4		1-5		1-6		1-7		1-8	
	dx' mm	dy' mm	dx' mm	dy' mm	dx' mm	dy' mm	dx' mm	dy' mm	dx' mm	dy' mm	dx' mm	dy' mm	dx' mm	dy' mm
Nr pkt.														
17	26,9	28,1	21,3	6,4	34,8	25,1	30,2	-2,7	45,9	17,9	38,4	16,5	6,9	-22,9
20	16,5	22,0	20,3	0,3	31,5	12,5	28,2	-13,9	35,6	7,3	36,4	6,7	7,6	-24,2
22	19,2	3,6	17,8	-1,4	14,9	-6,9	9,2	-21,3	20,0	-17,0	15,8	-25,0	6,6	-36,2
4	12,2	11,8					46,9	-32,6	54,1	-3,1			53,5	-74,7
10	18,5	10,1			46,4	6,1	47,5	-43,0	55,5	-25,8	67,3	-37,5		
24	14,2	16,2	30,5	-6,4			52,6	-38,3	65,3	-14,9				
7	30,9	34,2	11,6	11,0	13,6	11,4								
15	37,4	7,8	6,7	-5,7	21,0	35,3								
19	16,9	35,8	9,2	14,5										
Różnice przemieszczeń pozornych z tabl. 10 i tabl. 2 Differences of apparent displacements from Table 10 and Table 2														
17	-0,6	-6,5	1,4	5,3	1,6	6,5	1,1	0,2	0,9	0,5	1,2	-4,9	0,5	-2,9
20	0,3	-2,8	1,0	2,3	0,6	5,7	0,5	0,8	0,7	0,9	0,3	2,8	0,3	0,7
22	1,6	-1,8	-0,5	0,4	-0,3	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,6	-0,7	0,3	-0,3

Tablica 11

Przemieszczenia $\underline{dx'}$, $\underline{dy'}$ punktów obserwowanych sporadycznie po dostosowaniu do grupy I (punktów 17, 20, 22)

Table 11

Displacements $\underline{dx'}$, $\underline{dy'}$ of points sporadically observed after accommodation to group I (points 17, 20, 22)

Por. cykli	1-2		1-3		1-4		1-5		1-6		1-7		1-8	
	$\underline{dx'}$ mm	$\underline{dy'}$ mm	$\underline{dx'}$ mm	$\underline{dy'}$ mm	$\underline{dx'}$ mm	$\underline{dy'}$ mm	$\underline{dx'}$ mm	$\underline{dy'}$ mm	$\underline{dx'}$ mm	$\underline{dy'}$ mm	$\underline{dx'}$ mm	$\underline{dy'}$ mm	$\underline{dx'}$ mm	$\underline{dy'}$ mm
17	3,2	1,8	0,5	1,5	2,8	0,1	4,1	-0,9	6,6	-1,1	1,9	-1,9	-1,6	0,3
20	-8,6	3,1	-1,0	-1,9	-3,0	0,5	0,3	-2,6	-6,4	2,6	-3,2	5,0	-1,7	3,0
22	5,3	-4,9	0,6	0,3	0,1	-0,4	-4,3	3,4	-0,3	-1,4	1,3	-3,1	3,4	-3,2
4	5,6	-20,8					42,8	-38,9	48,0	-34,4				
10	9,5	-12,2					40,3	-36,1	44,8	-37,1				
24	-0,5	-12,1	13,0	-12,1	30,3	-22,5	38,1	-39,1	43,5	-37,9	64,0	-46,9	53,0	-40,4
7	-8,7	13,7	-15,1	8,2	-53,5	20,5								
15	-6,1	0,8	-21,5	-3,5	-23,7	16,0								
19	-14,0	12,7	14,3	10,8										
Różnice przemieszczeń z tablicy 11 i tablicy 6														
Differences of displacements from Table 11 and Table 6														
17	-0,5	-0,9	0,2	0,7	0,1	0,0	0,5	-0,5	0,2	-0,3	0,9	-2,8	0,5	-1,3
20	0,7	1,2	-0,6	-0,7	-1,4	1,4	-0,2	0,4	-0,1	0,5	0,2	3,9	0,4	1,7
22	-0,4	-0,2	0,5	-0,1	1,1	-1,1	-0,3	0,0	-0,3	0,0	-1,1	-1,0	-0,6	-0,2

Wystarczy tu porównać wielkości wektorów przemieszczeń z błędem pomiaru zmiany najdłuższego boku sieci (8-5), który zgodnie z wzorem a priori wyniósł $m_{dd} = 10,8$ mm.

Inaczej sprawa przedstawia się przy porównaniu przemieszczeń wyznaczonych w krótszych okresach czasu, poczynając od okresu 396 dni, który upłynął między cyklami 1 i 2. Przemieszczenia w krótkich okresach są nieduże i jest rzeczą godną zastanowienia, czy już między cyklami 1-2 jesteśmy w stanie stwierdzić ich wystąpienie, czy też wyznaczone wielkości mieszczą się w granicach dokładności.

Wyznaczenie wektorów przemieszczeń jest obciążone wpływami:

- 1) błędów pomiarów i przeliczeń,
- 2) błędów sprowadzenia wyników pomiarów do średnich momentów (epok) każdego cyklu.

ad. 1 Jak zaznaczyłem na początku, badania rozpoczęto od wyrównania eksperymentalnego różnic dd sieci przy przyjęciu do ich wagowania, zgodnie z [13] apriorycznego wzoru

$$m_{dd(1)} = \sqrt{2(3^2 + 0,2^2 \cdot d^2 \cdot 10^{-12})} \quad (1)$$

W wyniku tego wyrównania otrzymano błędy zmian długości po wyrównaniu $m_{d\beta(1)} \cdot d$. W tabelicy 12 zestawiono ilorazy tak otrzymanych błędów po wyrównaniu i przed wyrównaniem

$$M_1 = \frac{m_{d\beta(1)} \cdot d}{m_{dd(1)} \cdot m_o} \quad (2)$$

gdzie

m_o — błąd typowego spostrzeżenia po wyrównaniu (wartości M_1 zredukowano do $m_o = 1$).

Okazało się, że ilorazy te z wyjątkiem 5 odcinków sieci są $M_1 > 1$, co świadczy, że w wyniku wyrównania nastąpiło zwiększenie błędów pomierzonych różnic, równe średnio $M_{1sr} = 1,15$. Jednocześnie wyrównanie to dla różnic cykli 1-9 przyniosło $m_o = 1,04$. Późniejsze wyrównanie różnic tych samych cykli, przy zastosowaniu wzoru (3) do wagowania układu przyniosło $m_o = 0,76$ co świadczy, że stosując wagowanie według wzoru (1) do wszystkich porównań otrzymalibyśmy w skrajnym przypadku $m_o = 1,49$ (por. tabl. 2).

W tej sytuacji, po dodatkowych konsultacjach ze specjalistami z zakresu precyzyjnych pomiarów odległości uznano, że wzór (1) jest zbyt optymistyczny. W rezultacie zdecydowano się na wagowanie układu równań różnic dd przy użyciu wzoru apriorycznego

$$m_{dd(1)} = \sqrt{2 \cdot (3 + 0,2 \cdot d \cdot 10^{-6})} \quad (3)$$

Po wyrównaniu tak waganego układu równań dd otrzymano błędy długości $m_{d\beta(2)} \cdot d$ i obliczono ilorazy.

Tablica 12

Ilorazy błędów długości po wyrównaniu i przed wyrównaniem

Table 12

Quotients of lengths errors on adjustment and before adjustment

Numer odcinka No of the segment	$m_{ad(1)}$ mm	M_1	$m_{ad(2)}$ mm	M_2
1-2	4,9	1,16	6,8	0,81
1-5	5,7	1,07	8,0	0,76
1-9	6,1	0,97	8,7	0,96
1-18	5,9	1,31	8,3	0,92
1-22	5,9	1,01	8,3	0,70
1-23	5,1	1,09	7,1	0,76
2-5	4,6	1,26	6,1	0,82
2-6	4,5	1,17	5,7	0,84
2-14	4,8	1,10	6,5	0,79
2-18	5,9	0,94	8,3	0,63
3-12	5,2	0,94	7,2	0,67
3-14	4,8	1,10	6,5	0,77
3-20	4,8	1,01	6,4	0,75
3-21	4,6	1,23	6,1	0,91
3-22	5,0	1,16	6,9	0,85
5-6	4,6	1,26	6,2	0,89
5-8	7,7	1,40	10,7	0,99
5-11	4,5	1,08	5,8	0,77
5-12	4,9	1,16	6,8	0,80
5-14	5,2	1,01	7,2	0,72
5-18	5,3	1,30	7,4	0,91
5-22	6,0	1,08	8,5	0,61
6-11	5,0	1,19	7,0	0,83
6-18	5,2	1,17	7,1	0,84
8-13	4,6	1,32	5,9	0,95
8-22	6,3	1,33	8,9	0,96
9-22	5,4	1,28	7,6	0,90
9-23	5,5	1,15	7,8	0,81
11-20	4,6	1,15	6,1	0,80
11-22	5,2	1,27	7,3	0,90
12-14	4,4	1,14	5,5	0,83
12-17	4,7	1,15	6,4	0,81
12-20	4,3	1,04	5,1	0,78
12-23	5,3	1,07	7,4	0,76
13-17	4,4	1,35	5,6	0,96
13-21	4,4	1,23	5,5	0,91
14-20	4,4	1,07	5,3	0,81
14-22	4,7	1,04	6,3	0,74
14-23	4,8	1,04	6,4	0,73
16-17	4,6	1,12	6,1	0,85
16-20	4,5	1,35	5,7	0,99
16-22	4,8	1,21	6,4	0,90
17-20	4,5	1,08	5,7	0,79
17-21	4,3	1,41	5,1	1,00
17-22	5,8	0,82	8,2	0,64
20-22	5,2	0,99	7,2	0,69
22-23	4,4	1,23	5,5	0,91
$M_{1\ \bar{s}r} = 1,15$		$M_{2\ \bar{s}r} = 0,82$		

$$M_2 = \frac{m_{d(2)} \cdot d}{m_{dd(2)} \cdot m_o} \quad (4)$$

zestawione w tablicy 12.

Otrzymano rezultaty zgodne z oczekiwaniem, to jest

$$M_2 < 1 (M_{2sr} = 0,82).$$

Dodatkowym potwierdzeniem poprawności wagowania obserwacji przy użyciu wzoru (3) jest fakt, że otrzymana wartość $M_{2sr} = 0,82$ jest zgodna z średnim zmniejszeniem błędu średniego w wyniku wyrównania, obliczonym na podstawie twierdzenia Otrębskiego [15]

$$M_2 = \sqrt{\frac{n - n_n}{n}} = \sqrt{\frac{33}{47}} = 0,83$$

gdzie

n — liczba obserwacji, $n - n_n$ — liczba niewiadomych pośredniczących, (n_n — liczba obserwacji nadliczbowych — stopni swobody).

Należy podkreślić, że przemieszczenia w okresie między cyklami 1-9 otrzymane z wyrównania przy wagowaniu wzorem (1) i (3) okazały się praktycznie identyczne (maksymalna różnica osiągnęła 0,6 mm).

W związku z tym badania przeprowadzono na podstawie wyrównań sieci różnic dd zwagowanych przy użyciu wzoru (3).

W ramach niniejszej pracy, nie wdając się w głębsze rozważania teoretyczne poszukuję odpowiedzi na praktyczne pytanie: jak duże wyznaczone przemieszczenia można już uważać za stwierdzone?

Odpowiedź na to pytanie mogą dać błędy zmian odcinków sieci $m_{d(2)} \cdot d$ obliczone po wyrównaniach. Są one lepszą do tego podstawą aniżeli błędy składowych m_{dx} , m_{dy} przemieszczeń, zależne w dużym stopniu od miejsca przyłożenia sieci (lokalizacji przyjętego punktu i kierunku odniesienia).

Należy zwrócić uwagę, że błędy zmian długości w poszczególnych wyrównaniach są zróżnicowane z powodu różnych otrzymanych wartości m_o (por. tablica 2). Należy też podkreślić, że w poszczególnych porównaniach występowały minimalne różnice między błędami $m_{d(2)}$ tych samych odcinków z powodu zaniechania w niektórych cyklach wykonywania pomiarów niektórych odległości. Z tych powodów nie można dla wszystkich przeprowadzonych porównań podać jednoznacznie określonych, jednakowych błędów zmian odległości, a konieczne okazało się podawanie przedziałów ich wartości.

Rozpatrując konkretnie sprawę wykrywalności wzajemnego ruchu płyt możemy wziąć pod uwagę błędy $m_{d(2)} \cdot d$ określenia zmian wzajemnych odległości punktów (1, 5, 6, 18) płyty III i punktów (3, 8, 13, 21) płyty II względem punktów (17, 20, 22) płyty I. Otrzymujemy rezultaty zestawione w tablicy 13. Z tablicy 13 wynika, że praktycznie błąd określenia zmiany wzajemnego położenia płyt można oszacować jako wahający

Tablica 13

Błędy odległości między punktami silnych stref płyt I, II, III

Table 13

Lengths errors between points of strong zones of plates I, II, III

I—II		I—III		II—III	
Odc. Segment	mm	Odc. Segment	mm	Odc. Segment	mm
3—17	2,5— 5,3	1—17	3,6— 7,9	3—1	3,7— 8,1
3—20	2,3— 5,0	1—20	3,6— 7,9	3—5	2,8— 6,3
3—22	2,8— 6,3	1—22	3,0— 6,4	3—6	3,8— 8,4
8—17	8,0—17,7	5—17	3,5— 7,7	3—18	3,9— 8,8
8—20	5,6—12,4	5—20	2,6— 5,8	8—1	4,3— 9,4
8—22	4,2— 9,2	5—22	3,2— 7,0	8—5	5,2—11,5
13—17	2,7— 5,9	6—17	3,6— 7,8	8—6	4,8—10,5
13—20	5,0—11,0	6—20	3,1— 6,8	8—18	6,2—13,7
13—22	3,7— 8,1	6—22	4,4— 9,8	13—1	5,0—10,9
21—17	2,6— 5,6	18—17	5,0—10,9	13—5	5,0—10,9
21—20	3,3— 7,2	18—20	4,2— 9,1	13—6	5,4—11,9
21—22	3,1— 6,8	18—22	4,0— 8,7	13—18	5,8—12,8
				21—1	4,0— 8,8
				21—5	4,1— 9,0
				21—6	4,2— 9,1
				21—18	5,4—11,8

się w granicach 10—15 mm. Błędy określenia wzajemnego położenia punktów poszczególnych płyt oszacować można na podstawie błędów dostosowania m_p podanych w tablicy 9.

ad. 2 W czasie trwania każdego cyklu pomiaru występują również przemieszczenia punktów sieci, które mogą wywoływać dodatkowe wewnętrzne niezgodności układu zmian dd otrzymanych jako różnice $dd = d_a - d_p$, gdzie d_a , d_p długości zmierzone w określonych momentach cyklu aktualnego (a) i cyklu pierwotnego (p). Niezgodności te wynikają z założenia, że długości były mierzone w obu cyklach w ich momentach średnich (epokach).

W skrajnych przypadkach można oczekiwać, że zmiana długości pomiarzonej na początku cyklu (p) i na końcu (a) może być obciążona dodatkowym błędem

$$m_{ad(3)} = \frac{\Delta t_a + \Delta t_p}{2} V$$

gdzie

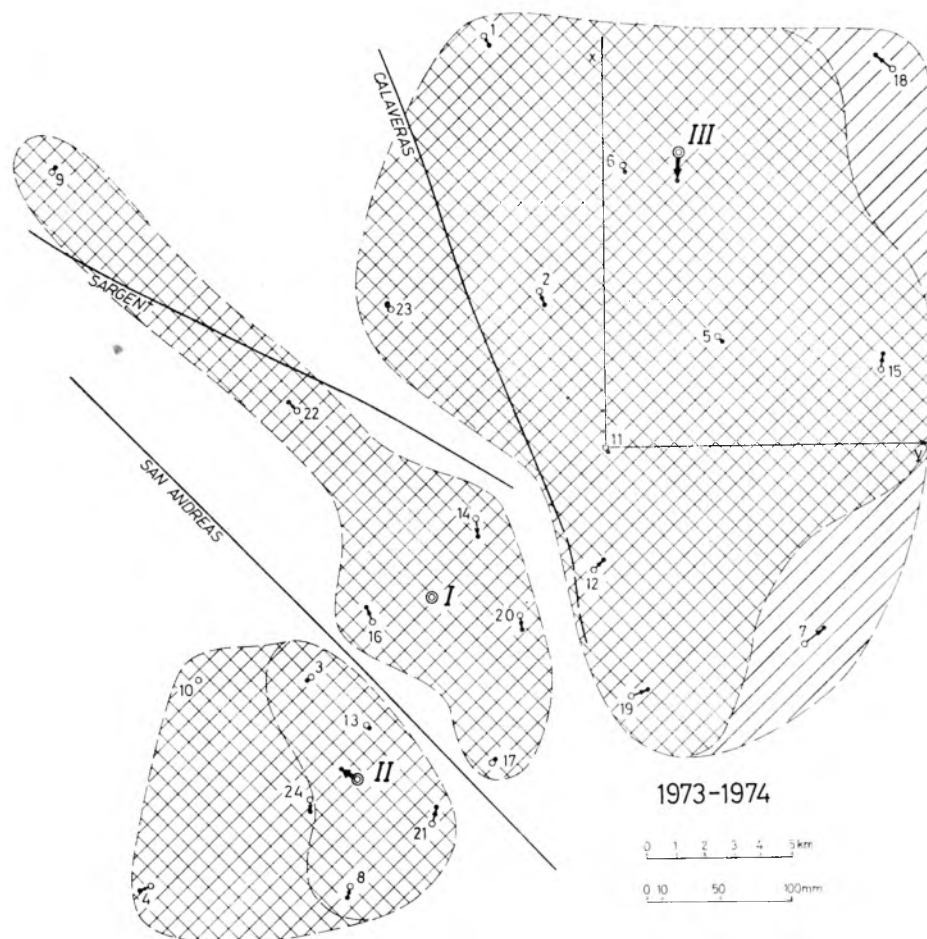
$\Delta t_a, \Delta t_p$ — okresy trwania cykli,

V — prędkość wzajemnych przemieszczeń punktów wzdłuż mierzonego odcinka.

W sieci Near Hollister $\Delta t_a = 43$ dni, $\Delta t_p = 55$ dni, zaś prędkość przemieszczenia można oszacować jako równą 0,05 mm/dzień (por. tablicą 8). W rezultacie można oczekiwać, że w skrajnym przypadku $m_{ad(3)} = 2,5$ mm.

Przemieszczenia w cyklach pośrednich

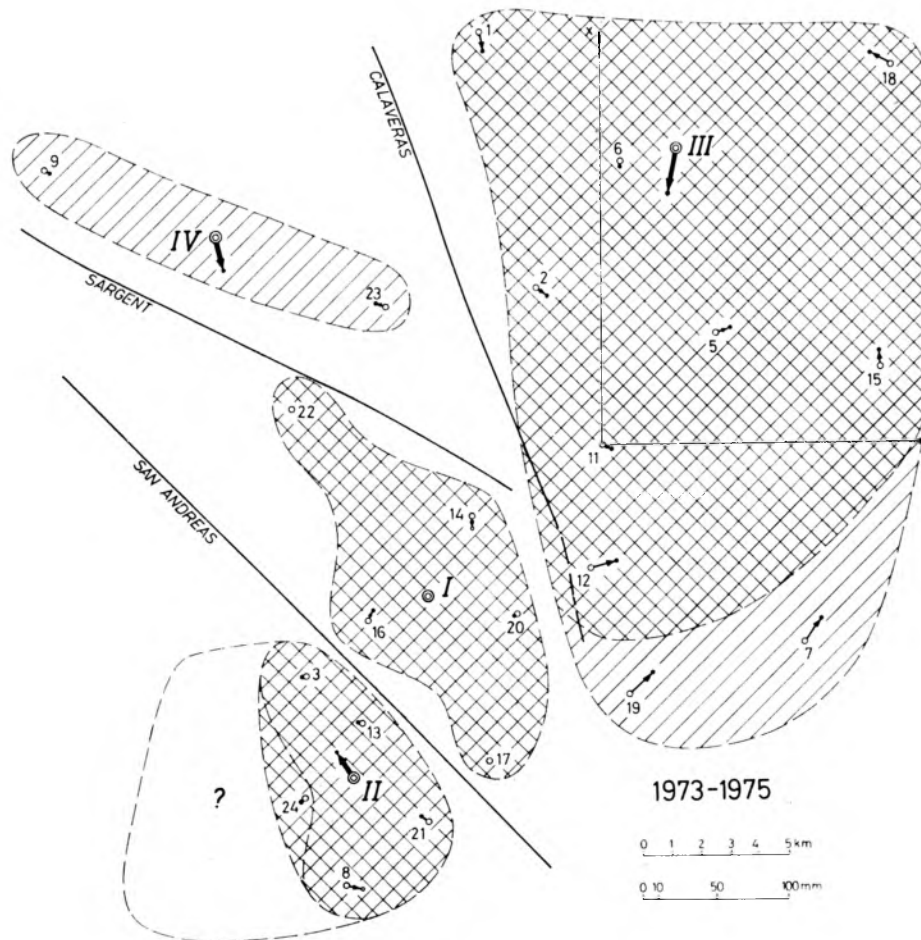
Rozwój przemieszczeń w całym okresie badań przedstawiają rysunki 8÷14, na których pokazano przemieszczenia wyznaczone w poszczególnych cyklach pośrednich w stosunku do stanu podczas cyklu pierwszego.



Rys. 8. Przemieszczenia w okresie między cyklami 1-2 (1973,136—4,167)
Fig. 8. Displacements in the period between cycles 1-2 (1973,136—4,167)

Na rysunku 8 (po cyklu 2) widoczne jest, że w ciągu 396 dni przemieszczenia osiągnęły wielkości nieznacznie przekraczające błędy ich wyznaczenia. W związku z tym decyzja o takim a nie innym ukształtowaniu hipotetycznych podobszarów (płyt) o indywidualnych ruchach jest słabo zdeteterminowana. Zwłaszcza zwraca uwagę fakt, że punkty 7, 12, 19 mają przemieszczenia dające podstawę do zakwalifikowania ich podobszaru I lub III. Na rysunku wybrano wersję zaliczenia ich do podobszaru III, niewątpliwie pod wpływem znajomości dalszego rozwoju przemieszczeń.

Punkty 3, 4, 8, 10, 13, 21, 24 wykazują dużą zgodność wzajemną, świadcząca o istnieniu dużej silnej strefy oznaczonej w całości jako podobszar (płyta) II. Punkty 1, 2, 5, 6, 12, 15, 19, 23 wykazują również dużą zgodność wzajemną, świadcząca o istnieniu dużej silnej strefy oznaczonej w całości jako obszar (płyta) III. Podobszar (płyta) I poza później występującymi w nim punktami 14, 16, 17, 20, 22 obejmuje również punkt 9.

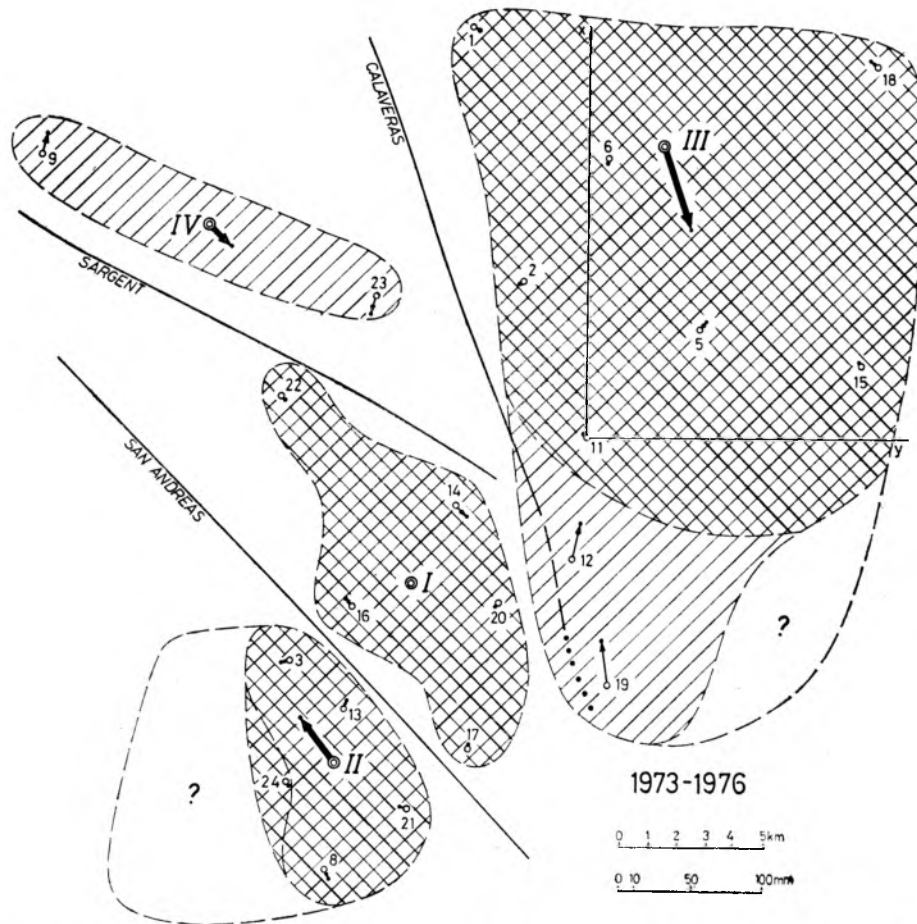


Rys. 9. Przemieszczenia w okresie między cyklami 1-3 (1973,136—5,000)
 Fig. 9. Displacements in the period between cycles 1-3 (1973,136—5,000)

Na rysunku 9 (po cyklu 3) widoczne jest, że w ciągu 594 dni nastąpiło wyraźne powiększenie i zdeterminowanie przemieszczeń. Punkt 23 przeszedł z podobszaru III, zaś punkt 9 z podobszaru I do utworzonego przez nie podobszaru IV. Punkty 7, 19 wyraźnie przemieściły się w stosunku do podobszaru I, jednak w stosunku do silnej strefy podobszaru III mają również ruch systematyczny, dający podstawę do oznaczania otaczającego je rejonu jako słabej strefy płyty III. Niestety w 3 cyklu nie

zostały zaobserwowane punkty 4, 10 co uniemożliwia stwierdzenie, co się aktualnie dzieje w strefie płyty II oznaczonej znakiem (?).

Wektor przemieszczenia płyty II w stosunku do płyty I jest równoległy do uskoku SAN ANDREAS, zaś wektor płyty III skierowany na północ-zachód, wskazuje na nieznaczne zbliżenie i wzajemne przesunięcie płyt I, III. Hipotetyczna płyta IV wykazała nieznaczne przemieszczenie równoległe do uskoku CALAVERAS, zbliżając ją do płyty I.

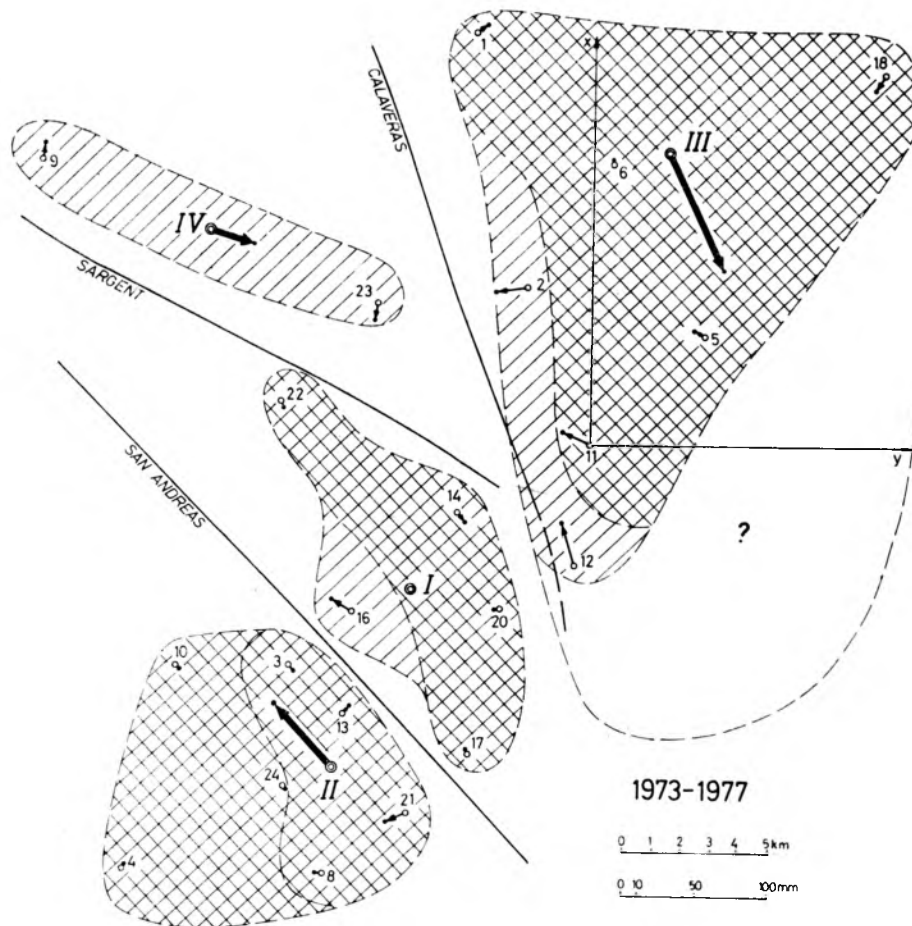


Rys. 10. Przemieszczenia w okresie między cyklami 1-4 (1973,136—6,152)
Fig. 10. Displacements in the period between cycles 1-4 (1973,136—6,152)

Na rysunku 10 (po cyklu 4) jest widoczne dalsze powiększenie i determinowanie wzajemnego ruchu płyt. Płyta II zwiększyła przemieszczenie względem płyty I równoległe do SAN ANDREAS. Płyta III zwiększyła przemieszczenie w stosunku do płyty I, zmieniając kierunek ruchu na równoległy do CALAVERAS. Hipotetyczna płyta IV nie zwiększyła przemieszczenia w stosunku do płyty I, natomiast zmieniła kierunek ruchu na równoległy do SARGENT. Może to mieć związek ze zmianą kierunku

przemieszczenia płyty III na równoległy do CALAVERAS (por. rysunki 9, 10), co oznacza zmniejszenie naporu płyty III na płytę I i IV.

Słaba strefa płyty III objęła punkt 12, wektory przemieszczeń punktów 12, 19 zmieniły kierunek na w przybliżeniu równoległy do CALAVERAS. Zachowanie się punktu 19 w stosunku do punktów 17, 20 płyty I daje podstawę do hipotezy, iż uskoki CALAVERAS przebiega dalej na południe, co oznaczono linią kropkową. Punkty 4, 10 nie zostały zaobserwowane w cyklu 4 co uniemożliwia nadal stwierdzenie, co się aktualnie dzieje w strefie płyty II oznaczonej znakiem (?).



Rys. 11. Przemieszczenia w okresie między cyklami 1-5 (1973,136—7,230)
 Fig. 11. Displacements in the period between cycles 1-5 (1973,136—7,230)

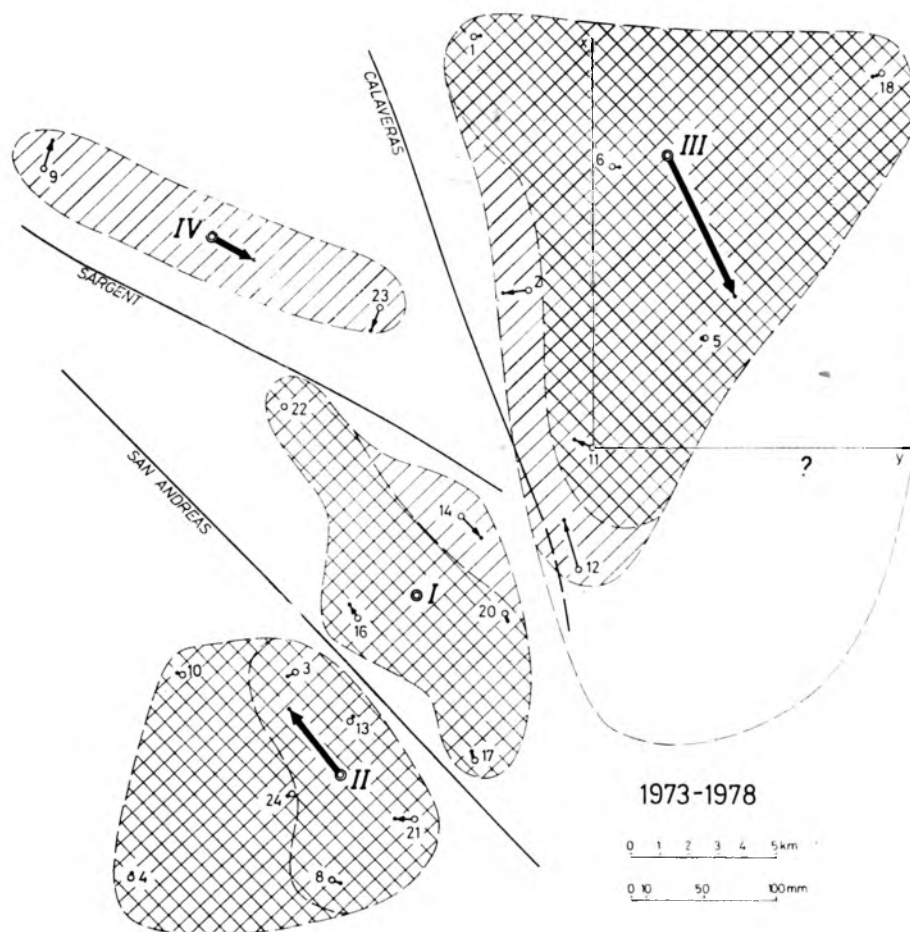
Na rysunku 11 (po cyklu 5) nadal wzrastają przemieszczenia płyt II, III w stosunku do płyty I równoległe odpowiednio do uskoków SAN ANDREAS, CALAVERAS. Hipotetyczna płyta IV zwiększyła nieznacznie przemieszczenie wzdłuż SARGENT w kierunku płyty III.

Zaobserwowane punkty 4, 10 potwierdziły stwierdzoną w cyklu 2 ich przynależność do silnej strefy określającej płytę II. Brak obserwacji punktów 7, 15, 19 uniemożliwia potwierdzenie hipotezy z rysunku 10 o przedłużeniu uskoku CALAVERAS według linii kropkowej. Punkty te nie były obserwowane również w dalszych cyklach.

Płyta I uległa osłabieniu w strefie otaczającej punkt 16, który wykazuje tendencję do „pociągania” przez płytę II w jej ruchu wzdłuż SAN ANDREAS na półn-zachód.

Daje się zauważyć osłabienie płyty III, na której strefa słaba, reprezentowana uprzednio przez punkty 12, 19 rozszerzyła się i objęła punkt 2. W strefie tej, na punktach 2, 11 jest widoczny nieznaczny ruch do CALAVERAS a na punkcie 12 — zmniejszenie prędkości ruchu w stosunku do ruchu całej płyty.

Na rysunku 12 (po cyklu 6) nadal wzrastają przemieszczenia płyt II,

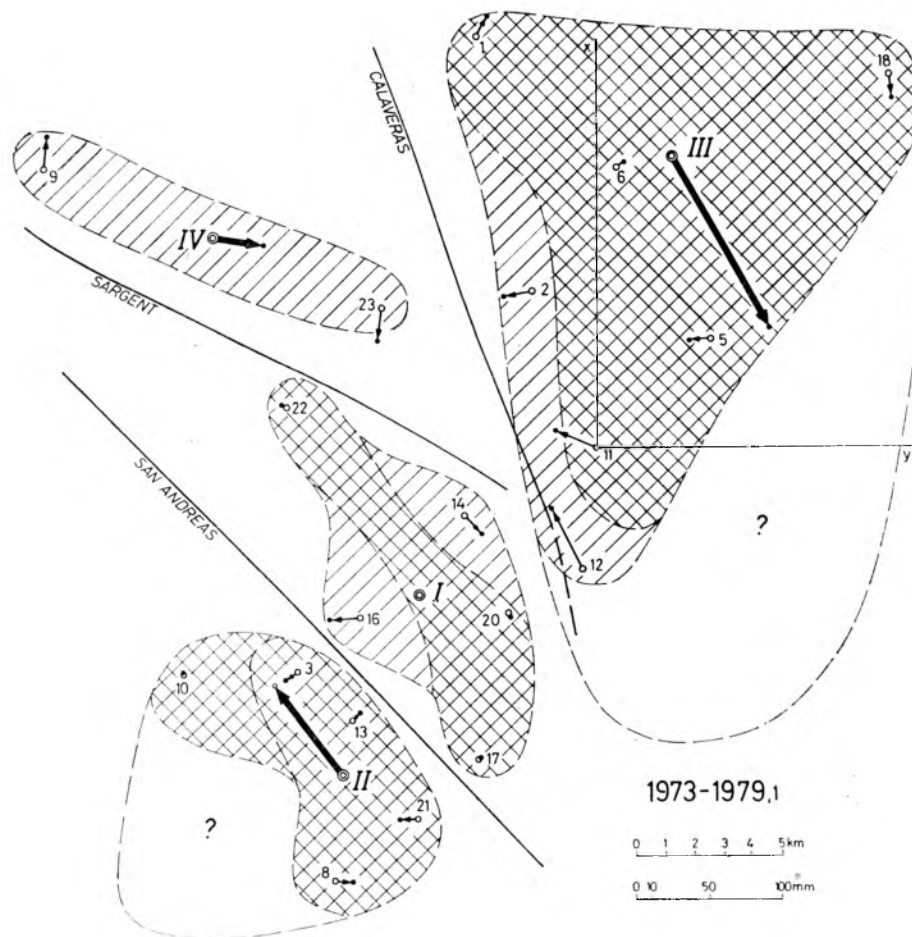


Rys. 12. Przemieszczenie, w okresie między cyklami 1-6 (1973,136—8,143)
 Fig. 12. Displacements in the period between cycles 1-6 (1973,136—8 143)

III w stosunku do płyty I odpowiednio równoległe do SAN ANDREAS, CALAVERAS i nieznacznie wzrasta przemieszczenie płyty IV równoległe do SARGENT.

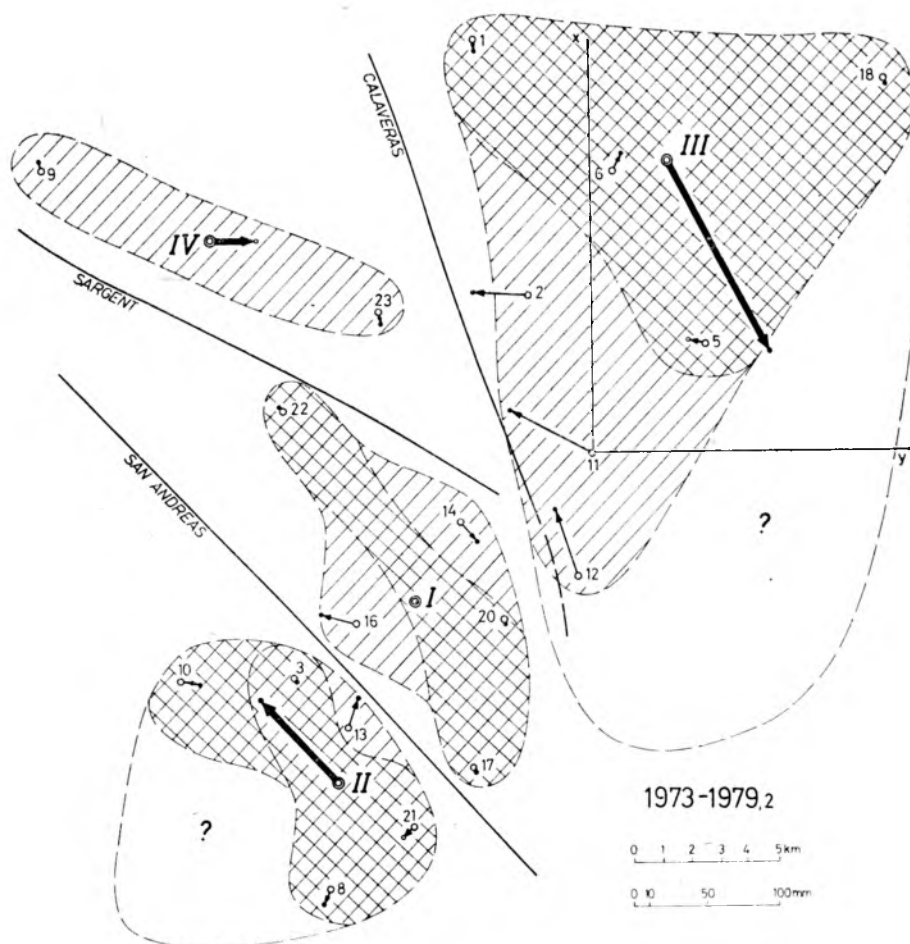
Zaobserwowane punkty 4, 10, 24 nadal potwierdzają przynależność do silnej strefy określającej płytę II. W słabej strefie płyty III postępuje „spowolnienie” ruchu punktu 12 w stosunku do wektora ruchu płyty III. Jednocześnie nastąpiło osłabienie płyty I w strefie otaczającej punkt 14, który zaczyna wykazywać tendencję do „pociągania” przez przylegającą słabą strefę płyty III w jej ruchu wzdłuż CALAVERAS na pół-wschód. „Pociąganie” punktu 16 wzdłuż SAN ANDREAS przez płytę II osłabiło w stosunku do stanu z poprzedniego cyklu.

Na rysunku 13 (po cyklu 7) nastąpiło dalsze zwiększenie przemieszczenia płyt II, III w stosunku do płyty I. Punkt 14 płyty I zachował przemieszczenie z uprzedniego cyklu, natomiast punkt 16 ponownie zwiększył



Rys. 13. Przesunięcia w okresie między cyklami 1-7 (1973,136—9,126)
 Fig. 13. Displacements in the period between cycles 1-7 (1973,136—9,126)

swe przemieszczenie o charakterze „pociągania” przez płytę II. Spowolnienie ruchu punktu 12 w stosunku do wektora płyty III narasta, zaś punkty 2, 11 wykazały tendencję dalszego zbliżenia do CALAVERAS. Może to być związane z obrotem się całej płyty III ruchem prawoskrętnym o $\alpha = 0",44$ (por. tablica 9).



Rys. 14. Przemieszczenia w okresie między cyklami 1-8 (1973,136—9,254)
 Fig. 14. Displacements in the period between cycles 1-8 (1973,136—9,254)

Na rysunku 14 (po cyklu 8) nastąpiło dalsze zwiększenie przemieszczeń płyt II, III w stosunku do płyty I. Punkt 14 płyty I nie zwiększył przemieszczenia w stosunku do stanu w cyklu 6, natomiast punkt 16 zwiększył przemieszczenie o charakterze „pociągania” przez płytę II w stosunku do cyklu 7. Nastąpił też indywidualny ruch punktu 13 płyty II do SAN ANDREAS, co oznaczono jako powstanie w jego otoczeniu słabej strefy płyty II.

Nastąpiło opóźnienie ruchu punktów 2, 11, 12 w stosunku do wek-

torą ruchu płyty III z jednoczesnym zwiększeniem przemieszczeń punktów 2, 11 do CALAVERAS. Słaba strefa płyty III objęła punkt 11. Stwierdzony w cyklu 7 obrót płyty III cofnął się.

W cyklach 4-7 nastąpiło zwiększające się obracanie hipotetycznej płyty IV ruchem prawoskrętnym do $\alpha = 0'',72$, stopniowo zbliżające punkt 23 do płyty I. W cyklu 8 nastąpiło cofnięcie tego obrotu. Może to mieć hipotetyczny związek z obrotem płyty III w cyklu 7 (por. tablica 9).

Wnioski

1. Na obszarze sieci Near Hollister występują wyraźne zdeterminowane ruchy wzajemne płyt oddzielonych uskokami, o generalnej tendencji ruchu postępowego wzdłuż uskoków, z niedużymi, słabo zdeterminowanymi tendencjami do wzajemnych ruchów obrotowych.

2. Sporadycznie obserwowane punkty 4, 10, 24 potwierdziły małą odkształcalność płyty II. Dobrze byłoby w przyszłości obserwować je przynajmniej w co drugim cyklu (jeśli nie jest możliwe obserwowanie we wszystkich cyklach).

3. Zachowanie się punktu 12 (Hollis) oraz punktu 19 (Pereira) obserwowanego niestety tylko w cyklach 1-4, wskazuje, że uskok CALAVERAS może przebiegać, być może w formie utajonej, dalej na południe, aniżeli to oznaczono na Fig. 1 w [13]. W przyszłości, w celu rozpoznania stanu tego rejonu sieci dobrze byłoby prowadzić obserwacje punktów 7, 15, 19, a zwłaszcza punktu 19 znajdującego się w pobliżu przedłużenia linii uskoku.

4. Ruchy płyty IV były nieduże w stosunku do płyty I lecz wnioskowanie o nich na podstawie przemieszczeń zaledwie dwu punktów 9, 23 jest ryzykowne. Dobrze byłoby rozbudować sieć w obszarze między uskokami SARGENT, CALAVERAS, zakładając w rejonie oznaczonym na rysunku 7 znakiem (?) jeden lub dwa dodatkowe punkty.

5. W niektórych okresach poszczególne płyty wykazywały wyczuwalne ruchy obrotowe względem siebie. Byłoby dobrze, aby w przyszłości program pomiarów okresowych objął wyznaczanie azymutów astronomicznych. Byłoby korzystne mierzenie okresowe azymutów odcinków: 17-22, (3-8 lub 8-10 jeśli istnieją takie celowe), 1-5, 9-23. Wówczas, poza możliwym obecnie wyznaczaniem obrotów płyt względem siebie, możliwe stałoby się wyznaczanie absolutnych obrotów poszczególnych płyt.

Jeśliby wniosek ten był trudny do zrealizowania, to można ograniczyć się do okresowego pomiaru astronomicznego dwu azymutów, np. 8-10 i 1-5 bowiem dawałoby to również możliwość wyznaczania absolutnych obrotów pozostałych płyt, jakkolwiek nie bezpośrednio, lecz za pośrednictwem wyrównania i transformacji sieci.

6. Odległości między punktami należącymi do różnych płyt, o kierunkach zbliżonych do kierunków uskoków, wobec stwierdzonego charakteru ruchu płyt, są szczególnie narażone na szybko zachodzące zmiany. Z tego powodu długości tak usytuowanych odcinków należy mierzyć w każdym cyklu w czasie możliwie zbliżonym do średniego momentu (epoki) cyklu. Są to głównie odcinki 1-23, 12-23, 13-17, 14-23.

7. Poważnym mankamentem programu pomiarów sieci Near Hollister jest mała dokładność wyznaczenia wysokości punktów i brak powtarzanych pomiarów zmian tych wysokości. Powoduje to, że praktycznie nie jest możliwe obliczanie przemieszczeń poziomych metodą różnic współrzędnych. Również wskutek tego dokonane w niniejszej pracy obliczenie przemieszczeń poziomych metodą różnicową (z wyrównania różnic dd) daje wynik poprawny tylko przy założeniu, że w okresie badań nie następowały zmiany wysokości punktów większe od 0,2 m.

L I T E R A T U R A

- [1] Chrzanowski A. (z udziałem komitetu „ad hoc”): *A comparison of different approaches into the analysis of deformation measurements*. XVI International Congress of Surveyors, 6 Commission 1981.
- [2] Chrzanowski A., Secord J.M.: *Report of the „ad hoc” Committee of the analysis of deformation surveys*. XVII International Congress of Surveyors, Sofia Bulgaria, 1983.
- [3] Chrzanowski A., Chen Y.Q., Secord J.M.: *On the strain analysis of tectonic movements using fault crossing geodetic surveys*. Tectonophysics. 97 (1983) Elsevier Science Publishers B V, Amsterdam.
- [4] Gaździcki J., Janusz W.: *Próby wykorzystania elektronicznej maszyny cyfrowej UMC-1 do rachunkowego opracowania wyników pomiarów odkształceń budowli hydrotechnicznych*. Prace Instytutu Gospodarki Wodnej T. 2 Z. 3 1964.
- [5] Janusz W.: *Sposoby obliczania poziomych przemieszczeń punktów w zależności od rodzaju wykonywanych okresowo obserwacji*. Przegląd Geodezyjny 2/1964.
- [6] Janusz W.: *Wstęp do generalizacji wyników pomiarów odchyłek projektowych i odkształceń urządzeń technicznych*. Prace IGiK T. XV, Z. 2 (35), 1968.
- [7] Janusz W.: *Metoda generalizacji złożonej wyników pomiarów przemieszczeń i odchyłek usytuowania punktów*. Prace IGiK T. XVI, Z. 1 (37), 1969.
- [8] Janusz W.: *Geodezyjna interpretacja wyników pomiarów przemieszczeń*. Prace IGiK, T. XVI, Z. 2 (38), 1969.
- [9] Janusz W.: *Transformacja współrzędnych bez zniekształceń*. Przegląd Geodezyjny 4/1976.
- [10] Janusz W.: *Obliczanie poziomych przemieszczeń punktów w sieciach kontrolnych*. Prace IGiK, T. XXX, Z. 1, 1983.
- [11] Kuczera K.: *Program analizy dużej poziomej sieci różnic*. (w przygotowaniu).
- [12] Lazzarini T.: *Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia*. PPWK. Warszawa 1977.

- [13] Savage J.S., Prescott W.H., Lisowski M., King N.: *Geodolite measurement of deformation Near Hollister, California, 1971—1978*. Journal of Geophysical Research, Vol. 84, N°. B13, December 10, 1979.
- [14] Janusz W.: *Obliczanie i wyrażanie wzajemnych przemieszczeń płyt tektonicznych*. Przegląd Geodezyjny 8—9/84.
- [15] Otrębski A.: *O średnim zmniejszeniu błędów obserwacji (pomiarów) przez wyrównanie metodą najmniejszych kwadratów*. Warszawa, 1949.
- [16] Laudyn I.: *Obliczanie przemieszczeń poziomych budowli*, Prace IGiK z. 1, Warszawa 1980.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Aleksander Piątek

WOJCIECH JANUSZ

Horizontal displacements in testing networks Near Hollister area (California) in the light of analyses made after the WJ method *)

Abstract. The paper considers the results of adjustment of differences of distances in the networks of the Near Hollister area, surveyed in 9 cycles in the years 1973—1980. Groups of points maintaining their intrinsic stability were identified. The mutual displacements and turns of four tectonic plates and deformations of these plates in the places of the network points were computed. The results were elaborated in the form of a series of tables and illustrated graphically by figures. Moreover, the specific features of behaving of fragments of tectonic plates situated within the fault zone were studied.

An approach to the questions arising at the investigation of the networks

The points of testing network were marked by original numbers, as may be seen in Fig. 1. The present author operates with these numbers in all computations carried out in this work.

The results obtained from the repeated surveys of the distances have been selected, and then ranged among the measurements cycles (Table 1). An illustration of spacings and duration of particular cycles is shown in Fig. 2. It appeared, in the course of classification of the results that the surveys made in cycle 1 enabled us the determination of the whole network, including 24 points, whereas in other remaining cycles the surveys were not performed in relation to some distances, so that in the last surveyed cycle, for instance, the network comprising 18 points (illustrated in Fig. 3) appear to be determinable.

The 1-st stage of investigations

The differences of measured lengths in each cycle in relation to the result derived from cycle 1 were computed. The networks of such computed differences $dd = d' - d$ were adjusted. When the adjustments

*) An identification method of the fixed points and computation of displacements, worked out by Wojciech Janusz, presented in the work [10]. "Proceedings of IGiK" Vol. XXX, No. 1, 1983).

were under way, the differences surveyed dd — making use of *a priori* errors $m_{dd} = \sqrt{2/3 + 0.2 \cdot d \cdot 10^{-6}}$ (mm)¹ — were subject to "comparison" (the so called "weighing"). Adjustments were performed with limitation of 3 degrees of freedom, i.e. assuming point 23 and direction 23 — 9 as invariable in the course of the adjusting.

In the result of adjustments made, components dx , dy of apparent displacements, errors m_{α} , and a number of degrees of freedom (super-numerary observations n_m) were obtained. These data are plotted in Table 2. Moreover, the following parameters were calculated: $d\alpha$ denoting the coefficient of reversal of direction, $d\beta$ standing for scaling (the distance), according to formulae (2.1) of paper [10]; these calculations were done on the basis of dx , dy given in Table 2.

Mean errors of these parameters were calculated in virtue of variance-covariance matrices, in accordance with formula (4.3) of paper [10].

Parameters and their errors were computed for the linear segments connecting the points of the testing network in all combinations assumed (see Fig. 3).

Adjustments and computation of parameters and their errors were performed by means of BIGR programme, worked out by K. Kuczera [11].

The computed values $d\alpha$, $d\beta$, $m_{d\alpha}$, $m_{d\beta}$ rendered services for detecting the groups of intrinsically fixed points in the network and for gauging whether the stability criteria, after the WJ method, were satisfied in these groups.

For detecting the groups of intrinsically fixed points serves the scheme of collision. To form such a scheme one should calculate magnitudes $\frac{d\alpha}{m_{d\alpha}}$, $\frac{d\beta}{m_{d\beta}}$ for all the linear sections connecting the network points in all the combinations assumed. The computed magnitudes are qualified to the intervals and marked graphically, as may be seen in Table 3.

For instance, for the network of differences dd from the period between cycles 1-3 the scheme of collision was obtained. This is shown in Fig. 4

The scheme of collision signalizes connections of points by observations, the changes of which exceed the determined multiple of mean error to defining a change. The scheme enables easy detection of the fragments of networks not giving evidence of collision, i.e. such fragments of networks, the points of which have been joined by linear segments not showing any excessive reversals of direction and relative length changes.

¹) An experimental adjustment was carried out throughout "weighing" the differences dd in conformity with the formula: $m_{dd(1)} = \sqrt{2/3^2 + 0.2^2 \cdot d^2 \cdot 10^{-12}}$, bearing in mind the information on the accuracy of measurements, taken from the paper [13]. However, the result was not positive, what was considered in this paper in the discussion on errors.

To check whether the detected groups of points intrinsically fixed satisfy the stability criteria formulae (9) — (12) of the paper [10] were used.

To this aim the computed parameters $d\alpha$, $d\beta$ and their errors m_α , m_β were set up, using the scheme of collision for each detected group. and then, on the basis of these parameters, computed the values, according to the above-mentioned formulae from [10].

From among numerous groups satisfying or insignificantly exceeding limits of intrinsic stability criteria three groups took the lead, in which stability conditions were satisfied or were slightly exceeded in all the cycles. Besides, these groups are characterized by an attribute that they make neither mutual combination nor overlap (they are distinct in respect of subregions of the networks within which they are situated).

These are the following groups:

I formed by points 17, 20, 22

II formed by points 3, 8, 13, 21

III formed by points 1, 5, 6, 18

Results of the analysis of satisfying the stability criteria by the just quoted groups are summarized in Table 5.

On account of the fact that group I is situated in the centre of the network Near Hollister, it was assumed as a group of reference points, and computed the displacements \underline{dx} , \underline{dy} of all points of the network. For the purpose transformations of apparent displacements dx , dy , comprised in Table 2, were carried through accomodation of the network to points 17, 20, 22. These transformations were realized after the method considered in [9] and [10], i.e. without the change of the scale of the figure undergoing transformation. Results obtained are shown in Table 6 and in Fig. 6 More detailed explanations referring to computation of displacements one may find in paper [14].

The identified groups of points intrinsically fixed were shown by outlining them with the dashed line. These lines were drawn in such a way that the points forming the groups maintaining intrinsic stability would be comprised within the closed contours, however, not enclosing in them any other point of networks (see Fig. 6).

The vectors of displacements, formed by components \underline{dx} , \underline{dy} from Table 6, characterizing displacements of points in the epoch 1980, 176 regarding the epoch 1973, 136 wer presented in Fig. 6. Simultaneously the motion trajectory of each point, during all the time of investigations 1973,136÷1980,176, has been marked with a fine line showing by dots the positions of points in the indirect cycles.

From Fig. 6 follows a conclusion that within the area of the network occur three characteristic subregions distinguished by their own individual motions. We may presume that within this area exists also the fourth subregion characterizing by its individual motions, to which belong points 9, 23.

Subregion I is determined by the I group of points being intrinsically fixed (rigid points 17, 20, 22), outlined in Fig. 6 with the dashed line, and likewise by the shifting points 14, 16.

Subregion II is determined by the II group of points being intrinsically fixed (rigid points, 3, 8, 13, 21), outlined in Fig. 6 with the dashed line.

Subregion III is determined by the III group of points being intrinsically fixed (rigid points 1, 5, 6, 18), outlined with the dashed line, and likewise by the shifting points 2, 11, 12.

It is noteworthy that together with outlining, shown in Fig. 6, fragments of networks closing inside the group of points maintaining intrinsic stability we related so far, the meaning dealing with order, enabling us graphical segregation of points behaving in a like manner or the points being immovable one to another.

Now, introducing the term "subregion", we begin to assign another function and meaning — having generalizing character — to outlining the groups of points intrinsically fixed. For instance, we assume that the subregion of the terrain (substratum), which behaves similarly just as representing it the points of the network, lies within the enclosed contour. Thus, we assume that of the outlined group of points maintains intrinsic stability, then the included within the outline subregion has character of a plate which does not undergo deformations or manifesting minor straining. This "generalizing" approach presented by the author in his previous works, e.g. [6] to [8] has obviously only hypothetical character and requires certain testifying in the result of another type of research, mainly the geological research.

The groups I, II, and III, outlined in Fig. 6, may be treated as the "strong" zones of particular subregions characterized by inconsiderable mutual displacements of the points forming the groups being intrinsically fixed. The remaining points numbered to the particular subregions occur in the "weak" zones of those subregions, revealing similar movement trends as their strong zones, but being subject to larger displacements owing to far-reaching "own" deformations of the substratum.

In order to accentuate the foregoing statements, the mean displacements dx_o , dy_o of centres of gravity of groups II, III and a hypothetical group IV, being formed by points 9, 23, were computed. Further, the reduced displacements $dx_r = dx - dx_o$, $dy_r = dy - dy_o$ of points numbered to particular subregions, in relation to their centres of gravity, were computed. The result of this computation is comprised in Table 7, and it is illustrated graphically in Fig. 7. Table 7 contains the specific components of displacements of all points dx_r , dy_r , and the components of displacements dx_o , dy_o of centres of gravity of groups of the fixed points.

The centres of gravity of groups fixed points were drawn with binary circles in Fig. 7, whereas vectors of displacement of these points be-

tween epochs 1973,136—1980,176 were drawn by heavy lines. At the same time trajectories of displacements of fixed points between the moments of indirect cycles were marked by fine lines and by dots. These vectors and trajectories were recognized as those characterizing the general movement trends of subregions II, III, IV in relation to subregion I — the centre of gravity of which has no displacement vector.

The vectors of relative displacements of particular points, reduced by displacements of subregions (dx_r, dy_r) are shown in Fig. 7. Moreover, the positions of points in indirect surveying cycles giving a conception on the spread of results in the places of points ranked among groups of points intrinsically fixed are also shown by dots in the latter Figure.

The "strong" zones of subgroups are shown in Fig. 7 with binary shading, while the "weak" zones are shown by single lining.

It is evident that in the period (of time) 1973,136÷1980,176 — in the area of the network Near Hollister — it was possible to separate subregions (in virtue of the effects of measurements) — characterizing by individual motions — belonging territorially to particular tectonic plates (blocks) disjoined by faults. Proceeding, we will identify in continuation the subregions with the tectonic plates (blocks). We will give these plates numeration which is accepted for subregions.

To recognition of velocities along trajectories and velocities of components, projected upon the directions of vectors of displacements of plates (blocks), illustrated in Fig. 7, the setting-up made in Table 8 will be helpful.

It was found that plate II moved in relation to plate I with the mean velocity $V = 0.030$ mm/per day; at the same time in the intermediate periods the velocity V has changed along the trajectory from 0.010 to 0.070 mm/per day, whereas along the vector of displacements of the plate, shown in Fig. 7, the velocity V' has changed from -0.004 to 0.055 mm/per day.

It was found that plate III moved in relation to plate I with the mean velocity $V = 0.062$ mm/per day; at the same time in the intermediate periods the velocity V has changed along the trajectory from 0.053 to 0.102 mm/per day, while along the vector of displacements of the plate III, shown in Fig. 7, the velocity V' of displacements has changed from 0.040 to 0.102 mm/per day.

The velocity of movement of the hypothetical plate IV is not given here on account of missing in it well-marked systematics.

It should be stressed that in particular, short periods between the next cycles of surveys not large displacements occurred as compared to the accuracy of their determination. Accordingly, we should treat the data referring to the velocity of displacements computed between neighbouring cycles as less strict in comparison with those related to the velocity (of displacements) in longer periods; for instance the mean velocity

computed for the 7-year period of investigations, between the epochs 1973,136 and 1980,176. (The later data are more reliable as compared with those saying on neighbouring cycles).

In Fig. 1 of the paper [13] one may find the graphical data on the fault CALAVERAS; this fault was brought there in the vicinity of the 12 point (Hollis) without indication of its further run. **If the dissimilarity of movement of subregions adjoining one to another may be treated as an aspect of separateness of the tectonic plates** (blocks), then the results of surveys clearly indicate that the point 12 (Hollis) numbers to the plate III, while the point 20 (Picket) numbers to the plate I. On these ground the hypothetic line of continuation of CALAVERAS fault towards south-east **between** the Hollis and the Picket points was drawn by dashed line in Fig. 7.

In Fig. 7 we may observe that points 2, 11, 12 in the weak zone of the plate (block) III indicate tendencies of "delay" in relation to the direction and velocity of movement of the strong zone. This process may be hypothetically related with the friction of the plate (block) III moving in relation to the plates (blocks) I and IV connected with this fact characteristic strain of the weak zone of the plate (block) III. Similar phenomenon may be noticed in behaviour of both the weak zones of the plate I. The zone determined by the point 14 manifests inconsiderable "dragging" by the moving plate III towards south-east, whereas the weak zone determined by the point 16 manifests inconsiderable "dragging" by the moving plate (block) II towards north-west.

Displacements presented in Table 7 have been subject to further analysis, because it has been found that they manifest characteristic trends pointing to possibility of inconsiderable turning motions of groups II, III, IV in relation to the group I of points, being assumed as immovable. Therefore, components \overline{dx} , \overline{dy} of the displacements of points belonging to subregions II, III, IV were transformed at accommodation to the points forming groups intrinsically fixed II, III, IV. Displacements \overline{dx} , \overline{dy} transformed thus and the calculated, moreover, angles of rotation $\overline{\alpha}$ of plates (blocks) II, III, IV in relation to the plate (block) I are inserted in Table 9.

The 2-nd stage of investigations

The 2-nd stage of inquiries included estimation of displacements in the period 1973,136÷1980,176, which brought, in the last cycle, to the state summarized in Fig. 7. Displacements of 6 points being observed on and off (compare the network given in Fig. 1 and in Fig. 3) were considered at the same time.

Displacements in indirect cycles

Development of displacements in the whole period of investigations is illustrated in Figs. 8÷14, in which shown displacements determined in particular indirect cycles in relation to the state during the first cycle.

In Fig. 8 (after the cycle 2) it may be observed that displacement, within 396 days, achieved the magnitudes negligibly exceeding the errors of their determination. That is why the decision on such — and not another — a configuration of hypothetical subregions (plates) of individual motions is insufficiently determined. Particularly, the fact that points 7, 12, 19 have displacements warrant to be classified to subregion I or III calls one's attention. The Figure comprises the version of ranging the displacements in subregion III; this version was chosen no doubt due to the knowledge of further run of displacements. Points 3, 4, 8, 10, 13, 21, 24 show great mutual conformity, evidencing, the existence of a large strong zone being designated wholly as subregion (plate) II. Points 1, 2, 5, 6, 12, 15, 19, 23 show also great mutual conformity, which witness the existence of a large strong zone designated wholly as subregion (plate) III. Subregion (plate) I includes also point 9 besides later occurring in it points 14, 16, 17, 20, 22.

In Fig. 9 (after cycle 3) one may observe that, within 594 days, considerable extension and determination of displacements occurred. Point 23 passed over from subregion III, while point 9 from subregion I to the formed by these points subregion IV. Points 7, 19 shifted significantly in relation to subregion I, however, in relation to the strong zone of subregion III these points have systematic motion, giving thereby the basis to designation of the region enclosing these points as a weak zone of plate III. Unfortunately, points 4, 10 were not observed in cycle 3; this fact renders impossible any statement on the actual situation in the zone of plate II designated with sign (?).

The displacement vector of plate II in relation to plate I is parallel with the fault SAN ANDREAS, while the displacement vector of plate III is oriented towards south-west indicative of slight bringing nearer and mutual dislocation of plates I and III. The hypothetical plate IV manifested slight displacement parallel with fault CALAVERAS, bringing this plate nearer the plate I.

In Fig. 10 (after cycle 4) one may observe further extension and determination of mutual motion of plates. Plate II extended the displacement towards plate I in parallel to SAN ANDREAS. Plate III extended displacement in relation to plate I, changing direction of motion into parallel with CALAVERAS. Hypothetical plate IV did not extend displacements in relation to plate I, but changed direction of motion into parallel with SARGENT. It may be have certain relevance to the change of direction of displacement of plate III into parallel with CALAVERAS (see

Figs. 9 and 10), what means decrease of thrust of plate III upon plate I and IV.

The weak zone of plate III comprised point 12, vectors of displacements of points 12, 19 changed their direction into more or less parallel to CALAVERAS. Behaviour of point 19 in relation to point 17, 20 of plate I, what allows to put forward a hypothesis that the fault CALAVERAS runs further towards south-wards, what was marked by the dotted line. Points 4, 10 were not observed in cycle 4 which still makes impossible the statement on the actual state in the zone of plate II designated with sign (?)

In Fig. 11 (after cycle 5) increase displacements of plate II, III in relation to plate I into parallel with faults SAN ANDREAS, CALAVERAS, respectively. Hypothetical plate IV slightly extended the displacement along SARGENT in the direction towards plate III.

Points 4, 10 observed proved their belonging to the strong zone determining plate II. The lack of observations of points 7, 15, 19 makes impossible the proving of hypothesis illustrated in Fig. 10 of extension of the fault CALAVERAS, it was drawn by the dotted line. These points were not observed also in further cycles.

Plate I underwent certain weakening in the zone surrounding point 16, which shows tendency to "dragging" by plate II in its motion along SAN ANDREAS towards north-west.

Certain weakening of plate III becomes visible, on which the weak zone — represented previously by points 12, 19 — widened and enclosed point 2. In this zone, at points 2, 11 slight motion may be noticed towards CALAVERAS, while at point 12 a decreasing of the velocity of motion in relation to the motion of the whole plate.

In Fig. 12 (after cycle 6) still increase displacements of plates II, III in relation to plate I parallel with SAN ANDREAS, CALAVERAS, and displacement of plate IV increases slightly in parallel with SARGENT.

The observed points 4, 10, 24 further confirm their belonging to the strong zone determining plate II. In the weak zone in plate III a "slow down" of motion of point 12 can be observed in relation to the motion vector of plate III. At the same time further weakening of plate I occurred in the zone enclosing point 14, which begins to show the tendency of "being dragged" by adjoining the weak zone of plate III in its motion along CALAVERAS towards south-east. "The dragging" of point 16 along SAN ANDREAS by plate II weakened as compared to the state from the previous cycle.

In Fig. 13 (after cycle 7) further intensification occurred in the displacement of plates II and III in relation to plate I. Point 14 of plate I maintained the displacement of the previous cycle but point 16 again increased its dislocation of "dragging" nature through plate II. The slow down in motion of point 12 as related to the vector of plate III grew up,

and points 2 and 11 showed a tendency of further coming closer to CALAVERAS. This can be accompanied by the turning of the whole plate III in dextrorotatory motion by $\alpha = 0''.44$ (see Table 9).

In Fig. 14 (after cycle 8) further intensification occurred in the displacements of plates II, III in relation to plate I. Point 14 of plate I did not intensify its displacement as compared with the state observed in cycle 6, though point 16 increased the „dragging” displacement by plate II in relation to cycle 7. Also the individual motion of point 13 of plate II towards SAN ANDREAS, marked as the formation in the surrounding of a weak zone of plate II, was observed.

Further slow down in motions of points 2, 11, 12 occurred in relation to the vector of motion of plate III with the simultaneous intensification of the displacements of points 2, 11 to CALAVERAS. The weak zone of plate III enclosed point 11. The turn observed in cycle 7 of plate III receded.

In cycles 4-7 further intensification was observed in the turning of hypothetical plate IV in dextrorotatory motion by $\alpha = 0''.72$ gradually bringing point 23 closer to plate I. In cycle 8 a recession of the motion was observed. This can hypothetically be connected with the turning of plate III in cycle 7 (see Table 9).

Detailed information on the approach to the research under question is included in the Polish version of the paper.

Conclusion

1. In the area of the network Near Hollister the distinctly determined mutual motions of the plates separated by faults, with the general tendency of progressive motion along the faults accompanied by insignificant weakly determined trends to mutual rotary motions, may be observed.

2. Sporadically observed points 4, 10, 24 confirmed a minor straining tendency of plate II. It would be advisable to observe them in the future in at least every second cycle (if the observation is not possible in all the cycles).

3. The behaviour of point 12 (Hollis) and point 19 (Pereira) observed unfortunately, only in cycles 1-4 indicates that fault CALAVERAS can run, in a latent form as it may, further towards southwards than it was marked in Fig. 1 of the paper [13]. In order to recognize in the future the state of that particular region of the network it would be well-advised to conduct observation of points 7, 15, 19, in particular, of point 19, as it is situated closely to the elongation of the fault's line.

4. The motions of plate IV were insignificant in relation to plate I but drawing relevant conclusions based on the displacements of merely

two points 9, 23 is risky. It would be well-advised to extend the network in the area between the faults SARGENT and CALAVERAS setting up in the region marked in Fig. 7 by the sign (?) one or two additional points.

5. In some periods particular plates showed perceptible mutual rotary motions. It would be advisable for the programme of periodic surveying to include ranging out astronomic azimuth in the future. It would be also useful to perform the periodic surveying of azimuths of segments: 17-22 (3-8 or 8-10 if such sight lines exist), 1-5, 9-23. Then, besides possible at present determination of mutual turnings of the plates round one another could be possible a determination of absolute rotations of particular plates.

If this conclusion were difficult to carry through, then it might be possible to confine the research to periodic astronomic measurement of two azimuths, for instance, 8-10 and 1-5, since it would also make it possible to determine absolute rotations of the remaining plates, however, not directly but through adjustment and transformations of networks.

6. Distances between points, belonging to various plates, of directions nearing to directions of faults, in the face of the ascertained nature of the motion of the plates, are particularly subject to rapidly occurring changes. Therefore, the lengths of so situated segments should be surveyed in each cycle in the time approximate to the mean moment (epoch) of the cycle. The following segments are the main segments: 1-23, 12-23, 13-17, 14-23.

7. A serious shortcoming if programmes of network surveys Near Hollister is the low accuracy of determining the heights of points as well as certain want of the repeated surveys of changes of these heights.

It causes that calculation of horizontal displacements by the difference coordinate method is not possible in practice.

Moreover, on account of the just mentioned fact the calculation of horizontal displacements, made in the present work, by the difference method (from adjustment of differences dd) yielded only then correct result when it was assumed that in the run of research carried out did not occur any changes in relation to heights of the points concerned exceeding 0.2 m.

L I T E R A T U R E

- [1] Chrzanowski A. (with the participation of "ad hoc" Committee): *A comparison of different approaches into the analysis of deformation measurements*. XVI International Congress of Surveyors, VI. Commission 1981.
- [2] Chrzanowski A., Secord J.M.: *Report of the „ad hoc” Committee of*

- the analysis of deformation surveys*. XVII International Congress of Surveyors, Sofia Bułgaria, 1983.
- [3] Chrzanowski A., Chen Y.Q., Secord J.M.: *On the strain analysis of tectonic movements using fault crossing geodetic surveys*. Tectonophysics, 97 (1983), Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- [4] Gaździcki J., Janusz W.: *Próby wykorzystania elektronicznej maszyny cyfrowej UMC-1 do rachunkowego opracowania wyników pomiaru odkształceń budowli hydrotechnicznych*. Prace Instytutu Gospodarki Wodnej, t. 2, z. 3, 1964. (*Use of UMC-1 computer of elaboration of the results of measurement of deformations of hydrotechnical structures*. Proceedings of the Institute of Water Economy).
- [5] Janusz W.: *Sposoby obliczania poziomych przemieszczeń punktów w zależności od rodzaju wykonywanych okresowo obserwacji*. Przegląd Geodezyjny. 2/1964 (*Methods of computations of horizontal point displacements, at geodetic networks, depend on the type of periodical observations*. Geodetical Review).
- [6] Janusz W.: *Wstęp do generalizacji wyników pomiarów odchyłek projektowych i odkształceń urządzeń technicznych*. Prace IGiK t. 15, z. -2 (35), 1968. (*Introduction to generalization of the results of surveys of the designed deviations and deformations of technical apparatuses*. Proceedings of the Institute of Geodesy and Cartography).
- [7] Janusz W.: *Metoda generalizacji złożonej wyników pomiarów przemieszczeń i odchyłek usytuowania punktów*. Prace IGiK t. 15, z. 1 (37), 1969 (*The method of complex generalization of the results of surveys of displacements and deviations of localization of points*. Proceedings of the Institute of Geodesy and Cartography).
- [8] Janusz W.: *Geodezyjna interpretacja wyników pomiarów przemieszczeń*. Prace IGiK, t. 16, z. 2 (38), 1969 (*Geodetic interpretation of the results of surveys of displacements*. Proceedings of the Institute of Geodesy and Cartography).
- [9] Janusz W.: *Transformacja współrzędnych bez zniekształceń*. Przegląd Geodezyjny 4/1976. (*Transformation of coordinates without distortion*. Geodetical Review).
- [10] Janusz W.: *Obliczanie poziomych przemieszczeń punktów w sieciach kontrolnych*. Prace IGiK, t. 30, z. 1, 1983. (*Computations of horizontal point displacements at control networks*. Proceedings of the Institute of Geodesy and Cartography).
- [11] Kuczera K.: *Program analizy dużej poziomej sieci różnic*. (*The programme of the analysis of the large horizontal network of differences* (in preparation)).
- [12] Lazzarini T.: *Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia*. PPWK, Warszawa 1977 (*Surveys of displacements of buildings and their surroundings*. State Cartographical Publishing House).
- [13] Savage J.S., Prescott W.H., Lisowski M., King N.: *Geodolite measurements of deformation Near Hollister, California, 1971—1978*. Journal of Geophysical Research. Vol. 84, N°. B13, December 10, 1979.
- [14] Janusz W.: *Obliczanie i wyrażanie wzajemnych przemieszczeń płyt tektonicznych*. Przegląd Geodezyjny. 9/1984 (*Computation and presentation of mutual displacements of tectonic plates*).
- [15] Otrębski A.: *O średnim zmniejszeniu błędów obserwacji (pomiarów) przez wyrównanie metodą najmniejszych kwadratów*. Warszawa, 1949. (*On the mean reducing of errors of observations (surveys) through adjustment via the method of the least squares*).

[16] Laudyn I.: *Obliczanie przemieszczeń poziomych budowli*. Prace IGIK, No 1, Warszawa, 1980. (*Computation of horizontal displacements of buildings*).

Translation: Regina Majewska

ВОЙЦЕХ ЯНУШ

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СДВИГИ В ТЕСТОВОЙ СЕТИ
NEAR HOLLISTER (КАЛИФОРНИЯ) В СВЕТЕ АНАЛИЗОВ,
ПРОВЕДЕННЫХ МЕТОДОМ ВЯ

Резюме

В районе тектонических трещин Near Hollister в Калифорнии существует геодезическая контрольная сеть с периодически измеряемыми расстояниями. В рамках деятельности FIG (Международной федерации геодезистов) результаты измерений этой сети были переданы многим исследовательским коллективам для опробирования и сравнения различных методов вычисления и анализа сдвигов.

В работе рассмотрены результаты применения метода идентификации постоянных пунктов и вычисления сдвигов, разработанного автором и представленного перед тем в журнале „Труды ИГиК” Т. XXX, Z. 1, 1983.

Были уравнены разницы расстояний в сети Near Hollister, измеренные в 9 циклах в период 1973—1980 гг. Были идентифицированы группы пунктов, сохраняющих внутреннюю постоянность и показывающих взаимные смещения. Вычислено взаимосмещение и повороты 4-х тектонических плит, а также деформации этих плит в местах пунктов сети. Результаты представлены в графической форме и форме таблиц, а также рассмотрены специфические черты поведения тектонических плит в сбросовом поясе. Представлены выводы относительно степени правильности структуры сети и предложения, касающиеся её изменения и дополнения.

Перевод: Róża Tolstikowa

