ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ

JAN ZYCH

# METODA PROGNOZOWANIA WPŁYWÓW EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ NA POWIERZCHNIĘ TERENU UWZGLĘDNIAJĄCA ASYMETRYCZNY PRZEBIEG PROCESU DEFORMACJI

P. 3351/87

GÓRNICTWO

Z. 164
GLIWICE
1987

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 922

JAN ZYCH

P. 3351/87

# METODA PROGNOZOWANIA WPŁYWÓW EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ NA POWIERZCHNIĘ TERENU UWZGLĘDNIAJĄCA ASYMETRYCZNY PRZEBIEG PROCESU DEFORMACJI

GÓRNICTWO

ZESZYT STO SZEŚĆDZIESIĄTY CZWARTY

GLIWICE 1987

OPINIODAWCY

Prof. dr hab. inż. Bronisław Skinderowicz

Doc. dr hab. inż. Bogdan Dżegniuk

KOLEGIUM REDAKCYJNE

REDAKTOR NACZELNY — Prof. dr hab. inż. Wiesław Gabzdyl
REDAKTOR DZIAŁU — Prof. dr hab. inż. Mirosław Chudek
SEKRETARZ REDAKCJI — Mgr Elżbieta Stinzing
CZŁONKOWIE KOLEGIUM — Prof. dr hab. inż. Adolf Maciejny
— Prof. dr inż. Stanisław Malzacher
— Prof. dr hab. inż. Bronisław Skinderowicz

OPRACOWANIE REDAKCYJNE
Mgr Elżbieta Stinzing

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372—9508

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
ul Kujawska 3, 44-100 Gliwice

Nakł. 180+85 Ark. wyd. 11.55 Ark. druk. 9,625 Papier offset. kl. III. 70x100,70g
Oddano do druku 18.09.87 Podpis.do druku 15.10.87 Druk ukończ. w listop. 1987
Zam. 797/87 L-24 Cena zł 231.—

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

PG/88

SPIS TREŚCI

Str.

1. WSTĘP ..... 9
2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU ..... 11
3. TEZA, CEL I ZAKRES PRACY ..... 15
4. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TEORII GEOMETRYCZNO-CAŁKOWYCH ..... 17
5. ZAKRES I SPOSÓB ANALIZY ORAZ WYNIKI POMIARÓW GEODEZYJNYCH..... 20
6. TEORIE GEOMETRYCZNO-CAŁKOWE W ŚWIETLE WYNIKÓW POMIARÓW GEODEZYJNYCH ..... 28
7. DOBÓR FUNKCJI DLA OPISU PRZEMIESZCZEŃ PUNKTÓW NA POWIERZCHNI TERENU W OPARCIU O BADANIA WŁASNE ..... 41
   7.1. Przemieszczenia pionowe - obniżenia ..... 41
   7.2. Przemieszczenia poziome ..... 44
8. BADANIE WŁASNOŚCI FUNKCJI F(f(x)) ORAZ JEJ POCHODNYCH ..... 54
   8.1. Badanie własności funkcji $F(\xi)$ ..... 56
   8.2. Badanie własności funkcji $\tilde{c}(\xi) = F'(\xi)$ ..... 60
   8.3. Badanie własności funkcji $\mathcal{K}(\xi) = F''(\xi)$ ..... 64
9. BADANIE WŁASNOŚCI FUNKCJI Q(q(x)) ORAZ JEJ POCHODNYCH ..... 65
10. WZORY NA WSKAŹNIKI DEFORMACJI POD WPŁYWEM EKSPLOATACJI W KSZTAŁCIE NIESKOŃCZONEJ PÓŁPŁASZCZYZNY ..... 66
    10.1. Wzory szczegółowe na wskaźniki deformacji ..... 67
    10.2. Wzory na maksymalne wskaźniki deformacji oraz miejsca ich występowania ..... 68
11. PARAMETRY I WSPÓŁCZYNNIKI WYSTĘPUJĄCE WE WZORACH NA WSKAŹNIKI DEFORMACJI ORAZ SPOSÓB ICH WYZNACZANIA DLA EKSPLOATACJI W KSZTAŁCIE NIESKOŃCZONEJ PÓŁPŁASZCZYZNY ..... 74
    11.1. Współczynnik osiadania - a ..... 75
    11.2. Parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów pionowych - $r_w$ ..... 75
    11.3. Współczynnik - A ..... 76
    11.4. Współczynnik - $B_1$ ..... 76

Str.

11.5. Parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów poziomych - $r_u$ ..... 77
11.6. Współczynnik - $B_2$ ..... 77

12. WZORY NA WSKAŹNIKI DEFORMACJI DLA EKSPLOATACJI O DOWOLNYM KSZTAŁCIE ..... 78

13. PORÓWNANIE WYNIKÓW POMIAROW GEODEZYJNYCH Z WYNIKAMI OBLICZEŃ TEORETYCZNYCH ..... 82

13.1. Linie obserwacyjne z kopalni "Komuna Paryska" ..... 83
13.2. Linia obserwacyjna 1| z kopalni "Chwałowice" ..... 108
13.3. Linia obserwacyjna z kopalni "Miechowice" ..... 108

14. SUMOWANIE WPŁYWÓW EKSPLOATACJI OD n PARCEL W TYM SAMYM POKŁADZIE ..... 128

14.1. Wzory na wskaźniki deformacji pod wpływem eksploatacji n parcel w tym samym pokładzie ..... 128
14.2. Wzory na wskaźniki deformacji pod wpływem eksploatacji n-tej parceli w tym samym pokładzie ..... 131

15. PRZYKŁADY SUMOWANIA WPŁYWÓW EKSPLOATACJI OD DWÓCH PARCEL W TYM SAMYM POKŁADZIE ..... 134

15.1. Przykład sumowania wpływów dwóch parcel stykających się ze sobą wzdłuż jednej krawędzi ..... 134
15.2. Przykład sumowania wpływów eksploatacji dwóch parcel przedzielonych wąskim filarem ..... 136

16. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE ..... 138

LITERATURA ..... 142

STRESZCZENIA ..... 146

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. ВВЕДЕНИЕ ..... 9

2. ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ ..... 11

3. ТЕЗИС, ЦЕЛЬ И ОБЪЁМ РАБОТЫ ..... 15

4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОИНТЕГРАЛЬНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ ..... 17

5. ОБЛАСТЬ, МЕТОД АНАЛИЗА И РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ..... 20

6. ИНТЕГРАЛЬНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ В СВЕТЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ..... 28

7. ВЫБОР ФУНКЦИИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПУНКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ..... 41

7.1. Вертикальные перемещения - понижения ..... 41
7.2. Горизонтальные перемещения ..... 44

8. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФУНКЦИИ $F(f(x))$ И ЕЁ ПРОИЗВОДНЫХ ..... 54

8.1. Исследование свойств функции $F(\xi)$ ..... 56
8.2. Исследование свойств функции $\tau(\xi) = F'(\xi)$ ..... 60
8.3. Исследование свойств функции $\varkappa(\xi) = F''(\xi)$ ..... 64

9. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФУНКЦИИ $Q(q(x))$ И ЕЁ ПРОИЗВОДНЫХ ..... 65

10. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ВИДЕ БЕСКОНЕЧНОЙ ПОЛУПЛОСКОСТИ ..... 66

10.1. Подробные формулы для показателей деформации ..... 67
10.2. Формулы для максимальных показателей деформации и места их проявления ..... 68

11. ПАРАМЕТРЫ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ФОРМУЛ ДЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ И МЕТОД ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ВИДЕ БЕСКОНЕЧНОЙ ПОЛУПЛОСКОСТИ ..... 74

11.1. Коэффициент оседания - a ..... 75
11.2. Параметр рассеивания главных влияний для вертикальных движений - $r_w$ ..... 75
11.3. Коэффициент - A ..... 76
11.4. Коэффициент - $B_1$ ..... 76
11.5. Параметр рассеивания главных влияний для горизонтальных движений - $r_u$ ..... 77
11.6. Коэффициент - $B_2$ ..... —

Стр.

12. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПРОИЗВОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ..... 78

13. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАССЧЕТОВ ..... 82

13.1. Наблюдения с шахты "Парижская Коммуна" ..... 83

13.2. Наблюдения с шахты "Хваловице" ..... 106

13.3. Наблюдения с шахты "Меховице" ..... 108

14. СУММИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ С n - УЧАСТКОВ ОДНОГО ПЛАСТА .. 128

14.1. Формулы для показателей деформации под влиянием эксплуатации n - участков одного пласта ..... 128

14.2. Формулы для показателей деформации под влиянием эксплуатации n-го участка пласта ..... 131

15. ПРИМЕРЫ СУММИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ДВУХ УЧАСТКОВ ОДНОГО ПЛАСТА ..... 134

15.1. Пример суммирования влияний двух участков соседствующих между собой одной гранью ..... 134

15.2. Пример суммирования влияний эксплуатации двух участков разделённым узким целиком ..... 136

17. ВЫВОДЫ ..... 138

ЛИТЕРАТУРА ..... 142

РЕЗЮМЕ ..... 146

CONTENTS

Page

1. INTRODUCTION ..... 9

2. PROBLEM FORMULATION ..... 11

3. THESIS, AIM AND SCOPE OF THE WORK ..... 15

4. GENERAL CHARACTERISTIC OF GEOMETRIC - INTEGRAL THEORIES ..... 17

5. RANGE AND WAY OF ANALYSIS AND THE RESULTS OF GEODESIC MEASUREMENTS 20

6. GEOMETRIC - INTEGRAL THEORIES IN THE LIGHT OF GEODESIC MEASUREMENTS ..... 28

7. FUNCTION SELECTION FOR THE DESCRIPTION OF POINT DISPLACEMENTS ON THE GROUND SURFACE ON THE BASIS OF OWN INVESTIGATIONS ..... 41

7.1. Vertical displacements settlements ..... 41

7.2. Horizontal displacements ..... 44

8. INVESTIGATIONS OF FUNCTION PROPERTIES F(f(x)) AND ITS DERIVATIVES. 54

8.1. Investigations of function properties $F(\xi)$ ..... 56

8.2. Investigations of function properties $\tau(\xi) = F'(\xi)$ ..... 60

8.3. Investigations of function properties $\varkappa(\xi) = F''(\xi)$ ..... 64

9. INVESTIGATIONS OF FUNCTION Q(q(x)) AND ITS DERIVATIVES ..... 65

10. FORMULAE FOR DEFORMATION INDICES UNDER THE INFLUENCE OF EXPLOITATION IN THE SHAPE OF INFINITE HALF-PLANE ..... 66

10.1. Detailed formulae for deformation indices ..... 67

10.2. Formulae for maximum deformation indices and place of their occurring ..... 68

11. PARAMETERS AND COEFFICIENTS OCCURRING IN FORMULAE FOR DEFORMATION INDICES AND THE WAY OF THEIR DETERMINING FOR EXPLOITATION IN THE SHAPE OF INFINITE HALF-PLANE ..... 74

11.1. Subsidence coefficient - a ..... 75

11.2. Scattering parameter of main influences for vertical movements - $r_w$ ..... 75

11.3. Coefficient - A ..... 76

11.4. Coefficient - $B_1$ ..... 76

Page

11.5. Scattering parameter of main influences for horizontal movements - $r_u$ ..... 77
11.6. Coefficient - $B_2$ ..... 77

12. FORMULAE FOR DEFORMATION INDICES FOR EXPLOITATION OF ANY SHAPE .. 78

13. COMPARISON OF GEODESIC MEASUREMENT RESULTS WITH THE RESULTS OF THEORETICAL CALCULATIONS ..... 82

13.1. Observing lines from the coal mine "Komuna Paryska" ..... 83
13.2. Observing line 1 from the coal mine "Chwałowice" ..... 108
13.3. Observing line from the coal mine "Miechowice" ..... 108

14. SUMMING UP THE EXPLOITATION INFLUENCES FROM n PANELS IN THE SAME SEAM ..... 128

14.1. Formulae for deformation indices under the exploitation influence of n panels in the same seam ..... 128
14.2. Formulae for deformation indices under the exploitation influence of n - panel in the same seam ..... 131

15. EXAMPLES OF SUMMING UP THE EXPLOITATION INFLUENCES FROM 2 PANELS IN THE SAME SEAM ..... 134

15.1. Example of summing up the influences of 2 panels touching each other along one edge ..... 134
15.2. Example of summing up the influences of 2 panels divided by a narrow pillar ..... 136

16. FINAL REMARKS AND CONCLUSIONS ..... 138

BIBLIOGRAPHY ..... 142

SUMMARY ..... 146

## 1. WSTĘP

Wpływ podziemnej eksploatacji złóż na powierzchnię terenu jest od wielu lat przedmiotem intensywnych badań, obserwacji i studiów teoretycznych zarówno w zakresie poznania mechanizmu deformacji górotworu i powierzchni terenu, jak też ograniczenia i przeciwdziałania ich ujemnym skutkom. W bogatej literaturze naukowej dotyczącej badania procesu deformacji górotworu i powierzchni terenu można wyróżnić zasadniczo trzy grupy prac.

Grupę pierwszą obejmują prace nawiązujące do prekursorskich w tym przedmiocie badań niemieckich H. Keinhorsta [21], R. Balsa [2] opisujące proces deformacji powierzchni terenu za pomocą wzorów całkowych. Wspólną cechą tych teorii, tzw. geometryczno-całkowych jest założenie istnienia funkcji wpływów $f(s)$, gdzie $s$ oznacza poziomą odległość rozpatrywanego punktu na powierzchni (w górotworze) od elementu wybranej powierzchni $dP$ oraz przyjęcie zasady superpozycji wpływów. Całkowanie w tych teoriach odbywa się po obszarze będącym rzutem wyeksploatowanego pola na powierzchnię poziomą, przy czym pod znakiem całki występuje iloczyn funkcji określającej obniżenie stropu w tym polu przez funkcję wpływów.

Zasadniczą rolę w tej grupie teorii odegrały prace S. Awierszyna [1], W. Budryka [6], T. Kochmańskiego [26, 29, 30, 31], S. Knothego [23, 24, 25], M. Chudka [7, 8] i innych.

Grupę drugą obejmują prace oparte na metodach i modelach mechaniki ośrodków ciągłych. Górotwór jest tu traktowany, jako ośrodek ciągły (sprężysty, plastyczny itp.), w którym stan naprężenia i odkształcenia opisuje układ równań różniczkowych równowagi dynamicznej oraz równań stanu podających związek między stanem naprężeń i odkształceń oraz szybkości ich zmian. Rozwiązanie tego układu równań jest zależne od postaci zadanych warunków brzeżno-początkowych. Grupę tę reprezentują liczne prace. Z autorów zagranicznych zagadnieniami tymi zajmowali się: Z.T. Bieniawski, W. Cook, H.G. Denkhaus, G.N. Kuzniecow i wiele innych.

Z polskich prac na szczególną uwagę zasługują prace A. Sałustowicza [50, 51], J. Litwiniszyna [33], G. Szefera [55], F. Dymka [11], H. Gila [13], K. Szpunara, B. Drzęźli [9, 10] i innych.

Grupę trzecią obejmują prace związane z tak zwaną mechaniką "ośrodka stochastycznego". Kierunek ten został zapoczątkowany przez J. Litwiniszyna [34, 35, 36]. Według tej teorii górotwór jest ośrodkiem odznaczającym się wielką niejednorodnością tworzącym w sąsiedztwie eksploatacji makrogruzowisko. Model ten rozwijany przez J. Litwiniszyna i jego współpracowników - J. Bodzionego [5], J. Mączyńskiego [40] i A. Smolarskiego [54] opiera się

na układzie postulatów prowadzących do układu równań różniczkowych pozwalających określić przemieszczenia górotworu, jeśli znane są warunki graniczne w postaci, na przykład przemieszczenia stropu nad wyeksploatowanym pokładem. Należy jeszcze podkreślić, że z punktu widzenia nauki o szkodach górniczych jest to ogólna teoria, tzw. całkowych teorii ruchów górotworu,w tym sensie, że każda poprawna teoria całkowa stanowi przypadek szczególny.

Dotychczas w praktyce największe zastosowanie dla celów prognozowania wpływów eksploatacji górniczej znalazły teorie całkowe W. Budryka - S. Knothego i T. Kochmańskiego. Teorie oparte o mechanikę ośrodków ciągłych, ze względu na przyjmowane uproszczenia odnośnie modelu mechanicznego górotworu, dają na obecnym etapie wyniki odbiegające od danych pomiarowych. Model ośrodka stochastycznego z powodu dużej ilości zmiennych współczynników stwarza duże trudności jego praktycznego zastosowania.

Wymienione wyżej teorie geometryczno-całkowe pomimo ich ciągłego doskonalenia wykazują jednak pewne systematyczne rozbieżności pomiędzy teoretycznymi wartościami wskaźników deformacji a wynikami pomiarów geodezyjnych. Dlatego też prowadzone są badania, które zmierzają do usunięcia tych rozbieżności.

Niniejsza praca ma na celu opracowanie wzorów pozwalających na zwiększenie dokładności prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu, poprzez wyeliminowanie systematycznych rozbieżności obecnie stosowanych teorii.

## 2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Prowadzone w Polsce od wielu lat pomiary geodezyjne dla badania wpływu eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu, doprowadziły do nagromadzenia bogatego materiału obserwacyjnego. Na podstawie tych materiałów prowadzone są analizy porównawcze pomiędzy pomierzonymi a obliczonymi teoretycznie wskaźnikami deformacji według wzorów najczęściej stosowanych teorii geometryczno-całkowych T. Kochmańskiego i W. Budryka - S. Knothego.

Szczegółowe badania prowadzone in situ, a także na modelach [18, 22, 48, 49] wykazują, że również teorie geometryczno-całkowe posiadają pewne systematyczne odstępstwa (rozbieżności) pomiędzy prognozowanymi wartościami deformacji, a wynikami pomiarów geodezyjnych [17, 41, 46, 47, 61, 63]. Rozbieżności te wynikają zasadniczo z następujących przyczyn:

- rozproszenie losowe procesu deformacji,
- nieadekwatność modelu górotworu przyjętego w danej teorii do modelu rzeczywistego.

Pierwsza przyczyna ujawnia się w postaci nieregularności obserwowanego przebiegu wskaźników deformacji, na co zwrócili uwagę W. Batkiewicz w pracy [3], G. Klein [22], a także E. Popiołek [46]. Jak wynika z badań terenowych i modelowych rozproszenie to ma charakter losowy, a jego wartość według badań E. Popiołka [46] wynosi przeciętnie $\pm$20% maksymalnych odkształceń poziomych rozciągających, $\pm$30% maksymalnych odkształceń poziomych ściskających i $\pm$15% maksymalnych przesunięć poziomych.

Druga przyczyna rozbieżności związana jest ze stosowaną w prognozowaniu teorią wpływów, a wynika z przyjęcia uproszczonego modelu górotworu. Rozbieżność tę określa się przez, tzw. błąd modelu, który przyjmuje się jako różnicę między maksymalną prognozowaną wartością danego wskaźnika deformacji, a maksymalną wartością przebiegu przeciętnego określonego na podstawie pomiarów. Według badań [45] błąd modelu ma charakter błędu systematycznego i w przypadku wzorów teorii W. Budryka - S. Knothego wynosi dla:

- nachyleń - $\Delta T = -13\% \, T_{max}$,
- krzywizn pionowych - $\Delta K = -34\% \, K_{max}$,
- przesunięć poziomych - $\Delta u = +32\% \, u_{max}$,
- odkształceń poziomych - $\Delta \varepsilon = +34\% \, \varepsilon_{max}$.

W przypadku wzorów teorii T. Kochmańskiego ci sami autorzy [44] podają dla:

- przesunięć poziomych - $\Delta u = -5{,}5\% \, u_{max}$,
- odkształceń poziomych - $\Delta \varepsilon = -36\% \, \varepsilon_{max}$.

Przeprowadzona w powyższy sposób ocena teorii jest zdaniem autora niepełna i charakteryzuje tylko w pewnym stopniu daną teorię. Dotyczy ona jedynie maksymalnych wartości wskaźników deformacji, nie wnikając w ich przebieg oraz rozkład w całym zakresie zasięgu wpływów eksploatacji.

Z badań własnych [61, 66] wynika, że dla poznania procesu deformacji powierzchni terenu, zasadniczy wpływ ma zarówno szczegółowe rozeznanie rozbieżności dotyczących wartości maksymalnych wskaźników deformacji, jak również ich przebiegu względem krawędzi eksploatacji. Po takim szczegółowym rozeznaniu można dokonać bardziej kompleksowej oceny danej teorii oraz wysunąć wnioski odnośnie możliwości zwiększenia dokładności prognozowania wpływów eksploatacji górniczej.

Prace badawcze mające na celu podniesienie dokładności prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu obejmują w zasadzie dwa kierunki badań:

- doskonalenie istniejących teorii poprzez zwiększenie dokładności przyjmowanych do obliczeń parametrów teorii. Zachodzi tu potrzeba ustalenia czynników, od których te parametry zależą, jak również ustalenia przebiegu ich zmienności w górotworze w zależności od tych czynników. Stosuje się przy tym pewne zabiegi - jak cofnięcie frontu w kierunku wybranej przestrzeni (tzw. obrzeże), uzmiennienie parametrów w płaszczyźnie poziomej, itp.,
- opracowanie nowych metod prognozowania wpływów eksploatacji górniczej opartych na wynikach analiz pomiarów geodezyjnych uwzględniających przede wszystkim nieliniowy (asymetryczny) charakter wpływów.

Zasadnicze prace prowadzone są dotychczas w kierunku pierwszym. Nie zrywa on z dotychczasowymi teoriami i stanowi kontynuację badań wielu autorów i ośrodków. Dotychczas opracowano szereg wzorów i hipotez, które uzależniają wielkość parametrów teorii całkowych od jednego lub więcej czynników takich jak: głębokość eksploatacji, miąższość nadkładu warstw luźnych, grubość eksploatowanego pokładu, budowa górotworu, wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie poszczególnych warstw, itp. Nie wszystkie z opracowanych wzorów i hipotez znalazły potwierdzenie w praktyce.

Jednym z ostatnich opracowań, w którym problem ten ujęto kompleksowo, jest opracowanie [60]. Celem tego opracowania mającego formę wytycznych było ujednolicenie zasad obliczania prognozowanych deformacji górotworu i powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji górniczej m.in. poprzez opracowanie wzorów empirycznych na poszczególne parametry teorii całkowych. Prowadzone ostatnio badania [61, 66] wykazują, że nawet najdokładniej przyjęte (wyznaczone) parametry teorii nie usuwają niektórych systematycznych rozbieżności pomiędzy prognozowanymi a mierzonymi wartościami wskaźników deformacji.

Wynika stąd wniosek, że doskonaląc wzory na parametry teorii można uzyskać ograniczony stopień dokładności danej teorii geometryczno-całkowej, którego się nie da dalej zwiększyć. Rodzi to określone problemy, jak np.: problem sumowania deformacji w długich okresach. Zagadnienie to ma poważne znaczenie przy prowadzeniu eksploatacji zwłaszcza w dużych filarach ochron-



nych takich jak: Katowice, Bytom, Jastrzębie i inne, gdzie od wielu lat prowadzi się eksploatację i gdzie dotychczasowe deformacje osiągnęły już prawie górny limit dopuszczalnych wartości, jak również w perspektywicznym długookresowym prognozowaniu wpływów eksploatacji górniczej. Zagadnienia tego nie rozwiąże się bez wyraźnego zwiększenia dokładności prognozowania wpływów dla pojedynczego pokładu. Jeśli teoria nie będzie wykazywać systematycznych odstępstw i rozbieżności dla pojedynczego pokładu, to należy oczekiwać, że zostanie również rozwiązany problem sumowania deformacji w długich okresach czasu.

Możliwości znacznego zwiększenia dokładności prognozowanych wskaźników deformacji daje drugi kierunek badań. Ze szczegółowych analiz pomiarów geodezyjnych wynika, że niektóre założenia teorii całkowych, jak zasada superpozycji liniowej, czy założenie o proporcjonalności nachyleń do przemieszczeń poziomych nie znajdują potwierdzenia w praktyce. Podobne zastrzeżenia wynikają również z badań modelowych [48, 49]. Powstająca niecka w ośrodku sypkim nie da się precyzyjnie opisać przy konsekwentnym stosowaniu zasady superpozycji liniowej. Nieliniowy charakter wpływów eksploatacji potwierdzają prace B. Dżegniuka [12], K. Grenia [14, 16] i S. Szpetkowskiego [54]. Dotychczasowe prace ograniczały się w zasadzie jedynie do opisu osiadań. B. Dżegniuk [12] dla opisu niecki osiadania wprowadził funkcją delinearyzującą w postaci operatora

$$F(\varphi) = 1 - k \sin^q \varphi \tag{2.1}$$

gdzie:

k, q - parametry.

K. Greń [14] przedstawił wzór na osiadanie w postaci

$$w(x) = a g\left[\varphi + A_1 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + A_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}\right] \tag{2.2}$$

gdzie:

$\varphi$ - funkcja osiadania stosowana w liniowych teoriach wpływów,

$A_1$, $A_2$ - współczynniki ujmujące stopień asymetrii wpływów.

S. Szpetkowski [57] proponuje wprowadzenie, do wzorów na obliczanie osiadań punktów na zewnątrz granicy pola eksploatacyjnego, funkcji zruszenia górotworu - $\eta$ w postaci:

$$\eta_{śr} = 8{,}5 \left(7{,}5 - \frac{x}{\sqrt{H}}\right)^{-1} \tag{2.3}$$

Według [57] nad eksploatacją występuje pełne zruszenie górotworu, natomiast w rejonie krawędzi obserwuje się bardzo szybkie zmniejszanie stopnia zruszenia górotworu, a następnie bardzo powolne, które przypuszczalnie praktycznie znika.

W niniejszej pracy podjęto próbę opisu przemieszczeń pionowych i poziomych powierzchni terenu przy założeniu nieliniowego charakteru zjawiska. Formułując wstępnie ogólnie problem, proponowane rozwiązanie ma na celu znaczne podniesienie dokładności opisu zjawiska deformacji powierzchni terenu, co nie było już możliwe przy liniowym opisie. Rozwiązanie to, poprzez delinearyzację funkcji osiadania oraz niezależny oryginalny opis przemieszczeń poziomych, pozwoli na znaczne zwiększenie dokładności prognozy nachyleń, krzywizn i odkształceń poziomych. Rozważania te zostały porównane z wynikami pomiarów geodezyjnych, z których zdaniem autora uzyskano bardzo zachęcające wyniki.

## 3. TEZA, CEL I ZAKRES PRACY

Na podstawie oceny teorii geometryczno-całkowych, szczegółowej analizy wyników pomiarów geodezyjnych i badań modelowych oraz rozważań teoretycznych, można sformułować następującą tezę:

Istnieje możliwość znacznie dokładniejszego opisu deformacji powierzchni terenu, dla pokładów poziomych i mało nachylonych, z wyeliminowaniem systematycznych rozbieżności obecnie stosowanych teorii geometryczno-całkowych z wynikami pomiarów geodezyjnych.

Powyższą tezę można zrealizować przez:

1. Zastosowanie do opisu przemieszczeń pionowych (obniżeń) zamiast dotychczas stosowanej funkcji obniżeń $f(x,.)$ pewnej nieliniowej funkcji $F[f(x,.)]$.

   Nieliniowość tej funkcji prowadzi do desymetryzacji niecki obniżeniowej względem jej punktu przegięcia. Punkt ten dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny, znajduje się nie nad krawędzią eksploatacji, ale w pewnej odległości od niej, nad wybraną przestrzenią. Osiadanie punktu wyrażone jest wzorem:

$$w(x,.) = -a\,g\,F[f(x,.)] \tag{3.1}$$

   gdzie:

   a - współczynnik osiadania,

   g - grubość pokładu.

2. Zastosowanie do opisu przemieszczeń poziomych, zamiast związku S.G. Awierszyna, zakładającego liniową zależność pomiędzy przemieszczeniami poziomymi a pochodną obniżeń, zmodyfikowanego związku w postaci:

$$u = a\,g\,B_o\,\frac{\partial Q[q(x,.)]}{\partial x} \tag{3.2}$$

$$v = -a\,g\,B_o\,\frac{\partial Q[q(x,.)]}{\partial y} \tag{3.3}$$

   gdzie:

   $B_o$ - współczynnik,

   $q(x,.)$ - funkcja wprowadzona w miejsce funkcji obniżeń $f(x,.)$,

   $Q[q(x,.)]$ - nieliniowa funkcja określona przy pomocy całki z funkcji przemieszczeń poziomych.

3. Pozostałe wskaźniki deformacji uzyskuje się na drodze matematycznych przekształceń wzorów (3.1), (3.2) i (3.3).
4. Z przyjęcia powyższych założeń wynika odmienny od dotychczas stosowanego (zasada superpozycji liniowej) sposób sumowania poszczególnych wskaźników deformacji w danym pokładzie. Jest on następstwem przyjęcia nieliniowych funkcji $F[f(x,.)]$ i $Q[q(x,.)]$.

Celem pracy było znalezienie takich funkcji przemieszczeń pionowych i poziomych, które eliminowałyby systematyczne rozbieżności i niekonsekwencje dotychczas stosowanych teorii geometryczno-całkowych, a mianowicie:

- pozwalały na uzyskanie niecki asymetrycznej względem punktu jej przegięcia,
- eliminowały konieczność stosowania tzw. obrzeża, a więc pomniejszania, a w pewnych przypadkach powiększania faktycznie wybranej powierzchni, czyli sprowadzały zagadnienie do całkowania po faktycznie wybranej powierzchni pokładu,
- zastąpienie związku S.G. Awierszyna niespełnionego w praktyce związkiem niezależnym od opisu przemieszczeń pionowych (obniżeń),
- pozwalały zachować stałość parametrów teorii w całym obszarze całkowania.

Zakres pracy obejmuje ocenę dotychczas stosowanych teorii geometryczno-całkowych w świetle wyników obserwacji geodezyjnych, ustalenie systematycznych rozbieżności tych teorii z wynikami pomiarów geodezyjnych oraz opracowanie nowych wzorów na poszczególne wskaźniki deformacji, uwzględniających asymetryczny rozkład tych wskaźników względem krawędzi eksploatacji. W pracy przedstawiono również porównanie wyników teoretycznych obliczeń uzyskanych w oparciu o opracowane nowe wzory z wynikami pomiarów geodezyjnych oraz zasady sumowania wpływów od $n$ parcel eksploatacyjnych w tym samym pokładzie wraz z podaniem praktycznych przykładów sumowania wpływów od dwóch parcel. Końcową część pracy stanowi podsumowanie braz wnioski.

## 4. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TEORII GEOMETRYCZNO-CAŁKOWYCH

W teoriach geometryczno-całkowych przyjmuje się [26 , 43], że wyeksploatowanie elementu powierzchni $dP$ poziomo zalegającego pokładu powoduje w punkcie A, na interesującym nas horyzoncie nad stropem pokładu, elementarne obniżenie określone wzorem:

$$dw_A = a\, g\, f(s)\, dP \tag{4.1}$$

gdzie:

- $a$ - współczynnik eksploatacji zależny od sposobu kierowania stropem,
- $g$ - grubość eksploatowanego pokładu,
- $f(s)$ - funkcja wpływów typu dzwonowego, osiowo symetryczna, której parametry ujmują własności geomechaniczne skał oraz głębokość zalegania pokładu (odległość rozpatrywanego horyzontu od pokładu),
- $dP$ - wyeksploatowana powierzchnia pokładu,
- $s$ - odległość pozioma punktu A od elementu eksploatacji $dP$.

Dalej przyjmuje się, że wyeksploatowanie pokładu na skończonym obszarze $P$ spowoduje osiadanie $w_A$, które będzie sumą osiadań elementarnych pochodzących od wszystkich elementów tego obszaru (zasada superpozycji), co w przypadku stałości wartości iloczynu $ag = const$ może być wyrażone zależnością:

$$w_A = a\, g \iint_P f(s)\, dP \tag{4.2}$$

Tak więc obliczanie osiadania punktów polega tutaj na wyliczaniu całki z funkcji wpływów po "eksploatowanym obszarze" i wymnożeniu jej przez odpowiednie stałe. Pozostałe wskaźniki deformacji jak: nachylenie, krzywizny, przemieszczenia poziome oraz odkształcenia pionowe i poziome otrzymuje się przeważnie poprzez wykonanie operacji matematycznych na funkcji osiadania. Poszczególne teorie różnią się na ogół między sobą przyjętym opisem funkcji wpływów (ilością przyjmowanych parametrów) oraz założeniami w odniesieniu do sposobu określania (obliczania) pozostałych wskaźników deformacji.

Bez względu na sposób określania funkcji wpływów teorie całkowe posiadają pewne wspólne własności ujawniające się w rozkładzie obniżeń. Przyjęcie ww. postulatów powoduje oczywiście pewne konsekwencje w krzywej aproksymującej nieckę obniżeniową, z których najbardziej dostrzegalne są:

- przy eksploatacji o kształcie nieskończonej półpłaszczyzny wartość osiadania nad jej krawędzią wynosi połowę osiadania maksymalnego,
- dla eksploatacji o kształcie nieskończonej półpłaszczyzny zachodzi symetria krzywej względem punktu przegięcia.

Występują też pewne indywidualne różnice dwóch najczęściej stosowanych teorii całkowych W. Budryka - S. Knothego i T. Kochmańskiego.

Dodatkowym założeniem teorii W. Budryka - S. Knothego [6, 23] jest założenie S.G. Awierszyna o proporcjonalności przemieszczeń poziomych do nachyleń. Dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny związek ten wyrażony jest wzorem:

$$u(x) = -B \frac{\partial w(x)}{\partial x} \tag{4.3}$$

gdzie:

$u(x)$ - przemieszczenie poziome,
$w(x)$ - obniżenie,
$B$ - współczynnik proporcjonalności.

Z wzoru (4.3) wynika, że całka z przemieszczeń poziomych powinna liniowo zależeć od osiadań. Związek ten można zweryfikować w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych obliczając całkę z pomierzonych przemieszczeń poziomych.

Założenie (4.3) pociąga za sobą proporcjonalność odkształceń poziomych do krzywizn pionowych:

$$\varepsilon(x) = \frac{\partial u}{\partial x} = -B \frac{\partial^2 w(x)}{\partial x^2} \tag{4.4}$$

Konsekwencją tego założenia jest również to, że maksymalne krzywizny i maksymalne odkształcenia poziome w teorii W. Budryka - S. Knothego występują w tej samej odległości od krawędzi eksploatacji.

W teorii T. Kochmańskiego [26] wzór na przemieszczenia poziome wyprowadzony został przy innym założeniu.

Przemieszczenie poziome punktu A w poziomej odległości $r$ od elementu eksploatacji o powierzchni $dP$ dane jest równaniem:

$$du_r(z)\Big|_l = -\frac{a\,g}{2\,r\pi} \frac{\partial \varphi(r,z)}{\partial z}\, dP \tag{4.5}$$

gdzie:

$\varphi(r,z)$ - funkcja osiadania,
$z$ - odległość od stropu eksploatowanego pokładu.

Równanie to zostało wyprowadzone przy założeniu, że objętość niecki osiadania jaka powstanie na zewnątrz koła o promieniu r przejdzie przez pobocznicę walca pionowego o promieniu r. Wzór na przemieszczenie poziome pod wpływem eksploatacji w kształcie wycinka pierścienia kołowego o promieniach $r_1$ i $r_2$ i kącie środkowym $\alpha$ w kierunku symetralnej tego wycinka ma postać:



$$u(z) = -a\,g\,\sin\frac{\alpha}{2}\, r_o \frac{db}{dz}\left[\Phi(\rho_2, b) - \Phi(\rho_1, b)\right] \tag{4.6}$$

gdzie:

$b$, $r_o$ - parametry teorii,
$\rho_1$, $\rho_2$ - bezwymiarowe wartości promieni wycinka,
$\Phi(\rho, b)$ - funkcja przesunięć poziomych.

Założenie to nie wiąże tak ściśle, jak w innych teoriach ruchów pionowych z poziomymi, a więc nachyleń z przemieszczeniami poziomymi i krzywizn z odkształceniami poziomymi.

## 5. ZAKRES I SPOSÓB ANALIZY ORAZ WYNIKI POMIARÓW GEODEZYJNYCH

Dla stwierdzenia występujących w terenie deformacji, spowodowanych wpływem eksploatacji górniczej, prowadzi się odpowiednio zaprojektowane pomiary geodezyjne. Zakres dokładności i czasokres wykonywania tych pomiarów bywają różne w zależności od potrzeb i celów jakim te pomiary mają służyć.

W celu dokonania analizy wyników pomiarów geodezyjnych i porównania ich z wynikami teoretycznymi powinny być one odpowiednio przygotowane. Analiza wyników pomiarów geodezyjnych może być ogólna lub szczegółowa, ograniczona lub kompleksowa, w zależności od posiadanego materiału obserwacyjnego oraz celu analizy.

Chociaż każda nawet ogólna analiza daje pewne informacje, to jednak nie wszystkie mogą być one wykorzystywane dla celów weryfikacji teorii.

Dla przedmiotowych rozważań prawidłowo przeprowadzona analiza wyników pomiarów geodezyjnych powinna obejmować:

- wybór linii obserwacyjnej oraz analizę metodyki wykonywanych pomiarów geodezyjnych,
- charakterystykę warunków geologiczno-górniczych rozpatrywanego rejonu,
- opis dokonanej eksploatacji górniczej,
- wybór czasokresów obserwacji dla wyznaczenia parametrów teorii,
- wyznaczenie parametrów teorii,
- obliczenie wszystkich wskaźników deformacji w oparciu o wzory teoretyczne przy wyznaczonych parametrach,
- porównanie teoretycznie obliczonych wartości wskaźników deformacji z wynikami pomiarów geodezyjnych. Porównanie to powinno obejmować nie tylko wartości maksymalne, miejsca ich występowania ale przebieg poszczególnych wskaźników deformacji w całym zakresie zasięgu wpływów,
- ustalenie wzajemnych związków pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami deformacji otrzymanymi z pomiarów geodezyjnych i porównanie ich z teoretycznymi związkami,
- ustalenie na podstawie analizy wielu linii obserwacyjnych systematycznych rozbieżności pomiędzy pomierzonymi i obliczonymi teoretycznie wskaźnikami deformacji.

Do analizy wyników pomiarów geodezyjnych wykorzystywano mikrokomputer. W tym celu opracowano specjalne programy służące do wykorzystania pomiarów z pojedynczych linii obserwacyjnych, jak również program służący do równoczesnego wykorzystania wyników pomiarów geodezyjnych z wielu linii [65]. Ten ostatni program składa się z trzech podprogramów.



Podprogram 1 służy do obliczania pięciu podstawowych wskaźników deformacji na podstawie pomierzonych osiadań i przemieszczeń poziomych punktów linii obserwacyjnej. Oprócz tego obliczana jest całka z przemieszczeń poziomych $-G_{rz}$. Na wejściu wprowadza się następujące dane:

- numery punktów pomiarowych,
- odległość pomiędzy punktami pomiarowymi,
- osiadania punktów,
- przemieszczenia poziome punktów.

Program oblicza pozostałe wskaźniki deformacji jak również całkę z przemieszczeń poziomych.

Tablica 5.1

Pomierzone wskaźniki deformacji
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 3 ściana 1

| Lp | pkt | L [m] | SGN L [m] | wrz [mm] | Trz [mm/m] | Krz [1/km] | urz [mm] | Erz [mm/m] | $10^3$ Grz [m*m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 74 | 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 0.0 |
| 2 | 73 | 5.472 | 5.47 | 0.0 | 0.00 | -.038 | -2.00 | 0.37 | 5.5 |
| 3 | 72 | 5.003 | 10.48 | -1.0 | 0.20 | -.001 | -5.00 | 0.60 | 23.0 |
| 4 | 71 | 4.924 | 15.40 | -2.0 | 0.20 | .007 | -7.00 | 0.41 | 52.5 |
| 5 | 70 | 5.996 | 21.40 | -3.0 | 0.17 | .083 | -10.00 | 0.50 | 103.5 |
| 6 | 69 | 4.032 | 25.43 | -2.0 | -0.25 | -.100 | -14.00 | 0.99 | 151.9 |
| 7 | 68 | 4.984 | 30.41 | -3.0 | 0.20 | -.040 | -16.00 | 0.40 | 226.6 |
| 8 | 67 | 4.998 | 35.41 | -5.0 | 0.40 | .000 | -21.00 | 1.00 | 319.1 |
| 9 | 66 | 5.011 | 40.42 | -7.0 | 0.40 | -.001 | -26.00 | 1.00 | 436.9 |
| 10 | 65 | 4.962 | 45.38 | -9.0 | 0.40 | -0.238 | -33.00 | 1.41 | 583.2 |
| 11 | 64 | 5.025 | 50.41 | -17.0 | 1.59 | 0.157 | -44.00 | 2.19 | 776.7 |
| 12 | 63 | 4.965 | 55.37 | -21.0 | 0.81 | -0.283 | -53.00 | 1.81 | 1017.5 |
| 13 | 62 | 4.970 | 60.34 | -32.0 | 2.21 | -0.120 | -70.00 | 3.42 | 1323.2 |
| 14 | 61 | 4.980 | 65.32 | -46.0 | 2.81 | -0.886 | -92.00 | 4.42 | 1726.5 |
| 15 | 60 | 3.982 | 69.30 | -73.0 | 6.78 | -0.786 | -113.00 | 5.27 | 2134.7 |
| 16 | 59 | 5.984 | 75.29 | -137.0 | 10.70 | -1.233 | -174.00 | 10.19 | 2993.4 |
| 17 | 58 | 4.935 | 80.22 | -223.0 | 17.43 | -0.827 | -233.00 | 11.96 | 3997.7 |
| 18 | 57 | 4.887 | 85.11 | -328.0 | 21.49 | -3.108 | -300.00 | 13.71 | 5300.1 |
| 19 | 56 | 5.106 | 90.22 | -517.0 | 37.02 | 0.539 | -340.00 | 7.83 | 6934.0 |
| 20 | 55 | 4.986 | 95.20 | -688.0 | 34.30 | -0.364 | -350.00 | 2.01 | 8654.1 |
| 21 | 54 | 5.012 | 100.21 | -869.0 | 36.11 | 1.054 | -328.00 | -4.39 | 10353.2 |
| 22 | 53 | 5.029 | 105.24 | -1024.0 | 30.82 | 2.238 | -260.00 | -13.52 | 11831.7 |
| 23 | 52 | 5.000 | 110.24 | -1122.0 | 19.60 | 1.965 | -207.00 | -10.60 | 12999.2 |
| 24 | 51 | 5.025 | 115.27 | -1171.0 | 9.75 | 0.712 | -161.00 | -9.15 | 13923.8 |
| 25 | 50 | 5.020 | 120.29 | -1202.0 | 6.18 | 0.873 | -117.00 | -8.76 | 14621.6 |
| 26 | 49 | 4.999 | 125.29 | -1211.0 | 1.80 | 0.441 | -74.00 | -8.60 | 15099.0 |
| 27 | 48 | 4.992 | 130.28 | -1209.0 | -0.40 | .000 | -36.00 | -7.61 | 15373.6 |
| 28 | 47 | 4.986 | 135.27 | -1207.0 | -0.40 | 0.275 | -28.00 | -1.60 | 15533.1 |
| 29 | 46 | 5.051 | 140.32 | -1198.0 | -1.78 | 0.000 | -19.00 | -1.78 | 15651.8 |

Przykład takiego wydruku pomierzonych wskaźników deformacji przedstawiono w tablicy 5.1. W tablicy tej w poszczególnych kolumnach mamy:

lp. - numer kolejny punktu,
pkt. - numer punktu pomiarowego,
L - odległość pomiędzy punktami pomiarowymi,
SGNL - suma odległości pomiędzy punktami pomiarowymi,

$w_{rz}$ - osiadanie,
$T_{rz}$ - nachylenie,
$K_{rz}$ - krzywizna pionowa,
$u_{rz}$ - przemieszczenie poziome,
$E_{rz}$ - odkształcenie poziome,
$G_{rz}$ - całkę z przemieszczeń poziomych.

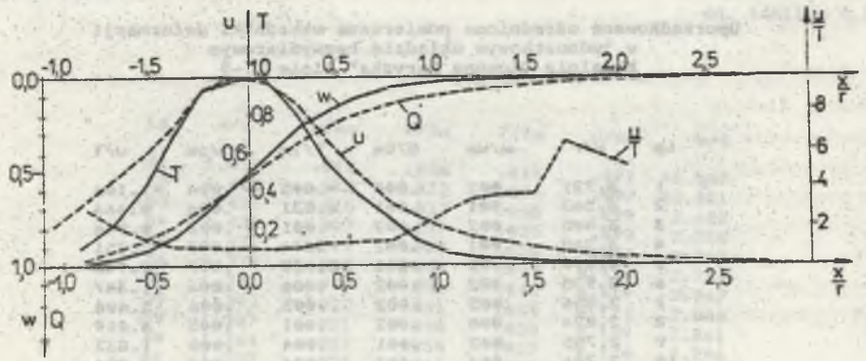
Podprogram 2 służy do obliczenia tych samych wskaźników deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym. W tym celu wprowadza się do pamięci mikrokomputera maksymalne wartości poszczególnych wskaźników deformacji. Z maksymalnych osiadań i nachyleń obliczony jest promień rozproszenia wpływów głównych r teorii S. Knothego. Za początek układu bezwymiarowego x/r przyjmuje się punkt, w którym osiadanie wynosi 0,5 $w_{max}$. Wartości pomierzonych wskaźników deformacji w każdym punkcie dzielone są przez maksymalną wartość danego wskaźnika deformacji, np.: $w/w_m$ w wyniku czego uzyskuje się poszczególne wskaźniki deformacji w układzie jednostkowym. Do dalszych rozważań przyjęto oznaczenie $Q = G/G_m$. Program ten oblicza dodatkowo stosunek jednostkowych przemieszczeń poziomych do nachyleń - u/T. Przykład wydruku podprogramu 2 przedstawiono w tablicy 5.2. Na podstawie tablicy 5.2 sporządzono wykresy, które przedstawiono na rys. 5.1.

Tablica 5.2

Pomierzone wskaźniki deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 3 ściana 1

| Lp | x/r | w/wm | G/Gm | T/Tm | U/Um | u/T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.794 | 0.000 | .000 | .003 | .006 | 2.039 |
| 2 | 2.634 | .001 | .002 | .006 | .014 | 2.528 |
| 3 | 2.477 | .002 | .003 | .005 | .020 | 3.857 |
| 4 | 2.285 | .002 | .007 | -.001 | .029 | -25.083 |
| 5 | 2.157 | .002 | .010 | -.001 | .040 | -60.219 |
| 6 | 1.997 | .002 | .015 | .008 | .046 | 5.427 |
| 7 | 1.838 | .004 | .021 | .011 | .060 | 5.354 |
| 8 | 1.678 | .006 | .029 | .011 | .074 | 6.605 |
| 9 | 1.519 | .007 | .038 | .028 | .094 | 3.370 |
| 10 | 1.358 | .014 | .051 | .034 | 0.126 | 3.739 |
| 11 | 1.200 | .017 | .067 | .042 | 0.151 | 3.577 |
| 12 | 1.041 | .026 | .087 | .070 | 0.200 | 2.839 |
| 13 | 0.882 | .038 | 0.114 | 0.134 | 0.263 | 1.954 |
| 14 | 0.755 | .060 | 0.141 | 0.245 | 0.323 | 1.318 |
| 15 | 0.564 | 0.112 | 0.198 | 0.394 | 0.497 | 1.261 |
| 16 | 0.406 | 0.183 | 0.264 | 0.546 | 0.666 | 1.220 |
| 17 | 0.250 | 0.269 | 0.350 | 0.820 | 0.857 | 1.045 |
| 18 | .087 | 0.424 | 0.458 | 1.000 | 0.971 | 0.972 |
| 19 | -.073 | 0.564 | 0.571 | 0.987 | 1.006 | 1.013 |
| 20 | -0.233 | 0.712 | 0.683 | 0.939 | 0.937 | 0.999 |
| 21 | -0.393 | 0.839 | 0.781 | 0.707 | 0.743 | 1.051 |
| 22 | -0.553 | 0.920 | 0.858 | 0.412 | 0.591 | 1.437 |
| 23 | -0.714 | 0.960 | 0.919 | 0.223 | 0.460 | 2.066 |
| 24 | -0.874 | 0.985 | 0.965 | 0.112 | 0.334 | 2.989 |
| 25 | -1.034 | 0.993 | 0.997 | .020 | 0.211 | 10.773 |
| 26 | -1.193 | 0.991 | 1.015 | -.011 | 0.103 | -9.150 |
| 27 | -1.353 | 0.989 | 1.025 | -.031 | .080 | -2.614 |






Rys. 5.1. Rozkład pomierzonych wskaźników deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym

w - osiadanie, T - nachylenie, u - przemieszczenie poziome, Q - całka z przemieszczeń poziomych

Fig. 5.1. Distribution of the measured deformation indices in the dimensionless unitary system

w - subsidence, T - inclination, u - horizontal displacement, Q - integral from the horizontal displacements

Podprogram 3 służy do wykorzystania i usystematyzowania wyników pomiarów z wielu linii obserwacyjnych. Program szereguje wyniki obliczeń wskaźników deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym, z przyjętych do analizy linii obserwacyjnych według współrzędnej bezwymiarowej x/r. Następnie obliczane są uporządkowane uśrednione (średnie arytmetyczne z dwóch sąsiednich wartości) wartości poszczególnych wskaźników deformacji.
Przykład wydruku uśrednionych jednostkowych wskaźników deformacji w bezwymiarowym układzie współrzędnych z pięciu linii obserwacyjnych z terenu kopalni Komuna Paryska przedstawiono w tablicy 5.3.
Zasadniczymi czynnikami, które zadecydowały o wyborze tych linii tytułem przykładu w niniejszej pracy były:

- duża dokładność wykonywanych pomiarów geodezyjnych,
- duża częstotliwość wykonywanych pomiarów (średnio co dwa tygodnie),
- mała odległość między punktami pomiarowymi (średnio co 5 m),
- duże wartości wskaźników deformacji w stosunku do uzyskanej dokładności,
- linie usytuowane prostopadle do krawędzi eksploatacji,
- przy małej głębokości zalegania pokładu, dokonane eksploatacje można było traktować jako, tzw. nieskończone półpłaszczyzny.

Przedmiotem analizy w każdym przypadku było skrzydło niecki osiadania od strony calizny.

Tablica 5.3

Uporządkowane uśrednione pomierzone wskaźniki deformacji
w jednostkowym układzie bezwymiarowym
Kopalnia "Komuna Paryska" linie 1-5

| Lp | x/r | w/wm | θ/θm | T/Tm | υ/υm | υ/T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.721 | .002 | .000 | -.005 | .004 | -1.106 |
| 2 | 3.563 | .001 | .001 | 6.531 | .006 | 0.466 |
| 3 | 3.405 | .002 | .002 | -.001 | .006 | 0.944 |
| 4 | 3.248 | .001 | .002 | -.004 | .007 | -2.351 |
| 5 | 3.090 | .000 | .003 | 2.028 | .007 | -0.942 |
| 6 | 2.935 | .002 | .002 | .006 | .006 | 1.347 |
| 7 | 2.856 | .002 | .002 | .005 | .006 | 5.408 |
| 8 | 2.824 | .000 | .002 | .001 | .005 | 6.019 |
| 9 | 2.755 | .002 | .001 | .004 | .008 | 1.833 |
| 10 | 2.706 | .003 | .003 | .004 | .008 | 2.226 |
| 11 | 2.666 | .001 | .003 | .004 | .011 | 2.677 |
| 12 | 2.608 | .000 | .001 | .003 | .010 | 6.264 |
| 13 | 2.577 | .002 | .001 | .001 | .009 | 7.043 |
| 14 | 2.555 | .003 | .004 | .003 | .011 | 3.927 |
| 15 | 2.537 | -.000 | .003 | .003 | .006 | 2.221 |
| 16 | 2.506 | -.000 | .002 | .004 | .011 | 2.266 |
| 17 | 2.470 | .001 | .002 | .004 | .012 | 2.605 |
| 18 | 2.445 | .003 | .002 | .005 | .012 | 2.321 |
| 19 | 2.415 | .002 | .002 | .003 | .012 | 9.611 |
| 20 | 2.392 | .000 | .004 | .005 | .012 | 8.907 |
| 21 | 2.368 | .001 | .004 | .010 | .015 | 1.574 |
| 22 | 2.320 | .002 | .004 | .004 | .020 | -11.908 |
| 23 | 2.284 | .004 | .007 | .002 | .025 | -10.687 |
| 24 | 2.271 | .002 | .004 | .005 | .011 | 1.854 |
| 25 | 2.241 | .000 | .002 | .007 | .008 | 0.918 |
| 26 | 2.224 | .004 | .006 | .011 | .021 | 1.953 |
| 27 | 2.190 | .003 | .010 | .006 | .033 | -29.075 |
| 28 | 2.148 | .004 | .010 | .001 | .037 | -24.355 |
| 29 | 2.137 | .004 | .005 | .007 | .024 | 6.437 |
| 30 | 2.120 | .002 | .003 | .010 | .019 | 1.929 |
| 31 | 2.086 | .004 | .009 | .010 | .029 | 2.882 |
| 32 | 2.032 | .004 | .014 | .009 | .039 | 4.350 |
| 33 | 1.997 | .005 | .014 | .008 | .041 | 4.940 |
| 34 | 1.991 | .006 | .010 | .014 | .034 | 3.03[illegible] |
| 35 | 1.979 | .003 | .005 | .016 | .027 | 1.692 |
| 36 | 1.941 | .004 | .011 | .014 | .035 | 2.453 |
| 37 | 1.888 | .008 | .014 | .019 | .041 | 2.312 |
| 38 | 1.853 | .006 | .009 | .016 | .044 | 3.452 |
| 39 | 1.839 | .004 | .014 | .011 | .058 | 5.385 |
| 40 | 1.813 | .007 | .020 | .020 | .057 | 3.636 |
| 41 | 1.769 | .010 | .022 | .020 | .059 | 3.508 |
| 42 | 1.749 | .010 | .019 | .017 | .054 | 3.514 |
| 43 | 1.726 | .007 | .014 | .020 | .056 | 3.003 |
| 44 | 1.703 | .009 | .018 | .040 | .070 | 2.605 |
| 45 | 1.690 | .010 | .026 | .037 | .073 | 3.871 |
| 46 | 1.645 | .013 | .028 | .018 | .076 | 4.862 |
| 47 | 1.603 | .016 | .030 | .023 | .077 | 3.447 |
| 48 | 1.582 | .010 | .027 | .027 | .082 | 3.178 |
| 49 | 1.553 | .012 | .023 | .030 | .083 | 2.787 |
| 50 | 1.528 | .011 | .031 | .027 | .087 | 3.182 |



cd. tablicy 5.3

| Lp | x/r | w/wm | θ/θm | T/Tm | υ/υm | υ/T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 51 | 1.516 | .013 | .036 | .014 | .091 | 48.587 |
| 52 | 1.475 | .015 | .032 | .024 | .097 | 48.031 |
| 53 | 1.436 | .015 | .037 | .038 | .099 | 2.678 |
| 54 | 1.430 | .017 | .037 | .035 | .093 | 2.735 |
| 55 | 1.411 | .020 | .037 | .050 | .099 | 2.063 |
| 56 | 1.378 | .018 | .046 | .047 | 0.116 | 2.746 |
| 57 | 1.332 | .019 | .046 | .042 | 0.119 | 2.967 |
| 58 | 1.303 | .022 | .041 | .059 | 0.117 | 2.008 |
| 59 | 1.287 | .021 | .048 | .055 | 0.119 | 2.261 |
| 60 | 1.264 | .027 | .054 | .057 | 0.126 | 2.296 |
| 61 | 1.227 | .025 | .061 | .057 | 0.143 | 2.734 |
| 62 | 1.193 | .024 | .060 | .049 | 0.150 | 3.144 |
| 63 | 1.176 | .030 | .054 | .071 | 0.151 | 2.236 |
| 64 | 1.142 | .030 | .063 | .078 | 0.156 | 2.051 |
| 65 | 1.114 | .036 | .070 | .092 | 0.159 | 1.858 |
| 66 | 1.088 | .039 | .069 | .093 | 0.171 | 1.978 |
| 67 | 1.054 | .032 | .078 | .071 | 0.191 | 2.710 |
| 68 | 1.036 | .035 | .080 | .084 | 0.195 | 2.399 |
| 69 | 0.998 | .054 | .081 | 0.142 | 0.213 | 1.606 |
| 70 | 0.961 | .054 | .091 | 0.154 | 0.228 | 1.546 |
| 71 | 0.953 | .045 | .090 | 0.113 | 0.218 | 1.938 |
| 72 | 0.922 | .052 | .090 | 0.122 | 0.228 | 1.890 |
| 73 | 0.889 | .047 | 0.104 | 0.136 | 0.252 | 1.848 |
| 74 | 0.855 | .050 | 0.111 | 0.147 | 0.261 | 1.790 |
| 75 | 0.823 | .077 | 0.114 | 0.217 | 0.294 | 1.412 |
| 76 | 0.868 | .080 | 0.121 | 0.230 | 0.321 | 1.446 |
| 77 | 0.782 | .074 | 0.122 | 0.184 | 0.302 | 1.640 |
| 78 | 0.759 | .070 | 0.130 | 0.214 | 0.307 | 1.453 |
| 79 | 0.731 | .072 | 0.139 | 0.245 | 0.328 | 1.339 |
| 80 | 0.701 | 0.109 | 0.144 | 0.237 | 0.385 | 1.633 |
| 81 | 0.667 | 0.117 | 0.160 | 0.264 | 0.437 | 1.684 |
| 82 | 0.633 | 0.103 | 0.161 | 0.280 | 0.422 | 1.509 |
| 83 | 0.608 | 0.124 | 0.170 | 0.238 | 0.452 | 1.933 |
| 84 | 0.588 | 0.132 | 0.179 | 0.282 | 0.462 | 1.768 |
| 85 | 0.576 | 0.116 | 0.185 | 0.371 | 0.462 | 1.243 |
| 86 | 0.550 | 0.124 | 0.191 | 0.372 | 0.500 | 1.348 |
| 87 | 0.508 | 0.149 | 0.207 | 0.416 | 0.552 | 1.341 |
| 88 | 0.474 | 0.165 | 0.224 | 0.451 | 0.583 | 1.298 |
| 89 | 0.452 | 0.178 | 0.231 | 0.464 | 0.577 | 1.252 |
| 90 | 0.422 | 0.186 | 0.254 | 0.527 | 0.627 | 1.188 |
| 91 | 0.402 | 0.184 | 0.253 | 0.500 | 0.656 | 1.320 |
| 92 | 0.373 | 0.203 | 0.259 | 0.501 | 0.672 | 1.349 |
| 93 | 0.334 | 0.237 | 0.293 | 0.610 | 0.722 | 1.192 |
| 94 | 0.294 | 0.255 | 0.309 | 0.683 | 0.763 | 1.116 |
| 95 | 0.258 | 0.263 | 0.330 | 0.756 | 0.818 | 1.082 |
| 96 | 0.237 | 0.284 | 0.351 | 0.782 | 0.872 | 1.120 |
| 97 | 0.178 | 0.334 | 0.374 | 0.833 | 0.916 | 1.108 |
| 98 | 0.118 | 0.388 | 0.411 | 0.871 | 0.952 | 1.097 |
| 99 | 0.105 | 0.402 | 0.433 | 0.865 | 0.971 | 1.125 |
| 100 | .096 | 0.411 | 0.448 | 0.956 | 0.977 | 1.[illegible] |

cd. tablicy 5.3

| Lp | x/r | u/um | G/Gm | T/Tm | v/vm | v/T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 101 | .044 | 0.461 | 0.483 | 0.946 | 0.970 | 1.029 |
| 102 | -.001 | 0.501 | 0.500 | 0.946 | 0.985 | 1.043 |
| 103 | -.010 | 0.510 | 0.511 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 104 | -.030 | 0.527 | 0.531 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 105 | -.058 | 0.551 | 0.550 | 0.994 | 1.000 | 1.006 |
| 106 | -.079 | 0.573 | 0.560 | 0.971 | 0.992 | 1.022 |
| 107 | -0.110 | 0.609 | 0.586 | 0.973 | 0.970 | 0.998 |
| 108 | -0.145 | 0.645 | 0.623 | 0.966 | 0.979 | 0.983 |
| 109 | -0.172 | 0.670 | 0.627 | 0.981 | 0.987 | 1.006 |
| 110 | -0.211 | 0.698 | 0.657 | 0.950 | 0.955 | 1.005 |
| 111 | -0.241 | 0.728 | 0.694 | 0.929 | 0.923 | 0.993 |
| 112 | -0.263 | 0.751 | 0.691 | 0.856 | 0.871 | 1.020 |
| 113 | -0.295 | 0.784 | 0.704 | 0.807 | 0.849 | 1.051 |
| 114 | -0.318 | 0.801 | 0.724 | 0.781 | 0.859 | 1.103 |
| 115 | -0.345 | 0.819 | 0.749 | 0.744 | 0.801 | 1.077 |
| 116 | -0.381 | 0.843 | 0.781 | 0.728 | 0.746 | 1.025 |
| 117 | -0.403 | 0.843 | 0.767 | 0.686 | 0.727 | 1.155 |
| 118 | -0.441 | 0.880 | 0.787 | 0.537 | 0.696 | 1.299 |
| 119 | -0.475 | 0.898 | 0.812 | 0.495 | 0.694 | 1.403 |
| 120 | -0.484 | 0.902 | 0.824 | 0.501 | 0.661 | 1.326 |
| 121 | -0.517 | 0.915 | 0.831 | 0.450 | 0.607 | 1.383 |
| 122 | -0.550 | 0.914 | 0.837 | 0.395 | 0.595 | 1.509 |
| 123 | -0.579 | 0.944 | 0.876 | 0.377 | 0.526 | 1.390 |
| 124 | -0.615 | 0.968 | 0.892 | 0.309 | 0.507 | 1.674 |
| 125 | -0.626 | 0.949 | 0.881 | 0.288 | 0.579 | 2.011 |
| 126 | -0.654 | 0.939 | 0.871 | 0.260 | 0.557 | 2.163 |
| 127 | -0.698 | 0.954 | 0.895 | 0.222 | 0.485 | 2.185 |
| 128 | -0.718 | 0.980 | 0.925 | 0.177 | 0.411 | 2.418 |
| 129 | -0.747 | 0.983 | 0.930 | 0.162 | 0.431 | 2.673 |
| 130 | -0.776 | 0.981 | 0.939 | 0.148 | 0.486 | 3.593 |
| 131 | -0.799 | 0.983 | 0.934 | 0.120 | 0.458 | 3.914 |
| 132 | -0.828 | 0.983 | 0.939 | .059 | 0.364 | -5.710 |
| 133 | -0.857 | 0.992 | 0.963 | .046 | 0.310 | -5.826 |
| 134 | -0.896 | 0.984 | 0.970 | .090 | 0.366 | 4.417 |
| 135 | -0.935 | 0.984 | 0.966 | .070 | 0.377 | 5.411 |
| 136 | -0.955 | 0.990 | 0.971 | .038 | 0.288 | 35.642 |
| 137 | -0.996 | 0.994 | 0.990 | .011 | 0.215 | 38.539 |
| 138 | -1.049 | 0.988 | 1.004 | .024 | 0.264 | 10.773 |
| 139 | -1.089 | 0.986 | 1.003 | .033 | 0.296 | 9.101 |
| 140 | -1.154 | 0.989 | 1.005 | .013 | 0.189 | -0.860 |
| 141 | -1.201 | 0.991 | 1.028 | .013 | 0.186 | -1.4[illegible] |
| 142 | -1.217 | 0.992 | 1.029 | .050 | 0.258 | 5.4[illegible] |
| 143 | -1.288 | 0.992 | 1.021 | .016 | 0.163 | 0.6[illegible] |
| 144 | -1.354 | 0.992 | 1.046 | .010 | 0.159 | 1.036 |
| 145 | -1.357 | 0.999 | 1.053 | .024 | 0.227 | -29.835 |
| 146 | -1.428 | 1.004 | 1.064 | .030 | 0.208 | -30.599 |



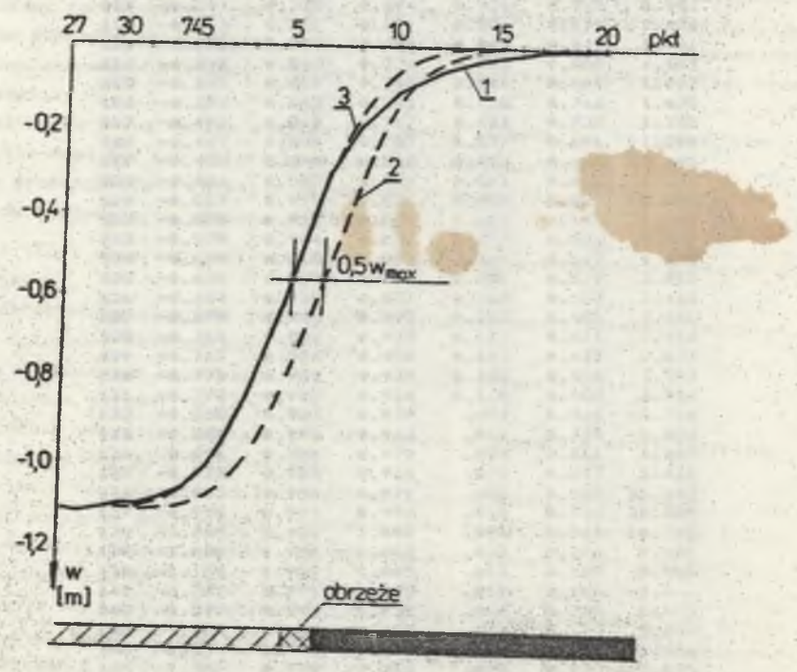
Na podstawie tablicy 5.3 w dalszej części pracy zostały sporządzone wykresy poszczególnych wskaźników deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym z pięciu linii obserwacyjnych.

Dla potrzeb niniejszej pracy dokonano analizy kilkunastu linii obserwacyjnych z następujących kopalń: Komuna Paryska, Dębieńsko, Borynia, Chwałowice, Mysłowice, Pokój i Miechowice. Linie te obejmują eksploatację prowadzoną na różnych głębokościach oraz w różnych warunkach geologiczno-górniczych. Głębokość eksploatacji wynosiła od ok. 65 m do 850 m. Ze względu na bardzo obszerny materiał dokumentacyjny nie jest możliwym przytoczenie w pracy wyników z wszystkich analizowanych linii.

W dalszej części pracy, jak również przy sformułowaniu wniosków, wykorzystane będą wyniki analiz ze wszystkich rozpatrywanych linii obserwacyjnych.

## 6. TEORIE GEOMETRYCZNO-CAŁKOWE W ŚWIETLE WYNIKÓW POMIARÓW GEODEZYJNYCH

Na podstawie dotychczas opracowanych wyników pomiarów geodezyjnych [61, 64, 66], publikacji [17, 19, 41, 47, 58] i doświadczeń należy stwierdzić, że teorie geometryczno-całkowe wykazują pewne systematyczne rozbieżności pomiędzy teoretycznymi obliczeniami, a wynikami pomiarów geodezyjnych. Zasadnicze rozbieżności tych teorii zostaną przedstawione poniżej.




Rys. 6.1. Niecki osiadania pod wpływem eksploatacji w kształcie "nieskończonej półpłaszczyzny"

1 - osiadania otrzymane z pomiarów geodezyjnych, 2 - osiadania obliczone wg teorii S. Knothego bez uwzględniania obrzeża, 3 - osiadania obliczone wg teorii S. Knothego z uwzględnieniem obrzeża

Fig. 6.1. Subsidence troughs under exploitation influence in the shape of infinite half-plane

1 - subsidences obtained from the geodesic measurements, 2 - subsidences calculated acc. to S. Knothe's theory without taking into account the periphery 3 - subsidences calculated acc. to S. Knothe's theory regarding the periphery



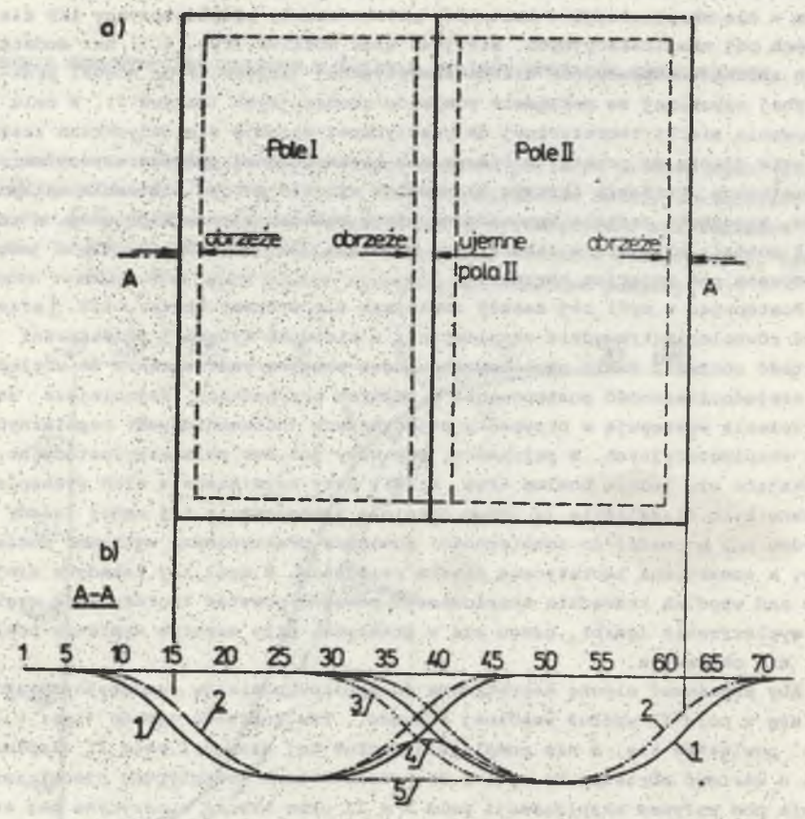
Ogromna większość obserwowanych niecek obniżeniowych wykazuje na krawędzi eksploatacji, wartość osiadania mniejszą od połowy osiadania maksymalnego - dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny lub dla dużych pól eksploatacyjnych. Nie jest więc możliwe (rys. 6.1) bez dodatkowych zabiegów dopasowanie niecki teoretycznej (krzywa 2) do niecki praktycznej uzyskanej na podstawie pomiarów geodezyjnych (krzywa 1). W celu dopasowania niecki teoretycznej do praktycznej stosuje się dotychczas zasadę cofania frontu do punktu, w którym dla nieskończonej półpłaszczyzny wartość teoretyczna obniżenia (krzywa 3) powinna wynosić połowę obniżenia maksymalnego. Zasada ta została wprowadzona przez badaczy niemieckich [42], a również została przyjęta w literaturze polskiej [39, 56, 57, 60, 62] i jest stosowana pod pojęciem obrzeża.

Postępując w myśl tej zasady zmniejsza się wybrany obszar, tzn. przesuwa równolegle krawędzie eksploatacji w kierunku wybranej przestrzeni o wartość obrzeża. Takie postępowanie budzi poważne zastrzeżenia ze względu na niejednoznaczność postępowania w różnych przypadkach. Najmniejsze zastrzeżenia występują w przypadku pojedynczych (odosobnionych) regularnych pól eksploatacyjnych. W przypadku, gdy mamy już dwa pola eksploatacyjne, stykające się jednym bokiem (rys. 6.2a), przy czym każde z nich wyeksploatowane było niezależnie (w innym czasie), zastosowanie tej samej zasady do obydwu pól prowadzi do rozbieżności pomiędzy praktycznymi wynikami pomiarów, a sumaryczną teoretyczną niecką osiadania. W myśl tej zasady w miejscu nad wspólną krawędzią eksploatacji powinno powstać teoretycznie względne wypiętrzenie (garb), czego się w praktyce, przy czystym wybraniu pokładu, nie obserwuje.

Aby dopasować nieckę teoretyczną do wyników pomiarów geodezyjnych stosuje się w polu II wzdłuż wspólnej krawędzi, tzw. obrzeże ujemne (rys. 6.2a) tzn. powiększa się, a nie pomniejsza wzdłuż tej krawędzi pole II eksploatacji o wartość obrzeża. Na rys. 6.2b przedstawiono teoretyczne niecki osiadania pod wpływem eksploatacji pola I i II oraz niecki sumaryczne bez stosowania obrzeża, z obrzeżem jednakowo przyjętym w obu polach i z obrzeżem ujemnym w polu II. Zagadnienie to komplikuje się jeszcze bardziej przy istnieniu wąskiego filara pomiędzy dwoma eksploatacjami. Na problem ten zwrócili uwagę również badacze radzieccy [20]. Dla jego wyjaśnienia wprowadzili oni pojęcie, tzw. "niecki aktywacji" opracowując dla celów praktycznych odpowiednie nomogramy do jej obliczania.

Przesunięcie niecki osiadania w stronę wybranej przestrzeni stwierdzono także w badaniach modelowych [49].

Odmienną interpretację przyczyn niezgodności osiadań pomierzonych i teoretycznych w rejonie krawędzi eksploatacji prezentuje B. Skinderowicz [52, 53]. Stwierdza on, że punkt przegięcia niecki osiadania znajduje się nie nad krawędzią, ale nad wybranym polem eksploatacji, w odległości wynoszącej od (0,10 - 0.15) H od krawędzi, gdzie H oznacza głębokość eksploatowanego pokładu. Przyczynę takiego kształtowania się niecki osiadania upatruje w




Rys. 6.2. Schemat eksploatacji i niecki osiadania teoretyczne wg teorii S. Knothego

1 - osiadania pod wpływem eksploatacji pojedynczych pól I i II bez stosowania obrzeża, 2 - osiadania pod wpływem eksploatacji pojedynczych pól I i II z zastosowaniem obrzeża, 3 - osiadania pod wpływem eksploatacji pola II z obrzeżem ujemnym, 2,4,2 - osiadania sumaryczne pod wpływem eksploatacji pól I + II z zastosowaniem obrzeża, 2,5,2 - osiadania sumaryczne pod wpływem eksploatacji pola I z obrzeżem i pola II z obrzeżem ujemnym

Fig. 6.2. Exploitation scheme and theoretical subsidence troughs acc. to S. Knothe's theory

1 - subsidences under the exploitation influence of single fields I and II without using the periphery, 2 - subsidences under the exploitation influence of single fields I and II using the periphery, 3 - subsidences under the exploitation influence of field II with negative periphery, 2,4,2 - total subsidences under the influence of field I + II exploitation using the periphery, 2,5,2 - total subsidences under the influence of field I exploitation with periphery and field II with negative periphery



tym, że w pobliżu krawędzi nie następuje pełne podsadzenie i zaciśnięcie wybranej przestrzeni. W okolicy krawędzi pola eksploatacyjnego tworzy się, tzw. pole wspornikowe, które wywołuje na powierzchni mniejsze obniżenie. Zjawisko to interpretuje za pomocą zmiennego współczynnika eksploatacyjnego $a_s$ w rejonie pola wspornikowego. Jego wartość wynosi:

$$a_o < a_s < a \qquad (6.1)$$

gdzie:

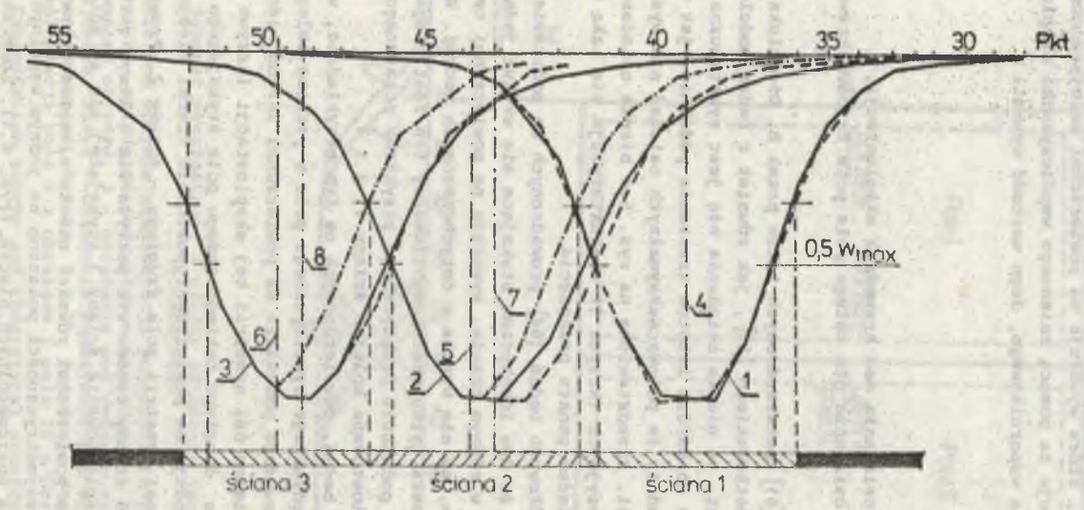
$a_o$ - współczynnik osiadania nad krawędzią eksploatacji,

$a$ - współczynnik osiadania dla całego pola poza rejonem krawędzi eksploatacji.

Z badań własnych [61] potwierdzonych także przez B. Dżegniuka [12], K. Grenia [14] i St. Szpetkowskiego [57], jak również z badań modelowych [49], wynika zasadniczy fakt, że niecka osiadania nie jest symetryczna względem punktu przegięcia. Ma to bardzo istotne znaczenie podobnie, jak wcześniej przytoczone wyniki badań, że połowa maksymalnych osiadań nie występuje nad krawędzią eksploatacji. Przedstawiona na rys. 6.1 niecka osiadania, otrzymana z pomiarów geodezyjnych (krzywa 1) charakteryzuje się taką właśnie asymetrycznością względem punktu przegięcia.

Z dalszych szczegółowych badań [64] prowadzonych na podstawie pomiarów geodezyjnych wynika, że dwa identyczne stykające się wzdłuż jednej krawędzi pola wyeksploatowane w różnym czasie, wywołują na powierzchni terenu dwie różne niecki osiadania, co nie wynika z dotychczasowych teorii. Wprowadzenie pojęcia ujemnego obrzeża tylko częściowo tłumaczy ten fakt. Zagadnienie to można prześledzić na podstawie praktycznego przykładu pokazanego na rys. 6.3, gdzie były eksploatowane kolejno ściany 1, 2 i 3.

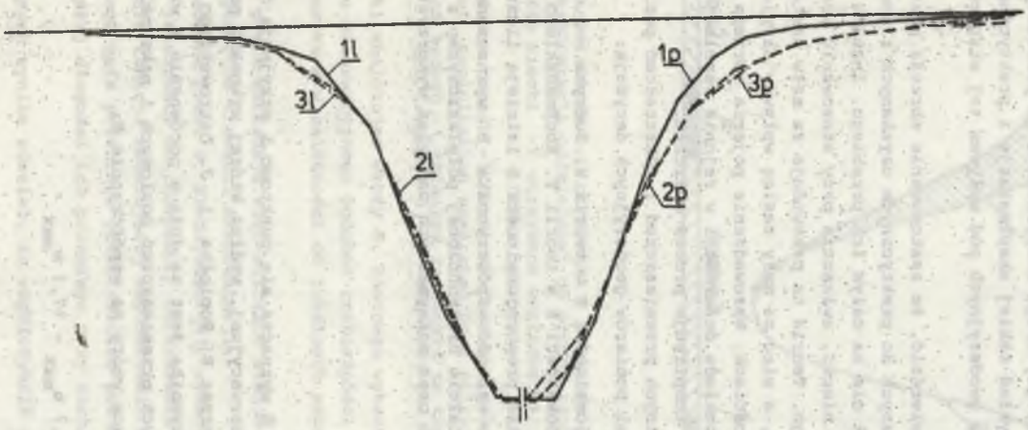
Z dotychczasowych badań, potwierdzonych na tym przykładzie, wynika, że wyeksploatowanie pojedynczego symetrycznego pola w poziomo zalegającym pokładzie (ściana 1) powoduje powstanie na powierzchni terenu niecki osiadania symetrycznej względem osi symetrii tej eksploatacji (krzywa 1). Wyeksploatowanie następnie drugiego takiego samego pola stykającego się z pierwszym (ściana 2), powoduje na powierzchni powstanie niecki niesymetrycznej (krzywa 2) względem osi symetrii pola drugiego - ściany 2. Prawe skrzydło niecki osiadania 2 od strony zrobów nie pokrywa się z lewym skrzydłem od strony calizny. Wyeksploatowanie ściany 3 stykającej się ze ścianą 2 spowodowało powstanie na powierzchni również niecki niesymetrycznej - krzywa 3. Dla wykazania tej niesymetryczności pokazano na jednym wspólnym rysunku prawe oraz lewe skrzydła poszczególnych niecek (rys. 6.4). Lewe skrzydła niecek są to w każdym przypadku skrzydła od strony calizny (krzywe 11, 21, 31). Krzywe te charakteryzują się bardzo małym rozrzutem, można je zatem uznać za powtarzalne. Prawe skrzydła, to krzywa 1p będąca prawym skrzydłem niecki 1, czyli od strony calizny (pod wpływem wyeksploatowania ściany 1), natomiast krzywe 2p i 3p to prawe skrzydła niecek 2 i 3 od strony zrobów. Widać




Rys. 6.3. Niecki osiadania otrzymane z pomiarów geodezyjnych. Linia obserwacyjna 1 z kopalni "Chwałowice"
1,2,3 - niecki osiadania pod wpływem eksploatacji kolejnych ścian 1, 2 i 3, 4,5,6 - osie symetrii ścian 1, 2 i 3, 7 - oś symetrii ściany 2 z obrzeżem ujemnym, 8 - oś symetrii ściany 3 z obrzeżem ujemnym

Fig. 6.3. Subsidence troughs obtained from geodesic measurements. Observing line 1 from coal mine "Chwałowice"
1,2,3 - subsidence troughs under exploitation influence of the consecutive longwalls 1,2,3, 4,5, 6 - axis of symmetry of the longwall 2 with negative periphery, 8 - axis of symmetry of the longwall 3 with negative periphery






Rys. 6.4. Zbiorcze wykresy prawych i lewych skrzydeł niecek osiadania z rys. 6.3
11, 21, 31 - lewe skrzydła niecek od strony calizny, 1p - prawe skrzydło niecki 1 od strony calizny, 2p, 3p - prawe skrzydła niecek od strony zrobów

Fig. 6.4. Cumulative diagrams of right and left wings of subsidence troughs from fig. 6.3
11, 21, 31 - left wings of troughs from the side of coal body, 1p - right wing of trough 1 from the side of coal body, 2p, 3p - right wings of troughs from the side of goaf

wyraźnie, że dwa prawe skrzydła niecek od strony zrobów - 2p i 3p pokrywają się, natomiast krzywa 1p nie pokrywa się z krzywymi 2p i 3p, co świadczy o braku symetrii niecek osiadania 2 i 3.

Nieckę niesymetryczną pod wpływem drugiej eksploatacji otrzymujemy również w każdym przypadku, gdy drugą eksploatację od pierwszej oddziela filar (pas calizny). Przykład takiej eksploatacji i praktyczną nieckę osiadania uzyskaną z pomiarów geodezyjnych pod wpływem tej eksploatacji przedstawiono na rys. 6.5.

Reasumując można stwierdzić, że zastosowanie obrzeża pozwala na dopasowanie osiadań teoretycznych do praktycznych uzyskanych z pomiarów geodezyjnych (rys. 6.1), jednak nie na całym ich przebiegu. Znaczne różnice występują w brzeżnej części niecki, zwłaszcza przy stosowaniu wzorów teorii W. Budryka - S. Knothego. Teoria ta przewiduje za małe wartości osiadań w brzeżnej części niecki, a więc za mały zasięg wpływów eksploatacji, zwłaszcza na dużych głębokościach. Wprowadzenie pojęcia obrzeża nie rozwiązuje zatem zagadnienia rozkładu deformacji w rejonie wspólnej krawędzi eksploatacji, jak również komplikuje proces obliczeń.

O wielkości maksymalnych przemieszczeń i odkształceń poziomych oraz ich zgodności z wynikami pomiarów geodezyjnych decydują:

- współczynnik proporcjonalności B w teorii W. Budryka - S. Knothego,
- współczynnik szczelinowatości S w teorii T. Kochmańskiego.

Na temat współczynnika proporcjonalności B istnieją liczne prace [9, 15, 37, 41, 58]. Dotychczas wartość współczynnika B wyznaczano w zasadzie dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny z maksymalnych przemieszczeń poziomych oraz maksymalnych nachyleń wykorzystując zależność:

$$B = \frac{u_{max}}{T_{max}} \qquad (6.2)$$

Oznacza to, że wartość B wyznacza się punktowo i przyjmuje dla całej powierzchni lub linii obserwacyjnej, wzdłuż której wykonano pomiar.

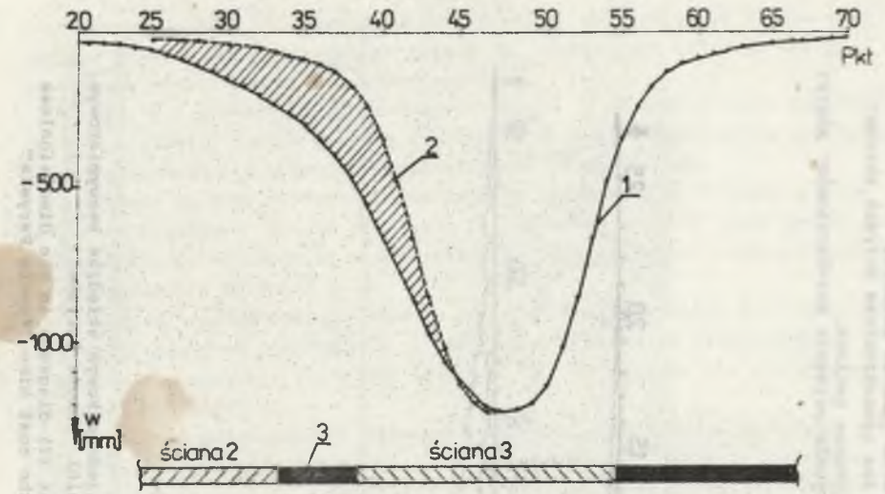
Badania prowadzone przez E. Popiołka i J. Ostrowskiego [46] wykazały, że wartość tego współczynnika jest za duża w porównaniu z wartościami wyznaczanymi z maksymalnych przemieszczeń poziomych i maksymalnych nachyleń. Proponują oni następujące wzory na współczynnik B:

$$B = 0{,}156\ H + 53{,}7\ u_{max} - 17{,}1\ w_{max} \qquad (6.3)$$

lub

$$B = 0{,}16\ H \cong 0{,}32\ r \qquad (6.4)$$






Rys. 6.5. Niecka osiadania -1 otrzymana z pomiarów geodezyjnych pod wpływem eksploatacji oddzielonej od strony zrobów filarem
2 - prawe skrzydło niecki -1 otrzymane względem osi symetrii ściany 3, 3 - filar oporowy

Fig. 6.5. Subsidence trough -1 obtained from the geodesic measurements under the influence of exploitation separated by a pillar from the side of goaf
2 - right wing of trough -1 obtained in regard to the axis of symmetry of the longwall 3, 3 - abutment pillar

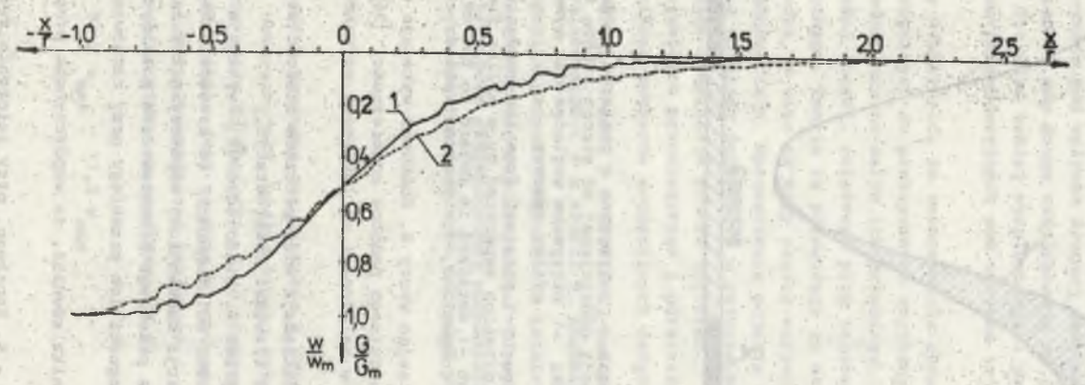
S. Szpetkowski analizując wzory S. Knothego wykazuje na podstawie posiadanego materiału obserwacyjnego podobne rozbieżności [56] i proponuje określanie współczynnika B w zależności od lokalnych warunków geologiczno-górniczych.

Wszystkie te prace zakładają więc milcząco stałość współczynnika B bez względu na odległość od krawędzi eksploatacji.

Badania prowadzone przez Z. Niedojadło [41] wykazują zmienność tego współczynnika w zależności od odległości, od krawędzi eksploatacji. Postuluje on wprowadzenie funkcji modulującej współczynnik B tak, by uzyskać w teorii S. Knothego opis przebiegu przemieszczeń poziomych zbliżony do rzeczywistego na całej długości ich przebiegu przy zachowaniu podstawowych założeń teorii.

Z badań własnych wynika również, że współczynnik proporcjonalności B nie jest stały.

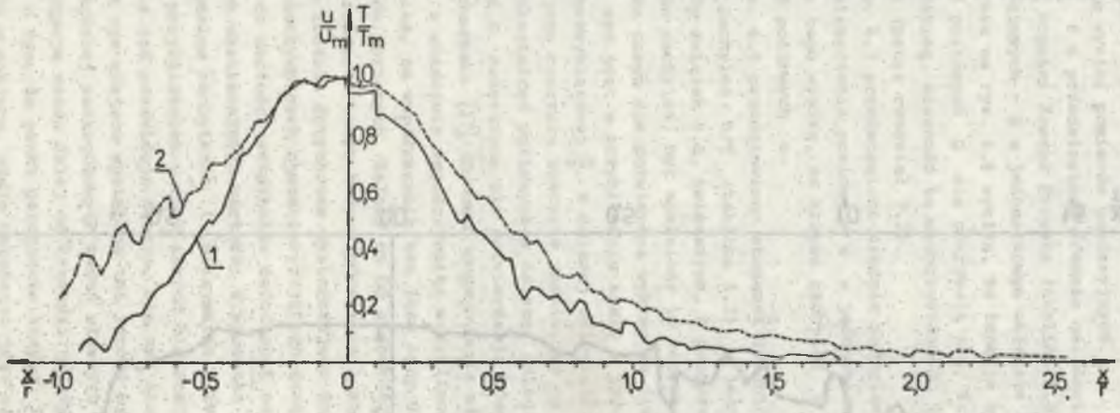
Z teorii W. Budryka - S. Knothego, przy założeniu związku S.G. Awierszyna, wynika, że całka z nachyleń powinna być równa funkcji osiadania, a całka z przemieszczeń poziomych powinna liniowo zależeć od funkcji osiadania. Zatem, w jednostkowym bezwymiarowym układzie współrzędnych krzywa nachyleń T powinna mieć identyczny przebieg, jak krzywa przemieszczeń poziomych




Rys. 6.6. Wykresy osiadań (1) i całki z przemieszczeń poziomych (2) w jednostkowym układzie bezwymiarowym. Wyniki średnie z pięciu linii obserwacyjnych z kopalni "Komuna Paryska"

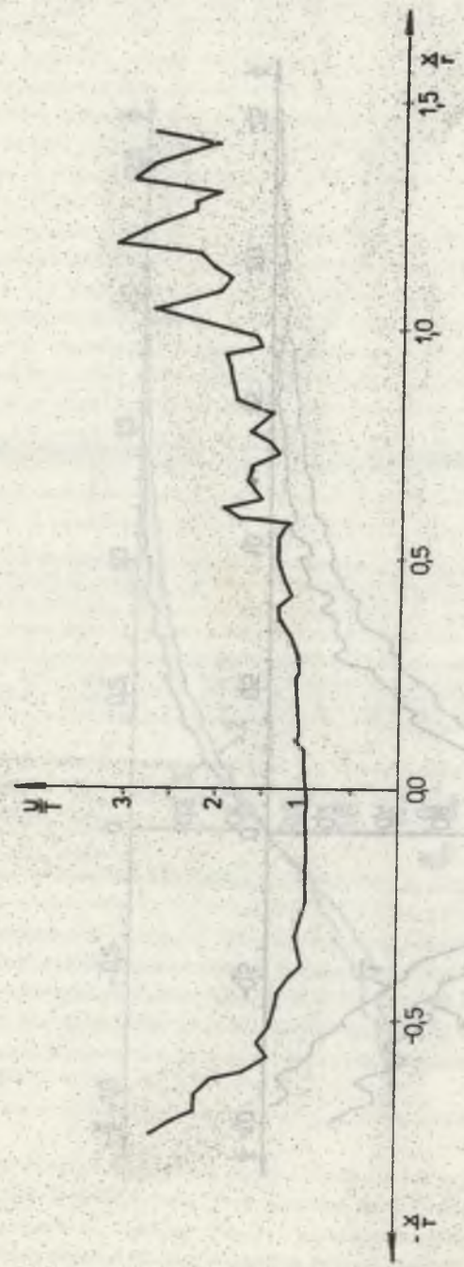
Fig. 6.6. Subsidence (1) and integrals from the horizontal displacement (2) diagrams in the dimensionless unitary system. Average results from five observing lines from the coal mine "Komuna Paryska"






Rys. 6.7. Wykresy nachyleń (1) i przemieszczeń poziomych (2) w jednostkowym układzie bezwymiarowym. Wyniki średnie z pięciu linii obserwacyjnych z kopalni "Komuna Paryska"

Fig. 6.7. Inclination (1) and horizontal displacement (2) diagrams in the dimensionless unitary system. Average results from five observing lines from the coal mine "Komuna Paryska"




Rys. 6.8. Wykres współczynnika proporcjonalności u/T w jednostkowym układzie bezwymiarowym. Wyniki średnie z pięciu linii obserwacyjnych z kopalni "Komuna Paryska"

Fig. 6.8. Diagram of the proportionality coefficient u/T in the dimensionless unitary system. Average results from five observing lines from the coal mine "Komuna Paryska"



oraz krzywa osiadań w powinna mieć identyczny przebieg, jak krzywa oznaczająca całkę z przemieszczeń poziomych Q. Powyższych związków nie potwierdzają wyniki pomiarów geodezyjnych.

Na rys. 6.6 przedstawiono średnie osiadania w z pięciu linii obserwacyjnych z kopalni Komuna Paryska (tablica 5.3) oraz średnią całkę z przemieszczeń poziomych - Q w jednostkowym układzie bezwymiarowym.

Z wykresu na rys. 6.6 wynika, że funkcja osiadania w i całka z przemieszczeń poziomych Q nie pokrywają się. Krzywe w i Q mają jednak podobny przebieg. Własność tę wykorzystano do lepszego opisu przemieszczeń poziomych (patrz rozdział 7.2).

Na rys. 6.7 przedstawiono średnie nachylenia - T (tablica 5.3) oraz średnie przemieszczenia poziome - u w jednostkowym układzie bezwymiarowym. Z rysunku tego wynika, że krzywa nachyleń T nie pokrywa się z krzywą przemieszczeń poziomych u.

Na rys. 6.8 przedstawiono stosunek średnich przemieszczeń poziomych do średnich nachyleń u/T (tablica 5.3) w jednostkowym układzie bezwymiarowym. Gdyby związek S.G. Awierszyna, o proporcjonalności przemieszczeń poziomych do nachyleń, był spełniony to stosunek u/T powinien być wielkością stałą czego nie potwierdza wykres na rys. 6.8.
Stosunek ten jest w przybliżeniu stały w przedziale od -0,5 do +0,5 współrzędnej bezwymiarowej $\frac{x}{r}$. W dalszej odległości wartość tego stosunku, jak również jego rozrzutu znacznie rośnie, co ma wpływ na wielkość przemieszczeń i odkształceń poziomych w dalszej odległości od krawędzi eksploatacji. Związku S.G. Awierszyna nie potwierdzają również badania modelowe [48, 49].

T. Kochmański [27] dokonał uzupełnienia własnej teorii przez wprowadzenie funkcji, a właściwie współczynnika szczelinowatości S. Z dotychczasowych prac wynika, że współczynnik ten jest inny dla ruchów pionowych, a inny dla ruchów poziomych. Zależy on od głębokości eksploatacji, sposobu kierowania stropem, a także budowy górotworu i stopnia jego zruszenia. Jego wielkość nie została dotychczas wystarczająco dokładnie rozpoznana i uogólniona.

Do istotnych cech charakteryzujących daną teorię, oprócz zgodności maksymalnych wartości wskaźników deformacji należy zaliczyć miejsca występowania ich ekstremalnych wartości w stosunku do krawędzi eksploatacji.

Maksymalne nachylenia i maksymalne przemieszczenia poziome występują z dużym przybliżeniem w tych samych miejscach, jednak nie nad rzeczywistą krawędzią jak przewiduje teoria, ale nad krawędzią cofniętą o wartość obrzeża. W tym miejscu występują też zerowe krzywizny i odkształcenia poziome. Z bardziej szczegółowych badań własnych wynika, że maksymalne nachylenia występują nieco dalej od krawędzi niż wynosi wartość obrzeża, co świadczyłoby o tym, że punkt przegięcia krzywej rzeczywistej niecki osiadania występuje w miejscu, gdzie osiadanie jest większe od 0,5 $w_{max}$.

Z badań własnych [61, 63, 64], a także innych autorów [17] wynika, że maksymalne krzywizny i maksymalne odkształcenia poziome występują w różnych miejscach w stosunku do krawędzi eksploatacji. Maksymalne krzywizny występują zawsze bliżej, natomiast maksymalne odkształcenia poziome dalej od kra-

wędzi eksploatacji. Nie jest to zgodne z teorią W. Budryka - S. Knothego.

Teoria T. Kochmańskiego przewiduje wprawdzie różne miejsca występowania maksymalnych wartości krzywizn pionowych i odkształceń poziomych w stosunku do krawędzi eksploatacji, jednak dla dużych głębokości przewiduje ona za blisko miejsca występowania maksymalnych krzywizn, a za daleko miejsca występowania maksymalnych odkształceń.

Ze szczegółowych badań własnych wynika mniejszy zasięg wpływów dla ruchów pionowych, a większy dla poziomych. Zagadnienie to wymaga jeszcze wielu badań, ale już obecnie w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych można przedstawić wiele przykładów takiego właśnie przebiegu procesu przemieszczeń. Jest to dość łatwe do wykazania, gdy dysponuje się odpowiednimi wynikami pomiarów, tzn. odpowiednio długimi liniami obserwacyjnymi nad caliznę oraz kilkoma pomiarami wykonanymi już po zakończeniu procesu wychodzenia wpływów na powierzchni. Z dotychczasowych obserwacji wynika, że różnica zasięgów wpływów jest większa w górotworze nienaruszonym o sztywnej budowie, a zmniejsza się im górotwór jest mniej sztywny i bardziej zruszony. Można więc przypuszczać, że w pewnych warunkach zasięg ten może być jednakowy, co odpowiadałoby izotropowej budowie górotworu i co przyjmują obecnie stosowane teorie.

Innym zabiegiem potwierdzającym asymetrię niecki, stosowanym przez niektórych autorów [56, 28, 38], w celu dopasowania niecki teoretycznej do niecki uzyskanej na podstawie pomiarów geodezyjnych, było uzmiennienie parametrów teorii w zależności od odległości od krawędzi eksploatacji. Zabieg ten poważnie komplikuje proces obliczeniowy, a przede wszystkim podważa założenia teorii o stałości parametrów.

## 7. DOBÓR FUNKCJI DLA OPISU PRZEMIESZCZEŃ PUNKTÓW NA POWIERZCHNI TERENU W OPARCIU O BADANIE WŁASNE

### 7.1. Przemieszczenia pionowe - obniżenia

Jak już poprzednio wspomniano wprowadzenie obrzeża, jako dodatkowego parametru teorii geometryczno-całkowych, pozwala na znacznie lepsze dopasowanie teoretycznej niecki obniżeniowej do niecki otrzymanej na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych.

Rozważmy obecnie na czym teoretycznie polega działanie obrzeża? Proces ten najłatwiej jest przedstawić dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny, przyjmując tok rozumowania zgodny z teorią W. Budryka - S. Knothego.

Przyjmijmy zatem konkretny przykład takiej eksploatacji oraz wyniki pomiarów geodezyjnych punktów usytuowanych wzdłuż linii obserwacyjnej prostopadłej do krawędzi tej eksploatacji.

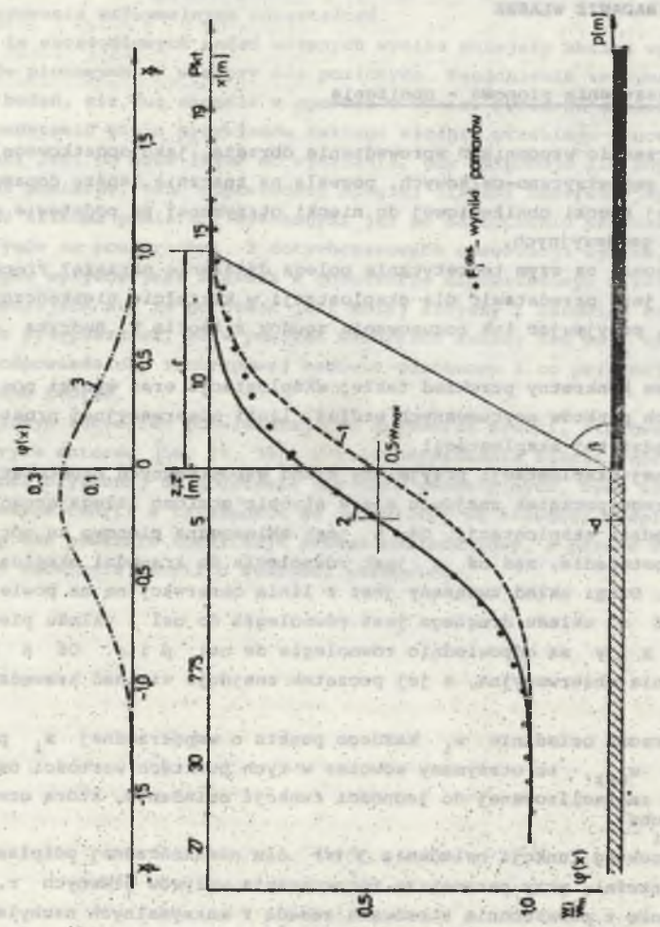
Dla rozważanej eksploatacji przyjmijmy układ współrzędnych prostokątnych (p, s, z), którego początek znajduje się w stropie poziomo zalegającego pokładu nad krawędzią eksploatacji. Oś z jest skierowana pionowo ku górze, oś p jest prostopadła, zaś oś s jest równoległa do krawędzi eksploatacji (rys. 7.1). Drugi układ związany jest z linią obserwacyjną na powierzchni terenu. Oś z' układu drugiego jest równoległa do osi z układu pierwszego, a osie x i y są odpowiednio równoległe do osi p i s. Oś x pokrywa się z linią obserwacyjną, a jej początek znajduje się nad krawędzią eksploatacji.

Jeżeli zmierzone osiadanie $w_i$ każdego punktu o współrzędnej $x_i$ podzielimy przez $w_{max}$, to otrzymamy wówczas w tych punktach wartości osiadań równoważne znormalizowanej do jedności funkcji osiadania, którą oznaczymy przez $F_i^{obs}$.

Teoretyczny przebieg funkcji osiadania $\varphi(x)$ dla nieskończonej półpłaszczyzny (bez obrzeża), przy parametrze rozproszenia wpływów głównych r, wyznaczonym zgodnie z powszechnie stosowaną zasadą z maksymalnych nachyleń, przedstawia krzywa 1 (rys. 7.1).

Wykres funkcji osiadania $\varphi(x)\Big|_{-d}^{0}$, tj. pod wpływem eksploatacji paska o szerokości obrzeża d przedstawia krzywa 2.

Różnica krzywej 1 i 2 daje nam krzywą 3, czyli funkcję $\varphi(x-d)$ z obrzeżem d. Zastosowanie obrzeża powoduje więc równoległe przesunięcie krzywej osiadania 1 do krzywej 3, przy czym obie te funkcje są symetryczne względem punktu przegięcia.



Rys. 7.1. Schemat do objaśnienia działania obrzeża
1 - funkcja osiadania bez obrzeża - $\varphi(x)$, 2 - wykres funkcji osiadania pod wpływem eksploatacji w kształcie paska o szerokości d - $\varphi(x)\big|_{-d}^{0}$, 3 - funkcja osiadania z uwzględnieniem obrzeża - $\varphi(x-d)$

Fig. 7.1. Scheme for exploitation of periphery acting
1 - subsidence function without periphery - $\varphi(x)$, 2 - subsidence function diagram under the exploitation influence in the shape of strip d - $\varphi(x)\big|_{-d}^{0}$ wide, 3 - subsidence function regarding periphery - $\varphi(x-d)$



Stosując w praktyce obrzeże można więc uzyskać względnie dobre dopasowanie teoretycznej niecki osiadania do wyników pomiarów geodezyjnych nad przestrzenią wybraną (rys. 7.1), natomiast nad calizną wystąpią duże systematyczne rozbieżności spowodowane tym, że:

- niecki osiadania otrzymane na podstawie pomiarów geodezyjnych są asymetryczne względem punktu przegięcia,
- zasięg wpływów eksploatacji jest większy niż przewiduje teoria W. Budryka - S. Knothego.

Opierając się na znanych z literatury [12, 14] rozwiązaniach oraz badaniach własnych można przedstawić następującą ogólną postać funkcji osiadania dla opisu niesymetrycznej niecki osiadania:

$$F(\varphi(x)) = \varphi(x) - \sum_{i=1}^{n} A_i \left[\frac{\partial^i \varphi(x)}{\partial x^i}\right]^{k_i} \tag{7.1}$$

gdzie:

$\varphi(x)$ - funkcja osiadania teorii geometryczno-całkowych,

$A_i$ - współczynnik ujmujący stopień asymetrii wpływów,

$k_i \in N$

Wzór (7.1) poddano szczegółowej analizie ze względu na rząd pochodnej i, wykładnik $k_i$ oraz współczynnik $A_i$. Z badań tych wynika, że najprostszym i wystarczającym dla celów praktycznych jest wariant dla $n = 1$ oraz $k_i = 2$ czyli

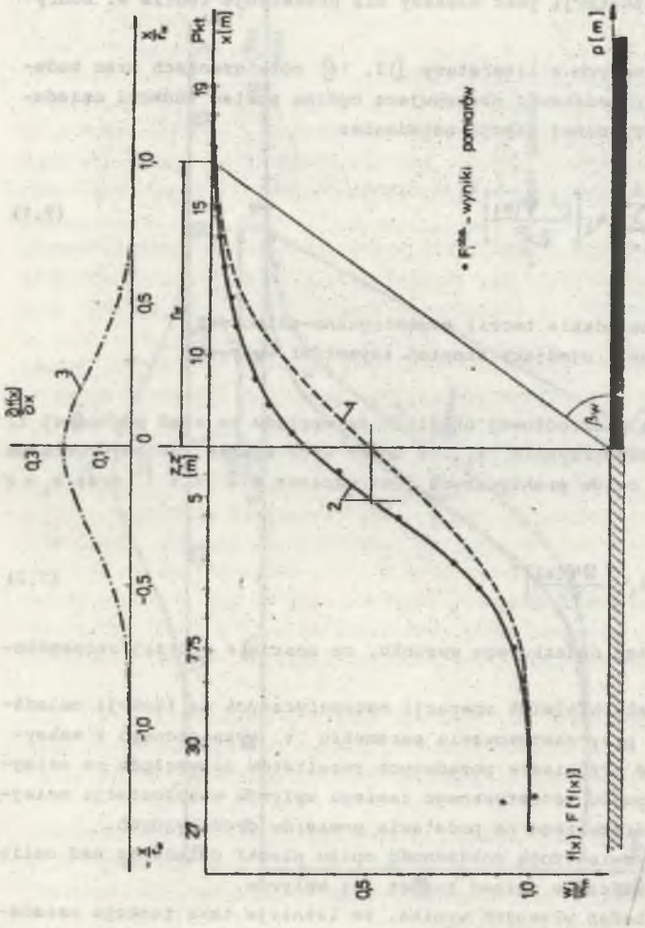
$$F(\varphi(x)) = \varphi(x) - A_1 \left[\frac{\partial \varphi(x)}{\partial x}\right]^2 \tag{7.2}$$

przy spełnieniu pewnego dodatkowego warunku, co zostanie poniżej szczegółowo wyjaśnione.

Otóż stosowanie jakichkolwiek operacji matematycznych na funkcji osiadania $\varphi(x)$, obliczonej przy zastosowaniu parametru r wyznaczonego z maksymalnych nachyleń, nie przyniesie pożądanych rezultatów ze względu na osiągnięcie w każdym przypadku teoretycznego zasięgu wpływów eksploatacji mniejszego od zasięgu obserwowanego na podstawie pomiarów geodezyjnych.

Aby więc osiągnąć zwiększoną dokładność opisu niecki osiadania nad calizną należy najpierw właściwie opisać zasięg jej wpływów.

Ze szczegółowych badań własnych wynika, że istnieje taka funkcja osiadania f(x) - krzywa 1 (rys. 7.2), obliczona przy odpowiedniej wartości parametru rozproszenia wpływów głównych $r_w$, która z wystarczającą dla praktyki dokładnością określa zasięg wpływów teoretycznych. Dla nieskończonej półpłaszczyzny parametr $r_w$ jest równy parametrowi wyznaczonemu z nachyleń uzyskanych z pomiarów geodezyjnych nad rzeczywistą krawędzią eksploatacji, co zostanie szczegółowo omówione w rozdziale dotyczącym wyznaczania




Rys. 7.2. Schemat eksploatacji do wyprowadzenia wzoru na funkcję osiadania
1 - funkcja osiadania - f(x), 2 - człon delinearyzujący funkcję osiadania - $A_1\left[\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right]^2$, 3 - funkcja osiadania nieliniowa - F(f(x))

Fig. 7.2. Exploitation scheme to formulate the subsidence function
1 - subsidence function - f(x), 2 - unit delinearizing the subsidence function - $A_1\left[\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right]^2$, 3 - nonlinear subsidence function - F(f(x))



parametrów i współczynników. Wstawiając do wzoru (7.2) w miejsce funkcji $\varphi(x)$ funkcję f(x) możemy napisać ostateczny wzór na funkcję osiadania:

$$F(f(x)) = f(x) - A_1\left[\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right]^2 \tag{7.3}$$

Jak wynika z rys. 7.2 funkcja osiadania F(f(x))- krzywa 3, znacznie dokładniej aproksymuje przedstawioną punktowo funkcję osiadania $F_i^{obs}$ na całym jej przebiegu niż krzywa 3 na rys. 7.1. Krzywa 2 obrazuje krzywą delinearyzującą nieckę osiadania opisaną wzorem:

$$A_1\left[\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right]^2 \tag{7.4}$$

Różnica wartości funkcji f(x) i F(f(x)) nad krawędzią eksploatacji, czyli dla x = 0, daje nam wartość współczynnika bezwymiarowego A (rys. 7.2) na podstawie którego możemy obliczyć współczynnik $A_1$

$$A_1 = A\, r_w^2 \tag{7.5}$$

Funkcja osiadania F(f(x)) opisana wzorem (7.3) posiada trzy szczególnie pożądane cechy wynikające z analizy wielu pomiarów geodezyjnych, a mianowicie:

- całkując po faktycznie wyeksploatowanej powierzchni punkt przegięcia funkcji osiadania F(f(x)) znajduje się nad przestrzenią wybraną w pewnej odległości od krawędzi eksploatacji,
- jest niesymetryczna względem punktu jej przegięcia,
- charakteryzuje się dużym zasięgiem wpływów eksploatacji zgodnym z obserwowanym na podstawie pomiarów geodezyjnych.

Może być ona zatem wykorzystana do dalszych szczegółowych badań.

Mając określoną funkcję osiadania F(f(x)) możemy napisać wzór na przemieszczenia pionowe (osiadania) dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny

$$w(x) = -a\, g\, F(f(x)) \tag{7.6}$$

gdzie:

a - współczynnik eksploatacji,

g - grubość pokładu.

Podstawiając za F(f(x)) wzór (7.3) otrzymamy:

$$w(x) = -a\, g\left\{f(x) - A_1\left[\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right]^2\right\} \tag{7.7}$$

Podkreślić tutaj należy, że jako funkcja f(x) może być przyjęta funkcja osiadania w zasadzie każdej teorii geometryczno-całkowej.

## 7.2. Przemieszczenia poziome

Fakt podobieństwa krzywej opisującej przebieg nachyleń niecki osiadania oraz krzywej opisującej przemieszczenia poziome (rys. 6.7) jest powszechnie znany, jako związek G.S. Awierszyna [1] i wykorzystany w różnych teoriach do opisu przemieszczeń poziomych [6, 33]. Związek ten, dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny, możemy zapisać w postaci:

$$u(x) = -B \frac{\partial w(x)}{\partial x} \tag{7.8}$$

Przyjmując, że iloczyn ag = const. oraz oznaczając funkcję osiadania zgodnie z wzorem (7.3) możemy napisać:

$$u(x) = |a\ g\ B \frac{\partial F(f(x))}{\partial x}| \tag{7.9}$$

Jak już wcześniej wspomniano związek wyrażony równaniem (7.9) nie jest spełniony w praktyce, gdyż całka z przemieszczeń poziomych nie jest liniowo zależna od funkcji osiadania F(f(x)). Wyniki analiz wielu linii obserwacyjnych pozwoliły autorowi na stwierdzenie, że istnieje taka funkcja Q(q(x)) ciągła wraz z pochodnymi drugiego rzędu, która spełnia równanie:

$$u(x) = |a\ g\ B_o \frac{\partial Q(q(x))}{\partial x}| \tag{7.10}$$

gdzie:

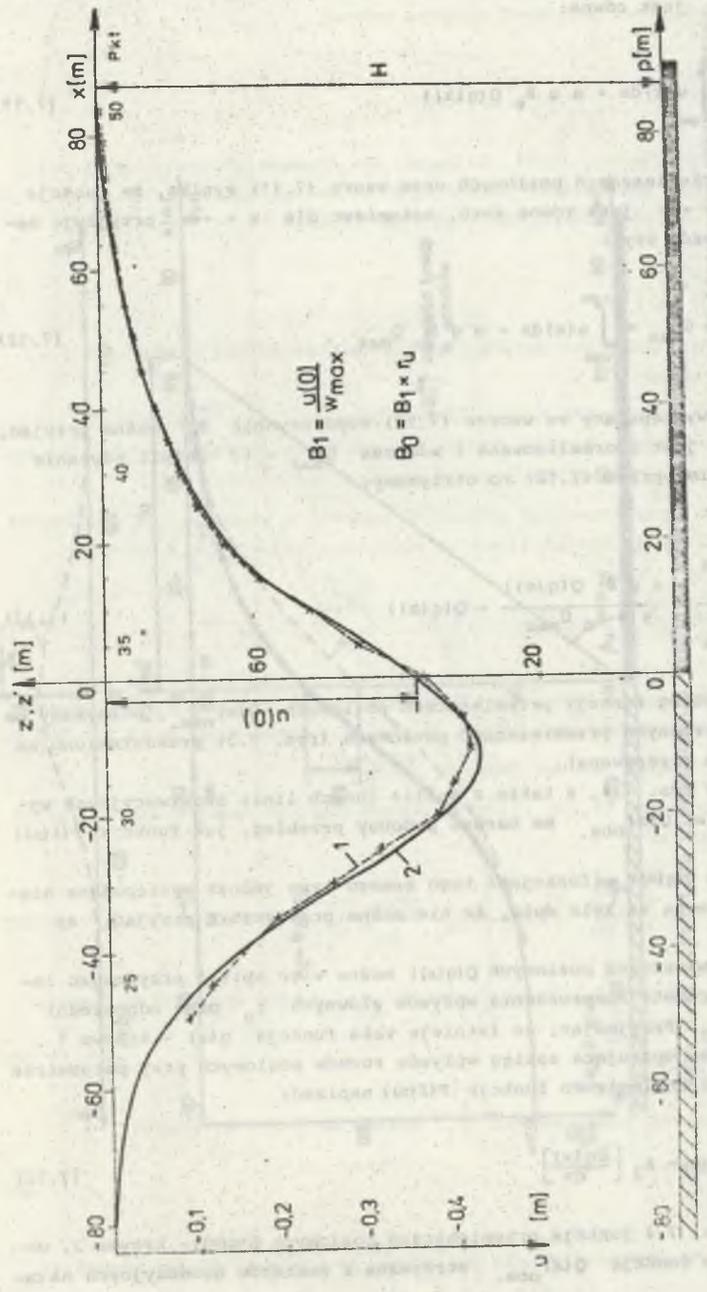
$B_o$ - współczynnik proporcjonalności.

Na istnienie takiej funkcji zwraca również uwagę E. Jędrzejec [19].

Kształt funkcji Q(q(x)) można łatwo opisać na podstawie pomierzonych przemieszczeń poziomych.

Na rys. 7.3 mamy przedstawiony wykres pomierzonych przemieszczeń poziomych (krzywa 1 przerywana) dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny. Z rysunku tego wynika, że punkt o przemieszczeniu poziomym równym zero znajduje się nad caliznę w odległości teoretycznie równej $+\infty$ od krawędzi eksploatacji. Drugi punkt o przemieszczeniu równym zero znajduje się nad wybraną przestrzenią w odległości teoretycznie równej $-\infty$ od krawędzi eksploatacji. Nad wybraną przestrzenią w rejonie krawędzi eksploatacji przemieszczenia poziome osiągają maksymalną wartość bezwzględną. Powyższe potwierdzają wyniki pomiarów geodezyjnych oraz badania modelowe [49].






Rys. 7.3. Wykresy przemieszczeń poziomych dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny
1 - przemieszczenia poziome uzyskane z pomiarów geodezyjnych, 2 - przemieszczenia teoretyczne obliczone według metody autora

Fig. 7.3. Diagrams of horizontal displacements for exploitation in the shape of infinite half-plane
1 - horizontal displacements obtained from geodesic measurements, 2 - theoretical displacements calculated acc. to the author's method

Ze wzoru (7.10) wynika, że całka z przemieszczeń poziomych w przedziale od $+\infty$ do $x$ jest równa:

$$G(x) = \int_{+\infty}^{x} u(x)dx = a\ g\ B_o\ Q(q(x)) \tag{7.11}$$

Z przebiegu przemieszczeń poziomych oraz wzoru (7.11) wynika, że funkcja $Q(q(x))$ dla $x = +\infty$ jest równa zero, natomiast dla $x = -\infty$ przyjmuje maksymalną wartość, czyli

$$G(-\infty) = G_{max} = \int_{+\infty}^{-\infty} u(x)dx = a\ g\ B_o\ Q_{max} \tag{7.12}$$

Ze względu na występujący we wzorze (7.12) współczynnik $B_o$ można przyjąć, że funkcja $Q$ jest znormalizowana i wówczas $Q_{max} = 1$. Jeżeli równanie (7.11) podzielimy przez (7.12) to otrzymamy:

$$\frac{\int_{+\infty}^{x} u(x)dx}{\int_{+\infty}^{-\infty} u(x)dx} = \frac{a\ g\ B_o\ Q(q(x))}{a\ g\ B_o\ Q_{max}} = Q(q(x)) \tag{7.13}$$

Praktyczny przebieg funkcji przemieszczeń poziomych $Q(x)_{obs.}$, otrzymany na podstawie pomierzonych przemieszczeń poziomych (rys. 7.3) przedstawiono na rys. 7.4 (linia przerywana).

Z wykresu na rys. 7.4, a także z analiz innych linii obserwacyjnych wynika, że funkcja $Q(x)_{obs.}$ ma bardzo podobny przebieg, jak funkcja $F(f(x))$ na rys. 7.2.

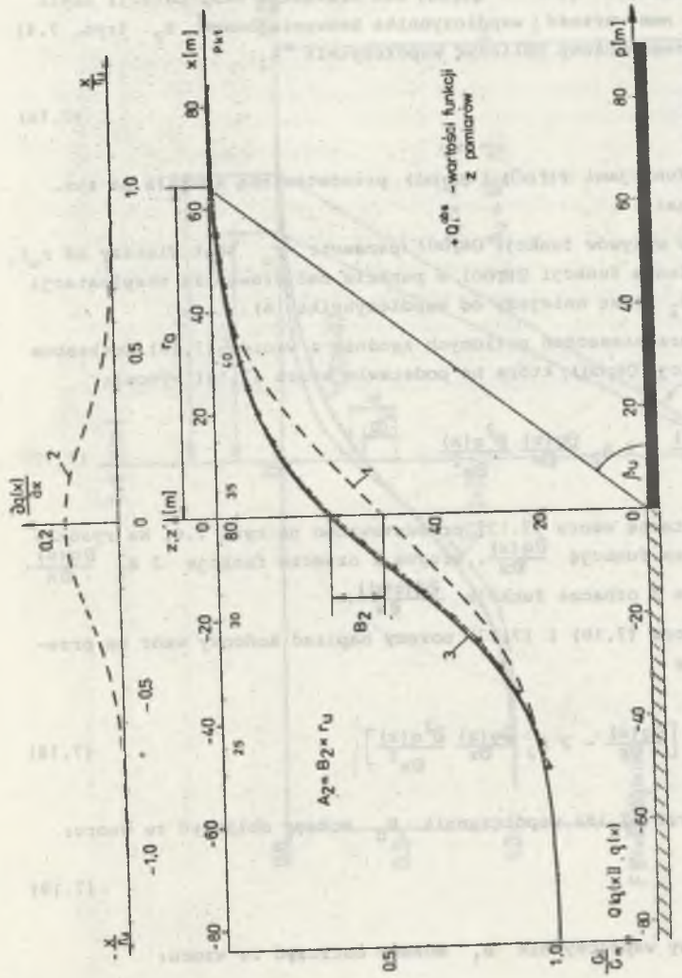
Funkcje $F(f(x))$ i $Q(q(x))$ są funkcjami tego samego typu jednak występujące między nimi różnice są na tyle duże, że nie można praktycznie przyjąć, że $F(f(x)) = Q(q(x))$.

Funkcję przemieszczeń poziomych $Q(q(x))$ można więc opisać przyjmując inny (większy) parametr rozproszenia wpływów głównych $r_u$ oraz odpowiedni współczynnik $A_2$. Przyjmując, że istnieje taka funkcja $q(x)$ - krzywa 1 (rys. 7.4) dobrze opisująca zasięg wpływów ruchów poziomych przy parametrze $r_u$ możemy przez analogię do funkcji $F(f(x))$ napisać:

$$Q(q(x)) = q(x) - A_2 \left[\frac{\partial q(x)}{\partial x}\right]^2 \tag{7.14}$$

Jak wynika z rys. 7.4 funkcja przemieszczeń poziomych $Q(q(x))$ - krzywa 2, dobrze aproksymuje funkcję $Q(x)_{obs.}$ otrzymaną z pomiarów geodezyjnych na ca-






Rys. 7.4. Schemat do wyprowadzenia wzoru na funkcję przemieszczeń poziomych - q(x), 2 - człon delinearyzujący funkcję przemieszczeń poziomych - $Q(q(x))$

1 - funkcja podstawowa przemieszczeń poziomych $-A_2\left[\frac{\partial q(x)}{\partial x}\right]^2$, 3 - nieliniowa funkcja przemieszczeń poziomych

Fig. 7.4. Scheme for deriving horizontal displacements function

1 - basic function of horizontal displacements - q(x), 2 - unit delinearizing the horizontal displacements function $-A_2\left[\frac{\partial q(x)}{\partial x}\right]^2$, 3 - non-linear horizontal displacements function - $Q(q(x))$

łym jej przebiegu. Krzywa 2 na rys. 7.4 obrazuje krzywą delinearyzującą funkcję przemieszczeń poziomych opisaną wzorem

$$A_2 \left[\frac{\partial q(x)}{\partial x}\right]^2 \tag{7.15}$$

Różnica wartości funkcji $q(x)$ i $Q(q(x))$ nad krawędzią eksploatacji czyli dla $x = 0$, daje nam wartość współczynnika bezwymiarowego $B_2$ (rys. 7.4) na podstawie, którego możemy obliczyć współczynnik $A_2$:

$$A_2 = B_2 r_u^2 \tag{7.16}$$

Różnica pomiędzy funkcjami $F(f(x))$ i $Q(q(x))$ przedstawiona została na rys. 7.5 i polega ona na:

- większym zasięgu wpływów funkcji $Q(q(x))$ (parametr $r_u$ jest większy od $r_w$),
- mniejszym nachyleniu funkcji $Q(q(x))$ w punkcie nad krawędzią eksploatacji (współczynnik $B_2$ jest mniejszy od współczynnika $A$).

Do obliczenia przemieszczeń poziomych zgodnie z wzorem (7.10) potrzebna jest pochodna funkcji $Q(q(x))$, która na podstawie wzoru (7.14) wynosi:

$$\frac{\partial Q(q(x))}{\partial x} = \frac{\partial q(x)}{\partial x} - 2 A_2 \frac{\partial q(x)}{\partial x} \frac{\partial^2 q(x)}{\partial x^2} \tag{7.17}$$

Graficzną interpretację wzoru (7.17) przedstawiono na rys. 7.6. Na rysunku tym krzywa 1 oznacza funkcję $\frac{\partial q(x)}{\partial x}$, krzywa 2 oznacza funkcję $2 A_2 \frac{\partial q(x)}{\partial x} \cdot \frac{\partial^2 q(x)}{\partial x^2}$ oraz krzywa 3 oznacza funkcję $\frac{\partial Q(q(x))}{\partial x}$.

Na podstawie wzoru (7.10) i (7.17) możemy napisać końcowy wzór na przemieszczenie poziome

$$u(x) = a g B_o \left[\frac{\partial q(x)}{\partial x} - 2 A_2 \frac{\partial q(x)}{\partial x} \frac{\partial^2 q(x)}{\partial x^2}\right] \tag{7.18}$$

Występujący we wzorze (7.18) współczynnik $B_o$ możemy obliczyć ze wzoru:

$$B_o = B_1 r_u \tag{7.19}$$

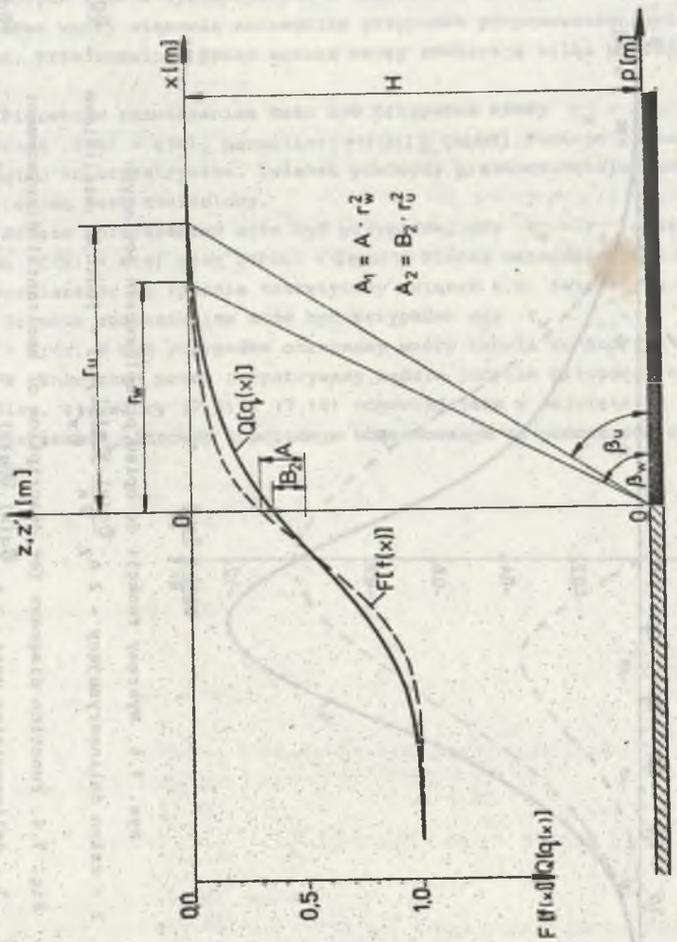
Z kolei bezwymiarowy współczynnik $B_1$ możemy obliczyć ze wzoru:

$$B_1 = \frac{u(0)}{w_{max}} \tag{7.20}$$

gdzie:

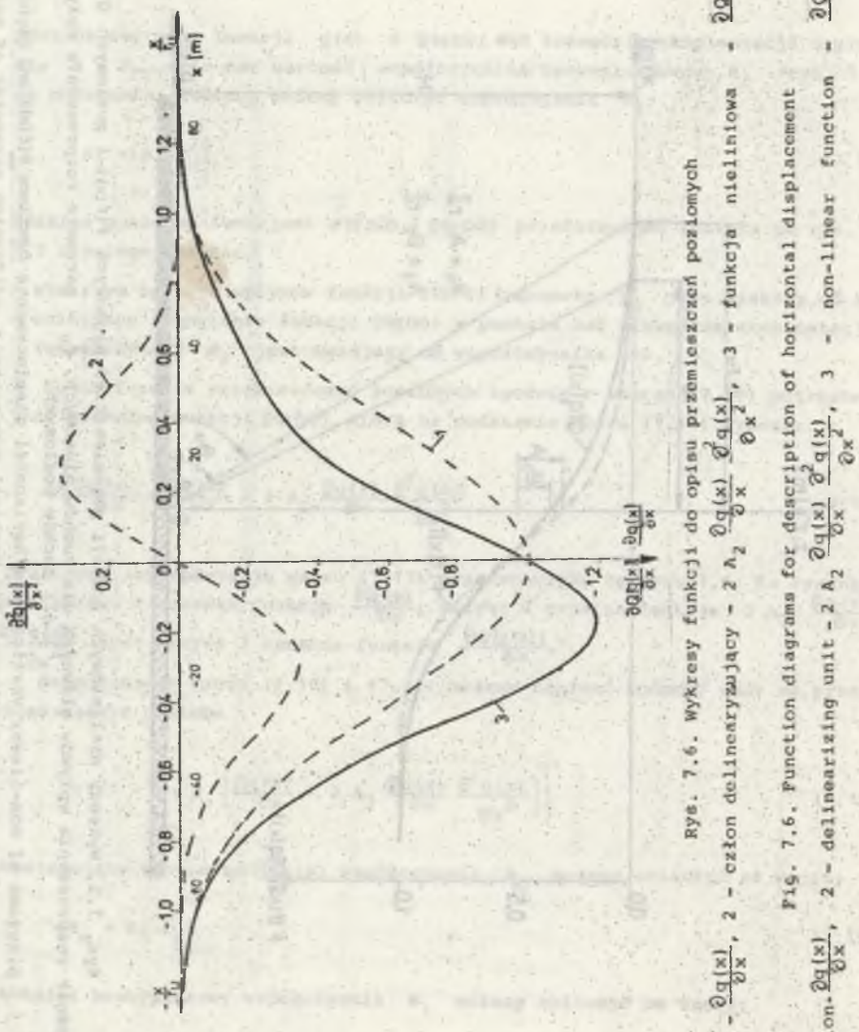
$u(0)$ - wartość przemieszczenia poziomego jaka występuje nad krawędzią eksploatacji, tj. dla $x = 0$ (rys. 7.3).






Rys. 7.5. Wykresy nieliniowych funkcji przemieszczeń pionowych F(f(x)) i poziomych Q(q(x))
$r_w$ - parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów pionowych, $r_u$ - parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów poziomych

Fig. 7.5. Diagrams of non-linear vertical and horizontal displacements functions F(f(x)) and Q(q(x)) respectively
$r_w$ - diffusion parameter of main influences for vertical movements, $r_u$ - diffusion parameter of main influences for horizontal movements




Rys. 7.6. Wykresy funkcji do opisu przemieszczeń poziomych
1 - funkcja - $\frac{\partial q(x)}{\partial x}$, 2 - człon delinearyzujący - $2 A_2 \frac{\partial q(x)}{\partial x} \frac{\partial^2 q(x)}{\partial x^2}$, 3 - funkcja nieliniowa - $\frac{\partial Q(q(x))}{\partial x}$

Fig. 7.6. Function diagrams for description of horizontal displacement
1 - function - $\frac{\partial q(x)}{\partial x}$, 2 - delinearizing unit - $2 A_2 \frac{\partial q(x)}{\partial x} \frac{\partial^2 q(x)}{\partial x^2}$, 3 - non-linear function - $\frac{\partial Q(q(x))}{\partial x}$



Na rys. 7.3 przedstawiono również wykres przemieszczeń poziomych - krzywa 2, obliczonych teoretycznie na podstawie wzoru (7.18).

Na podkreślenie zasługuje tutaj fakt, że wzory (7.3) i (7.4) na funkcje opisujące przemieszczenia pionowe i poziome są bardziej ogólne od dotychczasowych wzorów występujących w teoriach geometryczno-całkowych. Dotychczasowe wzory stanowią szczególny przypadek proponowanego opisu przemieszczeń. Przedstawione przez autora wzory zawierają kilka pośrednich rozwiązań.

Pierwszym rozwiązaniem może być przypadek kiedy $r_w = r_u$, a $A_1 \neq A_2$. Wówczas $f(x) = q(x)$, natomiast $F(f(x)) \neq Q(q(x))$. Funkcje przemieszczeń $F(f(x))$ i $Q(q(x))$ są asymetryczne. Związek pomiędzy przemieszczeniem poziomym a nachyleniem jest nieliniowy.

Drugim rozwiązaniem może być przypadek, gdy $r_w = r_u$ oraz $A_1 = A_2$ wówczas $f(x) = q(x)$ oraz $F(f(x)) = Q(q(x))$. Niecka osiadania jest asymetryczna a rozwiązanie to spełnia teoretyczny związek S.G. Awierszyna.

Trzecim rozwiązaniem może być przypadek gdy $r_w = r_u = r$, $A_1 = A_2 = 0$ oraz $B_o = 0{,}4r$. W tym przypadku otrzymamy wzory teorii W. Budryka - S. Knothego.

W niniejszej pracy rozpatrywany będzie jedynie przypadek najbardziej ogólny, tj. wzory (7.3) i (7.14) odpowiadające w największym stopniu przemieszczeniom pionowym i poziomym obserwowanym za pomocą pomiarów geodezyjnych.

## 8. BADANIE WŁASNOŚCI FUNKCJI F(f(x)) ORAZ JEJ POCHODNYCH

Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że we wzorze (7.3) na F(f(x)), jako funkcja f(x), może być przyjęta funkcja osiadania w zasadzie dowolnej teorii geometryczno-całkowej. Po przeprowadzeniu odpowiednich rozważań (jak np.: złożoności funkcji, jej zgodności z wynikami pomiarów geodezyjnych, ciągłości pochodnych, itp.) do dalszych badań przyjęto funkcję osiadania S. Knothego [23], która dla nieskończonej półpłaszczyzny ma postać:

$$f(x) = \frac{1}{r_w} \int_x^{+\infty} \exp(-\pi \frac{\lambda^2}{r_w^2})\, d\lambda \tag{8.1}$$

Na podstawie wzoru (8.1) mamy:

$$\left[\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right]^2 = \frac{1}{r_w^2} \exp(-2\pi \frac{x^2}{r_w^2}) \tag{8.2}$$

Przyjmując, że:

$$A = \frac{A_1}{r_w^2} > 0 \tag{8.3}$$

wzór (7.3) na funkcję F(f(x)) przyjmie następującą postać:

$$F(f(x)) = \frac{1}{r_w} \int_x^{+\infty} \exp(-\pi \frac{\lambda^2}{r_w^2})\, d\lambda - A \exp(-2\pi \frac{x^2}{r_w^2}) \tag{8.4}$$

Do dalszych szczegółowych badań wygodniej jest przedstawić funkcję F(f(x)) w bezwymiarowym układzie współrzędnych $\xi = \frac{x}{r_w}$, wówczas:

$$F(\xi) = \int_\xi^{+\infty} \exp(-\pi t^2)\, dt - A \exp(-2\pi \xi^2) \tag{8.5}$$



### 8.1. Badanie własności funkcji $F(\xi)$

Poszczególne fragmenty badania funkcji $F(\xi)$ ujęto w następujących punktach:

1. Polem funkcji jest zbiór wszystkich liczb rzeczywistych.
2. Funkcja $F(\xi)$ jest w każdym punkcie ciągła i ma ciągłe pochodne.
3. Funkcja posiada granice

$$\lim_{\xi \to -\infty} F(\xi) = 1; \quad \lim_{\xi \to +\infty} F(\xi) = 0.$$

4. Miejsca zerowe funkcji $F(\xi)$.
Funkcja $F(\xi) = 0$, gdy:

$$A = \Psi_o(\xi) = e^{2\pi\xi^2} \cdot \int_\xi^{+\infty} e^{-\pi t^2} \tag{8.6}$$

Pierwsza pochodna funkcji $\Psi_o(\xi)$ wynosi:

$$\Psi_o'(\xi) = e^{\pi\xi^2} (4\pi\xi e^{\pi\xi^2} \cdot \int_\xi^{+\infty} e^{-\pi t^2}\, dt - 1) \tag{8.7}$$

i jest równa zero, gdy:

$$\int_\xi^{+\infty} e^{-\pi t^2}\, dt = (4\pi\xi e^{\pi\xi^2})^{-1} \tag{8.8}$$

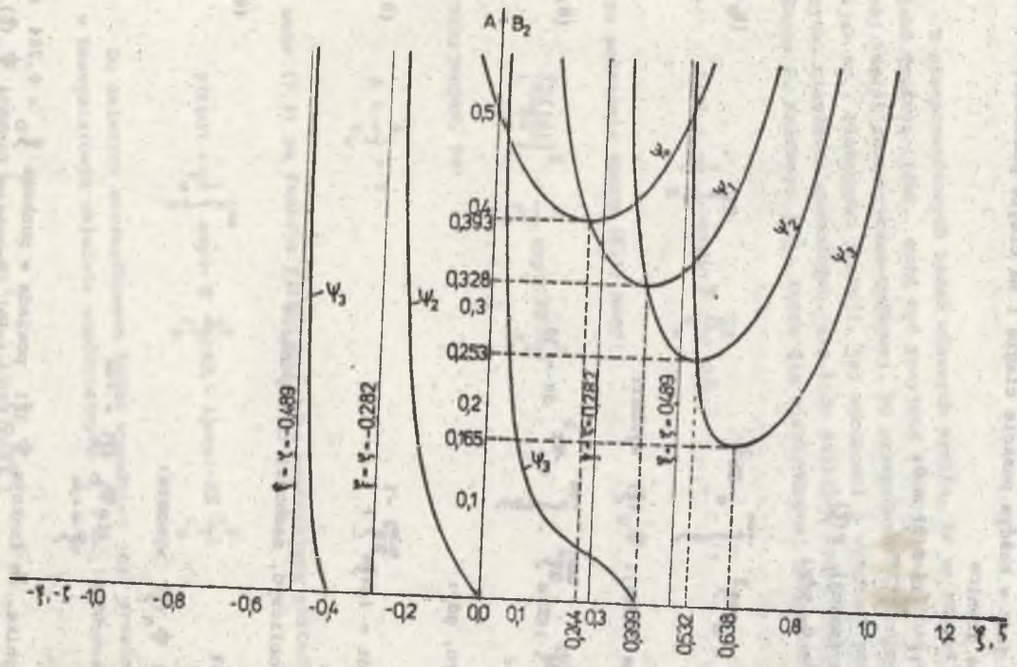
Jak stąd można obliczyć, zachodzi to w punkcie

$$\xi_o = 0{,}244 \tag{8.9}$$

Granice funkcji $\Psi_o(\xi)$ wynoszą:

$$\lim_{\xi \to -\infty} \Psi_o(\xi) = +\infty; \quad \lim_{\xi \to +\infty} \Psi_o(\xi) = +\infty$$

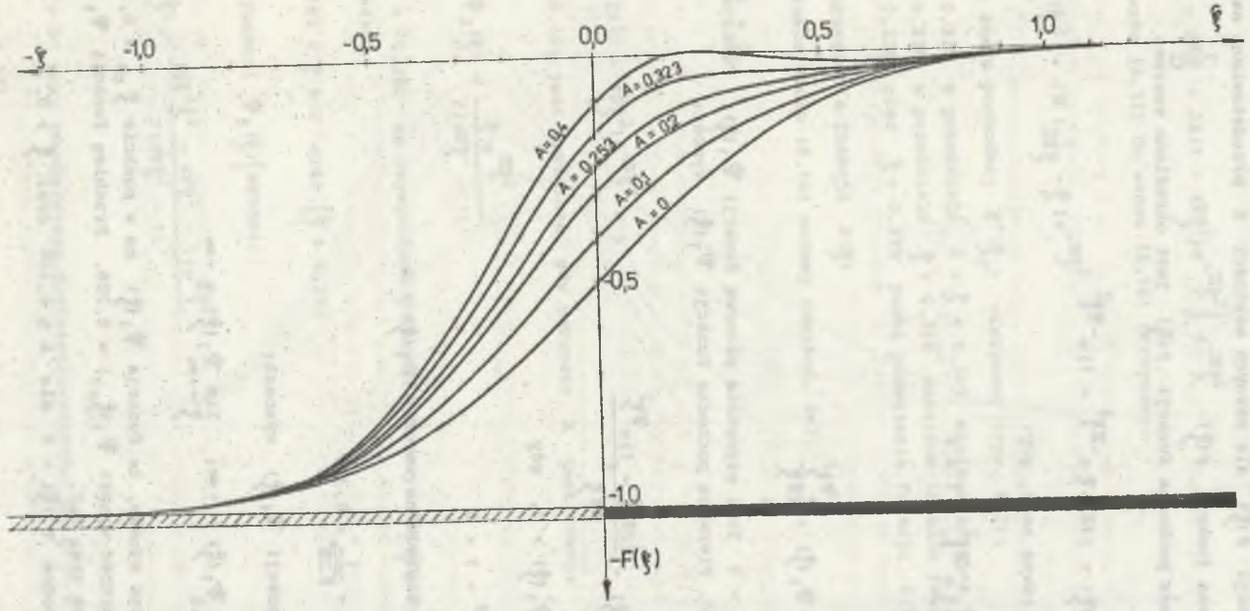
Z powyższego wynika, że funkcja $\Psi_o(\xi)$ posiada w punkcie $\xi_o = 0{,}244$ minimum, którego wartość wynosi $\Psi_o(\xi_o) = 0{,}393$. Przebieg funkcji $\Psi_o(\xi)$ przedstawiono na rys. 8.1




Rys. 8.1. Wyniki badań własności funkcji $F(\xi)$ i $Q'(\xi)$ w zależności od współczynników A i $B_2$ $\Psi_0$ - miejsca zerowe funkcji F i Q, $\Psi_1$ - ekstrema funkcji F i Q oraz miejsca zerowe ich pochodnych $\bar{\tau}$, $\Psi_2$ - punkty przegięcia funkcji F i Q, ekstrema funkcji $\bar{\tau}$ oraz miejsca zerowe funkcji $\varkappa$, $\Psi_3$ - punkty przegięcia funkcji $\bar{\tau}$ oraz ekstrema funkcji $\varkappa$

Fig. 8.1. Results of studies on properties of function $F(\xi)$ and $Q(\xi)$ regarding coefficients A and $B_2$ $\Psi_0$ - zeros of functions F and Q, $\Psi_1$ - extremes of functions F and Q and zero places of their derivatives $\bar{\tau}$, $\Psi_2$ - inflexion points of functions F and Q, estremes of function $\bar{\tau}$ and zero places of function $\varkappa$, $\Psi_3$ - inflexion points of function $\bar{\tau}$ and extremes of function $\varkappa$






Rys. 8.2. Niecki osiadania w jednostkowym układzie bezwymiarowym dla różnych wartości współczynnika A

Fig. 8.2. Subsidence troughs in the dimensionless unitary system for different values of the coefficient A

Zatem dla $A = 0{,}393$ funkcja $F(\xi)$ posiada jedno miejsce zerowe w punkcie $\xi_o = 0{,}244$, natomiast dla $A > 0{,}393$ dwa miejsca zerowe (rys. 8.1). Przebieg funkcji $F(\xi)$ dla różnych wartości $A$ przedstawiono na rys. 8.2.

5. Ekstrema funkcji $F(\xi)$

Pierwsza pochodna funkcji $F(\xi)$ jest określona wzorem:

$$F'(\xi) = (4\pi A\xi e^{-\pi\xi^2} - 1)e^{-\pi\xi^2} \tag{8.10}$$

Jest ona równa zero, gdy:

$$4\pi A\xi e^{-\pi\xi^2} - 1 = 0 \tag{8.11}$$

a stąd

$$A = \Psi_1(\xi) = \frac{e^{\pi\xi^2}}{4\pi\xi} \tag{8.12}$$

Prosta $\xi = 0$ jest asymptotą pionową funkcji $\Psi_1(\xi)$. Funkcja $\Psi_1(\xi) > 0$ dla $\xi > 0$. Pierwsza pochodna funkcji $\Psi_1(\xi)$ wynosi:

$$\Psi_1'(\xi) = \frac{(2\pi\xi^2 - 1)e^{\pi\xi^2}}{4\pi\xi^2} \tag{8.13}$$

Funkcja $\Psi_1'(\xi) = 0$, gdy

$$2\pi\xi^2 - 1 = 0 \tag{8.14}$$

a stąd ze względu na warunek $\Psi_1(\xi) > 0$

$$\xi_{o1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} = 0{,}399 \tag{8.15}$$

Granice funkcji $\Psi_1(\xi)$ wynoszą:

$$\lim_{\xi\to+0} \Psi_1(\xi) = +\infty; \qquad \lim_{\xi\to+\infty} \Psi_1(\xi) = +\infty$$

Z powyższego wynika, że funkcja $\Psi_1(\xi)$ ma w punkcie $\xi_{o1} = 0{,}399$ minimum, którego wartość wynosi $\Psi_1(\xi_{o1}) = 0{,}328$. Przebieg funkcji $\Psi_1(\xi)$ przedstawiono na rys. 8.1.
Zatem pochodna $F'(\xi) = 0$ dla $A \geq 0{,}328$ oraz $\xi > 0$.



Druga pochodna funkcji $F(\xi)$ jest określona wzorem:

$$F''(\xi) = 2\pi\left[\xi + 2A(1 - 4\pi\xi^2)e^{-\pi\xi^2}\right] e^{-\pi\xi^2} \tag{8.16}$$

Wstawiając wzór (8.12) do wzoru (8.16) otrzymamy:

$$F''[\Psi_1(\xi)] = 2\pi\left(\frac{1}{2\pi\xi} - \xi\right)e^{-\pi\xi^2} \tag{8.17}$$

Po zbadaniu znaku pochodnej $F''(\xi_o)$ otrzymamy (rys. 8.2):
- dla $A > 0.328$ w przedziale $0 < \xi < 0{,}399$ minimum lokalne funkcji $F(\xi)$,
- dla $A > 0.328$ w przedziale $\xi > 0{,}399$ maksimum lokalne funkcji $F(\xi)$,
- dla $A = 0{,}328$ oraz $\xi = 0{,}399$ punkt przegięcia funkcji $F(\xi)$.

6. Punkty przegięcia funkcji $F(\xi)$

Na podstawie wzoru (8.16) możemy napisać, że:

$$F''(\xi) = 0,$$

gdy

$$\xi + 2A(1 - 4\pi\xi^2)e^{-\pi\xi^2} = 0 \tag{8.18}$$

Równanie (8.18) jest spełnione, gdy parametr $A$ jest równy:

$$A = \Psi_2(\xi) = \frac{\xi e^{\pi\xi^2}}{2(4\pi\xi^2 - 1)} \tag{8.19}$$

Proste $\xi = \pm 0{,}282$ są asymptotami pionowymi funkcji $\Psi_2(\xi)$. Funkcja $\Psi_2(\xi) > 0$ w przedziałach

$$-0{,}282 < \xi < 0 \quad \text{oraz} \quad \xi > 0{,}282 \tag{8.20}$$

Pochodna funkcji $\Psi_2(\xi)$ wynosi:

$$\Psi_2'(\xi) = \frac{(8\pi^2\xi^4 - 6\pi\xi^2 - 1)e^{\pi\xi^2}}{2(4\pi\xi^2 - 1)^2} \tag{8.21}$$

Funkcja

$\Psi_2'(\xi) = 0$ przy równoczesnym spełnieniu warunku $\Psi_2(\xi) > 0$ w punkcie

$$\xi_{o2} = 0{,}532 \tag{8.22}$$

Granice funkcji $\Psi_2(\xi)$ dla $\xi > 0{,}282$ wynoszą:

$$\lim_{\xi \to 0{,}282^+} \Psi_2(\xi) = +\infty; \qquad \lim_{\xi \to +\infty} \Psi_2(\xi) = +\infty$$

Z powyższego wynika, że funkcja $\Psi_2(\xi_{o2})$ ma w punkcie $\xi_{o2} = 0{,}532$ minimum, którego wartość wynosi $\Psi_2(\xi_{o2}) = 0{,}253$. Przebieg funkcji $\Psi_2(\xi)$ przedstawiono na rys. 8.1.

Trzecia pochodna funkcji $F(\xi)$ jest określona wzorem:

$$F'''(\xi) = 2\pi\left[1 - 2\pi\xi^2 + 8\pi A\xi(4\pi\xi^2 - 3)e^{-\pi\xi^2}\right]e^{-\pi\xi^2} \tag{8.23}$$

Jeżeli do wzoru (8.23) w miejsce A wstawimy funkcję $\Psi_2(\xi)$ określoną wzorem (8.19) to otrzymamy:

$$F'''[\Psi_2(\xi)] = 2\pi\left(\frac{8\pi^2\xi^4 - 6\pi\xi^2 - 1}{4\pi^2 - 1}\right)e^{-\pi\xi^2} \tag{8.24}$$

Funkcja $F'''[\Psi_2(\xi)] \neq 0$ dla $\xi \in R$ za wyjątkiem punktu $\xi_{o2} = 0{,}532$.

Wynika stąd, że w przedziałach, w których $\Psi_2(\xi) > 0$ występują punkty przegięcia, w tym również w punkcie $\xi_{o2}$, co można udowodnić badając pochodne wyższych rzędów.

## 8.2. Badanie własności funkcji $\tau(\xi) = F'(\xi)$

1. Miejsca zerowe

Z badań przeprowadzonych w poprzednim rozdziale wynika, że funkcja $\tau(\xi)$ posiada miejsca zerowe w punktach, w których funkcja $F(\xi)$ posiada ekstrema, a więc dla $A = \Psi_1(\xi)$ określonego wzorem (8.12) (rys. 8.1). Przebieg funkcji $\tau(\xi)$ dla różnych wartości współczynnika A przedstawiono na rys. 8.3.

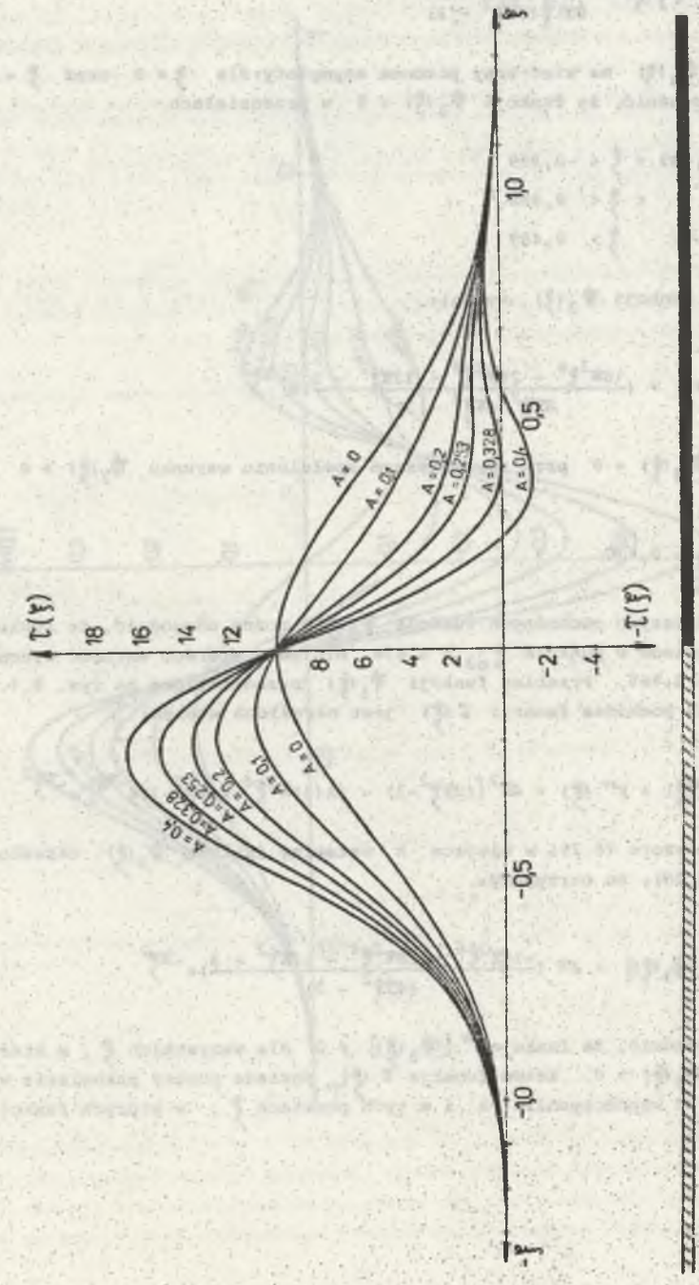
2. Ekstrema

Z badań przeprowadzonych w poprzednim rozdziale wynika, że funkcja $\tau(\xi)$ posiada ekstrema w punktach, w których funkcja $F(\xi)$ posiada punkty przegięcia, a więc dla $A = \Psi_2(\xi)$ określonego wzorem (8.19) (rys. 8.1).

3. Punkty przegięcia

Druga pochodna funkcji $\tau(\xi)$ jest równa $F'''(\xi)$ i jest określona wzorem (8.23). Na podstawie wzoru (8.23) możemy napisać, że $\tau''(\xi) = F'''(\xi) = 0$, gdy:






Rys. 8.3. Wykresy funkcji $\tau(\xi)$ (nachyleń) dla różnych wartości współczynnika A

Fig. 8.3. Diagrams of function $\tau(\xi)$ (inclinations) for different values of the coefficient A

$$A = \Psi_3(\xi) = \frac{(2\pi\xi^2 - 1)e^{\pi\xi^2}}{8\pi\xi(4\pi\xi^2 - 3)} \tag{8.25}$$

Funkcja $\Psi_3(\xi)$ ma więc trzy pionowe asymptoty: dla $\xi = 0$ oraz $\xi = \pm 0{,}489$. Można udowodnić, że funkcja $\Psi_3(\xi) > 0$ w przedziałach

$$\begin{aligned} -0{,}489 < \xi &< -0{,}399 \\ 0 < \xi &< 0{,}399 \\ \xi &> 0{,}489 \end{aligned} \tag{8.26}$$

Pochodna funkcji $\Psi_3(\xi)$ wynosi:

$$\Psi'_3(\xi) = \frac{16\pi^3\xi^6 - 28\pi^2\xi^4 + 12\pi\xi^2 - 3}{8\pi\xi^2(4\pi\xi^2 - 3)^2} e^{-\pi\xi^2} \tag{8.27}$$

Funkcja $\Psi'_3(\xi) = 0$ przy równoczesnym spełnieniu warunku $\Psi_3(\xi) > 0$ w punkcie

$$\xi_{o3} = 0{,}638 \tag{8.28}$$

Z badań dalszych pochodnych funkcji $\Psi_3(\xi)$ można udowodnić, że funkcja $\Psi_3(\xi)$ posiada w punkcie $\xi_{o3} = 0.638$ minimum, którego wartość wynosi $\Psi_3(\xi_{o3}) = 0{,}165$. Przebieg funkcji $\Psi_3(\xi)$ przedstawiono na rys. 8.1.

Trzecia pochodna funkcji $\tilde{c}(\xi)$ jest określona wzorem:

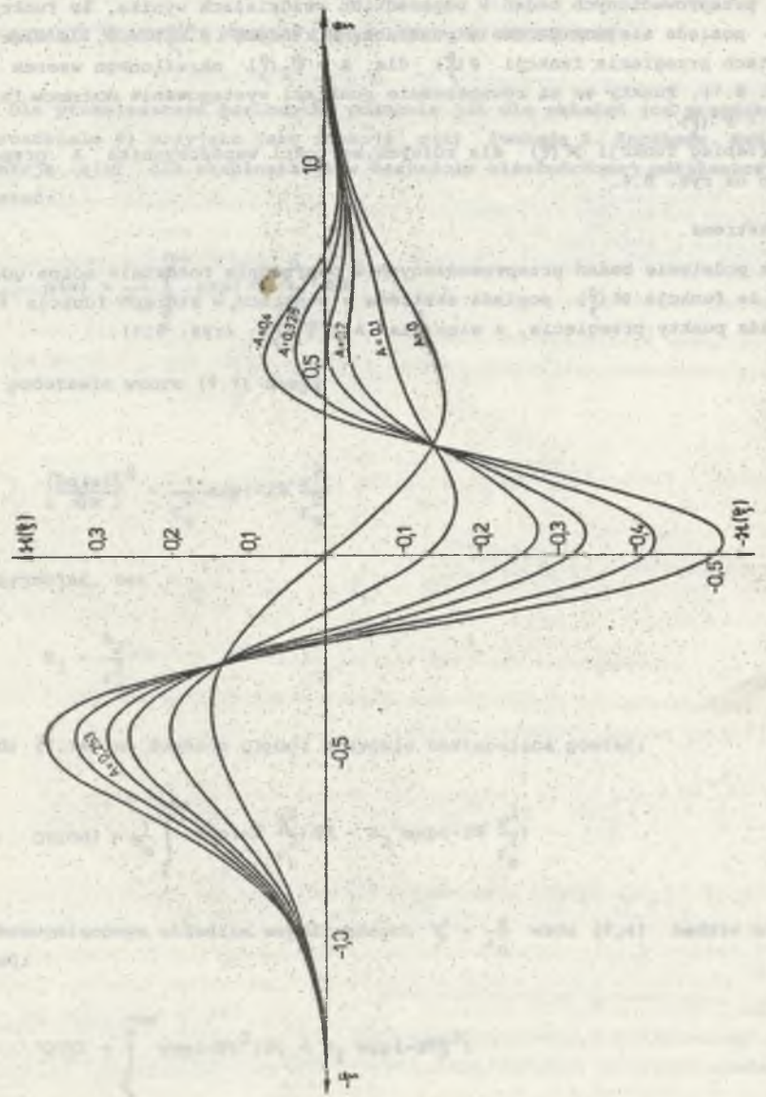
$$\tilde{c}'''(\xi) = F^{IV}(\xi) = 4\pi^2\left[(2\pi\xi^2 - 3) - 4A(16\pi^2\xi^4 - 24\pi\xi^2 - 3)e^{-\pi\xi^2}\right] e^{-\pi\xi^2} \tag{8.29}$$

Jeżeli do wzoru (8.29) w miejsce A wstawimy funkcję $\Psi_3(\xi)$ określoną wzorem (8.25), to otrzymamy:

$$\tilde{c}'''[\Psi_3(\xi)] = 2\pi\left(\frac{-16\pi^3\xi^6 + 28\pi^2\xi^4 - 12\pi\xi^2 + 3}{(4\pi\xi^2 - 3)}\right)e^{-\pi\xi^2} \tag{8.30}$$

Można udowodnić, że funkcja $\tilde{c}'''[\Psi_3(\xi)] \neq 0$ dla wszystkich $\xi$, w których funkcja $\Psi_3(\xi) > 0$. Zatem funkcja $\tilde{c}(\xi)$ posiada punkty przegięcia w zależności od współczynnika A i w tych punktach $\xi$, w których funkcja $\Psi_3(\xi) > 0$.






Rys. 8.4. Wykresy funkcji $\Psi(\xi)$ (krzywizn pionowych) dla różnych wartości współczynnika A

Fig. 8.4. Diagrams of function $\Psi(\xi)$ (vertical curvatures) for different values of the coefficient A

### 8.3. Badanie własności funkcji $\mathcal{K}(\xi) = F''(\xi)$

1. Miejsca zerowe

Z przeprowadzonych badań w poprzednich rozdziałach wynika, że funkcja $\mathcal{K}(\xi)$ posiada miejsca zerowe w punktach, w których $F''(\xi) = 0$, a więc w punktach przegięcia funkcji $F(\xi)$ dla $A = \Psi_2(\xi)$ określonego wzorem (8.19) (rys. 8.1). Punkty te są równocześnie punktami występowania ekstremów funkcji $\tilde{c}(\xi) = F'(\xi)$.

Przebieg funkcji $\mathcal{K}(\xi)$ dla różnych wartości współczynnika A przedstawiono na rys. 8.4.

2. Ekstrema

Na podstawie badań przeprowadzonych w poprzednim rozdziale można udowodnić, że funkcja $\mathcal{K}(\xi)$ posiada ekstrema w punktach, w których funkcja $\tilde{c}(\xi)$ posiada punkty przegięcia, a więc dla $A = \Psi_3(\xi)$ (rys. 8.1).

## 9. BADANIE WŁASNOŚCI FUNKCJI Q(q(x)) ORAZ JEJ POCHODNYCH

Dla przemieszczeń poziomych, podobnie jak dla osiadań (co przedstawiono w rozdziale 8) przyjęto jako funkcję $q(x)$ funkcję S. Knothego. Wzór na funkcję $q(x)$ dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny ma postać:

$$q(x) = \frac{1}{r_u} \int_x^{+\infty} \exp\left(-\pi \frac{\lambda^2}{r_u^2}\right) d\lambda \tag{9.1}$$

Na podstawie wzoru (9.1) mamy:

$$\left[\frac{\partial q(x)}{\partial x}\right]^2 = \frac{1}{r_u^2} \exp\left(-2\pi \frac{x^2}{r_u^2}\right) \tag{9.2}$$

Przyjmując, że:

$$B_2 = \frac{A_2}{r_u^2} \tag{9.3}$$

wzór (7.14) na funkcję $Q(q(x))$ przyjmie następującą postać:

$$Q(q(x)) = \frac{1}{r_u} \int_x^{+\infty} \exp\left(-\pi \frac{\lambda^2}{r_u^2}\right) d\lambda - B_2 \exp\left(-2\pi \frac{x^2}{r_u^2}\right) \tag{9.4}$$

W bezwymiarowym układzie współrzędnych $\zeta = \frac{x}{r_u}$ wzór (9.4) będzie miał postać:

$$Q(\zeta) = \int_\zeta^{+\infty} \exp(-\pi t^2)\, dt - B_2 \exp(-2\pi\zeta^2) \tag{9.5}$$

Porównując wzory (9.5) i (8.5) można stwierdzić, że funkcje $Q(\zeta)$ oraz $F(\xi)$ mają bardzo podobny przebieg. Nie ma więc potrzeby badania funkcji $Q(\zeta)$, gdyż z wykresów przedstawionych na rys. 8.1 można dla danego $B_2$ uzyskać wszystkie dane o przebiegu i własnościach funkcji $Q(\zeta)$.

## 10. WZORY NA WSKAŹNIKI DEFORMACJI POD WPŁYWEM EKSPLOATACJI W KSZTAŁCIE NIESKOŃCZONEJ PÓŁPŁASZCZYZNY

Do opisu wskaźników deformacji przyjęto układ współrzędnych prostokątnych opisany w rozdziale 7.1.

Do określenia wzorów na wskaźniki deformacji pod wpływem eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny przyjęto następujące założenia:

1. Do opisu przemieszczeń pionowych i poziomych przyjmuje się odpowiednio dwie niezależne nieliniowe funkcje F(f(x)) i Q(q(x)) (rys. 7.5) opisane wzorami:

$$F(f(x)) = f(x) - A_1 \left[\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right]^2$$
$$Q(q(x)) = q(x) - A_2 \left[\frac{\partial q(x)}{\partial x}\right]^2 \qquad (10.1)$$

gdzie:

$A_1$, $A_2$ - współczynniki ujmujące stopień asymetrii wpływów.

2. Przemieszczenia dowolnego punktu przy uwzględnieniu funkcji F(f(x)) i Q(q(x)) możemy opisać za pomocą wzorów

$$w(x) = -a\,g\left\{f(x) - A_1 \left[\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right]^2\right\}$$
$$u(x) = a\,g\,B_o \left[\frac{\partial q(x)}{\partial x} - 2A_2 \frac{\partial q(x)}{\partial x} \frac{\partial^2 q(x)}{\partial x^2}\right] \qquad (10.2)$$

gdzie:

$B_o$ - współczynnik proporcjonalności.

3. Do określenia funkcji pomocniczych f(x) i q(x) przyjęto funkcję osiadania teorii S. Knothego przy zastosowaniu odpowiednich parametrów

$$f(x) = \frac{1}{r_w}\int_x^\infty \exp(-\pi \frac{\lambda^2}{r_w^2})\,d\lambda$$
$$q(x) = \frac{1}{r_u}\int_x^\infty \exp(-\pi \frac{\lambda^2}{r_u^2})\,d\lambda \qquad (10.3)$$



gdzie:

$r_w$ - parametr rozproszenia wpływów dla ruchów pionowych (rys. 7.5),

$r_u$ - parametr rozproszenia wpływów dla ruchów poziomych.

### 10.1. Wzory szczegółowe na wskaźniki deformacji

Dla uproszczenia wzorów oraz ułatwienia obliczeń, wprowadza się odpowiednio, w miejsce współczynników $A_1$, $B_o$ i $A_2$ bezwymiarowe współczynniki A, $B_1$ i $B_2$ określone za pomocą wzorów (7.5), (7.16) i (7.19).

Wzory na poszczególne wskaźniki deformacji dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny mają postać:

$$w(x) = -ag\left[\frac{1}{r_w}\int_x^\infty \exp(-\pi \frac{\lambda^2}{r_w^2})\,d\lambda - A\exp(-2\pi \frac{x^2}{r_w^2})\right] \qquad (10.4)$$

$$T(x) = \frac{ag}{r_w}\left[\exp(-\pi \frac{x^2}{r_w^2}) - 4\pi A \frac{x}{r_w} \exp(-2\pi \frac{x^2}{r_w^2})\right] \qquad (10.5)$$

$$K(x) = -\frac{2\pi ag}{r_w^2}\left[\frac{x}{r_w} \exp(-\pi \frac{x^2}{r_w^2}) + 2A(1 - 4\pi \frac{x^2}{r_w^2}) \exp(-2\pi \frac{x^2}{r_w^2})\right] \qquad (10.6)$$

$$u(x) = -B_1 ag\left[\exp(-\pi \frac{x^2}{r_u^2}) - 4\pi B_2 \frac{x}{r_u} \exp(-2\pi \frac{x^2}{r_u^2})\right] \qquad (10.7)$$

$$\varepsilon_x(x) = B_1 \frac{2\pi ag}{r_u}\left[\frac{x}{r_u} \exp(-\pi \frac{x^2}{r_u^2}) + 2B_2(1 - 4\pi \frac{x^2}{r_u^2}) \exp(-2\pi \frac{x^2}{r_u^2})\right] \qquad (10.8)$$

Dla obliczania wskaźników deformacji według wzorów (10.4) do (10.8) został opracowany wspólnie z P. Strzałkowskim program na mikrokomputer ZX SPECTRUM. Wyniki końcowe można uzyskać w formie tablic wydruku lub w postaci wykresów względnie równocześnie w formie tablic i wykresów.

Na podstawie wzorów (10.4) do (10.8) można również w prosty sposób otrzymać wzory dla eksploatacji w kształcie nieskończonego paska. Wzory takie zostały wyprowadzone oraz został opracowany program na mikrokomputer ZX SPECTRUM.

Wzory (10.4) do (10.8) można przedstawić w układzie bezwymiarowym $\xi = x/r_w$ oraz $\zeta = x/r_u$. Wzory te mają postać:

$$w(\xi) = -ag\left[\int_{\xi}^{+\infty} \exp(-\pi t^2)dt - A\exp(-2\pi\xi^2)\right] \tag{10.9}$$

$$T(\xi) = \frac{ag}{r_w}\left[\exp(-\pi\xi^2) - 4\pi A\xi\exp(-2\pi\xi^2)\right] \tag{10.10}$$

$$K(\xi) = \frac{-2\pi ag}{r_w^2}\left[\xi\exp(-\pi\xi^2) + 2A(1 - 4\pi\xi^2)\exp(-2\pi\xi^2)\right] \tag{10.11}$$

$$u(\xi) = -B_1 ag\left[\exp(-\pi\xi^2) - 4\pi B_2\xi\exp(-2\pi\xi^2)\right] \tag{10.12}$$

$$\delta_x(\xi) = B_1\frac{2\pi ag}{r_w}\left[\xi\exp(-\pi\xi^2) + 2B_2(1 - 4\pi\xi^2)\exp(-2\pi\xi^2)\right] \tag{10.13}$$

Powyższe wzory można wykorzystać do sporządzenia odpowiednich nomogramów, do obliczania wskaźników deformacji.

## 10.2. Wzory na maksymalne wskaźniki deformacji oraz miejsca ich występowania

Na podstawie badań własności funkcji $F(\xi)$ i $Q(\xi)$ przeprowadzonych w rozdziałach 8 i 9, a przedstawionych graficznie na rys. 8.1 możemy określić w zależności od $A$ lub $B_2$, jakie i gdzie występują charakterystyczne punkty tych funkcji w układzie współrzędnych bezwymiarowych. Wystarczy np.: dla danego $A$ odczytać wartość $\xi$ z wykresu, pomnożyć przez $r_w$, aby otrzymać odległość od krawędzi eksploatacji w metrach. Są to bardzo istotne informacje, a dla uzyskania pełniejszego obrazu potrzebna jest jeszcze wartość poszczególnych wskaźników deformacji w tych charakterystycznych punktach.

Korzystając z wyników badań funkcji $F(\xi)$ i $Q(\xi)$ oraz z wzorów (10.4) do (10.8) możemy napisać następujące wzory na poszczególne wskaźniki deformacji:

- Osiadanie w punktach przegięcia niecki osiadania

Jak udowodniono w rozdziale 8 funkcja $F(\xi)$ ma punkty przegięcia w zależności od współczynnika $A = \Phi_2(\xi)$ określonego wzorem (8.19). Jeżeli do wzoru (10.9) wstawimy w miejsce $A$ funkcję $\Phi_2(\xi)$ to otrzymamy:

$$w_p = -ag\left[\int_{\xi}^{+\infty} \exp(-\pi t^2)dt - \frac{\xi\exp(-\pi\xi^2)}{2(4\pi\xi^2 - 1)}\right] \tag{10.14}$$



Oznaczając przez $F(\xi p)$ wyrażenie:

$$F(\xi p) = \int_{\xi}^{+\infty} \exp(-\pi t^2)dt - \frac{\xi\exp(-\pi\xi^2)}{2(4\pi\xi^2 - 1)} \tag{10.15}$$

otrzymamy prosty wzór na wartość osiadania w punktach przegięcia

$$w_p = -ag\,F(\xi p) \tag{10.16}$$

Wykres funkcji $F(\xi p)$ w zależności od współczynnika $A$ przedstawiono na rys. 10.1. Odczytując z wykresu wartość funkcji $F(\xi p)$ dla danego $A$ oraz wstawiając ją do wzoru (10.16) otrzymamy wartość osiadania w punkcie przegięcia.

Z wykresu na rys. 10.1 wynika, że wartość osiadania w punktach przegięcia zależy od współczynnika A.
Miejsce występowania punktu przegięcia w stosunku do krawędzi eksploatacji możemy określić ze wzoru

$$x_p = \xi p\, r_w \tag{10.16a}$$

Wartość bezwymiarową $\xi p$ dla danego współczynnika $A$ możemy odczytać z wykresu na rys. 8.1.

- Ekstremalne nachylenie

Z przeprowadzonych badań wynika, że funkcja nachylenia $T(\xi) = F'(\xi)$ określona wzorem (8.10) przyjmuje ekstremalne wartości dla współczynnika $A = \Phi_2(\xi)$ określonego wzorem (8.19). Jeżeli do wzoru (10.10) w miejsce współczynnika $A$ wstawimy funkcję $\Phi_2(\xi)$, to otrzymamy wzór na ekstremalne nachylenie:

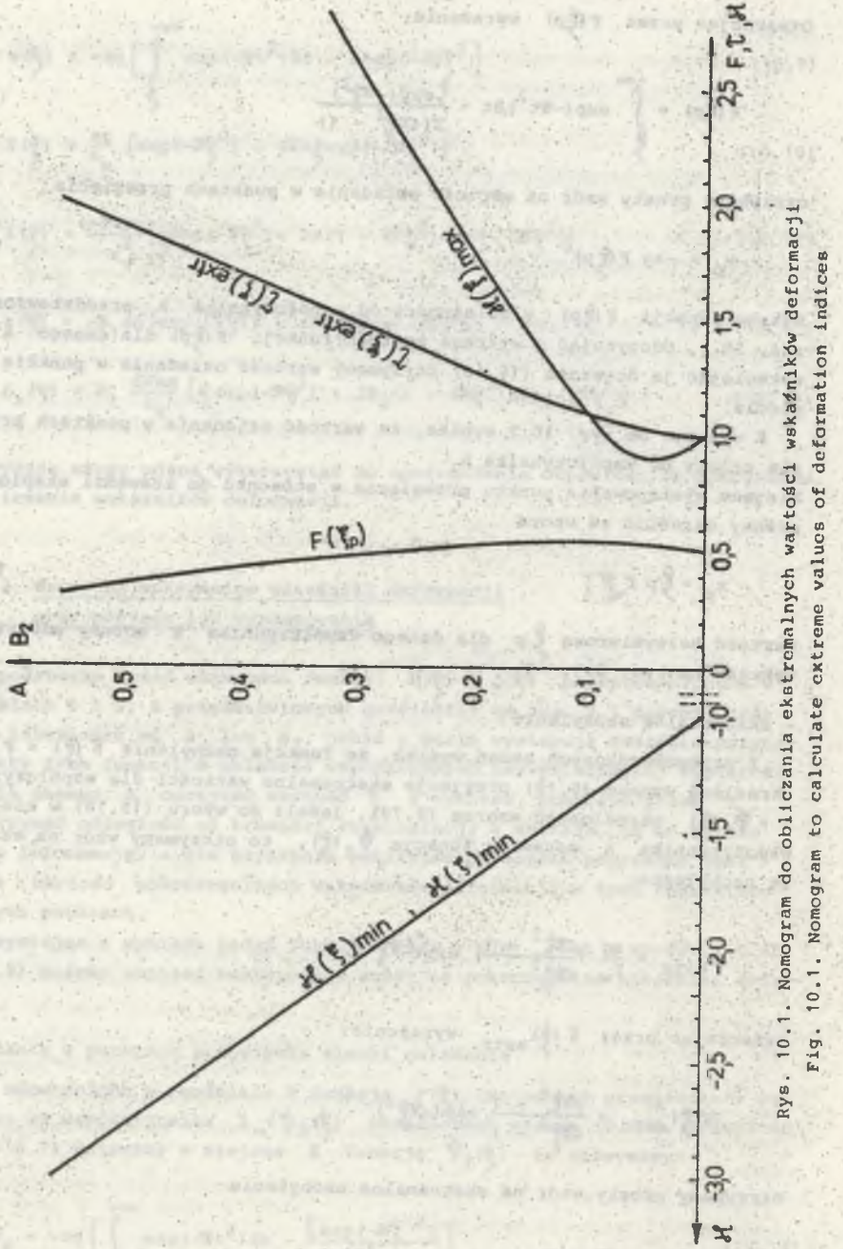
$$T_{extr} = \frac{ag}{r_w}\left(\frac{2\pi\xi^2 - 1}{4\pi\xi^2 - 1}\right)\exp(-\pi\xi^2) \tag{10.17}$$

Oznaczając przez $T(\xi)_{extr}$ wyrażenie:

$$T(\xi)_{extr} = \frac{2\pi\xi^2 - 1}{4\pi\xi^2 - 1}\exp(-\pi\xi^2) \tag{10.18}$$

otrzymamy prosty wzór na ekstremalne nachylenia

$$T_{extr} = \frac{ag}{r_w}T(\xi)_{extr} \tag{10.19}$$




Rys. 10.1. Nomogram do obliczania ekstremalnych wartości wskaźników deformacji
Fig. 10.1. Nomogram to calculate extreme values of deformation indices



Wykresy funkcji $\bar{\tau}(\xi)_{extr}$ w zależności od współczynnika A przedstawiono na rys. 10.1.
Maksymalne nachylenia występują w punkcie przegięcia krzywej osiadania, którego odległość od krawędzi eksploatacji jest określona wzorem (10.16a).

- Ekstremalne krzywizny

Z przeprowadzonych badań wynika, że funkcja krzywizn $\varkappa(\xi) = F''(\xi)$ określona wzorem (8.16) przyjmuje ekstremalne wartości dla współczynnika $A=\Phi_3(\xi)$ określonego wzorem (8.25). Jeżeli do wzoru (10.11) na krzywiznę wstawimy w miejsce A funkcję $\Phi_3(\xi)$, to otrzymamy wzór na ekstremalną krzywiznę:

$$K_{extr} = -\frac{ag}{r_w^2}\left[\frac{8\pi^2\xi^4 - 6\pi\xi^2 - 1}{2\xi(4\pi\xi^2 - 3)}\right]\exp(-\pi\xi^2) \tag{10.20}$$

Oznaczając przez $\varkappa(\xi)_{extr}$ wyrażenie:

$$\varkappa(\xi)_{extr} = \frac{8\pi^2\xi^4 - 6\pi\xi^2 - 1}{2\xi(4\pi\xi^2 - 3)}\exp(-\pi\xi^2) \tag{10.21}$$

otrzymamy prosty wzór na ekstremalne krzywizny

$$K_{extr} = -\frac{ag}{r_w^2}\varkappa(\xi)_{extr} \tag{10.22}$$

Wykresy funkcji $\varkappa(\xi)_{extr}$ w zależności od współczynnika A przedstawiono na rys. 10.1.
Miejsce występowania ekstremalnych krzywizn można obliczyć ze wzoru:

$$\left.\begin{aligned} x_{k1} &= \xi_{k1} r_w \\ x_{k2} &= \xi_{k2} r_w \end{aligned}\right| \begin{aligned} &\text{- nad wybraną przestrzenią,} \\ &\text{- nad calizną.} \end{aligned} \tag{10.22a}$$

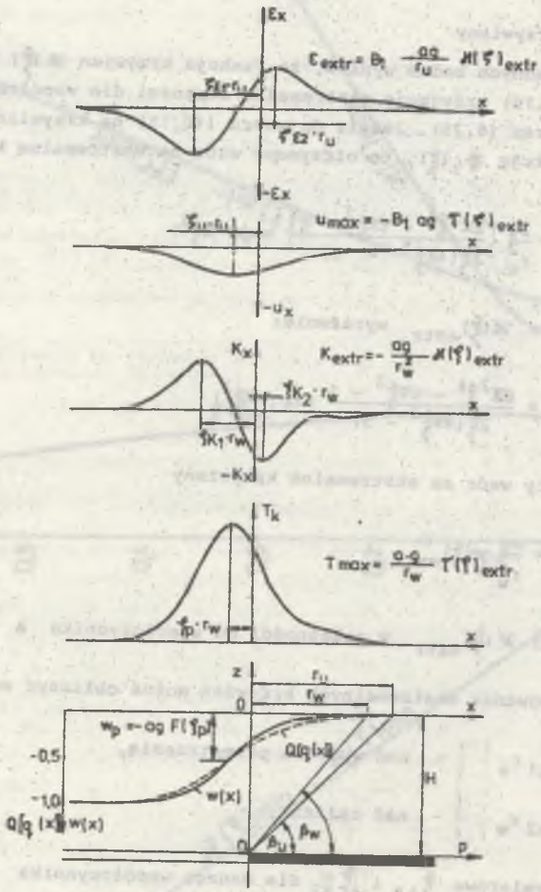
Wartości bezwymiarowe $\xi_{k1}$ i $\xi_{k2}$ dla danego współczynnika A można odczytać z wykresów na rys. 8.1.

Korzystając z własności funkcji $Q(\xi)$ oraz funkcji określonych wzorami (10.18) i (10.21) możemy napisać wzory na ekstremalne przemieszczenia oraz odkształcenia poziome.

- Ekstremalne przemieszczenia poziome

Na podstawie wzoru (10.12) oraz (10.18) możemy napisać:

$$u_{extr} = -B_1\, ag\, \bar{\tau}(\xi)_{extr} \tag{10.23}$$




Rys. 10.2. Rozkład wskaźników deformacji w rejonie krawędzi dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny według metody autora

Fig. 10.2. Distribution of the deformation indices in the area of edge for exploitation in the shape of infinite half-plane acc. to the author's method



Wykresy funkcji $\tilde{c}(\varphi)_{extr}$ w zależności od współczynnika $B_2$ przedstawiono na rys. 10.1.

Miejsce występowania ekstremalnych przemieszczeń poziomych można określić ze wzoru:

$$x_u = \varphi_u r_u \quad \left[\ \right] \tag{10.35a}$$

Wartości bezwymiarowe $\varphi_u$ dla danego współczynnika $B_2$ można odczytać z wykresu na rys. 8.1.

- Ekstremalne odkształcenia poziome

Na podstawie wzorów (10.13) oraz (10.21) możemy napisać:

$$\varepsilon_{x\ extr} = B_1 \left| \frac{ag}{r_u} \right| \mathcal{H}(\varphi)_{extr} \tag{10.24}$$

Wykresy funkcji $\mathcal{H}(\varphi)_{extr}$ w zależności od współczynnika $B_2$ przedstawiono na rys. 10.1.

Miejsce występowania ekstremalnych wartości odkształceń poziomych można określić wzorem:

$$x_{\varepsilon 1} = \varphi_{\varepsilon 1} r_u \quad \left[\ \right] \text{ - nad wybraną przestrzenią}$$
$$x_{\varepsilon 2} = \varphi_{\varepsilon 2} r_u \quad \left[\ \right] \text{ - nad calizną} \tag{10.24a}$$

Wartości bezwymiarowe $\varphi_{\varepsilon 1}$ i $\varphi_{\varepsilon 2}$ dla danego współczynnika $B_2$ można odczytać z wykresu na rys. 8.1.

Funkcje występujące we wzorach na ekstremalne wartości wskaźników deformacji można przedstawić również w postaci tablic w zależności od A i $B_2$.

Rozkład wskaźników deformacji dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny według wzorów zaproponowanych przez autora przedstawiono na rys. 10.2.

## 11. PARAMETRY I WSPÓŁCZYNNIKI WYSTĘPUJĄCE WE WZORACH NA WSKAŹNIKI DEFORMACJI ORAZ SPOSÓB ICH WYZNACZANIA DLA EKSPLOATACJI W KSZTAŁCIE NIESKOŃCZONEJ PÓŁPŁASZCZYZNY

Dla obliczenia wskaźników deformacji według każdej teorii potrzebna jest znajomość odpowiednich parametrów i współczynników. W proponowanej przez autora metodzie obliczania wskaźników deformacji występują następujące parametry i współczynniki:

- współczynnik osiadania - a,
- parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów pionowych - $r_w$,
- współczynnik bezwymiarowy - A,
- współczynnik bezwymiarowy - $B_1$,
- parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów poziomych - $r_u$,
- współczynnik bezwymiarowy - $B_2$.

Potrzeba przyjęcia dwóch parametrów rozproszenia wpływów głównych $r_w$ i $r_u$, jak to już wcześniej stwierdzono, wynika z dokonanych analiz pomiarów geodezyjnych. Zasięg wpływów dla ruchów poziomych jest większy niż dla ruchów pionowych. Nie można więc ich opisać za pomocą jednego parametru. Występowanie dwóch parametrów rozproszenia wpływów głównych można wytłumaczyć, np.: anizotropową budową górotworu, pionowym kierunkiem działania siły ciężkości, itp.

Współczynnik A, jak to wynika z przeprowadzonej analizy funkcji $F(\xi)$, decyduje o stopniu asymetrii niecki osiadania, a także przesunięciu jej w kierunku wybranej przestrzeni.

Przy odpowiednio dużej wartości współczynnika A można teoretycznie uzyskać nawet wypiętrzenie punktów nad calizną. Współczynnik A decyduje również o miejscu występowania punktów przegięcia niecki osiadania oraz miejscach występowania ekstremalnych nachyleń i krzywizn pionowych.

Współczynnik $B_1$ decyduje o wartości przemieszczeń i odkształceń poziomych.

Współczynnik $B_2$ spełnia podobną rolę, jak współczynnik A. Decyduje on o stopniu asymetrii przemieszczeń poziomych, a także o miejscu występowania ekstremalnych przemieszczeń oraz odkształceń poziomych.

Przyjęcie dwóch różnych współczynników A i $B_2$ wynika z przeprowadzonych analiz wyników pomiarów geodezyjnych. Jest także rezultatem niepotwierdzania się w praktyce związku S.G. Awierszyna. Różne wartości A i $B_2$ powodują, że miejsce występowania maksymalnych nachyleń nie pokrywa się z miejscem występowania maksymalnych przemieszczeń poziomych, jak również



miejsce występowania maksymalnych krzywizn nie pokrywa się z miejscem występowania maksymalnych odkształceń poziomych w stosunku do krawędzi eksploatacji. W przypadku, gdy $B_2$ jest mniejsze od A, przy równej wartości parametrów $r_w = r_u$, wówczas maksymalne odkształcenia poziome występują dalej a maksymalne krzywizny bliżej krawędzi eksploatacji.

Wszystkie wymienione wyżej parametry i współczynniki można wyznaczyć na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych. Najłatwiej i najprościej można je wyznaczyć na podstawie pomiarów geodezyjnych pod wpływem eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny dla linii usytuowanej prostopadle do krawędzi eksploatacji. Do wyznaczenia wszystkich parametrów i współczynników potrzebne są wyniki pomiarów osiadań oraz przemieszczeń poziomych dla niecki statycznej.

Poniżej podane zostaną sposoby wyznaczania parametrów i współczynników dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny.

### 11.1. Współczynnik osiadania - a

Współczynnik osiadania a przyjmuje się, jako stały dla danej eksploatacji i można go wyznaczyć z pomierzonych osiadań według znanych z literatury metod lub obliczyć z odpowiednich wzorów empirycznych [60].

### 11.2. Parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów pionowych - $r_w$

Nachylenie niecki osiadania dla punktu położonego nad krawędzią eksploatacji, tj. dla $x = 0$ na podstawie wzoru (10.5) wynosi:

$$T_x(0) = \frac{ag}{r_w} \tag{11.1}$$

stąd możemy obliczyć:

$$r_w = \frac{ag}{T_x(0)} \tag{11.2}$$

Znając głębokość eksploatacji H możemy wyznaczyć parametr $tg\beta_w$ ze wzoru:

$$tg\beta_w = \frac{H}{r_w} \tag{11.3}$$

Wyznaczony ze wzoru (11.2) parametr rozproszenia wpływów głównych $r_w$ będzie zawsze większy od parametru r wyznaczonego z maksymalnych nachyleń

niecki osiadania, gdyż nachylenie niecki nad krawędzią jest zawsze mniejsze od maksymalnych nachyleń występujących w punkcie przegięcia niecki nad wybraną przestrzenią. W związku z tym parametr $r_w$ należy nieco inaczej interpretować, niż dotychczasowy parametr r.

Z powyższego wynika, że znając z pomiarów geodezyjnych nachylenie nad krawędzią eksploatacji możemy wyznaczyć parametr $r_w$. Dla pokładów nie zalegających poziomo należy przy ustalaniu pomierzonych nachyleń uwzględnić dewiację wpływów ze względu na upad pokładu.

11.3. Współczynnik - A

Osiadanie punktu położonego nad krawędzią eksploatacji, tj. dla $x = 0$ na podstawie wzoru (10.4) wynosi:

$$w(0) = -a g (0,5 - A) \tag{11.4}$$

stąd możemy obliczyć współczynnik A

$$A = 0,5 + \frac{w(0)}{a g} \tag{11.5}$$

Z powyższego wynika, że mając zmierzone osiadania nad krawędzią eksploatacji oraz maksymalne osiadania możemy wyznaczyć współczynnik A.

11.4. Współczynnik $B_1$

Przemieszczenie poziome punktu nad krawędzią eksploatacji, tj. dla $x = 0$ na podstawie wzoru (10.7) wynosi:

$$u(0) = -B_1 a g \tag{11.6}$$

stąd możemy obliczyć współczynnik $B_1$

$$B_1 = -\frac{u(0)}{a g} \tag{11.7}$$

Z powyższego wynika, że znając przemieszczenie poziome nad krawędzią eksploatacji oraz maksymalne osiadania możemy wyznaczyć współczynnik $B_1$.



11.5. Parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów poziomych - $r_u$

Na podstawie wzorów (7.12) i (7.19) możemy napisać:

$$\int_{+\infty}^{-\infty} u(x)dx = a g B_1 r_u \tag{11.8}$$

stąd parametr $r_u$ wynosi:

$$r_u = \frac{\int_{+\infty}^{-\infty} u(x)dx}{B_1 a g} \tag{11.9}$$

Z powyższego wynika, że mając pomierzone przemieszczenia poziome oraz maksymalne osiadania można wyznaczyć parametr rozproszenia wpływów głównych $r_u$.

11.6. Współczynnik $B_2$

Na podstawie wzorów (7.11), (7.19) oraz (9.4) dla punktu położonego nad krawędzią eksploatacji, tj. $x = 0$ możemy napisać:

$$\int_{+\infty}^{0} u(x)dx = a g B_1 r_u (0,5 - B_2) \tag{11.10}$$

stąd współczynnik $B_2$ wynosi:

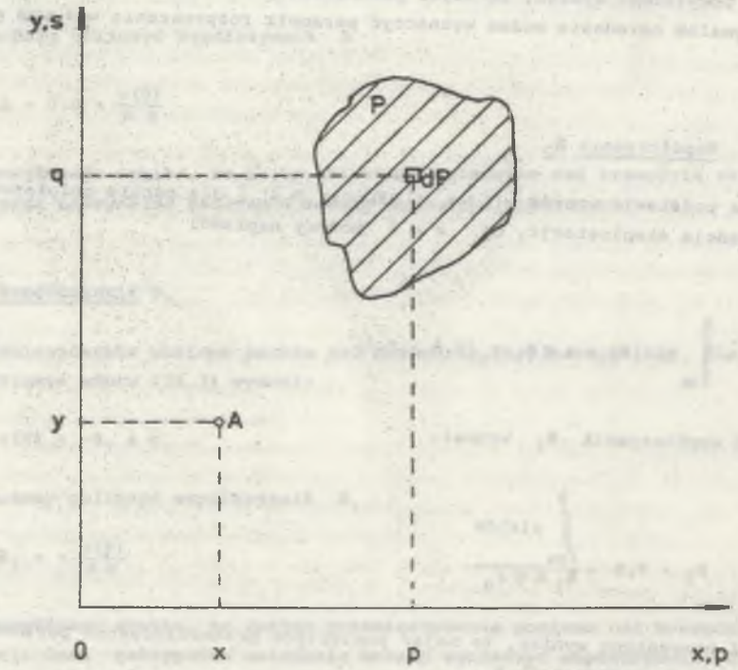
$$B_2 = 0,5 - \frac{\int_{+\infty}^{0} u(x)dx}{B_1 a g r_u} \tag{11.11}$$

Z powyższego wynika, że mając pomierzone przemieszczenia poziome możemy wyznaczyć współczynnik $B_2$.

Podane powyżej wzory na parametry i współczynniki odnoszą się do eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny. Opracowana jest też metoda wyznaczania parametrów i współczynników dla eksploatacji w kształcie prostokąta i linii dowolnie usytuowanej względem tego prostokąta.

## 12. WZORY NA WSKAŹNIKI DEFORMACJI DLA EKSPLOATACJI O DOWOLNYM KSZTAŁCIE

Przyjmijmy układ współrzędnych prostokątnych (p,s,z), którego początek znajduje się w stropie poziomo zalegającego pokładu, a oś z jest skierowana pionowo ku górze (rys. 12.1) oraz drugi układ współrzędnych (x,y,z'), którego oś z' pokrywa się z osią z, a osie x,y są odpowiednio równo-




Rys. 12.1 Schemat eksploatacji o dowolnym kształcie w prostokątnym układzie współrzędnych

Fig. 12.1.Exploitation scheme of any shape in the orthogonal coordinate system



ległe do osi p,s układu pierwszego i leżą w płaszczyźnie poziomej rozpatrywanego horyzontu. W rozpatrywanym w pracy przypadku leżą one na powierzchni terenu, którą z reguły przyjmuje się za płaszczyznę poziomą i wówczas z jest wielkością stałą (z = H).

Stan przemieszczeń punktu A(x,y) położonego na powierzchni terenu możemy opisać za pomocą wzorów:

$$w(x,y) = -a\ g\ F(f(p,s,x,y)) \tag{12.1}$$

$$u(x,y) = B_o\ a\ g\ \frac{\partial Q(q(p,s,x,y))}{\partial x} \tag{12.2}$$

$$v(x,y) = B_o\ a\ g\ \frac{\partial Q(q(p,s,x,y))}{\partial y} \tag{12.3}$$

gdzie:

u,v,w - przemieszczenia punktu odpowiednio w kierunku osi x,y,z

F(f(p,s,x,y)) - funkcja osiadania określona na podstawie rozważań przeprowadzonych w rozdziale 7 wzorem:

$$F(f(p,..)) = f(p,..) - A_1 \left\{ \left[\frac{\partial f(p,..)}{\partial x}\right]^2 + \left[\frac{\partial f(p,..)}{\partial y}\right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{12.4}$$

Q(q(p,s,x,y)) - funkcja przemieszczeń poziomych określona na podstawie rozważań przeprowadzonych w rozdziale 7 wzorem:

$$Q(q(p,..)) = q(p,..) - A_2 \left\{ \left[\frac{\partial q(p,..)}{\partial x}\right]^2 + \left[\frac{\partial q(p,..)}{\partial y}\right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{12.5}$$

gdzie:

$A_1$, $A_2$ - współczynniki ujmujące stopień asymetrii wpływów.

Funkcje f(p,..) i q(p,..) oznaczają tutaj całkę podwójną z funkcji wpływów dowolnej teorii geometryczno-całkowej rozciągniętą na obszar P wybranego pokładu. Przyjmując do dalszych rozważań podobnie, jak dla nieskończonej półpłaszczyzny funkcję wpływów teorii S. Knothego możemy napisać:

$$f(p,..) = \frac{1}{r_w^2} \iint_P \exp\left[-\pi \frac{(p-x)^2 + (s-y)^2}{r_w^2}\right] dp\ ds \tag{12.6}$$

$$q(p,..) = \frac{1}{r_u^2} \iint_P \left| \exp\left[-\pi \frac{(p-x)^2 + (s-y)^2}{r_u^2}\right] dp\ ds \right. \tag{12.7}$$

Wzory podstawowe na poszczególne wskaźniki deformacji w układzie x,y będą miały postać:

- osiadanie

$$w = -ag\left\{f(p,..) - A_1\left[\left(\frac{\partial f(p,..)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(p,..)}{\partial y}\right)^2\right]\right\} \qquad (12.8)$$

- nachylenia

$$T_x = -ag\left\{\frac{\partial f(p,..)}{\partial x} - 2A_1\left[\frac{\partial f(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial x^2} + \frac{\partial f(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial y\,\partial x}\right]\right\} \qquad (12.9)$$

$$T_y = -ag\left\{\frac{\partial f(p,..)}{\partial y} - 2A_1\left[\frac{\partial f(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial x\,\partial y} + \frac{\partial f(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial y^2}\right]\right\} \qquad (12.10)$$

- krzywizny pionowe

$$K_x = -ag\left\{\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial x^2} - 2A_1\left[\left(\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial x^2}\right)^2 + \frac{\partial f(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 f(p,..)}{\partial x^3} + \left(\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial y\,\partial x}\right)^2 + \frac{\partial f(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 f(p,..)}{\partial y\,\partial x^2}\right]\right\} \qquad (12.11)$$

$$K_y = -ag\left\{\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial y^2} - 2A_1\left[\left(\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial x\,\partial y}\right)^2 + \frac{\partial f(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 f(p,..)}{\partial x\,\partial y^2} + \left(\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial y^2}\right)^2 + \frac{\partial f(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 f(p,..)}{\partial y^3}\right]\right\} \qquad (12.12)$$

- skręcenie geodezyjne

$$\Lambda_{xy} = -ag\left\{\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial x\,\partial y} - 2A_1\left[\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial x\,\partial y}\,\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial x^2} + \frac{\partial f(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 f(p,..)}{\partial x^2\,\partial y} + \frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial y^2}\,\frac{\partial^2 f(p,..)}{\partial y\,\partial x} + \frac{\partial f(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 f(p,..)}{\partial y\,\partial x\,\partial y}\right]\right\} \qquad (12.13)$$

- przemieszczenia poziome

$$u = B_o ag\left\{\frac{\partial q(p,..)}{\partial x} - 2A_2\left[\frac{\partial q(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial x^2} + \frac{\partial q(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial y\,\partial x}\right]\right\} \qquad (12.14)$$



$$v = B_o ag\left\{\frac{\partial q(p,..)}{\partial y} - 2A_2\left[\frac{\partial q(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial x\,\partial y} + \frac{\partial q(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial y^2}\right]\right\} \qquad (12.15)$$

- odkształcenia poziome

$$\varepsilon_x = B_o ag\left\{\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial x^2} - 2A_2\left[\left(\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial x^2}\right)^2 + \frac{\partial q(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 q(p,..)}{\partial x^3} + \left(\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial y\,\partial x}\right)^2 + \frac{\partial q(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 q(p,..)}{\partial y\,\partial x^2}\right]\right\} \qquad (12.16)$$

$$\varepsilon_y = B_o ag\left\{\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial y^2} - 2A_2\left[\left(\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial x\,\partial y}\right)^2 + \frac{\partial q(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 q(p,..)}{\partial x\,\partial y^2} + \left(\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial y^2}\right)^2 + \frac{\partial q(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 q(p,..)}{\partial y^3}\right]\right\} \qquad (12.17)$$

- odkształcenia postaciowe

$$\gamma_{xy} = 2B_o ag\left\{\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial x\,\partial y} - 2A_2\left[\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial x\,\partial y}\,\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial x^2} + \frac{\partial q(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 q(p,..)}{\partial x^2\,\partial y} + \frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial y^2}\,\frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial y\,\partial x} + \frac{\partial q(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 q(p,..)}{\partial y\,\partial x\,\partial y}\right]\right\} \qquad (12.18)$$

Na podstawie wzorów (12.8) do (12.18) oraz odpowiednich wzorów transformacyjnych można otrzymać wzory na wskaźniki deformacji w dowolnym kierunku.

Korzystając ze wzorów (12.8) do (12.18) oraz wzorów transformacyjnych, został opracowany wspólnie z P. Strzałkowskim program na mikrokomputer ZX SPECTRUM do obliczania deformacji w dowolnym kierunku pod wpływem eksploatacji w kształcie prostokąta. Prostokąt, jak również punkty obliczeniowe mogą być dowolnie usytuowane względem osi współrzędnych x,y.

Dla obliczania deformacji pod wpływem eksploatacji o dowolnym kształcie został również opracowany program na maszynę ODRA 1305 przez B. Drzęźle.

## 13. PORÓWNANIE WYNIKÓW POMIARÓW GEODEZYJNYCH Z WYNIKAMI OBLICZEŃ TEORETYCZNYCH

Sprawdzianem każdej teorii czy metody prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu jest określenie stopnia jej zgodności z wynikami pomiarów geodezyjnych. W niniejszej pracy dokonano porównania teoretycznych wyników obliczeń poszczególnych wskaźników deformacji według metody proponowanej przez autora z wynikami pomiarów geodezyjnych na wybranych kilku liniach obserwacyjnych. Nie będą to badania typu statystycznego, bo nie taki był cel pracy, ale kilka przykładów potwierdzających dużą zgodność metody, z wynikami pomiarów geodezyjnych. Dokonanie wspomnianych analiz porównawczych zostało znacznie ułatwione dzięki opracowaniu specjalnych programów na mikrokomputer ZX SPECTRUM.

Najefektywniejszy i najbardziej przydatny jest program, który łączy cztery podprogramy w następującej kolejności:

- podprogram 1 służący do obliczania pomierzonych wskaźników deformacji opisany w rozdziale 5,
- podprogram 2 służący do obliczania teoretycznych wskaźników deformacji według metody autora. Parametry do obliczeń są wyznaczone niezależnie według metody opisanej w rozdziale 11 i zadawane razem z danymi dotyczącymi eksploatacji górniczej,
- podprogram 3 służący do porównywania pomierzonych i teoretycznych wskaźników deformacji otrzymywanych, jako wyniki podprogramów 1 i 2. Podprogram porównuje w każdym punkcie poszczególne wskaźniki deformacji obliczone na podstawie pomiarów geodezyjnych z teoretycznymi wskaźnikami. Obliczenia wykonane są w przyjętym układzie współrzędnych oraz w układzie bezwymiarowym $x/r_w$, którego początek znajduje się nad krawędzią eksploatacji. W kolumnie oznaczonej literą v obliczona jest różnica pomiędzy obliczoną teoretycznie wartością wskaźnika deformacji w danym punkcie a wartością wskaźnika otrzymaną z pomiarów. W tablicach wydruku w kolejnych kolumnach drukowane są:

  Lp - liczba porządkowa punktu,
  pkt - numer punktu,
  x - współrzędna punktu w przyjętym układzie współrzędnych,
  $x/r_w$ - współrzędna bezwymiarowa,
  $w_{rz}$ - wartość danego wskaźnika deformacji z pomiarów,
  $w_t$ - teoretyczna wartość wskaźnika deformacji,
  v - różnica pomiędzy wartością teoretyczną i zmierzoną danego wskaźnika deformacji,



  v × v - kwadrat różnicy,
  SGN v - suma różnic v,
  SGN(v × v) - suma kwadratów różnic.

Pod tablicą drukowane są:

$m_o$ - średnia arytmetyczna wartość różnic obliczana ze wzoru:

$$m_o = \frac{SGNv}{n} \tag{13.1}$$

gdzie:
n - ilość punktów

$m_s$ - odchylenie standardowe obliczane ze wzoru:

$$m_s = \sqrt{\frac{[v \times v]}{n}} \tag{13.2}$$

$m_p$ - błąd procentowy obliczany ze wzoru:

$$m_p = \frac{m_s}{D_m} \tag{13.3}$$

gdzie:
$D_m$ - maksymalna wartość danego wskaźnika deformacji.

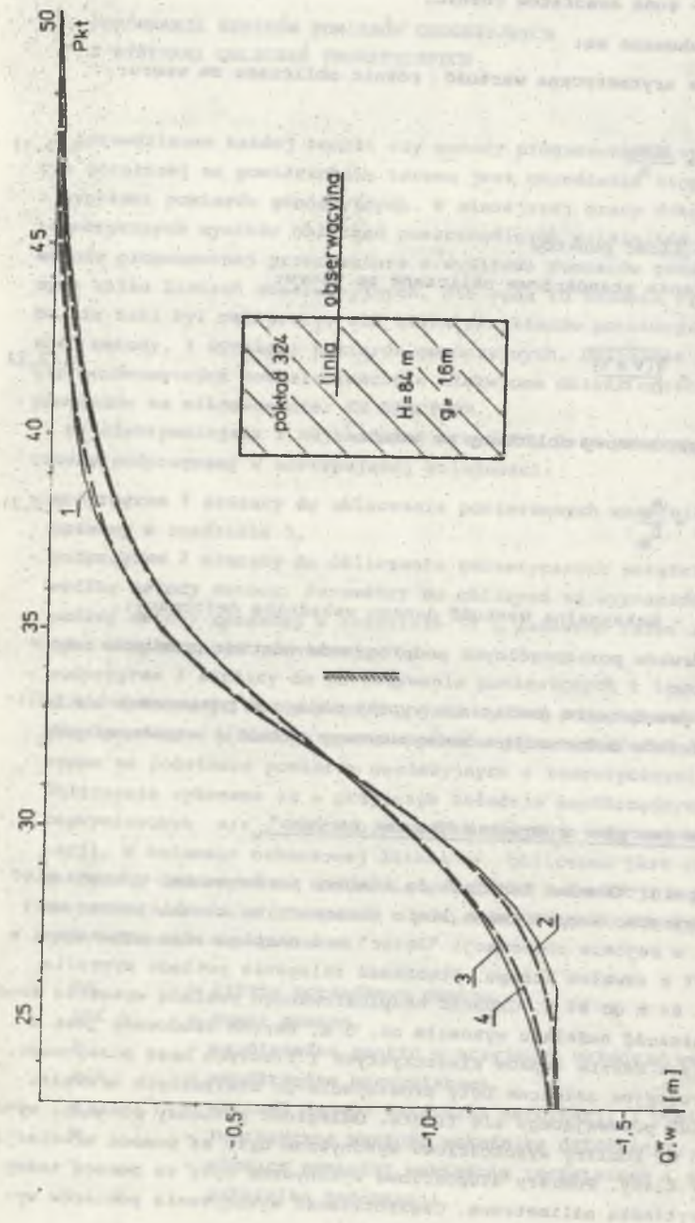
Przykłady wydruków poszczególnych podprogramów zostaną przedstawione w rozdziale 13.1.

- podprogram 4 przedstawia graficznie wyniki obliczeń pomierzonych i obliczonych wskaźników deformacji w bezwymiarowym układzie współrzędnych.

### 13.1. Linie obserwacyjne z kopalni "Komuna Paryska"

Z terenu kopalni "Komuna Paryska" do analizy porównawczej wybrano pięć linii obserwacyjnych. Rozpatrywane linie obserwacyjne zlokalizowane były na powierzchni w rejonie obserwacji "Jęzor" nad eksploatacją prowadzoną w pokładzie 324/1 z zawałem stropu. Głębokość zalegania pokładu wynosiła średnio od ok. 64 m do 84 m. Grubość eksploatowanego pokładu wynosiła średnio 1,6 m. Miąższość nadkładu wynosiła ok. 5 m. Karbon zbudowany jest z naprzemianległych warstw łupków piaszczystych i ilastych oraz piaskowców.

Linie obserwacyjne założone były prostopadle do statycznych krawędzi eksploatacji lub posuwającego się frontu. Odległość pomiędzy punktami wynosiła średnio 5 m. Pomiary wysokościowe wykonywane były za pomocą niwelacji precyzyjnej II klasy. Pomiary długościowe wykonywane były za pomocą taśmy stalowej z przykładką milimetrową. Częstotliwość wykonywania pomiarów wy-




Rys. 13.1. Wykresy osiadań oraz funkcji przemieszczeń poziomych. Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2
1 - osiadania pomierzone, 2 - osiadania obliczone teoretycznie, 3 - całka z pomierzonych przemieszczeń poziomych, 4 - funkcja przemieszczeń poziomych obliczona teoretycznie

Fig. 13.1. Subsidence diagrams and horizontal displacements function diagrams. Coal mine "Komuna Paryska" line 4, longwall 2
1 - measured subsidence, 2 - theoretically calculated subsidence, 3 - integral from the measured horizontal displacements, 4 - horizontal displacement function calculated theoretically



nosiła od 10 dni do 1 miesiąca. Uzyskane dokładności pomiarów są wystarczające dla celów analizy.

Poniżej tytułem przykładu, przytoczone zostaną w całym zakresie wyniki analizy porównawczej z jednej linii obserwacyjnej oraz zbiorcze wyniki z pięciu linii obserwacyjnych.

Usytuowanie linii obserwacyjnej nr 4 z kopalni Komuna Paryska będącej przedmiotem analizy przedstawiono schematycznie na rys. 13.1, natomiast wyniki pomiarów z tej linii przedstawiono w tablicy 13.1. Wykresy poszczególnych wskaźników deformacji przedstawiono na rys. 13.1 do 13.5. Na rys. 13.1 oprócz osiadań przedstawiono również funkcję przemieszczeń poziomych Q otrzymaną z pomiarów pomnożoną przez maksymalne osiadanie

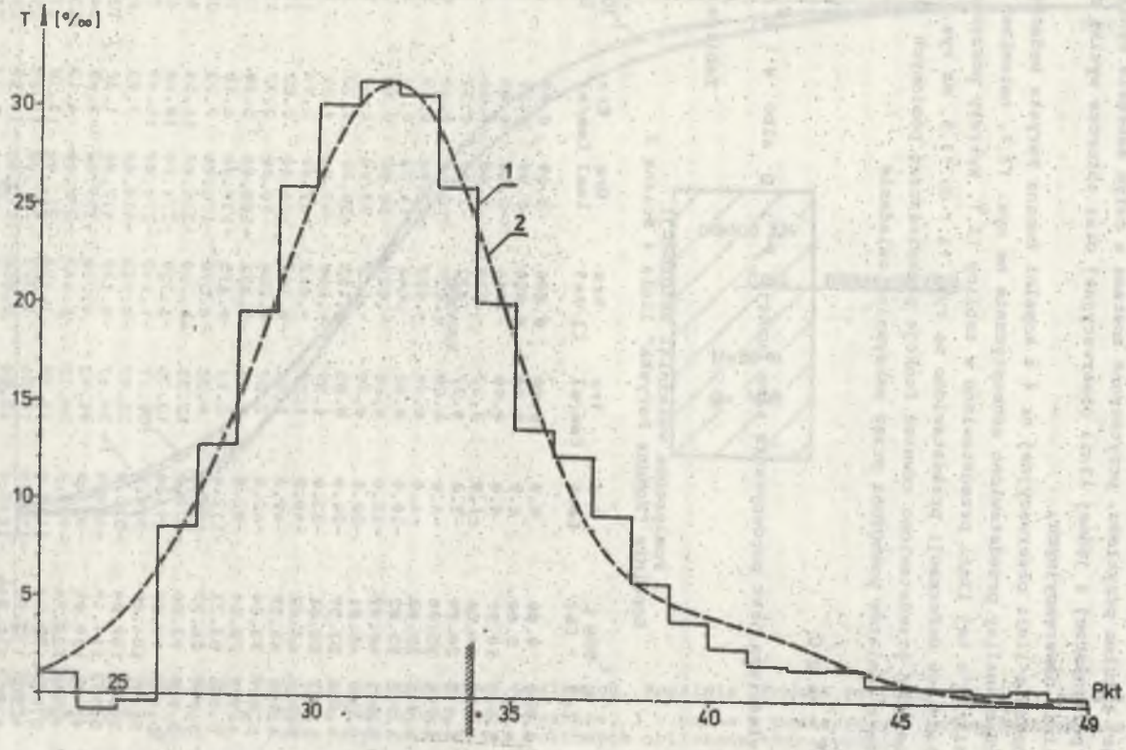
$$Q^w = -a\ g\ Q \qquad (13.4)$$

bowiem właściwym jest porównywanie albo funkcji F i Q albo w i $Q^w$.

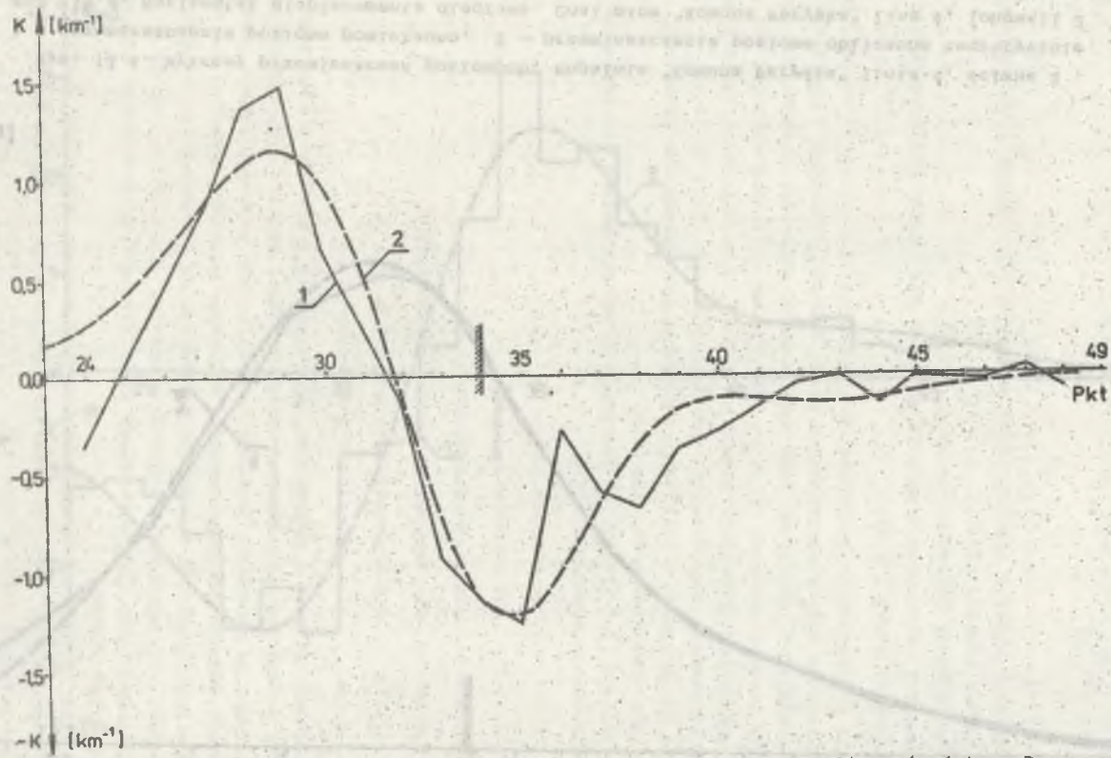
Tablica 13.1

Pomierzone wskaźniki deformacji
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4 ściana 2

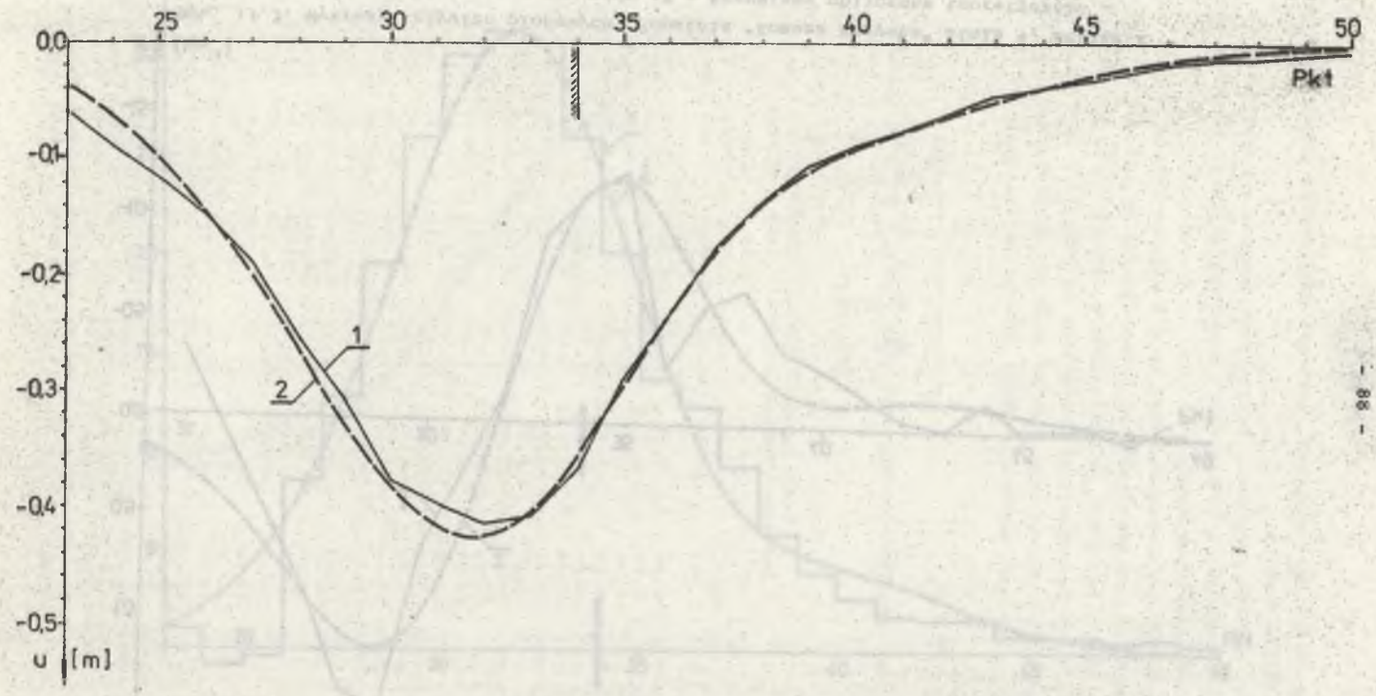
| Lp | pkt | L [m] | SGN L [m] | Wrz [mm] | Trz [mm/m] | Krz [1/km] | Urz [mm] | Erz [mm/m] | $10^3$Grz [m*m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | -1.00 | 0.00 | 0.0 |
| 2 | 53 | 4.997 | 5.00 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | -2.00 | 0.20 | 7.5 |
| 3 | 52 | 5.013 | 10.01 | 0.0 | 0.00 | -.046 | -2.00 | 0.00 | 17.5 |
| 4 | 51 | 4.947 | 14.56 | -1.0 | 0.22 | -.030 | -5.00 | 0.66 | 33.4 |
| 5 | 50 | 5.445 | 20.00 | -3.0 | 0.37 | .032 | -7.00 | 0.37 | 65.1 |
| 6 | 49 | 4.994 | 25.00 | -4.0 | 0.20 | -.039 | -10.00 | 0.60 | 108.6 |
| 7 | 48 | 5.031 | 30.03 | -6.0 | 0.40 | -.081 | -13.00 | 0.60 | 166.4 |
| 8 | 47 | 4.988 | 35.02 | -10.0 | 0.80 | .040 | -14.00 | 0.20 | 233.7 |
| 9 | 46 | 5.001 | 40.02 | -13.0 | 0.60 | -.027 | -18.00 | 0.80 | 313.8 |
| 10 | 45 | 8.089 | 48.91 | -20.0 | 0.79 | -.010 | -33.00 | 1.69 | 540.4 |
| 11 | 44 | 4.681 | 53.59 | -24.0 | 0.85 | -0.152 | -39.00 | 1.28 | 709.0 |
| 12 | 43 | 5.021 | 58.61 | -32.0 | 1.59 | -.000 | -47.00 | 1.59 | 929.9 |
| 13 | 42 | 5.016 | 63.62 | -40.0 | 1.59 | -.043 | -62.00 | 2.99 | 1198.2 |
| 14 | 41 | 4.970 | 68.59 | -49.0 | 1.81 | -0.152 | -76.00 | 2.82 | 1541.2 |
| 15 | 40 | 5.049 | 73.64 | -62.0 | 2.57 | -0.284 | -90.00 | 2.77 | 1960.2 |
| 16 | 39 | 4.999 | 78.64 | -82.0 | 4.00 | -0.376 | -108.00 | 3.60 | 2459.1 |
| 17 | 38 | 5.086 | 83.73 | -112.0 | 5.90 | -0.675 | -139.00 | 6.10 | 3083.2 |
| 18 | 37 | 5.045 | 88.77 | -159.0 | 9.32 | -0.599 | -178.00 | 7.73 | 3882.9 |
| 19 | 36 | 5.028 | 93.80 | -221.0 | 12.33 | -0.200 | -236.00 | 11.54 | 4923.7 |
| 20 | 35 | 5.092 | 98.89 | -291.0 | 13.75 | -1.259 | -291.00 | 10.60 | 6265.4 |
| 21 | 34 | 5.107 | 104.00 | -394.0 | 20.17 | -1.142 | -370.00 | 15.47 | 7953.3 |
| 22 | 33 | 5.045 | 109.04 | -525.0 | 25.97 | -0.933 | -410.00 | 7.93 | 9920.8 |
| 23 | 32 | 5.053 | 114.10 | -690.0 | 30.67 | -0.149 | -417.00 | 1.39 | 12018.2 |
| 24 | 31 | 4.996 | 119.09 | -837.0 | 31.43 | 0.250 | -399.00 | -3.60 | 14048.6 |
| 25 | 30 | 4.843 | 123.94 | -983.0 | 30.15 | 0.647 | -379.00 | -4.13 | 15932.5 |
| 26 | 29 | 5.007 | 128.94 | -1118.0 | 26.96 | 1.486 | -312.00 | -13.38 | 17662.5 |
| 27 | 28 | 4.960 | 133.90 | -1215.0 | 19.56 | 1.373 | -257.00 | -11.09 | 19073.6 |
| 28 | 27 | 4.937 | 138.84 | -1278.0 | 12.76 | 0.858 | -192.00 | -13.17 | 20181.9 |
| 29 | 26 | 4.922 | 143.76 | -1320.0 | 8.53 | 1.009 | -151.00 | -8.33 | 21025.1 |
| 30 | 25 | 4.957 | 148.72 | -1318.0 | -0.40 | .081 | -119.00 | -6.46 | 21595.3 |
| 31 | 24 | 4.957 | 153.68 | -1314.0 | -0.81 | -0.367 | -91.00 | -5.65 | 22015.7 |
| 32 | 23 | 4.944 | 158.62 | -1319.0 | 1.01 | 0.000 | -61.00 | -6.07 | 22591.5 |




Rys. 13.2. Wykresy nachyleń. Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2
1 - nachylenia pomierzone, 2 - nachylenia obliczone teoretycznie
Fig. 13.2. Inclination diagrams. Coal mine "Komuna Paryska" line 4, longwall 2
1 - measured inclinations, 2 - theoretically calculated inclinations

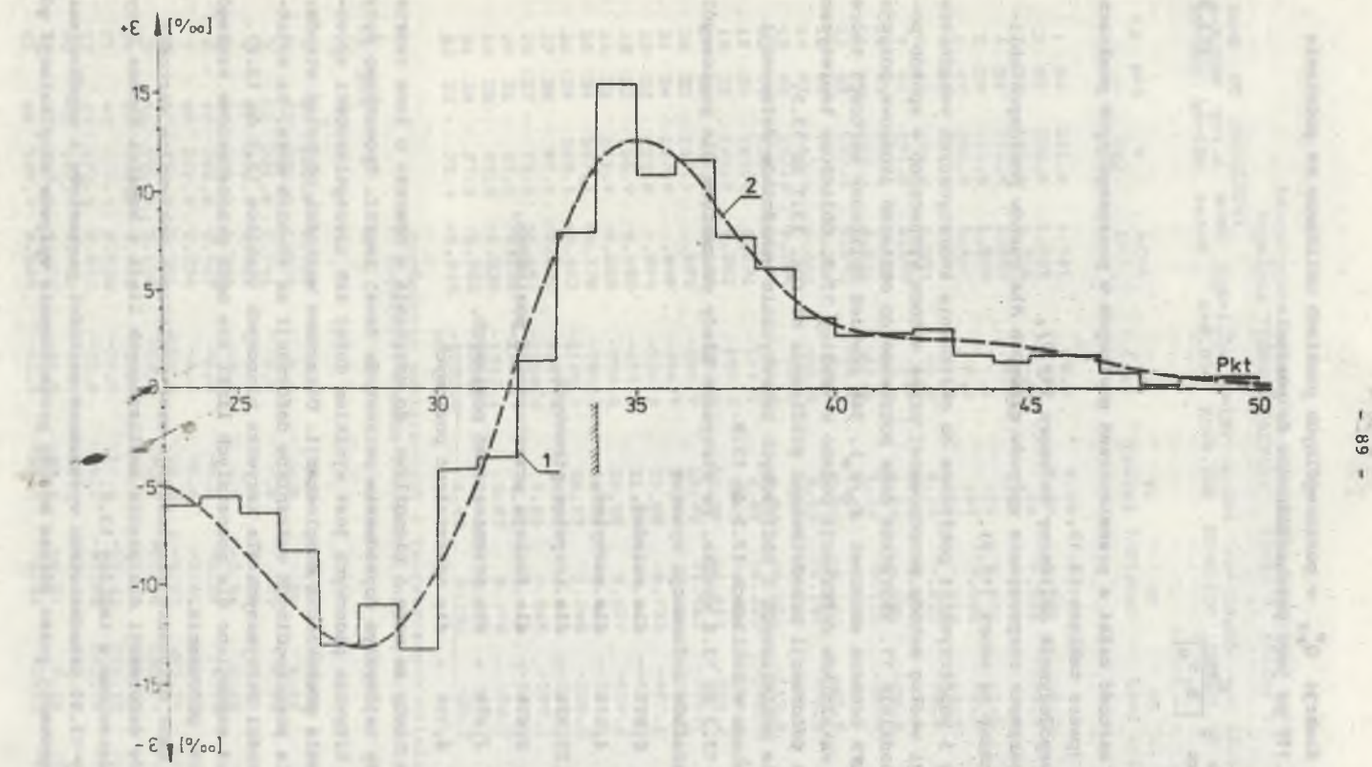



Rys. 13.3. Wykresy krzywizn pionowych. Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2
1 - krzywizny obliczone z pomiarów, 2 - krzywizny obliczone teoretycznie
Fig. 13.3. Vertical curvature diagrams. Coal mine "Komuna Paryska" line 4, longwall 2
1 - curvatures calculated from the measurements, 2 - curvatures calculated theoretically




Rys. 13.4. Wykresy przemieszczeń poziomych. Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2
1 - przemieszczenia poziome pomierzone, 2 - przemieszczenia poziome obliczone teoretycznie
Fig. 13.4. Horizontal displacements diagrams. Coal mine "Komuna Paryska" line 4, longwall 2
1 - measured horizontal displacements, 2 - horizontal displacements calculated theoretically






Rys. 13.5. Wykresy odkształceń poziomych. Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2
1 - odkształcenia poziome pomierzone, 2 - odkształcenia poziome obliczone teoretycznie
Fig. 13.5. Horizontal deformation diagrams. Coal mine "Komuna Paryska" line 4, longwall 2
1 - measured horizontal deformations, 2 - horizontal deformations calculated theoretically

Wartości funkcji $Q^w_{rz}$ w poszczególnych punktach obliczono na podstawie wzoru (7.11) po jego przekształceniu do postaci:

$$Q^w_{rz} = \frac{G_{rz}}{|B_1 r_u|} \qquad (13.5)$$

gdzie:

$G_{rz}$ - wartość całki z przemieszczeń poziomych w poszczególnych punktach (patrz tablica 13.1),

$B_1$ - współczynnik obliczony ze wzoru (11.7),

$r_u$ - parametr rozproszenia wpływów głównych dla ruchów poziomych obliczony ze wzoru (11.9).

Parametry i współczynniki potrzebne do obliczenia teoretycznych wskaźników deformacji według metody proponowanej przez autora wyznaczono w sposób podany w rozdziale 11. Wszystkie dane potrzebne do obliczeń (końcowa pozycja danych ALFA oznacza stosunek $r_u/r_w$), jak również obliczone wartości teoretycznych wskaźników deformacji podano w tablicy 13.2. Obliczone teoretyczne wskaźniki deformacji przedstawiono graficznie na rys. 13.1 do 13.5.

Porównanie pomierzonych i obliczonych teoretycznie wskaźników deformacji przedstawiono w tablicach 13.3 do 13.8.

Z tablic 13.3 do 13.8 wynika, że otrzymane błędy procentowe dla poszczególnych wskaźników deformacji wynoszą

$m_{pw}$ = 0,89% - dla osiadań,

$m_{pT}$ = 4,61% - dla nachyleń,

$m_{pK}$ = 25,92% - dla krzywizn pionowych,

$p_{pQ}$ = 0,67% - dla funkcji przemieszczeń poziomych,

$m_{pu}$ = 2,47% - dla przemieszczeń poziomych,

$m_{p\varepsilon}$ = 8,10% - dla odkształceń poziomych.

Otrzymane błędy są małe i niemożliwe do uzyskania w oparciu o inne teorie, nawet przy najlepszym dopasowaniu parametrów danej teorii. Stosunkowo duży błąd dla krzywizn pionowych jest wynikiem dużej ich nieregularności spowodowanej małą głębokością eksploatacji. Otrzymane wartości odchyleń standardowych dla poszczególnych wskaźników deformacji są również małe, za wyjątkiem wartości otrzymanych dla krzywizn pionowych (tablice 13.3 do 13.8).

Jak już wspomniano dla pozostałych linii nie będą przedstawione szczegółowe wyniki porównania.

Zbiorcze dane dotyczące eksploatacji oraz pomierzone maksymalne wartości wskaźników deformacji dla pięciu analizowanych linii z kopalni Komuna Paryska przedstawiono w tablicy 13.9.

W tablicy 13.10 przedstawiono wyznaczone wartości parametrów i współczynników proponowanej przez autora metody prognozowania wpływów eksploatacji górniczej.



Tablica 13.2

Teoretyczne wskaźniki deformacji wg metody autora
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2

DANE DO OBLICZEŃ:
a=0.638 g=1.6 H=84 tgB=1.56 l=127 q=300 rw= 53.85 ru= 63.54
x0=231 y0=150 kat=0 A=0.204 B1=0.268 B2=0.159 ALFA=1.18

| Lp | pkt | x [m] | x/rw [/] | Wt [mm] | Tt [mm/m] | Kt [1/km] | Ut [mm] | Et [mm/m] | Qt$^w$ [m m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 231.0 | 1.931 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | -.1 | .01 | -.0 |
| 2 | 53 | 226.0 | 1.839 | -.0 | 0.00 | -.000 | -0.2 | .03 | -.1 |
| 3 | 52 | 221.0 | 1.746 | -.0 | .00 | -.000 | -0.4 | .05 | -0.1 |
| 4 | 51 | 216.4 | 1.661 | -.0 | .00 | -.001 | -0.7 | .10 | -0.3 |
| 5 | 50 | 211.0 | 1.560 | -.1 | .01 | -.002 | -1.5 | 0.19 | -0.6 |
| 6 | 49 | 206.0 | 1.467 | -0.2 | .03 | -.005 | -2.7 | 0.33 | -1.2 |
| 7 | 48 | 201.0 | 1.374 | -0.4 | .07 | -.010 | -4.9 | 0.55 | -2.3 |
| 8 | 47 | 196.0 | 1.281 | -0.9 | 0.14 | -.021 | -8.4 | 0.86 | -4.2 |
| 9 | 46 | 191.0 | 1.188 | -1.9 | 0.28 | -.038 | -13.6 | 1.25 | -7.4 |
| 10 | 45 | 182.1 | 1.023 | -6.5 | 0.84 | -.091 | -28.3 | 2.06 | -18.0 |
| 11 | 44 | 177.4 | 0.936 | -11.6 | 1.34 | -0.125 | -38.8 | 2.41 | -27.2 |
| 12 | 43 | 172.4 | 0.843 | -20.0 | 2.05 | -0.155 | -51.5 | 2.63 | -40.5 |
| 13 | 42 | 167.4 | 0.750 | -32.3 | 2.86 | -0.162 | -65.0 | 2.71 | -57.7 |
| 14 | 41 | 162.4 | 0.658 | -48.5 | 3.63 | -0.144 | -78.6 | 2.80 | -78.6 |
| 15 | 40 | 157.4 | 0.564 | -68.5 | 4.29 | -0.122 | -93.7 | 3.26 | -104.1 |
| 16 | 39 | 152.4 | 0.471 | -91.5 | 4.94 | -0.156 | -112.5 | 4.44 | -134.2 |
| 17 | 38 | 147.3 | 0.376 | -119.2 | 6.09 | -0.321 | -140.1 | 6.57 | -171.7 |
| 18 | 37 | 142.2 | 0.283 | -155.2 | 8.45 | -0.636 | -180.1 | 9.30 | -218.8 |
| 19 | 36 | 137.2 | 0.189 | -207.3 | 12.59 | -1.011 | -233.4 | 11.76 | -279.5 |
| 20 | 35 | 132.1 | .095 | -285.9 | 18.48 | -1.262 | -296.7 | 12.77 | -358.6 |
| 21 | 34 | 127.0 | .000 | -396.9 | 24.90 | -1.186 | -359.3 | 11.30 | -457.2 |
| 22 | 33 | 122.0 | -.094 | -536.0 | 29.88 | -0.733 | -407.1 | 7.24 | -571.2 |
| 23 | 32 | 116.9 | -0.188 | -693.6 | 31.89 | -.043 | -429.3 | 1.37 | -696.1 |
| 24 | 31 | 111.9 | -0.280 | -850.5 | 30.38 | 0.627 | -420.6 | -4.76 | -821.5 |
| 25 | 30 | 107.1 | -0.370 | -988.3 | 26.18 | 1.061 | -385.1 | -9.62 | -936.6 |
| 26 | 29 | 102.1 | -0.463 | -1105.1 | 20.37 | 1.208 | -328.5 | -12.62 | -1041.9 |
| 27 | 28 | 97.1 | -0.555 | -1191.5 | 14.56 | 1.103 | -263.2 | -13.37 | -1128.2 |
| 28 | 27 | 92.2 | -0.647 | -1250.8 | 9.66 | 0.869 | -199.1 | -12.37 | -1195.1 |
| 29 | 26 | 87.2 | -0.738 | -1288.9 | 6.02 | 0.614 | -142.8 | -10.40 | -1244.3 |
| 30 | 25 | 82.3 | -0.830 | -1312.1 | 3.53 | 0.398 | -96.9 | -8.14 | -1278.9 |
| 31 | 24 | 77.3 | -0.923 | -1325.4 | 1.96 | 0.246 | -61.7 | -6.14 | -1301.7 |
| 32 | 23 | 72.4 | -1.014 | -1332.6 | 1.00 | 0.152 | -35.2 | -4.66 | -1315.0 |

13.3

Porównanie pomierzonych i teoretycznych osiadań
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2

| Lp | pkt | x | x/rw | Wrz | Wt | v | v*v | SGN v SGN (v*v) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 231.0 | 1.931 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 53 | 226.0 | 1.839 | 0.0 | -.0 | .00 | 0.00 | .00 | 0.00 |
| 3 | 52 | 221.0 | 1.746 | 0.0 | -.0 | .01 | 0.00 | .01 | 0.00 |
| 4 | 51 | 216.4 | 1.661 | -1.0 | -.0 | -0.98 | 0.96 | -0.97 | 0.96 |
| 5 | 50 | 211.0 | 1.560 | -3.0 | -.1 | -2.94 | 8.63 | -3.91 | 9.59 |
| 6 | 49 | 206.0 | 1.467 | -4.0 | -0.2 | -3.84 | 14.77 | -7.75 | 24.36 |
| 7 | 48 | 201.0 | 1.374 | -6.0 | -0.4 | -5.62 | 31.55 | -13.37 | 55.91 |
| 8 | 47 | 196.0 | 1.281 | -10.0 | -0.9 | -9.12 | 83.24 | -22.49 | 139.14 |
| 9 | 46 | 191.0 | 1.188 | -13.0 | -1.9 | -11.10 | 123.14 | -33.59 | 262.28 |
| 10 | 45 | 182.1 | 1.023 | -20.0 | -6.5 | -13.46 | 181.14 | -47.04 | 443.42 |
| 11 | 44 | 177.4 | 0.936 | -24.0 | -11.6 | -12.42 | 154.18 | -59.46 | 597.60 |
| 12 | 43 | 172.4 | 0.843 | -32.0 | -20.0 | -11.96 | 142.96 | -71.42 | 740.56 |
| 13 | 42 | 167.4 | 0.750 | -40.0 | -32.3 | -7.66 | 58.68 | -79.08 | 799.24 |
| 14 | 41 | 162.4 | 0.658 | -49.0 | -48.5 | -0.51 | 0.26 | -79.58 | 799.49 |
| 15 | 40 | 157.4 | 0.564 | -62.0 | -68.5 | 6.53 | 42.62 | -73.06 | 842.11 |

cd. tablicy 13.3

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 39 | 152.4 | 0.471 | -82.0 | -91.5 | 9.54 | 90.96 | -63.52 | 933.07 |
| 17 | 38 | 147.3 | 0.376 | -112.0 | -119.2 | 7.24 | 52.40 | -56.28 | 985.48 |
| 18 | 37 | 142.2 | 0.283 | -159.0 | -155.2 | -3.77 | 14.19 | -60.05 | 999.67 |
| 19 | 36 | 137.2 | 0.189 | -221.0 | -207.3 | -13.67 | 186.82 | -73.72 | 1186.49 |
| 20 | 35 | 132.1 | .095 | -291.0 | -285.9 | -5.09 | 25.91 | -78.81 | 1212.40 |
| 21 | 34 | 127.0 | .000 | -394.0 | -396.9 | 2.85 | 8.13 | -75.95 | 1220.53 |
| 22 | 33 | 122.0 | -.094 | -525.0 | -536.0 | 11.00 | 121.06 | -64.95 | 1341.60 |
| 23 | 32 | 116.9 | -0.188 | -680.0 | -693.6 | 13.56 | 183.84 | -51.39 | 1525.44 |
| 24 | 31 | 111.9 | -0.280 | -837.0 | -850.5 | 13.51 | 182.48 | -37.88 | 1707.92 |
| 25 | 30 | 107.1 | -0.370 | -983.0 | -988.3 | 5.30 | 28.08 | -32.58 | 1736.00 |
| 26 | 29 | 102.1 | -0.463 | -1118.0 | -1105.1 | -12.87 | 165.68 | -45.46 | 1901.68 |
| 27 | 28 | 97.1 | -0.555 | -1215.0 | -1191.5 | -23.48 | 551.20 | -68.93 | 2452.88 |
| 28 | 27 | 92.2 | -0.647 | -1278.0 | -1250.8 | -27.18 | 738.97 | -96.12 | 3191.86 |
| 29 | 26 | 87.2 | -0.738 | -1320.0 | -1288.9 | -31.12 | 968.46 | -127.24 | 4160.31 |
| 30 | 25 | 82.3 | -0.830 | -1318.0 | -1312.1 | -5.88 | 34.62 | -133.12 | 4194.93 |
| 31 | 24 | 77.3 | -0.923 | -1314.0 | -1325.4 | 11.43 | 130.67 | -121.69 | 4325.60 |
| 32 | 23 | 72.4 | -1.014 | -1319.0 | -1332.6 | 13.56 | 183.99 | -108.13 | 4509.59 |

m0= -3.38 ms= 11.87 mp= 0.89

Tablica 13.4

Porównanie pomierzonych i teoretycznych nachyleń
Kopalnia "Komuna Paryska", linia 4, ściana 2

| Lp | pkt | x | x/rw | Trz | Tt | v | v*v | SGN v SGN (v*v) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 231.0 | 1.931 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 53 | 226.0 | 1.839 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 52 | 221.0 | 1.746 | 0.11 | .00 | 0.11 | .01 | 0.11 | .01 |
| 4 | 51 | 216.4 | 1.661 | 0.29 | .00 | 0.29 | .08 | 0.40 | .10 |
| 5 | 50 | 211.0 | 1.560 | 0.28 | .01 | 0.27 | .07 | 0.67 | 0.17 |
| 6 | 49 | 206.0 | 1.467 | 0.30 | .03 | 0.27 | .07 | 0.94 | 0.24 |
| 7 | 48 | 201.0 | 1.374 | 0.60 | .07 | 0.53 | 0.29 | 1.47 | 0.53 |
| 8 | 47 | 196.0 | 1.281 | 0.70 | 0.14 | 0.56 | 0.31 | 2.03 | 0.84 |
| 9 | 46 | 191.0 | 1.188 | 0.69 | 0.28 | 0.41 | 0.17 | 2.44 | 1.01 |
| 10 | 45 | 182.1 | 1.023 | 0.82 | 0.84 | -.02 | 0.00 | 2.43 | 1.01 |
| 11 | 44 | 177.4 | 0.936 | 1.22 | 1.34 | -0.12 | .01 | 2.31 | 1.02 |
| 12 | 43 | 172.4 | 0.843 | 1.59 | 2.05 | -0.46 | 0.21 | 1.85 | 1.23 |
| 13 | 42 | 167.4 | 0.750 | 1.70 | 2.86 | -1.15 | 1.33 | 0.69 | 2.57 |
| 14 | 41 | 162.4 | 0.658 | 2.19 | 3.63 | -1.43 | 2.06 | -0.74 | 4.62 |
| 15 | 40 | 157.4 | 0.564 | 3.29 | 4.29 | -1.00 | 1.00 | -1.74 | 5.63 |
| 16 | 39 | 152.4 | 0.471 | 4.95 | 4.94 | .01 | 0.00 | -1.74 | 5.63 |
| 17 | 38 | 147.3 | 0.376 | 7.61 | 6.09 | 1.52 | 2.31 | -0.22 | 7.93 |
| 18 | 37 | 142.2 | 0.283 | 10.82 | 8.45 | 2.38 | 5.65 | 2.16 | 13.58 |
| 19 | 36 | 137.2 | 0.189 | 13.04 | 12.59 | 0.44 | 0.20 | 2.60 | 13.78 |
| 20 | 35 | 132.1 | .095 | 16.96 | 18.48 | -1.53 | 2.33 | 1.08 | 16.11 |
| 21 | 34 | 127.0 | .000 | 23.07 | 24.90 | -1.83 | 3.36 | -0.75 | 19.47 |
| 22 | 33 | 122.0 | -.094 | 28.32 | 29.88 | -1.56 | 2.44 | -2.32 | 21.91 |
| 23 | 32 | 116.9 | -0.188 | 31.05 | 31.89 | -0.84 | 0.71 | -3.16 | 22.62 |
| 24 | 31 | 111.9 | -0.280 | 30.79 | 30.38 | 0.41 | 0.17 | -2.75 | 22.79 |
| 25 | 30 | 107.1 | -0.370 | 28.55 | 26.18 | 2.38 | 5.66 | -0.37 | 28.44 |
| 26 | 29 | 102.1 | -0.463 | 23.26 | 20.37 | 2.89 | 8.36 | 2.52 | 36.80 |
| 27 | 28 | 97.1 | -0.555 | 16.16 | 14.56 | 1.60 | 2.57 | 4.12 | 39.37 |
| 28 | 27 | 92.2 | -0.647 | 10.65 | 9.66 | 0.99 | 0.98 | 5.11 | 40.34 |
| 29 | 26 | 87.2 | -0.738 | 4.06 | 6.02 | -1.95 | 3.82 | 3.16 | 44.16 |
| 30 | 25 | 82.3 | -0.830 | -0.61 | 3.53 | -4.14 | 17.14 | -0.98 | 61.30 |
| 31 | 24 | 77.3 | -0.923 | 0.10 | 1.96 | -1.86 | 3.46 | -2.84 | 64.76 |
| 32 | 23 | 72.4 | -1.014 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -2.84 | 64.76 |

m0= -.09 ms= 1.47 mp= 4.61



Tablica 13.5

Porównanie pomierzonych i teoretycznych krzywizn pionowych
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2

| Lp | pkt | x | x/rw | Krz | Kt | v | v*v | SGN v SGN (v*v) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 231.0 | 1.931 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 53 | 226.0 | 1.839 | 0.000 | -.000 | 0.000 | 0.000 | .000 | 0.000 |
| 3 | 52 | 221.0 | 1.746 | -.046 | -.000 | -.046 | .002 | -.046 | .002 |
| 4 | 51 | 216.4 | 1.661 | -.030 | -.001 | -.029 | 0.000 | -.074 | .002 |
| 5 | 50 | 211.0 | 1.560 | .032 | -.002 | .034 | .001 | -.040 | .003 |
| 6 | 49 | 206.0 | 1.467 | -.039 | -.005 | -.034 | .001 | -.075 | .004 |
| 7 | 48 | 201.0 | 1.374 | -.081 | -.010 | -.070 | .005 | -0.145 | .009 |
| 8 | 47 | 196.0 | 1.281 | .040 | -.021 | .061 | .004 | -.084 | .013 |
| 9 | 46 | 191.0 | 1.188 | -.027 | -.038 | .011 | 0.000 | -.073 | .013 |
| 10 | 45 | 182.1 | 1.023 | -.010 | -.091 | .081 | .007 | .008 | .020 |
| 11 | 44 | 177.4 | 0.936 | -0.152 | -0.125 | -.027 | 0.000 | -.019 | .020 |
| 12 | 43 | 172.4 | 0.843 | -.000 | -0.155 | 0.154 | .024 | 0.135 | .043 |
| 13 | 42 | 167.4 | 0.750 | -.043 | -0.162 | 0.119 | .014 | 0.254 | .058 |
| 14 | 41 | 162.4 | 0.658 | -0.152 | -0.144 | -.009 | 0.000 | 0.246 | .058 |
| 15 | 40 | 157.4 | 0.564 | -0.284 | -0.122 | -0.162 | .026 | .084 | .084 |
| 16 | 39 | 152.4 | 0.471 | -0.376 | -0.156 | -0.220 | .049 | -0.137 | 0.133 |
| 17 | 38 | 147.3 | 0.376 | -0.675 | -0.321 | -0.354 | 0.125 | -0.491 | 0.258 |
| 18 | 37 | 142.2 | 0.283 | -0.599 | -0.636 | .037 | .001 | -0.454 | 0.259 |
| 19 | 36 | 137.2 | 0.189 | -0.280 | -1.011 | 0.731 | 0.535 | 0.278 | 0.794 |
| 20 | 35 | 132.1 | .095 | -1.259 | -1.262 | .002 | 0.000 | 0.280 | 0.794 |
| 21 | 34 | 127.0 | .000 | -1.142 | -1.186 | .043 | .002 | 0.323 | 0.796 |
| 22 | 33 | 122.0 | -.094 | -0.933 | -0.733 | -0.199 | .040 | 0.124 | 0.836 |
| 23 | 32 | 116.9 | -0.188 | -0.149 | -.043 | -0.107 | .011 | .017 | 0.847 |
| 24 | 31 | 111.9 | -0.280 | 0.260 | 0.627 | -0.367 | 0.135 | -0.350 | 0.982 |
| 25 | 30 | 107.1 | -0.370 | 0.647 | 1.061 | -0.415 | 0.172 | -0.765 | 1.154 |
| 26 | 29 | 102.1 | -0.463 | 1.486 | 1.208 | 0.278 | .077 | -0.487 | 1.231 |
| 27 | 28 | 97.1 | -0.555 | 1.373 | 1.103 | 0.270 | .073 | -0.217 | 1.304 |
| 28 | 27 | 92.2 | -0.647 | 0.858 | 0.869 | -.011 | 0.000 | -0.228 | 1.304 |
| 29 | 26 | 87.2 | -0.738 | 1.809 | 0.614 | 1.196 | 1.430 | 0.968 | 2.734 |
| 30 | 25 | 82.3 | -0.830 | .081 | 0.398 | -0.317 | 0.101 | 0.651 | 2.834 |
| 31 | 24 | 77.3 | -0.923 | -0.367 | 0.246 | -0.613 | 0.376 | .037 | 3.211 |
| 32 | 23 | 72.4 | -1.014 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | .037 | 3.211 |

m0= .00 ms= 0.33 mp= 25.92

Tablica 13.6

Porównanie pomierzonych i teoretycznych przemieszczeń poziomych
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2

| Lp | pkt | x | x/rw | Urz | Ut | v | v*v | SGN v SGN (v*v) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 231.0 | 1.931 | -1.0 | -.1 | -0.9 | 0.8 | -0.9 | 0.8 |
| 2 | 53 | 226.0 | 1.839 | -2.0 | -0.2 | -1.8 | 3.3 | -2.7 | 4.2 |
| 3 | 52 | 221.0 | 1.746 | -2.0 | -0.4 | -1.6 | 2.7 | -4.4 | 6.8 |
| 4 | 51 | 216.4 | 1.661 | -5.0 | -0.7 | -4.3 | 18.4 | -8.7 | 25.3 |
| 5 | 50 | 211.0 | 1.560 | -7.0 | -1.5 | -5.5 | 30.6 | -14.2 | 55.9 |
| 6 | 49 | 206.0 | 1.467 | -10.0 | -2.7 | -7.3 | 52.7 | -21.5 | 108.6 |
| 7 | 48 | 201.0 | 1.374 | -13.0 | -4.9 | -8.1 | 65.3 | -29.5 | 173.9 |
| 8 | 47 | 196.0 | 1.281 | -14.0 | -8.4 | -5.6 | 31.6 | -35.2 | 205.5 |
| 9 | 46 | 191.0 | 1.188 | -18.0 | -13.6 | -4.4 | 19.2 | -39.5 | 224.7 |
| 10 | 45 | 182.1 | 1.023 | -33.0 | -28.3 | -4.7 | 21.8 | -44.2 | 246.5 |
| 11 | 44 | 177.4 | 0.936 | -39.0 | -38.8 | -0.2 | .0 | -44.4 | 246.5 |
| 12 | 43 | 172.4 | 0.843 | -47.0 | -51.5 | 4.5 | 20.6 | -39.9 | 267.1 |
| 13 | 42 | 167.4 | 0.750 | -62.0 | -65.0 | 3.0 | 8.8 | -36.9 | 275.9 |
| 14 | 41 | 162.4 | 0.658 | -76.0 | -78.6 | 2.6 | 6.8 | -34.3 | 282.7 |
| 15 | 40 | 157.4 | 0.564 | -90.0 | -93.7 | 3.7 | 13.4 | -30.6 | 296.1 |
| 16 | 39 | 152.4 | 0.471 | -108.0 | -112.5 | 4.5 | 20.5 | -26.1 | 316.6 |
| 17 | 38 | 147.3 | 0.376 | -139.0 | -140.1 | 1.1 | 1.3 | -25.0 | 317.9 |

cd. tablicy 13.6

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 37 | 142.2 | 0.283 | -178.0 | -180.1 | 2.1 | 4.3 | -22.9 | 322.2 |
| 19 | 36 | 137.2 | 0.189 | -236.0 | -233.4 | -2.6 | 7.0 | -25.5 | 329.1 |
| 20 | 35 | 132.1 | .095 | -291.0 | -296.7 | 5.7 | 32.4 | -19.8 | 361.5 |
| 21 | 34 | 127.0 | .000 | -370.0 | -359.3 | -10.7 | 113.9 | -36.5 | 475.5 |
| 22 | 33 | 122.0 | -.094 | -410.0 | -407.1 | -2.9 | 8.5 | -33.4 | 484.0 |
| 23 | 32 | 116.9 | -0.188 | -417.0 | -429.3 | 12.3 | 151.3 | -21.1 | 635.3 |
| 24 | 31 | 111.9 | -0.280 | -399.0 | -420.6 | 21.6 | 468.0 | 0.5 | 1103.3 |
| 25 | 30 | 107.1 | -0.370 | -379.0 | -385.1 | 6.1 | 37.8 | 6.7 | 1141.1 |
| 26 | 29 | 102.1 | -0.463 | -312.0 | -328.5 | 16.5 | 272.6 | 23.2 | 1413.8 |
| 27 | 28 | 97.1 | -0.555 | -257.0 | -263.2 | 6.2 | 38.7 | 29.4 | 1452.4 |
| 28 | 27 | 92.2 | -0.647 | -192.0 | -199.1 | 7.1 | 50.5 | 36.5 | 1502.9 |
| 29 | 26 | 87.2 | -0.738 | -151.0 | -142.8 | -8.2 | 67.1 | 28.3 | 1570.0 |
| 30 | 25 | 82.3 | -0.830 | -119.0 | -96.9 | -22.1 | 489.9 | 6.2 | 2059.8 |
| 31 | 24 | 77.3 | -0.923 | -91.0 | -61.7 | -29.3 | 861.2 | -23.2 | 2921.1 |
| 32 | 23 | 72.4 | -1.014 | -61.0 | -35.2 | -25.8 | 665.5 | -49.0 | 3586.5 |

a0= -1.53 as= 10.59 ap= 2.47

Tablica 13.7

Porównanie pomierzonych i teoretycznych odkształceń poziomych
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2

| Lp | pkt | x | x/rw | Erz | Et | v | v*v | SGN v SGN (v*v) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 231.0 | 1.931 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 53 | 226.0 | 1.839 | 0.10 | .03 | .07 | .01 | .07 | .01 |
| 3 | 52 | 221.0 | 1.746 | 0.33 | .05 | 0.28 | .08 | 0.35 | .08 |
| 4 | 51 | 216.4 | 1.661 | 0.51 | .10 | 0.42 | 0.17 | 0.76 | 0.25 |
| 5 | 50 | 211.0 | 1.560 | 0.48 | 0.19 | 0.29 | .09 | 1.06 | 0.34 |
| 6 | 49 | 206.0 | 1.467 | 0.60 | 0.33 | 0.27 | .07 | 1.33 | 0.41 |
| 7 | 48 | 201.0 | 1.374 | 0.40 | 0.55 | -0.15 | .02 | 1.18 | 0.44 |
| 8 | 47 | 196.0 | 1.281 | 0.50 | 0.86 | -0.36 | 0.13 | 0.82 | 0.56 |
| 9 | 46 | 191.0 | 1.188 | 1.24 | 1.25 | -.01 | 0.00 | 0.81 | 0.56 |
| 10 | 45 | 182.1 | 1.023 | 1.48 | 2.06 | -0.57 | 0.33 | 0.24 | 0.89 |
| 11 | 44 | 177.4 | 0.936 | 1.44 | 2.41 | -0.97 | 0.94 | -0.73 | 1.83 |
| 12 | 43 | 172.4 | 0.843 | 2.29 | 2.63 | -0.34 | 0.12 | -1.07 | 1.94 |
| 13 | 42 | 167.4 | 0.750 | 2.90 | 2.71 | 0.19 | .04 | -0.87 | 1.98 |
| 14 | 41 | 162.4 | 0.658 | 2.79 | 2.80 | -.01 | 0.00 | -0.88 | 1.98 |
| 15 | 40 | 157.4 | 0.564 | 3.19 | 3.26 | -.07 | .00 | -0.95 | 1.98 |
| 16 | 39 | 152.4 | 0.471 | 4.85 | 4.44 | 0.41 | 0.17 | -0.54 | 2.15 |
| 17 | 38 | 147.3 | 0.376 | 6.91 | 6.57 | 0.34 | 0.12 | -0.20 | 2.27 |
| 18 | 37 | 142.2 | 0.283 | 9.63 | 9.30 | 0.33 | 0.11 | 0.13 | 2.38 |
| 19 | 36 | 137.2 | 0.189 | 11.17 | 11.76 | -0.59 | 0.35 | -0.46 | 2.73 |
| 20 | 35 | 132.1 | .095 | 13.14 | 12.77 | 0.37 | 0.13 | -.09 | 2.86 |
| 21 | 34 | 127.0 | .000 | 11.70 | 11.30 | 0.40 | 0.16 | 0.31 | 3.02 |
| 22 | 33 | 122.0 | -.094 | 4.66 | 7.24 | -2.58 | 6.66 | -2.27 | 9.68 |
| 23 | 32 | 116.9 | -0.188 | -1.11 | 1.37 | -2.48 | 6.14 | -4.75 | 15.81 |
| 24 | 31 | 111.9 | -0.280 | -3.87 | -4.76 | 0.89 | 0.80 | -3.86 | 16.61 |
| 25 | 30 | 107.1 | -0.370 | -8.76 | -9.62 | 0.87 | 0.75 | -2.99 | 17.37 |
| 26 | 29 | 102.1 | -0.463 | -12.23 | -12.62 | 0.38 | 0.15 | -2.61 | 17.51 |
| 27 | 28 | 97.1 | -0.555 | -12.13 | -13.37 | 1.24 | 1.54 | -1.37 | 19.05 |
| 28 | 27 | 92.2 | -0.647 | -10.75 | -12.37 | 1.63 | 2.65 | 0.26 | 21.70 |
| 29 | 26 | 87.2 | -0.738 | -7.39 | -10.40 | 3.01 | 9.04 | 3.27 | 30.74 |
| 30 | 25 | 82.3 | -0.830 | -6.05 | -8.14 | 2.09 | 4.37 | 5.36 | 35.11 |
| 31 | 24 | 77.3 | -0.923 | -5.86 | -6.14 | 0.28 | .08 | 5.64 | 35.19 |
| 32 | 23 | 72.4 | -1.014 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.64 | 35.19 |

a0= 0.19 as= 1.08 ap= 8.10



Tablica 13.8

Porównanie pomierzonych i teoretycznych całek z przemieszczeń poziomych
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2

| Lp | pkt | x | x/rw | $\Omega^{\circ}$rz | $\Omega^{\circ}$t | v | v*v | SGN v SGN (v*v) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54 | 231.0 | 1.931 | 0.0 | -.0 | .03 | 0.00 | .03 | 0.00 |
| 2 | 53 | 226.0 | 1.839 | -0.4 | -.1 | -0.38 | 0.14 | -0.35 | 0.14 |
| 3 | 52 | 221.0 | 1.746 | -1.0 | -0.1 | -0.89 | 0.79 | -1.24 | 0.93 |
| 4 | 51 | 216.4 | 1.661 | -2.0 | -0.3 | -1.68 | 2.84 | -2.92 | 3.77 |
| 5 | 50 | 211.0 | 1.560 | -3.9 | -0.6 | -3.27 | 10.68 | -6.19 | 14.45 |
| 6 | 49 | 206.0 | 1.467 | -6.4 | -1.2 | -5.16 | 26.65 | -11.35 | 41.10 |
| 7 | 48 | 201.0 | 1.374 | -9.8 | -2.3 | -7.46 | 55.59 | -18.81 | 96.68 |
| 8 | 47 | 196.0 | 1.281 | -13.7 | -4.2 | -9.50 | 90.25 | -28.31 | 186.93 |
| 9 | 46 | 191.0 | 1.188 | -18.4 | -7.4 | -11.02 | 121.36 | -39.33 | 308.29 |
| 10 | 45 | 182.1 | 1.023 | -31.7 | -18.0 | -13.69 | 187.47 | -53.02 | 495.77 |
| 11 | 44 | 177.4 | 0.936 | -41.6 | -27.2 | -14.40 | 207.27 | -67.41 | 703.04 |
| 12 | 43 | 172.4 | 0.843 | -54.3 | -40.5 | -13.78 | 189.99 | -81.20 | 893.03 |
| 13 | 42 | 167.4 | 0.750 | -70.4 | -57.7 | -12.69 | 160.98 | -93.89 | 1054.01 |
| 14 | 41 | 162.4 | 0.658 | -90.5 | -78.6 | -11.89 | 141.26 | -105.77 | 1195.27 |
| 15 | 40 | 157.4 | 0.564 | -115.1 | -104.1 | -11.01 | 121.25 | -116.78 | 1316.52 |
| 16 | 39 | 152.4 | 0.471 | -144.2 | -134.2 | -9.95 | 99.06 | -126.74 | 1415.57 |
| 17 | 38 | 147.3 | 0.376 | -181.1 | -171.7 | -9.38 | 87.92 | -136.11 | 1503.49 |
| 18 | 37 | 142.2 | 0.283 | -228.0 | -218.8 | -9.24 | 85.45 | -145.36 | 1588.94 |
| 19 | 36 | 137.2 | 0.189 | -289.1 | -279.5 | -9.64 | 92.84 | -154.99 | 1681.78 |
| 20 | 35 | 132.1 | .095 | -367.9 | -358.6 | -9.31 | 86.66 | -164.30 | 1768.44 |
| 21 | 34 | 127.0 | .000 | -467.1 | -457.2 | -9.87 | 97.40 | -174.17 | 1865.85 |
| 22 | 33 | 122.0 | -.094 | -582.6 | -571.2 | -11.37 | 129.38 | -185.54 | 1995.23 |
| 23 | 32 | 116.9 | -0.188 | -705.3 | -696.1 | -9.25 | 85.49 | -194.79 | 2080.72 |
| 24 | 31 | 111.9 | -0.280 | -825.0 | -821.5 | -3.52 | 12.36 | -198.31 | 2093.09 |
| 25 | 30 | 107.1 | -0.370 | -935.7 | -936.6 | 0.99 | 0.99 | -197.31 | 2094.08 |
| 26 | 29 | 102.1 | -0.463 | -1037.2 | -1041.9 | 4.69 | 22.03 | -192.62 | 2116.11 |
| 27 | 28 | 97.1 | -0.555 | -1120.1 | -1128.2 | 8.09 | 65.50 | -184.52 | 2181.61 |
| 28 | 27 | 92.2 | -0.647 | -1185.2 | -1195.1 | 9.91 | 98.11 | -174.62 | 2279.72 |
| 29 | 26 | 87.2 | -0.738 | -1234.8 | -1244.3 | 9.51 | 90.50 | -165.11 | 2370.22 |
| 30 | 25 | 82.3 | -0.830 | -1274.1 | -1278.9 | 4.83 | 23.30 | -160.28 | 2393.53 |
| 31 | 24 | 77.3 | -0.923 | -1304.6 | -1301.7 | -2.91 | 8.45 | -163.19 | 2401.98 |
| 32 | 23 | 72.4 | -1.014 | -1326.7 | -1315.6 | -11.09 | 122.96 | -174.28 | 2524.94 |

a0= -5.45 as= 8.88 ap= 0.67

Maksymalne wartości wskaźników deformacji z pięciu linii obserwacyjnych
z kopalni "Komuna Paryska"

| Lp. | Linia | Parcela | H [m] | g [m] | $w_{max}$ [mm] | $T_{max}$ [‰] | $u_{max}$ [mm] | $\varepsilon_{max}$ [‰] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | ściana 1 | 64 | 1,6 | -1220 | 37,02 | -350 | 13,71 |
| 2 | 4 | ściana 1 | 64 | 1,6 | -1260 | 40,09 | -421 | 13,61 |
| 3 | 4 | ściana 2 | 84 | 1,6 | -1340 | 31,45 | -428 | 12,56 |
| 4 | 5 | ściana 1 | 70 | 1,6 | -1120 | 30,16 | -436 | 14,29 |
| 5 | 5 | ściana 2 | 84 | 1,6 | -1260 | 36,02 | -408 | 13,21 |

Tablica 13.10

Wartości parametrów i współczynników wyznaczone dla pięciu linii obserwacyjnych z kopalni "Komuna Paryska"

| Lp. | Linia | Parcela | a | $tg\phi_w$ | $tg\beta_u$ | A | $B_1$ | $B_2$ | $r_u/r_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | ściana 1 | 0,765 | 1,60 | 1,18 | 0,220 | 0,245 | 0,171 | 1,353 |
| 2 | 4 | ściana 1 | 0,797 | 1,60 | 1,18 | 0,207 | 0,266 | 0,140 | 1,353 |
| 3 | 4 | ściana 2 | 0,838 | 1,54 | 1,31 | 0,204 | 0,268 | 0,159 | 1,180 |
| 4 | 5 | ściana 1 | 0,700 | 1,45 | 1,16 | 0,200 | 0,330 | 0,165 | 1,245 |
| 5 | 5 | ściana 2 | 0,785 | 1,72 | 1,40 | 0,200 | 0,266 | 0,159 | 1,232 |

Tablica 13.10a

Błędy procentowe poszczególnych wskaźników deformacji z pięciu linii obserwacyjnych z kopalni "Komuna Paryska"

| Linia | Ściana | $m_{pw}$ | $m_{pT}$ | $m_{pK}$ | $m_{pu}$ | $m_{p\varepsilon}$ | $m_{p\Omega}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 1 | 0,9 | 3,9 | 25,5 | 2,2 | 8,5 | 0,7 |
| 4 | 1 | 1,0 | 4,3 | 21,0 | 2,2 | 5,4 | 0,8 |
| 4 | 2 | 0,9 | 4,6 | 25,9 | 2,5 | 8,1 | 0,7 |
| 5 | 1 | 0,4 | 2,0 | 22,6 | $3,0^x$ | $6,8^x$ | 2,5 |
| 5 | 2 | 1,0 | 4,3 | 29,7 | $2,4^x$ | $10,6^x$ | 3,0 |
| Średnia | | 0,8 | 3,8 | 24,9 | 2,5 | 7,9 | 1,5 |

x - dla części zewnętrznej niecki

W tablicy 13.10a przedstawiono błędy procentowe dla poszczególnych wskaźników deformacji z pięciu rozpatrywanych linii obserwacyjnych z kopalni Komuna Paryska.
Uzyskane wartości błędów dla poszczególnych linii obserwacyjnych są małe i potwierdzają wartości uzyskane z linii 4 pod wpływem wyeksploatowania ściany 2.

Wyniki pomiarów z rozpatrywanych powyżej pięciu linii obserwacyjnych wykorzystano jeszcze w inny sposób, przedstawiając je w jednostkowym układzie bezwymiarowym.
Dzieląc pomierzone wartości poszczególnych wskaźników przez ich maksymalne wartości otrzymano te wartości w układzie jednostkowym. Ażeby można było potraktować te wyniki, jako jeden zbiór danych pomiarowych przedstawiono je w dwóch układach bezwymiarowych $x/r_w$ i $x/r_u$. W obydwu układach początek ich przyjęto nad krawędzią eksploatacji. Parametry $r_w$ i $r_u$ zostały wyznaczone w sposób podany w rozdziale 11. Wydruki pomierzonych wskaźników deformacji w przyjętym jednostkowym układzie bezwymiarowym z poszczególnych linii obserwacyjnych przedstawiono w tablicy 13.11 do 13.15. Traktując te wyniki



Tablica 13.11

Pomierzone wskaźniki deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 3, ściana 1

| Lp | x/rw | x/ru | w/wm | G/Gm | T/Tm | u/um |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.996 | 1.475 | 0.000 | .000 | .003 | .006 |
| 2 | 1.871 | 1.383 | .001 | .002 | .006 | .014 |
| 3 | 1.748 | 1.292 | .002 | .003 | .005 | .020 |
| 4 | 1.598 | 1.181 | .002 | .007 | -.001 | .029 |
| 5 | 1.497 | 1.106 | .002 | .010 | -.001 | .040 |
| 6 | 1.372 | 1.014 | .002 | .015 | .008 | .046 |
| 7 | 1.247 | 0.922 | .004 | .021 | .011 | .060 |
| 8 | 1.122 | 0.829 | .006 | .029 | .011 | .074 |
| 9 | 0.998 | 0.738 | .007 | .038 | .028 | .094 |
| 10 | 0.872 | 0.645 | .014 | .051 | .034 | 0.126 |
| 11 | 0.748 | 0.553 | .017 | .067 | .042 | 0.151 |
| 12 | 0.624 | 0.461 | .026 | .087 | .070 | 0.200 |
| 13 | 0.499 | 0.369 | .038 | 0.114 | 0.134 | 0.263 |
| 14 | 0.400 | 0.296 | .060 | 0.141 | 0.245 | 0.323 |
| 15 | 0.250 | 0.185 | 0.112 | 0.198 | 0.394 | 0.497 |
| 16 | 0.127 | .094 | 0.183 | 0.264 | 0.546 | 0.666 |
| 17 | .005 | .004 | 0.269 | 0.350 | 0.820 | 0.857 |
| 18 | -0.123 | -.091 | 0.424 | 0.458 | 1.000 | 0.971 |
| 19 | -0.248 | -0.183 | 0.564 | 0.571 | 0.987 | 1.000 |
| 20 | -0.373 | -0.276 | 0.712 | 0.683 | 0.939 | 0.937 |
| 21 | -0.499 | -0.368 | 0.839 | 0.781 | 0.707 | 0.743 |
| 22 | -0.624 | -0.461 | 0.920 | 0.858 | 0.412 | 0.591 |
| 23 | -0.749 | -0.554 | 0.960 | 0.919 | 0.223 | 0.460 |
| 24 | -0.875 | -0.646 | 0.985 | 0.965 | 0.112 | 0.334 |
| 25 | -1.000 | -0.739 | 0.993 | 0.997 | .020 | 0.211 |
| 26 | -1.124 | -0.831 | 0.991 | 1.015 | -.011 | 0.103 |
| 27 | -1.249 | -0.923 | 0.989 | 1.025 | -.031 | .080 |

Tablica 13.12

Pomierzone wskaźniki deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 2

| Lp | x/rw | x/ru | w/wm | G/Gm | T/Tm | u/um |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 1.815 | 1.538 | 0.000 | .000 | 0.000 | .005 |
| 29 | 1.723 | 1.460 | 0.000 | .001 | .004 | .005 |
| 30 | 1.640 | 1.390 | .001 | .001 | .009 | .012 |
| 31 | 1.540 | 1.305 | .002 | .003 | .009 | .017 |
| 32 | 1.448 | 1.227 | .003 | .005 | .010 | .024 |
| 33 | 1.356 | 1.149 | .005 | .007 | .019 | .031 |
| 34 | 1.265 | 1.072 | .008 | .010 | .023 | .034 |
| 35 | 1.173 | 0.994 | .010 | .014 | .022 | .043 |
| 36 | 1.010 | 0.856 | .015 | .024 | .026 | .079 |
| 37 | 0.924 | 0.783 | .018 | .031 | .039 | .094 |
| 38 | 0.832 | 0.705 | .024 | .041 | .051 | 0.113 |
| 39 | 0.740 | 0.627 | .030 | .053 | .055 | 0.149 |
| 40 | 0.649 | 0.550 | .037 | .068 | .071 | 0.182 |
| 41 | 0.557 | 0.472 | .047 | .087 | 0.106 | 0.216 |
| 42 | 0.465 | 0.394 | .062 | 0.109 | 0.159 | 0.259 |
| 43 | 0.372 | 0.315 | .085 | 0.136 | 0.245 | 0.333 |
| 44 | 0.279 | 0.237 | 0.120 | 0.172 | 0.349 | 0.427 |
| 45 | 0.187 | 0.158 | 0.167 | 0.218 | 0.420 | 0.566 |
| 46 | .094 | .079 | 0.220 | 0.277 | 0.546 | 0.698 |
| 47 | .000 | .000 | 0.298 | 0.352 | 0.743 | 0.887 |
| 48 | -.092 | -.078 | 0.398 | 0.439 | 0.912 | 0.983 |

cd. tablicy 13.12

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 49 | -0.185 | -0.157 | 0.515 | 0.532 | 1.000 | 1.000 |
| 50 | -0.277 | -0.234 | 0.634 | 0.622 | 0.991 | 0.957 |
| 51 | -0.365 | -0.310 | 0.745 | 0.705 | 0.920 | 0.909 |
| 52 | -0.457 | -0.387 | 0.847 | 0.782 | 0.749 | 0.748 |
| 53 | -0.548 | -0.465 | 0.920 | 0.844 | 0.520 | 0.616 |
| 54 | -0.639 | -0.541 | 0.968 | 0.893 | 0.343 | 0.460 |
| 55 | -0.729 | -0.618 | 1.000 | 0.931 | 0.131 | 0.362 |
| 56 | -0.820 | -0.695 | 0.998 | 0.960 | -.019 | 0.285 |
| 57 | -0.911 | -0.772 | 0.995 | 0.983 | .003 | 0.218 |

Tablica 13.13

Pomierzone wskaźniki deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 4, ściana 1

| Lp | x/rw | x/ru | w/wm | G/Gm | T/Tm | u/um |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 58 | 2.811 | 2.077 | .002 | .000 | -.008 | .002 |
| 59 | 2.685 | 1.985 | .001 | .001 | -.003 | .005 |
| 60 | 2.560 | 1.892 | .002 | .001 | .003 | .007 |
| 61 | 2.436 | 1.800 | .002 | .002 | -.005 | .005 |
| 62 | 2.311 | 1.708 | 0.000 | .003 | -.003 | .010 |
| 63 | 2.187 | 1.616 | .001 | .004 | .003 | .005 |
| 64 | 2.062 | 1.524 | .001 | .004 | 0.000 | .005 |
| 65 | 1.938 | 1.432 | .001 | .005 | .003 | .007 |
| 66 | 1.813 | 1.340 | .002 | .006 | .003 | .010 |
| 67 | 1.688 | 1.248 | .002 | .007 | .010 | .019 |
| 68 | 1.563 | 1.156 | .005 | .010 | .013 | .026 |
| 69 | 1.439 | 1.063 | .006 | .013 | .010 | .033 |
| 70 | 1.315 | 0.972 | .008 | .018 | .015 | .048 |
| 71 | 1.189 | 0.879 | .010 | .025 | .013 | .064 |
| 72 | 1.065 | 0.787 | .012 | .033 | .020 | .076 |
| 73 | 0.939 | 0.694 | .017 | .043 | .030 | .093 |
| 74 | 0.812 | 0.600 | .021 | .055 | .043 | 0.116 |
| 75 | 0.689 | 0.509 | .030 | .071 | .068 | 0.159 |
| 76 | 0.562 | 0.415 | .043 | .093 | 0.120 | 0.221 |
| 77 | 0.437 | 0.323 | .068 | 0.124 | 0.185 | 0.314 |
| 78 | 0.310 | 0.229 | 0.101 | 0.168 | 0.299 | 0.437 |
| 79 | 0.184 | 0.136 | 0.163 | 0.229 | 0.481 | 0.601 |
| 80 | .058 | .043 | 0.254 | 0.308 | 0.674 | 0.746 |
| 81 | -0.194 | -0.144 | 0.498 | 0.509 | 0.892 | 0.969 |
| 82 | -0.320 | -0.236 | 0.656 | 0.624 | 1.000 | 1.000 |
| 83 | -0.445 | -0.329 | 0.811 | 0.732 | 0.823 | 0.865 |
| 84 | -0.568 | -0.420 | 0.912 | 0.820 | 0.509 | 0.682 |
| 85 | -0.691 | -0.511 | 0.968 | 0.891 | 0.276 | 0.553 |
| 86 | -0.814 | -0.602 | 0.998 | 0.949 | 0.103 | 0.473 |

Tablica 13.14

Pomierzone wskaźniki deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 5,ściana 2

| Lp | x/rw | x/ru | w/wm | G/Gm | T/Tm | u/um |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 87 | 1.852 | 1.503 | .003 | .000 | .009 | .007 |
| 88 | 1.751 | 1.422 | .005 | .001 | .006 | .010 |
| 89 | 1.649 | 1.339 | .005 | .002 | .003 | .012 |
| 90 | 1.549 | 1.257 | .006 | .004 | .006 | .020 |
| 91 | 1.447 | 1.174 | .006 | .006 | .006 | .022 |
| 92 | 1.345 | 1.092 | .007 | .009 | .003 | .034 |
| 93 | 1.244 | 1.010 | .007 | .013 | .008 | .037 |
| 94 | 1.098 | 0.891 | .010 | .019 | .028 | .054 |
| 95 | 1.037 | 0.841 | .014 | .023 | .063 | .071 |



cd. tablicy 13.14

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 96 | 0.973 | 0.790 | .021 | .028 | .025 | .078 |
| 97 | 0.904 | 0.734 | .018 | .034 | .001 | .088 |
| 98 | 0.822 | 0.667 | .022 | .042 | .060 | 0.105 |
| 99 | 0.720 | 0.585 | .033 | .054 | .071 | 0.135 |
| 100 | 0.618 | 0.502 | .041 | .069 | 0.116 | 0.159 |
| 101 | 0.517 | 0.419 | .065 | .089 | 0.188 | 0.235 |
| 102 | 0.412 | 0.335 | .093 | 0.119 | 0.274 | 0.328 |
| 103 | 0.326 | 0.265 | 0.132 | 0.152 | 0.229 | 0.436 |
| 104 | 0.252 | 0.204 | 0.144 | 0.187 | 0.215 | 0.498 |
| 105 | 0.145 | 0.118 | 0.189 | 0.245 | 0.509 | 0.588 |
| 106 | -.089 | -.072 | 0.407 | 0.426 | 0.818 | 0.958 |
| 107 | -0.195 | -0.158 | 0.539 | 0.529 | 1.000 | 1.000 |
| 108 | -0.296 | -0.241 | 0.683 | 0.630 | 0.961 | 0.973 |
| 109 | -0.390 | -0.317 | 0.790 | 0.716 | 0.739 | 0.853 |
| 110 | -0.502 | -0.408 | 0.883 | 0.804 | 0.481 | 0.706 |
| 111 | -0.605 | -0.491 | 0.930 | 0.871 | 0.300 | 0.605 |
| 112 | -0.708 | -0.575 | 0.965 | 0.928 | 0.194 | 0.500 |
| 113 | -0.810 | -0.658 | 0.983 | 0.974 | .068 | 0.397 |
| 114 | -0.913 | -0.741 | 0.984 | 1.011 | .029 | 0.316 |
| 115 | -1.016 | -0.825 | 0.991 | 1.041 | .038 | 0.270 |
| 116 | -1.119 | -0.908 | 0.994 | 1.068 | .051 | 0.238 |
| 117 | -1.220 | -0.990 | 1.005 | 1.090 | .064 | 0.201 |

Tablica 13.15

Pomierzone wskaźniki deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym
Kopalnia "Komuna Paryska" linia 5, ściana 1

| Lp | x/rw | x/ru | w/wm | G/Gm | T/Tm | u/um |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 118 | 1.783 | 1.432 | -.002 | .000 | .003 | .002 |
| 119 | 1.681 | 1.350 | -.001 | .001 | .000 | .005 |
| 120 | 1.570 | 1.261 | -.002 | .001 | .004 | 0.000 |
| 121 | 1.474 | 1.184 | 0.000 | .001 | .010 | .014 |
| 122 | 1.350 | 1.085 | .001 | .004 | .013 | .023 |
| 123 | 1.248 | 1.002 | .004 | .007 | .010 | .035 |
| 124 | 1.143 | 0.919 | .004 | .013 | .017 | .069 |
| 125 | 1.041 | 0.836 | .008 | .021 | .034 | .087 |
| 126 | 0.938 | 0.753 | .013 | .030 | .047 | 0.106 |
| 127 | 0.833 | 0.669 | .021 | .042 | .067 | 0.122 |
| 128 | 0.730 | 0.586 | .030 | .055 | .087 | 0.154 |
| 129 | 0.626 | 0.503 | .044 | .072 | .097 | 0.190 |
| 130 | 0.523 | 0.420 | .056 | .093 | 0.138 | 0.241 |
| 131 | 0.420 | 0.338 | .080 | 0.119 | 0.183 | 0.291 |
| 132 | 0.315 | 0.253 | 0.105 | 0.154 | 0.261 | 0.406 |
| 133 | 0.245 | 0.197 | 0.136 | 0.184 | 0.350 | 0.502 |
| 134 | 0.140 | 0.112 | 0.185 | 0.241 | 0.455 | 0.647 |
| 135 | .038 | .031 | 0.256 | 0.310 | 0.693 | 0.780 |
| 136 | -.066 | -.053 | 0.369 | 0.395 | 0.924 | 0.945 |
| 137 | -0.170 | -0.137 | 0.504 | 0.491 | 1.000 | 1.000 |
| 138 | -0.232 | -0.186 | 0.583 | 0.549 | 0.954 | 0.984 |
| 139 | -0.379 | -0.305 | 0.757 | 0.676 | 0.792 | 0.833 |
| 140 | -0.485 | -0.389 | 0.847 | 0.753 | 0.565 | 0.711 |
| 141 | -0.588 | -0.472 | 0.909 | 0.817 | 0.379 | 0.599 |
| 142 | -0.692 | -0.556 | 0.948 | 0.872 | 0.220 | 0.509 |
| 143 | -0.795 | -0.639 | 0.968 | 0.918 | 0.137 | 0.443 |
| 144 | -0.899 | -0.722 | 0.985 | 0.958 | .072 | 0.358 |
| 145 | -1.024 | -0.822 | 0.988 | 0.995 | .037 | 0.275 |
| 146 | -1.108 | -0.890 | 0.994 | 1.016 | .062 | 0.245 |
| 147 | -1.212 | -0.973 | 1.003 | 1.038 | -.003 | 0.216 |

jako jeden zbiór danych uszeregowano je według współrzędnej bezwymiarowej $x/r_w$, a następnie uśredniono (obliczano średnią arytmetyczną z dwóch sąsiednich wartości). Uporządkowane uśrednione wartości pomierzonych wskaźników deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym przedstawiono w tablicy 13.16 oraz graficznie na rys. 13.6 do 13.9.

Tablica 13.16

Uporządkowane uśrednione pomierzone wskaźniki deformacji
w jednostkowym układzie bezwymiarowym
Kopalnia "Komuna Paryska" linie 1-5

| Lp | x/rw | x/ru | w/wm | G/Gm | T/Tm | u/um |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.748 | 2.031 | .002 | .000 | -.005 | .004 |
| 2 | 2.623 | 1.938 | .001 | .001 | 6.531 | .006 |
| 3 | 2.498 | 1.846 | .002 | .002 | -.001 | .006 |
| 4 | 2.374 | 1.754 | .001 | .002 | -.004 | .007 |
| 5 | 2.249 | 1.662 | .000 | .003 | 2.028 | .007 |
| 6 | 2.125 | 1.570 | .001 | .004 | .001 | .005 |
| 7 | 2.029 | 1.500 | .000 | .002 | .001 | .005 |
| 8 | 1.967 | 1.454 | .000 | .003 | .003 | .006 |
| 9 | 1.904 | 1.407 | .001 | .003 | .004 | .011 |
| 10 | 1.861 | 1.443 | .002 | .001 | .007 | .011 |
| 11 | 1.833 | 1.521 | .002 | .000 | .005 | .006 |
| 12 | 1.814 | 1.439 | .001 | .003 | .001 | .007 |
| 13 | 1.798 | 1.386 | -.000 | .003 | .003 | .006 |
| 14 | 1.767 | 1.427 | .002 | .001 | .005 | .006 |
| 15 | 1.749 | 1.357 | .003 | .002 | .006 | .015 |
| 16 | 1.735 | 1.376 | .001 | .002 | .004 | .012 |
| 17 | 1.706 | 1.354 | .001 | .004 | .007 | .012 |
| 18 | 1.685 | 1.299 | .000 | .004 | .005 | .012 |
| 19 | 1.665 | 1.345 | .002 | .002 | .002 | .008 |
| 20 | 1.645 | 1.364 | .003 | .002 | .006 | .012 |
| 21 | 1.619 | 1.285 | .002 | .004 | .004 | .020 |
| 22 | 1.584 | 1.221 | .000 | .004 | .002 | .014 |
| 23 | 1.566 | 1.208 | .001 | .005 | .008 | .013 |
| 24 | 1.556 | 1.206 | .005 | .007 | .009 | .023 |
| 25 | 1.544 | 1.281 | .004 | .004 | .008 | .018 |
| 26 | 1.518 | 1.206 | .002 | .006 | .004 | .028 |
| 27 | 1.485 | 1.145 | .001 | .006 | .005 | .027 |
| 28 | 1.461 | 1.206 | .002 | .003 | .010 | .019 |
| 29 | 1.447 | 1.201 | .005 | .006 | .008 | .023 |
| 30 | 1.443 | 1.119 | .006 | .010 | .008 | .028 |
| 31 | 1.405 | 1.039 | .004 | .014 | .009 | .039 |
| 32 | 1.364 | 1.082 | .004 | .011 | .014 | .038 |
| 33 | 1.353 | 1.117 | .003 | .005 | .016 | .027 |
| 34 | 1.348 | 1.088 | .004 | .006 | .008 | .029 |
| 35 | 1.330 | 1.032 | .008 | .014 | .009 | .041 |
| 36 | 1.290 | 1.022 | .008 | .014 | .019 | .041 |
| 37 | 1.256 | 1.037 | .006 | .009 | .016 | .044 |
| 38 | 1.248 | 0.962 | .004 | .014 | .011 | .058 |
| 39 | 1.246 | 0.966 | .006 | .017 | .010 | .048 |
| 40 | 1.216 | 0.944 | .009 | .019 | .010 | .050 |
| 41 | 1.181 | 0.936 | .010 | .019 | .017 | .054 |
| 42 | 1.158 | 0.956 | .007 | .014 | .020 | .056 |
| 43 | 1.133 | 0.874 | .005 | .021 | .014 | .072 |
| 44 | 1.110 | 0.860 | .008 | .024 | .020 | .064 |
| 45 | 1.081 | 0.839 | .011 | .026 | .024 | .065 |
| 46 | 1.053 | 0.811 | .010 | .027 | .027 | .082 |
| 47 | 1.039 | 0.839 | .011 | .022 | .048 | .079 |
| 48 | 1.023 | 0.849 | .014 | .024 | .044 | .075 |
| 49 | 1.004 | 0.797 | .011 | .031 | .027 | .087 |
| 50 | 0.985 | 0.764 | .014 | .033 | .027 | .086 |



cd. tablicy 13.16

| Lp | x/rw | x/ru | w/wm | G/Gm | T/Tm | u/um |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 51 | 0.956 | 0.742 | .019 | .035 | .028 | .086 |
| 52 | 0.938 | 0.724 | .015 | .037 | .038 | .099 |
| 53 | 0.931 | 0.768 | .015 | .031 | .043 | .100 |
| 54 | 0.914 | 0.758 | .018 | .033 | .020 | .091 |
| 55 | 0.888 | 0.689 | .016 | .042 | .017 | 0.107 |
| 56 | 0.853 | 0.657 | .017 | .046 | .050 | 0.124 |
| 57 | 0.833 | 0.687 | .022 | .041 | .059 | 0.117 |
| 58 | 0.827 | 0.686 | .023 | .041 | .056 | 0.109 |
| 59 | 0.817 | 0.634 | .022 | .048 | .052 | 0.111 |
| 60 | 0.780 | 0.576 | .019 | .061 | .043 | 0.134 |
| 61 | 0.744 | 0.590 | .024 | .060 | .049 | 0.150 |
| 62 | 0.735 | 0.607 | .030 | .054 | .071 | 0.151 |
| 63 | 0.725 | 0.586 | .032 | .055 | .079 | 0.144 |
| 64 | 0.705 | 0.547 | .032 | .062 | .070 | 0.147 |
| 65 | 0.669 | 0.530 | .034 | .069 | .069 | 0.171 |
| 66 | 0.638 | 0.527 | .040 | .070 | .084 | 0.186 |
| 67 | 0.625 | 0.482 | .035 | .080 | .084 | 0.195 |
| 68 | 0.621 | 0.482 | .034 | .078 | .093 | 0.180 |
| 69 | 0.590 | 0.459 | .042 | .081 | 0.118 | 0.190 |
| 70 | 0.559 | 0.444 | .045 | .090 | 0.113 | 0.218 |
| 71 | 0.540 | 0.446 | .052 | .090 | 0.122 | 0.228 |
| 72 | 0.520 | 0.420 | .060 | .091 | 0.163 | 0.238 |
| 73 | 0.508 | 0.394 | .051 | 0.102 | 0.161 | 0.249 |
| 74 | 0.482 | 0.382 | .050 | 0.111 | 0.147 | 0.261 |
| 75 | 0.451 | 0.358 | .065 | 0.116 | 0.172 | 0.286 |
| 76 | 0.428 | 0.330 | .074 | 0.122 | 0.184 | 0.302 |
| 77 | 0.416 | 0.336 | .087 | 0.119 | 0.229 | 0.310 |
| 78 | 0.406 | 0.315 | .076 | 0.130 | 0.259 | 0.326 |
| 79 | 0.386 | 0.305 | .072 | 0.139 | 0.245 | 0.328 |
| 80 | 0.349 | 0.290 | 0.109 | 0.144 | 0.237 | 0.385 |
| 81 | 0.321 | 0.259 | 0.119 | 0.153 | 0.245 | 0.421 |
| 82 | 0.313 | 0.241 | 0.103 | 0.161 | 0.280 | 0.422 |
| 83 | 0.295 | 0.233 | 0.111 | 0.170 | 0.324 | 0.432 |
| 84 | 0.265 | 0.220 | 0.132 | 0.179 | 0.282 | 0.462 |
| 85 | 0.251 | 0.195 | 0.128 | 0.192 | 0.305 | 0.497 |
| 86 | 0.248 | 0.191 | 0.124 | 0.191 | 0.372 | 0.500 |
| 87 | 0.216 | 0.178 | 0.152 | 0.201 | 0.385 | 0.534 |
| 88 | 0.189 | 0.147 | 0.165 | 0.224 | 0.451 | 0.583 |
| 89 | 0.164 | 0.127 | 0.176 | 0.237 | 0.495 | 0.595 |
| 90 | 0.142 | 0.115 | 0.187 | 0.243 | 0.482 | 0.618 |
| 91 | 0.133 | 0.103 | 0.184 | 0.253 | 0.500 | 0.656 |
| 92 | 0.110 | .087 | 0.202 | 0.271 | 0.546 | 0.682 |
| 93 | .076 | .061 | 0.237 | 0.293 | 0.610 | 0.722 |
| 94 | .048 | .037 | 0.255 | 0.309 | 0.683 | 0.763 |
| 95 | .022 | .017 | 0.263 | 0.330 | 0.756 | 0.818 |
| 96 | .002 | .002 | 0.284 | 0.351 | 0.782 | 0.872 |
| 97 | -.033 | -.026 | 0.334 | 0.374 | 0.833 | 0.916 |
| 98 | -.078 | -.063 | 0.398 | 0.411 | 0.871 | 0.952 |
| 99 | -.091 | -.075 | 0.402 | 0.433 | 0.865 | 0.971 |
| 100 | -0.108 | -.085 | 0.411 | 0.448 | 0.956 | 0.977 |

| Lp | x/rw | x/ru | w/wm | G/Gm | T/Tm | u/um |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 101 | -0.147 | -0.114 | 0.464 | 0.474 | 1.000 | 0.986 |
| 102 | -0.178 | -0.147 | 0.510 | 0.511 | 1.000 | 1.000 |
| 103 | -0.190 | -0.150 | 0.506 | 0.520 | 0.946 | 0.985 |
| 104 | -0.194 | -0.151 | 0.518 | 0.519 | 0.946 | 0.985 |
| 105 | -0.213 | -0.172 | 0.561 | 0.539 | 0.977 | 0.992 |
| 106 | -0.240 | -0.185 | 0.573 | 0.580 | 0.971 | 0.992 |
| 107 | -0.262 | -0.209 | 0.599 | 0.576 | 0.989 | 0.979 |
| 108 | -0.286 | -0.237 | 0.659 | 0.626 | 0.976 | 0.965 |
| 109 | -0.308 | -0.238 | 0.670 | 0.627 | 0.981 | 0.987 |
| 110 | -0.343 | -0.273 | 0.701 | 0.664 | 0.960 | 0.954 |
| 111 | -0.369 | -0.293 | 0.728 | 0.694 | 0.929 | 0.923 |
| 112 | -0.376 | -0.290 | 0.735 | 0.680 | 0.865 | 0.885 |

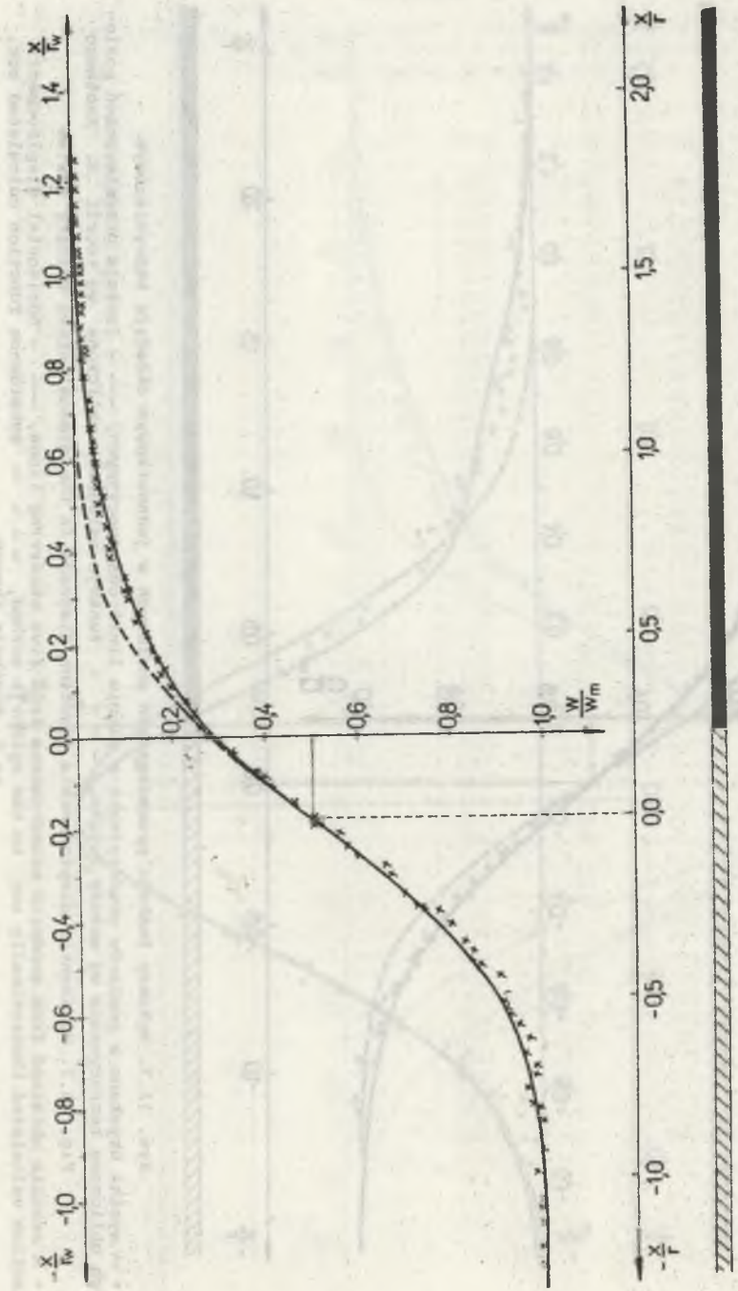
cd. tablicy 13.16

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 113 | -0.385 | -0.311 | 0.774 | 0.696 | 0.765 | 0.843 |
| 114 | -0.417 | -0.323 | 0.801 | 0.724 | 0.781 | 0.859 |
| 115 | -0.451 | -0.358 | 0.829 | 0.757 | 0.786 | 0.806 |
| 116 | -0.471 | -0.388 | 0.847 | 0.767 | 0.657 | 0.730 |
| 117 | -0.492 | -0.379 | 0.843 | 0.767 | 0.636 | 0.727 |
| 118 | -0.501 | -0.388 | 0.861 | 0.792 | 0.594 | 0.724 |
| 119 | -0.525 | -0.436 | 0.902 | 0.824 | 0.501 | 0.661 |
| 120 | -0.558 | -0.442 | 0.916 | 0.832 | 0.515 | 0.649 |
| 121 | -0.578 | -0.446 | 0.911 | 0.819 | 0.444 | 0.640 |
| 122 | -0.596 | -0.482 | 0.919 | 0.844 | 0.339 | 0.602 |
| 123 | -0.614 | -0.476 | 0.925 | 0.864 | 0.356 | 0.598 |
| 124 | -0.631 | -0.501 | 0.944 | 0.876 | 0.377 | 0.526 |
| 125 | -0.665 | -0.526 | 0.968 | 0.892 | 0.309 | 0.507 |
| 126 | -0.692 | -0.533 | 0.958 | 0.881 | 0.248 | 0.531 |
| 127 | -0.700 | -0.565 | 0.957 | 0.900 | 0.207 | 0.505 |
| 128 | -0.718 | -0.596 | 0.983 | 0.930 | 0.162 | 0.431 |
| 129 | -0.739 | -0.586 | 0.980 | 0.925 | 0.177 | 0.411 |
| 130 | -0.772 | -0.596 | 0.964 | 0.919 | 0.180 | 0.451 |
| 131 | -0.803 | -0.648 | 0.975 | 0.946 | 0.103 | 0.420 |
| 132 | -0.812 | -0.630 | 0.990 | 0.962 | .085 | 0.435 |
| 133 | -0.817 | -0.648 | 0.998 | 0.955 | .042 | 0.379 |
| 134 | -0.847 | -0.671 | 0.992 | 0.963 | .046 | 0.310 |
| 135 | -0.887 | -0.684 | 0.985 | 0.961 | .092 | 0.346 |
| 136 | -0.905 | -0.747 | 0.990 | 0.971 | .038 | 0.288 |
| 137 | -0.912 | -0.757 | 0.990 | 0.997 | .016 | 0.267 |
| 138 | -0.957 | -0.740 | 0.988 | 1.004 | .024 | 0.264 |
| 139 | -1.008 | -0.782 | 0.992 | 1.019 | .029 | 0.241 |
| 140 | -1.020 | -0.824 | 0.989 | 1.018 | .038 | 0.272 |
| 141 | -1.066 | -0.856 | 0.991 | 1.005 | .050 | 0.260 |
| 142 | -1.114 | -0.899 | 0.994 | 1.042 | .057 | 0.242 |
| 143 | -1.122 | -0.870 | 0.993 | 1.041 | .020 | 0.170 |
| 144 | -1.168 | -0.902 | 0.997 | 1.027 | -.007 | 0.159 |
| 145 | -1.216 | -0.982 | 1.004 | 1.064 | .030 | 0.208 |
| 146 | -1.235 | -0.957 | 0.997 | 1.057 | .017 | 0.140 |

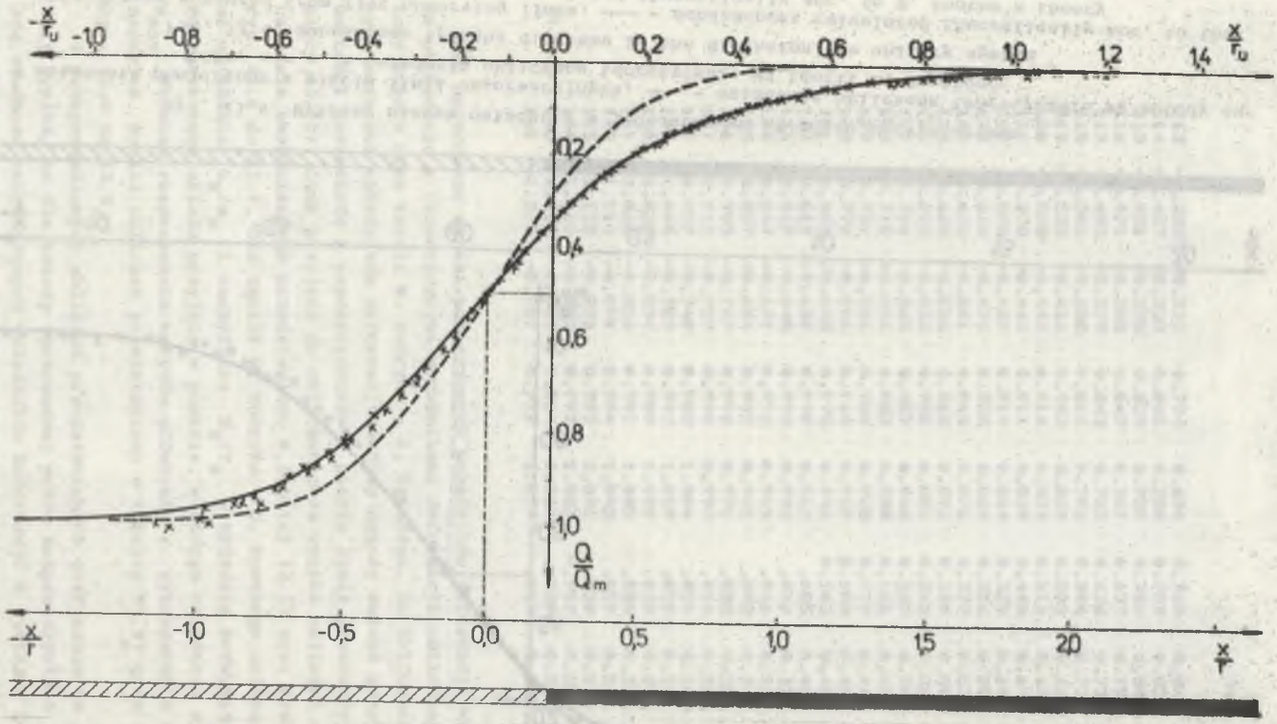
Tak opracowane wyniki pomierzonych wskaźników deformacji wykorzystano do porównania z teoretycznymi wskaźnikami deformacji obliczonymi według metody autora oraz teorii W. Budryka - S. Knothego. Do obliczenia teoretycznych wartości wskaźników deformacji według metody autora przyjęto średnie wartości parametrów i współczynników z pięciu linii obserwacyjnych (z tablicy 13.10). Dane przyjęte do obliczeń oraz wyniki obliczeń w jednostkowym układzie bezwymiarowym przedstawiono w tablicy 13.17 oraz graficznie na rys. 13.6 do 13.9. Dla teorii W. Budryka - S. Knothego obliczono jednostkowe osiadania $w_k/w_m$ i nachylenia $T_k/T_m$ w układzie bezwymiarowym x/r. Początek tego układu przyjęto w punkcie, w którym osiadania wynoszą 0,5 $w_{max}$. Promień rozproszenia wpływów głównych r wyznaczono z maksymalnych nachyleń. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 13.17 oraz graficznie na rys. 13.6 do 13.9.

Z przeprowadzonych obliczeń przedstawionych graficznie na rys. 13.6 do 13.9 wynika, że dla metody opracowanej przez autora uzyskano jednakowo dobrą zgodność teoretycznych wskaźników deformacji z wynikami pomiarów na całym ich przebiegu, tj. nad eksploatacją oraz nad calizną. Dla teorii W. Budryka - S. Knothego uzyskano dużo gorszą zgodność. Najlepszą zgodność






Rys. 13.6. Wykresy niecek osiadania w jednostkowym układzie bezwymiarowym
• - osiadania pomierzone z pięciu linii obserwacyjnych, —— - osiadania obliczone teoretycznie wg metody autora, - - - - osiadania obliczone teoretycznie wg teorii S. Knothego
Fig. 13.6. Subsidence troughs diagrams in the dimensionless unitary system
• - subsidences measured from five observing lines, —— - subsidences calculated theoretically acc. to the author's method, - - - - subsidences calculated theoretically acc. to S. Knothe's theory



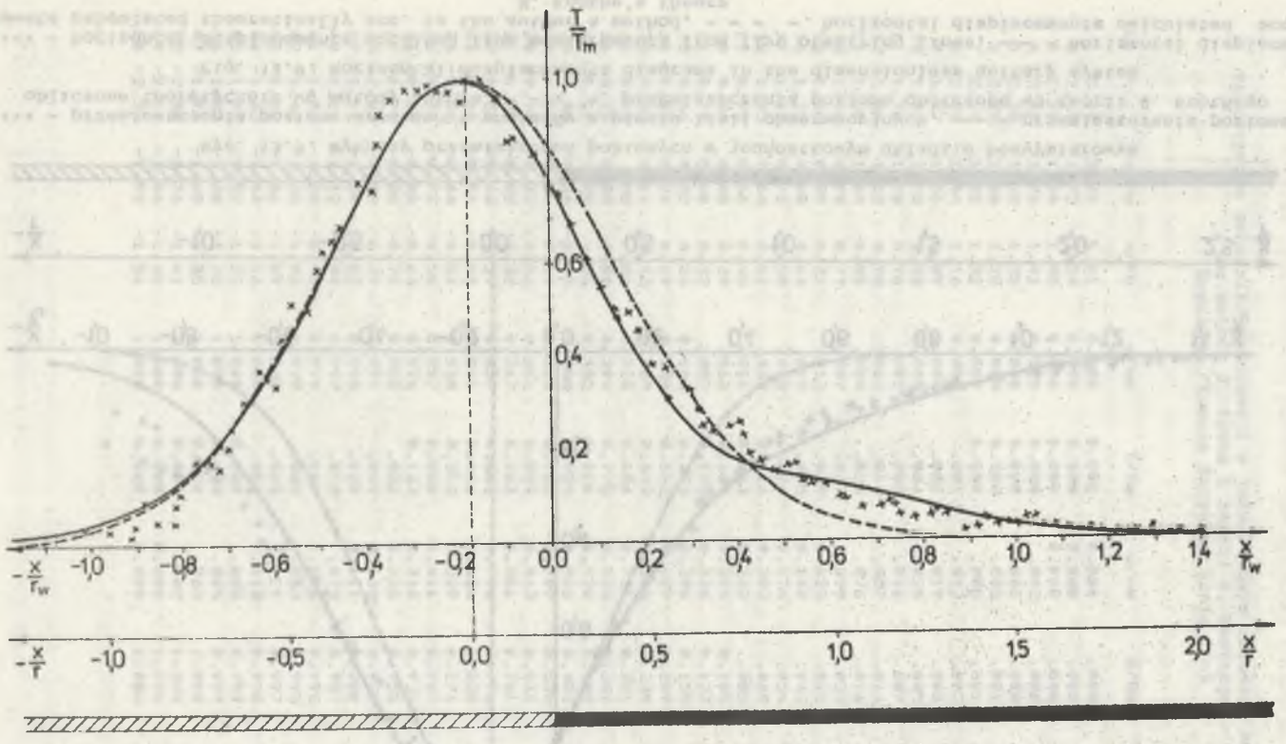

Rys. 13.7. Wykresy funkcji przemieszczeń poziomych w jednostkowym układzie bezwymiarowym

+++ - wyniki uzyskane z pomiarów geodezyjnych z pięciu linii obserwacyjnych, —— - funkcja przemieszczeń poziomych obliczona teoretycznie wg metody autora, - - - - funkcja osiadania obliczona wg teorii S. Knothego

Fig. 13.7. Horizontal displacements function diagrams in the dimensionless unitary system

+++ - results obtained from geodesic measurements from five observing lines, —— - horizontal displacements function calculated theoretically acc. to the author's method, - - - - subsidence function calculated acc. to S. Knothe's theory



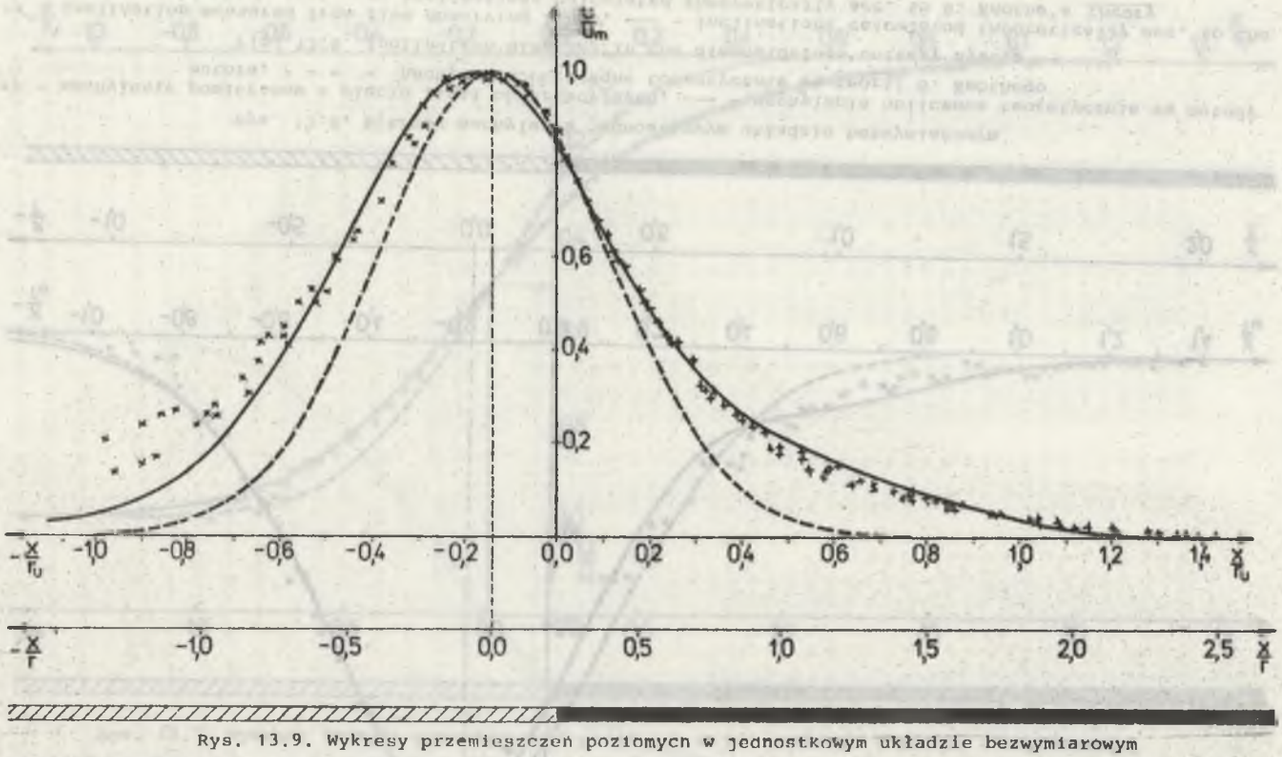



Rys. 13.8. Wykresy nachyleń w jednostkowym układzie bezwymiarowym

+++ - nachylenie pomierzone z pięciu linii obserwacyjnych, —— - nachylenia obliczone teoretycznie wg metody autora, - - - - nachylenia obliczone teoretycznie wg teorii S. Knothego

Fig. 13.8. Inclination diagrams in the dimensionless unitary system

+++ - inclination measured from five observing lines, —— - inclinations calculated theoretically acc. to the author's method, - - - - inclinations calculated theoretically acc. to S. Knothe's theory




Rys. 13.9. Wykresy przemieszczeń poziomych w jednostkowym układzie bezwymiarowym

+++ - przemieszczenia poziome uzyskane z pomiarów z pięciu linii obserwacyjnych, —— - przemieszczenia poziome obliczone teoretycznie wg metody autora, - - - - przemieszczenia poziome obliczone wg teorii S. Knothego

Fig. 13.9. Horizontal displacements diagrams in the dimensionless unitary system

+++ - horizontal displacements obtained from measurements from five observing lines, —— - horizontal displacements calculated theoretically acc. to the author's method, - - - - horizontal displacements calculated acc. S. Knothe's theory



Tablica 13.17

Teoretyczne wskaźniki deformacji w jednostkowym układzie bezwymiarowym wg metody J. Życha i teorii S. Knothego
Kopalnia "Komuna Paryska" linie 1-5

| Lp | x/r | x/rw | w/ww | T/Tm | u/um | G/Gm | wk/wm | Tk/Tm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.00 | 1.61 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | .000 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 2.69 | 1.92 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | .000 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | 2.59 | 1.84 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | .000 | 0.000 | 0.000 |
| 4 | 2.49 | 1.76 | 0.000 | 0.000 | .002 | .000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 2.38 | 1.68 | 0.000 | 0.000 | .003 | .000 | 0.000 | 0.000 |
| 6 | 2.28 | 1.60 | 0.000 | 0.000 | .005 | .001 | 0.000 | 0.000 |
| 7 | 2.18 | 1.52 | 0.000 | 0.000 | .008 | .001 | 0.000 | 0.000 |
| 8 | 2.08 | 1.44 | 0.000 | .001 | .012 | .002 | 0.000 | 0.000 |
| 9 | 1.97 | 1.36 | 0.000 | .002 | .019 | .003 | 0.000 | 0.000 |
| 10 | 1.87 | 1.28 | 0.000 | .004 | .028 | .005 | 0.000 | 0.000 |
| 11 | 1.77 | 1.20 | 0.000 | .008 | .041 | .007 | 0.000 | 0.000 |
| 12 | 1.66 | 1.12 | 0.000 | .014 | .057 | .011 | 0.000 | 0.000 |
| 13 | 1.56 | 1.04 | .004 | .024 | .076 | .016 | 0.000 | 0.000 |
| 14 | 1.46 | 0.96 | .007 | .037 | .099 | .023 | 0.000 | .001 |
| 15 | 1.36 | 0.88 | .012 | .054 | 0.123 | .031 | 0.000 | .003 |
| 16 | 1.25 | 0.80 | .019 | .075 | 0.149 | .042 | 0.000 | .007 |
| 17 | 1.15 | 0.72 | .028 | .096 | 0.174 | .054 | .002 | .016 |
| 18 | 1.05 | 0.64 | .039 | 0.116 | 0.202 | .069 | .004 | .032 |
| 19 | 0.95 | 0.56 | .051 | 0.133 | 0.232 | .085 | .009 | .060 |
| 20 | 0.84 | 0.48 | .066 | 0.149 | 0.271 | 0.105 | .017 | 0.107 |
| 21 | 0.74 | 0.40 | .082 | 0.175 | 0.324 | 0.127 | .032 | 0.179 |
| 22 | 0.64 | 0.32 | 0.103 | 0.224 | 0.396 | 0.155 | .055 | 0.279 |
| 23 | 0.53 | 0.24 | 0.130 | 0.312 | 0.489 | 0.189 | .091 | 0.407 |
| 24 | 0.43 | 0.16 | 0.169 | 0.442 | 0.601 | 0.230 | 0.140 | 0.556 |
| 25 | 0.33 | .08 | 0.223 | 0.606 | 0.721 | 0.281 | 0.205 | 0.710 |
| 26 | 0.23 | 0.00 | 0.294 | 0.775 | 0.836 | 0.341 | 0.296 | 0.849 |
| 27 | 0.12 | -.08 | 0.382 | 0.914 | 0.920 | 0.409 | 0.379 | 0.956 |
| 28 | .02 | -0.16 | 0.488 | 0.989 | 0.988 | 0.483 | 0.486 | 0.995 |
| 29 | -.08 | -0.24 | 0.583 | 0.982 | 0.999 | 0.559 | 0.583 | 0.978 |
| 30 | -0.19 | -0.32 | 0.681 | 0.899 | 0.963 | 0.635 | 0.679 | 0.934 |
| 31 | -0.29 | -0.40 | 0.767 | 0.763 | 0.886 | 0.706 | 0.765 | 0.815 |
| 32 | -0.39 | -0.48 | 0.837 | 0.602 | 0.778 | 0.768 | 0.837 | 0.662 |
| 33 | -0.49 | -0.56 | 0.891 | 0.446 | 0.654 | 0.825 | 0.892 | 0.462 |
| 34 | -0.60 | -0.64 | 0.930 | 0.312 | 0.529 | 0.871 | 0.933 | 0.325 |
| 35 | -0.70 | -0.72 | 0.957 | 0.208 | 0.411 | 0.907 | 0.964 | 0.214 |
| 36 | -0.80 | -0.80 | 0.974 | 0.133 | 0.310 | 0.934 | 0.978 | 0.132 |
| 37 | -0.91 | -0.88 | 0.985 | -.002 | 0.226 | 0.955 | 0.988 | .070 |
| 38 | -1.01 | -0.96 | 0.991 | .049 | 0.160 | 0.969 | 0.994 | .041 |
| 39 | -1.11 | -1.04 | 0.995 | .028 | 0.111 | 0.980 | 0.997 | .021 |
| 40 | -1.21 | -1.12 | 0.997 | .016 | .075 | 0.987 | 0.999 | .010 |
| 41 | -1.32 | -1.20 | 0.999 | .009 | .050 | 0.992 | 1.000 | .004 |
| 42 | -1.42 | -1.28 | 0.999 | .005 | .033 | 0.995 | 1.000 | .002 |
| 43 | -1.52 | -1.36 | 1.000 | .002 | .021 | 0.997 | 1.000 | 0.000 |
| 44 | -1.63 | -1.44 | 1.000 | .001 | .013 | 0.998 | 1.000 | 0.000 |
| 45 | -1.73 | -1.52 | 1.000 | 0.000 | .008 | 0.999 | 1.000 | 0.000 |
| 46 | -1.83 | -1.60 | 1.000 | 0.000 | .005 | 0.999 | 1.000 | 0.000 |
| 47 | -1.93 | -1.68 | 1.000 | 0.000 | .003 | 1.000 | 1.000 | 0.000 |
| 48 | -2.04 | -1.76 | 1.000 | 0.000 | .002 | 1.000 | 1.000 | 0.000 |
| 49 | -2.14 | -1.84 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 |
| 50 | -2.24 | -1.92 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 |

uzyskano dla osiadań i nachyleń nad wybraną przestrzenią. Większe różnice dla tych wskaźników deformacji wystąpiły nad calizną. Teoretyczne wskaźniki deformacji wykazują przede wszystkim mniejszy zasięg. Największe różnice wystąpiły przy porównaniu funkcji przemieszczeń poziomych, jak i samych przemieszczeń poziomych (rys. 13.7 i 13.9). Wystąpiły tutaj różnice zarówno nad wybraną przestrzenią, jak i nad calizną, a przede wszystkim największe różnice wystąpiły w zasięgu wpływów eksploatacji. Obliczone teoretycznie wskaźniki deformacji wykazują znacznie mniejszy zasięg od otrzymanego z pomiarów geodezyjnych.

## 13.2. Linia obserwacyjna 1 z kopalni "Chwałowice"

Linię tę wybrano jako przykład niecki niepełnej. Założona została nad eksploatacją prowadzoną w pokładzie 354 z zawałem stropu - rys. 13.10. Punkty zastabilizowane zostały za pomocą znaków ziemnych w odległości średniej ok. 30 m w zależności od sytuacji na powierzchni. Obniżenia mierzone były metodą niwelacji precyzyjnej. Odległości mierzone były taśmą stalową 50 m z zastosowaniem przykładek milimetrowych. Pomiary wykonane były co kwartał, a w fazie intensywnych ruchów co 2 miesiące.

Górotwór w rejonie rozpatrywanej linii zbudowany jest z warstw czwartorzędowych, trzeciorzędowych i karbonu. Nadkład stanowią naprzemianległe warstwy i soczewki piasków, żwirów i glin oraz iłów mioceńskich z przewarstwieniami drobnoziarnistych piasków. Warstwy orzeskie wykształcone są w facji łupkowo-piaskowcowej ze zdecydowaną przewagą łupków. W stropie pokładu występuje łupek ilasty silnie zapiaszczony. Pokład zalega na głębokości ok. 275 m, a jego grubość wynosi 1,6 do 1,7 m. Przy wybieraniu pokładu występował duży opad stropu tak, że średnia grubość wybieranego pokładu wynosiła ok. 2,0 m.

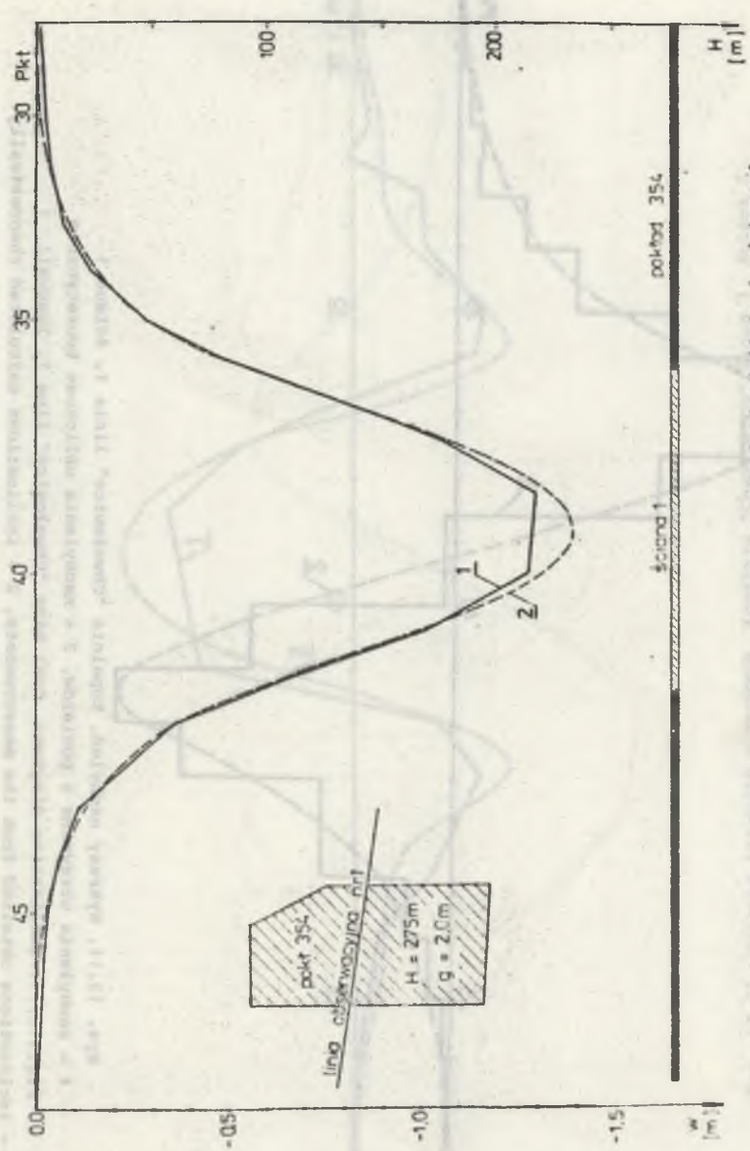
Wyniki pomiarów przedstawiono w tablicy 13.18 oraz graficznie na rys. 13.10 do 13.14. Teoretyczne wskaźniki deformacji, przy parametrach i współczynnikach wyznaczonych metodą kolejnych przybliżeń, przedstawiono w tablicy 13.19 oraz graficznie na rys. 13.10 do 13.14. Porównanie pomierzonych i obliczonych teoretycznych wskaźników deformacji przedstawiono w tablicach 13.20 do 13.24.

Na uzyskane wartości błędów procentowych i odchyleń standardowych miały niewątpliwie wpływ zbyt duże odległości pomiędzy niektórymi punktami pomiarowymi.

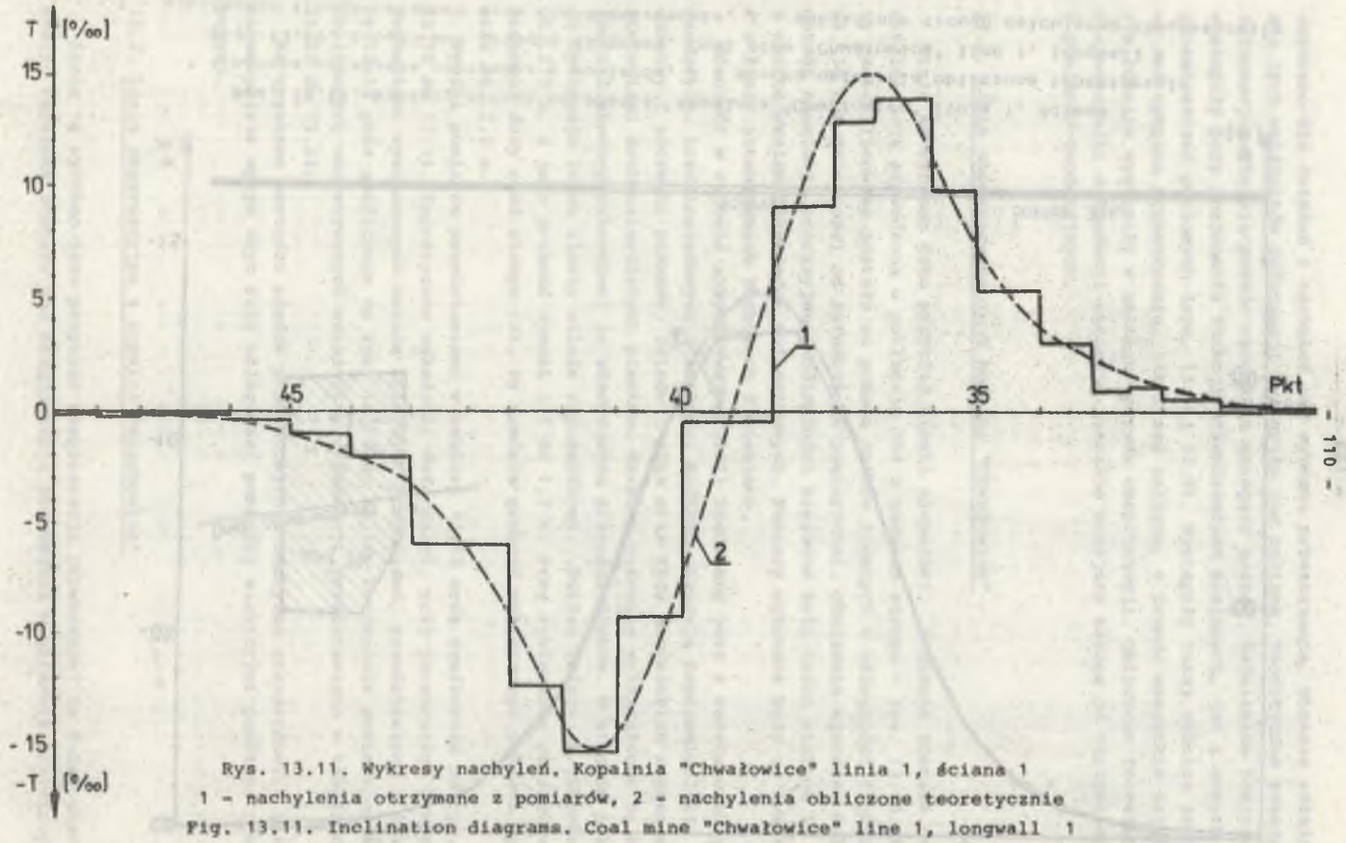
## 13.3. Linia obserwacyjna z kopalni "Miechowice"

Linię tę wybrano jako przykład eksploatacji prowadzonej na dużej głębokości. Założona została nad eksploatacją prowadzoną w warstwie przystropo-



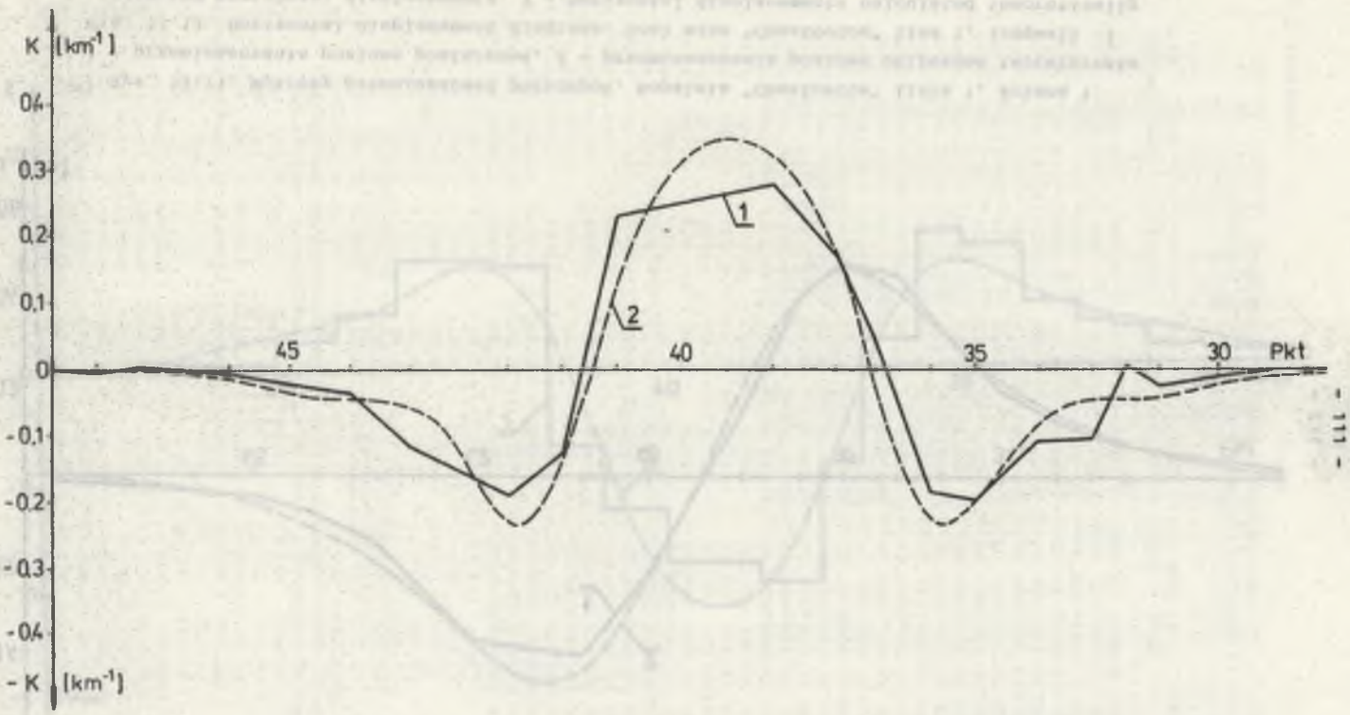



Rys. 13.10. Wykresy niecek osiadania. Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1
1 - niecka osiadania otrzymana z pomiarów, 2 - niecka osiadania obliczona teoretycznie
Fig. 13.10. Subsidence troughs diagrams. Coal mine "Chwałowice" line 1, longwall 1
1 - subsidence trough obtained from the measurements, 2 - subsidence trough calculated theoretically

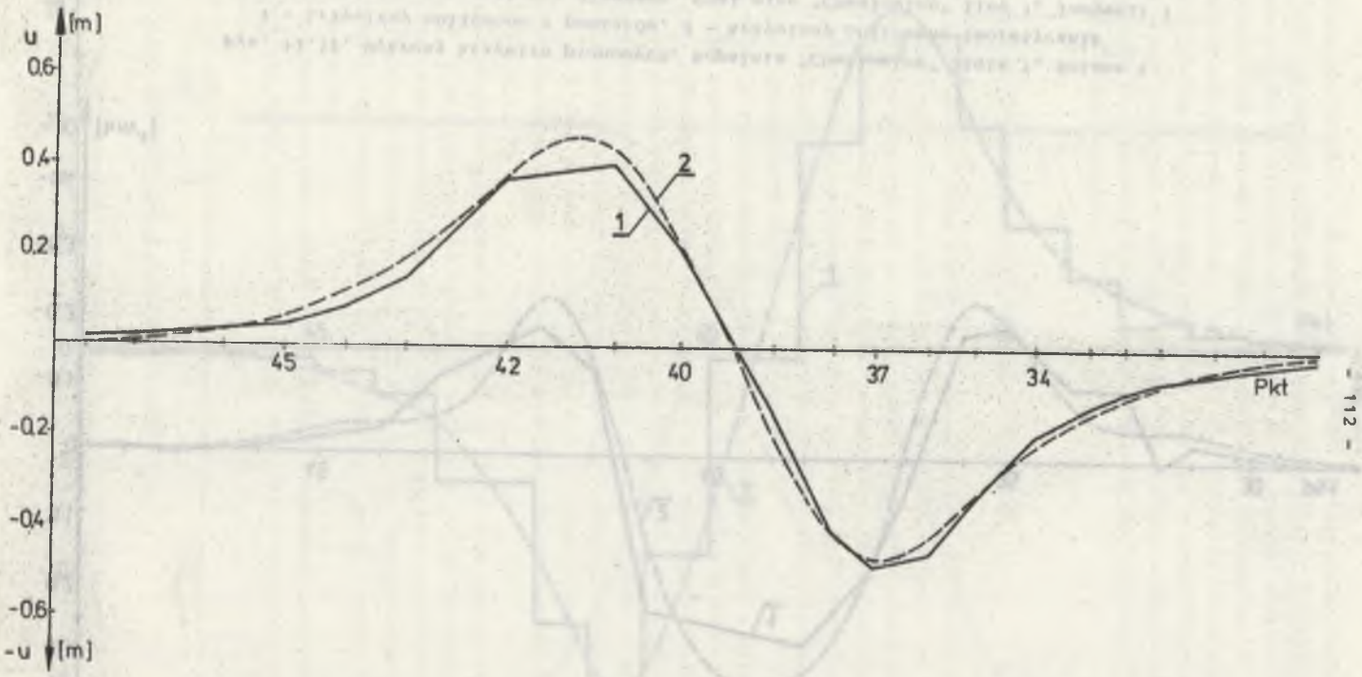



Rys. 13.11. Wykresy nachyleń. Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1
1 - nachylenia otrzymane z pomiarów, 2 - nachylenia obliczone teoretycznie
Fig. 13.11. Inclination diagrams. Coal mine "Chwałowice" line 1, longwall 1
1 - inclinations obtained from the measurements, 2 - inclinations calculated theoretically



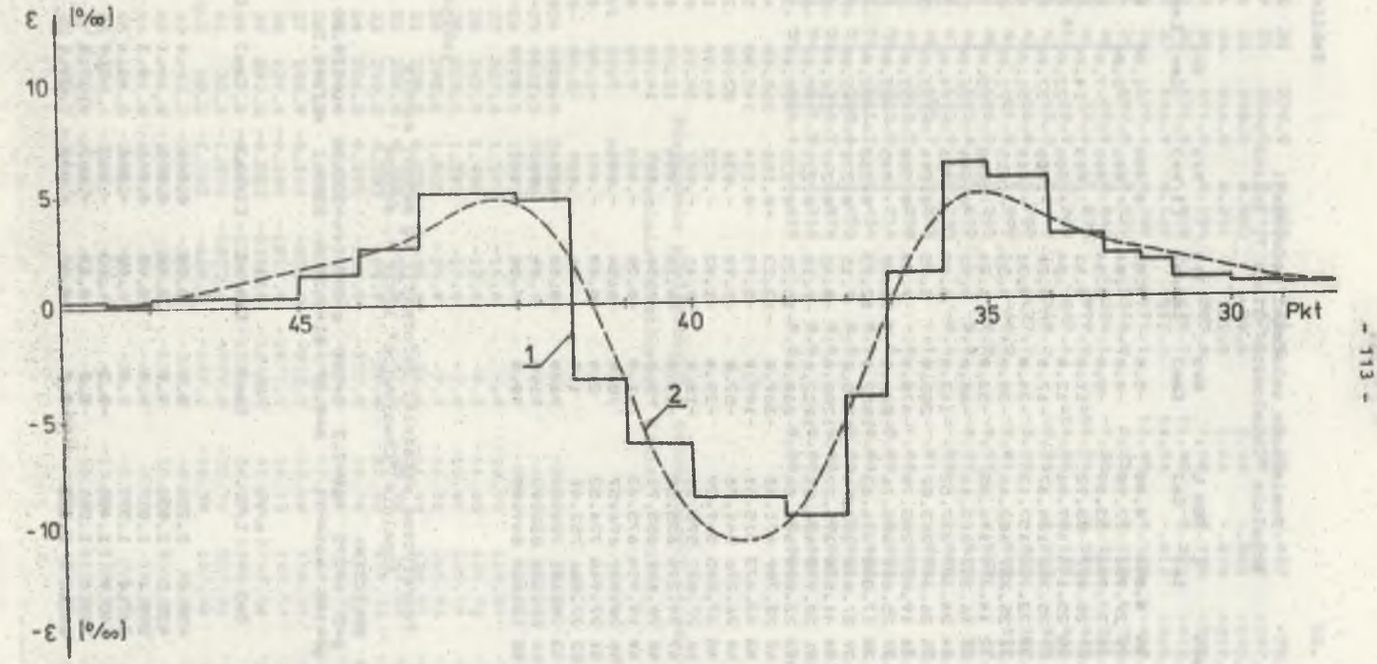



Rys. 13.12. Wykresy krzywizn pionowych. Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1
1 - krzywizny obliczone z pomiarów, 2 - krzywizny obliczone teoretycznie
Fig. 13.12. Vertical curvatures diagrams. Coal mine "Chwałowice" line 1, longwall 1
1 - curvatures calculated from the measurements, 2 - curvatures calculated theoretically






Rys. 13.13. Wykresy przemieszczeń poziomych. Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1
1 - przemieszczenia poziome pomierzone, 2 - przemieszczenia poziome obliczone teoretycznie
Fig. 13.13. Horizontal displacement diagrams. Coal mine "Chwałowice" line 1, longwall 1
1 - measured horizontal displacements, 2 - horizontal displacements calculated theoretically






Rys. 13.14. Wykresy odkształceń poziomych. Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1
1 - odkształcenia poziome otrzymane z pomiarów, 2 - odkształcenia poziome obliczone teoretycznie
Fig. 13.14. Horizontal deformations diagrams. Coal mine "Chwałowice" line 1, longwall 1
1 - horizontal deformations obtained from the measurements, 2 - horizontal deformations calculated theoretically

Tablica 13.18

Pomierzone wskaźniki deformacji
Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1

| Lp | pkt | L [m] | SGN L [m] | Wrz [mm] | Trz [mm/m] | Krz [1/km] | Urz [mm] | Erz [mm/m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 0.000 | 0.00 | -5.0 | 0.00 | 0.000 | -1.00 | 0.00 |
| 2 | 25 | 27.983 | 27.98 | -4.0 | -.04 | -.006 | -3.00 | .07 |
| 3 | 26 | 27.906 | 55.89 | -8.0 | 0.14 | .001 | -7.00 | 0.14 |
| 4 | 27 | 28.027 | 83.92 | -11.0 | 0.11 | .003 | -14.00 | 0.25 |
| 5 | 28 | 25.144 | 109.06 | -12.0 | .04 | -.006 | -22.00 | 0.32 |
| 6 | 29 | 25.308 | 134.37 | -17.0 | 0.20 | -.005 | -37.00 | 0.59 |
| 7 | 30 | 22.758 | 157.13 | -24.0 | 0.31 | -.010 | -51.00 | 0.62 |
| 8 | 31 | 25.337 | 182.46 | -38.0 | 0.55 | -.025 | -71.00 | 0.79 |
| 9 | 32 | 14.390 | 196.85 | -53.0 | 1.04 | .008 | -95.00 | 1.67 |
| 10 | 33 | 16.283 | 213.14 | -68.0 | 0.92 | -0.104 | -126.00 | 1.90 |
| 11 | 34 | 24.387 | 237.52 | -142.0 | 3.03 | -.091 | -194.00 | 2.79 |
| 12 | 35 | 26.349 | 263.87 | -283.0 | 5.35 | -0.194 | -333.00 | 5.28 |
| 13 | 36 | 19.827 | 283.70 | -478.0 | 9.84 | -0.180 | -453.00 | 6.05 |
| 14 | 37 | 25.061 | 308.76 | -826.0 | 13.89 | .045 | -483.00 | 1.20 |
| 15 | 38 | 17.866 | 326.63 | -1057.0 | 12.93 | 0.168 | -406.00 | -4.31 |
| 16 | 39 | 27.110 | 353.74 | -1305.0 | 9.15 | 0.278 | -145.00 | -9.63 |
| 17 | 40 | 41.530 | 395.27 | -1288.0 | -0.41 | 0.249 | 216.00 | -8.69 |
| 18 | 41 | 28.978 | 424.24 | -1022.0 | -9.18 | 0.229 | 399.00 | -6.32 |
| 19 | 412 | 23.800 | 448.04 | -660.0 | -15.21 | -0.125 | 480.00 | -3.40 |
| 20 | 42 | 23.789 | 471.83 | -369.0 | -12.23 | -0.186 | 368.00 | 4.71 |
| 21 | 43 | 43.673 | 515.51 | -109.0 | -5.95 | -0.114 | 149.00 | 5.01 |
| 22 | 44 | 26.276 | 541.78 | -57.0 | -1.98 | -.036 | 82.00 | 2.55 |
| 23 | 45 | 27.505 | 569.29 | -29.0 | -1.02 | -.022 | 44.00 | 1.38 |
| 24 | 46 | 27.027 | 596.31 | -18.0 | -0.41 | -.007 | 34.00 | 0.37 |
| 25 | 47 | 39.276 | 635.59 | -11.0 | -0.18 | .004 | 18.00 | 0.41 |
| 26 | 48 | 20.119 | 655.71 | -5.0 | -0.30 | -.005 | 14.00 | 0.20 |
| 27 | 49 | 19.924 | 675.63 | -1.0 | -0.20 | -.003 | 9.00 | 0.25 |
| 28 | 50 | 20.939 | 696.57 | 2.0 | -0.14 | -.006 | 7.00 | .10 |
| 29 | 51 | 27.948 | 724.52 | 2.0 | 0.00 | -.001 | -6.00 | 0.47 |
| 30 | 52 | 27.886 | 752.41 | 1.0 | .04 | .008 | -3.00 | -0.11 |
| 31 | 53 | 28.181 | 780.59 | 6.0 | -0.18 | -.006 | -6.00 | 0.11 |
| 32 | 54 | 56.335 | 836.92 | 1.0 | .09 | .006 | -1.00 | -.09 |
| 33 | 55 | 13.069 | 849.99 | 0.0 | .08 | 0.000 | 0.00 | -.08 |

Tablica 13.19

Teoretyczne wskaźniki deformacji wg metody autora
Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1

DANE DO OBLICZEN:
a=0.775 g=2 H=275 tgB=2.2 l=168 q=390 rw=125.00 ru=150.00
x0=450 y0=148 kat=-11 A=0.17 B1=0.2824 B2=0.1 ALFA=1.2

| Lp | pkt | x [m] | x/rw [/] | Wt [mm] | Tt [mm/m] | Kt [1/km] | Ut [mm] | Et [mm/m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 450.0 | 2.256 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | -.0 | 0.00 |
| 2 | 25 | 422.5 | 2.036 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | -.1 | .00 |
| 3 | 26 | 395.1 | 1.817 | -.0 | 0.00 | 0.000 | -0.3 | .02 |
| 4 | 27 | 367.6 | 1.597 | -.0 | .00 | -.000 | -1.6 | .09 |
| 5 | 28 | 342.9 | 1.400 | -0.3 | .03 | -.002 | -5.9 | 0.28 |
| 6 | 29 | 318.1 | 1.201 | -2.0 | 0.13 | -.007 | -17.5 | 0.68 |
| 7 | 30 | 295.8 | 1.022 | -7.7 | 0.42 | -.020 | -39.1 | 1.24 |



cd. tablicy 13.19

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 31 | 270.9 | 0.823 | -26.6 | 1.15 | -.037 | -78.7 | 1.86 |
| 9 | 32 | 256.8 | 0.710 | -47.1 | 1.72 | -.042 | -107.5 | 2.15 |
| 10 | 33 | 240.8 | 0.582 | -80.6 | 2.40 | -.041 | -145.4 | 2.52 |
| 11 | 34 | 216.8 | 0.391 | -152.8 | 3.64 | -.074 | -217.9 | 3.54 |
| 12 | 35 | 191.0 | 0.184 | -287.0 | 7.10 | -0.196 | -329.2 | 4.73 |
| 13 | 36 | 171.5 | .028 | -470.2 | 11.48 | -0.221 | -418.8 | 3.93 |
| 14 | 37 | 146.9 | -0.169 | -812.2 | 14.94 | -.018 | -468.3 | -0.54 |
| 15 | 38 | 129.4 | -0.309 | -1071.1 | 13.45 | 0.178 | -419.0 | -4.97 |
| 16 | 39 | 102.8 | -0.522 | -1346.8 | 6.25 | 0.318 | -206.7 | -10.10 |
| 17 | 40 | 62.0 | -0.848 | -1324.1 | -7.30 | 0.311 | 241.2 | -9.67 |
| 18 | 41 | 33.6 | -1.076 | -999.0 | -14.24 | 0.126 | 442.0 | -3.70 |
| 19 | 412 | 10.2 | -1.262 | -649.6 | -14.06 | -0.135 | 460.2 | 1.83 |
| 20 | 42 | -13.2 | -1.449 | -368.2 | -9.23 | -0.227 | 375.6 | 4.57 |
| 21 | 43 | -56.0 | -1.792 | -127.7 | -3.18 | -.055 | 192.9 | 3.14 |
| 22 | 44 | -81.8 | -1.999 | -60.2 | -2.01 | -.042 | 122.8 | 2.28 |
| 23 | 45 | -108.8 | -2.215 | -20.2 | -0.93 | -.033 | 67.4 | 1.71 |
| 24 | 46 | -135.4 | -2.427 | -5.0 | -0.29 | -.015 | 30.0 | 1.02 |
| 25 | 47 | -173.9 | -2.735 | -0.4 | -.03 | -.002 | 6.0 | 0.28 |
| 26 | 48 | -193.7 | -2.893 | -.1 | -.01 | -.000 | 2.2 | 0.12 |
| 27 | 49 | -213.2 | -3.050 | -.0 | -.00 | -.000 | 0.7 | .04 |
| 28 | 50 | -233.8 | -3.214 | -.0 | 0.00 | 0.000 | 0.2 | .01 |
| 29 | 51 | -261.2 | -3.434 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | .0 | .00 |
| 30 | 52 | -288.6 | -3.653 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | .0 | 0.00 |
| 31 | 53 | -316.2 | -3.874 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | 0.00 |
| 32 | 54 | -371.5 | -4.316 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | 0.00 |
| 33 | 55 | -384.4 | -4.419 | 0.0 | 0.00 | 0.000 | 0.0 | 0.00 |

Tablica 13.20

Porównanie pomierzonych i teoretycznych osiadań
Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1

| Lp | pkt | x | x/rw | Wrz | Wt | v | v*v | SGN v SGN (v*v) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 450.0 | 2.256 | -5.0 | 0.0 | -5.00 | 25.00 | -5.00 25.00 |
| 2 | 25 | 422.5 | 2.036 | -4.0 | 0.0 | -4.00 | 16.00 | -9.00 41.00 |
| 3 | 26 | 395.1 | 1.817 | -8.0 | -.0 | -8.00 | 63.93 | -17.00 104.93 |
| 4 | 27 | 367.6 | 1.597 | -11.0 | -.0 | -10.95 | 119.94 | -27.95 224.87 |
| 5 | 28 | 342.9 | 1.400 | -12.0 | -0.3 | -11.65 | 135.76 | -39.60 360.63 |
| 6 | 29 | 318.1 | 1.201 | -17.0 | -2.0 | -15.01 | 225.19 | -54.61 585.82 |
| 7 | 30 | 295.8 | 1.022 | -24.0 | -7.7 | -16.31 | 265.93 | -70.91 851.74 |
| 8 | 31 | 270.9 | 0.823 | -38.0 | -26.6 | -11.44 | 130.91 | -82.35 982.65 |
| 9 | 32 | 256.8 | 0.710 | -53.0 | -47.1 | -5.90 | 34.86 | -88.26 1017.51 |
| 10 | 33 | 240.8 | 0.582 | -68.0 | -80.6 | 12.62 | 159.33 | -75.64 1176.85 |
| 11 | 34 | 216.8 | 0.391 | -142.0 | -152.8 | 10.76 | 115.76 | -64.88 1292.61 |
| 12 | 35 | 191.0 | 0.184 | -283.0 | -287.0 | 3.96 | 15.72 | -60.91 1308.32 |
| 13 | 36 | 171.5 | .028 | -478.0 | -470.2 | -7.78 | 60.56 | -68.69 1368.89 |
| 14 | 37 | 146.9 | -0.169 | -826.0 | -812.2 | -13.80 | 190.39 | -82.49 1559.28 |
| 15 | 38 | 129.4 | -0.309 | -1057.0 | -1071.1 | 14.13 | 199.57 | -68.37 1758.85 |
| 16 | 39 | 102.8 | -0.522 | -1305.0 | -1346.8 | 41.76 | 1743.54 | -26.61 3502.39 |
| 17 | 40 | 62.0 | -0.848 | -1288.0 | -1324.1 | 36.14 | 1306.16 | 9.53 4808.55 |
| 18 | 41 | 33.6 | -1.076 | -1022.0 | -999.0 | -22.96 | 527.36 | -13.43 5335.91 |
| 19 | 412 | 10.2 | -1.262 | -660.0 | -649.6 | -10.38 | 107.78 | -23.82 5443.69 |
| 20 | 42 | -13.2 | -1.449 | -369.0 | -368.2 | -0.79 | 0.63 | -24.61 5444.32 |
| 21 | 43 | -56.0 | -1.792 | -109.0 | -127.7 | 18.75 | 351.45 | -5.86 5795.78 |
| 22 | 44 | -81.8 | -1.999 | -57.0 | -60.2 | 3.18 | 10.10 | -2.68 5805.87 |
| 23 | 45 | -108.8 | -2.215 | -29.0 | -20.2 | -8.78 | 77.05 | -11.46 5882.92 |
| 24 | 46 | -135.4 | -2.427 | -18.0 | -5.0 | -13.04 | 170.15 | -24.51 6053.06 |
| 25 | 47 | -173.9 | -2.735 | -11.0 | -0.4 | -10.63 | 112.92 | -35.13 6165.98 |
| 26 | 48 | -193.7 | -2.893 | -5.0 | -.1 | -4.92 | 24.22 | -40.05 6190.20 |

cd. tablicy 13.20

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 | 49 | -213.2 | -3.050 | -1.0 | -.0 | -0.99 | 0.97 | -41.04 | 6191.17 |
| 28 | 50 | -233.8 | -3.214 | 2.0 | -.0 | 2.00 | 4.01 | -39.04 | 6195.18 |
| 29 | 51 | -261.2 | -3.434 | 2.0 | 0.0 | 2.00 | 4.00 | -37.04 | 6199.18 |
| 30 | 52 | -288.6 | -3.653 | 1.0 | 0.0 | 1.00 | 1.00 | -36.04 | 6200.18 |
| 31 | 53 | -316.2 | -3.874 | 6.0 | 0.0 | 6.00 | 36.00 | -30.04 | 6236.18 |
| 32 | 54 | -371.5 | -4.316 | 1.0 | 0.0 | 1.00 | 1.00 | -29.04 | 6237.18 |
| 33 | 55 | -384.4 | -4.419 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | -29.04 | 6237.18 |

m0= -0.88 ms= 13.75 mp= 0.89

Tablica 13.21

Porównanie pomierzonych i teoretycznych nachyleń
Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1

| Lp | pkt | x | x/rw | Trz | Tt | v | v*v | SGN v SGN | (v*v) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 450.0 | 2.256 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 25 | 422.5 | 2.036 | .05 | 0.00 | .05 | .00 | .05 | .00 |
| 3 | 26 | 395.1 | 1.817 | 0.13 | 0.00 | 0.13 | .02 | 0.18 | .02 |
| 4 | 27 | 367.6 | 1.597 | .07 | .00 | .07 | .00 | 0.25 | .02 |
| 5 | 28 | 342.9 | 1.400 | 0.12 | .03 | .09 | .01 | 0.34 | .03 |
| 6 | 29 | 318.1 | 1.201 | 0.25 | 0.13 | 0.13 | .02 | 0.47 | .05 |
| 7 | 30 | 295.8 | 1.022 | 0.43 | 0.42 | .01 | 0.00 | 0.48 | .05 |
| 8 | 31 | 270.9 | 0.823 | 0.80 | 1.15 | -0.35 | 0.12 | 0.13 | 0.17 |
| 9 | 32 | 256.8 | 0.710 | 0.98 | 1.72 | -0.74 | 0.54 | -0.61 | 0.71 |
| 10 | 33 | 240.8 | 0.582 | 1.98 | 2.40 | -0.42 | 0.18 | -1.03 | 0.89 |
| 11 | 34 | 216.8 | 0.391 | 4.19 | 3.64 | 0.55 | 0.30 | -0.48 | 1.19 |
| 12 | 35 | 191.0 | 0.184 | 7.59 | 7.10 | 0.49 | 0.24 | .02 | 1.44 |
| 13 | 36 | 171.5 | .028 | 11.86 | 11.48 | 0.38 | 0.15 | 0.40 | 1.58 |
| 14 | 37 | 146.9 | -0.169 | 13.41 | 14.94 | -1.54 | 2.36 | -1.14 | 3.94 |
| 15 | 38 | 129.4 | -0.309 | 11.04 | 13.45 | -2.41 | 5.83 | -3.55 | 9.77 |
| 16 | 39 | 102.8 | -0.522 | 4.37 | 6.25 | -1.88 | 3.55 | -5.44 | 13.32 |
| 17 | 40 | 62.0 | -0.848 | -4.79 | -7.30 | 2.51 | 6.29 | -2.93 | 19.61 |
| 18 | 41 | 33.6 | -1.076 | -12.19 | -14.24 | 2.05 | 4.19 | -0.88 | 23.80 |
| 19 | 412 | 10.2 | -1.262 | -13.72 | -14.06 | 0.34 | 0.12 | -0.54 | 23.91 |
| 20 | 42 | -13.2 | -1.449 | -9.09 | -9.23 | 0.14 | .02 | -0.40 | 23.93 |
| 21 | 43 | -56.0 | -1.792 | -3.97 | -3.18 | -0.79 | 0.62 | -1.19 | 24.55 |
| 22 | 44 | -81.8 | -1.999 | -1.50 | -2.01 | 0.52 | 0.27 | -0.67 | 24.82 |
| 23 | 45 | -108.8 | -2.215 | -0.71 | -0.93 | 0.22 | .05 | -0.46 | 24.87 |
| 24 | 46 | -135.4 | -2.427 | -0.29 | -0.29 | -.01 | 0.00 | -0.46 | 24.87 |
| 25 | 47 | -173.9 | -2.735 | -0.24 | -.03 | -0.21 | .04 | -0.67 | 24.91 |
| 26 | 48 | -193.7 | -2.893 | -0.25 | -.01 | -0.24 | .06 | -0.92 | 24.97 |
| 27 | 49 | -213.2 | -3.050 | -0.17 | -.00 | -0.17 | .03 | -1.09 | 25.00 |
| 28 | 50 | -233.8 | -3.214 | -.07 | 0.00 | -.07 | .01 | -1.16 | 25.00 |
| 29 | 51 | -261.2 | -3.434 | .02 | 0.00 | .02 | 0.00 | -1.14 | 25.00 |
| 30 | 52 | -288.6 | -3.653 | -.07 | 0.00 | -.07 | .01 | -1.21 | 25.01 |
| 31 | 53 | -316.2 | -3.874 | -.04 | 0.00 | -.04 | .00 | -1.26 | 25.01 |
| 32 | 54 | -371.5 | -4.316 | .08 | 0.00 | .08 | .01 | -1.17 | 25.02 |
| 33 | 55 | -384.4 | -4.419 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -1.17 | 25.02 |

m0= -.04 ms= 0.90 mp= 6.01



Tablica 13.22

Porównanie pomierzonych i teoretycznych krzywizn pionowych
Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1

| Lp | pkt | x | x/rw | Krz | Kt | v | v*v | SGN v SGN | (v*v) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 450.0 | 2.256 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 25 | 422.5 | 2.036 | -.006 | 0.000 | -.006 | 0.000 | -.006 | 0.000 |
| 3 | 26 | 395.1 | 1.817 | .001 | 0.000 | .001 | 0.000 | -.005 | 0.000 |
| 4 | 27 | 367.6 | 1.597 | .003 | -.000 | .003 | 0.000 | -.002 | 0.000 |
| 5 | 28 | 342.9 | 1.400 | -.006 | -.002 | -.004 | 0.000 | -.007 | 0.000 |
| 6 | 29 | 318.1 | 1.201 | -.005 | -.007 | .003 | 0.000 | -.004 | 0.000 |
| 7 | 30 | 295.8 | 1.022 | -.016 | -.020 | .009 | 0.000 | .005 | 0.000 |
| 8 | 31 | 270.9 | 0.823 | -.025 | -.037 | .012 | 0.000 | .018 | 0.000 |
| 9 | 32 | 256.8 | 0.710 | .008 | -.042 | .050 | .002 | .067 | .002 |
| 10 | 33 | 240.8 | 0.582 | -0.104 | -.041 | -.062 | .004 | .005 | .006 |
| 11 | 34 | 216.8 | 0.391 | -.091 | -.074 | -.018 | 0.000 | -.013 | .006 |
| 12 | 35 | 191.0 | 0.184 | -0.194 | -0.196 | .001 | 0.000 | -.011 | .006 |
| 13 | 36 | 171.5 | .028 | -0.180 | -0.221 | .041 | .002 | .029 | .008 |
| 14 | 37 | 146.9 | -0.169 | .045 | -.018 | .062 | .004 | .092 | .012 |
| 15 | 38 | 129.4 | -0.309 | 0.168 | 0.178 | -.009 | 0.000 | .082 | .012 |
| 16 | 39 | 102.8 | -0.522 | 0.278 | 0.318 | -.040 | .002 | .042 | .014 |
| 17 | 40 | 62.0 | -0.848 | 0.249 | 0.311 | -.063 | .004 | -.020 | .017 |
| 18 | 41 | 33.6 | -1.076 | 0.229 | 0.126 | 0.103 | .011 | .082 | .028 |
| 19 | 412 | 10.2 | -1.262 | -0.125 | -0.135 | .010 | 0.000 | .093 | .028 |
| 20 | 42 | -13.2 | -1.449 | -0.186 | -0.227 | .041 | .002 | 0.133 | .030 |
| 21 | 43 | -56.0 | -1.792 | -0.114 | -.055 | -.058 | .003 | .075 | .033 |
| 22 | 44 | -81.8 | -1.999 | -.036 | -.042 | .006 | 0.000 | .081 | .033 |
| 23 | 45 | -108.8 | -2.215 | -.022 | -.033 | .011 | 0.000 | .092 | .033 |
| 24 | 46 | -135.4 | -2.427 | -.007 | -.015 | .008 | 0.000 | .100 | .033 |
| 25 | 47 | -173.9 | -2.735 | .004 | -.002 | .006 | 0.000 | 0.106 | .033 |
| 26 | 48 | -193.7 | -2.893 | -.005 | -.000 | -.004 | 0.000 | 0.101 | .033 |
| 27 | 49 | -213.2 | -3.050 | -.003 | -.000 | -.003 | 0.000 | .099 | .033 |
| 28 | 50 | -233.8 | -3.214 | -.006 | 0.000 | -.006 | 0.000 | .093 | .033 |
| 29 | 51 | -261.2 | -3.434 | -.001 | 0.000 | -.001 | 0.000 | .091 | .033 |
| 30 | 52 | -288.6 | -3.653 | .008 | 0.000 | .008 | 0.000 | .099 | .033 |
| 31 | 53 | -316.2 | -3.874 | -.006 | 0.000 | -.006 | 0.000 | .093 | .033 |
| 32 | 54 | -371.5 | -4.316 | .000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | .093 | .033 |
| 33 | 55 | -384.4 | -4.419 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | .093 | .033 |

m0= .00 ms= .03 mp= 10.27

Tablica 13.23

Porównanie pomierzonych i teoretycznych przemieszczeń poziomych
Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1

| Lp | pkt | x | x/rw | Urz | Ut | v | v*v | SGN v SGN | (v*v) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 450.0 | 2.256 | -1.0 | -.0 | -1.0 | 1.0 | -1.0 | 1.0 |
| 2 | 25 | 422.5 | 2.036 | -3.0 | -.1 | -2.9 | 8.7 | -3.9 | 9.7 |
| 3 | 26 | 395.1 | 1.817 | -7.0 | -0.3 | -6.7 | 44.7 | -10.6 | 54.3 |
| 4 | 27 | 367.6 | 1.597 | -14.0 | -1.6 | -12.4 | 153.0 | -23.0 | 207.3 |
| 5 | 28 | 342.9 | 1.400 | -22.0 | -5.9 | -16.1 | 260.7 | -39.1 | 468.0 |
| 6 | 29 | 318.1 | 1.201 | -37.0 | -17.5 | -19.5 | 381.7 | -58.7 | 849.7 |
| 7 | 30 | 295.8 | 1.022 | -51.0 | -39.1 | -11.9 | 141.1 | -70.6 | 990.8 |
| 8 | 31 | 270.9 | 0.823 | -71.0 | -78.7 | 7.7 | 58.7 | -62.9 | 1049.5 |
| 9 | 32 | 256.8 | 0.710 | -95.0 | -107.5 | 12.5 | 157.3 | -50.4 | 1206.8 |
| 10 | 33 | 240.8 | 0.582 | -126.0 | -145.4 | 19.4 | 374.5 | -31.0 | 1581.4 |
| 11 | 34 | 216.8 | 0.391 | -194.0 | -217.9 | 23.9 | 569.7 | -7.1 | 2151.1 |
| 12 | 35 | 191.0 | 0.184 | -333.0 | -329.2 | -3.8 | 14.6 | -11.0 | 2165.7 |
| 13 | 36 | 171.5 | .028 | -453.0 | -418.8 | -34.2 | 1166.5 | -45.1 | 3332.1 |

cd. tablicy 13.23

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 37 | 146.9 | -0.169 | -483.0 | -468.3 | -14.7 | 214.9 | -59.8 | 3547.0 |
| 15 | 38 | 129.4 | -0.309 | -406.0 | -419.0 | 13.0 | 169.1 | -46.8 | 3716.1 |
| 16 | 39 | 102.8 | -0.522 | -145.0 | -206.7 | 61.7 | 3801.9 | 14.9 | 7518.0 |
| 17 | 40 | 62.0 | -0.848 | 216.0 | 241.2 | -25.2 | 635.7 | -10.3 | 8153.7 |
| 18 | 41 | 33.6 | -1.076 | 399.0 | 442.0 | -43.0 | 1847.6 | -53.3 | 10001.2 |
| 19 | 412 | 10.2 | -1.262 | 480.0 | 460.2 | 19.8 | 392.3 | -33.5 | 10393.5 |
| 20 | 42 | -13.2 | -1.449 | 368.0 | 375.6 | -7.6 | 57.9 | -41.1 | 10451.4 |
| 21 | 43 | -56.0 | -1.792 | 149.0 | 192.9 | -43.9 | 1930.4 | -85.0 | 12381.8 |
| 22 | 44 | -81.8 | -1.999 | 82.0 | 122.8 | -40.8 | 1664.6 | -125.8 | 14046.4 |
| 23 | 45 | -108.8 | -2.215 | 44.0 | 67.4 | -23.4 | 545.9 | -149.2 | 14592.3 |
| 24 | 46 | -135.4 | -2.427 | 34.0 | 30.0 | 4.0 | 16.0 | -145.2 | 14608.3 |
| 25 | 47 | -173.9 | -2.735 | 18.0 | 6.0 | 12.0 | 142.8 | -133.2 | 14751.1 |
| 26 | 48 | -193.7 | -2.893 | 14.0 | 2.2 | 11.8 | 138.9 | -121.5 | 14890.0 |
| 27 | 49 | -213.2 | -3.050 | 9.0 | 0.7 | 8.3 | 68.4 | -113.2 | 14958.3 |
| 28 | 50 | -233.8 | -3.214 | 7.0 | 0.2 | 6.8 | 46.2 | -106.4 | 15004.6 |
| 29 | 51 | -261.2 | -3.434 | -6.0 | .0 | -6.0 | 36.4 | -112.4 | 15040.9 |
| 30 | 52 | -288.6 | -3.653 | -3.0 | .0 | -3.0 | 9.0 | -115.4 | 15049.9 |
| 31 | 53 | -316.2 | -3.874 | -6.0 | 0.0 | -6.0 | 36.0 | -121.4 | 15085.9 |
| 32 | 54 | -371.5 | -4.316 | -1.0 | 0.0 | -1.0 | 1.0 | -122.4 | 15086.9 |
| 33 | 55 | -384.4 | -4.419 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | -122.4 | 15086.9 |

m0= -3.71 ms= 21.38 mp= 4.57

Tablica 13.24

Porównanie pomierzonych i teoretycznych odkształceń poziomych
Kopalnia "Chwałowice" linia 1, ściana 1

| Lp | pkt | x | x/rw | Erz | Et | v | vwv | SBN v SBN (vwv) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 450.0 | 2.256 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 25 | 422.5 | 2.036 | 0.11 | .00 | 0.10 | .01 | 0.10 .01 |
| 3 | 26 | 395.1 | 1.817 | 0.20 | .02 | 0.18 | .03 | 0.28 .04 |
| 4 | 27 | 367.6 | 1.597 | 0.28 | .09 | 0.20 | .04 | 0.48 .08 |
| 5 | 28 | 342.9 | 1.400 | 0.46 | 0.28 | 0.18 | .03 | 0.66 0.11 |
| 6 | 29 | 318.1 | 1.201 | 0.60 | 0.68 | -.08 | .01 | 0.58 0.12 |
| 7 | 30 | 295.8 | 1.022 | 0.70 | 1.24 | -0.54 | 0.29 | .04 0.41 |
| 8 | 31 | 270.9 | 0.823 | 1.23 | 1.86 | -0.63 | 0.40 | -0.59 0.80 |
| 9 | 32 | 256.8 | 0.710 | 1.79 | 2.15 | -0.36 | 0.13 | -0.95 0.93 |
| 10 | 33 | 240.8 | 0.582 | 2.35 | 2.52 | -0.17 | .03 | -1.12 0.96 |
| 11 | 34 | 216.8 | 0.391 | 4.03 | 3.54 | 0.49 | 0.24 | -0.63 1.20 |
| 12 | 35 | 191.0 | 0.184 | 5.66 | 4.73 | 0.93 | 0.87 | 0.30 2.07 |
| 13 | 36 | 171.5 | .028 | 3.62 | 3.93 | -0.31 | .09 | -.01 2.17 |
| 14 | 37 | 146.9 | -0.169 | -1.56 | -0.54 | -1.01 | 1.03 | -1.02 3.19 |
| 15 | 38 | 129.4 | -0.309 | -6.97 | -4.97 | -2.00 | 4.00 | -3.02 7.20 |
| 16 | 39 | 102.8 | -0.522 | -9.16 | -10.10 | 0.94 | 0.89 | -2.08 8.08 |
| 17 | 40 | 62.0 | -0.848 | -7.50 | -9.67 | 2.17 | 4.70 | .09 12.79 |
| 18 | 41 | 33.6 | -1.076 | -4.86 | -3.70 | -1.16 | 1.34 | -1.07 14.13 |
| 19 | 412 | 10.2 | -1.262 | 0.65 | 1.83 | -1.18 | 1.38 | -2.25 15.51 |
| 20 | 42 | -13.2 | -1.449 | 4.86 | 4.57 | 0.29 | .08 | -1.96 15.60 |
| 21 | 43 | -56.0 | -1.792 | 3.78 | 3.14 | 0.64 | 0.41 | -1.32 16.01 |
| 22 | 44 | -81.8 | -1.999 | 1.97 | 2.28 | -0.31 | .10 | -1.63 16.11 |
| 23 | 45 | -108.8 | -2.215 | 0.88 | 1.71 | -0.83 | 0.69 | -2.46 16.80 |
| 24 | 46 | -135.4 | -2.427 | 0.39 | 1.02 | -0.64 | 0.40 | -3.10 17.21 |
| 25 | 47 | -173.9 | -2.735 | 0.30 | 0.28 | .02 | 0.00 | -3.08 17.21 |
| 26 | 48 | -193.7 | -2.893 | 0.22 | 0.12 | 0.11 | .01 | -2.97 17.22 |
| 27 | 49 | -213.2 | -3.050 | 0.17 | .04 | 0.13 | .02 | -2.84 17.24 |
| 28 | 50 | -233.8 | -3.214 | 0.28 | .01 | 0.27 | .07 | -2.57 17.31 |
| 29 | 51 | -261.2 | -3.434 | 0.18 | .00 | 0.18 | .03 | -2.39 17.34 |
| 30 | 52 | -288.6 | -3.653 | -.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -2.39 17.34 |
| 31 | 53 | -316.2 | -3.874 | .01 | 0.00 | .01 | 0.00 | -2.39 17.34 |
| 32 | 54 | -371.5 | -4.316 | -.08 | 0.00 | -.08 | .01 | -2.47 17.34 |
| 33 | 55 | -384.4 | -4.419 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -2.47 17.34 |

m0= -.08 ms= 0.75 mp= 7.41



wej pokładu 510 z zawałem stropu. Punkty zastabilizowane zostały w odległości średniej 25 m. Obniżenia mierzone były metodą niwelacji precyzyjnej. Odległości mierzone były taśmą stalową z zastosowaniem przykładek milimetrowych. Pomiary wykonywane były dwa razy w roku.

Górotwór w rejonie rozpatrywanej linii zbudowany jest z warstw czwartorzędu, trzeciorzędu, triasu i karbonu. Warstwy czwartorzędu mają łącznie do 10 m. Miąższość triasu wynosi do 200 m. Karbon zbudowany jest z warstw rudzkich, siodłowych i brzeżnych. W warstwach rudzkich przeważają łupki natomiast w siodłowych piaskowce. Pokład 510 zalega średnio na głębokości 830 m, a miąższość wybieranej warstwy wynosiła ok. 2,6 m.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tablicy 13.25 oraz graficznie na rys. 13.15 do 13.18. Teoretyczne wskaźniki deformacji, przy parametrach i współczynnikach wyznaczonych metodą kolejnych przybliżeń, przedstawiono w tablicy 13.26 oraz graficznie na rys. 13.15 do 13.18.

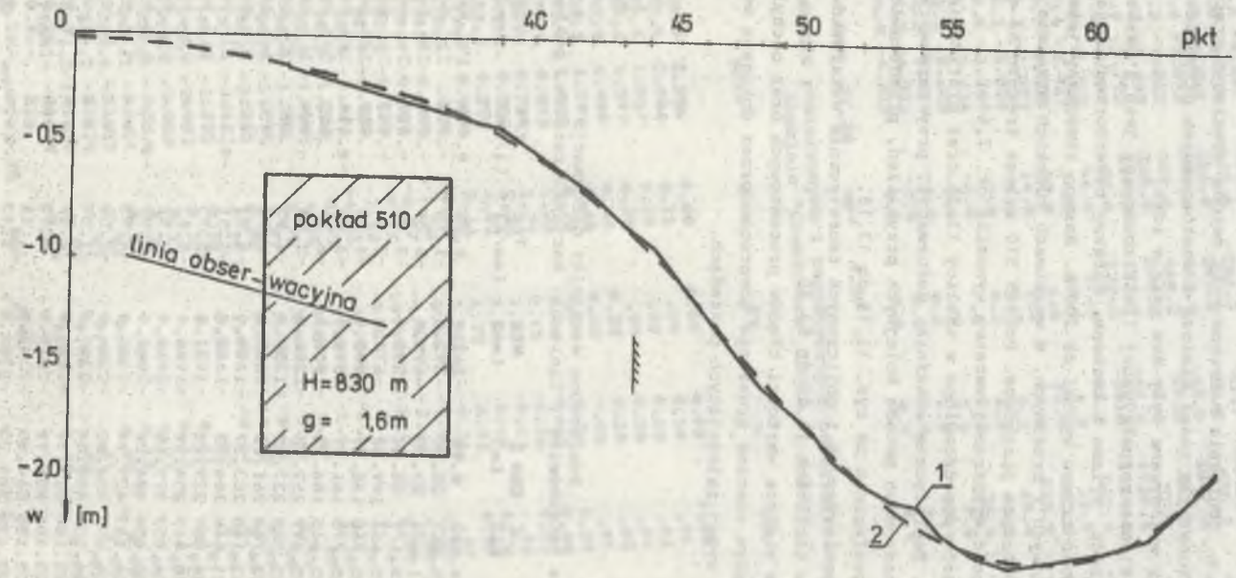
Porównanie pomierzonych i obliczonych teoretycznie wskaźników deformacji przedstawiono w tablicach 13.27 do 13.30.

Na otrzymane większe wartości błędów procentowych oraz odchyleń standardowych miało wpływ znaczne zruszenie górotworu przez dokonaną wcześniej eksploatację w wyżej zalegających pokładach.

Tablica 13.25

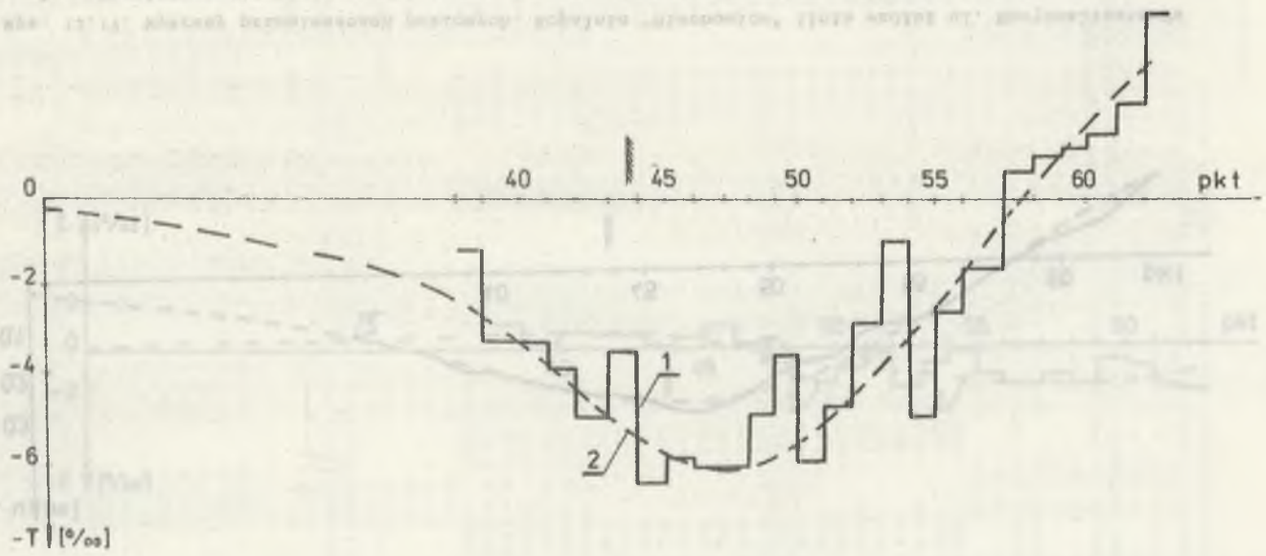
Pomierzone wskaźniki deformacji
Kopalnia "Miechowice", linia ul. Racjonalizatorów, pokład 510

| Lp | pkt | L [m] | SBN L [m] | Wrz [mm] | Trz [mm/m] | Krz [1/km] | Urz [mm] | Erz [mm/m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38 | 0.000 | 0.00 | -362.0 | 0.00 | 0.000 | 192.00 | 0.00 |
| 2 | 39 | 25.857 | 25.86 | -392.0 | -1.16 | -.072 | 222.00 | 1.16 |
| 3 | 40 | 31.824 | 57.68 | -495.0 | -3.24 | -.000 | 228.00 | 0.19 |
| 4 | 41 | 26.179 | 83.86 | -580.0 | -3.25 | -.022 | 246.00 | 0.69 |
| 5 | 42 | 25.663 | 109.52 | -678.0 | -3.82 | -.043 | 262.00 | 0.62 |
| 6 | 43 | 25.768 | 135.29 | -805.6 | -4.93 | .057 | 276.00 | 0.62 |
| 7 | 44 | 25.775 | 161.07 | -894.0 | -3.45 | -0.114 | 280.00 | .08 |
| 8 | 45 | 25.665 | 186.73 | -1058.0 | -6.39 | .022 | 292.00 | 0.47 |
| 9 | 46 | 25.399 | 212.13 | -1206.0 | -5.83 | -.009 | 317.00 | 0.98 |
| 10 | 47 | 25.288 | 237.42 | -1359.0 | -6.05 | .001 | 321.00 | 0.16 |
| 11 | 48 | 23.704 | 261.12 | -1502.0 | -6.03 | .052 | 303.00 | -0.76 |
| 12 | 49 | 22.148 | 283.27 | -1609.0 | -4.83 | .061 | 272.00 | -1.40 |
| 13 | 50 | 21.060 | 304.33 | -1683.0 | -3.51 | -0.106 | 237.00 | -1.66 |
| 14 | 51 | 24.889 | 329.22 | -1831.0 | -5.95 | .051 | 213.00 | -0.96 |
| 15 | 52 | 25.069 | 354.29 | -1948.0 | -4.67 | .074 | 206.00 | -0.28 |
| 16 | 53 | 24.857 | 379.15 | -2018.0 | -2.82 | .074 | 191.00 | -2.21 |
| 17 | 54 | 25.050 | 404.20 | -2042.0 | -0.96 | -0.159 | 133.00 | -2.72 |
| 18 | 55 | 24.947 | 429.14 | -2165.0 | -4.93 | .054 | 128.00 | -0.20 |
| 19 | 56 | 24.878 | 454.02 | -2254.0 | -3.58 | .067 | 96.00 | -1.29 |
| 20 | 57 | 34.522 | 488.54 | -2309.0 | -1.59 | .073 | 33.00 | -1.82 |
| 21 | 58 | 25.168 | 513.71 | -2294.0 | 0.60 | .014 | 0.00 | -1.31 |
| 22 | 59 | 25.188 | 538.90 | -2270.0 | 0.95 | .006 | -42.00 | -1.67 |
| 23 | 60 | 25.155 | 564.05 | -2242.0 | 1.11 | .013 | -68.00 | -2.72 |
| 24 | 61 | 25.170 | 589.22 | -2206.0 | 1.43 | .029 | -82.00 | -0.87 |
| 25 | 62 | 25.228 | 614.45 | -2152.0 | 2.14 | .000 | -130.00 | -1.98 |
| 26 | 63 | 25.019 | 639.47 | -2048.0 | 4.16 | 0.000 | -185.00 | -2.20 |

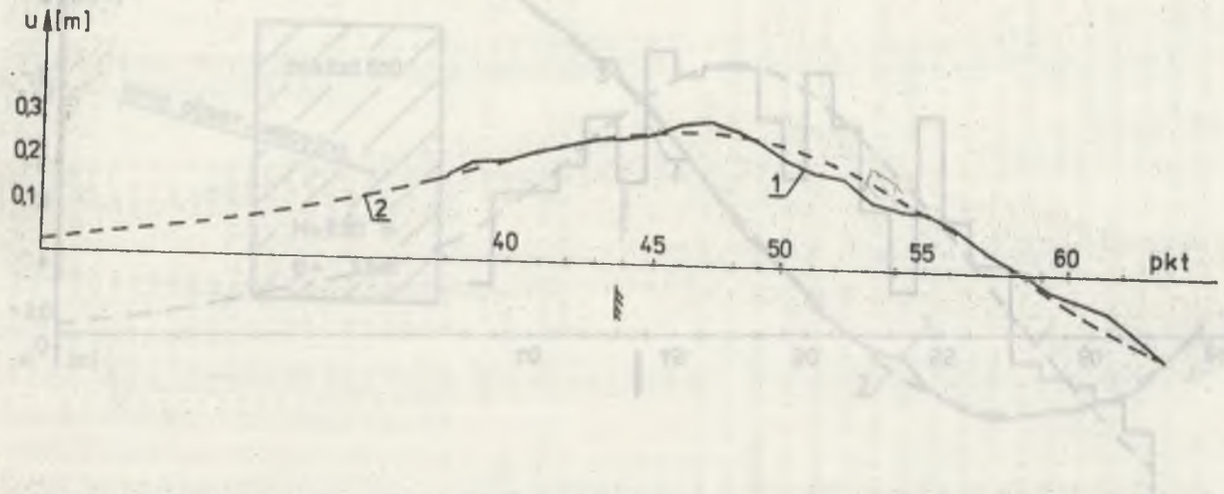



Rys. 13.15. Wykresy niecek osiadania. Kopalnia "Miechowice" linia wzdłuż ul. Racjonalizatorów
1 - osiadania pomierzone, 2 - osiadania obliczone teoretycznie
Fig. 13.15. Subsidence troughs diagrams. Coal mine "Miechowice", the line along "Racjonalizatorów" Street
1 - measured subsidences, 2 - subsidences calculated theoretically



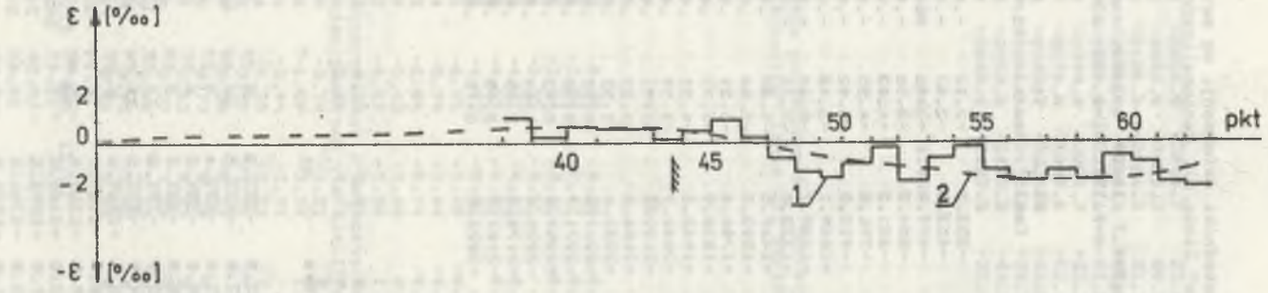



Rys. 13.16. Wykresy nachyleń. Kopalnia "Miechowice" linia wzdłuż ul. Racjonalizatorów
1 - nachylenia otrzymane z pomiarów, 2 - nachylenia obliczone teoretycznie
Fig. 13.16. Inclination diagrams. Coal mine "Miechowice", the line along "Racjonalizatorów" Street
1 - inclinationn obtained from the measurements, 2 - inclinations calculated theoretically




Rys. 13.17. Wykresy przemieszczeń poziomych. Kopalnia "Miechowice" linia wzdłuż ul. Racjonalizatorów
1 - przemieszczenia poziome pomierzone, 2 - przemieszczenia poziome obliczone teoretycznie
Fig. 13.17. Horizontal displacements diagrams. Coal mine "Miechowice", the line "Racjonalizatorów" Street
1 - measured horizontal displacements, 2 - horizontal displacements calculated theoretically






Rys. 13.18. Wykresy odkształceń poziomych. Kopalnia "Miechowice" linia wzdłuż ul. Racjonalizatorów
1 - odkształcenia poziome otrzymane z pomiarów, 2 - odkształcenia poziome obliczone teoretycznie
Fig. 13.18. Horizontal deformations diagrams. Coal mine "Miechowice", the line along "Racjonalizatorów" Street
1 - horizontal deformations obtained from the measurements, 2 - horizontal deformations calculated theoretically

Tablica 13.26

Teoretyczne wskaźniki deformacji wg metody autora
Kopalnia "Miechowice" linia ul. Racjonalizatorów, pokład 510

DANE DO OBLICZEN:
a=0.806 g=3.1 H=830 tgB=1.7 l=680 q=1000 rw=488.24 ru=595.65
x0=-140 y0=650 kat=-19 A=0.155 B1=0.123 B2=.08 ALFA=1.22

| Lp | pkt | x [m] | x/rw [/] | Wt [mm] | Tt [mm/m] | Kt [1/km] | Ut [mm] | Et [mm/m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38 | -140.0 | -0.287 | -353.2 | -2.12 | -.012 | 189.8 | 0.57 |
| 2 | 39 | -115.6 | -0.237 | -412.5 | -2.47 | -.015 | 207.1 | 0.58 |
| 3 | 40 | -85.5 | -0.175 | -499.4 | -3.01 | -.018 | 228.8 | 0.57 |
| 4 | 41 | -60.7 | -0.124 | -584.5 | -3.51 | -.020 | 246.3 | 0.54 |
| 5 | 42 | -36.4 | -.075 | -681.2 | -4.03 | -.021 | 262.4 | 0.48 |
| 6 | 43 | -12.1 | -.025 | -791.8 | -4.55 | -.019 | 276.8 | 0.39 |
| 7 | 44 | 12.3 | .025 | -915.2 | -5.02 | -.017 | 288.4 | 0.27 |
| 8 | 45 | 36.6 | .075 | -1049.1 | -5.40 | -.012 | 296.4 | 0.12 |
| 9 | 46 | 60.6 | 0.124 | -1189.7 | -5.64 | -.007 | 300.6 | -.06 |
| 10 | 47 | 84.5 | 0.173 | -1333.9 | -5.74 | -.000 | 298.8 | -0.25 |
| 11 | 48 | 106.9 | 0.219 | -1469.5 | -5.68 | .006 | 293.0 | -0.43 |
| 12 | 49 | 127.8 | 0.262 | -1593.5 | -5.50 | .011 | 283.1 | -0.61 |
| 13 | 50 | 147.7 | 0.303 | -1706.4 | -5.21 | .016 | 269.9 | -0.78 |
| 14 | 51 | 171.3 | 0.351 | -1830.9 | -4.77 | .020 | 249.4 | -0.97 |
| 15 | 52 | 195.0 | 0.399 | -1943.6 | -4.21 | .024 | 224.0 | -1.14 |
| 16 | 53 | 218.5 | 0.448 | -2040.7 | -3.59 | .026 | 194.3 | -1.29 |
| 17 | 54 | 242.2 | 0.496 | -2122.2 | -2.91 | .028 | 160.7 | -1.42 |
| 18 | 55 | 265.8 | 0.544 | -2186.2 | -2.22 | .028 | 124.1 | -1.53 |
| 19 | 56 | 289.3 | 0.593 | -2232.6 | -1.51 | .029 | 85.2 | -1.60 |
| 20 | 57 | 321.9 | 0.659 | -2267.6 | -0.52 | .029 | 28.9 | -1.66 |
| 21 | 58 | 345.7 | 0.708 | -2271.7 | 0.20 | .029 | -13.0 | -1.66 |
| 22 | 59 | 369.5 | 0.757 | -2257.6 | 0.92 | .029 | -54.6 | -1.64 |
| 23 | 60 | 393.3 | 0.806 | -2225.4 | 1.64 | .028 | -95.1 | -1.59 |
| 24 | 61 | 417.1 | 0.854 | -2175.3 | 2.35 | .028 | -133.8 | -1.52 |
| 25 | 62 | 441.0 | 0.903 | -2107.2 | 3.05 | .027 | -170.0 | -1.41 |
| 26 | 63 | 464.6 | 0.952 | -2022.5 | 3.71 | .026 | -202.5 | -1.28 |

Tablica 13.27

Porównanie pomierzonych i teoretycznych osiadań
Kopalnia "Miechowice" linia ul. Racjonalizatorów, pokład 510

| Lp | pkt | x | x/rw | Wrz | Wt | v | v*v | SGN v | SGN (v*v) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38 | -140.0 | -0.287 | -362.0 | -353.2 | -8.77 | 76.90 | -8.77 | 76.90 |
| 2 | 39 | -115.6 | -0.237 | -392.0 | -412.5 | 20.46 | 418.42 | 11.69 | 495.32 |
| 3 | 40 | -85.5 | -0.175 | -495.0 | -499.4 | 4.37 | 19.08 | 16.05 | 514.40 |
| 4 | 41 | -60.7 | -0.124 | -580.0 | -584.5 | 4.51 | 20.33 | 20.56 | 534.73 |
| 5 | 42 | -36.4 | -.075 | -678.0 | -681.2 | 3.19 | 10.17 | 23.75 | 544.90 |
| 6 | 43 | -12.1 | -.025 | -805.0 | -791.8 | -13.23 | 174.98 | 10.52 | 719.88 |
| 7 | 44 | 12.3 | .025 | -894.0 | -915.2 | 21.24 | 451.04 | 31.76 | 1170.92 |
| 8 | 45 | 36.6 | .075 | -1058.0 | -1049.1 | -8.85 | 78.35 | 22.91 | 1249.27 |
| 9 | 46 | 60.6 | 0.124 | -1206.0 | -1189.7 | -16.34 | 266.91 | 6.57 | 1516.18 |
| 10 | 47 | 84.5 | 0.173 | -1359.0 | -1333.9 | -25.08 | 629.16 | -18.51 | 2145.34 |
| 11 | 48 | 106.9 | 0.219 | -1502.0 | -1469.5 | -32.47 | 1054.63 | -50.98 | 3199.96 |
| 12 | 49 | 127.8 | 0.262 | -1609.0 | -1593.5 | -15.50 | 240.35 | -66.49 | 3440.32 |
| 13 | 50 | 147.7 | 0.303 | -1683.0 | -1706.4 | 23.44 | 549.51 | -43.05 | 3989.83 |
| 14 | 51 | 171.3 | 0.351 | -1831.0 | -1830.9 | -0.13 | .02 | -43.18 | 3989.84 |
| 15 | 52 | 195.0 | 0.399 | -1948.0 | -1943.6 | -4.43 | 19.58 | -47.60 | 4009.42 |



cd. tablicy 13.27

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 53 | 218.5 | 0.448 | -2018.0 | -2040.7 | 22.65 | 513.11 | -24.95 | 4522.53 |
| 17 | 54 | 242.2 | 0.496 | -2042.0 | -2122.2 | 80.19 | 6431.01 | 55.24 | 10953.54 |
| 18 | 55 | 265.8 | 0.544 | -2165.0 | -2186.2 | 21.24 | 451.04 | 76.48 | 11404.58 |
| 19 | 56 | 289.3 | 0.593 | -2254.0 | -2232.6 | -21.41 | 458.60 | 55.07 | 11863.18 |
| 20 | 57 | 321.9 | 0.659 | -2309.0 | -2267.6 | -41.39 | 1713.13 | 13.68 | 13576.31 |
| 21 | 58 | 345.7 | 0.708 | -2294.0 | -2271.7 | -22.35 | 499.31 | -8.67 | 14075.62 |
| 22 | 59 | 369.5 | 0.757 | -2270.0 | -2257.6 | -12.43 | 154.42 | -21.10 | 14230.04 |
| 23 | 60 | 393.3 | 0.806 | -2242.0 | -2225.4 | -16.57 | 274.51 | -37.66 | 14504.54 |
| 24 | 61 | 417.1 | 0.854 | -2206.0 | -2175.3 | -30.73 | 944.59 | -68.40 | 15449.13 |
| 25 | 62 | 441.0 | 0.903 | -2152.0 | -2107.2 | -44.84 | 2010.80 | -113.24 | 17459.94 |
| 26 | 63 | 464.6 | 0.952 | -2048.0 | -2022.5 | -25.46 | 647.98 | -138.70 | 18107.91 |

a0= -5.33 as= 26.39 ap= 1.06

Tablica 13.28

Porównanie pomierzonych i teoretycznych nachyleń
Kopalnia "Miechowice" linia ul. Racjonalizatorów, pokład 510

| Lp | pkt | x | x/rw | Trz | Tt | v | v*v | SGN v | SGN (v*v) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38 | -140.0 | -0.287 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 39 | -115.6 | -0.237 | -2.20 | -2.47 | 0.28 | .08 | 0.28 | .08 |
| 3 | 40 | -85.5 | -0.175 | -3.24 | -3.01 | -0.24 | .06 | .04 | 0.13 |
| 4 | 41 | -60.7 | -0.124 | -3.53 | -3.51 | -.03 | 0.00 | .01 | 0.13 |
| 5 | 42 | -36.4 | -.075 | -4.37 | -4.03 | -0.34 | 0.12 | -0.33 | 0.25 |
| 6 | 43 | -12.1 | -.025 | -4.19 | -4.55 | 0.36 | 0.13 | .03 | 0.38 |
| 7 | 44 | 12.3 | .025 | -4.92 | -5.02 | .10 | .01 | 0.13 | 0.39 |
| 8 | 45 | 36.6 | .075 | -6.11 | -5.40 | -0.71 | 0.51 | -0.59 | 0.89 |
| 9 | 46 | 60.6 | 0.124 | -5.94 | -5.64 | -0.29 | .09 | -0.88 | 0.98 |
| 10 | 47 | 84.5 | 0.173 | -6.04 | -5.74 | -0.30 | .09 | -1.18 | 1.07 |
| 11 | 48 | 106.9 | 0.219 | -5.43 | -5.68 | 0.25 | .06 | -0.94 | 1.13 |
| 12 | 49 | 127.8 | 0.262 | -4.17 | -5.50 | 1.32 | 1.75 | 0.39 | 2.88 |
| 13 | 50 | 147.7 | 0.303 | -4.73 | -5.21 | 0.48 | 0.23 | 0.87 | 3.12 |
| 14 | 51 | 171.3 | 0.351 | -5.31 | -4.77 | -0.54 | 0.29 | 0.33 | 3.41 |
| 15 | 52 | 195.0 | 0.399 | -3.74 | -4.21 | 0.47 | 0.22 | 0.80 | 3.63 |
| 16 | 53 | 218.5 | 0.448 | -1.89 | -3.59 | 1.70 | 2.90 | 2.50 | 6.53 |
| 17 | 54 | 242.2 | 0.496 | -2.94 | -2.91 | -.03 | 0.00 | 2.47 | 6.53 |
| 18 | 55 | 265.8 | 0.544 | -4.25 | -2.22 | -2.04 | 4.15 | 0.43 | 10.68 |
| 19 | 56 | 289.3 | 0.593 | -2.59 | -1.51 | -1.08 | 1.16 | -0.64 | 11.84 |
| 20 | 57 | 321.9 | 0.659 | -0.50 | -0.52 | .02 | 0.00 | -0.62 | 11.84 |
| 21 | 58 | 345.7 | 0.708 | 0.77 | 0.20 | 0.58 | 0.33 | -.05 | 12.17 |
| 22 | 59 | 369.5 | 0.757 | 1.03 | 0.92 | 0.11 | .01 | .07 | 12.19 |
| 23 | 60 | 393.3 | 0.806 | 1.27 | 1.64 | -0.36 | 0.13 | -0.30 | 12.32 |
| 24 | 61 | 417.1 | 0.854 | 1.79 | 2.35 | -0.56 | 0.32 | -0.86 | 12.64 |
| 25 | 62 | 441.0 | 0.903 | 3.15 | 3.05 | 0.10 | .01 | -0.76 | 12.65 |
| 26 | 63 | 464.6 | 0.952 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.76 | 12.65 |

a0= -.03 as= 0.73 ap= 12.62

Tablica 13.29

Porównanie pomierzonych i teoretycznych przemieszczeń poziomych
Kopalnia "Miechowice" linia ul. Racjonalizatorów, pokład 510

| Lp | pkt | x | x/rw | Urz | Ut | v | v*v | SGN v SGN | (v*v) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38 | -140.0 | -0.287 | 192.0 | 189.8 | 2.2 | 4.9 | 2.2 | 4.9 |
| 2 | 39 | -115.6 | -0.237 | 222.0 | 207.1 | 14.9 | 221.0 | 17.1 | 225.9 |
| 3 | 40 | -85.5 | -0.175 | 228.0 | 228.8 | -0.8 | 0.7 | 16.2 | 226.6 |
| 4 | 41 | -60.7 | -0.124 | 246.0 | 246.3 | -0.3 | 0.1 | 15.9 | 226.7 |
| 5 | 42 | -36.4 | -.075 | 262.0 | 262.4 | -0.4 | 0.2 | 15.5 | 226.9 |
| 6 | 43 | -12.1 | -.025 | 278.0 | 276.8 | 1.2 | 1.5 | 16.7 | 228.4 |
| 7 | 44 | 12.3 | .025 | 280.0 | 288.4 | -8.4 | 70.4 | 8.3 | 298.9 |
| 8 | 45 | 36.6 | .075 | 292.0 | 296.4 | -4.4 | 19.3 | 3.9 | 318.2 |
| 9 | 46 | 60.6 | 0.124 | 317.0 | 300.0 | 17.0 | 287.5 | 20.8 | 605.6 |
| 10 | 47 | 84.5 | 0.173 | 321.0 | 298.8 | 22.2 | 490.8 | 43.0 | 1096.4 |
| 11 | 48 | 106.9 | 0.219 | 303.0 | 293.0 | 10.0 | 100.8 | 53.0 | 1197.2 |
| 12 | 49 | 127.8 | 0.262 | 272.0 | 283.1 | -11.1 | 123.6 | 41.9 | 1320.9 |
| 13 | 50 | 147.7 | 0.303 | 237.0 | 269.9 | -32.9 | 1080.0 | 9.1 | 2400.8 |
| 14 | 51 | 171.3 | 0.351 | 213.0 | 249.4 | -36.4 | 1327.2 | -27.4 | 3728.0 |
| 15 | 52 | 195.0 | 0.399 | 206.0 | 224.0 | -18.0 | 322.3 | -45.3 | 4050.4 |
| 16 | 53 | 218.5 | 0.448 | 151.0 | 194.3 | -43.3 | 1877.1 | -88.6 | 5927.5 |
| 17 | 54 | 242.2 | 0.496 | 133.0 | 160.7 | -27.7 | 766.0 | -116.3 | 6693.6 |
| 18 | 55 | 265.8 | 0.544 | 128.0 | 124.1 | 3.9 | 15.4 | -112.4 | 6709.0 |
| 19 | 56 | 289.3 | 0.593 | 96.0 | 85.2 | 10.8 | 116.0 | -101.6 | 6825.0 |
| 20 | 57 | 321.9 | 0.659 | 33.0 | 28.9 | 4.1 | 17.1 | -97.5 | 6842.1 |
| 21 | 58 | 345.7 | 0.708 | 0.0 | -13.0 | 13.0 | 168.2 | -84.5 | 7010.3 |
| 22 | 59 | 369.5 | 0.757 | -42.0 | -54.6 | 12.6 | 158.3 | -71.9 | 7168.6 |
| 23 | 60 | 393.3 | 0.806 | -60.0 | -95.1 | 35.1 | 1231.0 | -36.9 | 8399.5 |
| 24 | 61 | 417.1 | 0.854 | -82.0 | -133.8 | 51.8 | 2681.1 | 14.9 | 11080.7 |
| 25 | 62 | 441.0 | 0.903 | -130.0 | -170.0 | 40.0 | 1596.1 | 54.9 | 12676.8 |
| 26 | 63 | 464.6 | 0.952 | -185.0 | -202.5 | 17.5 | 306.8 | 72.4 | 12983.5 |

m0= 2.78 ms= 22.35 mp= 6.96

Tablica 13.30

Porównanie pomierzonych i teoretycznych wskaźników deformacji
Kopalnia "Miechowice" linia ul. Racjonalizatorów, pokład 510

| Lp | pkt | x | x/rw | Erz | Et | v | v*v | SGN v SGN | (v*v) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38 | -140.0 | -0.287 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 39 | -115.6 | -0.237 | 0.67 | 0.58 | .10 | .01 | .10 | .01 |
| 3 | 40 | -85.5 | -0.175 | 0.44 | 0.57 | -0.13 | .02 | -.03 | .03 |
| 4 | 41 | -60.7 | -0.124 | 0.66 | 0.54 | 0.12 | .01 | .08 | .04 |
| 5 | 42 | -36.4 | -.075 | 0.62 | 0.48 | 0.14 | .02 | 0.23 | .06 |
| 6 | 43 | -12.1 | -.025 | 0.35 | 0.39 | -.04 | .00 | 0.19 | .06 |
| 7 | 44 | 12.3 | .025 | 0.27 | 0.27 | .01 | 0.00 | 0.19 | .06 |
| 8 | 45 | 36.6 | .075 | 0.73 | 0.12 | 0.61 | 0.37 | 0.80 | 0.43 |
| 9 | 46 | 60.6 | 0.124 | 0.57 | -.06 | 0.63 | 0.39 | 1.43 | 0.83 |
| 10 | 47 | 84.5 | 0.173 | -0.30 | -0.25 | -.05 | .00 | 1.37 | 0.83 |
| 11 | 48 | 106.9 | 0.219 | -1.08 | -0.43 | -0.64 | 0.42 | 0.73 | 1.25 |
| 12 | 49 | 127.8 | 0.262 | -1.53 | -0.61 | -0.92 | 0.84 | -0.19 | 2.09 |
| 13 | 50 | 147.7 | 0.303 | -1.31 | -0.78 | -0.53 | 0.28 | -0.72 | 2.37 |
| 14 | 51 | 171.3 | 0.351 | -0.62 | -0.97 | 0.35 | 0.12 | -0.37 | 2.49 |
| 15 | 52 | 195.0 | 0.399 | -1.25 | -1.14 | -0.10 | .01 | -0.48 | 2.50 |
| 16 | 53 | 218.5 | 0.448 | -1.47 | -1.29 | -0.17 | .03 | -0.65 | 2.53 |



cd. tablicy 13.30

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 54 | 242.2 | 0.496 | -0.46 | -1.42 | 0.96 | 0.93 | 0.32 | 3.46 |
| 18 | 55 | 265.8 | 0.544 | -0.74 | -1.53 | 0.78 | 0.61 | 1.10 | 4.07 |
| 19 | 56 | 289.3 | 0.593 | -1.56 | -1.60 | .04 | .00 | 1.14 | 4.07 |
| 20 | 57 | 321.9 | 0.659 | -1.57 | -1.66 | .09 | .01 | 1.23 | 4.08 |
| 21 | 58 | 345.7 | 0.708 | -1.49 | -1.66 | 0.17 | .03 | 1.40 | 4.11 |
| 22 | 59 | 369.5 | 0.757 | -1.19 | -1.64 | 0.45 | 0.20 | 1.86 | 4.31 |
| 23 | 60 | 393.3 | 0.806 | -0.79 | -1.59 | 0.80 | 0.64 | 2.65 | 4.95 |
| 24 | 61 | 417.1 | 0.854 | -1.39 | -1.52 | 0.13 | .02 | 2.78 | 4.97 |
| 25 | 62 | 441.0 | 0.903 | -2.05 | -1.41 | -0.64 | 0.41 | 2.14 | 5.38 |
| 26 | 63 | 464.6 | 0.952 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.14 | 5.38 |

m0= .09 ms= 0.47 mp= 21.52

Podsumowując przytoczone przykłady porównań wyników pomiarów geodezyjnych z wynikami teoretycznych obliczeń stwierdzić należy, że proponowana przez autora metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej uwzględniająca asymetryczny rozkład wskaźników deformacji względem krawędzi eksploatacji, daje dużo lepsze wyniki niż najczęściej stosowana dotychczas teoria W. Budryka - S. Knothego. Koniecznym jest tutaj prowadzenie dalszych szczegółowych analiz celem wyznaczenia parametrów i współczynników, dla różnych głębokości eksploatacji i różnych warunków geologiczno-górniczych.

## 14. SUMOWANIE WPŁYWÓW EKSPLOATACJI OD n PARCEL W TYM SAMYM POKŁADZIE

### 14.1. Wzory na wskaźniki deformacji pod wpływem eksploatacji n parcel w tym samym pokładzie

Zasadę sumowania wpływów eksploatacji w danym pokładzie można najprościej wytłumaczyć na przykładzie wybierania dwóch jednakowych parcel stykających się jednym bokiem. Eksploatacja tych dwóch parcel może przebiegać w dwojaki sposób:

- parcele wybieramy pojedynczo, przy czym parcela druga wybierana jest po ujawnieniu się na powierzchni wpływów parceli pierwszej,
- obie parcele wybieramy równocześnie, jako jedną parcelę.

Dla określenia sumarycznych osiadań przyjęto założenie, że w obu wariantach eksploatacji końcowe osiadania będą sobie równe, co jednak nie oznacza, że osiadania pod wpływem eksploatacji pierwszej a następnie drugiej parceli będą takie same. W celu odróżnienia osiadań sumarycznych od n parcel od osiadania pod wpływem wyeksploatowania n-tej parceli wprowadzimy następujące oznaczenia:

$\hat{w}_n$ - osiadanie pod wpływem wyeksploatowania n parcel,
$w_n$ - osiadanie pod wpływem wyeksploatowania n-tej parceli.

Podobne oznaczenia przyjęto dla pozostałych wskaźników deformacji. Opierając się na przyjętym wyżej założeniu oraz wzorze na osiadania pod wpływem wyeksploatowania pojedynczej parceli (12.8), możemy napisać następujący wzór na osiadanie sumaryczne pod wpływem wyeksploatowania dwóch parcel:

$$\hat{w}_2 = -ag\left\{f_1(p,..) + f_2(p,..) - A_1\left[\left(\frac{\partial f_1(p,..)}{\partial x} + \frac{\partial f_2(p,..)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_1(p,..)}{\partial y} + \frac{\partial f_2(p,..)}{\partial y}\right)^2\right]\right\} \tag{14.1}$$

Korzystając ze wzoru (14.1) oraz z przyjętego założenia możemy napisać wzór na osiadanie pod wpływem wyeksploatowania n parcel w tym samym pokładzie:



$$\hat{w}_n = -ag\left\{\sum_{i=1}^{n} f_i(p,..) - A_1\left[\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial x}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial y}\right)^2\right]\right\} \tag{14.2}$$

Na podstawie przyjętej zasady sumowania wpływów oraz wzorów (12.9) do (12.18) możemy przedstawić wzory na pozostałe wskaźniki deformacji:

- nachylenie

$$\hat{T}_{xn} = -ag\left\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial x} - 2A_1\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial x}\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial x^2} + \sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial y}\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial y\,\partial x}\right]\right\} \tag{14.3}$$

$$\hat{T}_{yn} = -ag\left\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial y} - 2A_1\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial x}\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial x\,\partial y} + \sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial y}\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial y^2}\right]\right\} \tag{14.4}$$

- krzywizny pionowe:

$$\hat{K}_{xn} = -ag\left\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial x^2} - 2A_1\left[\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial x^2}\right)^2 + \frac{\partial f_i(p,..)}{\partial x}\frac{\partial^3 f_i(p,..)}{\partial x^3}\right] + \sum_{i=1}^{n}\left[\left(\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial y\,\partial x}\right)^2 + \frac{\partial f_i(p,..)}{\partial y}\frac{\partial^3 f_i(p,..)}{\partial y\,\partial x^2}\right]\right]\right\} \tag{14.5}$$

$$\hat{K}_{yn} = -ag\left\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial y^2} - 2A_1\left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial x\,\partial y}\right)^2 +\right.\right.$$

$$+\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 f_i(p,..)}{\partial x\,\partial y^2}\Big]+\sum_{i=1}^{n}\Big[\Big(\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial y^2}\Big)^2+$$

$$+\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 f_i(p,..)}{\partial y^3}\Big]\Big\} \qquad (14.6)$$

- skręcenie geodezyjne

$$\hat{\Lambda}_{xyn}=-ag\Big\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial x\,\partial y}-2A_1\Big[\sum_{i=1}^{n}\Big[\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial x\,\partial y}\,\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial x^2}+$$

$$+\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 f_i(p,..)}{\partial x^2\,\partial y}\Big]+\sum_{i=1}^{n}\Big[\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial y^2}\,\frac{\partial^2 f_i(p,..)}{\partial y\,\partial x}+$$

$$+\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 f_i(p,..)}{\partial y\,\partial x\,\partial y}\Big]\Big]\Big\} \qquad (14.7)$$

- przemieszczenia poziome

$$\hat{u}_n=B_o\,ag\Big\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial x}-2A_2\Big[\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial x^2}+$$

$$+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial y\,\partial x}\Big]\Big\} \qquad (14.8)$$

$$\hat{v}_n=B_o\,ag\Big\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial y}-2A_2\Big[\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial x\,\partial y}+$$

$$+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial y^2}\Big]\Big\} \qquad (14.9)$$

- odkształcenia poziome

$$\hat{\varepsilon}_{xn}=B_o\,ag\Big\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial x^2}-2A_2\Big[\sum_{i=1}^{n}\Big(\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial x^2}\Big)^2+$$



$$+\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 q_i(p,..)}{\partial x^3}\Big]+\sum_{i=1}^{n}\Big[\Big(\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial y\,\partial x}\Big)^2+$$

$$+\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 q_i(p,..)}{\partial y\,\partial x^2}\Big]\Big\} \qquad (14.10)$$

$$\hat{\varepsilon}_{yn}=B_o\,ag\Big\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial y^2}-2A_2\Big[\sum_{i=1}^{n}\Big[\Big(\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial x\,\partial y}\Big)^2+$$

$$+\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 q_i(p,..)}{\partial x\,\partial y^2}\Big]+\sum_{i=1}^{n}\Big(\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial y^2}\Big)^2+$$

$$+\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 q_i(p,..)}{\partial y^3}\Big]\Big\} \qquad (14.11)$$

- odkształcenia postaciowe

$$\hat{\gamma}_{xyn}=2B_o\,ag\Big\{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial x\,\partial y}-2A_2\Big[\sum_{i=1}^{n}\Big[\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial x\,\partial y}\,\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial x^2}+$$

$$+\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial x}\,\frac{\partial^3 q_i(p,..)}{\partial x^2\,\partial y}\Big]+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial y^2}\,\frac{\partial^2 q_i(p,..)}{\partial y\,\partial x}+$$

$$+\frac{\partial q_i(p,..)}{\partial y}\,\frac{\partial^3 q_i(p,..)}{\partial y\,\partial x\,\partial y}\Big]\Big\} \qquad (14.12)$$

## 14.2. Wzory na wskaźniki deformacji pod wpływem eksploatacji n-tej parceli w tym samym pokładzie

Na podstawie wzoru (14.2) na osiadanie pod wpływem wyeksploatowania n parcel możemy napisać wzór na osiadanie pod wpływem wyeksploatowania n-tej parceli w tym samym pokładzie

$$w_n=\hat{w}_n-\hat{w}_{n-1} \qquad (14.13)$$

Po podstawieniu wzoru (14.2) do wzoru (14.13) i odpowiednich przekształceniach otrzymamy wzór na osiadania pod wpływem wyeksploatowania dowolnej parceli w danym pokładzie:

$$w_n = -ag\left\{f_n(p,..) - A_1\left[\left(\frac{\partial f_n(p,..)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_n(p,..)}{\partial y}\right)^2\right] + \right. \tag{14.14}$$

$$\left. - 2A_1\left[\left(\sum_{i=1}^{n-1}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial x}\right)\frac{\partial f_n(p,..)}{\partial x} + \left(\sum_{i=1}^{n-1}\frac{\partial f_i(p,..)}{\partial y}\right)\cdot\frac{\partial f_n(p,..)}{\partial y}\right]\right\}$$

Korzystając ze wzoru (14.14) możemy dla przykładu napisać wzory na osiadanie pod wpływem wyeksploatowania pierwszej, a następnie drugiej parceli w tym pokładzie:

$$w_1 = -ag\left\{f_1(p,..) - A_1\left[\left(\frac{\partial f_1(p,..)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_1(p,..)}{\partial y}\right)^2\right]\right\} \tag{14.15}$$

$$w_2 = -ag\left\{f_2(p,..) - A_1\left[\left(\frac{\partial f_2(p,..)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_2(p,..)}{\partial y}\right)^2\right] + \right.$$

$$\left. - 2A_1\left[\frac{\partial f_1(p,..)}{\partial x}\frac{\partial f_2(p,..)}{\partial x} + \frac{\partial f_1(p,..)}{\partial y}\frac{\partial f_2(p,..)}{\partial y}\right]\right\} \tag{14.16}$$

Ze wzorów tych wynika, że niecka osiadania określona wzorem (14.15) jest symetryczna względem osi symetrii parceli pierwszej, natomiast niecka druga określona wzorem (14.16) nie jest symetryczna względem osi symetrii parceli drugiej, czyli niecki osiadania pod wpływem wyeksploatowania identycznych parcel z tym, że w różnym czasie, nie są sobie równe. Niecka sumaryczna określona za pomocą wzoru (14.1) jest niecką symetryczną względem osi symetrii eksploatacji.

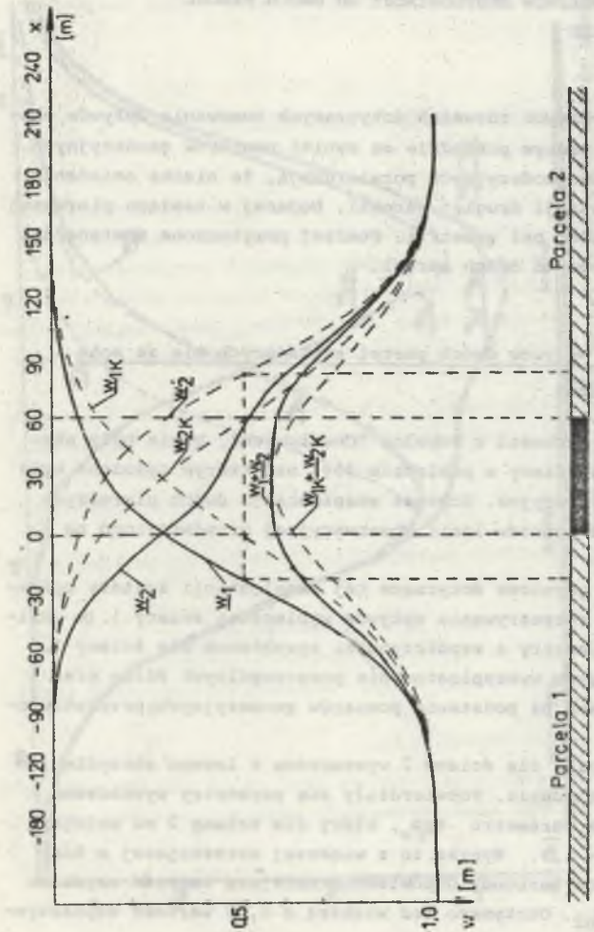
Podkreślić tutaj należy, że w każdym przypadku poszczególne skrzydła niecki są asymetryczne względem punktu przegięcia.

Teoretyczny przykład niecek osiadania $w_1$, $w_2$ i $w_1+w_2$ przedstawiono na rys. 14.1

Ze wzoru (14.14) wynika, że osiadanie danej parceli jest uzależnione od wszystkich wcześniej wybranych parcel w tym pokładzie, będących w zasięgu wpływów eksploatacji rozpatrywanej parceli.

Korzystając z ogólnego wzoru (14.13) możemy przez analogię napisać wzory na pozostałe wskaźniki deformacji pod wpływem wyeksploatowania n-tej parceli. Będą one równe różnicy danego wskaźnika deformacji dla n oraz n-1 parcel.






Rys. 14.1. Teoretyczny przykład sumowania osiadań od dwóch frontów nieskończonych przeazierionych filarom
$w_1$ - osiadanie obliczone wg metody autora pod wpływem wyeksploatowania parceli 1, $w_2$ - osiadanie obliczone wg metody autora pod wpływem wyeksploatowania parceli 2 po wcześniejszym wyeksploatowaniu parceli 1, $w_1+w_2$ - osiadanie sumaryczne pod wpływem wyeksploatowania parceli 1 i 2, $w_{1k}$,$w_{2k}$ - osiadania obliczone wg teorii S. Knothego przy przyjęciu parametru $r_w$ bez zastosowania obrzeża, $w_{1k}+w_{2k}$ - osiadania sumaryczne obliczone wg teorii S. Knothego pod wpływem wyeksploatowania parceli 1 i 2 bez zastosowania obrzeża, $w_2$ - osiadanie obliczone wg metody autora pod wpływem wyeksploatowania parceli 2 gdyby była eksploatowana jako pierwsza

Fig. 14.1. Theoretical example of summing up the subsidens from two infinite extraction fronts divided by a pillar
$w_1$ - subsidence calculated acc. to the author's method under the influence of panel 1 extraction, $w_2$ - subsidence calculated acc. to the author's method under the influence of panel 2 extraction after panel 1 extraction, $w_1+w_2$ - total subsidence under the influence of panels 1 and 2 extraction, $w_{1k}$,$w_{2k}$ - subsidens calculated acc. to S. Knothe's theory regarding parameter $r_w$ without using the periphery, $w_{1k}+w_{2k}$ - total subsidences calculated acc. to S. Knothe's theory under the influence of panels 1 and 2 extraction without using the periphery, $w_2$ - subsidence calculated acc. to the author's method under the influence of panel 2 extraction if it was extracted first

## 15. PRZYKŁADY SUMOWANIA WPŁYWÓW EKSPLOATACJI OD DWÓCH PARCEL W TYM SAMYM PRZYKŁADZIE

Potwierdzeniem teoretycznych rozważań dotyczących sumowania wpływów eksploatacji kilku parcel w jednym pokładzie są wyniki pomiarów geodezyjnych. Praktyczne wyniki pomiarów geodezyjnych potwierdzają, że niecka osiadania powstała w wyniku eksploatacji drugiej parceli, będącej w zasięgu pierwszej jest niesymetryczna względem osi symetrii. Poniżej przytoczone zostaną dwa przykłady sumowania wpływów od dwóch parcel.

### 15.1. Przykład sumowania wpływów dwóch parcel stykających się ze sobą wzdłuż jednej krawędzi

Rozpatrywany przykład pochodzi z kopalni "Chwałowice", gdzie były eksploatowane kolejno cztery ściany w pokładzie 354, nad którym założona była na powierzchni linia obserwacyjna. Schemat eksploatacji dwóch pierwszych ścian oraz rozmieszczenie punktów linii obserwacyjnej przedstawiono na rys. 15.1.

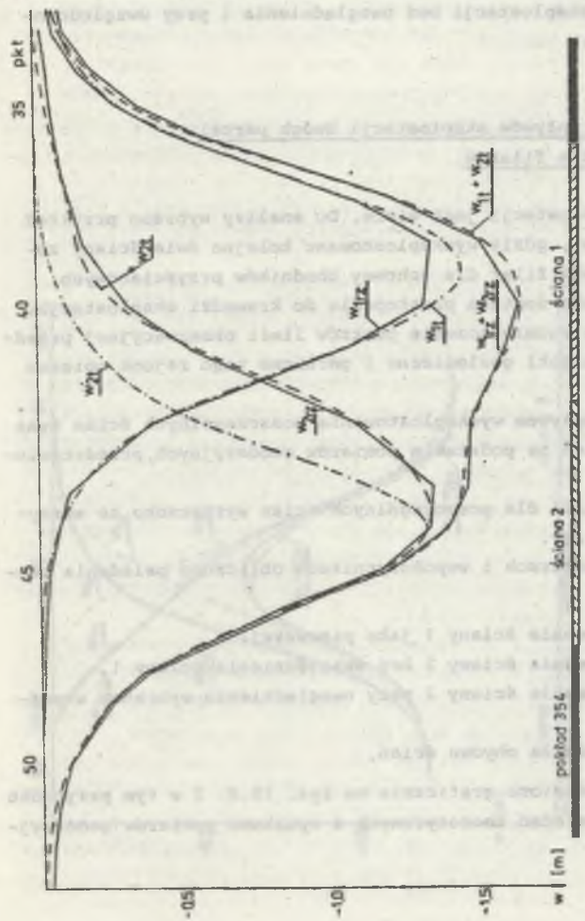
Warunki geologiczne i górnicze dotyczące tej eksploatacji zostały opisane w rozdziale 13.2 przy rozpatrywaniu wpływów wybieranej ściany 1. Do obliczeń wykorzystano też parametry i współczynniki wyznaczone dla ściany 1. Niecki osiadania pod wpływem wyeksploatowania poszczególnych ścian oraz nieckę sumaryczną, otrzymane na podstawie pomiarów geodezyjnych; przedstawiono na rys. 15.1.

Parametry i współczynniki dla ściany 2 wyznaczono z lewego skrzydła (od strony calizny) niecki osiadania. Potwierdziły się parametry wyznaczone dla ściany 1 za wyjątkiem parametru $tg\beta_{w'}$, który dla ściany 2 ma mniejszą wartość i wynosi $tg\beta_{w2} = 1{,}9$. Wynika to z większej wzrastającej w kierunku zachodnim miąższości karbonu. Odpowiednio mniejszą wartość uzyskano również na parametr $tg\beta_{u2}$. Otrzymano też większą o 0,06 wartość współczynnika osiadania.

Przy wyznaczonych parametrach i współczynnikach obliczono teoretyczne osiadania:

- pod wpływem wyeksploatowania ściany 1 jako pierwszej,
- pod wpływem wyeksploatowania ściany 2 niezależnie od wybrania ściany 1, czyli jako pierwszej,
- pod wpływem wyeksploatowania ściany 2 przy uwzględnieniu wybranej ściany 1,
- pod wpływem wyeksploatowania obydwu ścian.






Rys. 15.1. Praktyczny przykład sumowania wpływów eksploatacji dwóch parcel stykających się ze sobą wzdłuż krawędzi. Kopalnia "Chwałowice" ściana 1 i 2

$w_{1rz}$ - osiadanie zmierzone pod wpływem wyeksploatowania ściany 1, $w_{2rz}$ - osiadanie zmierzone pod wpływem wyeksploatowania ściany 2 po ujawnieniu się wpływów ściany 1, $w_{1t}$ - osiadanie teoretyczne obliczone wg metody autora pod wpływem wyeksploatowania ściany 1, $w_{2t}$ - osiadanie teoretyczne obliczone wg metody autora pod wpływem wyeksploatowania ściany 2 przy uwzględnieniu wcześniejszej eksploatacji ściany 1, $w'_{2t}$ - osiadanie teoretyczne obliczone wg metody autora w przypadku gdyby ściana 2 eksploatowana była jako pierwsza

Fig. 15.1. Practical example of summing up the exploitation influences of two panels touching each other along one edge. Coal mine "Chwałowice" longwall 1 and 2

$w_{1rz}$ - subsidence measured under the influence of longwall 1 exploitation, $w_{2rz}$ - subsidence measured under the influence of longwall 2 exploitation after longwall 1 influences had been revealed, $w_{1t}$ - theoretical subsidence calculated acc. to the author's method under the influence of longwall 1 exploitation, $w_{2t}$ - theoretical subsidence calculated acc. to the author's method under the influence of longwall 2 exploitation regarding the earlier longwall 1 exploitation, $w'_{2t}$ - theoretical subsidence calculated acc. to the author's method in the case of longwall 2 being exploited first

Wyniki obliczeń przedstawiono graficznie na rys. 15.1. Uzyskano dobrą zgodność obliczonych teoretycznie osiadań z wynikami pomiarów geodezyjnych. Jak już wspomniano obliczono teoretycznie wpływ ściany 2 bez uwzględnienia ściany 1. Z rysunku 15.1, wynika, jak duża jest różnica w osiadaniach ściany 2 w rejonie krawędzi eksploatacji bez uwzględnienia i przy uwzględnieniu wybierania ściany 1.

## 15.2. Przykład sumowania wpływów eksploatacji dwóch parcel przedzielonych wąskim filarem

Przykładów takiej eksploatacji jest wiele. Do analizy wybrano przykład z kopalni "Komuna Paryska", gdzie wyeksploatowano kolejno dwie ściany zostawiając między nimi wąski filar dla ochrony chodników przyścianowych. Linia obserwacyjna założona została prostopadle do krawędzi eksploatacji. Schemat eksploatacji oraz rozmieszczenie punktów linii obserwacyjnej przedstawiono na rys. 15.2. Warunki geologiczne i górnicze tego rejonu opisano w rozdziale 13.1.

Niecki osiadania pod wpływem wyeksploatowania poszczególnych ścian oraz nieckę sumaryczną, otrzymane na podstawie pomiarów geodezyjnych, przedstawiono na rys. 15.2.

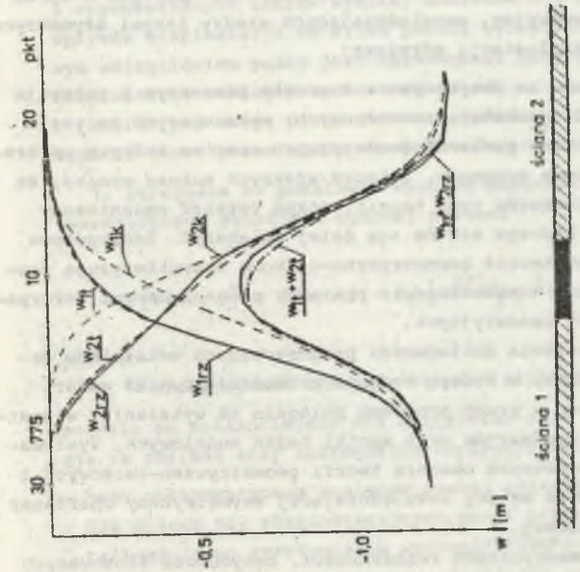
Parametry i współczynniki dla poszczególnych ścian wyznaczono ze skrzydeł niecki od strony calizny.

Przy wyznaczonych parametrach i współczynnikach obliczono osiadania teoretyczne:

- pod wpływem wyeksploatowania ściany 1 jako pierwszej,
- pod wpływem wyeksploatowania ściany 2 bez uwzględnienia ściany 1,
- pod wpływem wyeksploatowania ściany 2 przy uwzględnieniu wybranej wcześniej ściany 1,
- pod wpływem wyeksploatowania obydwu ścian.

Wyniki obliczeń przedstawiono graficznie na rys. 15.2. I w tym przypadku uzyskano dobrą zgodność osiadań teoretycznych z wynikami pomiarów geodezyjnych.






Rys. 15.2. Praktyczny przykład sumowania wpływów eksploatacji dwóch ścian oddzielonych wąskim filarem
Kopalnia "Komuna Paryska"

$w_{1rz}$ - osiadanie zmierzone pod wpływem wyeksploatowania ściany 1, $w_{2rz}$ - osiadanie zmierzone pod wpływem wyeksploatowania ściany 2 po ujawnieniu się wpływów ściany 1, $w_{1t}$ - osiadanie teoretyczne obliczone wg metody autora pod wpływem wyeksploatowania ściany 1, $w_{2t}$ - osiadanie teoretyczne obliczone wg metody autora pod wpływem wyeksploatowania ściany 2 przy uwzględnieniu wcześniejszej eksploatacji ściany 1, $w_{1k}$, $w_{2k}$ - osiadania obliczone wg teorii S. Knothego przy parametrze $r_w$ bez zastosowania obrzeża

Fig. 15.2. Practical example of summing up the exploitation influences of two longwalls separated by a narrow pillar. Coal mine "Komuna Paryska"

$w_{1rz}$ - subsidence measured under the influence of longwall 1 exploitation, $w_{2rz}$ - subsidence measured under the influence of longwall 2 exploitation after longwall 1 influences had been revealed, $w_{1t}$ - theoretical subsidence calculated acc. to the author's method under the influence of longwall 2 exploitation regarding the earlier longwall 1 exploitation, $w_{1k}$, $w_{2k}$ - subsidences calculated acc. to S. Knothe's theory regarding parameter $r_w$ without using the edge

## 16. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Badania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu prowadzone in situ, na modelach różnego rodzaju, a także w oparciu o rozważania teoretyczne mają na celu:

- doskonalenie istniejących teorii głównie poprzez lepsze poznanie i opisanie ich parametrów,
- opracowanie nowych dokładniejszych metod prognozowania opartych o coraz bogatszy materiał obserwacyjny, uwzględniających między innymi asymetryczny charakter wpływów eksploatacji górniczej.

Zasadnicze prace prowadzone są dotychczas w kierunku pierwszym i polegają one na doskonaleniu teorii geometryczno-całkowych, wykazujących na razie najlepszą zgodność z wynikami pomiarów geodezyjnych oraz na których opierają się głównie dotychczasowe prognozy. Z badań własnych autora wynika, że poprzez dokładny opis parametrów tych teorii, można uzyskać ograniczony stopień ich dokładności, którego nie da się dalej zwiększyć. Szczegółowe badania wykazują także, że teorie geometryczno-całkowe charakteryzują pewne systematyczne odstępstwa (rozbieżności) pomiędzy prognozowanymi deformacjami, a wynikami pomiarów geodezyjnych.
Możliwość znacznego zwiększenia dokładności prognozowanych wskaźników deformacji daje drugi kierunek, w którym badania prowadził również autor.

Rozwiązanie postawionego w pracy problemu polegało na wykazaniu, w oparciu o istniejące pomiary geodezyjne oraz wyniki badań modelowych, systematycznych rozbieżności stosowanych obecnie teorii geometryczno-całkowych i opracowaniu na tej podstawie metody uwzględniającej asymetryczny charakter wpływów eksploatacji górniczej.

Z najważniejszych systematycznych rozbieżności, dotychczas stosowanych teorii geometryczno-całkowych z wynikami pomiarów geodezyjnych, należy wymienić:

- połowa maksymalnych osiadań dla eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny nie występuje nad krawędzią eksploatacji, a w pewnej odległości od krawędzi nad wybraną przestrzenią,
- niecki osiadania otrzymane w wyniku eksploatacji, jak wyżej, na podstawie pomiarów geodezyjnych są asymetryczne względem punktu przegięcia,
- w praktyce nie jest spełniony związek przyjęty przez S.G. Awierszyna, dotyczący proporcjonalności pomiędzy przemieszczeniami poziomymi a pochodną przemieszczeń pionowych (osiadań),



- praktyczny zasięg wpływów eksploatacji górniczej jest większy od teoretycznego.

Dla wykazania i udokumentowania tych rozbieżności opracowano specjalne programy na mikrokomputer, służące do pełniejszego wykorzystania i przetwarzania wyników pomiarów geodezyjnych.

Zasadniczym celem pracy był dobór odpowiednich funkcji opisujących pionowe i poziome przemieszczenia. Funkcje takie zostały przyjęte w oparciu o analizę wyników pomiarów geodezyjnych oraz rozważania teoretyczne. Na podstawie wzorów na przemieszczenia zostały wyprowadzone wzory na poszczególne wskaźniki deformacji. Następnie przedstawiono sposób wyznaczania parametrów i współczynników występujących w proponowanych wzorach. Teoretyczne wzory na wskaźniki deformacji skonfrontowano z wynikami pomiarów geodezyjnych.
Z wyprowadzonych wzorów wynika, odmienna niż dotychczas, zasada sumowania wpływów eksploatacji od kilku parcel wybranych w danym pokładzie. Dodatkowym osiągnięciem pracy jest opracowanie programów do obliczania wpływów eksploatacji według proponowanej metody.

Biorąc pod uwagę przeprowadzone analizy pomiarów geodezyjnych oraz rozważania teoretyczne można sformułować następujące wnioski:

1. Otrzymana na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych oraz rozważań teoretycznych funkcja w ogólnej postaci

$$F\left[f(x,..)\right] = f(x,..) - A_1 \left[ \left(\frac{\partial f(x,..)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,..)}{\partial y}\right)^2 \right] \qquad (16.1)$$

gdzie:

$A_1$ - współczynnik ujmujący stopień asymetrii wpływów,

pozwala na dokładniejszy niż dotychczas opis przemieszczeń pionowych. Funkcja ta posiada trzy szczególnie korzystne cechy:

- jest niesymetryczna względem punktu przegięcia,
- dla dużych pól eksploatacyjnych punkt przegięcia funkcji F otrzymanej z całkowania po rzeczywiście wyeksploatowanej powierzchni znajduje się nad przestrzenią wybraną w pewnej odległości od krawędzi eksploatacji - nie zachodzi więc potrzeba stosowania obrzeża,
- charakteryzuje się dużym zasięgiem wpływów eksploatacji zgodnym z obserwowanym w praktyce.

2. Jako funkcja $f(x,..)$ może być przyjęta funkcja osiadania w zasadzie każdej teorii geometryczno-całkowej w tym, w szczególnym przypadku, funkcja osiadania teorii S. Knothego. Przyjmując za $f(x,..)$ funkcję osiadania teorii S. Knothego należy inaczej interpretować parametr rozproszenia wpływów głównych. Parametr rozproszenia wpływów głównych $r_w$ wyznaczany jest z nachyleń nad krawędzią eksploatacji i stanowi miarę zasięgu wpływów głównych liczonych od krawędzi eksploatacji, a nie jak dotychczas od punktu przegię-

cia niecki osiadania. Jak wykazały badania jest on zawsze większy od parametru r wyznaczanego dotychczas z maksymalnych nachyleń występujących w punkcie przegięcia niecki.

3. W związku z niepotwierdzaniem się w praktyce założenia S.G. Awierszyna, nie można opisać przemieszczeń poziomych za pomocą pochodnej funkcji osiadania.
Na podstawie analizy wyników pomiarów geodezyjnych oraz rozważań teoretycznych ustalono, że przemieszczenia poziome można opisać za pomocą pochodnej funkcji przemieszczeń poziomych określonej wzorem:

$$Q[q(x,..)] = q(x,..) - A_2\left[\left(\frac{\partial q(x,..)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial q(x,..)}{\partial y}\right)^2\right] \qquad (16.2)$$

gdzie:

$A_2$ - współczynnik ujmujący stopień asymetrii wpływów.

Uwzględniając powyższe, przemieszczenia poziome są równe

$$u(x,..) = B_o\, a\, g\, \frac{\partial Q[q(x,..)]}{\partial x}$$

$$v(x,..) = B_o\, a\, g\, \frac{\partial Q[q(x,..)]}{\partial y} \qquad (16.3)$$

gdzie:

$B_o$ - współczynnik.

4. Jako funkcja $q(x,..)$ może być przyjęta podobnie, jak dla osiadań funkcja S. Knothego o odpowiedniej wartości parametru rozproszenia wpływów głównych $r_u$. Przyjęcie do opisu przemieszczeń punktów dwóch parametrów $r_w$ i $r_u$ wynika ze stwierdzonego na podstawie pomiarów geodezyjnych różnego zasięgu wpływów ruchów pionowych i poziomych. Parametr $r_u$ jest na ogół większy od parametru $r_w$.

5. Wzory na pozostałe wskaźniki deformacji można uzyskać ze wzorów na przemieszczenia pionowe i poziome na drodze matematycznych przekształceń.

6. W zależności od wartości parametrów $r_w$ i $r_u$ oraz współczynników $A_1$, $A_2$ i $B_o$ możemy otrzymać różne pośrednie warianty proponowanej metody:

1. Jeżeli $r_w = r_u = r$, $A_1 = A_2 = 0$ oraz $B_o = 0{,}4\ r$ wówczas otrzymamy wzory teorii S. Knothego.

2. Jeżeli $r_w = r_u$ oraz $A_1 = A_2 > 0$ wówczas $f(x,..) = q(x,..)$ oraz $F[f(x,..)] = Q[q(x,..)]$.
Funkcje F i Q są asymetryczne względem punktów ich przegięcia a rozwiązanie to spełnia teoretyczny związek S.G. Awierszyna.

3. Jeżeli $r_w = r_u$ oraz $A_1 \neq A_2$, wówczas $f(x,..) = q(x,..)$ natomiast $F[f(x,..)] \neq Q[q(x,..)]$.



Funkcje F i Q są asymetryczne względem punktów ich przegięcia, a związek pomiędzy przemieszczeniem poziomym a pochodną osiadań jest nieliniowy.

7. Jak wykazano w pracy, występujące we wzorach na poszczególne wskaźniki deformacji parametry i współczynniki można wyznaczyć na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych osiadań oraz przemieszczeń poziomych.

8. Z przyjętej metody obliczania wpływów eksploatacji (asymetrycznego opisu deformacji) wynika odmienna od dotychczasowej zasada sumowania wpływów eksploatacji od parcel wybieranych w danym pokładzie (patrz rozdz. 14). Na podstawie wyprowadzonych wzorów można stwierdzić, że deformacje wywołane wyeksploatowaniem danej parceli zależą w pewien ściśle określony sposób od wszystkich wcześniej wybranych parcel w danym pokładzie, będących w zasięgu wpływów rozpatrywanej parceli.

9. Opracowana metoda prognozowania, uwzględniająca asymetrię wpływów eksploatacji, nie stwarza przy obecnym rozwoju techniki komputerowej problemu w jej praktycznym zastosowaniu. Zostały już opracowane odpowiednie programy na mikrokomputer ZX Spectrum oraz maszynę cyfrową Odra 1305 dla eksploatacji o dowolnym kształcie. Istnieje możliwość opracowania dalszych programów na różne typy mikrokomputerów.

10. Otrzymane wyniki porównań pomierzonych i teoretycznych wskaźników deformacji obliczonych według metody proponowanej przez autora są bardzo zachęcające i stwarzają szansę na znaczne podniesienie dokładności prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu.

11. Dodatkowych badań wymagają parametry i współczynniki występujące we wzorach na wskaźniki deformacji. Aktualnie opracowywana jest metoda ich wyznaczania dla eksploatacji o dowolnym kształcie. Celowym byłoby opracowanie wzorów empirycznych na poszczególne parametry i współczynniki w zależności od warunków geologiczno-górniczych.
Dalszych badań wymaga również problem prognozowania deformacji w górotworze. Problem ten będzie można rozwiązać po opracowaniu zagadnienia zmienności parametrów i współczynników w górotworze.

LITERATURA


[1] Awierszyn S.G.: Sdwiżenije gornych porod pri podzjemnych razrabotkach. Ugletiechizdat 1947.

[2] Bals H.: Beitrag zur Frage der Vorausberechnung bergbaulicher Senkungen. Mitteilungen und Markscheidewesen 1931/32.

[3] Batkiewicz Wł.: Odchylenia standardowe poeksploatacyjnych deformacji górotworu. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN. Geodezja z. 10. Kraków 1971.

[4] Biliński A.: Przejawy ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej w pokładach węgla. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 31.

[5] Bodziony J.: Badania laboratoryjne na ośrodku sypkim i możliwości ich zastosowania do zagadnienia mechaniki górotworu. Katowice. Biul. Zagr. Post. Tech. i Ekon. Górn, z. 22, 1962.

[6] Budryk W.: Wyznaczanie wielkości poziomych odkształceń terenu. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t. I, z. 1, 1953.

[7] Chudek M,. Stefański L.: Teoretyczne ujęcie wpływu podziemnej eksploatacji złóż na deformacje powierzchni przy uwzględnieniu warstwowej budowy górotworu. W druku.

[8] Chudek M., Stefański L.: Wpływ obciążeń występujących nad powierzchnią zawałową na zachowanie się górotworu i powierzchni. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 134, Gliwice 1985.

[9] Drzeźla B.: Badania teoretyczne i modelowe ruchu górotworu przy eksploatacji górniczej. Praca doktorska. Politechnika Śląska. Gliwice 1971.

[10] Drzeźla B.: Rozwiązanie pewnego przestrzennego zadania liniowej teorii sprężystości w zastosowaniu do prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej wraz z oprogramowaniem. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 91, Gliwice 1978.

[11] Dymek F.: Pewne mieszane zadanie brzegowe teorii sprężystości dla nieograniczonego klina i jego zastosowanie do zagadnień mechaniki górotworu. Archiwum Górnictwa. T. 8, z.2, 1963. T. 9, z. 3, 1964.

[12] Dżegniuk B.: Niektóre efekty nieliniowe w procesie osiadania nad eksploatacją górniczą. Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja z. 34, Kraków 1975.

[13] Gil H.: Rozkład naprężeń i odkształceń w górotworze potraktowanym jako ośrodek sprężysto-lepki. Zeszyty Problemowe Górnictwa PAN. T. 3, z. 1, 1965.

[14] Greń K.: Próba ujęcia asymetrii wpływów eksploatacji górniczej przy poziomym zaleganiu pokładu. PAN Oddz. w Krakowie. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej. Geodezja 29, 1981.

[15] Greń K., Popiołek E., Ostrowski J.: Związki między prognozowanymi wskaźnikami deformacji według teorii Budryka-Knothego a wynikami wykonanych obserwacji. Ochrona Terenów Górniczych Nr 72, 1985.

[16] Greń K., Popiołek E.: Wpływ eksploatacji górniczej na powierzchnię i górotwór. Skrypt uczelniany nr 889. AGH Kraków 1983.

[17] Greń K., Zych J.: Kształtowanie się wskaźników deformacji w świetle wyników obserwacji geodezyjnych z rejonu intensywnej eksploatacji KWK "Manifest Lipcowy". Problemy i doświadczenia z eksploatacji górniczej pod miastem Jastrzębie, Jastrzębie Zdrój, październik 1984.





[18] Gustkiewicz J., Rogowska J.: Pole przemieszczeń i odkształceń w ośrodku sypkim. Archiwum Górnictwa, Tom 25, z. 1, 1980.

[19] Jędrzejec i inni: Zebranie wyników obserwacji przemieszczeń poziomych i pionowych górotworu i powierzchni spowodowanych eksploatacją górniczą oraz sformułowanie założeń matematycznych modelu wpływu eksploatacji na powierzchnię i górotwór. Dokumentacja GIG, Katowice 1986.

[20] Jofis M.A., Szmielew A.J.: Inżeniernaja geomechanika pri podziemnych razrabotkach. Moskwa. Niedra 1985.

[21] Keinhorst H.: Die Berechnung der Bodensenkungen im Emschergebiet. 25 Jahre Emschergenossenschaft 1900-1925. Essen 1925.

[22] Klein G.: Długość bazy pomiarowej a wielkość fluktuacji odkształceń w ośrodku sypkim. Praca doktorska. Kraków 1973 (niepublikowana).

[23] Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa t. I, z. 1, 1953.

[24] Knothe St.: Observations of surface movements and their theoretical interpretation. Vol. 36 Nr 1. Colliery Engng 1959.

[25] Knothe St.: Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wydawnictwo Śląsk, 1984.

[26] Kochmański T.: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. PAN, Warszawa 1956.

[27] Kochmański T.: Funkcja szczelinowatości. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej. Geodezja Nr 20, PAN, Kraków 1975.

[28] Kochmański T., Lubina T., Piwowarski W.: Wpływ zmienności parametru $r_o$ na prognozowane wartości osiadania powierzchni terenu. Ochrona Terenów Górniczych nr 52, Katowice 1980.

[29] Kochmański T.: Porównanie dokładności trzech metod obliczania według teorii S.G. Awierszyna, teorii W. Budryk - St. Knothe i teorii T. Kochmańskiego. Prace GIG, Komunikat nr 289, Katowice 1962.

[30] Kochmański T.: Movements of The Surface of The Ground Considered as an Integral of Underground Extraction Influences. Bull de l'Academie Polonaise des Scienses et des Lettres. Vol 1 nr 3 - Kraków 1952.

[31] Kochmański T.: Przesunięcia terenu w pionie i poziomie pod wpływem odbudowy górniczej. Hutnik z. 7-8, 1949.

[32] Kwiatek J.: Sumowanie wskaźników deformacji podłoża budowli przy wielokrotnych eksploatacjach górniczych. Ochrona Terenów Górniczych nr 70 Katowice 1985.

[33] Litwiniszyn J.: Równanie różniczkowe przemieszczeń górotworu. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. T. 1, z. 1, 1963.

[34] Litwiniszyn J.: Application of the equation of stochastic processes to mechanics of loose bodies. Archiwum Mechaniki Stosowanej, T. 8, 1956.

[35] Litwiniszyn J.: Niektóre zagadnienia mechaniki górotworu w świetle równania procesów stochastycznych. Archiwum Mechaniki Stosowanej. T. VII, z. 2, 1955.

[36] Litwiniszyn J.: Zastosowanie równań procesów stochastycznych do mechaniki górotworu. Archiwum Górnictwa, t. I, z. 3, 1956.

[37] Lubina T.: Zależność wartości składowej poziomej przemieszczenia punktu od wartości nachylenia niecki poeksploatacyjnej na podstawie geodezyjnych pomiarów deformacji powierzchni terenu. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górnictwo z. 85, Gliwice 1978.

[38] Lubina T., Piwowarski W.: Prognozowanie wartości osiadania powierzchni w zależności od zmienności tgβ. Rudy i Metale Nieżelazne. T. 14, nr 7, 1974.

[39] Magdziorz J.: Wybrane zagadnienia teoretyczne prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię i górotwór. Praca doktorska. AGH Kraków 1975.

[40] Mączyński J.: Niektóre problemy przestrzenne przemieszczeń ośrodka stochastycznego. Archiwum Górnictwa, T. 1, z. 3, 1956.

[41] Niedojadło Z.: Model funkcjonalny przemieszczenia punktów nad eksploatacją górniczą. Praca doktorska AGH. Kraków 1984.

[42] Niemczyk O.: Abbau von Schachtsicherheitspfeilern. Bergschädenkunde. Essen. Verlag Glückauf. 1949.

[43] Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1980.

[44] Ostrowski J., Popiołek E.: Probabilistyczna ocena dokładności prognozowania pogórniczych deformacji terenu z zastosowaniem teorii T. Kochmańskiego. PAN. Oddz. w Krakowie. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej, Geodezja 29, 1981.

[45] Popiołek E., Ostrowski J.: Próba ustalenia głównych przyczyn rozbieżności prognozowanych i obserwowanych poeksploatacyjnych wskaźników deformacji. Ochrona Terenów Górniczych nr 58. Katowice 1981.

[46] Popiołek E.: Rozproszenie statystyczne odkształceń poziomych terenu w świetle geodezyjnych obserwacji skutków eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe AGH. Geodezja z. 44, Kraków 1976.

[47] Popiołek E., Ostrowski J.: Zależność między nachyleniami a przemieszczeniami poziomymi terenu w ostatecznie wykształconych nieckach obniżeniowych. Ochrona Terenów Górniczych 46.1978.

[48] Rogowska J.: Badania eksperymentalne tworzenia się niecek osiadania w ośrodku sypkim z uwzględnieniem zmiany gęstości ośrodka. Cz. I. Niecki szczelinowe. Archiwum Górnictwa T. XXII, z. 3, 1977.

[49] Rogowska J.: Badania eksperymentalne tworzenia się niecek osiadania w ośrodku sypkim z uwzględnieniem zmiany gęstości ośrodka. Cz. II. Niecki progowe. Archiwum Górnictwa T. XXII, z. 1, 1978.

[50] Sałustowicz A.: Górotwór jako ośrodek sprężysto-lepki. Archiwum Górnictwa. T. 3, z. 2, 1958.

[51] Sałustowicz A.: Profil niecki osiadania jako ugięcie warstwy na sprężystym podłożu. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. T. 1, z. 1, 1953.

[52] Skinderewicz B.: Przemieszczenia punktów powierzchni nieustalonych niecek osiadania. Prace GIG. Komunikat 681. Katowice 1977.

[53] Skinderewicz B.: Stan rozpoznania wpływu prędkości frontu eksploatacyjnego na charakter i wielkość deformacji powierzchni i obiektów. Ochrona Terenów Górniczych Nr 58. Katowice 1980.

[54] Smolarski A.Z.: Wpływ struktury ośrodka na postać równania stochastycznego. Archiwum Górnictwa. T. I, z. 3, 1956.

[55] Szefer G.: Wpływ robót górniczych na stan naprężenia i odkształcenia górotworu w świetle teorii sprężystości. Zeszyty Problemowe Górnictwa PAN, t. 2, z. 1, 1964.

[56] Szpetkowski St.: Kształtowanie się deformacji na powierzchni pod wpływem wybierania poziomych złóż pokładowych w świetle badań ostatecznie wykształconej niecki osiadania. PAN Oddz. w Krakowie. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej. Górnictwo 7, PWN, Kraków 1969.

[57] Szpetkowski St.: Rozkład obniżeń punktów powierzchni pod wpływem eksploatacji złóż pokładowych w świetle teorii i obserwacji. Ochrona Terenów Górniczych Nr 19. Katowice 1972.

[58] Szpetkowski St.: Kształtowanie się wartości wskaźników odkształceń właściwych na podstawie obserwacji z terenów kilku zagłębi górniczych. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN, Górnictwo 11. Kraków 1972.

[59] Szpetkowski St.: Analiza kryteriów określenia wpływu głębokości na wielkość filarów. Problem resortowy Nr 125. Praca niepublikowana. Kraków 1974.

[60] Wytyczne prognozowania wpływów na górotwór i powierzchnię terenu eksploatacji górniczej prowadzonej na dużych głębokościach. Prace IPBKiOP Politechniki Śl. (niepublikowana), Gliwice 1981.



[61] Zagadnienie długookresowego sumowania deformacji ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska relaksacji odkształceń na podstawie pomiarów geodezyjnych. Prace IPBKiOP Politechniki Śląskiej, Gliwice 1985 (niepublikowana).

[62] Zych J.: Zmienność parametrów teorii St. Knothego i T. Kochmańskiego w świetle badań geodezyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 134, Gliwice 1985.

[63] Zych J.: Pionowe oddziaływanie wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu ze szczególnym uwzględnieniem nachyleń i krzywizn. Komisja Ochrony Terenów Górniczych PAN Oddz. w Katowicach. Konf. Naukowa pt.: Pionowe oddziaływanie między budowlą i podłożem górniczym. Katowice 1981.

[64] Zych J., Strzałkowski P.: Opracowanie podstaw teoretycznych nieliniowego modelu górotworu w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych. Prace IPBKiOP Politechniki Śląskiej. Gliwice 1986 (niepublikowana).

[65] Zych J., Strzałkowski P.: Wykorzystanie mikrokomputera ZX Spectrum dla porównywania pomierzonych i obliczonych teoretycznie wskaźników deformacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo (w druku).

[66] Zych J.: Teorie geometryczno-całkowe w świetle wyników obserwacji geodezyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej.Górnictwo (w druku).

## METODA PROGNOZOWANIA WPŁYWÓW EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ NA POWIERZCHNIĘ TERENU UWZGLĘDNIAJĄCA ASYMETRYCZNY PRZEBIEG PROCESU DEFORMACJI


### S t r e s z c z e n i e

Szczegółowe badania prowadzone in situ, a także na modelach [18], [22], [48], [49] wykazują, że teorie geometryczno-całkowe najczęściej stosowane w praktyce, charakteryzują się pewnymi systematycznymi rozbieżnościami pomiędzy prognozowanymi wartościami wskaźników deformacji a wynikami pomiarów geodezyjnych [17], [41], [46], [47], [61], [63]. Do tych najważniejszych rozbieżności należy zaliczyć:

- przy eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny połowa maksymalnych osiadań nie występuje nad krawędzią eksploatacji, jak zakłada teoria, a nad wybraną przestrzenią w pewnej odległości od krawędzi eksploatacji,
- niecki osiadania otrzymane z pomiarów geodezyjnych nie są symetryczne względem punktu przegięcia niecki,
- nie jest spełniony w praktyce związek przyjęty przez S.G. Awierszyna o proporcjonalności przemieszczeń poziomych do nachyleń.

Badania [61], [66] wykazują, że nawet najbardziej dokładnie przyjęte (wyznaczone) parametry teorii nie usuwają tych rozbieżności (nawet przy zastosowaniu, tzw. obrzeża), a więc stosując teorie geometryczno-całkowe można uzyskać ograniczony stopień ich dokładności, którego dalej nie da się zwiększyć.

Z badań autora wynika, że istnieje możliwość znacznie dokładniejszego opisu deformacji powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji górniczej. Powyższą tezę można zrealizować przez:

1. Zastosowanie do opisu przemieszczeń pionowych zamiast dotychczas stosowanej funkcji obniżeń $f(x,...)$ pewnej nieliniowej funkcji $F[f(x,..)]$ wyrażonej wzorem

$$F[f(x,..)] = f(x,..) - A_1 \left[\frac{\partial f(x,..)}{\partial x}\right]^2 \qquad (1)$$

gdzie:

$A_1$ - współczynnik ujmujący stopień asymetrii wpływów.

Funkcja $F$ posiada trzy szczególnie korzystne własności, wynikające z analizy wielu pomiarów geodezyjnych, a mianowicie:




- całkując po faktycznie wyeksploatowanej powierzchni punkt przegięcia funkcji $F$ znajduje się nad przestrzenią wybraną w pewnej odległości od krawędzi eksploatacji,
- jest niesymetryczna względem punktu jej przegięcia,
- charakteryzuje się dużym zasięgiem wpływów eksploatacji zgodnym z obserwowanym na podstawie pomiarów geodezyjnych (rys. 7.2).

Przemieszczenia pionowe punktów można zatem wyrazić wzorem

$$w(x,..) = -a\,g\,F[(f(x,..)] \qquad (2)$$

gdzie:

$a$ - współczynnik osiadania,

$g$ - grubość pokładu.

2. Zastosowanie do opisu przemieszczeń poziomych zamiast związku S.G. Awierszyna, zmodyfikowanego wzoru w postaci

$$u(x,..) = a\,g\,B_o \frac{\partial Q[q(x,..)]}{\partial x} \qquad (3)$$

$$v(x,..) = a\,g\,B_o \frac{\partial Q[q(x,..)]}{\partial y} \qquad (4)$$

gdzie:

$B_o$ - współczynnik,

$q(x,..)$ - funkcja typu funkcji $f(x,..)$,

$Q[q(x,..)]$ - nieliniowa funkcja określona przy pomocy całki z przemieszczeń poziomych określona wzorem

$$Q[q(x,..)] = q(x,..) - A_2 \left[\frac{\partial q(x,..)}{\partial x}\right]^2 \qquad (5)$$

gdzie:

$A_2$ - współczynnik ujmujący stopień asymetrii wpływów.

Funkcje $f(x,..)$ i $q(x,..)$ są to funkcje tego samego typu, różniące się między sobą jedynie wartością parametru. Za funkcje te mogą być przyjęte funkcje osiadania dowolnej teorii geometryczno-całkowej. W niniejszej pracy przyjęto funkcję osiadania teorii W. Budryka - S. Knothego [23]. Funkcje $f(x,..)$ i $q(x,..)$ dla nieskończonej półpłaszczyzny będą miały postać

$$f(x,..) = \frac{1}{r_w} \int_x^{+\infty} \exp\left(-\pi \frac{\lambda^2}{r_w^2}\right) d\lambda \qquad (6)$$

$$q(x,..) = \frac{1}{r_u}\int_{x}^{+\infty} \exp\left(-\pi \frac{\lambda^2}{r_u^2}\right)d\lambda \qquad (7)$$

gdzie:

$r_w$, $r_u$ - parametry rozproszenia wpływów głównych dla ruchów pionowych i poziomych.

Przebieg funkcji F i Q przedstawiono na rys. 7.5.

Wzory na pozostałe wskaźniki deformacji uzyskano na drodze przekształceń matematycznych wzorów [2], [3] i [4].

Z przyjęcia powyższych założeń wynika odmienny od dotychczas stosowanego (zasada superpozycji wpływów), sposób sumowania poszczególnych wskaźników deformacji w danym pokładzie.

Występujące we wzorach parametry i współczynniki można w łatwy sposób wyznaczyć na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych.

W pracy dokonano porównania obliczonych teoretycznie wskaźników deformacji według wzorów opracowanych przez autora, z wynikami pomiarów geodezyjnych. Uzyskano o wiele lepszą zgodność niż to było możliwe według dotychczasowych teorii.

## МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГОРНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕСТНОСТИ С УЧЁТОМ АСИММЕТРИЧЕСКОГО ПРОХОЖДЕНИЯ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ

### Р е з ю м е

Подробные исследования, проводимые на местности, а также на моделях [18], [22], [48] и [49] показывают, что интегрально-геометрические теории, наиболее часто применяемые в практике, имеют определённые систематические расхождения между прогнозируемыми величинами показателей деформации и результатами геодезических исследований [17], [41], [46], [47], [61], [63].

К наиболее важным расхождениям следует отнести:

- при эксплуатации в виде бесконечной полуплоскости половина максимальных оседаний не проявляется над краем эксплуатации, как следует из теории, а над избранной поверхности, на некотором расстоянии от края эксплуатации;
- мульды оседания, полученные в результате геодезических измерений не симметричны относительно пункта перегиба мульды;
- в практике не выполняется связь принятая С.Г. Авершиным о пропорциональности горизонтальных перемещений относительно наклонов.

Исследования [61], [66] показывают, что даже наиболее точно определённые параметры теории не исключают эти расхождения (даже при применении так называемого борта). Следовательно, интегрально-геометрические теории можно применять с ограниченной степенью точности, которую в дальнейшем не является возможным увеличить.

Из исследований автора вытекает, что существует возможность более точного описания деформации поверхности местности под влиянием горной эксплуатации.

Вышеуказанный тезис можно реализовать следующим образом:

1. Применяя к описанию вертикальных перемещений вместо до сих пор применяемой функции оседания $f(x,..)$ некоторую нелинейную функцию $F[f(x,..)]$ выраженную через

$$F[f(x,..)] = f(x,..) - A_1\left[\frac{\partial f(x,..)}{\partial x}\right]^2 \qquad (1)$$

где:

$A_1$ - коэффициент, определяющий степень асимметрии влияния.

Функция F имеет три особенно важных качества, вытекающих из анализа большого количества геодезических измерений, в частности:

- при интегрировании по фактически выэксплуатированной поверхности пункт перегиба функции F находится над выбранным участком на некотором расстоянии от края эксплуатации;
- несимметрична относительно пункта её перегиба;
- характеризуется большим радиусом влияния эксплуатации, соответствующим наблюдениям на основании геодезических измерений (рис. 7.2).

Вертикальные перемещения пунктов можно выразить в виде:

$$w(x,..) = -a\,g\,F\left[f(x,..)\right] \qquad (2)$$

где:

a – коэффициент оседания,

g – толщина пласта.

2. Применение к описанию горизонтальных перемещений вместо связи С.Г. Авершина, модифицированных формул в виде:

$$u(x,..) = a\,g\,B_o\,\frac{\partial Q\left[q(x,..)\right]}{\partial x} \qquad (3)$$

$$v(x,..) = a\,g\,B_o\,\frac{\partial Q\left[q(x,..)\right]}{\partial y} \qquad (4)$$

где:

$B_o$ – коэффициент,

$q(x,..)$ – функция типа функций $f(x,..)$,

$Q[q(x,..)]$ – нелинейная функция определённая при помощи интегрирования горизонтальных перемещений, представленная в виде:

$$Q\left[q(x,..)\right] = q(x,..) - A_2\left[\frac{\partial q(x,..)}{\partial x}\right]^2 \qquad (5)$$

где:

$A_2$ – коэффициент определяющий степень асимметрии влияний.

Функции $f(x,..)$ и $q(x,..)$ – это функции того же типа, отличающиеся только величиной параметра. В качестве этих функций могут быть приняты функции оседания произвольных интегрально-геометрических теорий. В работе приняты функции оседания теории Будрыка-Кнота [23].

Функции $f(x,..)$ и $q(x,..)$ для бесконечной полуплоскости будут иметь вид:

$$f(x,..) = \frac{1}{r_w}\int_x^{+\infty} \exp\left(-\pi\,\frac{\lambda^2}{r_w^2}\right)d\lambda \qquad (6)$$



$$q(x,..) = \frac{1}{r_u}\int_x^{+\infty} \exp\left(-\pi\,\frac{\lambda^2}{r_u^2}\right)d\lambda \qquad (7)$$

где:

$r_w$, $r_u$ – параметры рассеивания главных влияний для горизонтальных и вертикальных перемещений.

Прохождение функций F и Q представлено на рис. 7.5.

Формулы для остальных показателей деформации получены путём преобразования математических формул [2], [3], и [4].

Принимая во внимание вышеуказанные исходные данные, видим, что способ суммирования отдельных показателей деформации в данном пласте отличается от применяемого до сих пор (принцип суперпозиции влияний).

Параметры и коэффициенты, выступающие в формулах, легко можно определить на основе геодезических измерений.

В работе сравнивались теоретические показатели деформации, рассчитанные по формулам автора, с результатами геодезических измерений. Получено большее соответствие, чем это было возможным в прежних теориях.

## THE METHOD OF PREDICTING MINING EXPLOITATION INFLUENCES ON THE GROUND SURFACE TAKING INTO ACCOUNT THE ASYMMETRY OF DEFORMATION PROCESS


### S u m m a r y

Detailed studies carried out in situ and also on the models [18], [22], [48], [49] prove that the geometric - integral theories most often used in practice show some systematic divergences between predicted values of deformation indices and geodesic measurement results [17], [41], [46], [47], [61], [63].

The most important divergences are:

- during exploitation in the shape of infinite half - plane half of the maximum subsidence does not occur over exploitation edge - as it is according to the theory - but over an extracted space in a certain distance from the exploitation edge,
- subsidence troughs obtained from the geodesic measurements are not symmetric in relation to trough inflexion,
- S.G. Avershin's relation of horizontal displacement proportionality towards the inclination is not fulfilled in practice.

Investigations [61], [66] show that even most exactly taken (determined) parameters of the theory do not eliminate these divergences (even using so-called peripheries), so using geometric - integral theories it is possible to get a limited degree of accuracy, which cannot be increased.

According to the author's studies it results that there is a possibility of much more exact description of ground surface deformation under the mining exploitation influence.

The above thesis may be realized by:

1. Application of a non-linear function $F[f(x,..)]$ formulated by

$$F[f(x,..)] = f(x,..) - A_1 \left[\frac{\partial f(x,...)}{\partial x}\right]^2 \qquad (1)$$

to describe the vertical displacements instead of the hitherto used function of settlement $f(x,..)$ where

$A_1$ - coefficient regerding the degree of asymmetry of mining influence.

Function $F$ has got three especially useful properties resulting from the analysis of many geodesic measurements, i.e.:




- integrating accross really exploited surface, the point of inflexion of the function $F$ is over an extracted space in a certain distance from exploitation edge,
- it is asymmetric in relation to the point of its inflexion,
- it is characterized by a big range of exploitation influence true to observation on the basis of geodesic measurements (fig. 7.2).

Vertical displacements of the points may be formulated by

$$w(x,..) = -a\,g\,F[f(x,..)] \qquad (2)$$

where:

a - subsidence coefficient,

g - seam thickness.

2. Application of the modified formula for the description of the horizontal displacements instead of S.G. Avershin's relation

$$u(x,..) = a\,g\,B_o \frac{\partial Q[q(x,..)]}{\partial x} \qquad (3)$$

$$v(x,..) = a\,g\,B_o \frac{\partial Q[q(x,..)]}{\partial y} \qquad (4)$$

where:

$B_o$ - coefficient,

$q(x,..)$ - function of the function type $f(x,..)$,

$Q[q(x,..)]$ - non-linear function determined by means of the integral from the horizontal displacements formulated by

$$Q[q(x,..)] = q(x,..) - A_2 \left[\frac{\partial q(x,..)}{\partial x}\right]^2$$

where:

$A_2$ - coefficient regarding the degree of asymmetry of mining influence.

Functions $f(x,..)$ and $q(x,..)$ are the functions of the same type, different from each other only because of the parameter value. Subsidence functions of any geometric - integral theory may be taken for these functions. In this paper the subsidence function of W. Budryk - S. Knothe's theory [23] was used.

Functions $f(x,..)$ and $q(x,..)$ for an infinite half - plane are formulated by

$$f(x,..) = \frac{1}{r_w} \int_x^{+\infty} \exp(-\pi \frac{\lambda^2}{r_w^2}) d\lambda \qquad (5)$$

$$q(x,..) = \frac{1}{r_u}\int_{x}^{+\infty} \exp(-\pi \frac{\lambda^2}{r_u^2})d\lambda \qquad (7)$$

where:

$r_w$, $r_u$ - scattering parameters of the main influences for vertical and horizontal movements.

The courses of functions F and Q are presented in fig. 7.5.

Formulae for the rest of deformation indices were obtained due to the mathematical transformations of the formulae [2], [3] and [4].

Different from the hitherto used (principle of superposition of influences) way of summing up the particular deformation indices in a given seam results from the above assumptions.

Parameters and coefficients occurring in the formulae may be easily determined on the basis of geodesic measurement results.

Comparison of theoretically calculated deformation indices to the geodesic measurement results was made in the paper acc. to the formulae given by the author. Much better compatibility was obtained than it used to be acc. to the hitherto used theories.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej
P 3351/87/164

**WYDAWNICTWA NAUKOWE I DYDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ MOŻNA NABYĆ W NASTĘPUJĄCYCH PLACÓWKACH:**

44-100 Gliwice — Księgarnia nr 096, ul. Konstytucji 14 b
44-100 Gliwice — Spółdzielnia Studencka, ul. Wrocławska 4 a
40-950 Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Żwirki i Wigury 33
40-096 Katowice — Księgarnia nr 005, ul. 3 Maja 12
41-900 Bytom — Księgarnia nr 048, Pl. Kościuszki 10
41-500 Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 22
41-300 Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBoWiD-u 2
47-400 Racibórz — Księgarnia nr 148, ul. Odrzańska 1
44-200 Rybnik — Księgarnia nr 162, Rynek 1
41-200 Sosnowiec — Księgarnia nr 181, ul. Zwycięstwa 7
41-800 Zabrze — Księgarnia nr 230, ul. Wolności 288
00-901 Warszawa — Ośrodek Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN — Pałac Kultury i Nauki

Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.