ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: GÓRNICTWO z. 157 Nr kol. 934

Jan ZYCH

Instytut Projektowania, Budowy Kopalń
i Ochrony Powierzchni
Politechnika Śląska

TEORIE GEOMETRYCZNO-CAŁKOWE W ŚWIETLE WYNIKÓW OBSERWACJI GEODEZYJNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono aktualny stan oraz ocenę teorii geometryczno-całkowych W. Budryka-S. Knothego i T. Kochmańskiego. Oceny dokonano opierając się na dotychczasowych doświadczeniach i rozpoznaniu literaturowym oraz badaniach własnych.

W pierwszej części przedstawiono ogólną charakterystykę teorii geometryczno-całkowych. W drugiej części wykazano, że teorii te charakteryzują pewne systematyczne rozbieżności pomiędzy wskaźnikami deformacji obliczonymi teoretycznie a wynikami pomiarów geodezyjnych.

Z rozbieżności tych stwierdzonych pomiarami geodezyjnymi, a występujących najwyraźniej w przypadku eksploatacji w kształcie półpłaszczyzny należy wymienić: występowanie punktu przegięcia niecki osiadania nad wybraną przestrzenią a nie nad krawędzią eksploatacji, jak przewiduje teoria, asymetryczność niecki względem punktu przegięcia, duży zasięg wpływów, nie potwierdzania się w rzeczywistości związku przyjętego przez S.G. Awierszyna itp.

Końcową część artykułu stanowi podsumowanie, w którym przedstawiono kierunki dalszych badań.

1. WSTĘP

W dotychczasowej praktyce dla celów prognozowania wpływów eksploatacji górniczej najszersze zastosowanie znalazły teorie geometryczno-całkowe. Powstały one na bazie wyników pomiarów geodezyjnych i opierając się na tych wynikach są ciągle weryfikowane i doskonalone. Szczegółowe badania wykazują [30, 33, 9, 20, 24, 25], że teorie geometryczno-całkowe charakteryzują pewne systematyczne odstępstwa (rozbieżności) pomiędzy prognozowanymi wartościami deformacji a wynikami pomiarów geodezyjnych. Rozbieżności te wynikają zasadniczo z następujących przyczyn:

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

Pierwsza przyczyna ujawnia się w postaci nieregularności obserwowanego przebiegu wskaźników deformacji, na co zwrócili uwagę W. Batkiewicz [2], E. Popiołek [24], a także G. Klein [12].

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. Błędy modelu dla teorii W. Budryka - S. Knothego i teorii T. Kochmańskiego zostały określone przez E. Popiołka i J. Ostrowskiego [22, 23].

Przeprowadzona w powyższy sposób ocena teorii jest zdaniem autora niepełna i charakteryzuje tylko w pewnym stopniu daną teorię. Ważne jest bowiem nie tylko rozeznanie rozbieżności dotyczących wartości maksymalnych wskaźników deformacji, ale przede wszystkim ich rozkładu i przebiegu w stosunku do krawędzi eksploatacji. Po takim szczegółowym rozeznaniu można dokonać bardziej kompleksowej oceny danej teorii oraz wyciągnąć wnioski co do możliwości zwiększenia dokładności prognozowania wpływów eksploatacji górniczej lub określić kierunki prowadzenia dalszych badań.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TEORII GEOMETRYCZNO-CAŁKOWYCH

Wspólną cechą teorii 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. Obliczenie osiadania punktu polega więc na wyliczeniu całki z funkcji wpływów po obszarze będącym rzutem wyeksploatowanego pola na powierzchnię poziomą i wymnożeniu jej przez odpowiednie stałe. Pozostałe wskaźniki deformacji, jak: nachylenia, krzywizny, przemieszczenia oraz odkształcenia poziome i pionowe, otrzymuje się przeważnie poprzez wykonywanie 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 obliczania pozostałych wskaźników deformacji.

Bez względu na sposób określania funkcji wpływów teorie całkowe posiadają pewne wspólne cechy ujawniające się najwyraźniej w rozkładzie obniżeń. Do takich wyraźnie dostrzegalnych wspólnych cech m.in. należą:

- przy nieskończonym prostoliniowym froncie eksploatacyjnym wartość osiadania nad krawędzią wynosi teoretycznie połowę maksymalnego osiadania,
- przy kształcie eksploatacji jak powyżej zachodzi symetria krzywej osiadania względem punktu przegięcia, tzw. symetria drugiego rodzaju.

Występują też dalsze swoiste własności dwóch najczęściej stosowanych teorii całkowych T. Kochmańskiego i W. Budryka - S. Knothego.

Podstawowym założeniem teorii W. Budryka - S. Knothego [4, 13] jest założenie S.G. Awierszyna [1] o proporcjonalności przemieszczeń poziomych do pochodnej osiadań:

$$u(x) = B \frac{\partial w(x)}{\partial x} \tag{1}$$

gdzie:

u(x) - przemieszczenie poziome,

w(x) - osiadanie,

B - współczynnik proporcjonalności

Ze wzoru (1) wynika, że całka z przemieszczeń poziomych powinna liniowo zależeć od osiadań. Związek ten można zweryfikować na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych, obliczając całkę z pomierzonych przemieszczeń poziomych.

Założenie (1) pociąga za sobą proporcjonalność odkształceń poziomych do krzywizn pionowych. 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 wzór na przemieszczenia poziome [14] wyprowadzony został przy założeniu równości objętości niecki zewnętrznej z tą objętością, która przesuwa się ku eksploatacji przez płaszczyznę pionową przechodzącą przez krawędź eksploatacji. W tej teorii maksymalne krzywizny pionowe występują zawsze bliżej krawędzi eksploatacji niż maksymalne odkształcenia poziome, przy czym w miarę wzrostu głębokości eksploatacji miejsce występowania maksymalnych odkształceń poziomych oddala się od krawędzi eksploatacji.

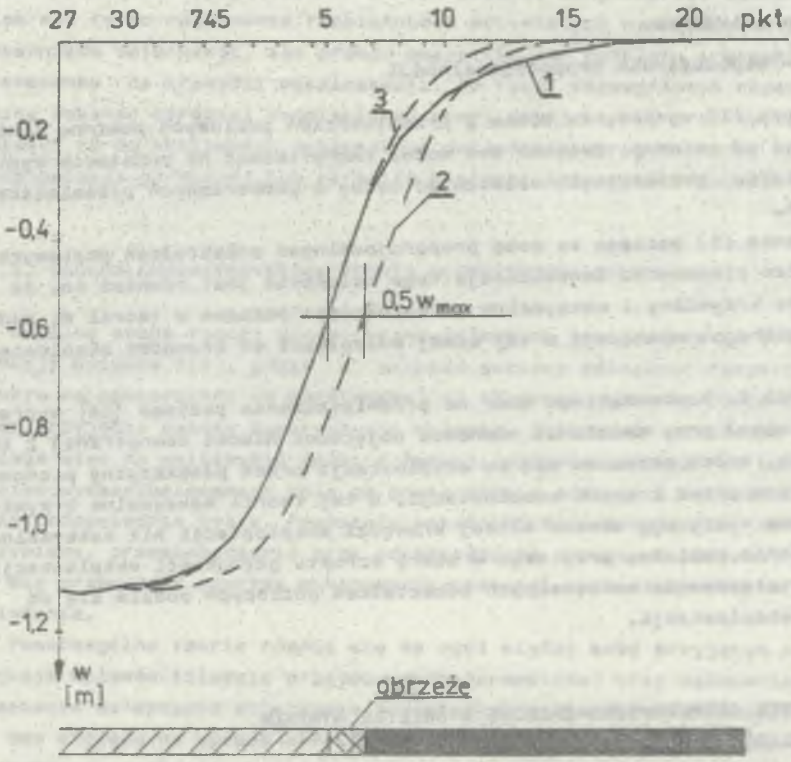
3. TEORIE GEOMETRYCZNO-CAŁKOWE W ŚWIETLE WYNIKÓW POMIARÓW GEODEZYJNYCH

Na podstawie dotychczas opracowanych wyników pomiarów geodezyjnych [20, 33], publikacji [9, 10, 20, 25, 27] 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.

Ogromna większość obserwowanych niecek obniżeniowych wykazują 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, bez dodatkowych zabiegów, dopasowanie niecki teoretycznej do niecki praktycznej uzyskanej

na podstawie pomiarów geodezyjnych (rys. 1). W celu dopasowania niecki teoretycznej do praktycznej stosuje się dotychczas zasadę cofania frontu do punktu, w którym dla nieskończonej półpłaszczyzny wartość teoretyczne obniżenia powinna wynosić połowę obniżenia maksymalnego. Zasada ta wprowadzona przez badaczy niemieckich [21], została przyjęta w literaturze polskiej [19, 27, 28, 29, 31] i jest określana pojęciem obrzeża.

Postępując w myśl tej zasady zmniejsza się wybrany obszar o wartość obrzeża, tzn. przesuwa równolegle krawędzie eksploatacji w kierunku wy-



Rys. 1. Niecki osiadania pod wpływem eksploatacji w kształcie nieskończonej półpłaszczyzny

1 - osiadanie otrzymane z pomiarów geodezyjnych, 2 - osiadanie obliczone wg teorii Budryka - Knothego bez uwzględnienia obrzeza, 3 - osiadanie obliczone wg teorii Budryka - Knothego z uwzględnieniem obrzeża

Fig. 1. Subsiding troughs resulting from exploitation in the shape of infinite half-plane

1 - subsiding obtained from geodesic measurements, 2 - subsiding calculated according to the Budryk-Knothe teory without taking into consideration a periphery, 3 - subsiding calculated according to the Budryk - Knothe theory with periphery

branej przestrzeni o wartość obrzeża. Takie postępowanie budzi poważne zastrzeżenia za 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. 2a), przy czym każde z nich wyeksploatowana 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.

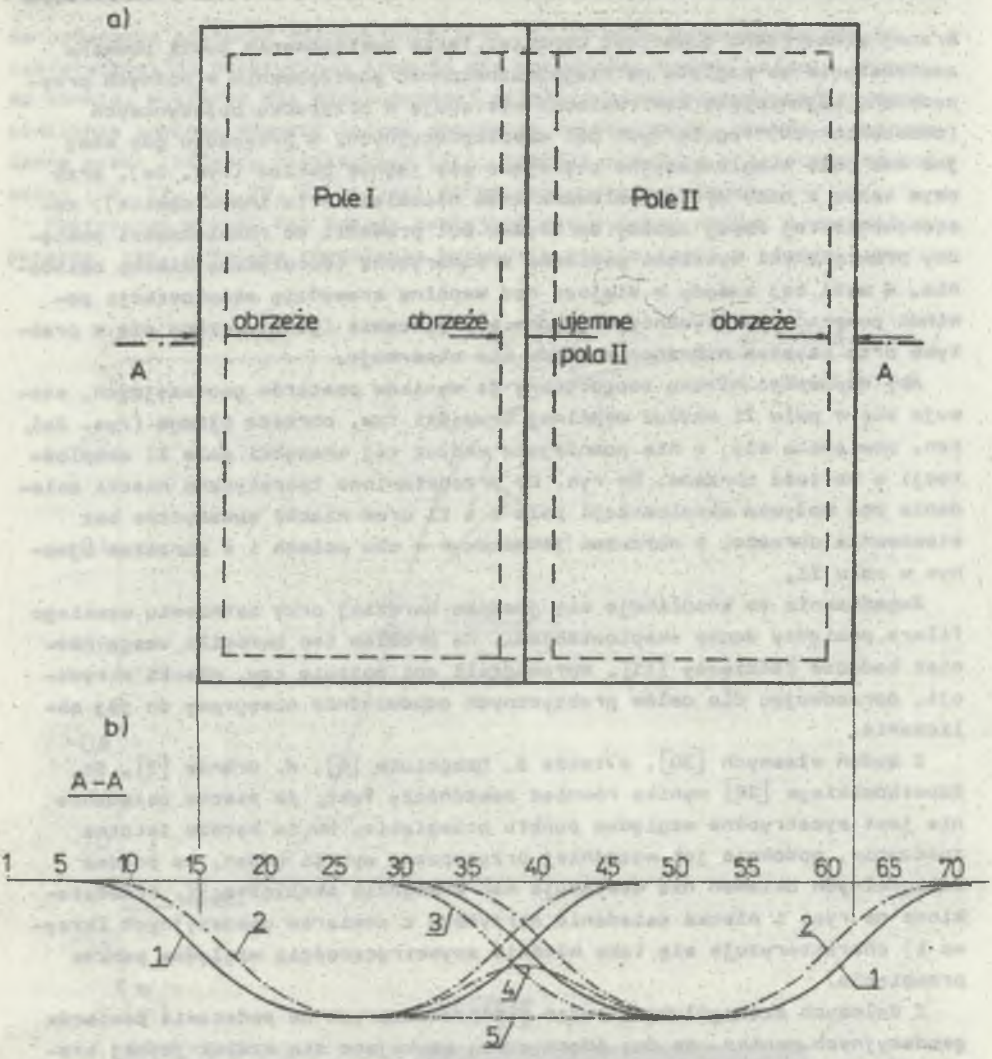
Aby dopasować niecką teoretyczną do wyników pomiarów geodezyjnych, stosuje się w polu II wzdłuż wspólnej krawędzi tzw. obrzeża ujemne (rys. 2a), tzn. powiększa się, a nie pomniejsza wzdłuż tej krawędzi pole II eksploatacji o wartość obrzeża. Na rys. 2b przedstawiono teoretyczne niecki osiadania pod wpływem eksploatacji pola I i II oraz niecki sumaryczne bez stosowania obrzeża, z obrzeżem jednakowym 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 [11]. Wprowadzili oni pojęcie tzw. niecki aktywacji, opracowując dla celów praktycznych odpowiednie nomogramy do jej obliczania.

Z badań własnych [30], a także B. Dżegniuka [6], K. Grenia [7], St. Szpetkowskiego [27] wynika również 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. 1 niecka osiadania otrzymana z pomiarów geodezyjnych (krzywa 1) charakteryzuje się taką właśnie asymetrycznością względem punktu przegięcia.

Z dalszych szczegółowych badań [33] 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 teorii. Wprowadzenie pojęcia ujemnego obrzeża tylko częściowo tłumaczy ten fakt. Zagadnienie to można prześledzić na podstawie praktycznego przykładu pokazanego na rys. 3 (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 niesyme-

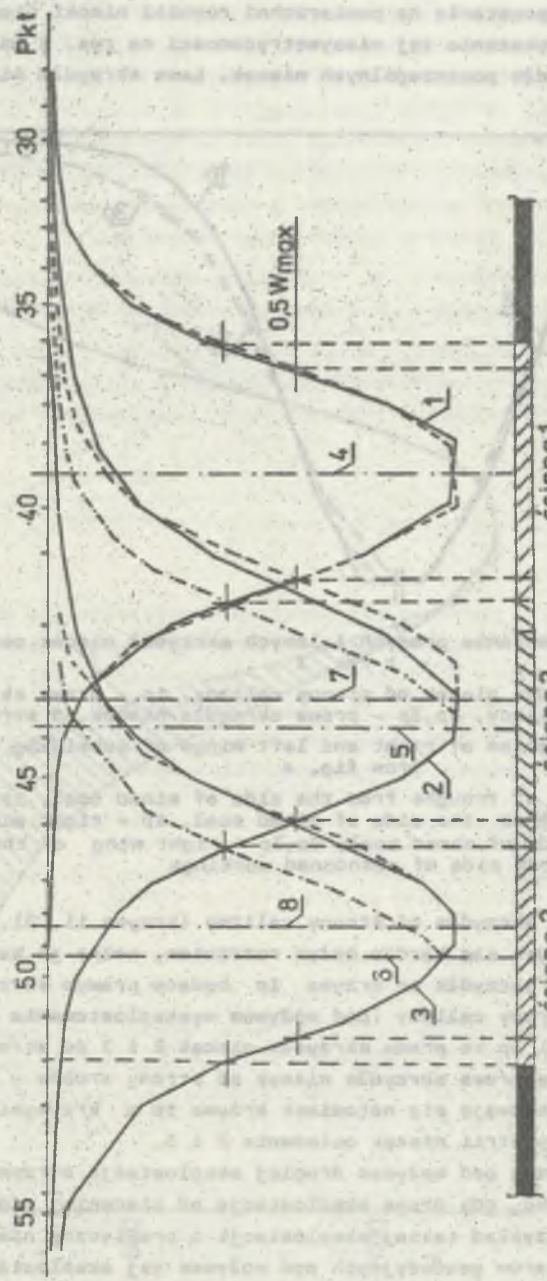


Rys. 2. Schemat eksploatacji i niecki osiadania prognozowane wg teorii Budryka - Knothego

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

Fig. 2. Scheme of exploitation and of subsiding trough according to Budryk - Knothe theory

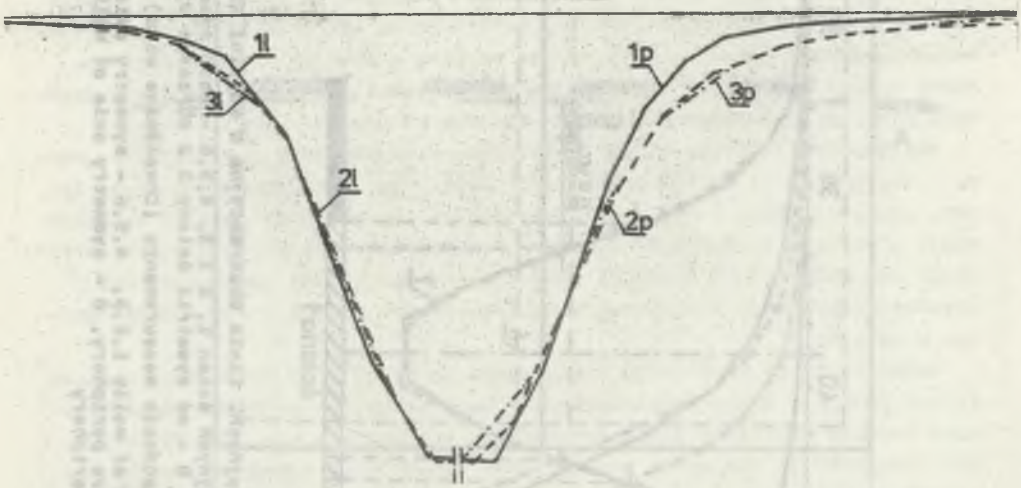
1 - subsidence caused by the exploitation of fields I i II without periphery, 2 - subsidence caused by the exploitation of fields I i II with periphery, 3 - subsidence caused by the exploitation of the field II with a negative periphery, 2,4,2 - global sibsidence caused by exploitation of fields I, II with periphery, 2,5,2 - global subsidence caused by the exploitation of field I with periphery and field II with a negative periphery



Rys. 3. Niecki osiadania uzyskane z pomiarów geodezyjnych. Linie obserwacyjne 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. 3. Subsiding troughs obtained from geodesic measurements (Chwałowice mine)
1,2,3 – subsidising troughs caused by the exploitation of walls 1,2,3, 4,5,6 – symmetry axis of walls
1, 2 and 3, 7 – symmetry axis of wall 2 with a negative periphery, 8 – symmetry axis of wall 3 with a negative periphery

trycznej (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 na rys. 4 pokazano prawe oraz lewe skrzydło poszczególnych niecek. Lewe skrzydła niecek są



Rys. 4. Zbiorcze zestawienie prawych i lewych skrzydeł niecek osiadania z rys. 3

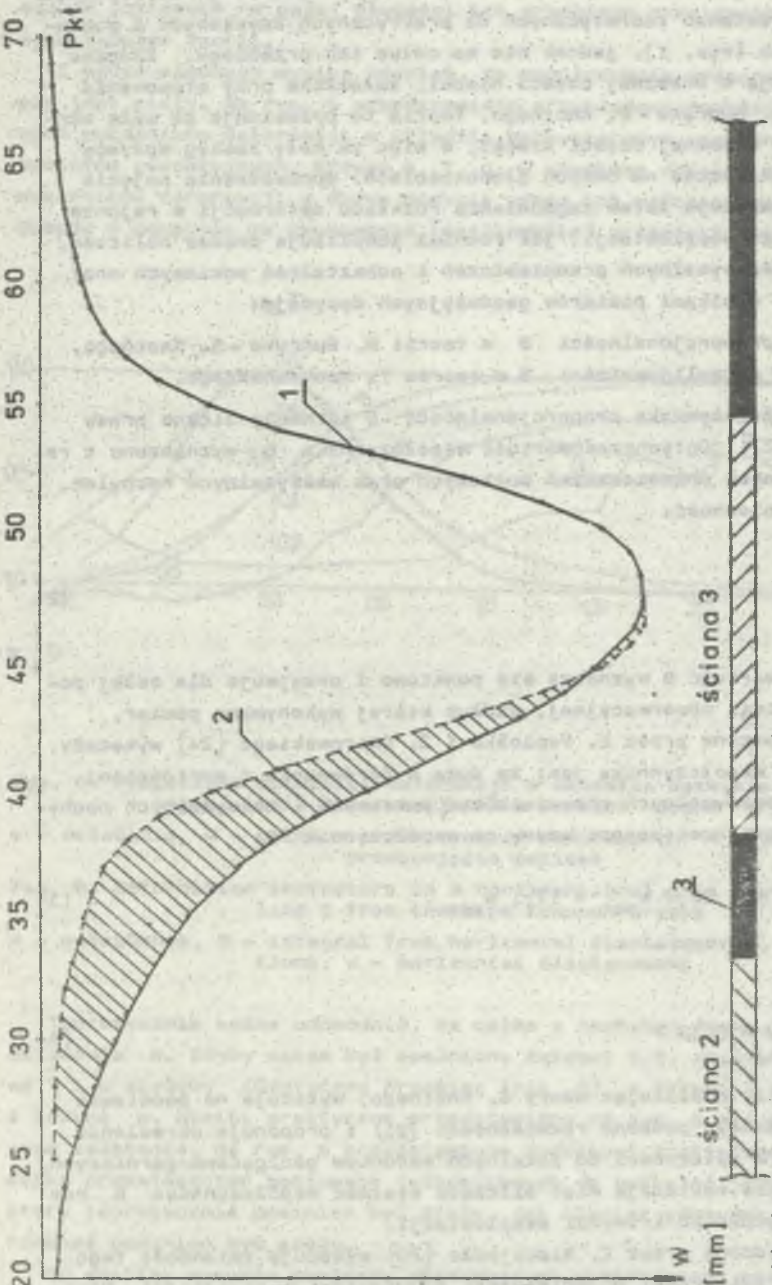
1l,2l,3l - lewe skrzydła niecek od strony calizny, 1p - prawe skrzydło niecki 1 od strony calizny, 2p,3p - prawe skrzydła niecek od strony zrobów

Fig. 4. Total presentation of right and left wings of subsiding troughs from fig. 4

1l,2l,3l - left wings of troughs from the side of mined coal, 1p - right wing of the trough 1 from the side of mined coal, 1p - right wing of the through 1 from the side of mined coal, 2p,3p - right wing of the throughs from side of abandoned workings

to w każdym przypadku skrzydła od strony calizny (krzywe 1l, 2l, 3l). Krzywe te charakteryzują się bardzo małym rozrzutem, można je zatem uznać za powtarzalne. Prawe skrzydła to krzywe 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 wyraźnie, że dwa prawe skrzydła niecek od strony zrobów - 2p i 3p pokrywają się. Nie pokrywają się natomiast krzywa 1p 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. 5.



Rys. 5. Niecka osiadania otrzymana z pomiarów geodezyjnych pod wpływem eksploatacji oddzielonej od strony zrobów filarem

1 - niecka osiadania otrzymana z pomiarów, 2 - prawe skrzydło niecki 1 otrzymane względem osi symetrii ściany 3, 3 - filar oporowy

Fig. 5. Subsidence trough separated from the goaf side by a pillar obtained from the geodetic measurements

1 - subsiding through obtained from measurements, 2 - right wing of the through 1, 3 - pillar

Reasumując powyższe, można stwierdzić, że zastosowanie obrzeża pozwala na dopasowanie osiadań teoretycznych do praktycznych uzyskanych z pomiarów geodezyjnych (rys. 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 [5, 8, 17, 20, 27]. Dotychczas wartość współczynnika B wyznaczano z reguły z maksymalnych przemieszczeń poziomych oraz maksymalnych nachyleń, wykorzystując zależność:

$$B = \frac{u_{max}}{T_{max}} \tag{2}$$

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

Badania prowadzone przez E. Popiołka i J. Ostrowskiego [24] wykazały, że wartość tego współczynnika jest za duża w porównaniu z wartościami wyznaczonymi z maksymalnych przemieszczeń poziomych i maksymalnych nachyleń. Proponują oni następujące wzory na współczynnik B:

$$B = 0{,}156\ H + 53{,}7\ u_{max} - 17{,}1\ w_{max} \tag{3}$$

lub

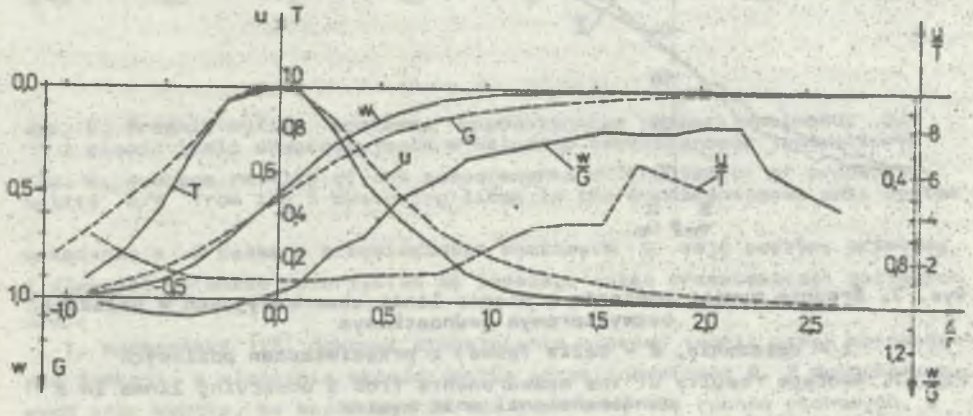
$$B = 0{,}16\ H \approx 0{,}32\ r \tag{4}$$

S. Szpetkowski, analizując wzory S. Knothego, wykazuje na podstawie posiadanego materiału podobne rozbieżności [21] i proponuje określanie współczynnika B w zależności od lokalnych warunków geologiczno-górniczych. Wszystkie te prace zakładają więc milczęco stałość współczynnika B bez względu na odległość od krawędzi eksploatacji.

Badania prowadzone przez Z. Niedojadło [20] 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 zbliżony do rzeczywistego opis przebiegu przemie-

szczeń poziomych na całej długości ich przebiegu przy zachowaniu podstawowych założeń teorii.

Z badań własnych wynika również, że współczynnik proporcjonalności B nie jest stały. Na rys. 6 przedstawiono przykładowo rozkład poszczególnych wskaźników deformacji w układzie bezwymiarowym uzyskany z wyników pomiarów geodezyjnych. Krzywe w, T, u, G uzyskano dzieląc wartości tych wskaźników deformacji w danym punkcie przez ich wartości maksymalne. Krzywa G powstała ze zsumowania (scałkowania) przemieszczeń poziomych.



Rys. 6. Pomierzone wskaźniki deformacji w układzie bezwymiarowym jednostkowym. Linia obserwacyjna 3 z kopalni Komuna Paryska

w - osiadania, G - całka z przemieszczeń poziomych, T - nachylenia, u - przesunięcia poziome

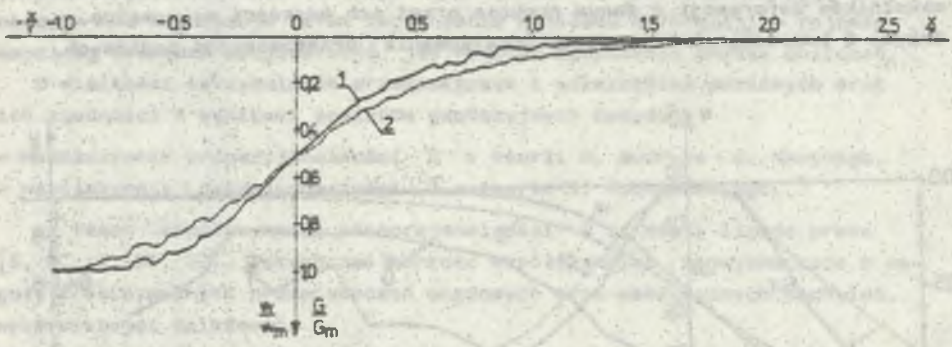
Fig. 6. Deformation indicators in a nondimensional unit system. Observing line 3 from the mine Komuna Paryska

w - subsidence, G - integral from horizontal displacements, T - inclinations, u - horizontal displacement

Teoretycznie można udowodnić, że całka z nachyleń równa jest funkcji osiadania w. Gdyby zatem był spełniony związek S.G. Awierszyna, to krzywe T i u miałyby identyczny przebieg (rys. 6), a krzywa G pokrywałaby się z krzywą w. Wyniki praktyczne przedstawione na rys. 6 nie potwierdzają tego założenia. Na rys. 6 przedstawiono dodatkowo praktyczne wyniki stosunku przemieszczeń poziomych jednostkowych do nachyleń jednostkowych u/T, który teoretycznie powinien być stały, jak również stosunek w/G, który również powinien być stały.

Do analizy wyników pomiarów geodezyjnych wykorzystano specjalny program na mikrokomputer ZX Spectrum opracowany przez P. Strzałkowskiego i autora, który pozwala na porównanie i wykorzystanie wyników pomiarów geodezyjnych z dowolnej ilości linii obserwacyjnych. Na rys. 7, 8 i 9 przed-

stawiono średnie wyniki pomiarów z pięciu linii obserwacyjnych. Wyniki te, jak również z innych linii jednoznacznie potwierdzają, że nie jest spełniony związek przyjęty przez S.G. Awierszyna o proporcjonalności przemieszczeń poziomych do nachyleń. Z wykresów na rys. 6 i 7 wynika, że funkcja

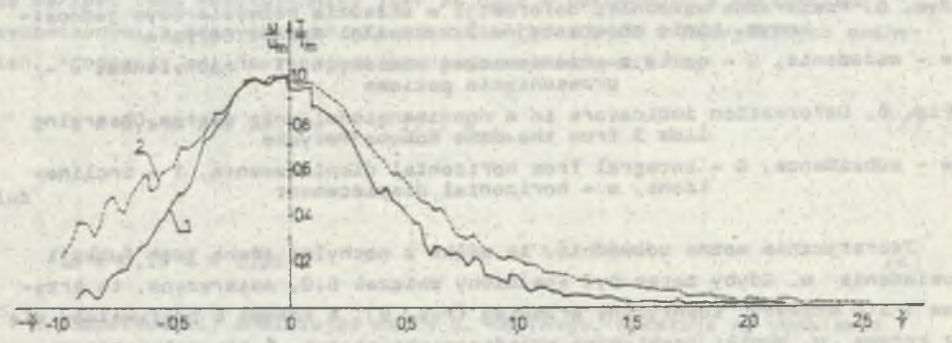


Rys. 7. Średnie wyniki pomiarów z pięciu linii obserwacyjnych w układzie bezwymiarowym jednostkowym

1 - osiadania, 2 - całka (suma) z przemieszczeń poziomych

Fig. 7. Average results of the measurements from 5 observing lines in a nondimensional unit system

1 - subsidences, 2 - integral from horizontal displacements

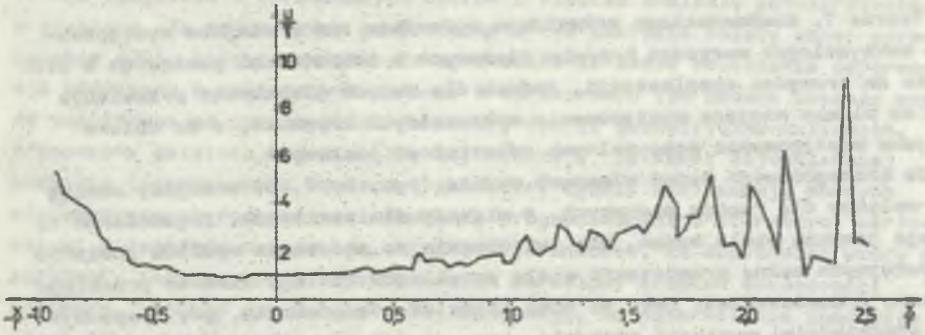


Rys. 8. Średnie wyniki pomiarów z pięciu linii obserwacyjnych w układzie bezwymiarowym jednostkowym

1 - nachylenia, 2 - przemieszczenia poziome

Fig. 8. Average results of the measurements from 5 observing lines in a nondimensional unit system

1 - inclinations, 2 - horizontal displacements



Rys. 9. Średnie wyniki pomiarów współczynnika proporcjonalności u/T z pięciu linii obserwacyjnych w układzie bezwymiarowym jednostkowym

Fig. 9. Average results of the measurements of the factor of proportionality u/T from the 5 observing lines in the nondimensional unit system

osiadania w i całka z przemieszczeń poziomych G mają podobny przebieg i własność tę można wykorzystać do lepszego opisu przemieszczeń poziomych [33].

T. Kochmański [15] 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 [9, 30, 32, 33] a także innych autorów [9] 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 krawędzi 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 poziomych.

Ze szczegółowych badań własnych wynika (rys. 6, 7, 8) mniejszy zasięg dla wpływów dla ruchów pionowych, a większy dla poziomych. Zagadnienie to wymaga jeszcze wielu badań, ale już obecnie na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych można przedstawić wiele przykładów takiego właśnie przebiegu procesu przemieszczeń. Jest to dość łatwe do udowodnienia, gdy dysponuje się odpowiednimi wynikami pomiarów, tzn. odpowiednio długimi liniami obserwacyjnymi nad calizną oraz kilkoma pomiarami wykonanymi już po zakończeniu procesu wychodzenia wpływów na powierzchnię. Z dotychczasowych obserwacji wynika, że różnica zasięgów wpływów jest większa w górotworze nienaruszonym o sztywnej budowie, a mniejsza, im górotwór jest mniej sztywny i bardziej zruszony. Można więc postawić hipotezę, że w pewnych warunkach zasięg ten może być jednakowy, co odpowiadałoby izotropowej budowie górotworu i co przyjmuję obecnie stosowane teorie.

Innym zabiegiem potwierdzającym asymetrię niecki, stosowanym przez niektórych autorów [27, 16, 18] 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.

4. PODSUMOWANIE

W celu podniesienia dokładności prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu możliwe są zasadniczo dwa kierunku badań, a mianowicie:

- doskonalenie istniejących teorii poprzez zwiększenie dokładności przyjmowanych do obliczeń parametrów teorii oraz stosowania przy tym pewnych zabiegów, jak: wprowadzenie obrzeża, uzmiennienie parametrów w płaszczyźnie poziomej itp.,
- opracowanie nowych metod prognozowania wpływów eksploatacji górniczej uwzględniających przede wszystkim nieliniowy (asymetryczny) charakter wpływów.

Zasadnicze prace prowadzone są w kierunku pierwszym. Dotychczas opracowano wiele wzorów i hipotez, które uzależniają wielkość parametrów teorii geometryczno-całkowych od jednego lub więcej czynników, takich jak: głębokość eksploatacji, miąższość nadkładu warstw luźnych, grubość wybieranego pokładu, budowa górotworu, wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie poszczególnych warstw itp.

Nie wszystkie z opracowanych wzorów i hipotez znalazły potwierdzenie w praktyce. Za najbardziej kompleksowe w tym zakresie należy uznać opracowanie [29], którego celem było ujednolicenie zasad obliczania deformacji górotworu i powierzchni terenu. W opracowaniu tym podane zostały wzory empiryczne na poszczególne parametry teorii geometryczno-całkowych. Prowadzone ostatnio badania [30, 33] wykazują, że nawet najdokładniej przyjęte (wyznaczone z pomiarów) parametry teorii nie usuwają pewnych systematycznych rozbieżności pomiędzy prognozowanymi a mierzonymi wartościami wskaźników deformacji. Wynika stąd wniosek, że doskonaląc wzory na parametry teorii, można uzyskać pewien określony stopień dokładności prognozy, którego nie da się dalej zwiększyć. Na podkreślenie zasługuje tutaj fakt, że w wielu przypadkach istnieje pilna potrzeba zwiększenia dokładności prognozowania.

Możliwość znacznie dokładniejszego opisu procesu deformacji pod wpływem eksploatacji górniczej daje drugi kierunek badań. Potwierdzają to prace prowadzone w tym kierunku m.in. przez B. Dżegniuka [6], K. Grenia [7], A. Sałustowicza [26], A. Bilińskiego [3], S. Szpetkowskiego [27] i autora [33].

LITERATURA

[1] Awierszyn S.G.: Sdwiżenije gornych prod pri podzjemnych rozrabotkach. Ugletiechizdat 1947.

[2] Batkiewicz Wł.: Odchylenia standardowe poeksploatacyjnych deformacji górotworu. Kraków 1971. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN. Geodezja z. 10.

[3] Biliński A.: Przejawy ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej w pokładach węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo z. 31.

[4] Budryk W.: Wyznaczanie wielkości poziomych odkształceń terenu. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa t. I, z. 1, 1953.

[5] Drzęźla B.: Badania teoretyczne i modelowe ruchu górotworu przy eksploatacji górniczej. Praca doktorska. Politechnika Śląska. Gliwice 1971.

[6] Dżegniuk B.: Niektóre efekty nieliniowe w procesie osiadania nad eksploatacją górniczą. Zeszyty Naukowe AGH. Geodezja z. 34. Kraków 1975.

[7] Greń K.: Próba ujęcia asymetrii wpływów eksploatacji górniczej przy poziomym zaleganiu pokładu. PAN oddz. w Krakowie. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej. Geodezja 29, 1981.

[8] Greń K., Popiołek K., Ostrowski J.: Związki między prognozowanymi wskaźnikami deformacji według teorii Budryka-Knothego a wynikami wykonanych obserwacji. Ochrona Terenów Górniczych Nr 72, 1985.

[9] 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.

[10] Jędrzejec E. i zespół: Zebranie wyników obserwacji przemieszczeń poziomych i pionowych górotworu i powierzchni spowodowanych eksploatację górniczę oraz sformułowanie założeń matematycznych modelu wpływu eksploatacji na powierzchnię i górotwór. Dokumentacja GIG. Katowice 1986.

[11] Jofie M.A., Szmielew A.J.: Inżeniarnaja geomechanika pri podziemnych razrabotkach. Niedra, Moskwa 1985.

[12] Klein G.: Długość bazy pomiarowej a wielkość fluktuacji odkształceń w ośrodku sypkim. Praca doktorska (niepublikowana). Kraków 1973.

[13] Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa t. I, z. 1, 1953.

[14] Kochmański T.: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. PAN, Warszawa 1956.

[15] Kochmański T.: Funkcja szczelinowatości. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej. PAN, Geodezja 20, Kraków 1975.

[16] Kochmański T., Lubina T., Piwowarski W.: Wpływ zmienności parametru r_0 na prognozowane wartości osiadania powierzchni terenu. Ochrona Terenów Górniczych nr 52, Katowice 1980.

[17] Lubina T.: Zamienność wartości składowej poziomej przemieszczenia punktu od wartości nachylenia poeksploatacyjnej niecki na podstawie geodezyjnych pomiarów deformacji powierzchni terenu. Gliwice 1978. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 85.

[18] Lubina T., Piwowarski W.: Prognozowanie wartości osiadania powierzchni w zależności od zmienności tgβ. Rudy i Metale Nieżelazne. T.24, nr 7, 1974.

[19] Magdziorz J.: Wybrane zagadnienia teoretyczne prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię i górotwór. Praca doktorska. AGH, Kraków 1975.

[20] Niedojadło Z.: Model funkcjonalny przemieszczenia punktów nad eksploatację górniczę. Praca doktorska. AGH, Kraków 1984.

[21] Niemczyk O.: Abbau von Schachtsicherheitspfeilern. Bergschadenkunde. Verlag Glückauf, Essen 1949.

[22] 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.

[23] Popiołek E. Ostrowski J.: Próba ustalenia głównych przyczyn rozbieżności prognozowanych i obserwowanych poeksploatacyjnych wskaźników deformacji. Ochrona Terenów Górniczych nr 58. Katowice 1981.

[24] Popiołek E.: Rozproszenie statystyczne odkształceń poziomych terenu w świetle geodezyjnych obserwacji skutków eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja z. 44. Kraków 1976.

[25] Popiołek E., Ostrowski J.: Zależność między nachyleniami a przemieszczeniami poziomymi terenu w ostatecznie wykształconych nieckach obniżeniowych. Ochrona Terenów Górniczych nr 46, 1978.

[26] Sałustowicz A.: Profil niecki osiadania jako ugięcie warstwy na sprężystym podłożu. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. T. 1, z. 1, 1953.

[27] Szpetkowski S.: 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.

[28] Szpetkowski S.: Rozkład obniżeń punktów powierzchni pod wpływem eksploatacji złóż pokładowych w świetle teorii i obserwacji. Ochrona Terenów Górniczych Nr 19. Katowice 1972.

[29] Wytyczne prognozowania wpływów na górotwór i powierzchnię terenu eksploatacji górniczej prowadzonej na dużych głębokościach. Prace IPBK i OP Politechniki Śląskiej (niepublikowanej). Gliwice 1982.

[30] Zagadnienia długookresowego sumowania deformacji ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska relaksacji odkształceń poziomych na podstawie pomiarów geodezyjnych. Prace IPBK i OP Politechniki Śląskiej. Gliwice 1985 (niepublikowana).

[31] Zych J.: Zmienność parametrów teorii St. Knothego i T. Kochmańskiego w świetle badań geodezyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 134. Gliwice 1985.

[32] Zych J.: Pionowe oddziaływanie wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu ze szczególnym uwzględnieniem nachyleń i krzywizn. Komisja Ochrony Terenów Górniczych PAN oddz. w Katowicach. Konferencja Naukowa pt.: Pionowe oddziaływanie między budowlą i podłożem górniczym. Katowice 1981.

[33] Zych J., Strzałkowski P.: Opracowanie podstaw teoretycznych nieliniowego modelu górotworu w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych. Prace IPBK i OP Politechniki Śląskiej. Gliwice 1986 (niepublikowana).

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Karol GREŃ

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1987 r.

ГЕОМЕТРИЧЕСКО-ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ТЕОРИИ В СВЕТЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Р е з ю м е

В работе представлено актуальное состояние и оценка геометрическо-интегральных теорий В.Будрыка-С.Кнотхего и Т.Кохманского.

Эта оценка была проведена на основе известных до сих пор опытов, литературы, а также на базе непосредственных исследований.

В первой части работы дана общая характеристика геометрическо-интегральных теорий. Во второй части указано, что рассмотренные теории характеризуются некоторыми систематическими отклонениями от геодезических наблюдений, которые наиболее чётко выступают в случае эксплуатации в форме бесконечной полуплоскости. Среди них надо назвать, во-первых, присутствие точек перегиба мульды сдвижения над выработанным пространством, а не над краем эксплуатации, как следует из теории, во-вторых, асимметрию мульды сдвижения по отношению к точке перегиба, во-третьих, большой радиус влияния не удовлетворение в действительности формулы Авершина.

В заключении представлены направления, в которых проводились исследования.

GEOMETRIC-INTEGRAL THEORIES IN THE LIGHT OF THERESULTS OF GEODESIC RESEARCH

S u m m a r y

Geometric-integral theories of Budryk-Knothe and Kochmański were presented in the paper. The evaluation was done on the basis of literature as well as experience and our own research. The general characteristics of the theory was presented in the forst part of the paper.

In the second part of the paper it was shown that certain systematic devergences are characteristics for the theories. These devergences concern the indicatiors of deformation calculated in a theoretical way and those which were obtained by means of geodesic measurements.

From these devergences which have been calculated by means of geodesic measurements and ocurring in case half-plane exploitation, the folloving divergences must be enumerated:

- occurrence of the point of contraflexure of subsidence over a chosen area and not only oven an exploitation edge as the theory assumes,
- between asymmetry of the trough and the point of contraflexure.

The further trends of the research were presented in the last part of the paper.