

# Wykorzystanie badań modelowych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym do analizy kształtowania się przemieszczeń w brzeżnej części niecki osiadania

JERZY CYGAN, JAN LEŚNIAK, JAN WALASZCZYK

*Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków*

## Streszczenie

Celem pracy było podsumowanie wyników, prowadzonych od kilku lat, badań modelowych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, poziomo uwarstwowionym nad wpływem eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu. Poprzez zastosowanie różnego uwarstwienia ośrodka można zaobserwować różnice w procesach przemieszczeń występujące w górotworze o różnym stopniu naruszenia wcześniejszymi eksploatacjami. Porównanie wyników eksperymentów na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, uwarstwowionym z wynikami eksperymentów na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym pozwala na stwierdzenie większej przydatności rezultatów uzyskanych w eksperymentach na ośrodku sypkim niejednorodnym do praktycznego rozwiązywania niektórych zagadnień planowania eksploatacji górniczej.

**Słowa kluczowe:** badania modelowe, wpływy eksploatacji, przemieszczenia górotworu, deformacje

## 1. Wstęp

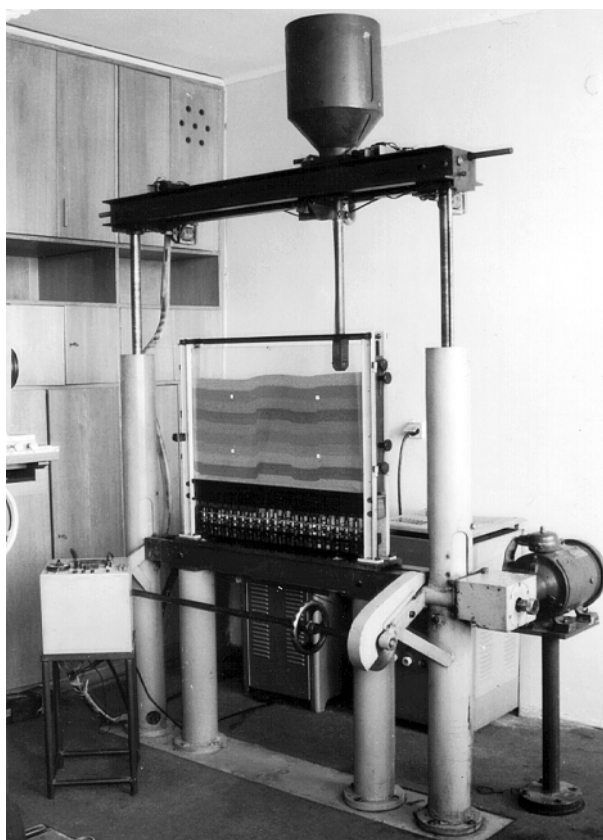
W Instytucie Mechaniki Górotworu PAN od szeregu lat, równoległe z rozwojem teorii opisujących przemieszczenia górotworu wywołane eksploatacją górniczą, prowadzone są badania modelowe na ośrodku sypkim mające na celu poznawanie i wyjaśnianie zjawisk przemieszczeń górotworu występujących w wyniku prowadzenia robót górniczych. Badania modelowe mają za zadanie rozwiązywanie niektórych zagadnień planowania eksploatacji górniczej oraz jej wpływu na powierzchnię jak np.: przebieg rzeczywistego profilu brzeżnej części niecki osiadania, wpływ kierunku postępu frontu eksploatacyjnego, problem aktywacji starych zrobów, eksploatacja w strefie przyskokowej czy wybór najkorzystniejszego sposobu rozplanowania robót wybierkowych w filarach ochronnych.

Zastosowanie w badaniach modelowych ośrodka sypkiego jednorodnego o różnym stopniu zagęszczenia (ośrodek niezagęszczony lub ośrodek zagęszczony) pozwoliło na zaobserwowanie różnic w procesach przemieszczeń i deformacji występujących w tego typu ośrodkach. Różnice te odpowiadają jakościowo zróżnicowaniu występującemu w praktyce górniczej w przypadku eksploatacji prowadzonych w górotworze związłym nienaruszonym lub w górotworze naruszonym wcześniejszą eksploatacją, w którym występują strefy rozluźnienia (zawału, spękań, rozwarstwień). Spostrzeżenie to stanowiło podstawę do podjęcia próby przeprowadzenia badań na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, poziomo uwarstwowionym, zbudowanym z warstw o różnym stopniu zagęszczenia. W latach 2000-2005 wykonano kilkanaście eksperymentów na ośrodku pionowo niejednorodnym o różnej liczbie warstw dla różnych wysokości modelu. Poprzez zastosowanie różnego uwarstwienia ośrodka, można zaobserwować różnice w procesach przemieszczeń występujące w górotworze o różnym stopniu naruszenia wcześniejszymi eksploatacjami, co może być wykorzystane przy prognozowaniu wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu. W niniejszej pracy podjęto próbę podsumowania wyników badań wykonanych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, poziomo uwarstwowionym.

## 2. Realizacja eksperymentów

Poniżej krótko zostanie omówiona konstrukcja urządzenia do badań modelowych i sposób realizacji eksperymentu.

Eksperymenty realizowano w skrzyni modelowej o wymiarach 800×500×40 mm (Rys. 1). Czołowa szklana ściana skrzyni pozwalała na obserwację i rejestrację fotograficzną zachodzących w niej przemieszczeń. Skrzynię modelową wypełniano piaskiem w którym umieszczano punkty pomiarowe tzw. repery, które tworzyły siatkę pomiarową dostosowaną do potrzeb realizowanego eksperymentu. Przemieszczenia ośrodka wymuszano zadaniem w dnie skrzyni modelowej warunkiem brzegowym odpowiadającym przebiegowi eksploatacji. Umożliwia to konstrukcja dna skrzyni modelowej składającego się z dwu sztywno połączonych ze sobą elementów tworzących szczelinę szerokości 3 mm. Szczelina przesuwana się ze stałą (regulowaną) prędkością a ilość wysypującego się przez nią piasku (również regulowana) określa miąższość wybranej (usuniętej) warstwy ośrodka [1, 3-6].



Rys. 1. Stanowisko do badań modelowych

Konstrukcja drugiej skrzyni modelowej, w dnie której znajduje się 20 segmentów, umożliwia realizowanie postępującego frontu eksploatacji poprzez obniżanie kolejnych segmentów o określoną wartość [2].

Przemieszczenia ośrodka wywołane zadaniem warunkiem brzegowym rejestrowano na kliszach fotograficznych. Współrzędne  $x$ ,  $y$  położenia reperów, w każdym eksperymencie dla danego warunków brzegowych, odczytane z klisz i wprowadzone do bazy danych w komputerze stanowiły dane wyjściowe do wyliczenia przemieszczeń i odkształceń zachodzących w ośrodku.

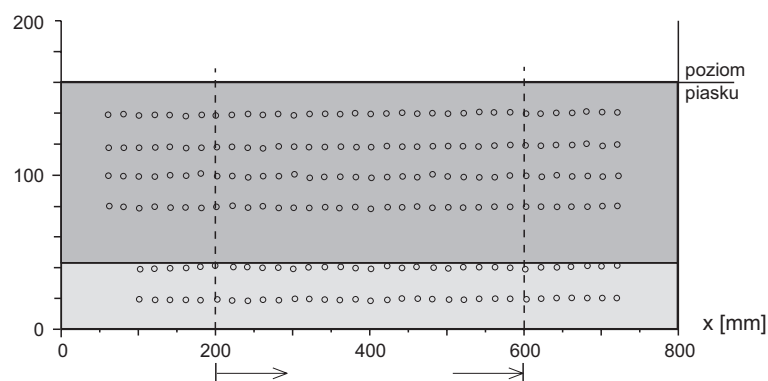
W latach 2000-2005 wykonano 14 eksperymentów na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, poziomo uwarstwionym: 6 dla modelu o wysokości  $H = 160$  mm oraz 8 dla modelu o wysokości  $H = 320$  mm.

We wszystkich eksperymentach do realizacji poszczególnych warstw wykorzystywano piasek niezagęszczony o gęstości nasypowej wynoszącej ok.  $1.52 \text{ g/cm}^3$  lub piasek zagęszczony o gęstości nasypowej wynoszącej ok.  $1.73 \text{ g/cm}^3$ .

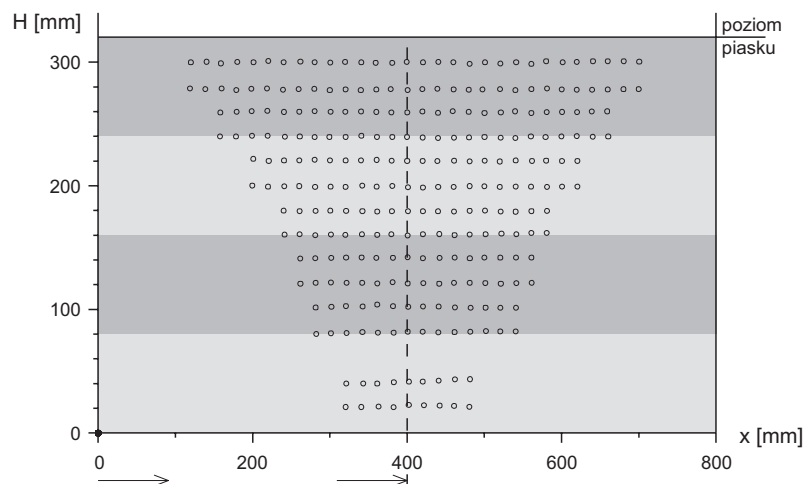
Przy omawianiu wyników eksperymentów i w opisie rysunków przyjęto następującą konwencję: warstwa z ośrodka niezagęszczonego oznaczona zostaje jako – N, warstwa z ośrodka zagęszczonego ozna-

czona jako – Z. Grubość warstwy podana zostanie obok stopnia zagęszczenia w kolejności od dna skrzyni modelowej, np. (N40-Z120) to model zbudowany z dwu warstw: dolna warstwa o grubości 40 mm to ośrodek niezagęszczony, górna warstwa o grubości 120 mm to ośrodek zagęszczony; (Z320) to model z ośrodka jednorodnego, zagęszczonego w całej wysokości – 320 mm. Eksperymenty w których warunek brzegowy realizowany był poprzez kolejne obniżanie segmentów oznaczone zostały skrótem – segm., np. [(N40-Z120)segm.]. Wyniki eksperymentów na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym przedstawione zostały w odniesieniu do wyników eksperymentów na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym w całej wysokości modelu niezagęszczonym N i zagęszczonym Z.

We wszystkich omawianych poniżej eksperymentach w ośrodku założona została siatka punktów obserwacyjnych obejmująca pełny zasięg wpływów realizowanych w dnie skrzyni modelowej warunków brzegowych. Odległości pomiędzy reperami na liniach obserwacyjnych wynosiły 20 mm. Na rysunku 2 przedstawiono szkic rozmieszczenia punktów pomiarowych oraz sposób realizacji warunku brzegowego w eksperymentach dla wysokości modelu  $H = 160$  mm; na rysunku 3 szkic rozmieszczenia punktów pomiarowych oraz sposób realizacji warunku brzegowego w eksperymentach dla wysokości modelu  $H = 320$  mm.



Rys. 2. Szkic rozmieszczenia reperów w skrzyni modelowej dla modelu o wysokości  $H = 160$  mm



Rys. 3. Szkic rozmieszczenia reperów w skrzyni modelowej dla modelu o wysokości  $H = 320$  mm

Eksperymenty wykonywano, jak już wyżej wspomniano, dla dwóch wysokości modelu:  $H = 160$  mm co pozwalało na uzyskanie na każdym poziomie w pełni wykształconych niecek osiadania [1], [2] oraz  $H = 320$  mm co pozwalało na analizę kształtowania się przemieszczeń w brzeżnej części niecki osiadania przy większej liczbie warstw [3-6].

W pełni wykształcone niecki osiadania uzyskiwano w eksperymentach o wysokości modelu  $H = 160$  mm realizując warunek brzegowy poprzez przesuw szczeliny wysypowej [1] lub kolejne obniżanie segmen-

tów [2] w przedziale odległości od 200 mm od lewego brzegu skrzyni do 600 mm od lewego brzegu skrzyni (Rys. 2). Odległość między granicami eksploatacji wynosiła 400 mm.

Kształtowanie się przemieszczeń w brzeżnej części niecki osiadania w eksperymentach o wysokości modelu  $H = 320$  mm uzyskiwano realizując warunek brzegowy poprzez przesuw szczeliny wysypowej od lewego brzegu skrzyni do osi skrzyni (Rys. 3) [3-6].

We wszystkich eksperymentach grubość usuniętej w dnie skrzyni modelowej warstwy piasku wynosiła ok. 6 mm. Czas przesuwu szczeliny wysypowej (szybkość postępu frontu) na odcinku 400 mm we wszystkich eksperymentach również był jednakowy i wynosił ok. 35 minut.

Przedstawiając rezultaty eksperymentów zrealizowanych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, poziomo uwarstwowionym przykładowo omówione zostaną niektóre uzyskane wyniki ilustrujące istotniejsze spostrzeżenia. Stanowi to próbę podsumowania badań na ośrodku sypkim niejednorodnym.

### 3. Omówienie wyników

Wyniki eksperymentów przeprowadzonych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym uwarstwowionym porównano pomiędzy sobą w zależności od ilości i rodzajów warstw oraz porównane zostały z odpowiednimi wynikami eksperymentów przeprowadzonych na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym niezagęszczonym N lub zagęszczonym Z.

#### 3.1. Model $H = 160$ mm – niecka osiadania w pełni wykształcona

Zrealizowane w sposób omówiony w rozdziale 2 eksperymenty dla wysokości modelu  $H = 160$  mm (Rys. 2) pozwalały na analizę kształtowania się przemieszczeń i odkształceń w niecce osiadania w pełni wykształconej tak w jej części od której eksploatacja została rozpoczęta jak i w części w której eksploatacja została zakończona. Poniżej przedstawiono przykładowo wyniki eksperymentów zrealizowanych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym dwuwarstwowym: o jednakowej grubości warstw (N80-Z80) i (Z80-N80) oraz o różnej grubości warstw (N40-Z120) i (Z40-N120) realizowane poprzez przesuw szczeliny wysypowej [1] porównując je z wynikami eksperymentów na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym niezagęszczonym (N160) i zagęszczonym (Z160). Porównano również wyniki uzyskane dla różnego sposobu realizacji warunku brzegowego w ośrodku pionowo niejednorodnym dwuwarstwowym: dla przesuwu szczeliny wysypowej (N40-Z120) i (Z40-N120) oraz dla kolejnego obniżania segmentów w dnie skrzyni modelowej [(N40-Z120)segm.] i [(Z40-N120)segm.] [2].

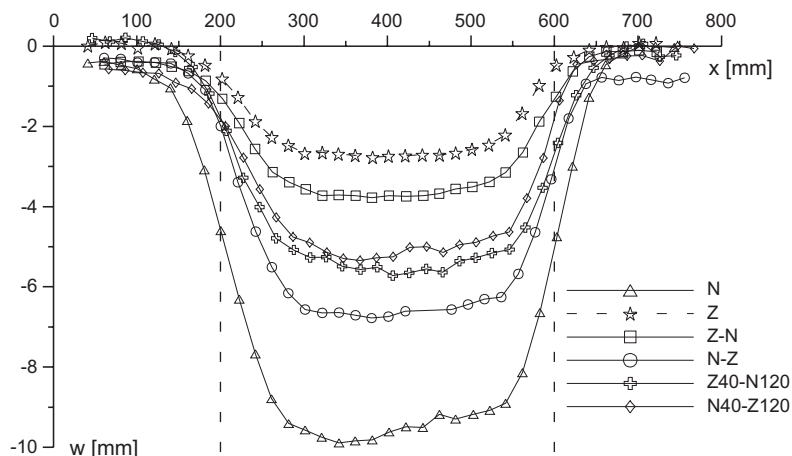
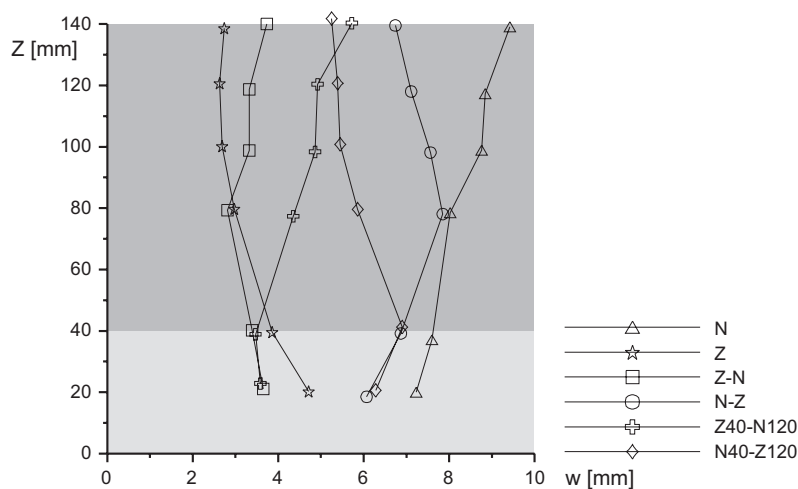
##### 3.1.1. Obniżenia

Wartości obniżeń w eksperymentach na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym (N80-Z80), (Z80-N80), (N40-Z120), (Z40-N120), niezależnie od rodzaju i grubości warstw mieszczą się pomiędzy wartościami uzyskanymi w eksperymentach na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym niezagęszczonym (N160) i zagęszczonym (Z160) – Rys. 4 i 5. W eksperymentach w których warunek brzegowy realizowany był poprzez wysypanie przez przesuwającą się szczelinę określonej ilości piasku [1] niecki osiadania na linii obserwacyjnej przy powierzchni modelu (Rys. 4) są symetryczne niezależnie od rodzaju i kolejności warstw. Tylko w ośrodku pionowo jednorodnym niezagęszczonym występuje pewna asymetria: obniżenia są większe od strony od której rozpoczęto eksploatację niż od strony przy której eksploatację zakończono.

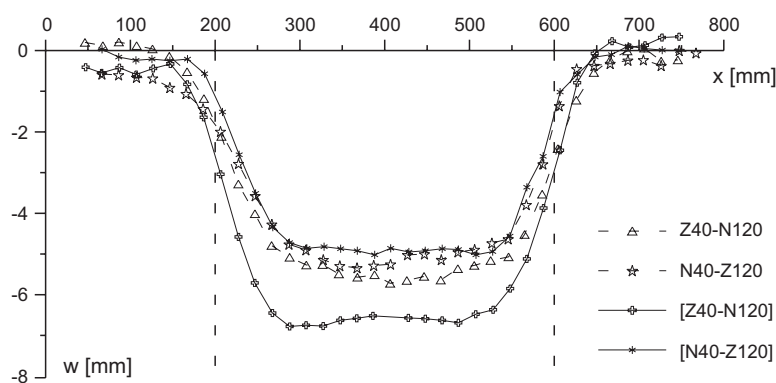
Stwierdza się ścisły związek przebiegu obniżeń z wysokością modelu z usytuowaniem warstw o różnym stopniu zagęszczenia (Rys. 5), szczególnie w przypadku gdy przy dnie skrzyni modelowej znajduje się ośrodek niezagęszczony – eksperymenty (N80-Z80) i (N40-Z120).

Interesujący efekt uzyskano w eksperymentach w których dolna warstwa miała grubość 40 mm a górna 120 mm – (N40-Z120) i (Z40-N120). Niezależnie od kolejności położenia warstw w modelu i przebiegu obniżeń z wysokością (Rys. 5) przy powierzchni modelu obniżenia osiągają podobne wartości (Rys. 4). Pozwala to na takie konstruowanie modelu uwarstwowionego w którym przez odpowiedni dobór warstw możliwe jest uzyskanie zamierzonych rezultatów.

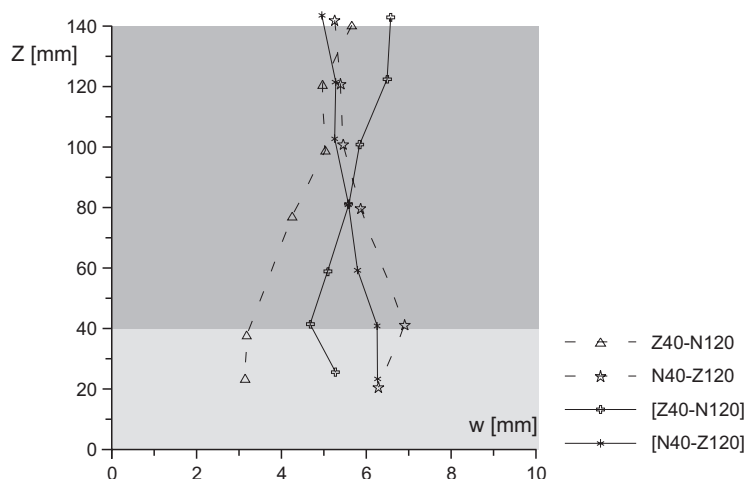
Porównanie eksperymentów w których warunek brzegowy realizowano w różny sposób – poprzez przesuw szczeliny wysypowej (N40-Z120), (Z40-N120) [1] lub poprzez kolejne obniżanie segmentów [(N40-Z120)segm.], [(Z40-N120)segm.] [2] – pozwala na stwierdzenie, że obniżenia w niewielkim stopniu zależą od sposobu zadania warunku brzegowego w dnie skrzyni modelowej (Rys. 6); wartości obniżeń osiągają podobne wartości przy powierzchni modelu.

Rys. 4. Obniżenia na linii poziomej  $H = 140$  mm dla warunku brzegowego realizowanego przez przesuną szczelinę

Rys. 5. Obniżenia na linii pionowej w połowie skrzyni modelowej dla warunku brzegowego realizowanego przez przesuną szczelinę

Rys. 6. Obniżenia na linii poziomej  $H = 140$  mm dla różnych sposobów realizacji warunku brzegowego

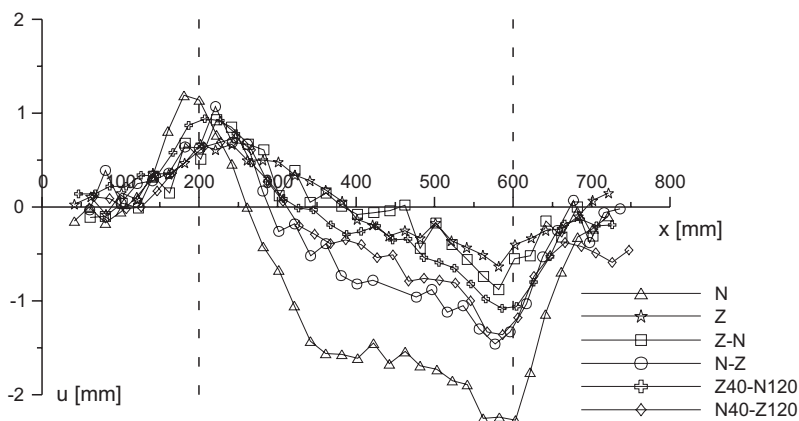
Również przebieg obniżeń z wysokością modelu jest podobny (Rys. 7). Tylko dla modelu w którym warunek brzegowy realizowany był poprzez kolejne obniżanie segmentów w przypadku gdy przy dnie skrzyni modelowej znajdował się ośrodek niezagęszczony [(Z40-N120)segm.] wartości obniżeń są nieco większe. Przy obniżaniu kolejnymi segmentami następuje prawdopodobnie większe „poszatkiwanie” wskutek czego nadległa warstwa ośrodka niezagęszczonego zagęszcza się w większym stopniu i stwierdza się większe obniżenia.



Rys. 7. Obniżenia na linii pionowej w połowie skrzyni modelowej dla różnych sposobów realizacji warunku brzegowego

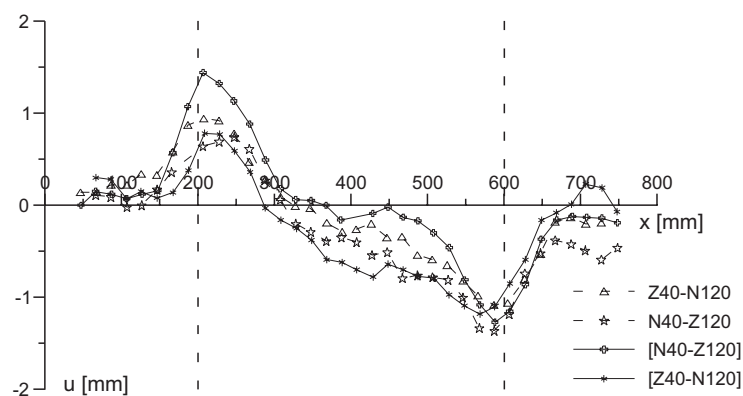
### 3.1.2. Przesunięcia poziome

Podobnie jak w przypadku obniżenia wartości przesunięć poziomych w eksperymentach na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym niezależnie od rodzaju i ilości warstw mieszczą się pomiędzy wartościami uzyskanymi w eksperymentach na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym niezagęszczonym i zagęszczonym (Rys. 8). Wartości przesunięć poziomych nad krawędziami eksploatacji osiągają zbliżone wartości, tak nad krawędzią od której eksploatacja została rozpoczęta jak i nad krawędzią na której eksploatacja została zakończona. Tylko w ośrodku pionowo jednorodnym przesunięcia nad krawędzią do której eksploatacja dochodzi są większe od pozostałych. Stwierdza się również, jak w przypadku obniżenia, podobny rozkład i zbliżone wartości przesunięć poziomych w eksperymentach (Z40-N120) i (N40-Z120) niezależnie od wzajemnych proporcji ośrodka niezagęszczonego do zagęszczonego.



Rys. 8. Przesunięcia poziome na linii poziomej  $H = 140$  mm dla warunku brzegowego realizowanego przez przesuwającą szczelinę.

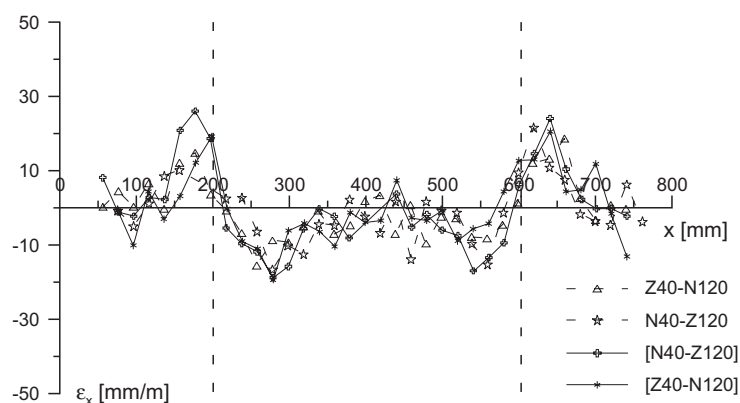
Sposób zadania w dnie skrzyni modelowej warunku brzegowego (przesuwająca szczelina, obniżanie segmentów) nie wpływa w istotny sposób na wartości przesunięć poziomych – są one zbliżone (Rys. 9), tylko dla eksperymentu [(Z40-N120)segm.] nad krawędzią od której rozpoczyna się eksploatacja są one nieco większe.



Rys. 9. Przesunięcia poziome na linii poziomej  $H = 140$  mm dla różnych sposobów realizacji warunku brzegowego

### 3.1.3. Odształcenia poziome

Odształcenia poziome dla modelu o tak małej wysokości ( $H = 160$  mm) osiągają przy powierzchni modelu niewielkie wartości. Na rysunku 10 przedstawiono przykładowo kształtowanie się odkształceń poziomych na linii pomiarowej przy powierzchni modelu dla różnych sposobów realizacji warunku brzegowego (przesuw szczeliny (N40-Z120), (Z40-N120); obniżanie segmentów [(N40-Z120)segm.], [(Z40-N120)segm.] Stwierdza się, podobnie jak w przypadku obniżeń i przesunięć poziomych, dobrą zgodność wyników niezależnie od sposobu zadania w dnie skrzyni modelowej warunku brzegowego (przesuw szczeliny, obniżenia segmentów).



Rys. 10. Odształcenia poziome na linii poziomej  $H = 140$  mm dla różnych sposobów realizacji warunku brzegowego

Wyniki eksperymentów przeprowadzonych na modelu o wysokości  $H = 160$  mm w których analizowano niecki osiadania w pełni wykształcone wykazały celowość podjęcia badań nad rozkładem przemieszczeń i deformacji w brzeżnej części niecki obniżeń przy większej wysokości modelu. Wyższy model umożliwił zrealizowanie większej ilości warstw o różnym stopniu zagęszczenia oraz uzyskanie większych wartości przesunięć poziomych i odkształceń poziomych co pozwala na przeprowadzenie pełniejszej analizy wyników.

Stwierdzenie, w badaniach na modelu  $H = 160$  mm, że sposób zadania warunku brzegowego (przesuw szczeliny, obniżanie segmentów) nie wpływa w istotny sposób na rozkład oraz wartości przemieszczeń i deformacji, pozwoliło zrezygnować w eksperymentach na modelu  $H = 320$  mm z realizacji warunku brzegowego poprzez kolejne obniżanie segmentów.

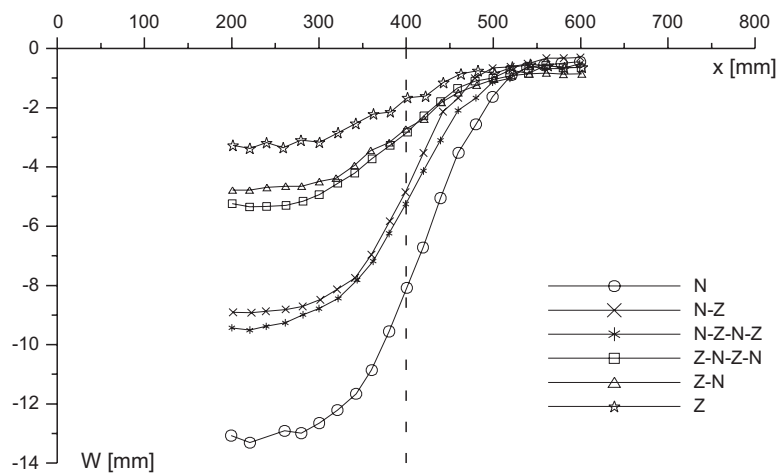
## 3.2. Model $H = 320$ mm – brzeżna część niecki osiadania

Zrealizowane w sposób omówiony w rozdziale 2 eksperymenty dla wysokości modelu  $H = 320$  mm (Rys. 3) pozwalały na analizę kształtowania się przemieszczeń i odkształceń w brzeżnej części niecki osiadania. Poniżej przedstawiono przykładowo wyniki eksperymentów zrealizowanych na ośrodku sypkim

pionowo niejednorodnym dwuwarstwowym (N160-Z160) i (Z160-N160) oraz czterowarstwowym (N80-Z80-N80-Z80) i (Z80-N80-Z80-N80) porównując je z wynikami eksperymentów na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym niezagęszczonym (N320) i zagęszczonym (Z320) [3,4,5,6].

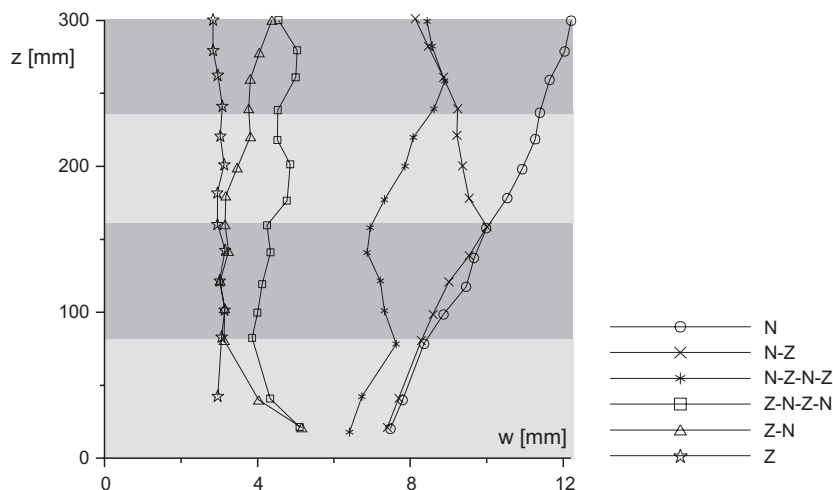
### 3.2.1. Obniżenia

Podobnie jak w przypadku modelu o wysokości  $H = 160$  mm, wartości obniżenia w eksperymentach na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym dwuwarstwowym (N160-Z160) i (Z160-N160) oraz czterowarstwowym (N80-Z80-N80-Z80) i (Z80-N80-Z80-N80), niezależnie od rodzaju i grubości warstw mieszczą się pomiędzy wartościami uzyskanymi w eksperymentach na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym niezagęszczonym (N320) i zagęszczonym (Z320) – Rys. 11 i 12. Wartości obniżenia i ich przebiegi w brzeżnej części niecki osiadania w eksperymentach realizowanych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym na linii obserwacyjnej przy powierzchni modelu są podobne dla eksperymentów w których przy dnie skrzyni modelowej był ośrodek o takim samym stopniu zagęszczenia: eksperymenty (N160-Z160) i (N80-Z80-N80-Z80) oraz eksperymenty (Z160-N160) i (Z80-N80-Z80-N80) – Rys. 11.



Rys.11. Obniżenia na linii poziomej  $H = 300$  mm

Przebiegi obniżenia z wysokością modelu są związane z ilością i rodzajem warstw w ośrodku pionowo niejednorodnym (Rys. 12). Mimo że przebiegi obniżenia z wysokością są różne to przy powierzchni modelu wartości obniżenia są podobne dla eksperymentów w których przy dnie modelu była warstwa ośrodka o takim samym stopniu zagęszczenia.

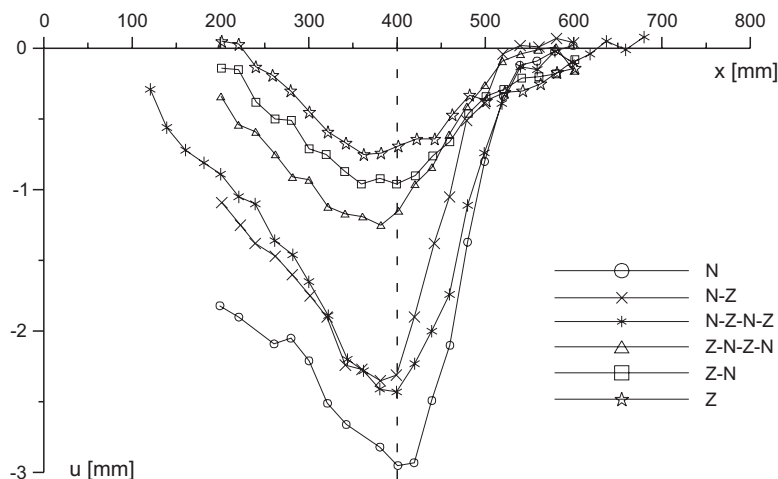


Rys. 12. Obniżenia na linii pionowej – 80 mm od krawędzi eksploatacji nad częścią obniżoną



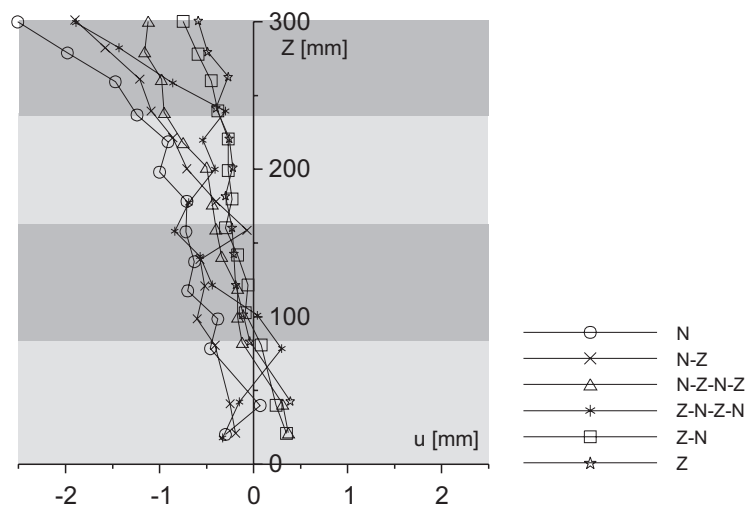
### 3.2.2. Przesunięcia poziome

Wartości przesunięć poziomych, podobnie jak obniżenia, w eksperymentach na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, niezależnie od rodzaju i ilości warstw mieszczą się pomiędzy wartościami uzyskanymi w eksperymentach na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym niezagęszczonym i zagęszczonym (Rys. 13 i 14). Wartości maksymalne przesunięć poziomych we wszystkich eksperymentach tak na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym (N160-Z160), (Z160-N160), (N80-Z80-N80-N80), (Z80-N80-Z80-N80) jak i na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym (N320), Z(320) występują nad krawędzią eksploatacji (Rys. 13). Wartości i przebiegi przesunięć poziomych zależą od rodzaju ośrodka jaki znajduje się przy dnie skrzyni modelowej.



Rys. 13. Przesunięcia poziome na linii poziomej  $H = 300$  mm

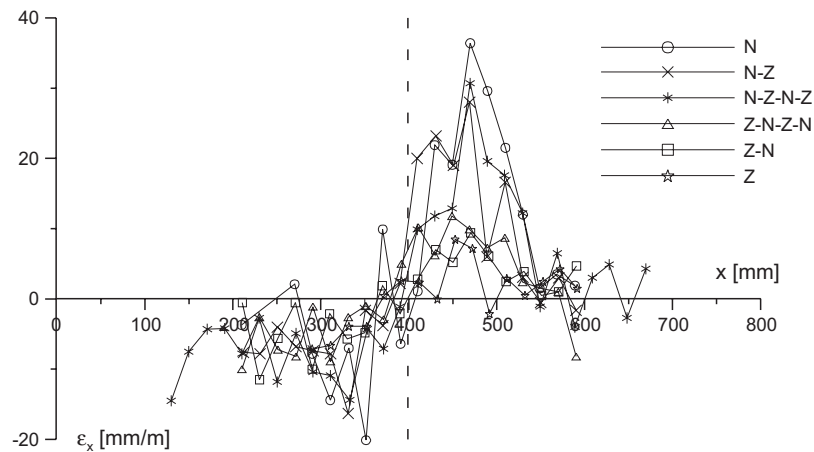
Oddziaływanie warstw o różnym stopniu zagęszczenia na przebieg przesunięć poziomych z wysokością modelu dla eksperymentów w których przy dnie skrzyni modelowej znajduje się ośrodek zagęszczony (Z160-N160), (Z80-N80-Z80-N80) nie objawia się w sposób znaczący. Bardziej widoczne jest oddziaływanie warstw w eksperymentach w których dolną warstwę stanowił ośrodek niezagęszczony (N160-Z160), (N80-Z80-N80-Z80) w których występuje na granicy między kolejnymi warstwami zakłócenie przebiegu przesunięć poziomych (Rys. 14). Następuje lokalne zmniejszenie wartości przesunięć poziomych wywołane prawdopodobnie zmianą gęstości kolejnych warstw ośrodka.



Rys. 14. Przesunięcia poziome na linii pionowej - 80 mm od krawędzi eksploatacji nad częścią obniżoną

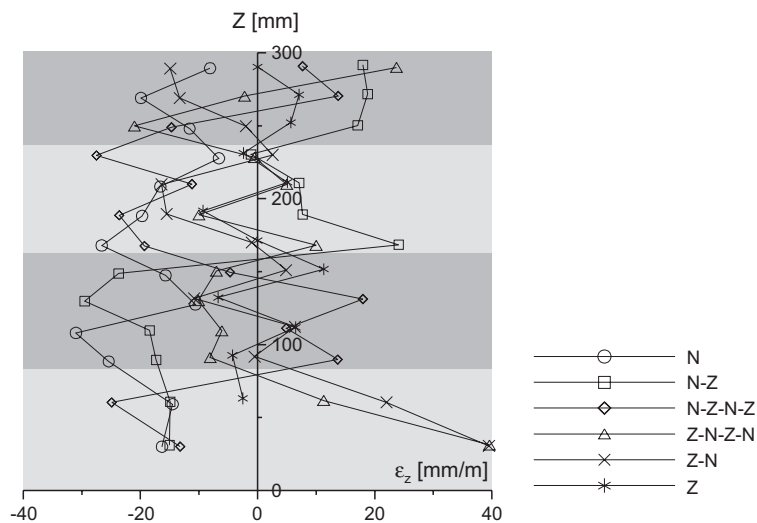
### 3.2.3. Odształcenia

W brzożnej części niecki osiadania nad częścią obniżoną występują odkształcenia poziome ściskające a na zewnątrz granicy eksploatacji rozciągające, przy czym maksymalne wartości rozciągań są około dwukrotnie większe od ściskań (Rys. 15). Zerowanie odkształceń poziomych występuje nad krawędzią eksploatacji. Wartości odkształceń poziomych w eksperymentach na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym (N160-Z160), (Z160-N160), (N80-Z80-N80-Z80), (Z80-N80-Z80-N80), podobnie jak w przypadku obniżeń i przesunięć poziomych, mieszczą się pomiędzy wartościami odkształceń poziomych dla ośrodków pionowo jednorodnych zagęszczonego (Z320) i niezagęszczonego (N320).



Rys. 15. Odształcenia poziome na linii poziomej  $H = 300$  mm

Na linii pionowej obserwuje się zależność przebiegu odkształceń pionowych od rozmieszczenia warstw o różnym stopniu zagęszczenia (Rys. 16). Wyraźnie jest to widoczne w eksperymentach w których dolną warstwę, przy dnie skrzyni modelowej, stanowił ośrodek niezagęszczony (N160), (N80-Z80-N80-Z80).



Rys. 16. Odształcenia pionowe na linii pionowej - 80 mm od krawędzi eksploatacji nad częścią obniżoną

## 4. Wnioski

Celem pracy było podsumowanie wyników, prowadzonych od kilku lat, badań modelowych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, poziomo uwarstwionym nad wpływem eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu. Analizowano kształtowanie się obniżeń, przesunięć poziomych i odkształceń w ośrodku pionowo niejednorodnym, poziomo uwarstwionym dla dwóch wysokości modelu:  $H = 160$  mm – niecki osiadania w pełni wykształcone oraz  $H = 320$  mm – brzeżna część niecki osiadania. Wyniki eksperymentów przeprowadzonych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym porównane zostały pomiędzy sobą w zależności od ilości i rodzajów warstw oraz porównane zostały z odpowiednimi wynikami eksperymentów przeprowadzonych na ośrodku sypkim pionowo jednorodnym niezagęszczonym lub zagęszczonym.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

- wielkości obniżeń i przesunięć poziomych są największe w ośrodku jednorodnym niezagęszczonym, najmniejsze w ośrodku jednorodnym zagęszczonym; w ośrodku pionowo niejednorodnym poziomo uwarstwionym obniżenia i przesunięcia poziome przyjmują wartości pośrednie – pozostaje to w związku ze średnią gęstością nasypową w modelu, która w ośrodku jednorodnym niezagęszczonym jest najmniejsza (ok.  $1,52 \text{ g/cm}^3$ ), w ośrodku jednorodnym zagęszczonym jest największa (ok.  $1,73 \text{ g/cm}^3$ ) a w ośrodku pionowo niejednorodnym uwarstwionym przyjmuje wartości pośrednie (ok.  $1,58\text{-}1,67 \text{ g/cm}^3$ ).
- w ośrodku pionowo niejednorodnym znaczący wpływ na wielkość obniżeń i przesunięć poziomych mają właściwości (stopień zagęszczenia) warstwy znajdującej się w bezpośrednim sąsiedztwie zadania warunku brzegowego (przy dnie skrzyni modelowej) – jeżeli przy dnie skrzyni modelowej znajduje się warstwa ośrodka niezagęszczonego to zadany warunek brzegowy generuje większe wartości obniżeń, przesunięć poziomych i odkształceń które przenoszą się z wysokością modelu
- wartości obniżeń i przesunięć poziomych przy powierzchni modelu w ośrodku pionowo niejednorodnym często nie zależą od ich przebiegów z wysokością modelu, jak również od wzajemnych proporcji ośrodka niezagęszczonego do zagęszczonego (w zakresie omawianych eksperymentów)
- wyniki eksperymentów na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, poziomo uwarstwionym wykazują, że przy przewidywaniu skutków eksploatacji należy uwzględnić właściwości poszczególnych warstw górotworu, przy czym wpływ ten zależy od miąższości warstwy i jej położenia – wpływ ten jest tym większy im warstwa jest położona bliżej poziomu eksploatacji
- uzyskane wyniki jakościowe mogą być wykorzystane w praktyce górniczej przy prognozowaniu wpływów projektowanych eksploatacji z uwzględnieniem historii eksploatacji przeprowadzonych wcześniej w danym obszarze i mogą być pomocne np. przy uwzględnianiu aktywacji starych zrobów w prognozach.
- porównanie wyników eksperymentów na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym, pozwala na stwierdzenie większej przydatności rezultatów uzyskanych w eksperymentach na ośrodku sypkim niejednorodnym do praktycznego rozwiązywania niektórych zagadnień planowania eksploatacji górniczej

## Literatura

- [1] Cygan J., Leśniak J., Pielok W., Rogowska J., 2000: *Kształtowanie się przemieszczeń w górotworze o różnym stopniu naruszenia wcześniejszymi eksploatacjami na podstawie badań modelowych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym*. cz. 1, Prace IMG PAN, t. 2, nr 3-4.
- [2] Knothe S., Leśniak J., Pielok W., Rogowska J., 2002: *Badania modelowe na ośrodku sypki przemieszczeń i odkształceń górotworu pionowo niejednorodnego wywołanych eksploatacją górniczą*, Prace IMG PAN, t. 4, nr 1-2.
- [3] Leśniak J., Pielok W., Walaszczyk J., 2003: *Wykorzystanie badań modelowych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym do analizy kształtowania się przemieszczeń w brzeżnej części niecki osiadania w złożonych warunkach eksploatacji*, Prace IMG PAN, t. 5, nr 3-4.
- [4] Leśniak J., Pielok W., Walaszczyk J., 2004: *Rozkład przemieszczeń w górotworze na podstawie badań modelowych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym*, XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu, Geotechnika i budownictwo specjalne, t. 2, Zakopane 14-19 marca 2004
- [5] Cygan J., Leśniak J., Walaszczyk J., 2004: *Kształtowanie się przemieszczeń w brzeżnej części niecki obniżeniowej na podstawie badań modelowych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym*, Archives of Mining Sciences, t. 49, zeszyt specjalny.

- [6] Cygan J., Leśniak J., Walaszczyk J., 2004: *Wykorzystanie badań modelowych na ośrodku sypkim pionowo niejednorodnym do analizy kształtowania się przemieszczeń w brzeżnej części niecki osiadania*, Prace IMG PAN , t. 6, nr 1-2.

### **The application of empirical investigations of stratified loose media for the analysis of translations of boundary zones of subsidence trough**

#### **Abstract**

The paper presents the summary of results of empirical investigations of mechanical behaviour of stratified loose media. The investigations were embedded in four years research program. The results of research were applied for modelling of the influence of mine works on deformations of Earth surface. The application of vertically non-homogeneous loose medium layered in various manners enabled us to observe the diversity of translations of rock mass zones referring to different modes of mining exploitation. The comparison of results of experiments referring to stratified loose medium and referring to homogeneous loose medium demonstrated that the investigations of stratified media may be applied to design of mining exploitation operations.

**Keywords:** empirical investigations, mining exploitation, translations of rock mass, deformations

Recenzent: Prof. dr. hab. inż. *Edward Popiołek*, Akademia Górniczo-Hutnicza