ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1977

Seria: GÓRNICTWO z. 87 Nr kol. 558

Antoni GOSZCZ

PRZYCZYNY WYSTĘPOWANIA PODWYŻSZONYCH NAPRĘŻEŃ W OTOCZENIU USKOKÓW NORMALNYCH

Streszczenie: Omówiono tektonofizyczne przyczyny występowania naprężeń w sąsiedztwie uskoków normalnych, uwzględniając poziome i pionowe ruchy neotektoniczne, naprężenia residualne i poziome rozpierania, wynikające z przemieszczania się mas skalnych. Na podstawie dokonanej analizy podano schematycznie w jaki sposób poszczególne zjawiska mogą wpływać na stan naprężenia i odkształcenia w otoczeniu uskoków.

Obszar Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) należy do rejonów obfitujących w dużą ilość zaburzeń tektonicznych, przy czym przeważająca część tych zaburzeń to uskoki, nie tylko utrudniające prowadzenie robót górniczych, lecz również wpływające w bardzo istotny sposób na bezpieczeństwo pracy w górnictwie. Znane są przypadki wdarć wody przez szczeliny uskoków, zawały przy przechodzeniu przez uskoki, trudności z utrzymaniem stropu w wyrobiskach górniczych prowadzonych w sąsiedztwie uskoku.

W ostatnich latach coraz częściej zwraca się uwagę na zagrożenie tąpaniami związane z prowadzeniem robót w sąsiedztwie uskoków. Jak wykazuje praktyka, tąpania występują nie przy wszystkich uskokach: znane są zarówno uskoki "spokojne", jak i zdecydowanie groźne (strefa uskoku kłodnickiego na obszarze kopalni "Wujek").

Dotychczas nie wyjaśniono w wystarczający sposób tego stanu, przyjmując na podstawie obserwacji, że pewne uskoki oddziaływują, a pewne nie. Brak jest jednak obiektywnych kryteriów, które umożliwiłyby prognozę zjawisk geodynamicznych i geomechanicznych, w miarę zbliżania się do szczeliny uskoku.

Problem wpływu szczelin uskoków na stan naprężenia i odkształcenia w skałach znajdujących się w ich bezpośrednim sąsiedztwie został włączony do tematyki naukowo-badawczej Instytutu Techniki Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W pracy niniejszej podjęto próbę usystematyzowania pojęć związanych z tym problemem oraz wskazania przyczyn występowania podwyższonych naprężeń w sąsiedztwie uskoków.

1. Elementy tektoniki GZW

Tektonika GZW była przedmiotem długoletnich badań. Większość z nich wykonano wprawdzie w celu wyjaśnienia budowy geologicznej złóż węgla, niemniej dostarczyły one wielu ważnych informacji o procesach diastroficznych, zachodzących w przeszłości na obszarze GZW.

Utwory karbonu produktywnego osadziły się w trakcie orogenezy waryscyjskiej na silnie skonsolidowanym położeniu prekambryjskim i dewońskim. W ostatniej fazie tej orogenezy, fazie saalskiej zwanej czasami potocznie fazą odprężenia, powstało większość uskoków określanych dziś przez geologów jako uskoki karbońskie.

Odnowienie ruchów tektonicznych nastąpiło w trwającej do dziś orogenezie alpejskiej. Powstaje w tym okresie szereg uskoków, głównie trzeciorzędowych, nakładających się na istniejące zaburzenia karbońskie. Dzisiejsza tektonika GZW jest więc silnie skomplikowaną, co utrudnia w znacznym stopniu wszelkie analizy i rozważania z dziedziny tektonofizyki, tym bardziej, że budowa geologiczna głębokiego podłoża nie została jeszcze dokładnie zbadana.

Procesy diastroficzne, zachodzące na obszarze GZW, doprowadziły do ukształtowania się charakterystycznych stref z przewagą zaburzeń tektonicznych określonego typu. W części północnej, a szczególnie w niecce głównej, występują prawie wyłącznie zaburzenia typu dysjunktywnego. Najbardziej typowe zaburzenie dla tego rejonu, to uskok normalny.

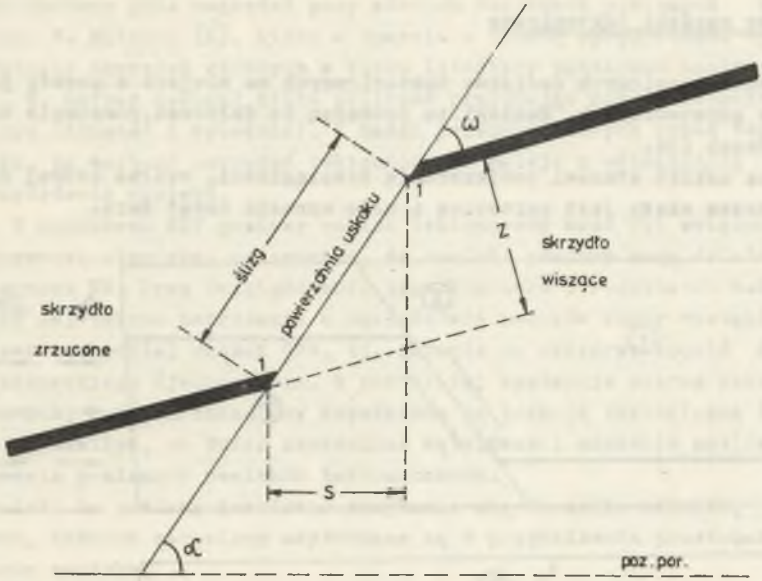
W typowym uskoku normalnym, powstającym w litosferze w wyniku wzrostu naprężeń stycznych ponad wytrzymałość skały na ścinanie, wyróżnia się elementy pokazane na rys. 1.

Cechą charakterystyczną uskoków normalnych jest odchylenie powierzchni uskoku w kierunku skrzydła zrzuconego [7]. Uskoki normalne występujące na terenie GZW to w przeważającej części tzw. uskoki kruche powstające w końcowym stadium odkształcenia sprężystego, o kącie nachylenia powierzchni uskokowej $45^{\circ} < \alpha < 90^{\circ}$.

2. Przyczyny zmiany rozkładu naprężeń w sąsiedztwie uskoków

Prowadząc roboty górnicze w pobliżu szczelin uskokowych, obserwuje się szereg zjawisk. Niektóre z nich wskazują istnienie podwyższonych naprężeń, a inne na całkowite odprężenie górotworu. Mechanizm tych zjawisk nie został wyjaśniony, a zmianę rozkładu naprężeń w pobliżu uskoków tłumaczy się występowaniem bliżej nieokreślonych naprężeń pochodzenia tektonicznego.

W pracy niniejszej dokonano próby ustalenia przyczyn powodujących zmiany w rozkładzie naprężeń w sąsiedztwie uskoków normalnych.



Z – zrzut

S – rozstęp uskoku

ω – kąt zbiegu uskoku (kąt ostry pomiędzy powierzchnią uskoku a powierzchnią uławicenia)

α – kąt nachylenia uskoku (kąt ostry pomiędzy powierzchnią uskoku a płaszczyzną poziomą)

Rys. 1

Jak wykazuje wstępna analiza, zmiany te mogą powodować następujące przyczyny:

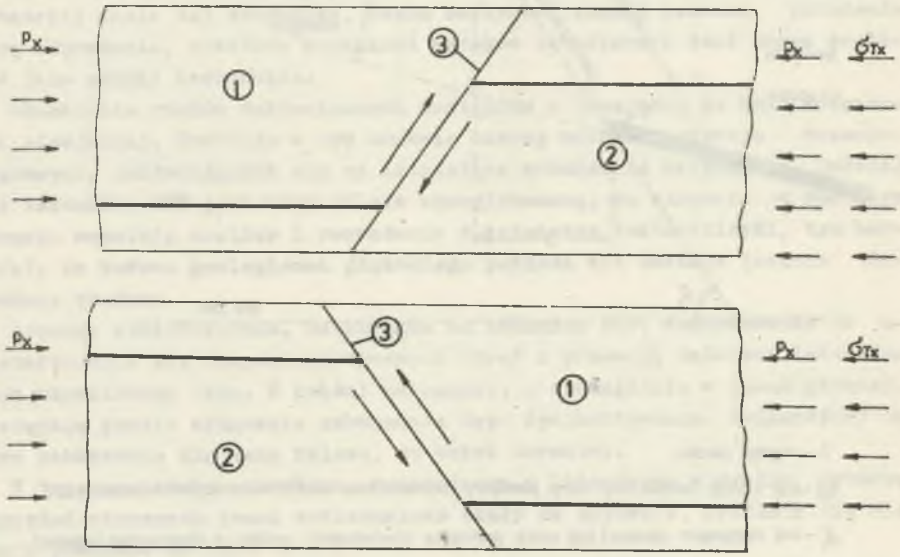
- poziome naciski tektoniczne,
- pionowe ruchy podłoża,
- poziome rozpieranie spowodowane przemieszczeniem się mas skalnych wzdłuż powierzchni uskoku,
- residualne (szczątkowe) naprężenia tektoniczne.

Każda z wymienionych wyżej przyczyn może spowodować określone zmiany naprężeń w sąsiedztwie uskoku normalnego.

2.1. Poziome naciski tektoniczne

Występowanie poziomych nacisków tektonicznych ma miejsce z zasady podczas ruchów górotwórczych. Naciski te prowadzą do fałdowań, powstania uskoków odwróconych itd.

Szczelina uskoku stanowi powierzchnię nieciągłości, wzdłuż której spójność wewnętrzna skały jest naruszona i może wynosić nawet zero.



σ_{Tx} – poziome naprężenie tektoniczne

p_x – poziome naprężenie litostatyczne

1 – skrzydło zrzucone uskoku

2 – skrzydło wiszące uskoku

3 – powierzchnia uskoku

Rys. 2

Jeżeli na blok litostrefy z uskokiem normalnym, działa poziomy nacisk tektoniczny (naprężenia σ_{Tx}), wówczas na powierzchni uskoku wystąpią siły dążące do przemieszczenia względem siebie skrzydeł uskoku (rys. 2). Siły te powodują wzrost naprężeń poziomych σ_x.
Naprężenia pionowe σ_z, wzrosną w skrzydle wiszącym, zmaleją natomiast w skrzydle zrzuconym.

Tektoniczne pole naprężeń przy różnych naciskach poziomych było badane przez W. Hafnera [6], który w oparciu o teorię sprężystości wyznaczył trajektorie naprężeń głównych w bloku litosfery poddanemu naciskowi poziomemu. W. Hafner dokonał kilku obliczeń przyjmując różne stosunki wymiarów bloku (długość i wysokość). Z badań przeprowadzonych przez tego autora wynika, że wartość naprężeń tektonicznych maleje z odległością od miejsca przyłożenia nacisku.

W warunkach GZW poziomy nacisk tektoniczny może być związany jedynie z orogenezą alpejską, co oznacza, że naciski poziome mogą działać tylko w kierunku NW. Przy uwzględnieniu tego kierunku i rezultatów badań W. Hafnera największe naprężenia w sąsiedztwie uskoków winny wystąpić w południowo-wschodniej części GZW, tj. głównie na obszarze kopalń Jaworznicko-Mikołowskiego Zjednoczenia. W partii tej występuje szereg uskoków wodonośnych, których szczeliny wypełnione są brekcją tektoniczną i luźnym drugotem skalnym, co budzi zasadnicze wątpliwości odnośnie możliwości występowania poziomych nacisków tektonicznych.
Naciski te powinny powodować zamykanie się szczelin uskoków, szczególnie tych, których szczeliny usytuowane są w przybliżeniu prostopadle do kierunku nacisku.

Należy dodatkowo podkreślić, że utwory karbońskie i młodsze zalegają na sztywnym, silnie skonsolidowanym podłożu zbudowanym z warstw prekambryjskich i dewońskich, tworzącym swojego rodzaju płytę oporową, której istnienie w znacznym stopniu ogranicza możliwość występowania przemieszczeń poziomych w zalegających wyżej warstwach karbońskich.

2.2. Pionowe ruchy tektoniczne

Pionowe ruchy tektoniczne zachodzą w wyniku wypiętrzania się lub obniżania głębokiego podłoża. Pomimo sztywności tego podłoża, zjawisko to może mieć charakter lokalny. Jak wykazał A. Sanford [12], dla powstania uskoków w bloku litosfery o grubości 5 km wystarczy wypiętrzenie 3,7 m. Biorąc pod uwagę, że powstanie uskoku związane jest z osiągnięciem stanu krytycznego przez naprężenia staje się oczywistym, że przyrost naprężeń spowodować mogą już bardzo małe ruchy podłoża.

Ruchy pionowe na terenie GZW to przede wszystkim obniżenie się. Zjawisko to badał Z. Kowalczyk [11], analizując wyniki obniżeń powierzchni GZW, zarejestrowane pomiarami geodezyjnymi. Z pomiarów tych wynika, że w obszarach zaburzeń tektonicznych, obniżenia są relatywnie większe. Wyjaśnienie tego zjawiska wymaga dalszych badań, lecz potwierdzają je również inne obserwacje. Np. stwierdzono, że spadek hydrauliczny Wisły i Odry jest nieregularny, co może wskazywać na istnienie ruchów tektonicznych na obszarze międzyrzecza [11].
Drugim zjawiskiem wskazującym na obniżenie się podłoża jest przesuwanie się cieków powierzchniowych do szczelin dużych uskoków [9].

Mechanizm powstawania uskoków i tektoniczne pole naprężeń przy ruchach pionowych głębokiego podłoża badali A. Sanford [11], E. Cloos [1] a ostatnio również M. Gzowskij [5]. Jak wynika z tych badań, rozkład pola naprężeń tektonicznych w takich przypadkach jest nieregularny. W wypiętrzanym bloku litosfery istnieją obszary, w których obserwuje się wzrost składowej poziomej naprężenia oraz obszar, w których składowa ta jest mniejsza od p_x, tj. wartości naprężenia poziomego w stanie litostatycznym.

W świetle powyższych uwag staje się oczywistym, że w bloku litosfery pociętym uskokami i przemieszczającym się w kierunku pionowym, powstaną strefy, w których zaznaczy się zwyżka naprężeń. W sąsiedztwie uskoku, stanowiącego powierzchnię nieciągłości w górotworze, podczas nierównomiernego obniżania się obydwu skrzydeł, różnice w ilości ruchu skrzydła wiszącego i skrzydła zrzuconego (rys. 3) muszą prowadzić do zmian wartości pionowych naprężeń. W efekcie na litostatyczną składową poziomą naprężenia nakłada się składowa σ_x, powstająca w wyniku nierównomiernego osiadania skrzydeł uskoku. Wypadkowe naprężenie poziome wyrazi się przez zależność

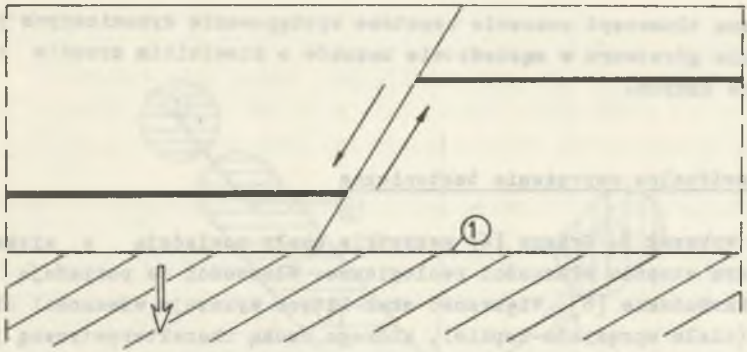
$$\sigma_x = p_x \pm \sigma_x^* .$$

Wartość σ_x zależy od wielu czynników, takich jak np.: względnego przemieszczania się pionowego skrzydeł uskoku, nachylenia uskoku, odkształcalności skał w jego sąsiedztwie, obecność płynów porowych itd.

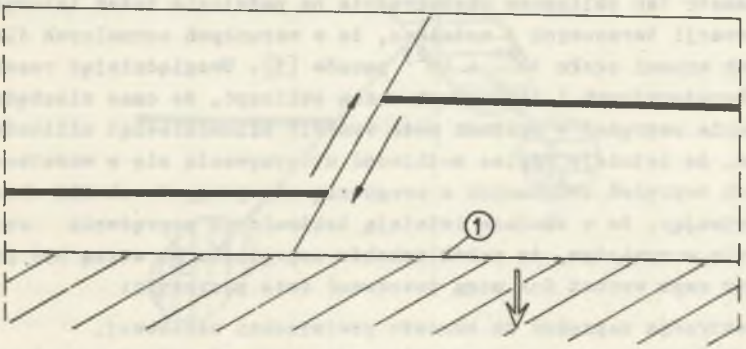
Zasadnicze trudności w ustaleniu związku pomiędzy przemieszczaniem się warstw karbońskich w kierunku pionowym, a wzrostem lub spadkiem naprężeń w otoczeniu uskoków, polegają na braku wyczerpujących obserwacji obniżeń terenu, braku informacji o aktualnej rzeźbie stropu głębokiego podłoża, a także braku obiektywnych danych odnośnie zjawisk geodynamicznych i geomechanicznych zachodzących w wyrobiskach górniczych znajdujących się w sąsiedztwie uskoków. Wydaje się jednak być możliwym, że w oparciu o analizę tektonicznego pola naprężeń w danym rejonie GZW oraz obserwacje górnicze będzie można podać przybliżoną prognozę zjawisk, jakie mogą się ujawnić przy zbliżaniu się robotą górniczą do uskoku. Problem ten ułatwia w znacznym stopniu fakt, że nierównomierne przemieszczenia się górotworu mogą mieć miejsce głównie w sąsiedztwie uskoków o dużym zrzucie.

2.3. Poziome rozpieranie spowodowane przemieszczaniem się mas skalnych wzdłuż powierzchni uskoku

Zagadnienie to wiąże się pośrednio z problematyką poprzedniego podrozdziału. Istotną różnicę stanowi przyczyna ruchu mas. Poprzednio omawiano ruch mas wymuszony przez siły tektoniczne. Tutaj problem jest nieco inny: ruch mas odbywa się wyłącznie pod wpływem siły ciężkości.



a). Obniżanie się podłoża pod skrzydłem zrzuconym



b). Obniżanie się podłoża pod skrzydłem wiszącym

1 Strop podłoża pod warstwami karbonu

Rys. 3

Powstanie uskoku normalnego związane jest z wydłużeniem się pewnego elementu litosfery, spowodowanym przemieszczeniem się skrzydła zrzuconego w dół, wzdłuż powierzchni uskoku, nachylonej do poziomu pod kątem około 60°. Na skutek tego przemieszczenia, powstaje poziome rozpieranie prowadzące do powstania naprężeń poziomych σ_x^*, nakładających się na naprężenia litostatyczne. Naprężenie $\sigma_x = p_x + \sigma_x^*$ osiąga największe wartości w pobliżu szczeliny uskoku. Próby obliczenia tego naprężenia dokonał E. Dermietzel [2] w oparciu o teorię sprężystości. Należy jednak podkreślić, że problem ten jest bardzo skomplikowany, gdyż przy ruchu uskokowym następuje szybki wzrost poziomej składowej naprężenia, prowadzący do zahamowania tego ruchu. Stąd też dla powstania dużych uskoków, konieczne jest rozciąganie w kierunku poziomym, kompensujące wzrost poziomego rozpierania. Tym

też można tłumaczyć znacznie częstsze występowanie dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu w sąsiedztwie uskoków o niewielkim zrzucie niż przy uskokach dużych.

2.4. Residualne naprężenia tektoniczne

Jak wykazał D. Griggs [4] wszystkie skały posiadają w większym lub mniejszym stopniu własności reologiczne. Własności te posiadają również skały karbońskie [8]. Większość skał litych wykazuje własności ciała Maxwella (ciała sprężysto-lepkie), którego cechą charakterystyczną jest relaksacja naprężeń. Czas konieczny dla zrealizowania naprężeń jest bardzo trudny do określenia i zależy głównie od lepkości skały.

Parametr ten obliczono wielokrotnie na podstawie badań laboratoryjnych i obserwacji terenowych i ustalono, że w warunkach normalnych dla skał osadowych wynosi około $10^{21} + 10^{23}$ pauzów [5]. Uwzględniając rezultaty badań laboratoryjnych i terenowych można obliczyć, że czas niezbędny do zrelaksowania naprężeń w skałach może wynosić kilkadziesiąt milionów lat, co oznacza, że istnieje realna możliwość utrzymywania się w warstwach karbońskich naprężeń związanych z orogenezą alpejską, do chwili obecnej.

Przyjmując, że w skałach istnieją tektoniczne naprężenia szczątkowe, staje się oczywistym, że wokół uskoków naprężenia te muszą być podwyższone, przy czym wzrost ich mogą powodować dwie przyczyny:

- koncentracja naprężeń na obrzeżu powierzchni uskokowej,
- niezakończony proces zniszczenia przez ścinanie ośrodka skalnego.

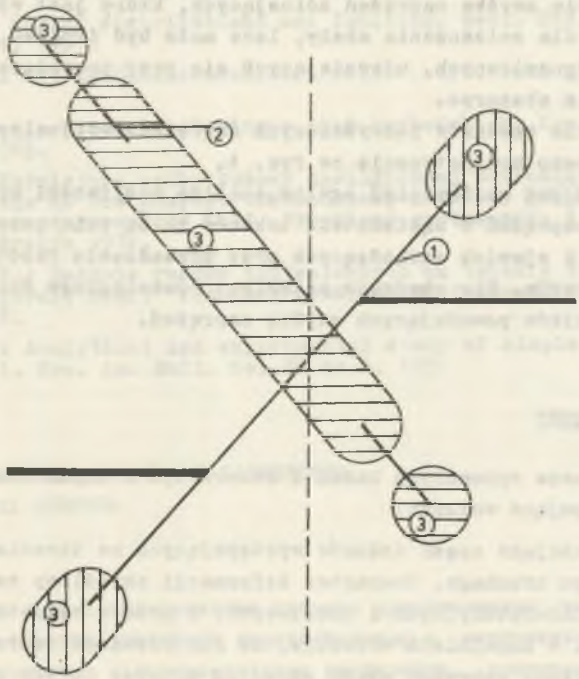
Wzrost naprężeń na obrzeżu powierzchni uskokowych analizowany był przez H. Gilą i J. Litwiniszyna [3] w oparciu o kryterium Berenbłatta, dotyczące koncentracji naprężeń w wierzchołku szczeliny. Z rozważań teoretycznych ww. autorów wynika, że nałożenie się, na naprężenia residualne podwyższone w wierzchołku szczeliny, naprężeń związanych z eksploatacją górniczą może wznowić proces zniszczenia skał polegający na propagacji szczeliny uskokowej.

Problem koncentracji naprężeń na obrzeżu uskoku i konturze szczeliny pozostaje w ścisłym związku z kryterium Griffitha, które wg wielu autorów najwierniej opisuje proces zniszczenia skały.

Występowanie zwyżki naprężeń na obrzeżach powierzchni uskokowej wskazuje na znacznie większe prawdopodobieństwo wystąpienia dynamicznych przejawów tych naprężeń w sąsiedztwie uskoków małych niż dużych.

Roboty górnicze w sąsiedztwie obrzeża uskoków małych prowadzi się często, natomiast obrzeża uskoków dużych znajdują się na głębokościach znajdujących się poza zasięgiem penetracji górniczej.

Rozkład naprężeń wokół szczelin uskoków badano również na modelach [5]. M.W. Gzowskij wyznaczył kilka obszarów w sąsiedztwie szczeliny, w których naprężenia są większe od przeciętnych dla danych warunków litostatycznych



① – Uskok

② – Powierzchnia niewykształconego uskoku komplementarnego

③ – Obszary występowania podwyższonych naprężeń

Rys. 4

oraz obszary odprężone. Między innymi uzyskano również potwierdzenie występowania nwyżki naprężeń na obrzeżu szczelin imitujących w modelu uskoki.

Istnienie podwyższonych naprężeń w otoczeniu uskoków może być również konsekwencją niecałkowicie zakończonego procesu zniszczenia skały. Uskoki normalne powstają w rezultacie pojawienia się dużych naprężeń ścinających. Naprężenia te powodują powstanie w skale dwóch powierzchni ścinania, tworzących wewnętrzny kąt wierzchołkowy $\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi$. W praktyce często jednak obserwuje się tylko jedną powierzchnię bez tzw. powierzchni komplementarnej. Zjawisko to wynika najczęściej z anizotropii skał, która ułatwia wykształcenie jednej powierzchni, utrudniając zarazem powstanie drugiej. Po powstaniu pierwszej powierzchni zniszczenia następuje spadek na-

prężeń ścinających, uniemożliwiający powstanie powierzchni komplementarnej. W efekcie w skałach wzdłuż potencjalnej powierzchni zniszczenia może utrzymywać się zwyżka naprężeń ścinających, która jest wprawdzie niewystarczającą dla zniszczenia skały, lecz może być źródłem różnego rodzaju zjawisk geodynamicznych, ujawniających się przy prowadzeniu robót górniczych w takim obszarze.

Usytuowanie obszarów podwyższonych naprężeń residualnych w sąsiedztwie uskoku pokazano schematycznie na rys. 4.

Podana wyżej, jak najbardziej ogólna, analiza możliwości występowania podwyższonych naprężeń w sąsiedztwie uskoków ma na celu pewne usystematyzowanie pojęć i zjawisk zachodzących przy prowadzeniu robót górniczych w otoczeniu uskoków. Nie obejmuje natomiast równoległego działania dwóch lub więcej czynników powodujących zwyżkę naprężeń.

Wnioski końcowe

Na podstawie wykonanych badań i obserwacji w kopalniach można sformułować następujące wnioski:

1° przeważająca część uskoków występujących na terenie GZW, to uskoki normalne typu kruchego. Charakter deformacji określony na podstawie licznych badań laboratoryjnych i modelowych, a przede wszystkim stwierdzony obserwacjami w kopalniach wskazuje, że dla rozważań teoretycznych dotyczących rozkładu naprężeń wokół szczelin uskoku, należy przyjmować ośrodek sprężysto-lepki,

2° źródłem podwyższonych naprężeń, występujących w sąsiedztwie szczelin uskokowych, mogą być ruchy tektoniczne lub naprężenia residualne. Podwyższone naprężenia mogą występować zarówno w skrzydle wiszącym jak i zrzuconym,

3° prawdopodobieństwo występowania zwyżki naprężeń w przypadku prowadzenia robót w sąsiedztwie uskoku jest większe przy uskokach o małym zrzucie niż przy uskokach dużych,

4° zasadniczy wpływ na stan naprężenia w sąsiedztwie uskoków posiadają własności fizyczne skał w otoczeniu szczeliny.

LITERATURA

[1] Cloos E.: Experimental analisis of Gulf Coast fracture paterns. Am. Assoc. Petrol, Geol. Bull.vol 52, no 3, 1968.

[2] Dermietzel E.: Das Festigkeitsverhalten tektonisch beanspruchter Braunkohle. Zeitschr. Deutsch..Geol. Ges. Bd 118, H1, 1966

[3] Gil H., Litwiniszyn J.: Wpływ eksploatacji górniczej na propagację szczelin uskokowych w skorupie ziemskiej. Konf. "Problemy geodynamiki i tąpań" Kom. Górn. PAN Kraków 1972.

[4] Griggs D.: Creep of rocks, Journ. Geol. vol 47, no 3, 1939.

[5] Gzowskij M.: Osnowy Tiektonofiziki, Wyd. "Nauka" Moskwa, 1975.

[6] Hafner W.: Stress distributions and faulting, Geol. Soc. Am. Bull. bol 62 no 4, 1951.

[7] Jaroszewski W.: Tektonika uskoków i fałdów, Wyd. Geologiczne, Warszawa 1974.

[8] Kidybiński A.: Modele reologiczne skał karbońskich. Kom. GIG, nr 360, Katowice 1965.

[9] Kotas A.: Ważniejsze cechy budowy geologicznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle pozycji tektonicznej i budowy głębokiego podłoża utworów produktywnych; Konf. "Problemy geodynamiki i tąpań" Kom. Górn. PAN Kraków 1972.

[10] Kowalczyk Z.: Badania ruchów tektonicznych na terenie Śląska metodami geodezyjnymi, Konf. "Problemy geodynamiki i tąpań" Kom. Górn. PAN Kraków 1972.

[11] Sanford A.: Analytical and experimental study of simple geologic structures, Geol. Soc. Am. Bull, bol 70 no 1, 1959.

ПРИЧИНЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИИ ВОКРУГ НОРМАЛЬНЫХ СБРОСОВ

Р е з ю м е

Рассматривается тектонофизические причины существования напряжении вокруг нормальных сбросов, учитывают горизонтальные и вертикальные движения, резыдуальные напряжения и горизонтальные расширение, возникающие при перемещении горных пород. На основании сделаной анализы определено, как данные явления влияют на поле напряжении и деформации вокруг сбросов.

THE CAUSES OF ANOMAB STRESSES IN NIEGHBORHOOD OF NORMAL FAULTS

S u m m a r y

Tectonophysical causes of stresses by normal faulting at presented. The horisontal and vertical neotectonical moving, residual stresses and horisontal expanding is disseuted. On the ground analising of influence seveval geological events on the stresses - strains relations by hormal faults hare been disscused.