

Obserwowalność procesów triady: zmęczenie — pęknięcie — przemieszczanie skał

Witold Cezariusz Kowalski*

Wśród procesów wyróżniono: nieobserwowalne i obserwowalne, a wśród obserwowalnych: trudno-, średnio- i łatwo obserwowalne. Przechodzące w siebie procesy: zmęczenia skał, ich pęknięcia i przemieszczania połączono w jedną triadę. Przedstawiono wyniki badań zmęczenia, pęknięcia i przemieszczania skał w drugiej połowie XX w. w Polsce. Określono obserwowalność poszczególnych procesów badanej triady. Wskazano na wagę przedstawionych rozważań dla właściwego rozwiązania problemów geodynamiki współczesnej, paleodynamiki oraz tektoniki i paleotektoniki.

Słowa kluczowe: procesy: nieobserwowalne, obserwowalne, trudno-, średnio-, łatwoobserwowalne, zmęczenie skał, pęknięcie skał, przemieszczanie skał, geodynamika współczesna, paleogeodynamika, tektonika, paleotektonika

Witold Cezariusz Kowalski — **Observation of processes in the triad: rock fatigue — rock fracture — rock displacement.** Prz. Geol., 48: 259–262.

S u m m a r y. There are distinguished among processes: inobserved and observed: hardly-, moderately-, easily to distinguish. The transitive themselves processes: rock fatigue, rock fractures and rock displacements are jointed in one triad. There are presented results of studies in the rock fatigue, fracture and displacements in the second half of the XX Century in Poland. The observation of the particular processes in the studied triad is defined. Some consequences from the presented considerations for the proper solutions of the recently geodynamical, paleodynamical, tectonical and paleotectonical problems were noticed.

Key words: processes: inobservle, observle, hardly-, moderately-, easily distinguished, rock fatigue, rock fracture, rock displacement, recent geodynamics, paleogeodynamics, tectonics, paleotectonics

Zachodzące we wszechświecie (a więc i w skorupie ziemskiej) procesy są bardzo różnorodne. Nie są one ze sobą z reguły łączone, a tylko niekiedy są ze sobą wiązane. Ze względu na różne pojmowanie ich początku, przebiegu i końca, czasu ich trwania, intensywności, charakteru i szybkości powodowanych przez nie zmian, są w różnych dyscyplinach nauki i techniki różnie definiowane i klasyfikowane.

Zdarzało się jednak niekiedy zaobserwować, że niektóre procesy mogą przechodzić w inne i rzeczywiście czasami w siebie przechodzą. W jednym przypadku charakter i czas przejścia jednego procesu w drugi był już uprzednio obserwowany i stwierdzany, a obecnie jest również obserwowany i potwierdzany. Procesy takie były więc od dawna *obserwowalne*, tj. można je było już wcześniej obserwować przynajmniej częściowo, obecnie zaś można je obserwować w całości, przy zastosowaniu odpowiedniej, współczesnej metodyki i techniki pomiarów naukowych. W innych przypadkach pewnych procesów nie zaobserwowano i obecnie nadal nie można ich obserwować w sposób odpowiadający wymaganiom współczesnej nauki, metodyki i techniki pomiarowej. Jednak czasami przypuszcza się, że być może procesy takie istnieją, jak i przejścia między nimi. Mówi się o nich, że były i są nadal *nieobserwowalne*. W wyniku postępu nauki, metodyki i techniki pomiarów naukowych uprzednio nieobserwowalne procesy i ich przejścia w siebie od pewnego momentu mogą się stać obserwowalne, co oznacza, że od tego momentu można je zgodnie z zasadami współczesnej nauki i techniki pomiarowej prawidłowo pomierzyć.

Współczesne obserwacje naukowe badanych procesów i ich przejść w siebie mogą posłużyć do udoskonalenia istniejących lub do tworzenia nowych modeli tych procesów, o większym niż dotychczas uzyskiwanym prawdopodobieństwie zgodności tych modeli z rzeczywistością (Kowalski, 1983,

1998). Należy tu przypomnieć, że poczynając od rewolucji naukowej w XVII w. przez cały wiek XIX do końca XX w. obserwacja naukowa wymaga dokonywania pomiarów w odpowiednim zakresie, z zalecaną przez naukę i technikę dokładnością. Pod tym względem charakterystyczną dla całego tego okresu jest wypowiedź lorda Kelvina (Wiliama Thomsona, 1824–1907):... *Kiedy możesz zmierzyć to, o czym mówisz, i wyrazić to w liczbach, wiesz już cokolwiek o tym, lecz jeśli nie możesz tego wyrazić w liczbach, twoja wiedza jest niewielka i niewystarczająca, a w swoich myślach zaledwie zbliżyłeś się do nauki czegokolwiek by to dotyczyło...* (Young, 1948).

Jeśli zestawi się z jednej strony: czas trwania badanych procesów (od minisekund do miliardów lat); intensywność tych procesów (wielką bądź minimalną), i ich szybkość (stałą lub zmienną, dużą a czasami minimalną, spadającą do zera), z drugiej strony z okresami dokonywania wiarygodnych obserwacji naukowych (a więc zawsze z odpowiednio dokładnymi pomiarami prowadzonymi obecnie przez jednego badacza w ciągu maksimum kilkudziesięciu lat lub w szerszym sensie przez kilka pokoleń uczonych w ciągu zaledwie kilkuset lat od czasów rewolucji naukowej XVII w.), to okaże się, że jedne procesy są od dawna obserwowalne w różnym stopniu, a więc trudno-, częściowo-, łatwoobserwowalne, a inne pozostają w podanym wyżej sensie nadal nieobserwowalne, tzn. obecny stan nauki, metodyki i techniki pomiarów ciągle uniemożliwia przeprowadzenie w odpowiednim zakresie wiarygodnych obserwacji i pomiarów, określających istotę i prawdopodobieństwo zgodności z rzeczywistością badanych procesów i przejść między nimi.

W odniesieniu do dzisiejszego stanu nauki, metodyki i techniki pomiarowej, na ryc. 1 przedstawiono schematycznie procesy początkowo nieobserwowalne — N przechodzące później w procesy obserwowalne — O. Pokazano również oznaczone podwójnymi pionowymi kreskami przejścia procesów nieobserwowalnych w obserwowalne. Przyjmując współczesność jako cezurę: w sensie węższym (T_2-T_1) ograniczoną momentami: T_1 i T_2 , oraz w

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski
ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

sensie szerszym (T_p – T_2) momentami: T_p (rewolucji naukowej w XVII w.) i T_2 , z łatwością można wyróżnić 3 grupy procesów:

- obserwowalne przed współczesnością,
- nieobserwowalne do współczesności,
- nieobserwowalne po współczesności.

Dzięki twórczej intuicji starszych badaczy, w sprzyjających okolicznościach wiele procesów było skrzętnie obserwowanych i mierzonych przed współczesnością w taki sposób, że wyniki późniejszych, dokładniejszych obserwacji i pomiarów naukowych w pełni potwierdzały i nadal potwierdzają wyniki dokonywanych poprzednio, mniej dokładnych obserwacji i pomiarów — czyli badane procesy byłyby już uprzednio obserwowalne. Procesy te przedstawiają na ryc. 1 trzy górne histogramy poziome. W kolejnym, czwartym od góry histogramie poziomym przedstawiono procesy nieobserwowalne do współczesności, podczas której stały się one nie tylko obserwowalnymi, lecz były także współcześnie obserwowane oraz mierzone. Dwa dolne histogramy poziome pokazują, że procesy nadal nieobserwowalne we współczesności mogą się stać obserwowalne w jakiejś niedalekiej lub dalszej, bliżej nieokreślonej przyszłości. Bezpośrednio po przejściu procesu nieobserwowalnego w obserwowalny, proces obserwowalny jest z reguły początkowo trudnoobserwowalny (na ryc. 1 — O_T), następnie staje się średnioobserwowalny — O_S , a jeszcze później łatwoobserwowalny — O_L . Historia nauki wskazuje, że poznanie istoty zmęczenia skał, ciał skalnych i skorupy ziemskiej (Kowalski, 1975, 1992b, 1994) poprzedziły bardziej ogólne badania zmęczenia fragmentów różnych rodzajów materii, nastawione nie tylko na poznanie istoty zmęczenia badanych fragmentów materii, lecz także nakierunkowane na zaspokajanie konkretnych potrzeb praktyki. Zainteresowania fizyków tą tematyką — a zwłaszcza mechaników i inżynierów–mechaników doprowadziły do systematycznych badań wytrzymałości zmęczeniowej różnego rodzaju, wielkości i kształtu fragmentów materii — w szczególności metali i ich stopów. A. Bucha (1964) informuje, że badania zmęczenia materiałów podjęte zostały w połowie XIX w., oraz że: „*Od tego czasu stale wzrasta ilość badań z dziedziny wytrzymałości materiałów i elementów poddanych działaniu okresowo powtarzających się zmiennych obciążeń. W ciągu 100 lat, które nas dzielą od publikacji Wöhlera wykonano ponad 5000 prac naukowo-badawczych z dziedziny wytrzymałości zmęczeniowej. W ostatnich latach publikuje się corocznie w światowej literaturze fachowej nie mniej niż 500 prac z tej dziedziny. Ten ogromny, stale powiększający się nawal prac badawczych można wyjaśnić tym, że dostosowanie elementów maszyn do coraz trudniejszych warunków ich prac (duże moce, duże liczby obrotów w jednostce czasu, korozja, podwyższona temperatura, wielokrotne przeciążenie, długotrwałe wibracje) oraz zadanie zmniejszenia ciężaru konstrukcji i zwiększenia pewności jej eksploatacji wymaga wszechstronnego uwzględniania prób zmęczeniowych...*”

W nawiązaniu do dzieła Bucha (1964) można więc wnioskować, że:

Zagadnienia wytrzymałości fragmentów materii rozważano do okresu rozpowszechnienia wyników badań Wöhlera w zasadzie tylko w przestrzeni trójwymiarowej w sposób statyczny, bez uwzględnienia liczby obciążeń i odciążenia w określonym przedziale czasu tak, jakby pomierzona wytrzymałość badanego fragmentu materii była zawsze ta sama.

Dopiero później zagadnienia te były analizowane w czterowymiarowej czasoprzestrzeni w sposób dynamicz-

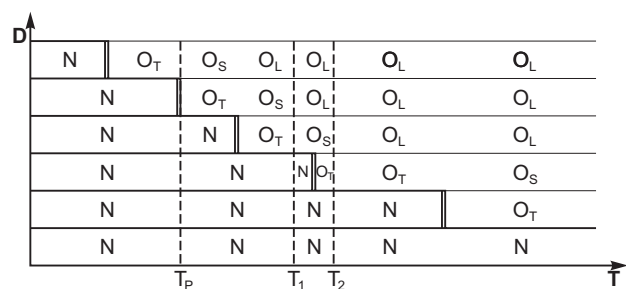
ny, prowadzący do coraz dokładniejszego poznania istoty procesu zmęczenia materii i związanych z nim zjawisk.

W badaniach wytrzymałości materiałów (podobnie do innych dziedzin — teoretyczno-poznawczej i jednocześnie aplikacyjnej działalności społeczności ludzkiej) w pierwszej kolejności, przez półtora wieku, definiowany i rozpoznawany był — i nadal jest — proces zmęczenia różnych nowych materiałów, które mogłyby być zastosowane na potrzeby projektowania, konstruowania i budowy maszyn, pracujących nieraz w ekstremalnych warunkach.

Odpowiadające potrzebom współczesnej techniki i technologii, teoretyczno-poznawcze badania procesu zmęczenia materiałów stosowanych do budowy maszyn, znacznie wyprzedziły nadal niedoceniane przez wielu geologów badania zmęczenia skał, ciał geologicznych i całej skorupy ziemskiej.

Wykorzystywanie w rozważaniach geologicznych wyników badań zmęczeniowej wytrzymałości materiałów, stosowanych do budowy maszyn (stali, stopów różnych metali i in.) nie może być bezkrytyczne, gdyż materiały te różnią się istotnie swoją naturą i właściwościami od skał, ciał skalnych i skorupy ziemskiej w całości. Uwagę tę uzasadniają m.in. publikacje: Cattrella (1964, 1970) w sensie bardziej ogólnym oraz Guéguena i Palciauskasa w sensie bardziej szczegółowym. W odniesieniu do skał Guéguen i Palciauskas (1994) stwierdzili, że geolodzy znają skały bardzo dobrze, lecz często unikają matematycznych prezentacji w odniesieniu do właściwości fizycznych. Geofizycy natomiast nie zawsze znają historię skał, w których zawarte dane są dla nich istotne. Wydaje się, że książka tych autorów zaspokaja bardziej potrzeby geologów, niż geofizyków.

Literatura, dotycząca zmian stanu naprężeń i odkształceń oraz związanych z nimi zmian wytrzymałości skał, ciał geologicznych i całej skorupy ziemskiej w czasie, jest znacznie uboższa i wyraźnie spóźniona w porównaniu z literaturą omówioną przez Bucha (1964). Jaroszewski (1994) w rozdz. 1, stanowiącym *Wprowadzenie* do napisanej wspólnie z Dadlezem *Tektoniki*, (1994) powołuje się na publikacje: Davisa (1984); Denisa (1987, 1979–1988); Hobbsa; Meansa i Williamsa (1976); Parka (1989); Pricea i



Ryc. 1. Histogramy momentów (okresów) przejść procesów geologicznych z nieobserwowalnych — N w obserwowalne — O (trudno — O_T , średnio — O_S i łatwo — O_L — obserwowalne w czasie T (oś T) w odniesieniu do współczesnego stanu nauki, metodyki i techniki pomiarów naukowych we współczesności, określonej jako czas badań: jednego uczonego T_2 – T_1 i kilku pokoleń uczonych od rewolucji naukowej XVII w. T_2 – T_p w zależności od momentów (okresów) przejść procesów w siebie

Fig. 1. Histograms of the geological processes transitions from unobservable processes — N to observable processes — O (with difficulty observable — O_T ; on the average observable O_S ; easily observable — O_L). Transitions from one process to another one — ||. Coordinate axes: time axis — T; the processes transitions dilatoriness axis — D. Contemporaneity as studies of one present scientist: T_2 – T_1 and as the period from the scientific revolution XVII c. till to day: T_2 – T_p

Cosgrovea (1990); Spencera (1988); oraz w rozdz. 3 — *Elementy mechaniki skał* na: Ramsaya (1967); Meansa (1976); Jaegera i Cooka (1979); Atkinsona (red. 1989); Knipego i Ruttera (red. 1990); Bayly'ego (1992), a także takich autorów polskich, jak: Thiel (1980), Glazer (1985), Derski i in. (1988). Wydaje się, że z publikacji tych na szczególną uwagę zasługuje *Mechanika w geologii strukturalnej* (Bayly, 1992).

Dadlez i Jaroszewski (1994), poszerzając i uogólniając wyniki własnych badań i twórczych rozważań podają w swoim dziele obszerny spis wykorzystywanych przez nich publikacji aż do 1992 r. Dzieło to, wraz z cytowanymi w nim publikacjami, opisując przemieszczenia skał, ciał geologicznych i poszczególnych części skorupy ziemskiej względem siebie, w znacznej części na podstawie obserwacji z pomiarami dokonywanymi na poziomie współczesnej nauki, metodyki i techniki pomiarów naukowych, pozwala w te same części określić badane przemieszczenia jako proces obserwowalny, często nawet łatwo obserwowalny, a tylko niekiedy jako trudno obserwowalny.

Badania procesu zmęczenia różnych skał i towarzyszących im zjawisk w różnych warunkach ich występowania w Polsce rozpoczęły się właściwie dopiero XX w. (Kowalski, 1961, 1966, 1970, 1971, 1972, 1975, 1992, 1993, 1994; Kidybiński, 1982 i in.). Podsumowując opublikowane już i jeszcze nieopublikowane wyniki badań wytrzymałości i jej zmienności w przestrzeni i zmian w czasie senońskich opok, margli i wapieni z przelomowego odcinka Wisły środkowej oraz albskich i liasowych piaskowców z północno-wschodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich, wysunąć można następujące wnioski ogólne:

□ Wielokrotne różnego rodzaju obciążenia badanych skał poniżej wartości ich wytrzymałości i przemienne obciążenia do stanu początkowego powoduje, że ze wzrostem liczby cykli: obciążenie–odciążenie, wytrzymałość badanych skał maleje, czyli w skałach tych zachodzi proces zmęczenia (Kowalski, 1992a);

□ Wielokrotne zamrażanie i odmrażanie skał w przypowierzchniowej strefie w północnym pasie klimatu umiarkowanego powoduje, że ze wzrostem liczby cykli: zamrożenie–odmrożenie, wytrzymałość badanych skał maleje, co prowadzi do ich rozdrobnienia w gruzowiska, rumosze i pył, wskazując na postępujący proces zmęczenia badanych skał (Kowalski, 1961);

□ Wielokrotne nasycanie wodą i kolejne wysychanie badanych skał do stanu powietrzno-suchego powoduje, że ze wzrostem liczby cykli: nasycania wodą–wysychania, wytrzymałość badanych skał maleje — skały wyraźnie mięknie, co wskazuje na ich zmęczenie (Kowalski, 1996, 1970, 1975);

□ Wielokrotne wahania położenia zwierciadła wody podziemnej pierwszego poziomu wody gruntowej i występującej nad nim strefy podniesienia (wzniosu) kapilarnego powodują, że z upływem czasu wytrzymałość badanych skał występujących w tej strefie maleje ze wzrostem liczby wahań zwierciadła wody podziemnej, a więc że w tej strefie skały podlegają procesowi zmęczenia (Kowalski, 1971, 1972b, 1975);

□ Pęknięcie skały i jego megaskopowe (makroskopowe) zaobserwowanie poprzedza powstawanie w niej, w wyniku zmęczenia megaskopowo nieobserwowalnej, utajonej, powierzchni lub strefy osłabienia, wzdłuż której później powstaje obserwowalne pęknięcie skały (Kowalski, 1966);

□ Pęknięcia skały następują w różnych warunkach jej obciążenia. Przy stopniowym, powolnym obciążeniu z odpowiednio długimi przerwami między kolejnymi stopniami obciążenia, pęknięcia próbek obserwowano dopiero przy obciążeniu kilkakrotnie większym, niż w przypad-

kach od razu dużego obciążenia, bez żadnych przerw w obciążeniu i odciążeniu;

□ Orientacje przestrzenne, kształty i charaktery obserwowanych powierzchni, powstałych wskutek zmęczenia badanych skał różnią się między sobą. Najczęściej nie pokrywają się z teoretycznie przypuszczalnymi powierzchniami ścicia ciała jednorodnego i izotropowego podczas jednoosiowego ściskania. Często natomiast pokrywają się z kierunkami, kształtami i charakterami lokalnych i regionalnych spękań tektonicznych oraz sedymentacyjnych warstwowań (Kowalski, 1972a, 1992a);

□ W przypadku szybkiego, dużego obciążenia próbek badanych skał ich orientacja przestrzenna i kształty pokrywały się częściej z orientacją i kształtem istniejących w próbkach utajonych powierzchni osłabienia, pokrywających się bądź z powierzchniami warstwowania, wskazując na ujawnianie się, nie zawsze makroskopowo, widocznej anizotropii warstwowania, bądź z orientacją widocznej w terenie lokalnych i regionalnych sieci spękań tektonicznych;

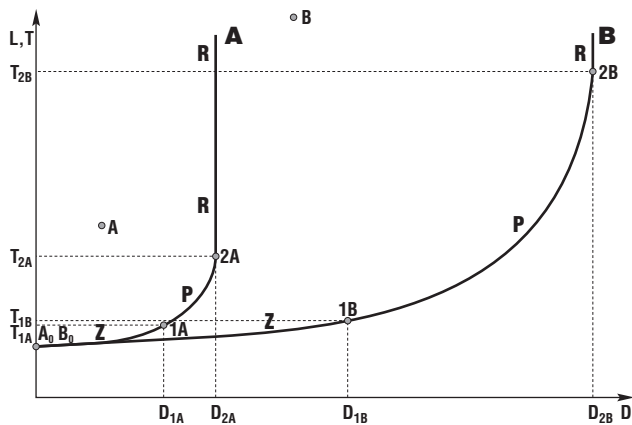
□ Okresowa zmienność w przestrzeni i okresowe zmiany w czasie czynników wietrzenia powodują wielorakie zmęczenie skał w całej strefie wietrzenia, prowadzące do przekształcenia pierwotnie litej skały w wietrzeniowe gładzowiska, rumosze, różnej granulacji: od zlepieńców aż do frakcji pyłowej i częściowo ilowej (Kowalski, 1975, 1992b);

□ Wbrew popołicie wypowiedzanym poglądom nie zawsze zaokrąglony kształt ziaren frakcji otoczkowej, żwirowej i piaskowej musi świadczyć o transporcie (wodnym lub eolicznym). Zaokrąglone naraża i krawędzie otoczek, żwirów, piasków mogą powstawać *in situ*, gdyż ich naraża i krawędzie są szybciej poddane oddziaływaniu czynników wietrzenia, niż ich wnętrza, a więc szybciej podlegają zmęczeniu i w efekcie rozsypaniu;

□ Okresowe zmiany stanu naprężeń skał w przypowierzchniowej strefie skorupy ziemskiej, często szybkie, chociaż wydawałoby się, że niewielkie w stosunku do wartości wytrzymałości badanych skał, powodują obserwowalne i już zaobserwowane obniżenie wartości wytrzymałości badanych skał, a więc w odpowiednio długim okresie ich zmęczenie prowadzące do ich spękania (Kowalski, 1992b, 1993);

□ Zmęczenie skał nie zawsze jest procesem obserwowalnym. Zmęczenie skał staje się nieobserwowalne, gdy w skałach oprócz czynników powodujących ich zmęczenie działają procesy powodujące zwiększanie wytrzymałości, jak np.: wysychanie skały, kolmatacja, krystalizacja spoiwa itd., wówczas z upływem czasu nie zauważa się ustawicznie działającego zmęczenia. Po wydobyciu próbek skały na powierzchnię terenu, z reguły początkowo obserwuje się wzrost ich wytrzymałości, a dopiero później jej zmniejszenie, w wyniku stale zachodzącego zmęczenia (Kowalski, 1994).

Należy zauważyć, że do badań wytrzymałości senońskich opok i jej zmienności w przestrzeni i zmian w czasie wybrano maksymalnie makroskopowo jednakowe, jednorodne, izotropowe, odpowiednio duże monolity, tak samo postąpiono w badaniach senońskich margli, a także albskich i liasowych piaskowców. Wyniki badań mikroskopowych i wytrzymałościowych nie potwierdziły makroskopowej jednorodności i izotropowości badanych skał, a wykazały, że makroskopowa jednorodność i izotropowość jest tylko pozorna, gdyż skały te są w swojej istocie w mniejszym lub większym stopniu niejednorodne i anizotropowe. Zarówno w przebadanych opokach senońskich, jak i w senońskich marglach można wyróżnić dwa skrajne typy przechodzenia poszczególnych procesów w triadach: zmęczenie — pęknięcie — przemieszczanie.



Ryc. 2. Triady: zmęczenia — Z, pęknięcia — P, przemieszczania — R skał bardziej plastycznych o mniejszej wytrzymałości — A i bardziej sprężystych o większej wytrzymałości — B w zależności od odkształceń mierzonych wzdłuż osi D i od liczby cykli obciążeń — odkształceń — L w czasie T wzdłuż osi L, T. Początki przejścia: zmęczenia w pęknięcie: 1A i 1B (o współrzędnych D_{1A} i T_{1A} oraz D_{1B} i T_{1B}); pęknięcia w przemieszczanie: 2A i 2B (o współrzędnych: D_{2A} i T_{2A} oraz D_{2B} i T_{2B})

Fig. 2. Two extreme types of the processes transitions in two triads: rock fatigue — Z, rock cracking — P and rock displacements — R. A — the triad in more plastic rocks with the lower strength values. B — the triad in the more elastic rocks with the greater strength values. D — the axis of rock strains. LT — the axis of time (connected with number of repeated cycles of loading and discharge). 1A and 1B beginnings of transitions from a rock fatigue to the rock cracking (with coordinates: D_{1A} and T_{1A} and: D_{1B} and T_{1B}). 2A and 2B — beginnings of transitions from a rock cracking to the rock displacement (with coordinates: D_{2A} and T_{2A} and D_{2B} and T_{2B})

Na ryc. 2 przedstawiono schematycznie dwa skrajne typy triady: zmęczenia — Z, pęknięcia — P i przemieszczania — R:

— triada A — procesów w skałach bardziej plastycznych o mniejszej wytrzymałości, ukazuje szybko w siebie przechodzące procesy między punktami 1A (o współrzędnych D_{1A} i T_{1A}) i 2A (o współrzędnych D_{2A} i T_{2A});

— triada B natomiast — procesów w skałach bardziej sprężystych o większej wytrzymałości, przedstawia procesy wolniej w siebie przechodzące między punktami 1B (o współrzędnych D_{1B} i T_{1B}) i 2B (o współrzędnych D_{2B} i T_{2B}). Odcinki prostych równoległych lub prawie równoległych do osi odciętych — osi odkształceń — D odwzorowują stale postępujące w czasie procesy zmęczenia — Z: w triadzie A od punktu A_0 do punktu 1A, a w triadzie B od punktu B_0 do punktu 1B.

Proces pęknięcia skał w czasie wyznaczają zakrzywione ku górze odcinki między punktami 1A i 2A w triadzie A oraz między punktami 1B i 2B w triadzie B. Odcinki prostych równoległych lub prawie równoległych do osi rzędnych — osi przejść procesów w siebie — w zależności od liczby cykli: obciążeń — odkształceń — L, czyli od osi czasu T, oznaczają, że po pęknięciu rozpoczął się ruch spękanym skał lub zaistniała możliwość ich przemieszczenia w triadzie A — od punktu 2A w momencie T_{2A} i w triadzie B — od punktu 2B w momencie T_{2B} .

Na tle przedstawionych we wstępie ogólnych rozważań na temat nieobserwowalności i obserwowalności procesów można zauważyć, że zarówno cała triada procesów: zmęczenia — pęknięcia — przemieszczania skał, jak i poszczególne procesy tej triady nie mieszczą się w całości w jednej z wymienionej kategorii obserwowalności w podanym poprzednio sensie. Proces zmęczenia skał jest początkowo

z reguły nieobserwowalny i nieobserwowany i być może dlatego jego znaczenie w historii skorupy ziemskiej i jej obecnego stanu jest niedoceniane. Znacznie później, gdy następuje już przejście procesu zmęczenia w proces spękania skały, zmęczenie skały staje się trudno dostrzegalne. Podobnie trudno dostrzegalne są początki procesu spękania rozpoczynającego się powstawaniem utajonych powierzchni lub stref osłabienia. Dopiero w końcowej fazie procesu pęknięcia, gdy następuje pęknięcie skały, proces ten staje się łatwo obserwowalny. Procesy przemieszczeń poszczególnych cząstek, tworzących skałę, mogą być nieobserwowalne. Podobnie przy bardzo powolnym ruchu skał proces ten może być również nieobserwowalny. Natomiast stosunkowo szybki ruch skał, ciał geologicznych i nawet większych fragmentów skorupy ziemskiej względem siebie może być procesem łatwo obserwowalnym, o ile zaplanuje się i wykona odpowiednie pomiary tego ruchu. Tak więc wszelkie rozważania geodynamiczne i paleodynamiczne oraz tektoniczne i paleotektoniczne powinny uwzględniać następujące fakty: procesy nieobserwowalne i nieobserwowane mogły i mogą w rzeczywistości zachodzić i rozwijać się; procesy łatwo obserwowalne mogą rozpoczynać się znacznie wcześniej nim zostały zaobserwowane i pomierzone, a także rozwijać się później już po dokonaniu pomiarów nie zawsze w tym kierunku i w taki sposób jak poprzednio.

Literatura

- BAYLY B. 1992 — Mechanics in structural Geology. Springer-Verlag. New York.
- BUCH A. 1964 — Zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej. PWN.
- CATTRELL A.H. 1964 — The mechanical properties of matter. John Wiley & Sons. New York, 1970. Właściwości mechaniczne materii. PWN.
- DADLEZ R. & JAROSZEWSKI W. 1994 — Tektonika. PWN.
- GUÉGUEN Y. & PALCIAUSKAS V. 1994 — Introduction to the Physics of Rocks. Princetown University Pres. Princetown, New Jersey.
- KIDYBIŃSKI A. 1982 — Podstawy geotechniki kopalnianej. Wyd. Śląsk, Katowice.
- KOWALSKI W.C. 1961 — Wytrzymałość na ścisłanie budowlanych skał senońskich przełomowego odcinka Wisły środkowej na tle ich litologii. Biul. Wydz. Geol. UW, 1, 2.
- KOWALSKI W.C. 1966 — Anizotropia wytrzymałościowa i mięknięcie senońskich skał przełomowego odcinka Wisły środkowej. Biul. IG, 190.
- KOWALSKI W.C. 1970 — The Interdependence between Strength, Softening, Swelling and Shrinkage at Cretaceous Marls and „Opokas” and their Lithology. I-th Int. Congr. IAEG. Paris.
- KOWALSKI W.C. 1971 — The Strength and Deformability of Rocks in the Ai-dry Zone in the Capillary Rise and in the Zone of Water Saturation. Bull. Acad. Pol. Sc. Ser. Sc. Terre, 19: 3.
- KOWALSKI W.C. 1972a — Strength and Shape Failure Surface and Axial Compression of Sandstones. Bull. Acad. Pol. Sci. Ser. Sc. Terre, 20: 113–117.
- KOWALSKI W.C. 1972b — Influence of Capillary Water on Compressive Strength of Marls. Bull. IAEG, 5: 55–56.
- KOWALSKI W.C. 1975 — L'influence des variations de teneur en eau sur la résistance mécanique et la déformation des roches dans la zone d'alteration. Bull. IAEG, 12: 37–43.
- KOWALSKI W.C. 1983 — Geological Section Probability. Bull. IAEG, 28: 77–79.
- KOWALSKI W.C. 1992a — Wpływ zmian stanu naprężeń — odkształceń w masywie skalnym na struktury i tekstury skał osadowych. Prz. Geol., 40: 672–676.
- KOWALSKI W.C. 1992b — Zmiany ciśnienia atmosferycznego jako czynnik zmęczenia wytrzymałościowego i wietrzenia. Prz. Geof., 3/4: 139–148.
- KOWALSKI W.C. 1993 — Mechanical fatigue of rocks and atmospheric pressure changes. La fatigue des roches et les changements de pression atmosphérique. Bull. IAEG, 48: 77–82.
- KOWALSKI W.C. 1994 — Controversy: mechanical fatigue or hardening of rocks. Controverse: fatigue mécanique ou durcissement des roches après excavation. Bull. IAEG, 50, 51–57.
- KOWALSKI W.C. 1998 — Umowne prawdopodobieństwo zgodności modeli geologicznych z rzeczywistością geologiczną. Prz. Geol., 46: 95–98.
- YOUNG A.P. 1948 — Lord Kelvin. Longmans. Green & Co. London.