

JURAND WOJEWODA

Uniwersytet Wrocławski

Zdarzenia czym są, jak skutkują i jaki pozostawiają zapis geologiczny? Krótki esej o czasie geologicznym...

*Nie wszystko, co policzalne, liczy się,
nie wszystko, co się liczy, jest policzalne...*

Albert Einstein

Inspiracja

Zdarzenia, gdy zajądą, zwykle mniej lub bardziej nas zaskakują. Większość zdarzeń zachodzących wokół nas nie wykazuje jawnych związków między sobą. Te jednak, w których sami uczestniczymy lub które zauważalnie wpływają na nasze życie, łączy choćby to, że dotyczą nas właśnie. Czasem, niezależnie od naszego udziału w zdarzeniach, mogą one być ze sobą powiązane. Choćby wtedy, kiedy jedno pociągają za sobą kolejne. W nauce, w naukach przyrodniczych zwłaszcza, rozpoznawanie zdarzeń, ocena ich znaczenia i wzajemnych relacji między nimi, stanowi fundament metodologiczny. Zdarzenia stanowią dla mnie ważną inspirację, nie tylko zawodową...

Wstęp

Jednym z najważniejszych i powszechnie znanych pojęć jest **czas**. Pojęcie to jest niezwykle pojemne i często pojmowane bardzo indywidualnie, subiektywnie. Co do jednego niemal wszyscy są zgodni – czas płynie i jest to proces jednokierunkowy, nieodwracalny. **Czas fizyczny** jest kategorią podstawową w fizyce. W fizyce relatywistycznej traktowany jest jako czwarty, niezależny wymiar czasoprzestrzeni. Mierzony w **sekundach** stanowi wraz z sześcioma innymi wielkościami – dłu-

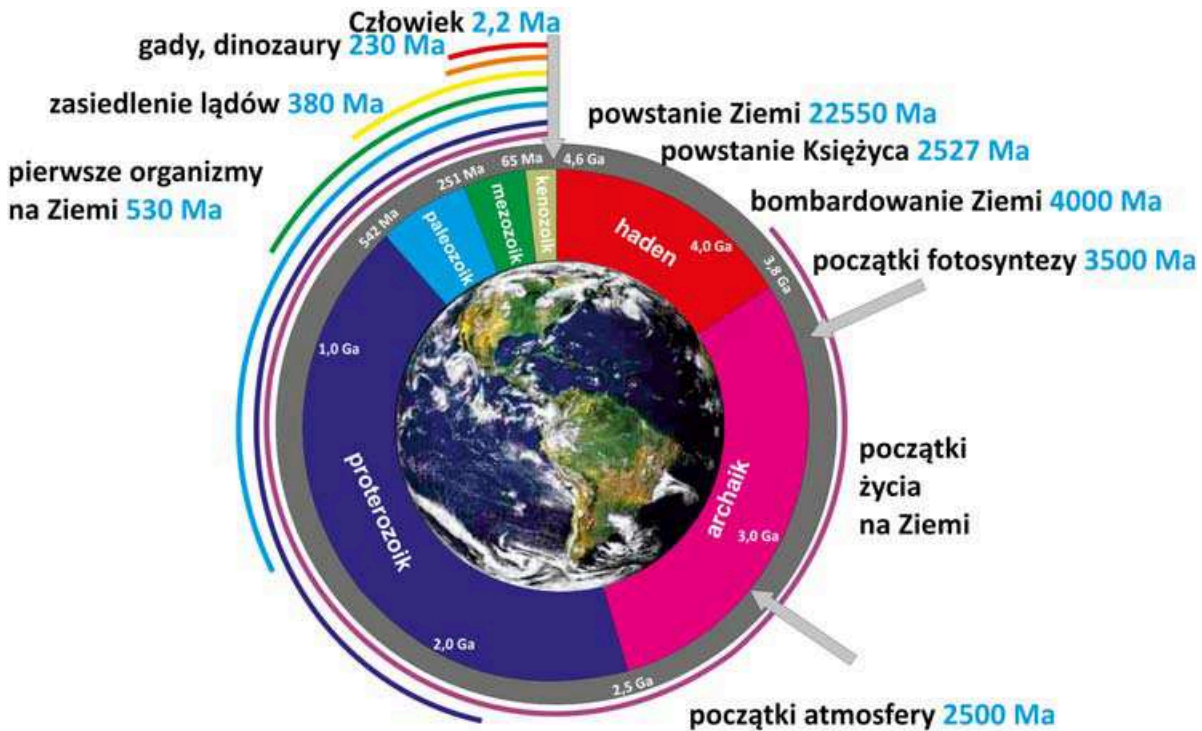
gością [metr], masą [kg], natężeniem prądu elektrycznego [amper], temperaturą [kelwin], światłością [kandela] oraz licznością materii [mol] – zbiór siedmiu podstawowych (głównych?) wielkości fizycznych. Przytoczone wyżej jednostki miar zostały oficjalnie uznane w 1960 roku na XI Generalnej Konferencji Miar jako podstawowe w ramach obowiązującego do dzisiaj **układu podstawowych jednostek SI**. Sekunda jako jednostka fizyczna zdefiniowana jest jako czas równy **9 192 631 770** okresom przejścia pomiędzy podpoziomami **f = 3** i **f = 4** struktury nadsubtelnej poziomu podstawowego 2s_{1/2} **atomu cezu** (¹³³Cs) znajdującego się na poziomie morza.

Jednak pojęcie „czasu” przyjmuje często inne, zwykle użyteczne lub pragmatyczne znaczenie. Do takich kategorii należą chociażby czas połowicznego rozpadu, czas wojny, czas pokoju, czas namysłu, czas biologiczny, czas antropologiczny, czas archeologiczny, czas historyczny itp. Do tej kategorii trzeba zaliczyć również pojęcie **czasu geologicznego**. Choć może to wzbudzić wątpliwości, a może i czytając reakcję, zaryzykuję tezę, że to właśnie te kategorie dowodzą istnienia czasu fizycznego. I tak, gdyby właśnie m.in. nie przesłanki geologiczne – nie istniałyby „materialne” dowody na istnienie czasu jako takiego...

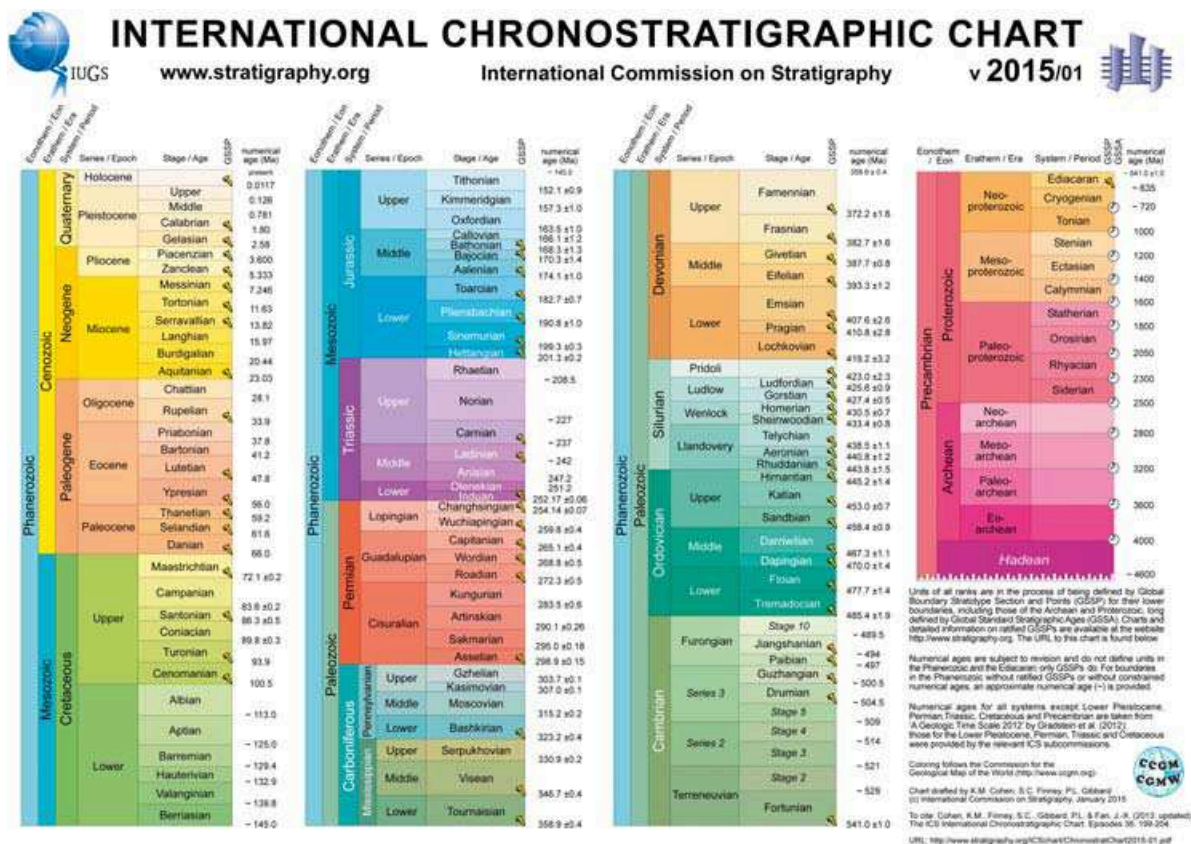
Czas geologiczny

W przypadku czasu geologicznego, poza sekundą, używamy również innych, tzw. pomocniczych jednostek przydatnych do pomiaru upływu czasu. Minuta (60 s), godzina (3600 s) to niezwykle przydatne jednostki, wywodzące się z tzw. **układu sześćdziesiątkowego**, w pomiarze czasu trwania zdarzeń. Doba, rok, stulecie, tysiąclecie – to tzw. **jednostki astronomiczne**, przydatne z kolei w ocenie krótko- i długoterminowych procesów cyklicznych. Wreszcie eon, era i okres to tzw. **jednostki geochronologiczne**, służące do podziału czasu geologicznego. Czas geologiczny rozpoczyna się w momencie powstania Ziemi, czyli ok. 4,5 mld lat temu. Wszystkie inne cezury i zdarzenia przyrodnicze na Ziemi odnoszą się do tego momentu (**il. 1**), w tym również podział czasu geologicznego (**il. 2**).

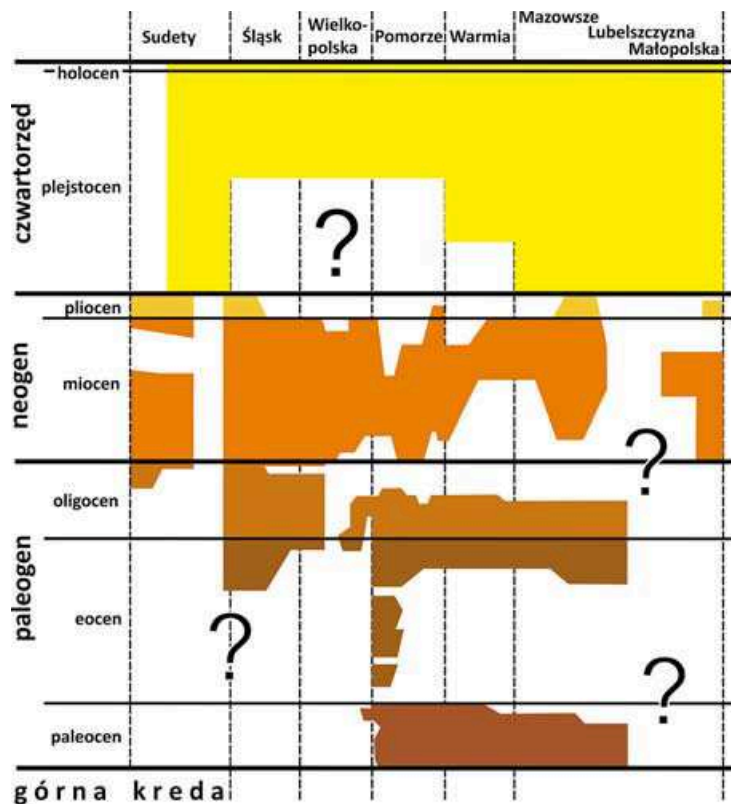
Czas geologiczny, w odróżnieniu od czasu fizycznego, jest „dziurawy”. Jest dziurawy w sensie dosłownym, nie w sensie kwantowym. „Dziury” w czasie geologicznym wynikają z braku materialnego zapisu w konkretnym miejscu na Ziemi. Częściej jednak to zwykły brak wiedzy o takim zapisie jest powodem owych „dziur”. Na szczęście ciągły przyrost informacji geologicznych w skali całej planety, zwłaszcza coraz dokładniejsze sposoby wyznaczania wieku skał, powoli wypełniają treścią jakże niedoskonałą osnowę czasu geologicznego. Przykładem dobrze ilustrującym niepełny zapis czasu geologicznego jest nasza wiedza o **kenozoiku** – najmłodszym okresie czasu geologicznego. Na obszarze Polski okres ten jest udokumentowany co najwyżej w 50% (**il. 3**).



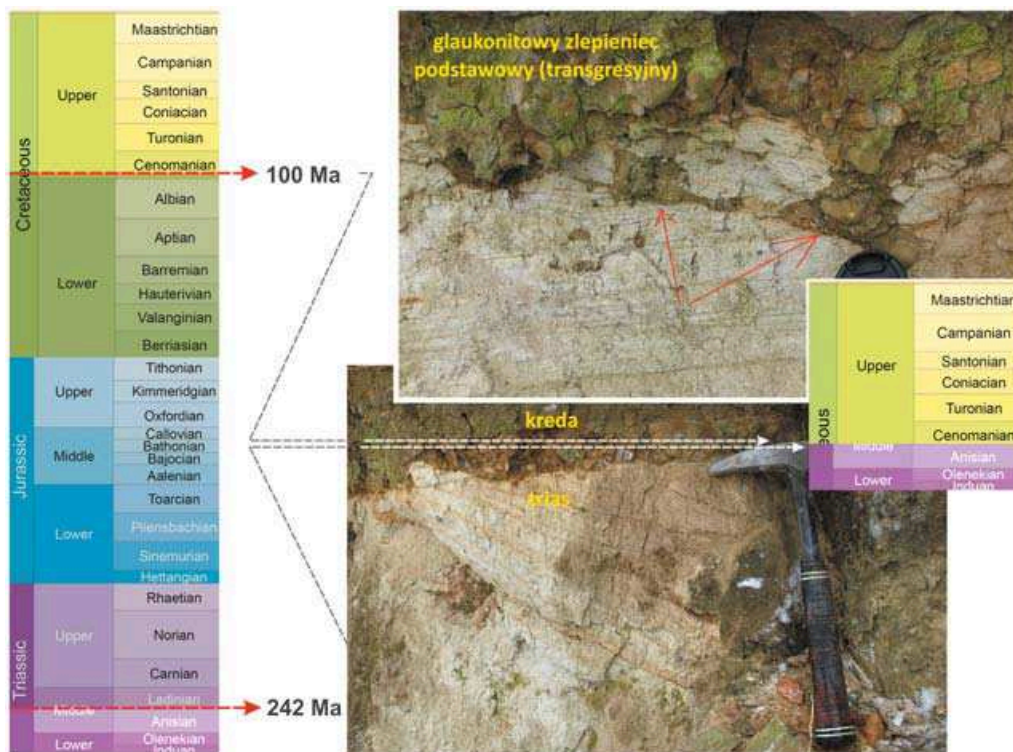
II. 1. Schemat ukazujący najważniejsze etapy (w naszym, ludzkim rozumieniu) ewolucji planety Ziemia



II. 2. Obowiązujący w 2015 roku schemat podziału stratygraficznego, czyli model naszej wiedzy o czasie geologicznym (za zgodą ICS)



II. 3. Tabela litostratygiczna dla Polski (wybrane obszary).
Państwowy Instytut Geologiczny

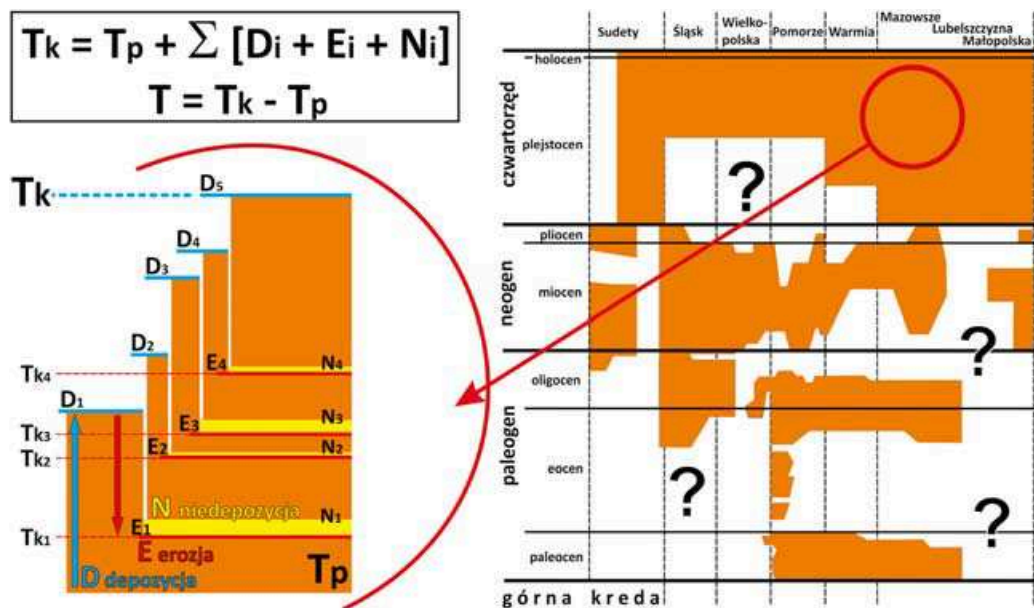


II. 4. Przykład czasu geologicznego (142 Ma) zawartego między stropem triasowego piaskowca pstrego a spągiem kredowego zlepnićowatego piaskowca transgresyjnego (stanowisko *Bohdašín*, autor fotografii A. Kowalski)

Trzeba podkreślić, że im dalej wstecz odtwarzamy zapis czasu geologicznego, tym jest on mniej kompletny. Dobrym przykładem z Sudetów może być granica między triasowym **pstrym piaskowcem** i kredowym **zlepińcem glaukonitowym** (lub „zlepińcem transgresyjnym”). Czas geologiczny „zawarty” w pustej przestrzeni między stropem pierwszego i spągiem drugiego to blisko 142 Ma (!) (il. 4).

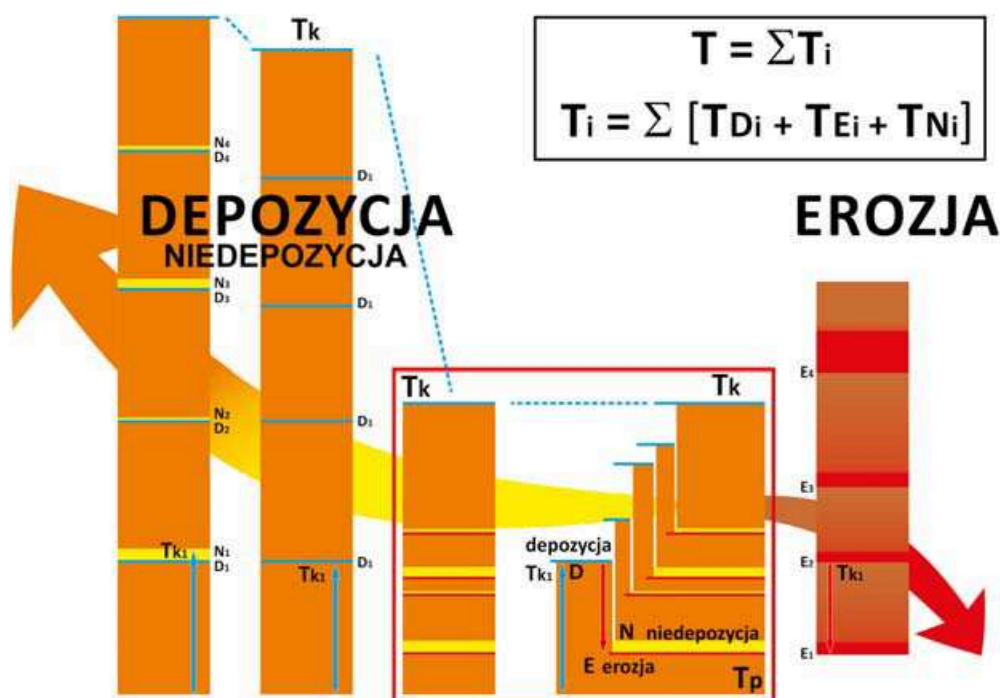
O tym, co wydarzyło się w Sudetach w tym czasie do dzisiaj nie wiemy nic na pewno. Możemy zaledwie przypuszczać, opierając się na geologicznych przesłankach z obszarów przyległych, że w okresie tym Sudety podlegały **denudacji**. Zatem jeśli nawet jakiś materialny zapis czasu geologicznego kiedykolwiek tutaj istniał, został usunięty przez **erozję**. Chociaż erozyjna powierzchnia stropowa triasu jest również materialnym zapisem końca okresu denudacji obszaru, a spągowe osady kredy wiele mówią o przebiegu **transgresji morskiej** w tamtym okresie...

Dodatkowe utrudnienie w odczycie czasu geologicznego stanowi złożony charakter zapisu. Choć trudno to sobie wyobrazić, to zapis ten nie jest jednokierunkowy i stały. Szczególnie dotyczy to osadów, zwłaszcza osadów powstających w warunkach lądowych (il. 5).



Il. 5. Przykład ilustrujący, jak złożony jest zapis czasu geologicznego (sedymentacji) w osadach lądowych. To, co w ujęciach syntetycznych wydaje się osadem określonego wieku, zawiera w sobie bardzo fragmentaryczny zapis sedymentologiczny

Sedymentacja, czyli proces powstawania osadu, może przyjmować trzy całkowicie odmienne formy – **erozji**, **transportu** oraz **depozycji** materiału osadowego. W następstwie erozji dochodzi do odprowadzania osadu z konkretnego miejsca, co prowadzi do utraty wcześniejszego zapisu czasu geologicznego. Transport materiału osadowego odczytujemy z tzw. **wskaźników transportu**, które jednak nie zawsze są jednoznacznym wskaźnikiem czasu trwania tego procesu. Zwykle odzwierciedlają ostatnią fazę transportu, kiedy ten ustaje i następuje **depozycja** materiału osadowego,



Il. 6. Schemat ukazujący, jakie są możliwości uformowania profilu osadów (skał osadowych) w zależności od udziału procesów erozji, transportu i depozycji. Schemat ukazuje, że tylko depozycja, czyli to, co pozostaje po procesie sedymentacji, stanowi końcowy zapis czasu geologicznego

czyli tworzy się **osad**. Reasumując, na zapis czasu geologicznego w osadach (skałach osadowych) składają się łącznie fizyczny czas procesów sedymentacji i niesedymentacji, które potencjalnie mogą skutkować różnymi profilami (**il. 6**). Aby ocenić czas geologiczny na podstawie osadu, musimy zwykle odwoływać się do współcześnie zachodzących i znanych procesów sedymentacji oraz innych bezpośrednich wskaźników tzw. **tempa sedymentacji**, o czym więcej w dalszej części artykułu.

Zjawisko, proces, zdarzenie

Często i powszechnie stosujemy pojęcia **zjawisko**, **proces** i **zdarzenie**. Często używamy ich zamiennie, nie zdając sobie sprawy, jak ważne jest ich poprawne zastosowanie w naukowym opisie rzeczywistości. Jednak wystarczy zapoznać się ze słownikowymi definicjami tych pojęć, aby zrozumieć, jak ważne jest, aby stosować je w konkretnym znaczeniu.

Zjawisko (ang. *phenomenon, fact, event*; fr. *phénomène*; niem. *Erscheinung*; ros. *явление*) jest tym, co da się zaobserwować, postrzec zmysłami [*Słownik współczesnego języka polskiego*, red. B. Dunaj, Wyd. Wilga, Warszawa 1996]. Etymologicznie termin wywodzi się z greki: *phainómenon* – jasna, zjawiająca się, widoczna i poznawalna rzecz. Zjawisko jest z natury rzeczy **stacjonarne**. Może być **przedmiotem**, **stanem**

lub **nastrojem**. Jako rzecz stacjonarna podlega naszemu opisowi, pomiarowi i ocenie w konkretnym momencie. Zespół **cech, wartości lub określeń**, zarejestrowanych i oznajmionych przez konkretnego obserwatora, składa się na zbiór informacji o zjawisku. Na tej podstawie możemy zjawisko **opisać, zdefiniować, nazwać i sklasyfikować**. Zjawiska opisywane są **jakościowo**, poprzez podanie ich cech (miar) lub określeń, oraz **ilościowo** – poprzez podanie wartości konkretnych cech lub miar.

Proces (ang. *process*; fr. *processus*; niem. *Prozess*; ros. *процесс*) to przebieg powiązanych przyczynowo, następujących po sobie zmian stanowiących stadia rozwoju, przeobrażania się czegoś (fazy, stadia procesu) [*ibidem*]. Etymologicznie termin wywodzi się z łaciny: *processus* – postęp(owanie), rozwój, przebieg, postęp, od *procedere* – postępować, kroczyć naprzód. Proces jest z natury rzeczy czymś **dynamicznym**. Proces może mieć charakter **fizyczny**, kiedy zachodzi w realnym czasie i przestrzeni, ale może też mieć charakter **myślowy i abstrakcyjny**, gdy zachodzi w naszym umyśle i jest jedynie formą kierunkowego uporządkowania przestrzeni. Proces jest ciągiem powiązanych ze sobą przyczynowo lub indukcyjnie zjawisk lub zdarzeń. Procesy opisywane są przez prawa, które ujmują parametry danego procesu lub jego składowe (zjawiska, zdarzenia) w jawne związki przyczynowo-skutkowe, np. równania.

Wydarzenie (zdarzenie) (ang. *event, occurrence*; fr. *événement*; niem. *Ereignis*; ros. *случай, событие*) może być z natury rzeczy **stacjonarne i dynamiczne** jednocześnie. Etymologia terminu pochodzi z łaciny: *eventus* (przypadek, zdarzenie; od: *evenire* – zdarzać się). Wydarzenie (zdarzenie) może być **zjawiskiem, możliwością zajścia procesu lub zajściem procesu**. Wydarzenie (zdarzenie) może początkować inne procesy lub być ich elementem. Wydarzenia opisywane są przez prawa stochastyczne, które określają prawdopodobieństwo ich zaistnienia lub prawdopodobieństwo zaistnienia zjawisk z nimi związanych. **Wydarzenie**, które zaszło, przestaje być kategorią stanu wartości funkcji prawdopodobieństwa (procesu stochastycznego) w czasie lub przestrzeni i staje się **zdarzeniem**, elementem funkcji częstości. Zdarzenie jest procesem, który **rozpoczął się, trwał i zakończył się**.

Zdarzenie w najbardziej ogólnym systemowym, i też popularnym intuicyjnym, sensie to taki ciąg zmian w dynamicznym/zmieniającym się środowisku, który **może być wyróżniony, jako trwający w przedziale czasu** (tzn. też skończony), **przez jakiegoś obserwatora/(ów)**.

Przykład obserwacji

W lipcu 1997 roku w Sudetach padał deszcz. Intensywne opady trwały trzy doby. W Odrze od 7 lipca zaczął się podnosić poziom wody. W historii hydrologicznej zlewni Odry okres ten nosi nazwę „Powodzi Tysiąclecia”. Po tym okresie wzrosło poczucie zagrożenia powodzią wśród mieszkańców Wrocławia. W 2013 roku podjęto decyzję o przebudowie systemu przeciwpowodziowego Wrocławia.

Zdarzenia

- **Zdarzenie 1 [proces]:** W lipcu 1997 roku w Sudetach **padał deszcz**.
- **Zdarzenie 2 [zjawisko]:** **Intensywne opady** trwały 3 doby.
- **Zdarzenie 3 [zjawisko/proces]:** W Odrze od 7 lipca **zaczął się podnosić poziom wody**.
- **Zdarzenie 4 [zjawisko/proces/stan]:** W historii hydrologicznej zlewni Odry okres ten nosi nazwę „**Powodzi Tysiąclecia**”.
- **Zdarzenie 5 [zjawisko/stan]:** Po tym okresie wzrosło **poczucie zagrożenia** powodzią wśród mieszkańców Wrocławia.
- **Zdarzenie 6 [proces]:** W 2013 roku **podjęto decyzję** o przebudowie systemu przeciwpowodziowego Wrocławia.

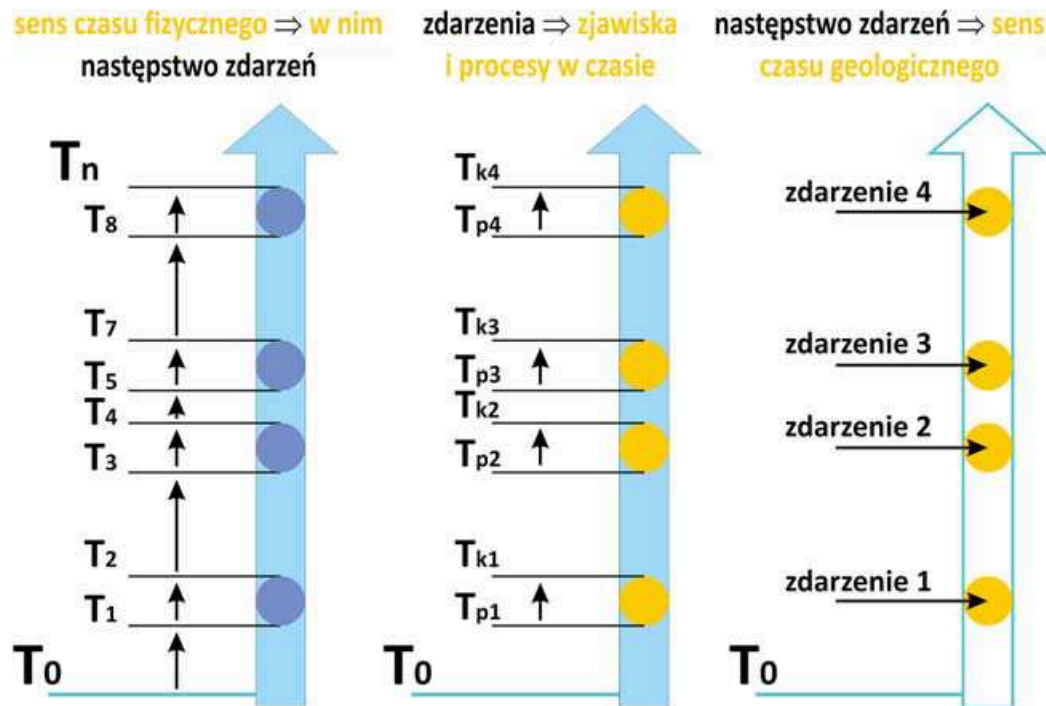
Zdarzenia w czasie, następstwo zdarzeń

Zdarzenia zachodzą w czasie i względem siebie mogą być synchroniczne lub wykazywać następstwo. Wzajemne relacje między zdarzeniami określa tzw. **algorytm Lamport** [1978], który określa/zakłada trzy zasady dotyczące następstwa zdarzeń: (1) następstwo zdarzeń jest pojęciem bardziej podstawowym od czasu (zdarzenie A nastąpiło przed zdarzeniem B); (2) czas fizyczny nie jest konieczny do porządkowania (ustalania) następstwa (superpozycji) zdarzeń oraz (3) zupełne uporządkowanie zdarzeń **A** i **B** ($A \rightarrow B$), przy założeniu, że $A \neq B$ oznacza, że $A \rightarrow B$ albo $B \rightarrow A$. Częściowe uporządkowanie zdarzeń **A** i **B** ($A \rightarrow B$), przy założeniu, że $A \neq B$ dopuszcza ich równoczesność.

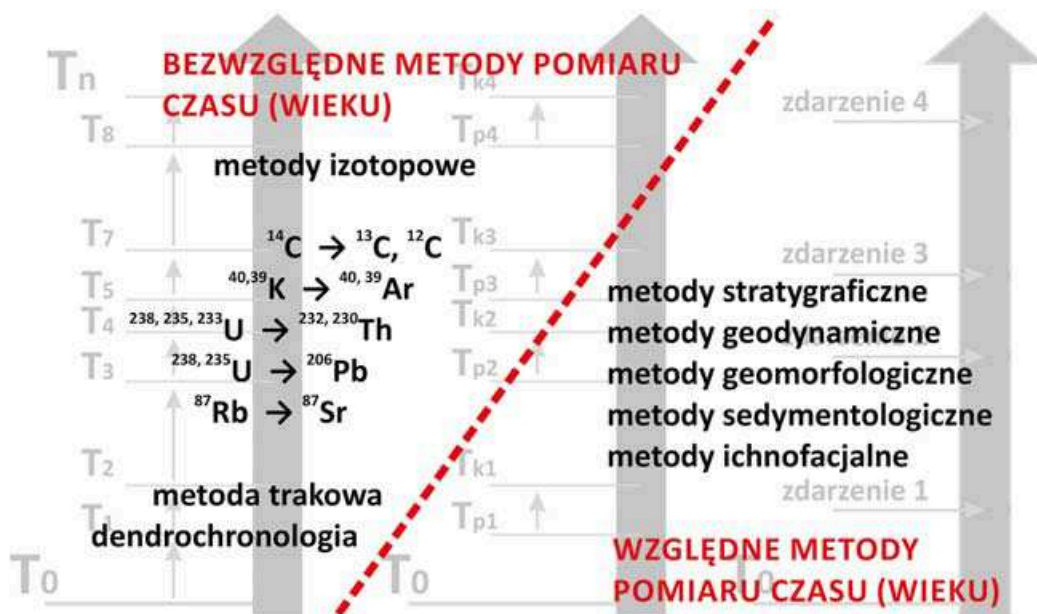
Przedstawiony wyżej algorytm został stworzony przede wszystkim dla zdarzeń społeczno-ekonomicznych, może być jednak równie przydatny w geologii. O ile z jednej strony zdarzenia geologiczne rozumiane jako zjawiska lub procesy fizyczne dzieją się/istnieją w czasie fizycznym, o tyle z drugiej ich następstwo wyznacza właśnie sens czasu geologicznego (**il. 7**). Przekłada się to wprost na sposoby mierzenia upływu czasu geologicznego, czyli wieku zapisu geologicznego. O ile wiek fizyczny obiektów geologicznych i tym samym zdarzeń geologicznych wyznacza się tzw. metodami bezwzględными, o tyle upływ czasu geologicznego wyznacza się metodami względnymi (**il. 8, 9**).

Przykład następstwa zdarzeń [zjawisk/procesów]

Gdyby odwołać się do wcześniej przedstawionej obserwacji, dotyczącej wezbrania powodziowego Odry w lipcu 1997 roku i jego skutków, można by uporządkować przedstawione już zdarzenia w następującym następstwie: [**padał deszcz** \rightarrow **intensywne opady** \rightarrow **zaczął się podnosić poziom wody** \rightarrow **Powódź**



II. 7. Schemat ukazujący różne znaczenie i sens zdarzeń obserwowanych w czasie fizycznym i zapisanych w czasie geologicznym. To również istota różnego pojmowania zdarzeń



II. 8. Czas fizyczny i geologiczny, czyli różne metody pomiaru czasu w konkretnym zastosowaniu

Tysiąclecia → **poczucie zagrożenia** → **podjęcie decyzji**]. Oczywiście relacja następstwa nie zależy od kategorii samych zdarzeń, jednak czasem przydatne jest rozdzielanie kategorii. I tak następstwo: [**padł deszcz** → **intensywne opady** → **zaczął się podnosić poziom wody**], jest następstwem zdarzeń [zjawisk/procesów]

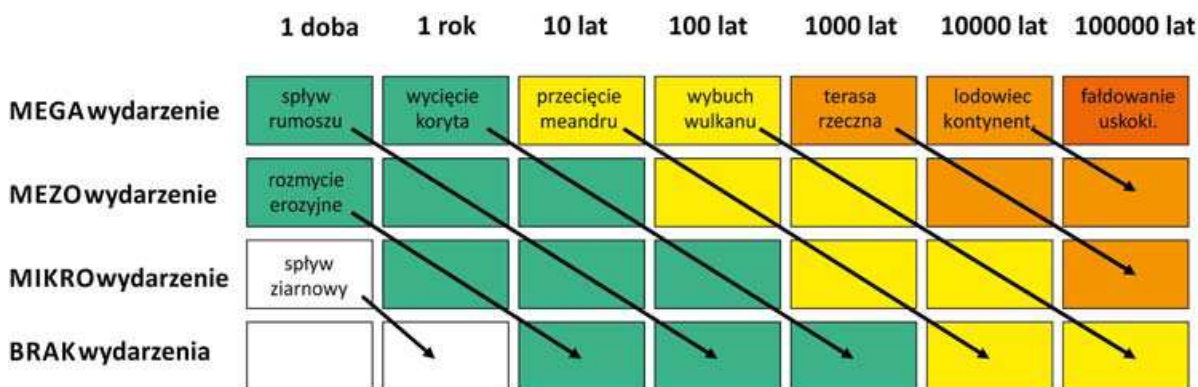
METODA IZOTOPOWA	$^{14}\text{C} \rightarrow ^{13}\text{C}, ^{12}\text{C}$	$^{40,39}\text{K} \rightarrow ^{40,39}\text{Ar}$	$^{238,235,233}\text{U} \rightarrow ^{232,230}\text{Th}$	$^{238,235}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$	$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$
POŁOWICZNY ROZPAD	~5 740 lat	~1,26 mld	~4,5 mld	~0,7 mld	~48,6 mld
ZAKRES	do ~70 tys. lat	pow. 0,1 Ma	pow. 100 Ma	pow. 100 Ma	pow. 100 Ma
ROZDZIELCZOŚĆ	2-50% (100 - 35 tys. lat)	(0,01 - 40 Ma)	(0,1 - 3 Ma)	do 0,06% (0,06 - 20 Ma)	+/- 20 Ma)

II. 9. Różne metody pomiaru czasu „bezwzględnego” oparte na połowicznym rozpadzie pierwiastków nietrwałych

przyrodniczych, czyli jest procesem przyrodniczym, podczas gdy następstwo: [Powódź Tysiąclecia → poczucie zagrożenia → podjęcie decyzji] jest procesem społecznym, historycznym, politycznym.

Kategoryzacja zdarzeń

O ile opisy zdarzeń geologicznych (szerzej: przyrodniczych) sięgają starożytności (np. przekazy Solona o potopach), a pierwsze wiarygodne ich opisy to m.in. opis erupcji Wezuwiusza w I w. n.e. [Pliniusz II ca. 79 n.e., *Naturalis Historiae*], czy zalewy łądu przez fale tsunami [Lyell 1832; Darwin 1835], o tyle próby kategoryzacji takich zdarzeń nastąpiły znacznie później, a zgodnie z dzisiejszą metodologią naukową dopiero w latach 60. XX w. [m.in. Gretener 1967, 1984; Schumm 1985; Zenger 1970; Dott 1983, 1996, 1998; Ager 1995; Miall 2012 i in.]. Jeden z pierwszych podziałów hierarchicznych zdarzeń geologicznych zaproponował Schumm [1985] (il. 10). Nieco później Dott [1983] zaproponował stochastyczno-czasową skalę dla wydarzeń geologicznych. Badacz ten zaproponował kategoryzację opartą na prawdopodobieństwie zajścia konkretnego zdarzenia oraz na prawdopodobieństwie jego zapisu. Dzisiaj przyjmuje się, że zdarzenia dzielą się na cztery kategorie



II. 10. Jeden z pierwszych podziałów hierarchicznych zdarzeń geologicznych [Schumm 1985]

– **normalne** (10^{-2} – 10^0 lat), **nadzwyczajne** (10^0 – 10^1 lat), **katastrofalne** (10^1 – 10^3 lat) oraz **kataklizmowe** (10^6 – 10^8 lat). Oczywiście zdarzenia im są rzadsze, tym na ogół wiążą się z wyżej energetycznymi procesami w środowisku i wyraźniejszym ich zapisem. Tym samym uzasadniona jest w tym wypadku również **kategoryzacja funkcjonalna**, czyli łącząca obydwie ww. kryteria. Jeśli chodzi o ocenę rangi (wpływu) zdarzeń na otoczenie, ważne jest, aby zawsze był sprecyzowany układ, dla którego takiej oceny się dokonuje. Tak więc zdarzenia normalne nie wpływają istotnie na procesy zachodzące w układzie. Jednak ich koincydencja w czasie lub przestrzeni może skutkować tym, że łącznie stają się wydarzeniem nadzwyczajnym, którego wpływ ilościowy na zachodzące w układzie procesy jest zauważalny. Z kolei wydarzenia katastrofalne to takie, które istotnie jakościowo zmieniają zachodzące w układzie procesy. Wreszcie procesy katakлизмowe niszczą układ, w którym zachodzą. Zasadniczo koincydencja zdarzeń na danym poziomie zawsze może skutkować tym, że łącznie stają się wydarzeniem wyższego rzędu.

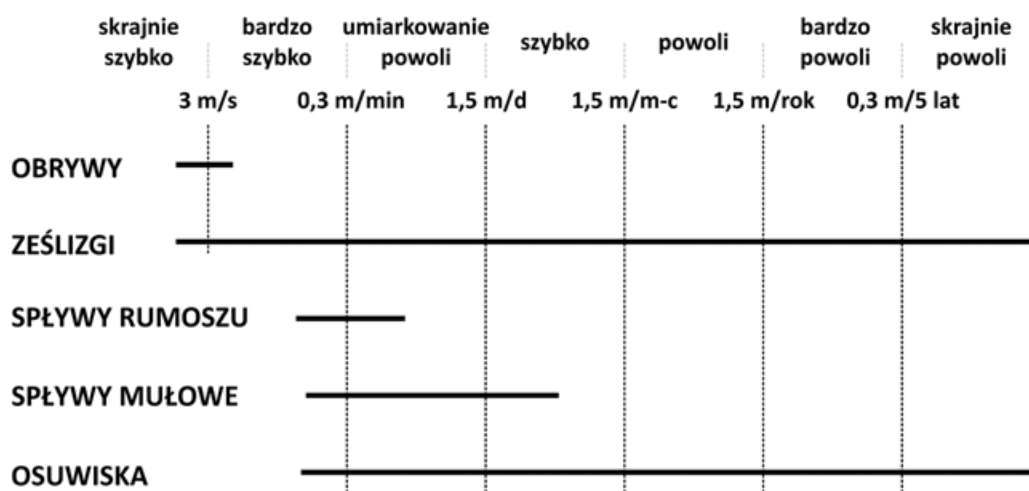
Przykłady i sposoby wykorzystywania procesów cyklicznych i zdarzeń dla oceny czasu geologicznego

Nie sposób przedstawić wszystkich najważniejszych procesów wydarzeniowych, zwłaszcza że zgodnie z przytoczonymi we wstępie definicjami niemal każdy proces zachodzący na Ziemi, który się zakończył, automatycznie może być zakwalifikowany jako zdarzenie. A przecież domeną geologii są przede wszystkim procesy dawno zakończone. Dlatego też to krótkie zestawienie obejmuje tylko najbardziej przydatne do oceny czasu geologicznego procesy i zjawiska geologiczne. Szczególnie wyraźne i przydatne są wszelkie procesy cykliczne, a zwłaszcza rytmiczne. Pozwalają one bowiem powiązać ich skutki (zapis) z regularnie powtarzającymi się zmianami warunków środowiskowych. Ale również wielkie znaczenie dla wyznaczania ważnych cezur w czasie geologicznym mają znaczące rangą zdarzenia przypadkowe. Zławszcza te o dużym, czasem globalnym zasięgu. To one wyznaczają wspólne chwile w życiu całej planety.

Transport masowy i koluwia

Jednym z najpowszechniejszych „losowych” wydarzeń geologicznych są wszelkiego rodzaju przemieszczenia gruntu (szerzej – osadów powierzchniowych, fragmentów skał podłoża, zwietrzelin) ujmowane ogólną nazwą **transportu masowego**. Do najbardziej znanych należą **obrywy**, **ześlizgi**, **osuwiska** oraz **spływy masowe**. Niemal każdy człowiek w trakcie swojego życia ma okazję albo widzieć efekty tych procesów (**koluwia**), albo wręcz obserwować proces w czasie, kiedy

on zachodzi blisko nas. Procesy te zachodzą z różną prędkością (**il. 11**) [Rodriguez-Pascua i in. 2000]. Koluwia, zarówno te współczesne, jak i kopalne, cechują się łatwo rozpoznawalnymi strukturami typowymi dla każdego rodzaju transportu. Obrywy skalne i związane z nimi blokowiska skalne towarzyszą nam w trakcie wypraw i spacerów wzdłuż klifów morskich mórz całego świata. Również spacerując po szlakach górskich, przy stromych skarpach i zboczach, zwykle wędrujemy po współczesnych osypiskach, blokowiskach i stożkach napływowych strumieni oraz rzek. Nietrudno te osady rozpoznać w skałach różnego wieku. Ich obecność dowodzi, że czas powstania materiału wyjściowego danej skały musiał być zbliżony do tego, jaki wynika z prędkości transportu masowego. Co więcej, choć to dzisiaj tylko skała, to obecność w niej kopalnych koluwiów jest ważnym wskaźnikiem dawnej morfologii terenu i panującego klimatu.



II. 11. Tempo różnych sposobów transportu masowego osadów [wg Varnes 1958]

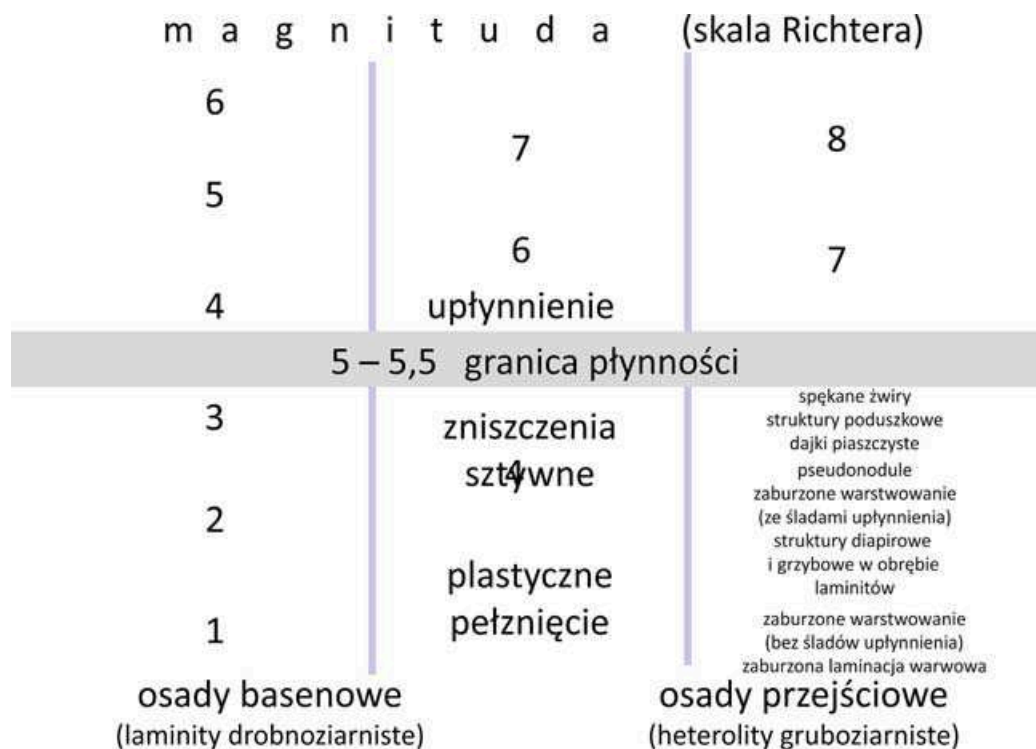
Trzęsienia ziemi

Kolejnym procesem, który losowo nawiedza niemal wszystkie obszary na Ziemi, są trzęsienia ziemi. Miarą siły trzęsienia ziemi może być wyzwalana energia mierzona w dżulach (J), zgodnie z otwartą, 11-stopniową logarytmiczną **skalą Richtera-Gutenberg**a [1935]. Warto wspomnieć, że zgodnie z tą skalą siła trzęsienia ziemi (tzw. **magnituda**) wzrasta 1000-krotnie co 2 stopnie. Częstość katastrofalnych trzęsień ziemi o magnitudzie powyżej 9 wynosi ok. 1/20–50 lat, natomiast do trzęsień ziemi o magnitudzie poniżej 2 dochodzi blisko 10^3 razy dziennie. O ile te słabsze trzęsienia praktycznie nie pozostawiają żadnego zapisu, o tyle te najsilniejsze są niezwykle destrukcyjne. Ocena poziomu zniszczeń w trakcie trzęsienia ziemi dokonywana jest z kolei na podstawie zamkniętej 12-stopniowej **skali Mercallego** (pierwotna skala 10-stopniowa została zmody-

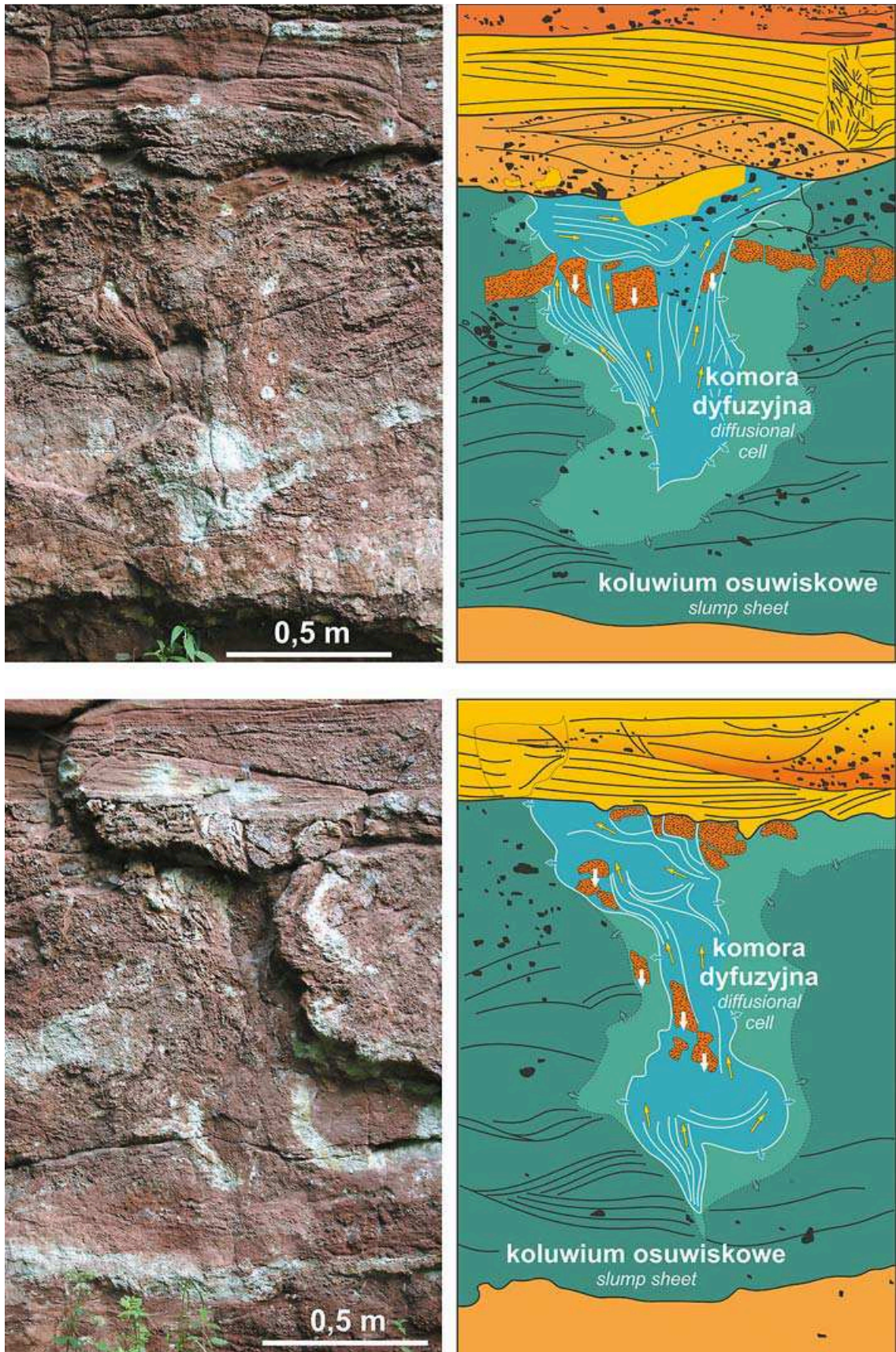
fikowana przez Cancaniego do skali 12-stopniowej w roku i ostatecznie została wdrożona w 1931 roku [Wood, Neumann 1931]).

W czasie trzęsień ziemi o magnitudzie powyżej 5 dochodzi do znaczących zmian w strukturze gruntu, zwłaszcza przypowierzchniowego i mocno zawodniowego. Grunt (osad), w zależności od uziarnienia, ulega spękaniu lub upłynnieniu. Czasem dochodzi do daleko posuniętej przebudowy, a kiedy zalega na nachylonej powierzchni (zboczu), może ulec przemieszczeniu. To właśnie najczęściej trzęsienia ziemi lub mocne zawodnienie gruntu najczęściej uruchamiają procesy transportu masowego. Zjawiska i osady, jakie mogą powstać na i pod powierzchnią terenu w trakcie trzęsienia ziemi, noszą nazwę **sejsmitów** [Seilacher 1969, 1984] (il. 12). Na obszarze Sudetów sejsmity zostały m.in. opisane w skałach od dewonu (ok. 375 Ma), przez perm (ok. 275 Ma) (il. 13 i 14) i kredę (ok. 90 Ma), po najmłodsze osady [Wojewoda 1987, 1997, 2008; Aleksandrowski i in. 1986; Mastalerz i Wojewoda 1991, 1992, 1993; Wojewoda i Burliga 2008].

Warto wspomnieć, że również współcześnie obszar Dolnego Śląska nie należy do obszarów sejsmicznie „spokojnych”, a trzęsienia ziemi o amplitudach powyżej 4 zdarzają się tutaj co najmniej 2 razy na dekadę [m.in. Wojewoda 2008, 2009; Kaczorowski i Wojewoda 2011]. To, co wyróżnia sejsmity, to ich duży zasięg obszarowy, który pozwala je skutecznie wykorzystywać w korelacji wiekowej skał. Czas trwania silnych trzęsień ziemi, nawet uwzględniając późniejsze wstrząsy wtórne, nie przekracza zwykle 10 dni. Jako ciekawostkę można podać, że dwa najstarsze

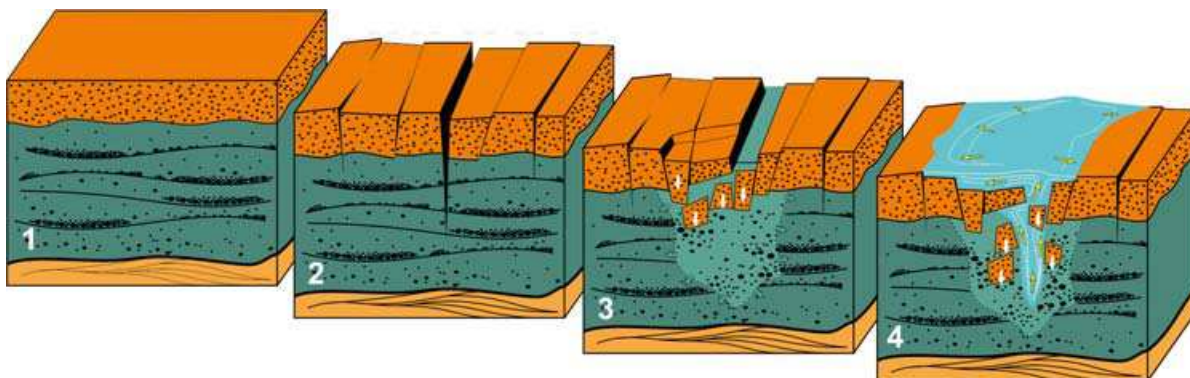


II. 12. Granica upłynnienia gruntów i osadów w warunkach cyklicznego obciążenia, np. trzęsienie ziemi [wg Rodriguez-Pascua i in. 2000]



II. 13. Komory dyfuzyjne [Wojewoda i Wojewoda 1986] rozpoznane w utworach permu synklinorium śródsudeckiego (Golińsk k. Mioszowa) [Wojewoda 2008]

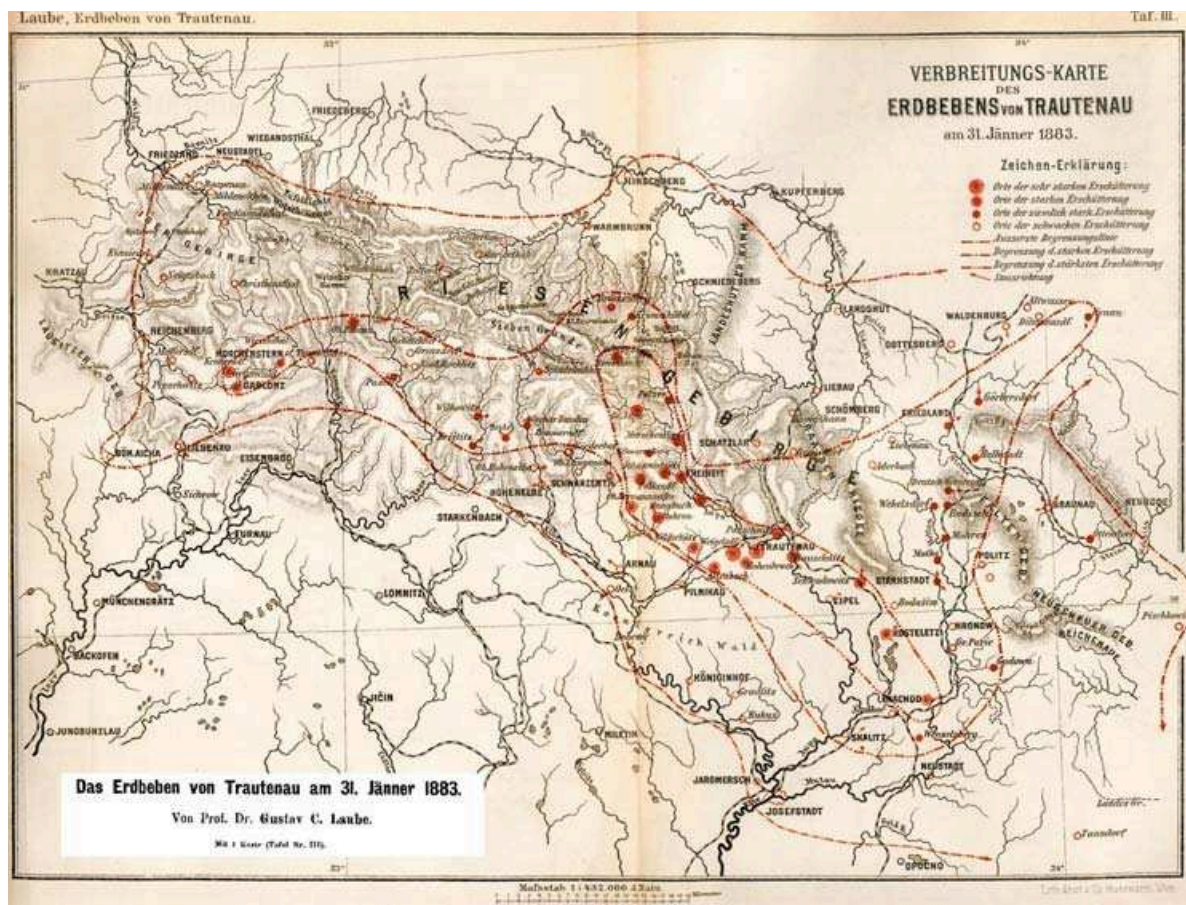
naukowe opisy zasięgu zniszczeń spowodowanych trzęsieniem ziemi wykonane zostały na Dolnym Śląsku [Laube 1883; Dathe 1895] (il. 15 i 16).



II. 14. Schemat pokazujący powstawanie komory dyfuzyjnej w czasie trzęsienia ziemi [Wojewoda 2008]



II. 15. Jedno z pierwszych trzęsień ziemi opisane i odwzorowane kartograficznie w historii. Po raz pierwszy, właśnie na Dolnym Śląsku, zostały wyznaczone „izosejsmy” na podstawie analizy zniszczeń, jaka obecnie obowiązuje w skali Mercallego [Laube 1883]



II. 16. Mapa „izosejsmiczna” z pracy Dathego [1895] załączona do opisu jednego z najsilniejszych trzęsień ziemi na Dolnym Śląsku w XIX wieku

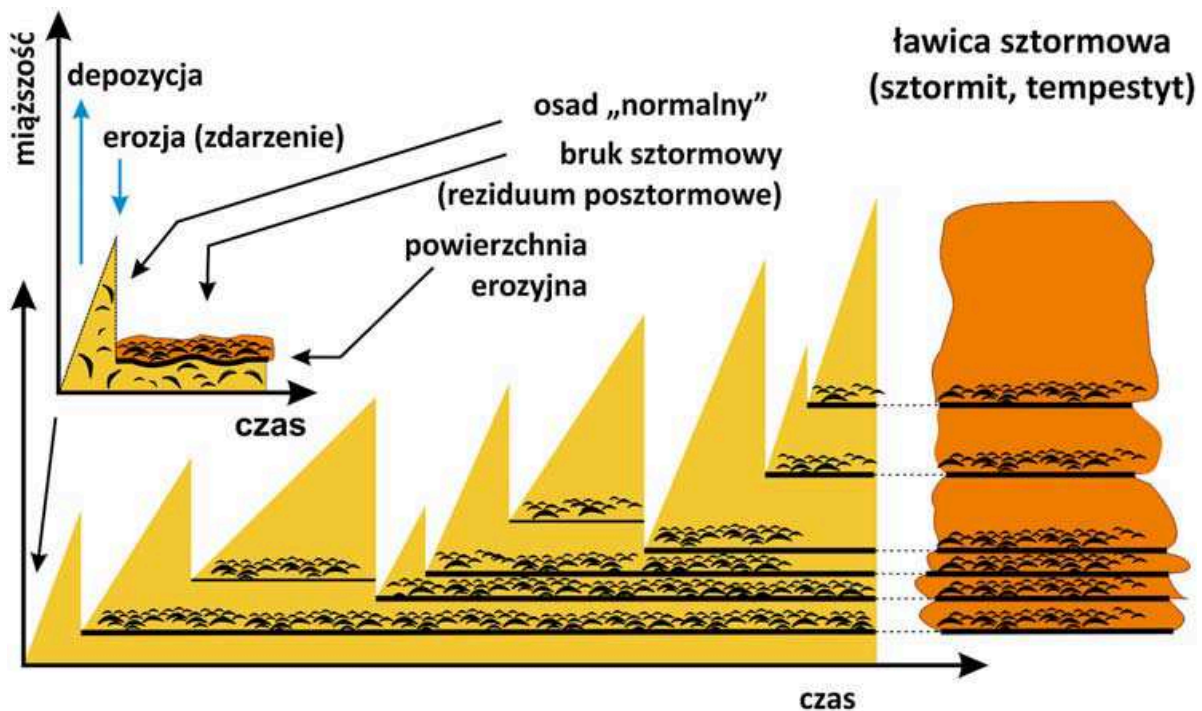
Tsunami

Zdarzenia bezpośrednio związane z trzęsieniami ziemi to fale tsunami. Ich niszcząca siła od zawsze budzi niepokój ludzi, zwłaszcza mieszkańców wybrzeży oceanów światowych. Pierwsze opisy osadów morskich w głębi lądu, z dala od linii brzegowej, pochodzą od Lyella i Darwina [*ibidem*]. Ale sposoby ich rozpoznawania w osadach zostały wypracowane stosunkowo niedawno i nadal stanowią wielką niewiadomą w geologii. W roku 1984 pojawiły się dwa artykuły opisujące **tsunamiity** [Cita 1984] oraz **homogenity** [Hieke 1984; Cita i Camerlenghi 1985; Cita i Aloisi 2000]. W obydwu przypadkach chodziło o osady pod dnem Morza Śródziemnego, które najpewniej powstały wskutek zmycia mułu wapiennego przez fale tsunami z elewacji dna morskiego. Najprawdopodobniej spowodowały to kolejne fale tsunami, wywołane erupcjami wulkanu Santorini i formowaniem się podwodnej kaldery wulkanicznej. Prawie na pewno ostatnia z tych fal zmyła z powierzchni Krety kwitnącą cywilizację minojską, a być może również spowodowała znaczące zniszczenia na wybrzeżach starożytnego Egiptu. Po tsunami pojawia się wyraźny

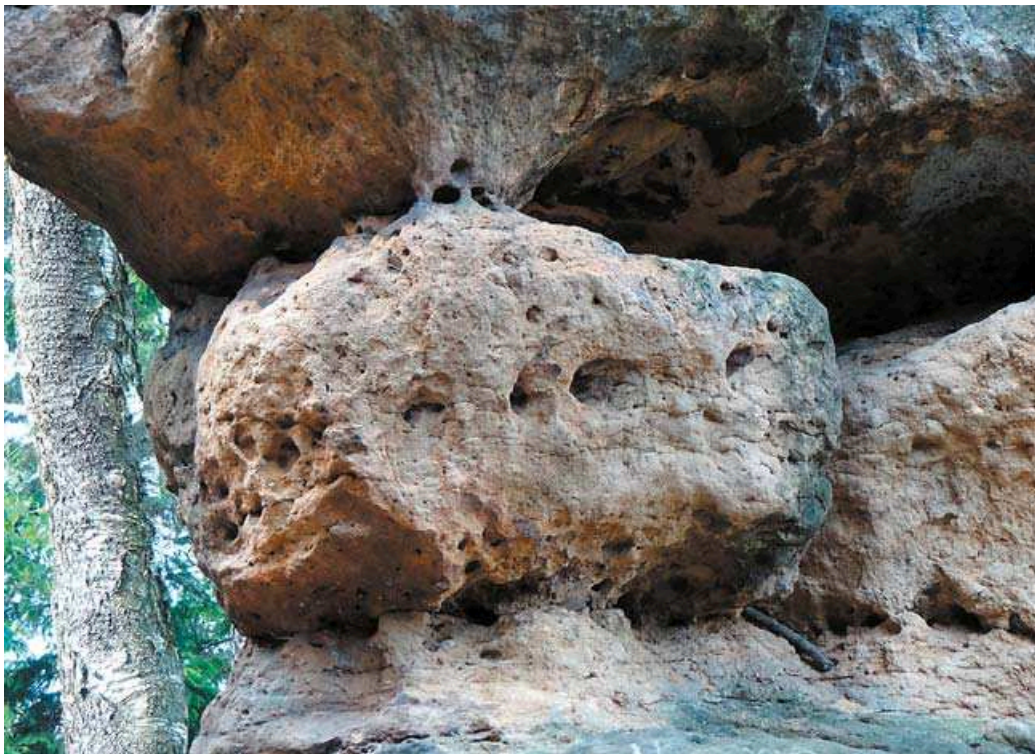
sygnał osadu morskiego w obrębie utworów lądowych. Tsunami to „zaledwie” kilkadziesiąt minut całkowitego zniszczenia i jednocześnie zapis zdarzenia, czasem jednego na milion lat!

Sztormy i powodzie

W czasie przeciętnego roku kalendarzowego mieszkańcy przeciętnego miejsca na Ziemi nie odczuwają sztormów tak, jak mieszkańcy wybrzeży mórz i oceanów. Ci ostatni wiedzą, że realia ich krajobrazu (czytaj: zapis czasu geologicznego) są kształtowane w znacznej mierze właśnie przez sztormy, zwłaszcza te najsilniejsze. Dla wielu mieszkańców naszej planety nie jest wcale oczywiste, że sztormy są najważniejszym procesem kształtującym reliefy lądów i że to one właśnie, po każdej próbie „tektonicznego buntu” planety i „odmłodzenia reliefu” na lądach sprawiają, iż te ostatnie stopniowo ulegają niszczeniu (denudacji i spłaszczeniu), a morza (oceany) wypełniają się osadami z nich właśnie pochodzącymi. **Zapis sedimentologiczny** sztormów, jakie nawiedzają konkretne miejsca, jest specyficzny. Swoją ślad pozostawiają tylko **zdarzenia sztormowe** o największej energii, choć z upływem czasu geologicznego i one są coraz słabsze w konkretnym miejscu. Zapis setek, czasem tysięcy zdarzeń sztormowych stanowi tzw. **ławica sztormowa (tempestat)** (il. 17) [Aigner 1982]. Ławice tempestatów można zobaczyć w skałach kredowych (ok. 90 Ma) na Dolnym Śląsku, m.in. w Górach Stołowych [Wojewoda 1986, 2011] (il. 18).



Il. 17. Schemat pokazujący mechanizm powstawania ławicy sztormowej (tempestatu)



II. 18. Ławica sztormitowa w piaskowcach kredowych Dolnego Śląska (Góry Stołowe, Radkowskie Bastiony)

Zdarzeniami, które bez względu na przyczynę są odczuwalne przez wszystkich bez wyjątku mieszkańców Ziemi, są powodzie. To one sprawiają, że dobytek rodziny, czasem pokoleniowy, znika bez śladu „wypłukany” wodami wezbranej rzeki. Jednak **powódź** nie jest kategorią przyrodniczą. To pojęcie odnosi się do względnych i umownych zniszczeń lub strat, jakie może spowodować **naturalne wezbranie** np. rzeki w infrastrukturze obszarów zawłaszczonych przez człowieka, czyli siedlisk.

Osady powodziowe nie są zaliczane do „nadzwyczajnych”, mimo że tak bardzo dotyczą wszystkich istot żyjących na Ziemi. Może tylko te największe, mitologiczne powodzie, w które wierzymy, że zaszły, sprawiają, iż cały czas poszukujemy ich śladów i zapisu geologicznego.

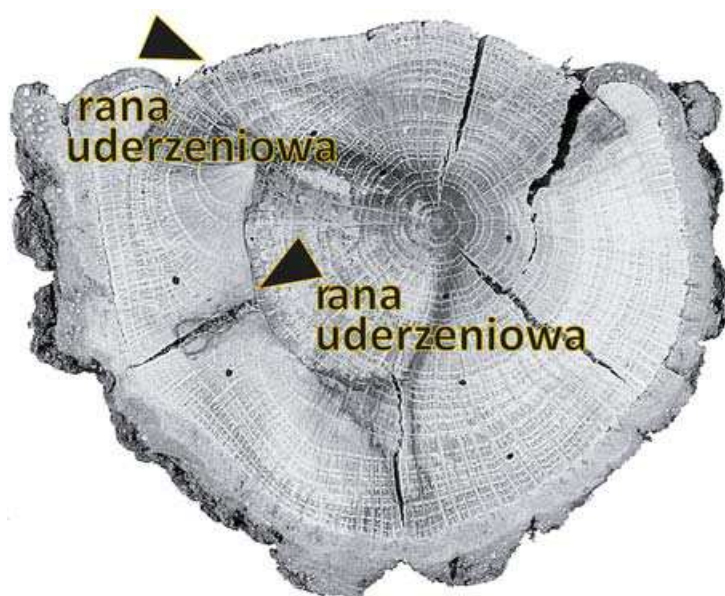
Cyklity

Procesy cykliczne są najbardziej „lubiane”, i to nie tylko przez geologów. Któż nie docenia fenomenu, że po zimie nadejdzie lato, a po nocy nadejdzie dzień. Cykliczność wpisana jest w naturę większości procesów przyrodniczych zachodzących na Ziemi wokół nas. Ale nie tylko – cykliczne w swojej naturze wydają się również procesy historyczne, ekonomiczne, społeczne, polityczne.

Cykle roczne (planetarne) od dawna są zauważalne i wykorzystywane w celu oceny czasu geologicznego. Najwcześniej zauważono, że roczne przyrosty pni

drzew dają znakomity zapis czasu. Każdy słoń drewna jest *de facto* znacznikiem jednego roku, czyli czasu, w jakim nasza planeta obiega Słońce. W geologii wykorzystuje się ten fakt bardzo konkretnie, stosując **metodę dendrochronologiczną** dla pomiaru czasu geologicznego. W tym wypadku do wyznaczania wieku drewna na podstawie reperów wieku bezwzględnego oraz liczby słoń przyrostu rocznego. Mimo że metoda ma uniwersalne zastosowanie, to jednak możliwości wyznaczenia reperów są obecnie ograniczone w zasadzie do **metody radiowęglowej** pomiaru czasu bezwzględnego, zatem ze zmienną dokładnością można określić wiek drewna nie dalej niż ok. 100 tys. lat wstecz. Nie zmienia to faktu, że na bazie zaburzeń przyrostu tkanki możliwe jest wskazanie zdarzeń (okresów) niezbyt sprzyjających wegetacji, jak również takich, w trakcie których tkanka badanych roślin uległa zniszczeniu lub uszkodzeniu (**il. 19**).

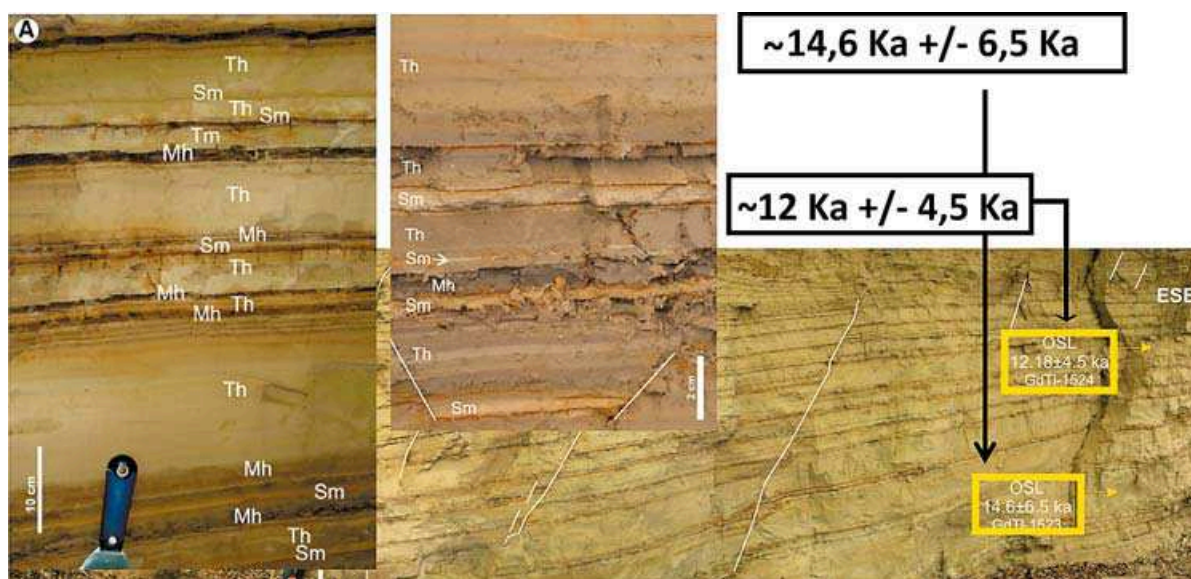
Innym zapisem cykliczności rocznej są osady jeziorne, tzw. **limnity**. Szczególnie czułe na zmiany pór roku są jeziora na obszarach położonych na wysokich szerokościach geograficznych, tzn. między biegunami a zwrotnikami. Wyraźne różnice rocznych temperatur sprawiają, że zupełnie inny materiał dociera do jezior w okresie lata niż w zimie. W skrajnym przypadku, kiedy jeziora okresowo



Il. 19. Przekrój pnia dębu przedstawiający dwie blizny różnego wieku (*strzałki*) spowodowane uderzeniami oberwanych odłamków skalnych na obszarze rumowiska Solana de Santa Coloma [Andorra, wg Lang i in. 1999]

zamarzają, a tak się dzieje niemal wszędzie na peryferiach lądolodów, można mówić o okresowym braku dostawy materiału osadowego do jeziora. W lecie taka dostawa jest znacznie większa, a materiał znacznie grubiej ziarnisty. Na przemian występujące laminy zimowe i letnie tworzą wielowiekowe sekwencje osadów, tzw. **rytmity jeziorne**, które znane są pod tradycyjną nazwą **warw** (**il. 20**).

Jako pierwszy przydatność warw dla oznaczeń upływu czasu geologicznego dostrzegł fizjograf pochodzenia holenderskiego **Gerard Jakob De Geer** (1858–1943). W 1912 roku stworzył tzw. *Szwedzką Skalę Czasu*, która istotnie przyczyniła się do korelacji wiekowej peryglacialnych **glacilimnicznych** osadów plejstocenu z osadami morskimi niższych szerokości geograficznych. Jej pierwsze zastosowanie pozwoliło określić historię geologiczną Skandynawii w ostatnich 5 tys. lat. Dzisiaj datowania **warwochronologiczne**, wspomagane oznaczeniami wieku bezwzględnego, pozwalają prześledzić czas geologiczny do ponad 14 tys. lat wstecz [Pisarska-Jamroży 2012] (**il. 20**).



Il. 20. Warwy i megawarwy glacilimniczne w Dolinie Eberswald, Niemcy [wg Pisarska-Jamroży 2013]

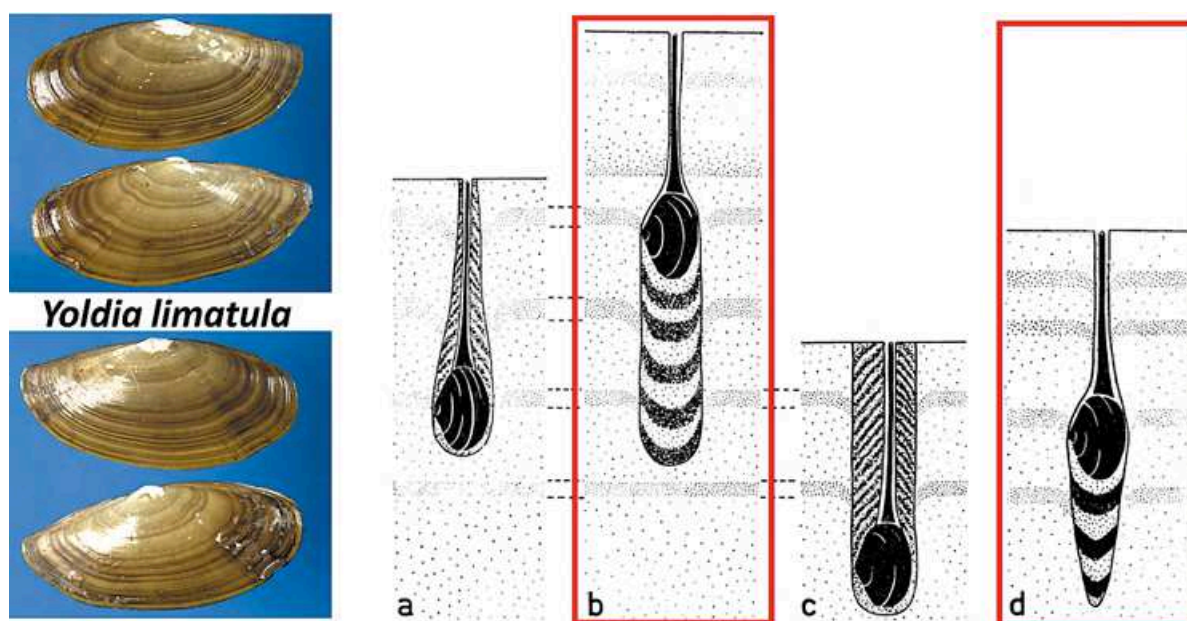
Należy podkreślić, że laminy (rytmity) jeziorne tworzą się również w innych szerokościach geograficznych, np. w strefie międzyzwrotnikowej, gdzie w jeziorach może dochodzić na przemian do sedymentacji organicznej lub detrytycznej. Powstają wtedy **laminy (warwy) organogeniczne**. Czasem jeziora okresowe całkowicie wysychają i wtedy na ich dnie gromadzą się **laminy (warwy) ewaporatowe**. Kopalne osady rytmiczne są niezwykle cenne dla szczegółowych pomiarów czasu geologicznego.

Najkrótsze cykle, jakie wpływają na przebieg sedymentacji, to **cykle lunarne** związane z obrotem Ziemi i oddziaływaniem grawitacyjnym Księżyca na masy wód planetarnych. Wywołane obrotem **plywy morskie**, czyli na przemian zalewanie i odpływ wody z obszarów mórz marginalnych Oceanu Światowego, zwłaszcza na rozległych i słabo nachylonych wybrzeżach, skutkują rytmiczną sedymentacją. **Rytmity pływowe (tidality)** są najbardziej czułym wskaźnikiem czasu geologicznego. Pomiary czasu geologicznego oparte na 12-godzinnych rytmach, a zwłaszcza porównanie liczby rytmów dla różnych okresów geologicznych, pozwoliły między innymi ustalić z dużym prawdopodobieństwem, że okres obrotu Ziemi wydłużył się

i tym samym zmniejszyła się liczba dób w roku astronomicznym. W proterozoiku (ok. 650 Ma) rok miał ok. 400 (+/- 7), co daje przeciętną długość doby w tamtym czasie ok. 21,9 h (+/- 0,4 h) [m.in. Williams 1989, 2000 i 2005]. Co ciekawe, to właśnie grawitacyjne oddziaływanie Księżyca na wodę i jej ruch miałyby być przyczyną spowolnienia obrotu Ziemi [m.in. Hastie 1900]. Trzeba jednak podkreślić, że przedstawione wyżej liczby nie przez wszystkich geologów są akceptowane [por. Mazumder 2004, 2005; Mazumder i Arima 2005].

Skamieniałości śladowe (ichnofosylia)

Podobnie jak ludzie, również i zwierzęta, walcząc przez całe życie o przetrwanie, pozostawiają liczne ślady swoich działań oraz zachowań. Wszelkie ślady, takie jak tropy, ślady żerowania, ślady walki, ślady zamieszkiwania czy ślady ucieczki, o ile zostaną zapisane w osadach, noszą wspólną nazwę **skamieniałości śladowych** lub **ichnofosyliów**. Są one bezcennym zapisem zachowań behawioralnych zwierząt i warunków środowiskowych. Dla pomiaru czasu geologicznego i stratygrafii wydarzeniowej szczególne znaczenie mają ślady ucieczki lub raczej gwałtownego wygrzebywania się zwierząt z osadu (*Fuginichnia*). Ślady takie dowodzą krótkiego czasu depozycji osadu, który musiał gwałtownie przysypać zwierzę żyjące normalnie na powierzchni osadu. Takie okoliczności często mają miejsce w środowisku plażowym i przybrzeżnym, kiedy w trakcie sztormów dostarczane są z lądu duże ilości materiału osadowego, które gwałtownie osadzają się na dnie morza. Za rekordowe uważa się tempo wygrzebywania małży z osadu, które wynosi nawet niecałe 2 minuty przez 1 metr osadu. I chociaż tempo ucieczki zwierzęcia wprost

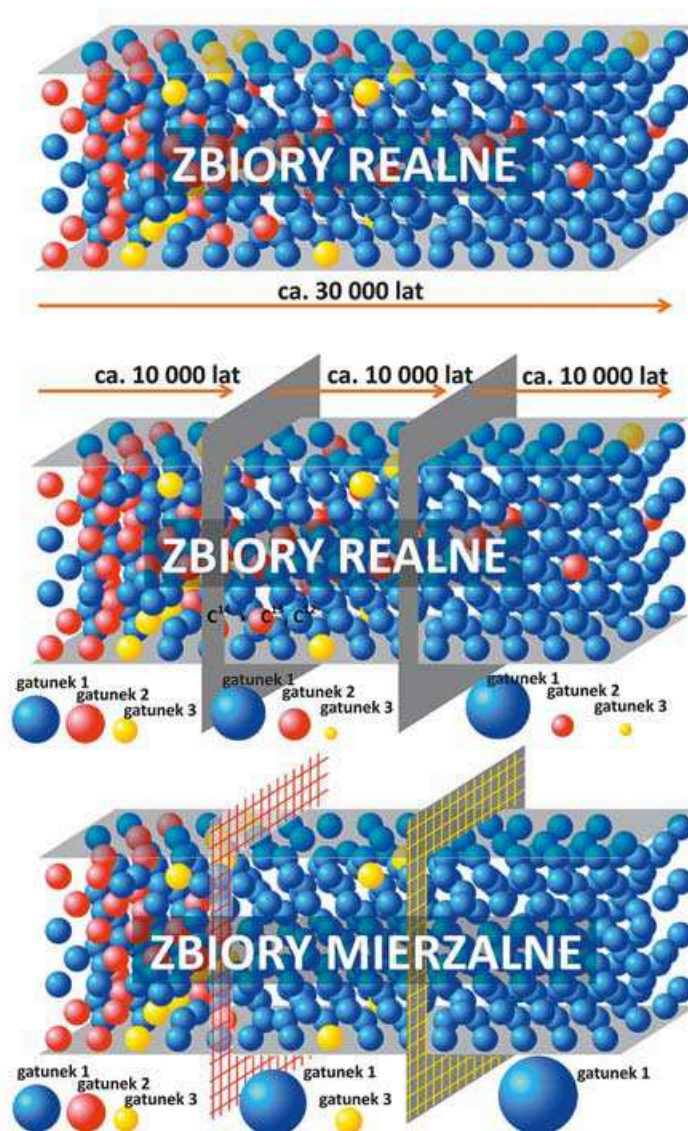


II. 21. Przykłady śladów ucieczki (wygrzebywania się) z osadu małża *Yoldia limatula* [wg Kranz 1987, zmienione]

nie określa tempa depozycji, gdyż zwierzęta zwykle podejmują próbę ucieczki, kiedy uznają, że zagrożenie zasypywaniem minęło (ustanie wzrostu ciśnienia przybywającego nad zwierzęciem osadu), to jednak są to zwykle bardziej godziny niż doby [por. np. Kranz 1987; Buck i Goldring 2003] (il. 21).

Metody biostratygraficzne określania wieku

Pomiar czasu geologicznego, lub raczej ustalanie następstwa czasowego na podstawie **ewolucji** świata roślin i zwierząt, czyli **biostratygrafia**, to najstarsza metoda oceny wieku skał. **Skamieniałości**, o ile występują w osadzie (skale osadowej),



II. 22. Schemat ukazujący różnicę między realnym zbiorem szczątków organicznych a zbiorem zebrany, który stanowi podstawę do biostratygraficznej oceny następstwa czasu geologicznego

jako zachowane szczątki lub ślady organizmów, są dobrym wskaźnikiem wieku. Co więcej, szczątki mogą być wykorzystywane jako materiał do oznaczeń wieku izotopowego, zwłaszcza gdy zawierają węgiel, stront czy tlen z czasu, kiedy pierwiastki te gromadziły się w żywych organizmach. **Tabela biostratygraficzna** jest ciągle uzupełniana odkryciami nowych form życia. Jednak metoda ma nadal małą rozdzielczość, zwłaszcza w zastosowaniu do starszych okresów czasu geologicznego. Z definicji jej zakres sięga początków życia na Ziemi, zatem i możliwości są ograniczone. W najkorzystniejszym przypadku, dla okresów szybkich zmian ewolucyjnych, metoda ma rozdzielczość ca. 10 tys. lat. Wynika to również ze stochastycznych uwarunkowań tzw. **radiacji gatunkowej**. Nie zawsze i nie wszystkie gatunki wykazują dostatecznie globalny zasięg i szybko zachodzące zmiany, aby można je uznać za **przewodnie** (czytaj: **synchroniczne**) dla wszystkich miejsc na Ziemi. Również próba (zbiór), na podstawie której wnioskuje się o następstwie wiekowym poszczególnych gatunków, ciągle się powiększa w miarę nowych odkryć. Niektóre gatunki, po prostu ze względu na swoją liczebność egzemplarzową, nie są widoczne i mierzalne w masie zapisu kopalnego (**il. 22**). Nie zmienia to jednak faktu, że ta najstarsza metoda oceny czasu geologicznego pozostaje nadal metodą ważną, zwłaszcza zaś fascynuje swoim przełożeniem na **historię życia na naszej planecie**.

Podsumowanie

Zmierzając do końca tej, jakże uproszczonej z konieczności, prezentacji metod oceny tempa upływu czasu geologicznego, a zwłaszcza roli zdarzeń geologicznych, których zapis w skałach jest niezwykle cenny, można pokusić się o zestawienie rozdzielczości zapisu. Tak więc izotopowe metody pomiaru upływu czasu dają nam, poza metodą radiowęglową, rozdzielczość nie większą niż ok. 100 tys. lat. Biostratygraficzna ocena następstwa czasowego ma rozdzielczość o rząd niższą, czyli ok. 10 tys. lat. Metody opierające się na cykliczności procesów na powierzchni Ziemi mają rozdzielczość od 1 roku (roczne rytmy warwowe, przyrosty słoje w pniach drzew) do 0,5 doby (12-godzinne rytmy pływowe). Największą rozdzielczość mają metody oparte na zdarzeniach geologicznych. Bardzo dużą rozdzielczość pomiaru dają niektóre skamieniałości śladowe (minuty). Jednak rekordowe pod tym względem są struktury i osady związane z transportem masowym, trzęsieniami ziemi i impaktami, o których nieco więcej w przyszłości...

Poza rozdzielczością drugą ważną cechą stosowanych metod pomiaru czasu geologicznego jest ich zakres. Część metod, w tym zdarzeń, związana z życiem na Ziemi ma z definicji ograniczony zasięg wstecz do momentu pojawienia się pierwszych organizmów (nie materii organicznej!). Inne metody, choćby wszystkie ślady zapisu zachowania się wody w Oceanie Światowym, mają sens tylko dla okresu,

kiedy na Ziemi istnieje hydrosfera. Tylko komplementarne stosowanie wszelkich dostępnych i możliwych metod pozwala nam rekonstruować krok po kroku życie naszej planety.

Bibliografia

- Ager D. (1995). *The New Catastrophism: The Importance of the Rare Event in Geological History*, Published by Cambridge University Press, 252 p.
- Aigner T. (1982). *Calcareous Tempestites: Storm-dominated Stratification in Upper Muschelkalk Limestones (Middle Trias, SW-Germany)*, [in:] G. Einsele, A. Seilacher (eds.), *Cyclic and Event Stratification*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Aleksandrowski P., Śliwiński W., Wojewoda J. (1986). *Frontally and surficially fluidized slump to debris flow sheets in an alluvial sequence, Lower Permian, Intrasudetic Basin*, [in:] A.K. Teisseyre (ed.), *7th IAS Regional Meeting, Excursion Guidebook, Excursion A-1*, pp. 9–29, Committee of Geological Sci., Polish Academy of Sciences, Ossolineum.
- Cita M.B., Aloisi G. (2000). *Deep-sea tsunami deposits triggered by the explosion of Santorini (3500 y BP), eastern Mediterranean*, *Sedim. Geol.*, 135: 181–203.
- Cita M.B., Camerlenghi A. (1985). *Effetti dell'eruzione minoica di Santorino sulla sedimentazione abissale olocenica nel Mediterraneo Orientale*, *Atti Acc. Lincei Rend. Fis.*, 8 (77): 177–187.
- Darwin C. (1846). *The geology of the voyage of the Beagle, part 3: Geological observations on South America*, Smith, Elder and Co., London, 279 p.
- Dott R.H. (1983). *Episodic sedimentation – How normal is average? How rare is rare? Does it matter?*, *Journal of Sedimentary Petrology*, 53 (1): 5–23.
- Dott Jr. R.H. (1996). *Episodic event deposits versus stratigraphic sequences—shall the twain ever meet?*, *Sedimentary Geology*, 104: 243–247.
- Dott R.H. (1998). *What Is Unique About Geological Reasoning?*, *GSA Today*, 8 (10): 15–18.
- Gretener P.E. (1967). *Significance of the Rare Event in Geology*, *AAPG Bull.*, 51: 2197–2206.
- Gretener P.E. (1984). *Reflections on the “rare event” and related concepts in geology*, [in:] W.A. Berggreen, J.A. Van Couvering (eds.), *Catastrophes and Earth History. The New Uniformitarianism*, Princeton University Press, pp. 77–89.
- Hastie W. (ed.) (1900). *Kant's Cosmogony. As in his Essay on the Retardation of the Rotation of the Earth and his Natural History and Theory of the Heavens* (tłum. niem.), 205 p., Maclehose, Glasgow, Scotland.
- Hieke W. (1984). *A thick Holocene homogenite in the Ionian Abyssal Plain (Eastern Mediterranean)*, *Marine Geology*, 55: 63–78.
- Kaczorowski M., Wojewoda J. (2011). *Neotectonic activity interpreted from a long water-tube tiltmeter record at the SRC geodynamic laboratory in Książ, Central Sudetes, SW Poland*, *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 8 (3): 1–13.
- Lampert L. (1978). *Time, clocks, and the ordering of events in a distributed system*, *Communications of the ACM*, 21: 558–565.
- Lang A., Moya J., Corominas J., Schrott L., Dikau R. (1999). *Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements*, *Geomorphology*, 30: 33–52.
- Laube G.C. (1883). *Das Erdbeben von Trautenau am 31q. Jänner 1883*, *Jahrbuch Kaiserlich-Königlichen Geol. Reichsanst.*, 33: 331–372.
- Lyell C. (1833). *Principles of Geology*, reprinted excerpt, 3: 263–267.
- Mastalerz K., Wojewoda J. (1990). *Stožek aluwialny Pre-Kaczawy – przykład sedimentacji w czynnej strefie przesuwczej, plio-plejstocen, Sudety*, *Przegląd Geologiczny*, 449: 363–370.

- Mastalerz K., Wojewoda J. (1992). *Stożek aluwialny Pre-Kaczawy – przykład sedymentacji w czynnej strefie przesuwczej, plio-plejstocen, Sudety*, odpowiedź na dyskusję, Przegląd Geologiczny.
- Mastalerz K., Wojewoda J. (1993). *Alluvial-fan sedimentation along an active strike-slip fault: Plio-Pleistocene Pre-Kaczawa fan, SW Poland*, [in:] M. Marzo, C. Puigdefabregas (eds.), *Alluvial Sedimentation*, Special Publications Int. Ass. Sediment., 17: 293–304.
- Mazumder R. (2004). *Implications of lunar orbital periodicities from Chaibasa tidal rhythmite of late Palaeoproterozoic age*, *Geology*, 32 (10): 841–844.
- Mazumder R. (2005). *Reply to the comment of G. Williams on “Tidal rhythmites and their implications” by R. Mazumder and M. Arima*, *Earth-Science Reviews*, 69: 79–95.
- Mazumder R., Arima M. (2005). *Tidal rhythmites and their implications*, *Earth-Science Reviews*, 69: 79–85.
- Miall A.D. (2012). *A new uniformitarianism: stratigraphy as just a set of “frozen accidents”*, Preprint in preparation for Geological Society, London, Symposium “Strata and Time”, September 2012, 33 p.
- Rodriguez-Pascua M.A., Calvo J.P., De Vicente G., Gomez-Gras D. (2000). *Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene*, *Sedimentary Geology*, 135: 117–135.
- Pazdur A., Bluszcz A., Stankowski W., Starkel L. (1999). *Geochronologia górnego czwartorzędu Polski*, WIND J. Wojewoda, Wrocław.
- Richter C.F. (1935). *Bulletin of the Seismological Society of America*, Seismological Society of America, 25 (1–2): 1–32.
- Schmitz M.D., Kuiper K.F. (2013). *High-Precision Geochronology*, *ELEMENTS*, 9: 25–30.
- Schoene B., Condon D.J., Morgan L., McLean N. (2015). *Precision and Accuracy in Geochronology*, *ELEMENTS*, 9: 19–24.
- Schumm S.A., Chorley R.J., Sugden D.E. (1985). *Geomorphology*, New York, Methuen, 413 p.
- Seilacher A. (1969). *Fault-graded beds interpreted as seismites*, *Sedimentology*, 13: 155–159.
- Seilacher A. (1984). *Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events*, *Marine Geology*, 55: 1–12.
- Varnes D. (1958). *Landslide types and processes*, [in:] E.B. Eckel (ed.), *Landslides and engineering practice*, Highway Research Board, Special Report 29, pp. 20–47.
- Walanus A., Goslar T. (2009). *Datowanie radiowęglowe*, Wydawnictwo AGH, 148 p.
- Williams G.E. (1989). *Tidal rhythmites: geochronometers for the ancient Earth-Moon system*, *Episodes*, 12: 162–171.
- Williams G.E. (2000). *Geological constraints on the Precambrian history of Earth’s rotation and the Moon’s orbit*, *Reviews of Geophysics*, 38 (1): 37–59.
- Williams G.E. (2005). *Comment on “Tidal rhythmites and their implications” by R. Mazumder, M. Arima* [*Earth-Science Reviews*, 69 (2005), pp. 79–95], *Earth-Science Reviews*, 72: 113–117.
- Wojewoda J. (1986). *Fault scarp induced shelf sand bodies in Upper Cretaceous of Intrasedimentary Basin*, [in:] A.K. Teisseyre (ed.), *7th IAS Regional Meeting*, Excursion Guidebook, Excursion A–1, pp. 31–52, Committee of Geological Sci., Polish Academy of Sciences, Ossolineum.
- Wojewoda J. (1987). *Sejsmotektoniczne osady i struktury w kredowych piaskowcach niecki śródsudetyckiej*, *Przegląd Geologiczny*, 408: 169–175, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Wojewoda J. (1997). *Upper Cretaceous littoral-to-shelf succession in the Intrasedimentary Basin and Nysa Trough, Sudety Mts*, [w:] J. Wojewoda (red.), *Obszary źródłowe: Zapis w osadach*, t. 1, s. 81–96, WIND, Wrocław.
- Wojewoda J. (2008). *Komory dyfuzyjne – przykład zróżnicowanej reologicznie reakcji osadu ziarnistego na wstrząs sejsmiczny*, *Przegląd Geologiczny*, 56 (9): 842–847, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Wojewoda J. (2009). *Palaeoseismicity in the Sudetes*, 10th Czech-Polish Workshop On Recent Geodynamics of the Sudeten and Adjacent Areas, 5–7.11.2009, Szklarska Poręba, Poland.

- Wojewoda J., Burliga S. (2008). *Dajki klastyczne i brekcie sejsmotektoniczne w utworach permu basenu Nachodu*, Przegląd Geologiczny, 56 (9): 857–862, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Wojewoda H., Wojewoda J. (1988). *Planar Diffusional Cell – a Mathematical Model*, Zeitschrift für Geologische Wissenschaften, 12/14: 1150–1152, Akademie-Verlag, Berlin.
- Wojewoda J., Białek D., Bucha M., Głuszyński A., Gotowała R., Krawczewski J., Schutty B. (2011). *Geologia Parku Narodowego Gór Stołowych – wybrane zagadnienia (Geology of the Góry Stołowe National Park – selected issues)*, [w:] T. Chodak, C. Kabała, J. Kaszubkiewicz, P. Migoń, J. Wojewoda (red.), *Geoekologiczne warunki środowiska przyrodniczego Parku Narodowego Gór Stołowych*, WIND, Wrocław, s. 53–96.
- Wood H.O., Neumann F. (1931). *Modified Mercalli intensity scale of 1931*, Bulletin of the Seismological Society of America (Seismological Society of America), 21: 277–283.
- Zenger D.H. (1970). *The role of rapid events in Earth history*, Journal of Geological Education, 18: 42–43.