

**Materiały dodatkowe, przygotowane na potrzebę zdalnej realizacji zajęć projektowych z *Wybranych działów geodezji fizycznej i geodynamiki* (zajęcia nr 5 – rok akademicki 2019/2020)**

Marcin Rajner

## **Przegląd zjawisk geodynamicznych powodujących deformację skorupy Ziemskiej**

### **0.1. Wstęp**

Poniżej znajduje się tekst, w którym zawieram najważniejsze rzeczy, które chciałbym Państwu przekazać podczas zajęć 5. Jest to przewodnik do załączonych prezentacji wprowadzających do problemu geodynamiki i jej znaczenia w geodezji. Wydaję mi się, że w przypadku akurat tych zajęć, stworzenie opisu jest bardziej uzasadnione i pozwoli na lepsze zrozumienie tematu, oraz będzie łatwiejsze w powracaniu do wybranych fragmentów, niż nagrywanie specjalnego filmu, czy relacja na żywo. W następnych zajęciach forma prezentacji może ulec zmianie.

### **0.2. Zadanie domowe**

Zajęcia 5 *nie kończą* się zadaniem domowym, ale materiał oczywiście obowiązuje przy końcowym zaliczeniu.

### **0.3. Literatura**

W całej części związanej z zadaniami geodynamicznymi brak jest polskojęzycznej literatury. Dlatego będziemy bazować tylko na tym co Państwu przedstawiam na tych zajęciach. Kilka pozycji literaturowych można znaleźć w sylabusie przedmiotu na stronach PW. Osoby nadzwyczaj zainteresowane tymi problemami proszę o kontakt bezpośredni i na pewno wskaże im bardziej zaawansowaną literaturę.

## **1. Spektrum czasowo-przestrzenne zjawisk geodynamicznych**

Na stronie [http://www.grat.gik.pw.edu.pl/dydaktyka/2019\\_2020\\_lato/wdg/pliki.html](http://www.grat.gik.pw.edu.pl/dydaktyka/2019_2020_lato/wdg/pliki.html) udostępnione były dwa pliki. Załączyłem je nieco wcześniej niż ten tekst, aby samodzielnie zastanowić się na prezentowanymi lakonicznymi treściami, bez dodatkowych wskazówek. Poniżej wyjaśniam znaczenie i podkreślam najważniejsze kwestie prezentowane na tych slajdach. Ze względu na pseudoanimacje na kolejnych slajdach, najlepiej oglądać ten plik w trybie prezentacji. W pierwszym pliku (link) przedstawione są kolejno:

- strona 1 Przedstawienie samej dziedziny geodynamiki w relacji do innych nauk. Etymologicznie łatwo wyjaśnić, że geodynamika obejmuje zjawiska dotyczące dynamiki Ziemi, bardzo pojemne określenie, stąd i granice tej dyscypliny nie są bardzo wyraźne. Jest to zdecydowanie oddzielna dziedzina, ale wiążąca się bardzo ściśle i przenikająca się z geofizyką i geologią.

- strona 2 Warto również dodać silny związek zjawisk geodynamicznych z geodezją. I jest to sprzężenie zwrotne, jako że geodezja jest często jedyną jakościową lub ilościową metodą badania zjawisk geodynamicznych. Z drugiej strony znajomość zjawisk geodynamicznych i ich odpowiednie modelowanie, jest niezbędne w redukcji obserwacji geodezyjnych.
- strony 3 – 10 przedstawiają skalę czasową i przestrzenną wybranych zjawisk geodynamicznych. Na osi poziomej przedstawiona jest skala przestrzenna w kilometrach, a na osi pionowej skala czasowa w latach. Uwaga, są to skale **logarytmiczne**. W lewym dolnym rogu są zjawiska szybkie i lokalne, a w prawym górnym zjawiska długookresowe, wiekowe i wielkoskalowe. Większość z nazw zjawisk geodynamicznych, które pojawiają się na tych elipsach (obszary te schematycznie wskazują na możliwą rozpiętość czasową i przestrzenną) są prawdopodobnie zrozumiałe. Do niektórych enigmatycznie brzmiących nazw wrócimy za chwilę przy opisywaniu kolejnego pliku.
- strony 11 – 16 pokazują, że metody geodezyjne są doskonałym źródłem (często jedynym) poznawania tych zjawisk. Przy odpowiednich elipsach do nazw ze stron 3-10 wymienione są nazwy technik geodezyjnych pozwalających na monitorowanie odpowiednich zjawisk geodynamicznych.
- strona 17 podkreśla „wspaniałość” współczesnych technik geodezji satelitarnej i kosmicznej<sup>1</sup>, które pozwalają na lepsze lub gorsze, ilościowe badanie *całego spektrum* zjawisk geodynamicznych. Jest to rzeczywiście wyjątkowa sposobność w geodynamice, którą mamy raptem od kilkudziesięciu lat.

## 2. Efekty deformacyjne powodowane przez wybrane zjawiska geodynamiczne

W drugim, bardzo dużym udostępnionym pliku<sup>2</sup> (link) znajduje się nieco bardziej przystępne przedstawienie *charakteru czasowo-przestrzennego* wybranych zjawisk geodynamicznych. Tutaj także omówimy sobie szczegółowo mechanizmy działania i powstawania tych zjawisk. Ważne jest, jeszcze raz to podkreślę, aby tych animacji oczywiście nie uczyć się na pamięć (!?), tylko potraktować jako wizualnie estetyczną przedstawienie amplitud i charakteru czasowo-przestrzennego wybranych zjawisk geodynamicznych ułatwiające zrozumienie załączonego opisu.

Proszę pamiętać, że w tej prezentacji przedstawiam **deformacyjne efekty** zjawisk geodynamicznych, który jest najłatwiejszy w zrozumieniu i interpretacji, i określeniu znaczenia danego zjawiska w geodezji (czy dane zjawisko powoduje zmiany współrzędnych metrowe, centymetrowe, czy w ogóle znikome i w praktyce pomijalne). Tak naprawdę każde z tych zjawisk powoduje nie tylko geometryczne zmiany kształtu powierzchni Ziemi, ale także powoduje zmiany pola siły ciężkości czy ruchu obrotowego Ziemi — pamiętajcie jednak, że to co widzicie to za każdym razem jest efekt deformacyjny po-

<sup>1</sup> Myślę, że te akronimy przedstawione na slajdzie powinny być Państwu znane. Jeżeli nie to proszę o informacje lub odpowiednie zapytanie w wyszukiwarce.

<sup>2</sup> UWAGA: aby prawidłowo wyświetlić tę prezentację z odpowiednimi animacjami, należy skorzystać z przeglądarki plików Adobe (darmowe), niestety nie wszystkie lekkie i proste przeglądarki plików pdf mogą sobie z tym poradzić. Do obsługi animacji służą przyciski pod mapami.

wodowany przez zjawisko geodynamiczne. Ponadto wielkości, które w tej prezentacji są przedstawione policzone są na podstawie konwencjonalnych modeli i oddają realne zmiany deformacyjne powodowane przez poszczególne zjawiska geodynamiczne.

Na kolejnych stronach w tej prezentacji znajdujemy:<sup>3</sup>

strona 2 Na tej stronie zatrzymajmy się chwilę dłużej, gdyż odpowiednie przedstawienie koncepcji graficznej ułatwi odczytanie kolejnych map.

Każda animacja pokazuje efekt deformacyjny wybranego zjawiska. Zawsze to będzie tylko jedno zjawisko na slajd, wyjątkiem jest tylko właśnie ta strona 2.

Wszystkie mapy są zaprezentowane w ten sposób, że z lewej strony jest przedstawione zjawisko w skali globalnej<sup>4</sup>, a z prawej strony dla terytorium Polski. Pozwoli to na szybkie rozeznanie czy dane zjawisko jest również ważne dla naszej szerokości i długości geograficznej. Natomiast mapy różnią się w kierunku pionowym prezentowaną składową deformacji. Jest to kolejno składowa wysokościowa ( $U$ ), północna ( $N$ ) oraz wschodnia ( $E$ ). Wartości amplitud oznaczone są skalą barwną, przy czym są dwie skale barwne, oddzielnie dla tej prezentacji globalnej i Polski. Proszę uważać na jednostki tych skal na różnych slajdach, gdyż niektóre zjawiska mogą powodować deformacje skorupy ziemskiej rzędu kilkudziesięciu centymetrów, a niektóre mogą być subtelne i załączone tylko dla kompletności opracowania, i mieć wartości milimetrowe. Rząd i znaczenie tego zjawiska powinien być jedną z pierwszych kwestii, na którą powinniście zwrócić uwagę.

Co również istotne, skala barwna dla jednej ze stron jest dokładnie taka sama dla wszystkich składowych. Zobacz Państwo później, że będzie to powodować małą liczbę szczegółów dla składowych horyzontalnych, ze względu na to że w większości zjawisk geodynamicznych pionowe deformacje skorupy ziemskiej są zazwyczaj znacznie większe (3-4 krotnie) w kierunku horyzontalnym. Jest to jednak celowy zabieg pozwalający na szybkie graficzne porównanie amplitud pomiędzy różnymi składowymi.

Aby dać odpowiednie wyobrażenie o skali czasowej prezentowanych zjawisk na dole przedstawiona jest ruchoma data. To daje szybkie wskazanie, czy zjawiska są długookresowe, wiekowe (lata), czy szybkozmienne (kilka razy na dobę).

W tytule animacji mamy nazwy prezentowanych zjawisk, które poniżej objaśnię. Na tej stronie mamy zaprezentowane dwa zjawiska (wyjątkowo), tzn. zjawisko wypiętrzania post-lodowcowego (składowa pionowa), oraz ruch płyt kontynentalnych (składowe horyzontalne). Można to przedstawić na jednym obrazku, ponieważ zmiany współrzędnych poziomych powodowanych przez zjawiska postlodowcowe są znikome

<sup>3</sup> Ta prezentacja przygotowana była dawno temu na sympozjum geodynamiczne, ale ze względu na jej walory dydaktyczne wykorzystuję ją tutaj. Opisuje poniżej tylko **niektóre** ze stron, pozostałe możemy pominąć, nie chodzi tutaj o jak najwyższy poziom szczegółowości prezentowanych treści, tylko o ogólne rozeznanie.

<sup>4</sup> UWAGA równik nie przebiega przez środek tej mapy, ponieważ wycięta jest większa część obszarów południowych niż północnych, wynika to z tego że modelowanie wielu z prezentowanych zjawisk — głównie obciążeniowych — nie jest poprawne w obszarach okołobiegunowych.

(ale nie zerowe), a w przypadku ruchu płyt kontynentalnych w ogóle nie ma mowy o zmianach wysokości. W podtytule są nazwy różnych modeli geofizycznych, lub źródeł danych środowiskowych, na podstawie których policzone zostały te deformacje, ale to ma drugorzędne znaczenie i nie będziemy na razie na to zwracać uwagi.

Pierwsze zjawisko, nazwane izostazją, jest wynikiem obecności olbrzymich mas lodowych podczas ostatniego zlodowacenia (kilkanaście tysięcy lat temu). Pojęcie izostazji (*równowagi*) jest nieco szersze, jeden z efektów które są na mapie zaznaczone (górną rzad – składowe wysokościowe) nazywane jest również wypiętrzaniem postlodowcowym. W skrócie polega to na tym, że obserwujemy „echo” dawnego obciążenia skorupy ziemskiej. Obrazowo można to przedstawić w ten sposób,

- jest pewien stan początkowy,
- pojawiają się olbrzymie masy obciążające — lądolody,
- Ziemia nie jest sztywna<sup>5</sup> i ulega deformacji, tzn. poziom obniża się bezpośrednio pod źródłem obciążenia,
- obciążenie znika (lądolody ustępują), skorupa ziemska wraca do swojego poprzedniego kształtu, stąd wypiętrzanie.

Wypiętrzanie postglacjalne jest tutaj wyjątkowe, ponieważ jest to zjawisko lepko-elastyczne. I tak naprawdę powrót do figury równowagi wciąż trwa, mimo że lądolody całkowicie ustąpiły kilka tysięcy lat temu. Jest to wynik, bardzo długiego oddziaływania obciążeń skorupy i ich dużych wartości, stąd istotne w tym procesie są także właściwości astenosfery i jej olbrzymiej lepkości. Można by to porównać do położenia małego obciążenia na bardzo gęstym i lepkim miodzie. Będzie to obciążenie powoli coraz niżej i niżej, a kiedy je zabierzemy to powierzchnia miodu nie wróci natychmiast do swojego pierwotnego kształtu, tylko to będzie powolny etap, tym dłuższy im większa lepkość. Pozostałe efekty obciążeniowe (atmosferyczny czy hydrosferyczny) będą zjawiskami całkowicie elastycznymi, tzn. pojawia się dodatkowe obciążenie, jest natychmiastowa reakcja (ugięcie skorupy ziemskiej), a kiedy to obciążenie zabierzemy to znowu widzimy natychmiastowy powrót do poprzedniego kształtu. Tutaj możemy zastosować analogię do napompowanego balonika, który naciskamy palcem. Naciskamy i efekt jest natychmiastowy, zabieramy i odprężenie i powrót do poprzedniego kształtu również jest natychmiastowy. Także jeszcze raz podkreślam lepko-elastyczność wypiętrzania postlodowcowego (polodowcowego, ang. *post-glacial rebound*). Nadzwyczaj ciekawe, ale również skomplikowane zjawisko pozwalające na wykorzystywanie współczesnych metod geodezji do rekonstrukcji (albo wspomaganie rekonstrukcji) zasięgów i miąższości zlodowacenia plejstoceniowego. Można żartobliwie nazwać nawet te zadania paleogeodezją<sup>6</sup>.

Same wartości tego zjawiska mogą sięgać nawet **dwóch centymetrów na rok** (północna Kanada, okolice zatoki Hudsona) lub ok. jednego centymetra (fenoskandia, północna część zatoki botnickiej). I właściwie

---

<sup>5</sup> To jest najważniejsze przesłanie naszych zajęć

<sup>6</sup> Nie ma takiej dyscypliny w rzeczywistości.

te zjawiska są bardzo istotne głównie w tych rejonach. Jeżeli chodzi o terytorium Polski to te efekty są znikome, nie większe niż kilka dziesiętnych milimetra na rok w przypadku północnej Polski (tylko ostatnie zlodowacenie jest istotne, które akurat nie obejmowało naszych szerokości geograficznych).

W przypadku składowych poziomych, prezentowane są zmiany współrzędnych (czyli rzecz nadzwyczaj istotna w geodezji) powodowane przez ruch płyt tektonicznych. Są to zmiany rzędu nawet kilkudziesięciu centymetrów na rok (!), a w przypadku Polski, która jest na płycie euroazjatyckiej jest to ok. 2-3 centymetrów na rok w kierunku północno-wschodnim.

Jeżeli zwrócimy uwagę na skale czasową (na dole), to zauważymy, że prezentowane na tej stronie zjawiska są wiekowe, ale zmiany skumulowane w ciągu tych kilku pokazanych lat są naprawdę istotne, kilkanaście centymetrów i więcej.

strona 3 przedstawia zmiany wysokości i współrzędnych horyzontalnych powodowanych przez zjawisko pływów skorupy ziemskiej. Do tego zjawiska wrócimy jeszcze na zajęciach 7 i szczegółowo o nim opowiemy. Prawdopodobnie pewne informacje na ten temat posiadają Państwo z kursu geodezji wyższej z pierwszego stopnia. W skrócie, efekty pływowe to zjawiska powodowane przez różnicowe oddziaływanie ciał zewnętrznych. Praktycznie głównie przez Księżyc i Słońce (w tej kolejności). Siły grawitacyjne wywoływane przez te ciała są różne w różnych miejscach Ziemi. Słowo *różnicowe* ma tu kluczowe znaczenie. I tak jak pływy oceaniczne są wszystkim dobrze znane i spektakularne w obserwacji, to również Ziemia jako całość podlega działaniom sił pływowych co powoduje istotne zmiany kształtu Ziemi (istotne w geodezji – kilkadziesiąt centymetrów, ale te zmiany względem rozmiarów samej Ziemi są znikome). Obserwowany na tej animacji charakter przestrzenny jest w miarę regularny i związany jest on ze względnym położeniem Księżyca i Słońca względem obserwatora na Ziemi. Zwróćcie uwagę, że jest to zjawisko szybko-zmienne, dominujące okresowości związane są z ruchem obrotowym wokół własnej osi, stąd pojawiają się dominujące pływy dobowe i pół-dobowe.

Ciekawostka: my naprawdę wędrujemy **kilkadziesiąt centymetrów** w dół i górę dwa razy na dobę względem środka Ziemi. Jest to jednak niewidoczne i nieodczuwalne, ze względu na to, że jest to zjawisko wielkoskalowe i nie mamy punktu odniesienia, do „wyczuwania” tych zmian.

strona 4 Tutaj nie chodzi o same pływy oceaniczne, które są przedmiotem zainteresowania oceanografów. Pośredni efekt pływów oceanicznych to zjawisko deformacji skorupy ziemskiej pod wpływem zmiennego obciążenia masami wodnymi, wynikające z samych pływów oceanicznych i morskich (stąd ta pośredniość w nazwie). Tłumacząc:

- zwiększa się wysokość poziomu wody na skutek pływu oceanicznego,
- więcej wody, to większy nacisk na dno oceaniczne,
- nacisk powoduje elastyczne ugięcie skorupy ziemskiej.

Analogicznie jeżeli poziom wody się obniża, skorupa jest odciążona i się odpręża (wysokość rośnie). Zwróćcie uwagę, że oczywiście wartości deformacyjne pośredniego efektu pływów oceanicznych jest rzeczywiście największy w przypadku dna oceanicznego (tam gdzie obciążenie występuje), ale nie są zerowe również w przypadku obszarów kontynentalnych. Wynika to z tego, że skorupa jest ciągła i obciążenie w jednym miejscu, powoduje również (znacznie mniejsze ale jednak) ugięcie również dalej od obciążenia. Wracając do analogi napompowanego balonika. Ugięcie będzie największe pod naszym palcem, ale również niezerowe w bezpośrednim sąsiedztwie. To ugięcie będzie oczywiście bardzo szybko malało wraz ze wzrostem odległości od źródła obciążenia. Stąd też zmiany współrzędnych w obszarach wybitnie kontynentalnych będą niewielkie, ale na wybrzeżach mogą już sięgać **kilku centymetrów**. Również na obszarze Polski, mimo że Bałtyk jest morzem bezpływowym, obserwujemy kilkumilimetrowe zmiany wysokości i są to wielkości „widzialne” (widzialne dla geodezji). Sam charakter przestrzenny jest bardzo złożony, tak jak charakter przestrzenny samych pływów oceanicznych. Jeżeli chodzi o częstotliwości to podobnie jak w przypadku pływów skorupy ziemskiej są to głównie częstotliwości pół-dobowe i dobowe.

Zauważmy, że tutaj, jak i na poprzednim slajdzie zmiany współrzędnych horyzontalnych są znacznie mniejsze niż wysokościowych, ale niezerowe. Wracając do naszego balonika, możemy to opisać jako naciąganie skorupy ziemskiej w kierunku obciążenia.

strona 7 Oś obrotu zmienia położenie. O ile zmiana orientacji w układzie niebieskim nazywa się precesją i nutacją, to zmiana samego położenia osi Ziemi względem skorupy ziemskiej nazywa się ruchem bieguna. Oś obrotu zmienia swoje położenie, a zatem odległości różnych punktów na powierzchni Ziemi od tej osi się zmieniają. Powoduje to zmiany wartości siły odśrodkowej, a tym samym kształt Ziemi „dopasowuje się” do nowego, tymczasowego, pola siły ciężkości. Zmiany kształtu to wartości prawie **centymetrowe** (!). Zwraca też uwagę, że jest to zjawisko w pełni symetryczne względem równika, a największe efekty obserwujemy na umiarkowanych szerokościach geograficznych. Dominujące częstotliwości to 14 miesięcy (okres Chandlera) i rok (okres Eulera).

Ciekawostka: jak będziecie na biegunie południowym i zobaczycie marker „czubka Ziemi” to chwilowe położenie bieguna może być nawet kilka metrów dalej.

strona 8 zjawisko niemalże bez znaczenia, (zwróćcie uwagę na amplitudy submilimetrowe), ale ciekawe. Ruch bieguna powoduje zmiany siły odśrodkowej, a zatem ocean dostosowuje się do nowej powierzchni ekwipotencjalnej, a to powoduje zmianę rozmieszczenia mas wodnych, a tym samym zmienia obciążenie, a na skutek tego efekty deformacyjne<sup>7</sup>.

strona 9 To co jest na stronie 9 i to będzie przedmiotem (w uproszczonej wersji) naszych następnych zajęć. Tutaj obserwujemy zmiany deformacyjne

---

<sup>7</sup> Tak, wiem że gramatycznie to zdanie jest fatalne, ale pokazuje jak wieloaspektowe są te zjawiska

wywolywane przez zmienne ciśnienie atmosferyczne. Niesamowite, powietrze którego istnienie nie odczuwamy specjalnie na co dzień, powoduje deformacje skorupy ziemskiej **kilkucentymetrowe**. Mechanizm działania jest prosty, zwiększa się ciśnienie atmosferyczne, a tym samym obciążenie skorupy, a więc wysokość punktów maleje. W przypadku mniejszego ciśnienia, nasza wysokość rośnie. Jest to prosty ciąg przyczynowy skutkowy dający pojęcie o mechanizmie działania tego zjawiska. Oczywiście diabeł tkwi w szczegółach i aby policzyć deformacje wywoływana przez obciążenia atmosferyczne należy wziąć pod uwagę rozkład ciśnienia wokół stacji do odległości nawet setek i tysięcy kilometrów (albo nawet na całej Ziemi). Na animacji pokazany jest mniej więcej miesiąc i wskazuje to, że dominujące częstotliwości zmian deformacyjnych tego efektu to częstotliwości synoptycznych zmian pogody.

Czy zauważyliście ciekawą charakter przestrzenny tego zjawiska? Jeżeli nie, to nie czytajcie na razie dalej tylko wróćcie do prezentacji i przyjrzyjcie się jeszcze raz.

Tak to prawda, zmiany deformacyjne są największe na umiarkowanych szerokościach, to wynika z tego, że same zmiany ciśnienia są tam po prostu większe. Ale być może zauważył ktoś jeszcze, że zmiany deformacyjne są największe nad powierzchniami kontynentalnymi, a dużo mniejsze na dnie oceanicznym. Dlaczego (znowu proszę się wstrzymać z czytaniem i zastanowić)? Zmiany ciśnienia „nie widzą” granicy ląd/ocean i są również tak samo duże nad powierzchniami oceanów. To że deformacje są tam mniejsze wynika z tego, że ocean „buforuje” te zmiany ciśnienia i nie są one przekazywane (albo są mocno stłumione) na dno oceaniczne. Nazywa się to hipotezą odwróconego barometru (ang. *inverted barometer*). Objaśniam:

- ciśnienie nad powierzchnią oceanu rośnie,
- powoduje to obniżenie się poziomu wody (ok. 1 centymetr na 1 hektopaskal),
- sumaryczne ciśnienie atmosferyczne i słupa wody na powierzchni oceanu się nie zmienia,
- zmiany ciśnienia nad powierzchnią oceanów nie wpływają na zmiany deformacyjne.

Oczywiście jeżeli ciśnienie atmosferyczne maleje, poziom wody rośnie. Jeszcze raz podkreślam, jak olbrzymie są siły przyrody powodujące deformacje. Zobaczymy to na następnych zajęciach, ale żadne antropogeniczne działania nie byłyby nawet w stanie powodować, mierzalnych w skali globalnej, efektów deformacyjnych.

strona 10 Drugim istotnym czynnikiem powodującym obciążeniowe deformacje skorupy ziemskiej jest zmienna zawartość wody kontynentalne (czasem mówi się nie do końca poprawnie o obciążeniach hydrologicznych, tak jak w tytule slajdu). Polega to na tym, że rozmieszczenie wody kontynentalnej zmienia się (głównie zgodnie z cyklem klimatycznym, rocznym). Powoduje to dość regularny cykl zmiany wysokości. Na przykład w Polsce kiedy tej wody jest najwięcej, wczesną wiosną czy późną zimą, skorupa jest najbardziej obciążona, jesteśmy niżej. Późnym

latem/wczesną jesienią jest najbardziej sucho, mniejsze obciążenie powoduje oczywiście wzrost wysokości. Ta rozpiętość roczna w Polsce to około **jeden centymetr**. W zlewiskach wielkich rzek te deformacje mogą sięgać nawet **kilku centymetrów**. Pod pojęciem wód kontynentalnych rozumiemy wody we wszelkiej postaci (naziemne, podziemne, śnieg, wilgotność gleby, woda zawarta w biomase itd.).

### 3. Podsumowanie

Jeszcze raz chciałbym podkreślić, że te zajęcia mają zapoznać Państwa z różnymi (w większości nowymi) zjawiskami, ich mechanizmem, wartościami deformacji, które powodują, i ich skalą czasową i przestrzenną. Mam nadzieję, że nawet jeżeli geodynamika nie jest Waszą pasją, to przynajmniej kilkukrotnie byliście zdumieni tymi zjawiskami, o których do tej pory nigdy nie słyszeliście.

Ważna informacja, której celowo na początku nie podałem: już wiemy, że te deformację to rząd nawet prawie metrowy w wybranych przypadkach. Jest to **olbrzymia** wartość w kontekście dokładności współczesnych technik geodezji satelitarnej i kosmicznej (pojedyncze milimetry nawet w układach globalnych). **Ale...**, te zjawiska są tylko istotne w przypadku *uprawiania* geodezji globalnej, kontynentalnej lub wielkoskalowej, ponieważ są to zjawiska wielkoskalowe. W przypadku geodezji różnicowej na małym obszarze (nawet kilku setek kilometrów) wszystkie te zjawiska (no może poza pływami) nie mają żadnego znaczenia. Tzn. jeżeli np. odnosimy nasze pomiary GNSS do stacji referencyjnej to efekty geodynamiczne w obu miejscach są takie same lub prawie takie same, stąd w przypadku geodezji różnicowej są bez znaczenia. W wielu przypadkach geodezji podstawowej (sieci międzykontynentalne), technologii pojedynczego odbiornika należy jednak bezwzględnie używać wybranych modeli geodynamicznych w celu odpowiedniej redukcji obserwacji geodezyjnych.

O tych wszystkich zjawiskach można by mówić w nieskończoność na różnym poziomie szczegółowości — jeżeli ktoś chciałby dowiedzieć się więcej, zapraszam do kontaktu. Jeżeli coś w tym pliku jest niejasne, lub błędne to proszę o zgłaszanie takich problemów.