



VI. Procesy egzogeniczne

6. Rzeźbotwórcza działalność wiatru

Procesy eoliczne

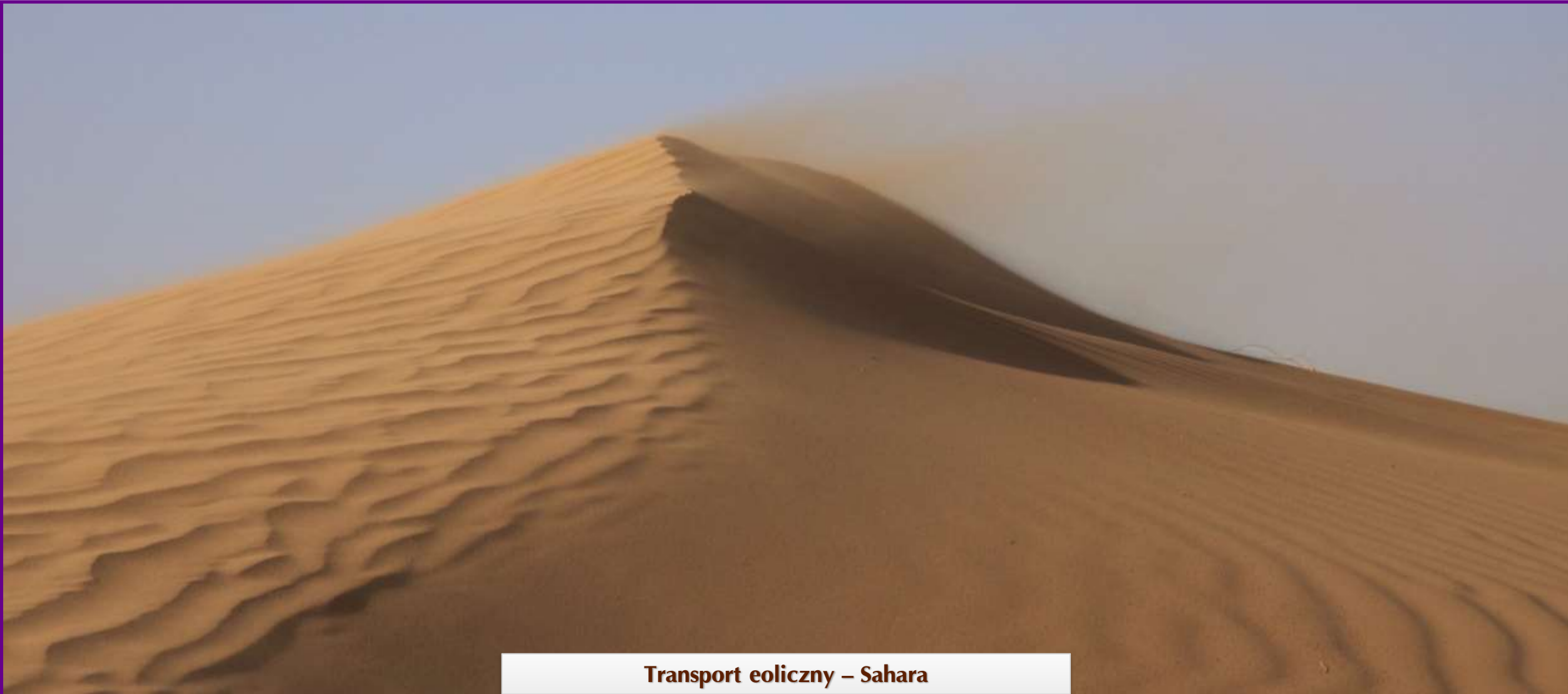
- **Ruch powietrza** wywołuje w środowisku różnorodne skutki, pełni też istotną rolę rzeźbotwórczą.
 - Procesy, w których następuje przekształcanie rzeźby powierzchni Ziemi przez wiatr, nazywamy **procesami eolicznymi**.
 - Nazwa wywodzi się z mitologii greckiej, gdzie Eol był bogiem wiatrów.
 - Podobnie jak inne procesy geologiczne, również działalność wiatrów może mieć skutki **niszczące i budujące**.



Eol – w mitologii greckiej władca wiatrów, syn Posejdona i Melanippy, zamieszkujący Wyspy Liparyjskie (nazywane również Eolskimi). Dzięki jego przychylności Odyseusz uzyskał bezpieczną morską podróż. Wichry, które mogłyby utrudniać dalszą podróż dostał zamknięte w worku. Towarzysze Odyseusza widząc już brzegi Itaki otworzyli worek wypuszczając z niego wichry. Spowodowało to, że uwolnione wiatry wypchnęły ich znów na Wyspy Eolskie.

Transport eoliczny

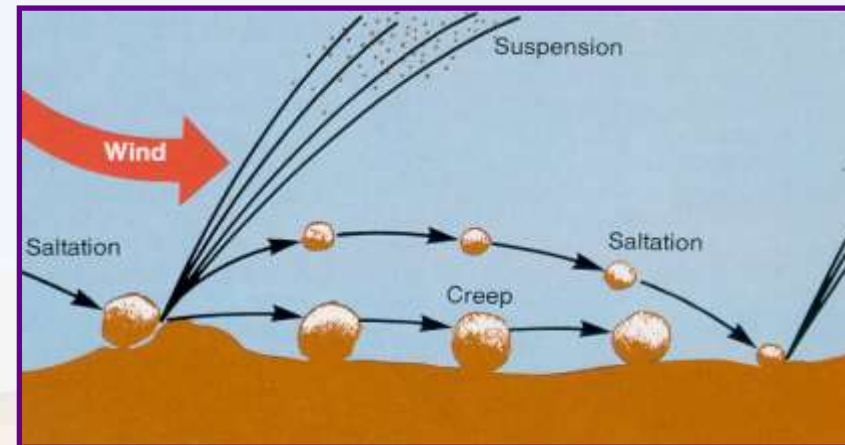
- Wiatr w zależności od siły **porusza**, **przesuwa**, **toczy**, **podrzuca** i **unosi** drobne cząstki skalne.
 - Przebieg transportu zależy od siły wiatru, okresu jego działania oraz materiału podłoża.



Transport eoliczny – Sahara

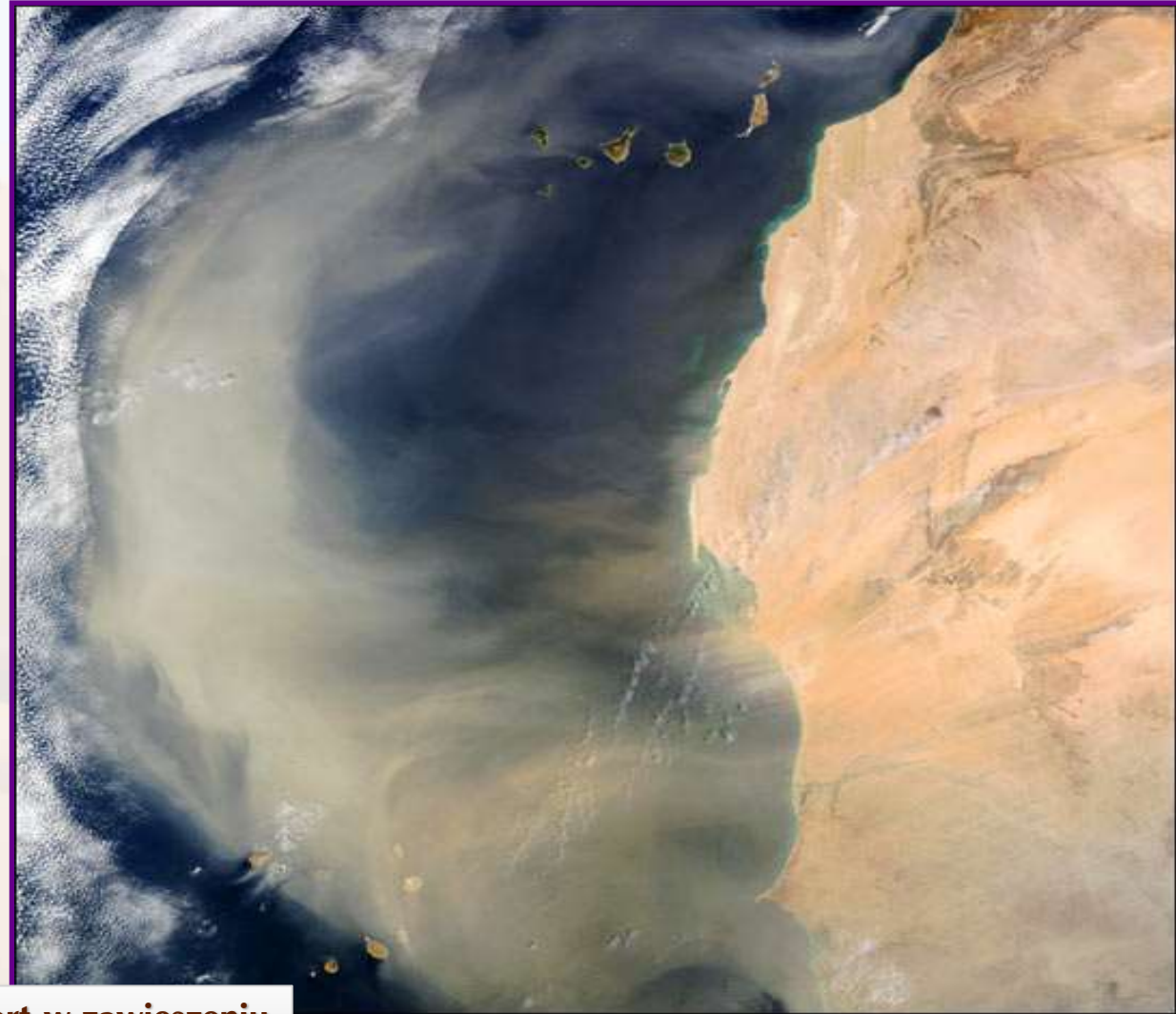
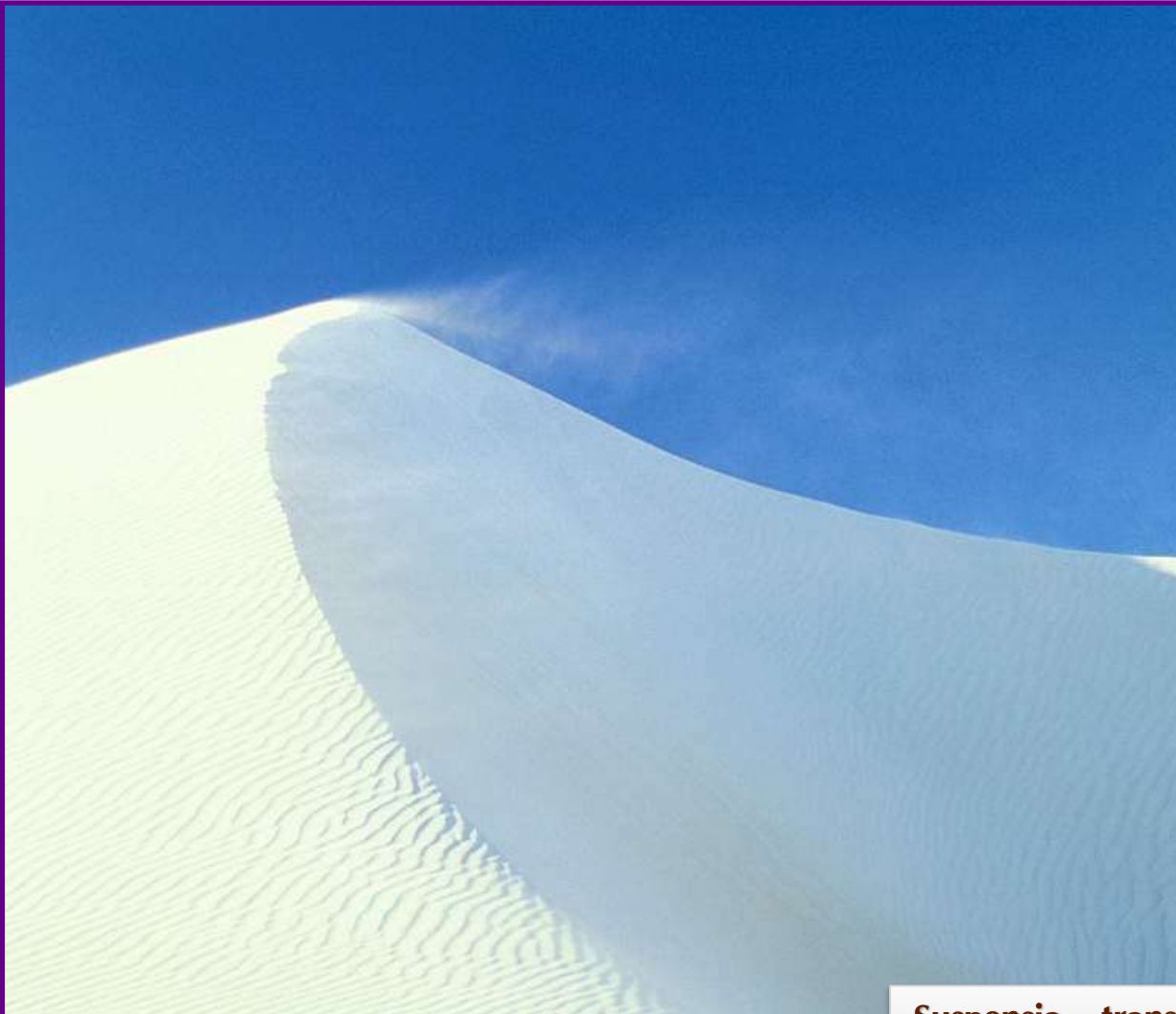
Rodzaje transportu eolicznego

- Wyróżnia się następujące **rodzaje transportu eolicznego**:
 - pełzanie powierzchniowe** – zachodzi pchanie i przesuwanie największych z reguły ziaren (głównie piasku) przez wiatr;
 - saltację (transport skokowy)** – polega na skokowym przemieszczaniu grubych ziaren (w zależności od lokalnie występujących warunków może być on mocno zróżnicowany);
 - suspensję (transport w zawieszeniu)** – transport następuje w powietrzu.



Transport w zawieszeniu (suspensja)

- **Transport w zawieszeniu (suspensja)** – może zachodzić na przestrzenie liczone od kilku metrów do nawet kilku tysięcy kilometrów – nawet pomiędzy różnymi kontynentami (przez morza).



Suspensja – transport w zawieszeniu

I. Działalność niszcząca wiatru

- **Niszcząca działalność wiatru** odbywa się na dwa sposoby.
 - **Deflacja**, czyli **wywiewanie materiału mineralnego** i następnie przenoszenie go w inne miejsce.
 - Deflacji podlegają jedynie luźne okruchy skalne o rozmiarach odpowiednich do siły wiatru w danym momencie, tak więc proces ten może działać tylko w obrębie utworów nieskonsolidowanych (np. piasków) lub uprzednio rozdrobnionych przez wietrzenie.
 - **Korazja**, czyli **mechaniczne ścieranie i szlifowanie powierzchni skalnej** przez przenoszone ziarna piasku, w mniejszym stopniu pyłu.
 - Efektywność tego zjawiska jest na ogół ograniczona do strefy tuż przy powierzchni gruntu (do 1 m), w której ziarna piasku mogą być przenoszone saltacyjnie w dużych ilościach.



Efektywność niszczenia

- **Efektywność niszczącej działalności wiatru**, zależy od kilku czynników.
 - **Prędkość wiatru** – która może rosnać w szczególnych sytuacjach topograficznych.
 - Jedną z nich jest obecność zwężeń na drodze przepływu mas powietrza (np. przełęcz górskie, obniżenia między sąsiednimi wzgórzami), powodujących tzw. **efekt tunelowy**.
 - Efekty niszczenia podłoża mogą wówczas być szczególnie wyraziste.
 - **Podatność powierzchni na niszczenie** – jest funkcją kilku zmiennych:
 - **wielkości ziarna** (większe ziarna są trudniej wywiewane, ale jednocześnie mają większą siłę niszczycielską),
 - **cech materiału skalnego**, tj. **skład**, **twardość** (skały mogą być mniej lub bardziej podatne na niszczenie),
 - **wilgotności podłoża** (podłoże wilgotne trudniej jest niszczone),
 - **stopnia porośnięcia przez roślinność** (roślinność osłania podłoże przed niszczeniem),
 - **ukształtowania powierzchni** (na zawietrznych stokach występuje “cień wiatrowy” – niewielkie niszczenie).
 - **Czas trwania procesu rzeźbotwórczego** – w dłuższym wymiarze czasowym występują większe efekty.



Efektywność niszczenia

- Najintensywniej wiatr niszczy skały w **klimatach zwrotnikowych: kontynentalnym suchym i skrajnie suchym**.
 - W klimatach tych występuje mała wilgotność powietrza i skąpa roślinność (w warunkach normalnych utrudniają one wywiewanie i niszczenie skał).
 - Dodatkowo wiatr zwykle przemieszcza się ze znacznymi prędkościami (może wzniesć też sporej wielkości okruchy – potęgując niszczenie).



Erozja eoliczna gleb

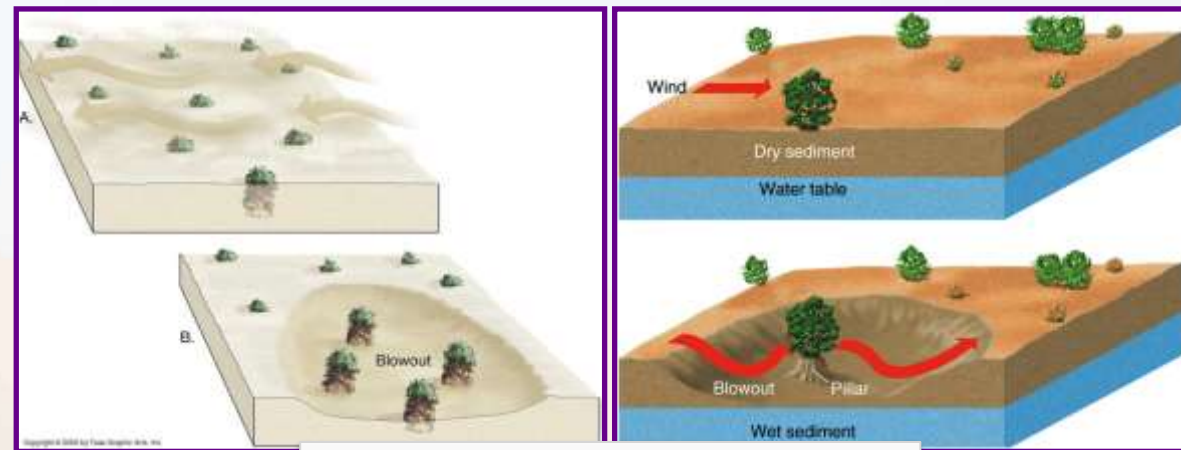
- **Erozja eoliczna gleb** – mało efektowny, ale ekonomicznie dotkliwy przejaw niszczącej działalności wiatru.
 - Dotyczy ona szczególnie gleb lekkich, rozwiniętych na podłożu piaszczysto-pyłowym i torfowym.
 - Eoliczna erozja gleb obejmuje głównie obszary stepowe o deficycie opadu.
 - Katastrofalny wymiar miały powtarzające się burze pyłowe na Wielkich Równinach w USA w latach 30. XX w.
 - Opisywane zjawisko masowego wywiewania gleby występuje także w Polsce, głównie w Wielkopolsce.



Formy wytworzone wskutek niszczącej działalności wiatru

A. Formy deflacyjne

- W utworach skalnych i piaszczystych wskutek **deflacji** luźnego materiału zwietrzałego tworzone są rozległe obniżenia – zwane **wydmuszyskami**:
 - rynny deflacyjne** – podłużne obniżenia o długości do 1 km i głębokości do 15 m;
 - wanny deflacyjne** – podłużne obniżenia, znacznie większe formy od rynien, o długości przekraczającej nawet 100 km;
 - niecki (większe) i misy deflacyjne (mniejsze)** – okrągłe obniżenia, o długości do kilkunastu kilometrów i głębokości do kilkudziesięciu metrów (często, aż do poziomu wód gruntowych).
- Formy deflacyjne mogą mieć postać **depresji deflacyjnych** – czyli zagłębień sięgających poniżej poziomu wód gruntowych.
 - Jeżeli formy te leżą w obrębie bezodpływowych kotlin śródgórskich – nazywamy je **bolsonami**.
 - Jeżeli w ich dnach obecna jest okresowo lub stale woda – nazywamy je **jeziorami deflacyjnymi**.



Powstawanie niecek deflacyjnych



Wanna deflacyjna



Wanna deflacyjna – największa forma deflacyjna
(o długości przekraczającej nawet 100 km)



Rynna deflacyjna – mniejsza podłużna forma
deflacyjna (o długości do 1 km i głębokości do 15 m)

Niecki deflacyjne



Niecki deflacyjne (większe – po lewej) i **misy deflacyjne** (mniejsze – po prawej)
– o długości do kilkunastu kilometrów i głębokości do kilkudziesięciu metrów.

Niecki deflacyjne



Niecki deflacyjne – duże ale płytkie formy, okresowo zalewane wodą (w porze deszczowej rozwija się w ich obrębie pokrywa solna)

Drobne formy deflacyjne rozwinięte w skałach: jamy, kieszenie i zagłębienia plastrowe

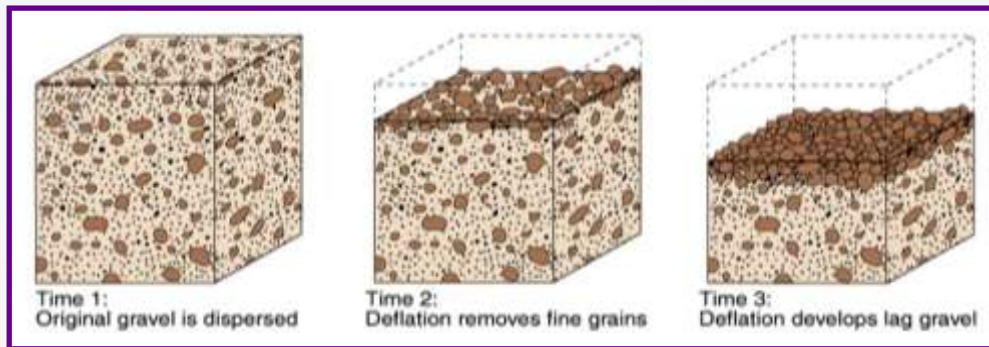
- Na powierzchniach skalnych wskutek nierównomiernego wietrzenia i **wywiewania drobnego materiału** powstają niewielkie formy **deflacyjne** jak:

- **jamy deflacyjne** (na zdjęciu po lewej),
- **kieszenie deflacyjne** (na dolnym zdjęciu – po prawej),
- **deflacyjne zagłębienia plastrowe** (na dolnym zdjęciu – po lewej).



Brak deflacyjny

- **Brak deflacyjny** – pokrywy, odsłaniające się wskutek deflacji na powierzchni terenu, złożone z grubszych okruchów skalnych:
 - żwirów, kamieni, głazów.
- Powstaje on wskutek:
 - selektywnego usunięcia materiału drobniejszego z warstwy powierzchniowej, przez wiatr (najczęściej);
 - wypłukania osadów drobnych przez rzadkie, epizodyczne ulewy.



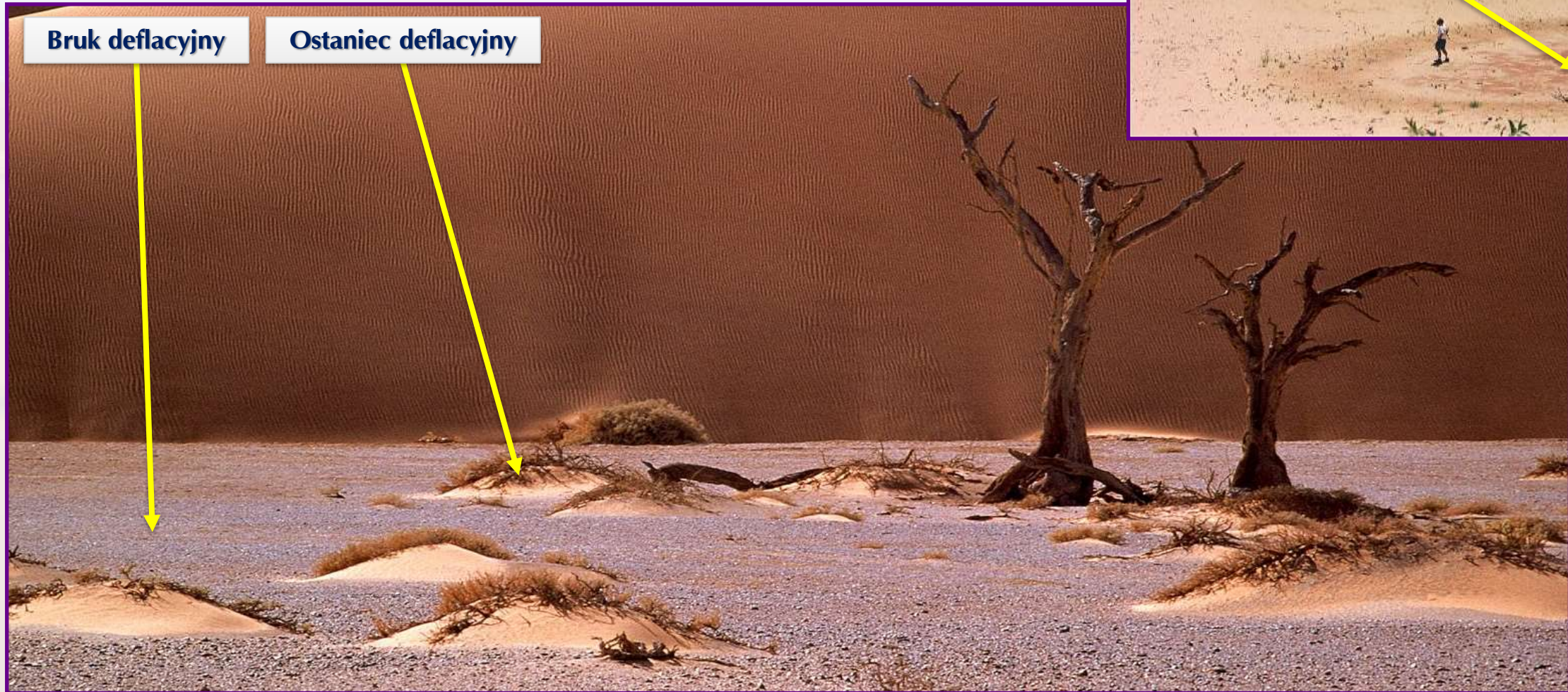
Ostańce deflacyjne

- **Ostańce deflacyjne** – stanowią wzniesienia w formie pagórków o dość stromych zboczach. Powstają one w wyniku nierównomiernego wywiewania: forma ta zachowuje się dzięki występowaniu na niej roślinności utrwalającej piasek - kęp krzewów, drzew, płatów darni itp.



Deflacja – podsumowanie

- Deflacja jest procesem występującym zarówno w obrębie skał litych jak i nieskonsolidowanych i prowadzi do powstania szeregu form, w tym widocznych na zdjęciach: **bruku deflacyjnego** i **ostańców deflacyjnych** (na zdjęciu na dole) oraz **mis deflacyjnych** (po prawej).



Formy wytworzone wskutek niszczącej działalności wiatru

B. Formy korazyjne

- Dużą rolę w obszarach suchych, zwłaszcza pustynnych, odgrywa **korazja** odpowiedzialna za proces **żłobienia**, **ścierania** i **polerowania** powierzchni skalnych przez wiatr niosący piasek.
 - Działalność korazyjna wiatru stwarza stosunkowo niewiele form nowych, natomiast przeobraża formy starsze, innego pochodzenia.
- Wskutek działalności wiatru powstają:
 - **wygłady eoliczne**,
 - **żłobki i jamy korazyjne**,
 - **jardangi**,
 - **bruzdy korozyjne**,
 - **graniaki wiatrowe (wielograńce)**,
 - **gzymsy skalne**:
 - **grzyby skalne**.

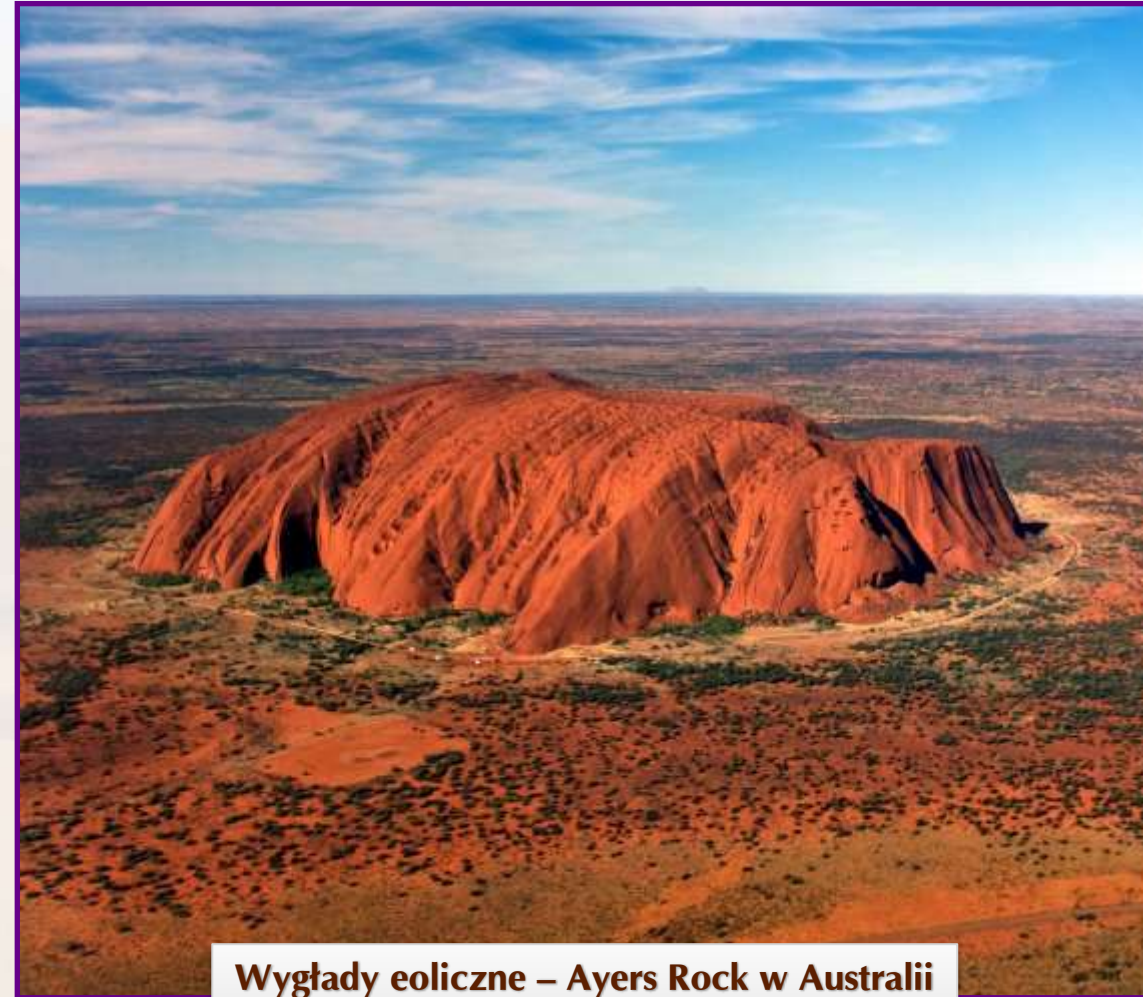


Formy korazyjne – wygłady eoliczne

- **Wygłady eoliczne** – formy skalne, pozbawione ostrych krawędzi, powstające wskutek korazji. Niesione przez wiatr cząsteczki eoliczne, zawieszone w powietrzu, trafiając na przeszkodę – omywają ją, ścierając, polerując i wygładzając jej krawędzie i powierzchnie doprowadzają do powstania właśnie takiej formy skalnej (w zasadzie krajobrazu).



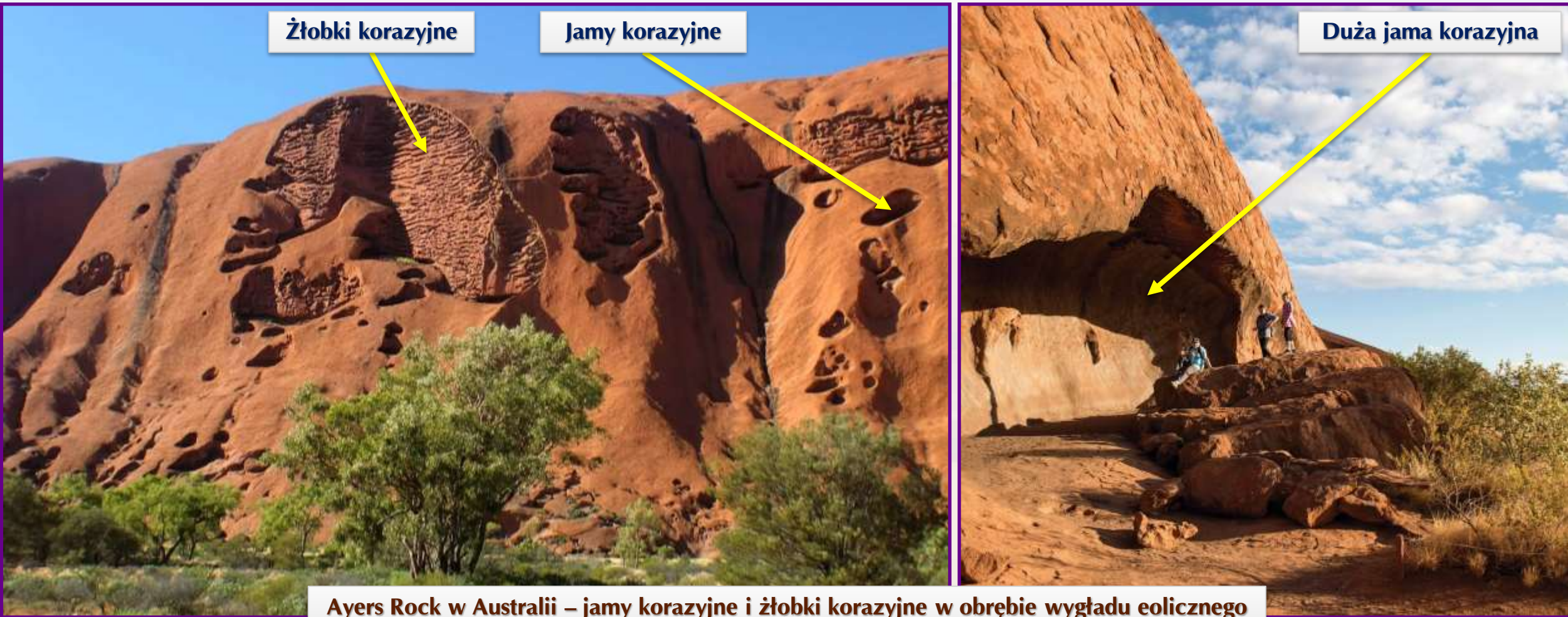
Aerodynamicznie wygładzona przez wiatr skała



Wygłady eoliczne – Ayers Rock w Australii

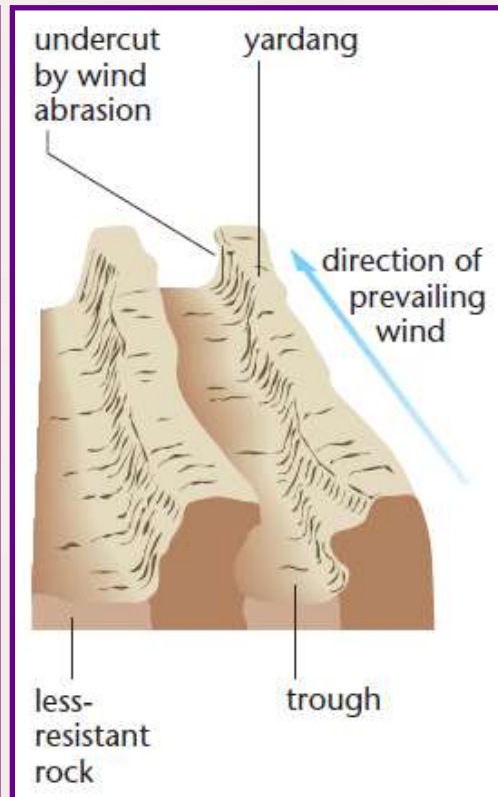
Formy korazyjne – jamy korazyjne i żłobki korazyjne

- W skałach litych o zróżnicowanej odporności na niszczenie tworzą się:
 - jamy korazyjne** – punktowe, koliste, stosunkowo głębokie zagłębienia,
 - żłobki korazyjne** – długie, równoległe w stosunku do siebie formy (oraz do podłoża), stosunkowo płytkie nacięcia skał (powstałe w wyniku równoległego do podłoża przemieszczania się wiatru z piaskiem).



Jardangi

- **Jardangi** – mają postać wydłużonych grzbietów, na ogół długości do 100 m, wygładzonych zarysach i aerodynamicznym kształcie.
 - Ich wysokość sięga kilkunastu metrów, powierzchnie szczytowe mogą być spłaszczone, natomiast ściany boczne są strome, a niekiedy podcięte.
 - Grzbiety te na ogół występują gromadnie i równoległe do siebie.
 - Są formami związanymi z niszczeniem i selektywnym obniżaniem powierzchni.
 - Tworzą się w obszarach, gdzie przeważa jeden kierunek wiatru i są wydłużone zgodnie z tym kierunkiem.



Bruzdy korazyjne

- **Bruzdy korozyjne** – długie, wąskie zagłębienia oddzielające grzbiety – jardangi.
- Jardangi i bruzdy korazyjne są jedną z głównych atrakcji turystycznych południowo-zachodniego Egiptu.



Jardangi poprzedzielane bruzdami korazyjnymi



Wpływ zmian klimatycznych na wcześniej powstałe formy korazyjne

- **Jardangi** rozwijają się głównie kiedy wiatr wieje równoległe do nich.
 - Zmiany klimatyczne przyczyniają się do niszczenia jardangów (na zdjęciu obok wiatr wieje prostopadle do jardangu – przyczyniając się do spłaszczenia formy) oraz innych form korazyjnych.
 - Górne części tych form także mogą być ścinane (jak na zdjęciach poniżej).



Jardangi



Jardangi na pustyni Lut w Iranie

Graniak wiatrowy (wielograniec)

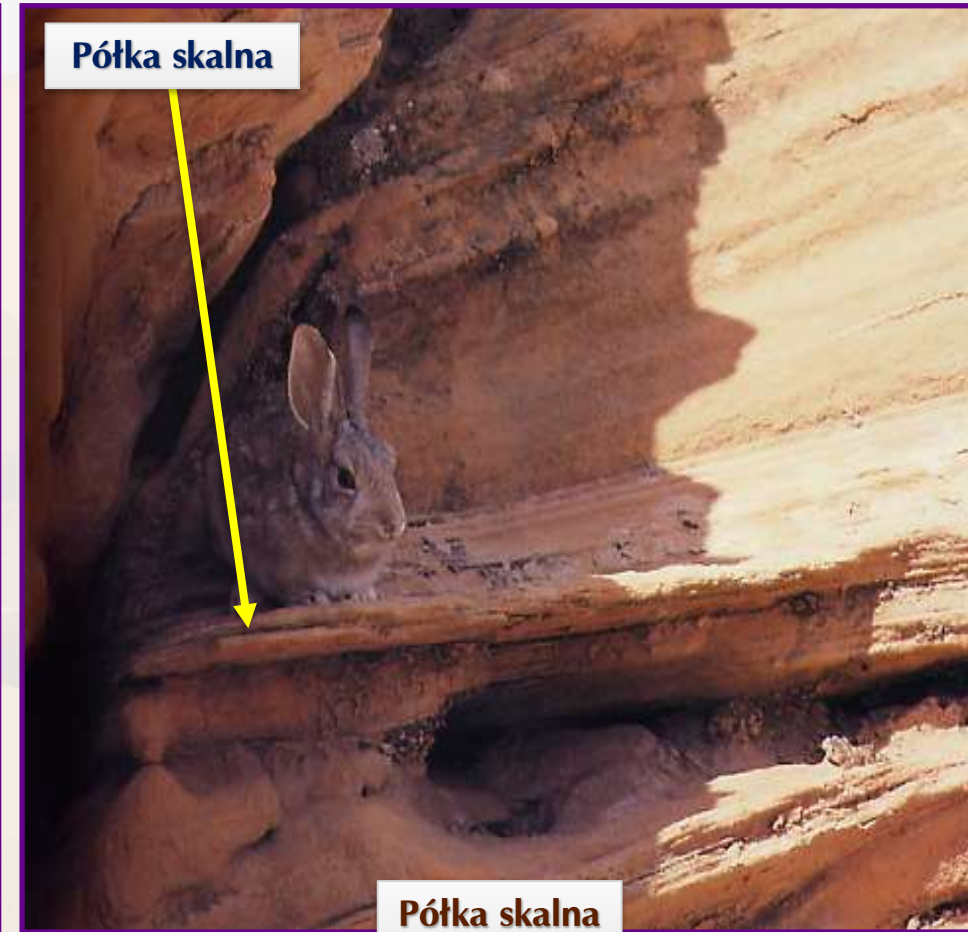
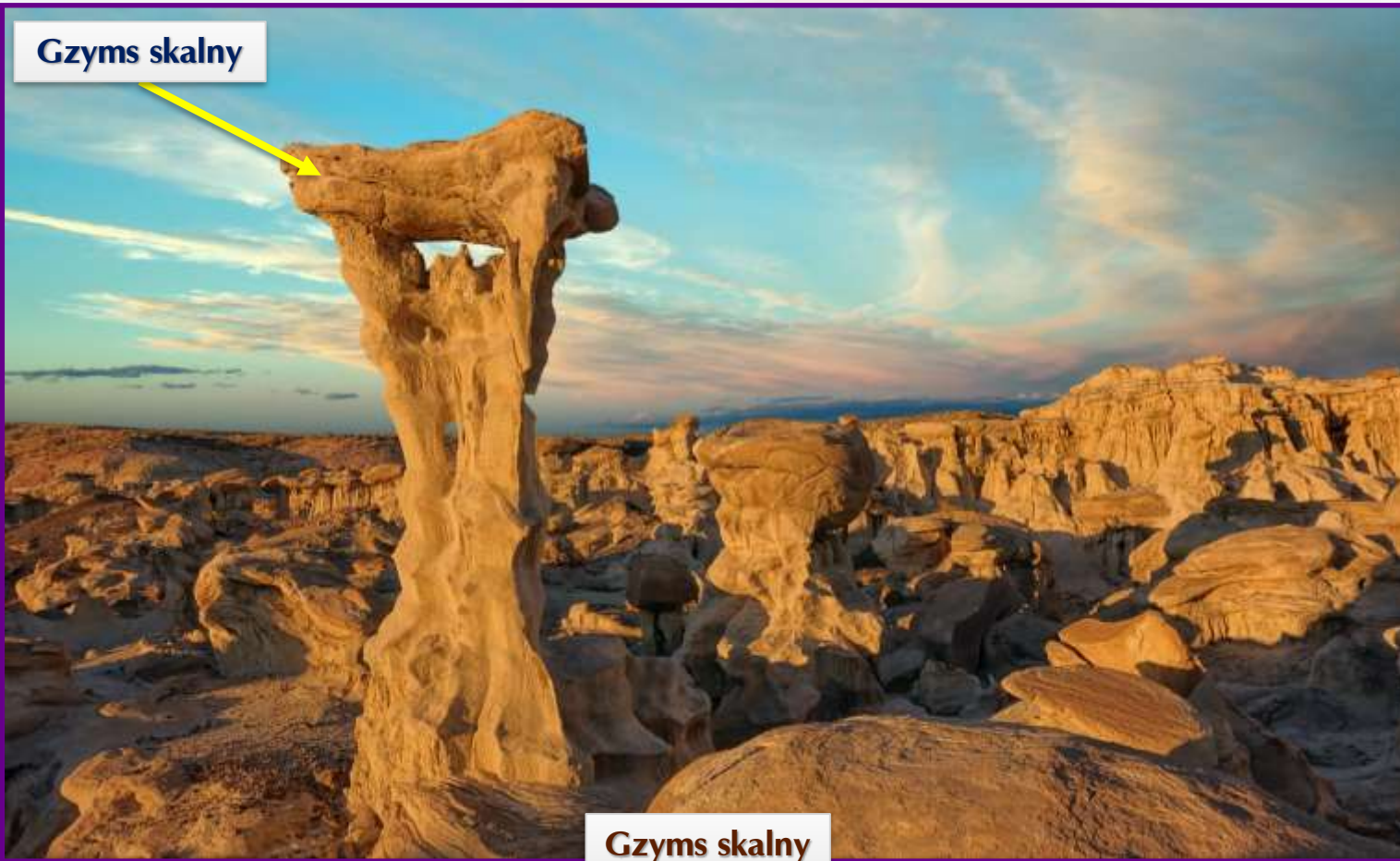
- **Graniaki wiatrowe (wielograńce)** – to okruchy skalne o różnych rozmiarach, mające dwie lub więcej powierzchni dobrze ogładzone przez wiatr.
 - Powierzchnie te oddzielone są od siebie granią.
 - Spłaszczone powierzchnie wskazują, z których kierunków najczęściej wiały wiatry.
- Graniaki wiatrowe są produktem przeformowania eolicznego okruchów skalnych, dużych otoczków lub głazów narzutowych.
 - Powstały one wskutek szlifującej działalności wiatru, niosącego piasek.



Graniaki wiatrowe

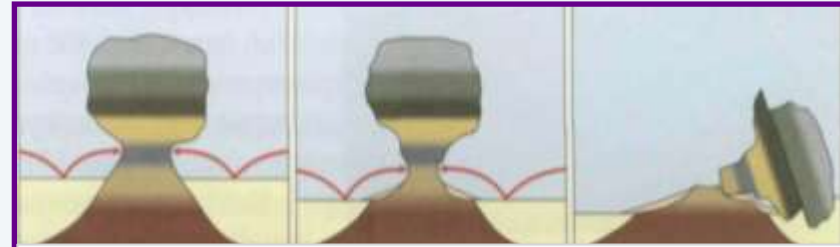
Gzymsy skalne i półki skalne

- W tworzeniu “wystających” fragmentów skalnych bierze udział wietrzenie, deflacja i przede wszystkim korazja (działalność szorująca wiatru):
 - gzymsy skalne** – formy o przebiegu poziomym, powstające wskutek nierównomiernego niszczenia wychodni skał o różnej odporności;
 - półki skalne** – są bardzo wąskimi wychodniami skał bardziej odpornych.



Grzyby skalne

- **Grzyby skalne** (odmiana gzymsów skalnych) – są bardzo malowniczymi formami krajobrazu pustyń skalistych, powstałymi w wyniku korazji.
 - Mają one znacznie węższą podstawę niż część górną, ponieważ ilość materiału niesionego przez wiatr i stanowiącego czynnik decydujący o skali korazji bardzo szybko maleje wraz z wysokością.
 - W związku z tym najsilniej podcinana jest dolna część skały – zwykle do wysokości 1-2 m (za wyjątkiem części najniżej położonej – która jest osłonięta od wiatru, akumulowanym wokół nóżki materiałem skalnym, pochodzącym z wcześniejszego niszczenia).



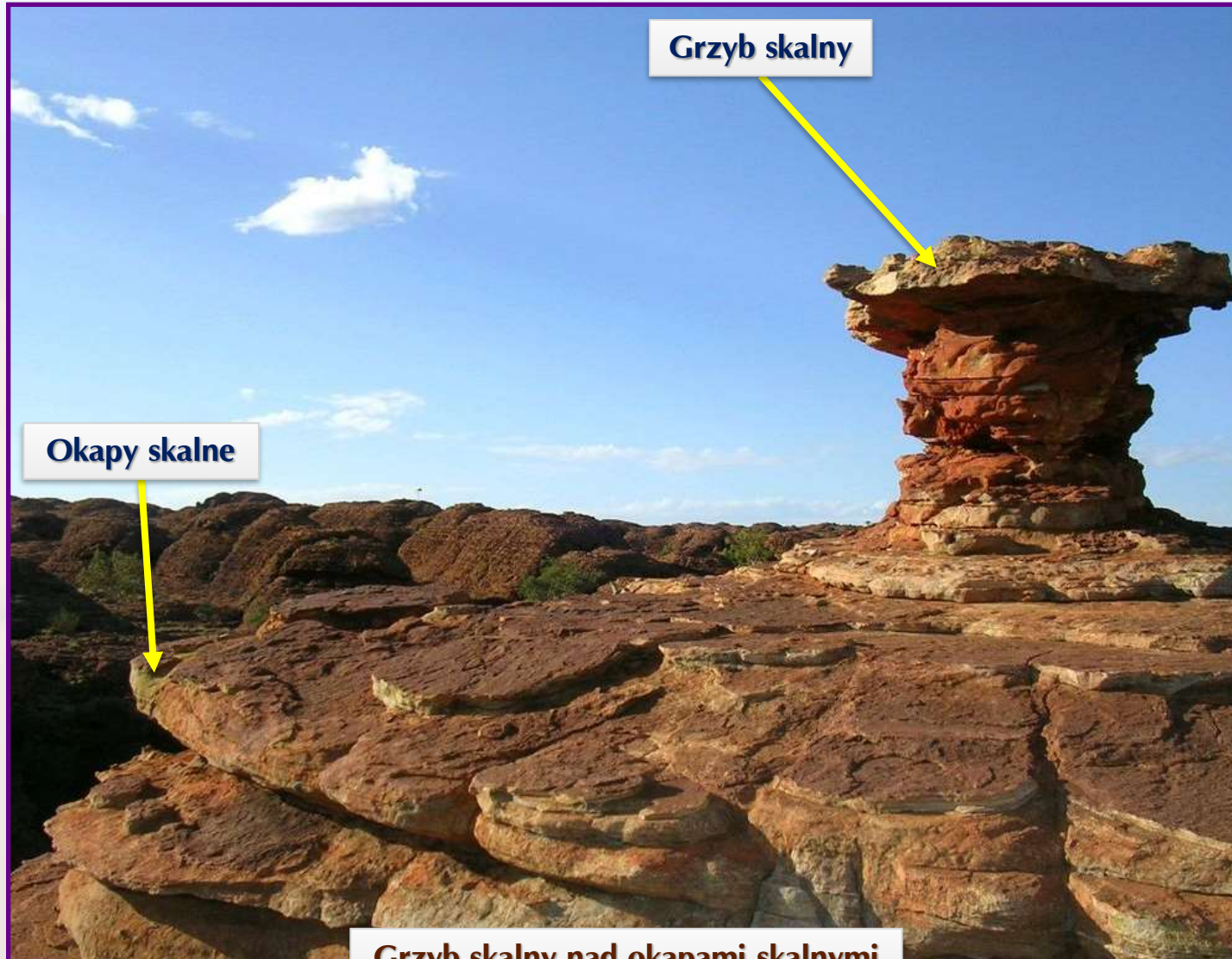
Powstawanie i przewalanie się grzyba skalnego

Grzyb skalny

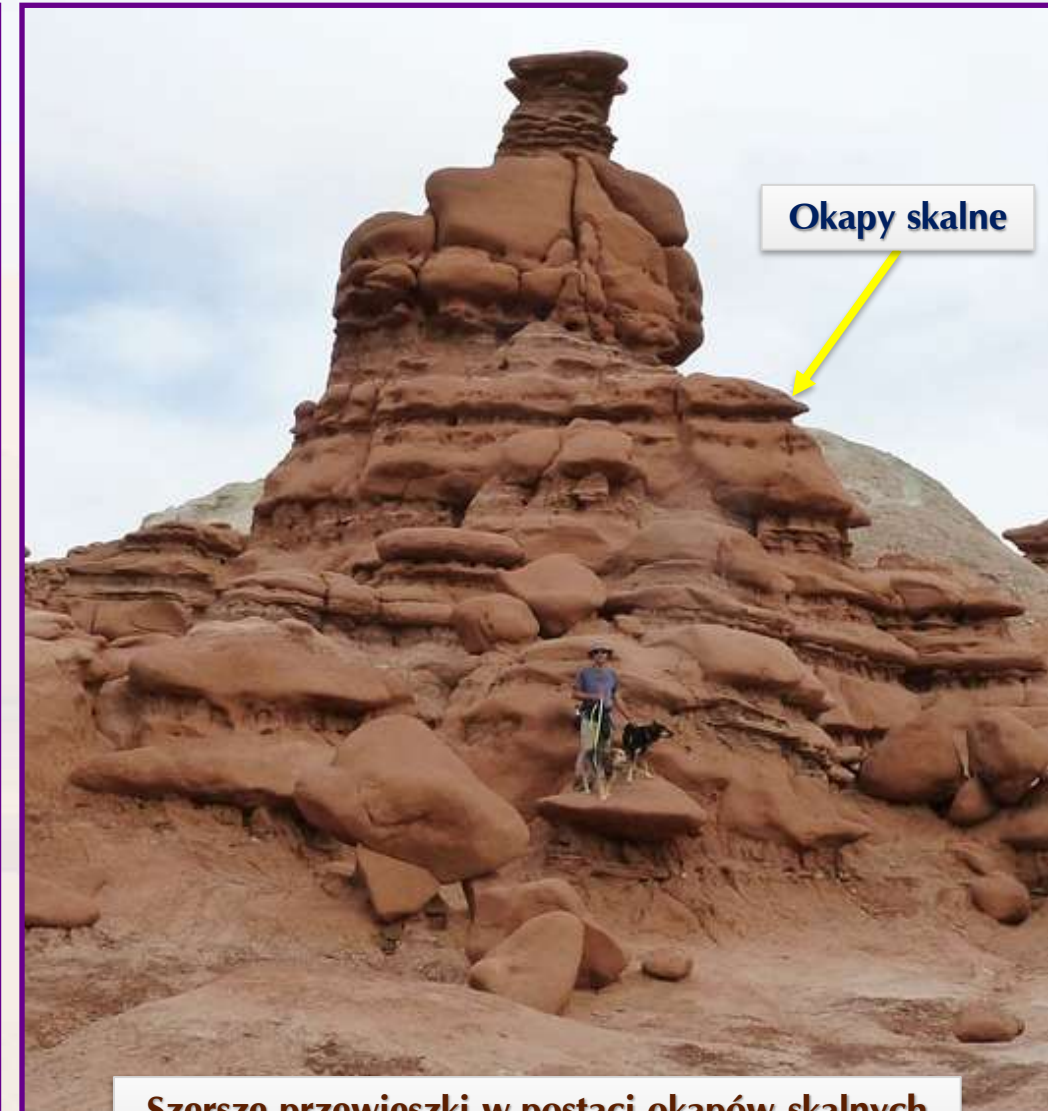


Okapy skalne

- **Okapy skalne** – będące przewieszkami (szerszymi półkami skalnymi), są rezultatem podcinania dolnych ścian skalnych, przez wiatr niosący szczególnie dużo piasku.



Grzyb skalny nad okapami skalnymi



Szersze przewieszki w postaci okapów skalnych

II. Działalność budująca wiatru



- Na piaskach lotnych wiatr tworzy bardzo charakterystyczne formy eoliczne.
 - Są to:
 - **mikro-formy:**
 - zmarszczki eoliczne (ripplemarki),
 - języki piaszczyste (cienie piaszczyste),
 - kopce piaszczyste i pagórki piaszczyste;
 - **mezo-formy:**
 - wydmy o różnym kształcie i przebiegu;
 - **makro-formy:**
 - wielkie garby piaszczyste – draa (draasy).

Formy wytworzone wskutek budującej działalności wiatru

A. Mikro-formy

Ripplemarki



Ripplemarki

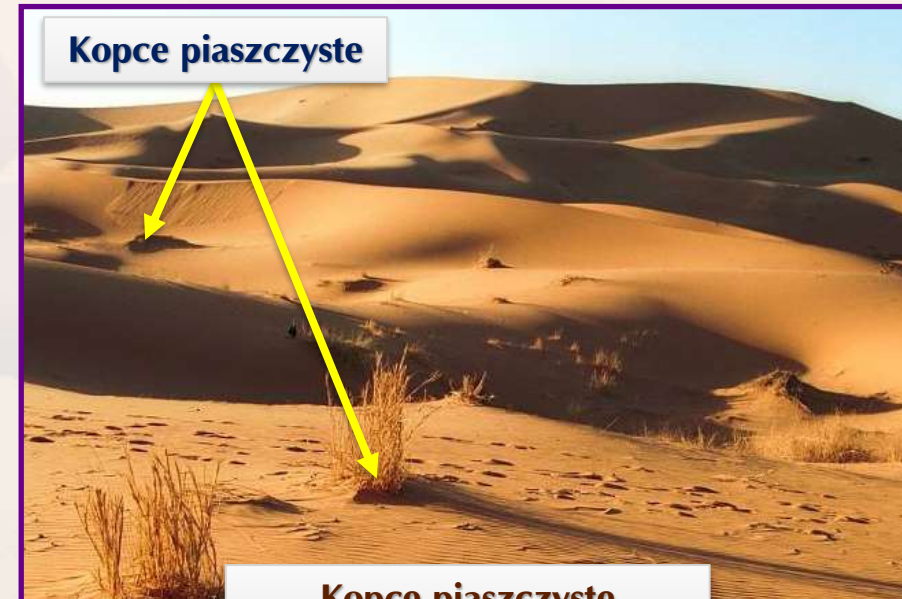
- **Zmarszczki eoliczne (ripplemarki)** – to równoległe przebiegające drobne nabrzmienia (**grzędy**) i obniżenia (**bruzdy**) o profilu asymetrycznym.
- **Języki piaszczyste**, zwane też **cieniami piaszczystymi** – powstają za kamykami w postaci smugi piasku o zarysie wydłużonego trójkąta, a przed kamykiem są wywiewane niewielkie zagłębienia.
- **Kopce piaszczyste i pagórki piaszczyste** – są formami nieregularnymi, powstającymi gdy piasek jest osadzany przed i za przeszkodą oraz w sytuacji kiedy przeszkody są większe, np. drzewa, duże głazy itp.

Języki piaszczyste



Języki piaszczyste

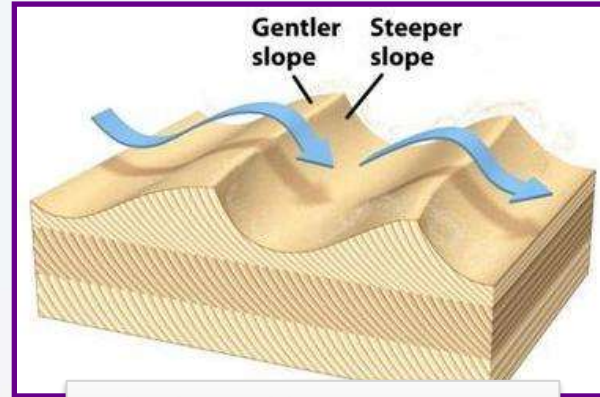
Kopce piaszczyste



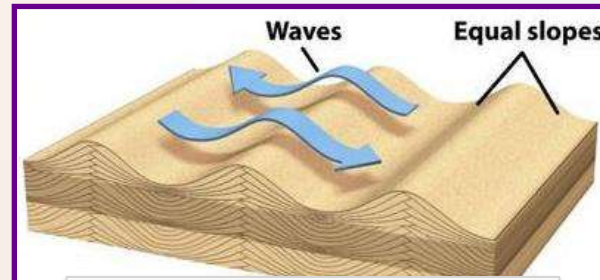
Kopce piaszczyste

Zmarszczki eoliczne (ripplemarki)

- **Zmarszczki eoliczne (ripplemarki)** – równoległe przebiegające drobne nabrzmienia (**grzędy**) i obniżenia (**bruzdy**) cechujące się zwykle przebiegiem prostopadłym do kierunku wiatru w danej chwili (szybko reagują na wiatr – jego zmiany) oraz:
 - **profilem asymetrycznym** – łagodnym stoku dowietrznym (10°) i stromym odwietrznym (25°),
 - asymetryczne **grzędy** wznoszą się kilka centymetrów nad towarzyszącymi im **bruzdami** (im grubszy materiał eoliczny – tym wyższe będą formy);
 - **profilem symetrycznym** – z dwoma stokami o podobnym kącie nachylenia (około $15\text{-}25^\circ$).



Ripplemarki asymetryczne



Ripplemarki symetryczne



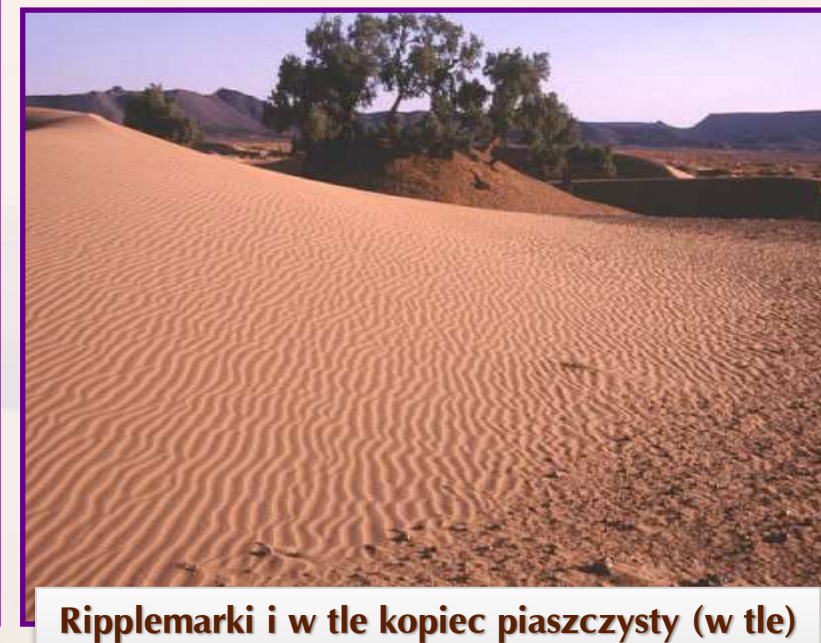
Języki piaszczyste (cienie piaszczyste)

- **Języki piaszczyste (cienie piaszczyste)** – powstają za kamykami w postaci smugi piasku o zarysie wydłużonego trójkąta, a przed kamykiem są wywiewane niewielkie zagłębienia.
- Te wymuszone formy towarzyszą swobodnym zmarszczkom, zaburzając nieco ich przebieg.



Kopce piaszczyste i pagórki piaszczyste

- **Kopce piaszczyste i pagórki piaszczyste** – są formami nieregularnymi.
 - Powstają gdy piasek jest osadzany przed i za przeszkodą, gdy przeszkody są większe,
 - np. drzewa, duże głazy itp.



Formy wytworzone wskutek budującej działalności wiatru

B. Mezo-formy

- **Wydmy** – wzniesienia piaszczyste usypane przez wiatr, osiągają zdecydowanie największe rozmiary spośród wszystkich form akumulacji eolicznej.
 - Mają one różne kształty, zarysy i rozmiary, uzależnione warunkami środowiska.
 - Warunkiem powstawania i rozwoju wydym jest, obok działalności wiatru, także obecność piasków lotnych nie pokrytych roślinnością.



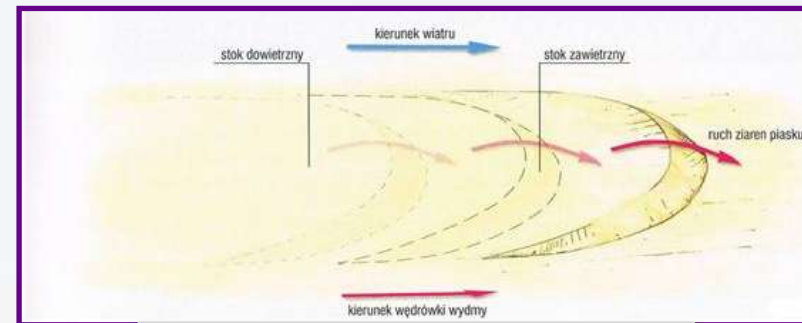
Budowa wydm

- Wydmy są zbudowane z **piasków** głównie **drobno- i średnioziarnistych** (0,05 - 0,60 mm),
 - przeważają zdecydowanie ziarna **kwarcu** (90 - 99%).

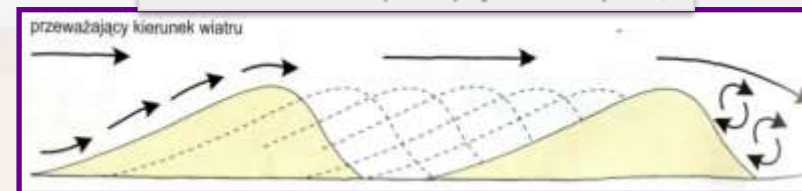


Cechy wydm

- Charakterystyczną cechą **wydm** jest **asymetria stoków**:
 - **stoki dowietrzne**, wystawione na działalność panujących wiatrów, są długie, łagodnie nachylone pod kątem **5-12°** (dokładna wielkość nachylenia zależy przede wszystkim od wielkości ziaren piasku, stopnia uwilgocenia, obecności roślinności oraz siły wiatru);
 - **stoki odwietrzne (zawietrzne)** są krótkie, nachylone pod kątem **20-33°**.
- Wskutek stale postępującego zwiewania piasku na stoku dowietrznym, a zsypywania, osuwania i odkładania na stoku odwietrznym następuje przemieszczanie masy piaszczystej, czyli **wędrownica wydm**.



Wędrownica wydm piaszczystej



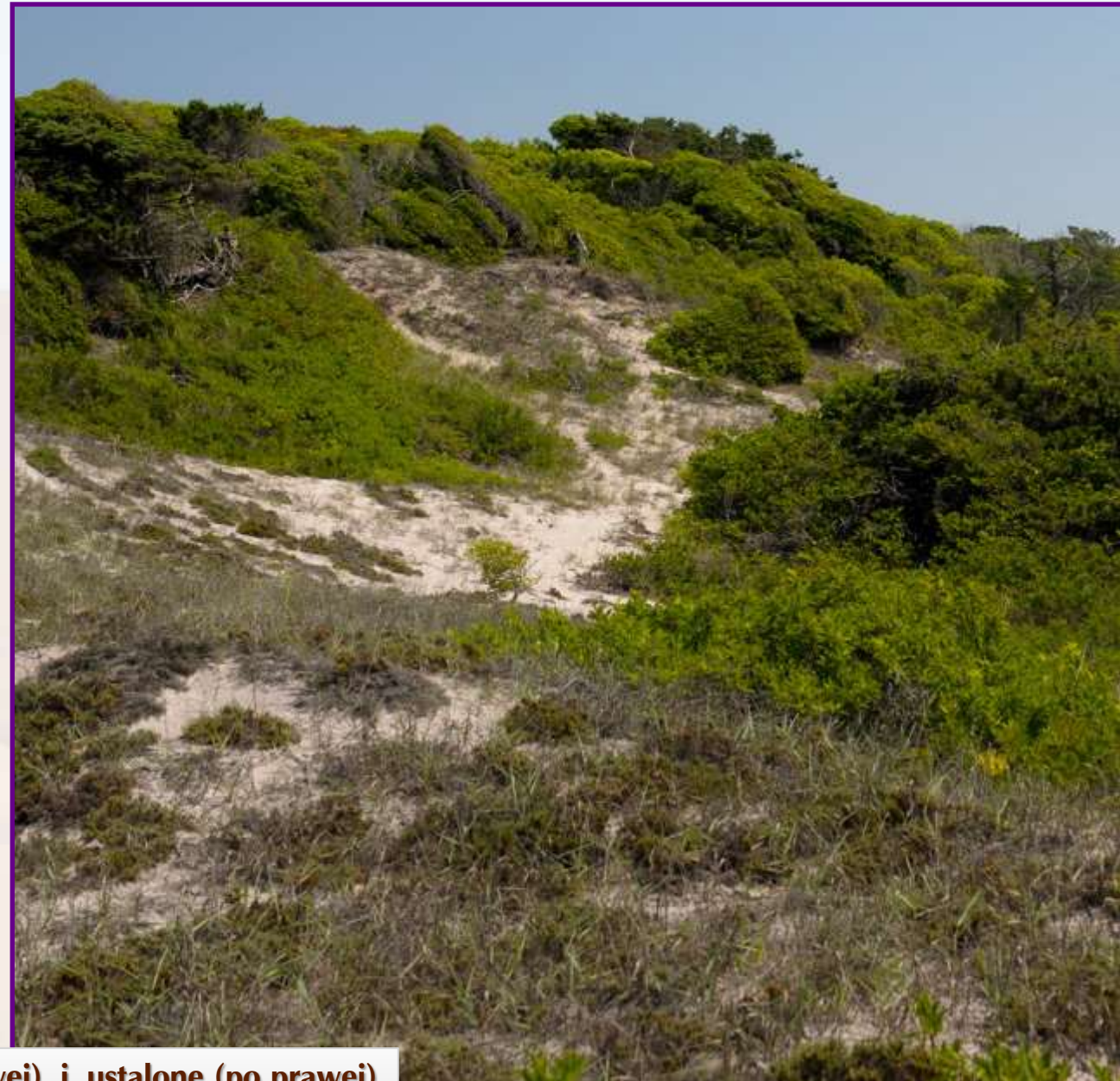
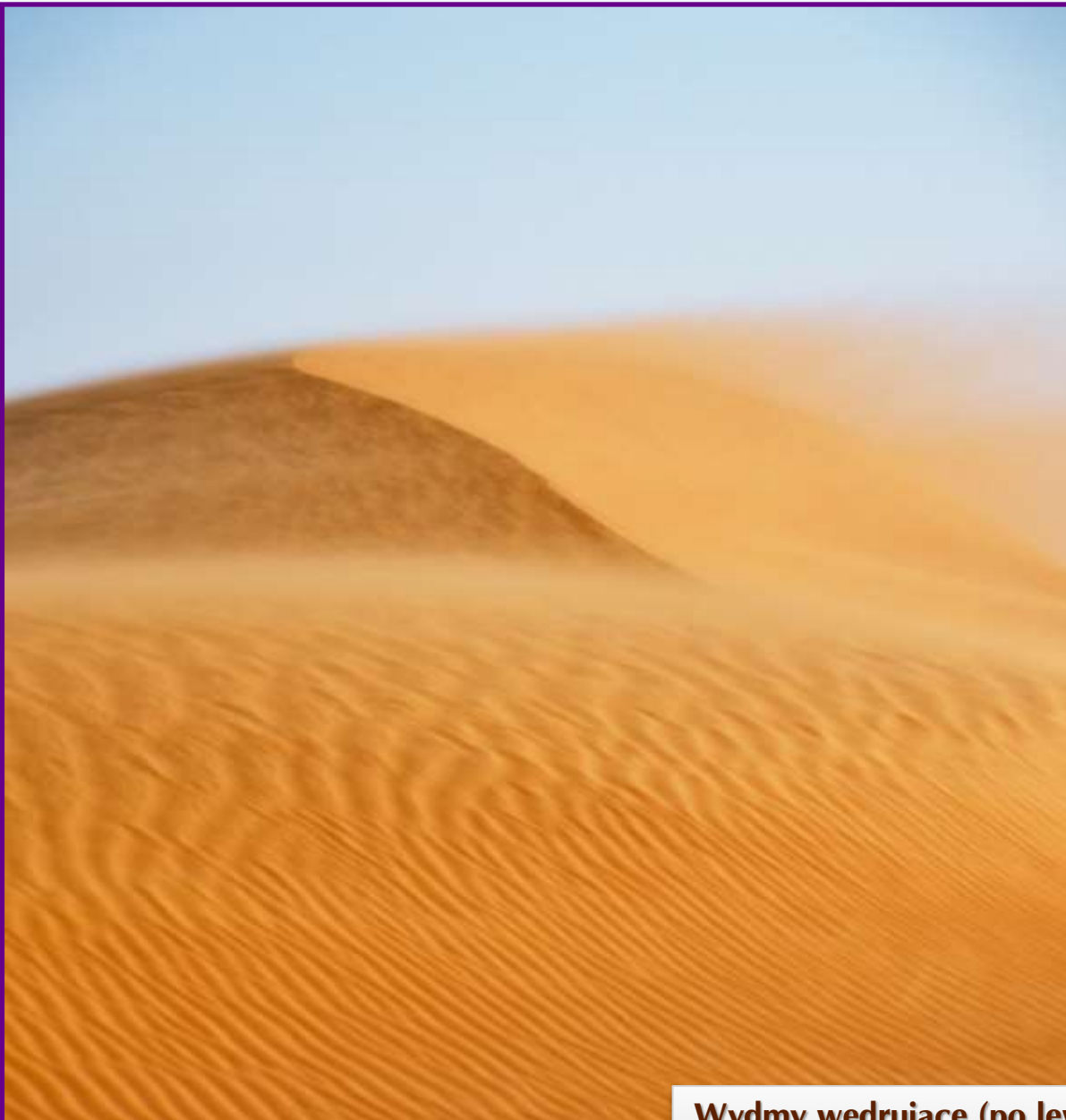
Prędkość przemieszczających się wydym. Dynamika wydym

- Prędkość wędrówki wydym jest bardzo różna, od paru metrów do paru kilometrów w ciągu roku.
 - Nieraz efekty rocznej wędrówki są małe, np. wtedy, gdy wieją wiatry na przemian z przeciwnych kierunków.
- Rozróżniamy **wydmy** – **podział ze względu na ich dynamikę**:
 - **wydmy wędrujące (ruchome)** – aktywne, obecnie kształtowane;
 - **wydmy ustalone (nieruchome)** – pokryte roślinnością lub okryte skorupą uniemożliwiającą wędrówkę na stałe lub okresowo.



Wydmy wędrujące (po lewej) i ustalone (po prawej)

Wydmy wędrujące (ruchome) i ustalone (nieruchome)

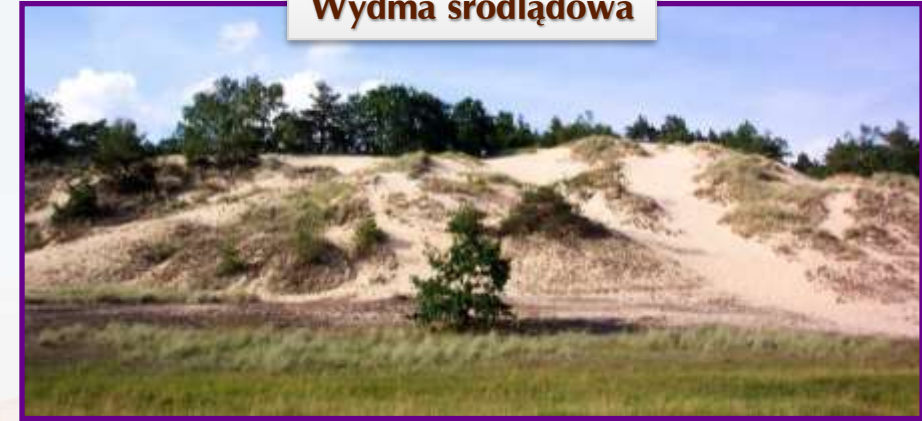


Wydmy wędrujące (po lewej) i ustalone (po prawej)

Typy wydm ze względu na miejsce i środowisko występowania

- Ze względu na miejsce i środowisko występowania wyróżniamy:
 - **wydmy pustynne** – mające postać wydm piaszczystych;
 - powstają i rozwijają się w obszarach pustynnych;
 - **wydmy nadmorskie** – tworzące się na piaszczystych wybrzeżach morskich;
 - **wydmy śródlądowe** – powstałe na piaszczystych równinach nadrzecznych i sandrowych.

Wydma śródlądowa



Wydma pustynna



Wydma nadmorska



Typy wydmy ze względu na rolę obiektów topograficznych na podstawie ich kształtu, zarysu i stosunku do kierunku wiatrów wydmotwórczych

Ze względu na rolę obiektów topograficznych na podstawie ich kształtu, zarysu i stosunku do kierunku wiatrów wydmotwórczych wyróżniamy dwie grupy wydmy:

a. wydmy swobodne – których rozwój uzależniony jest od parametrów wiatru i charakteru materiału piaszczystego:

- barchany – wydmy sierpowe,
- wydmy poprzeczne (megaripple),
- wydmy kopulaste lub wydmy odwracalne,
- wydmy podłużne (sejfy),
- wydmy gwiaździste,
- pokrywy piaszczyste;

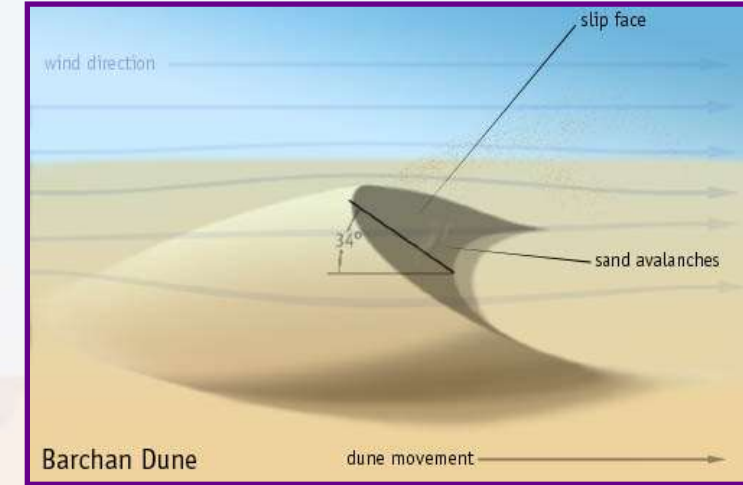
b. wydmy wymuszone – których rozwój uzależniony jest od przeszkód topograficznych,

- np. kęp roślinności,
- wydmy paraboliczne (wydmy łukowe), np. wydmy nadmorskie.



Wydmy swobodne: *barchany* – *wydmy sierpowe*

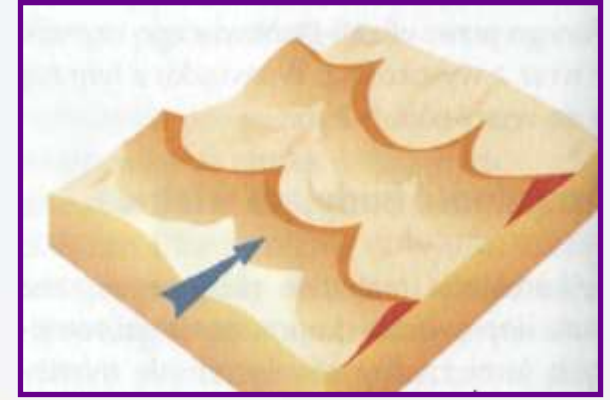
- **Barchany** – są formą najbardziej typową, uważaną za wyjściową.
 - Powstają na równinach, głębsze podłoże jest zwięzłe, siła wiatru umiarkowana, a kierunek wiatru w ciągu długiego czasu ustabilizowany.
 - Barchany mają zarys sierpa z ramionami wysuniętymi zgodnie z kierunkiem panującego wiatru.
 - Przemieszczanie piasku w barchanie postępuje szybciej po obu bokach nabrzmienia – ponieważ tutaj jest mniej piasku, a dużo wolniej w części środkowej – gdzie masa piasku jest największa.



Barchany (wydmy sierpowe) na pustyni Namib

Wydmy swobodne: *wydmy poprzeczne (megaripple)*

- **Wydmy poprzeczne (megaripple)** – tworzą się one wskutek przyrastania bocznego pojedynczych, sąsiadujących z sobą barchanów.
 - Przyjmują najczęściej formę długiego, lekko krętego wału.
 - Powstają one przede wszystkim na terenach o dużej ilości piasku oraz umiarkowanej sile wiatru.



Wydmy swobodne: wydmy poprzeczne (megaripple)

-
- An aerial photograph of a vast, flat, brown landscape, likely a salt flat or dry lake bed. The terrain is characterized by numerous small, irregular pools of water and a winding road in the bottom left corner. The overall color is a mix of light and dark brown, suggesting different soil compositions or water levels.



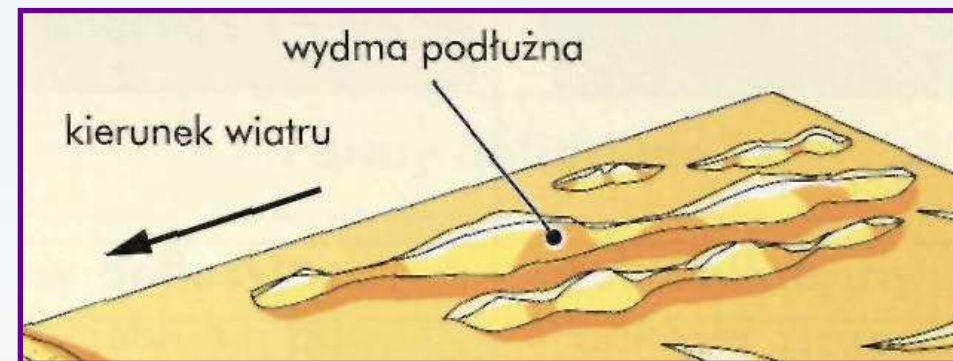
Wydmy swobodne: *wydmy kopulaste (wydmy odwracalne)*

- **Wydmy kopulaste (wydmy odwracalne)** – są wydmami które są pozbawione wyraźnego stoku osypiskowego;
 - są to stosunkowo łagodne pagóry piaskowe.
 - Występują one na obszarach o zmiennych kierunkach wiatru.



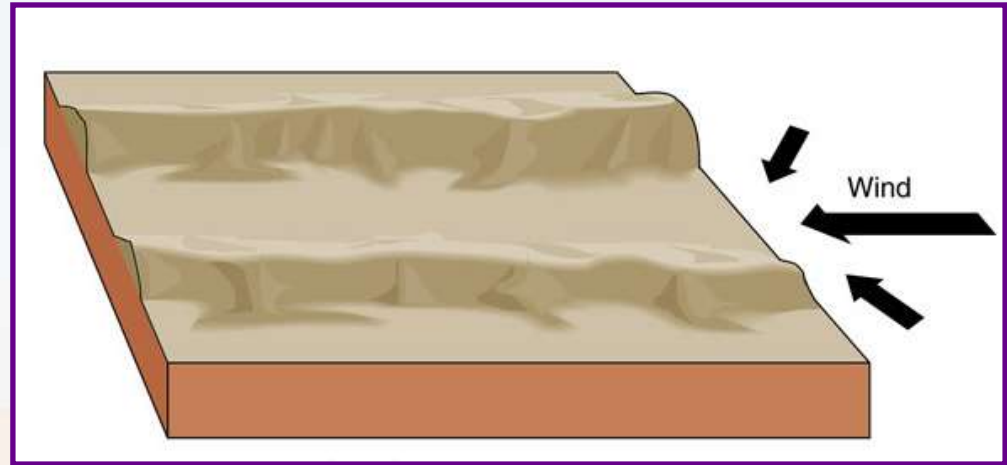
Wydmy swobodne: *wydmy podłużne (sejfy)*

- **Wydmy podłużne (sejfy)** – powstają one w obszarach o dużej ilości mas piasku i silnych wiatrach.
 - Mają one do 100 km długości, do 200 m szerokości i falistą linię grzbietową.
 - Są one symetryczne, grzbiet zajmuje pozycję osiową, a stok usypiskowy może występować na przemian po obu stronach linii grzbietowej.



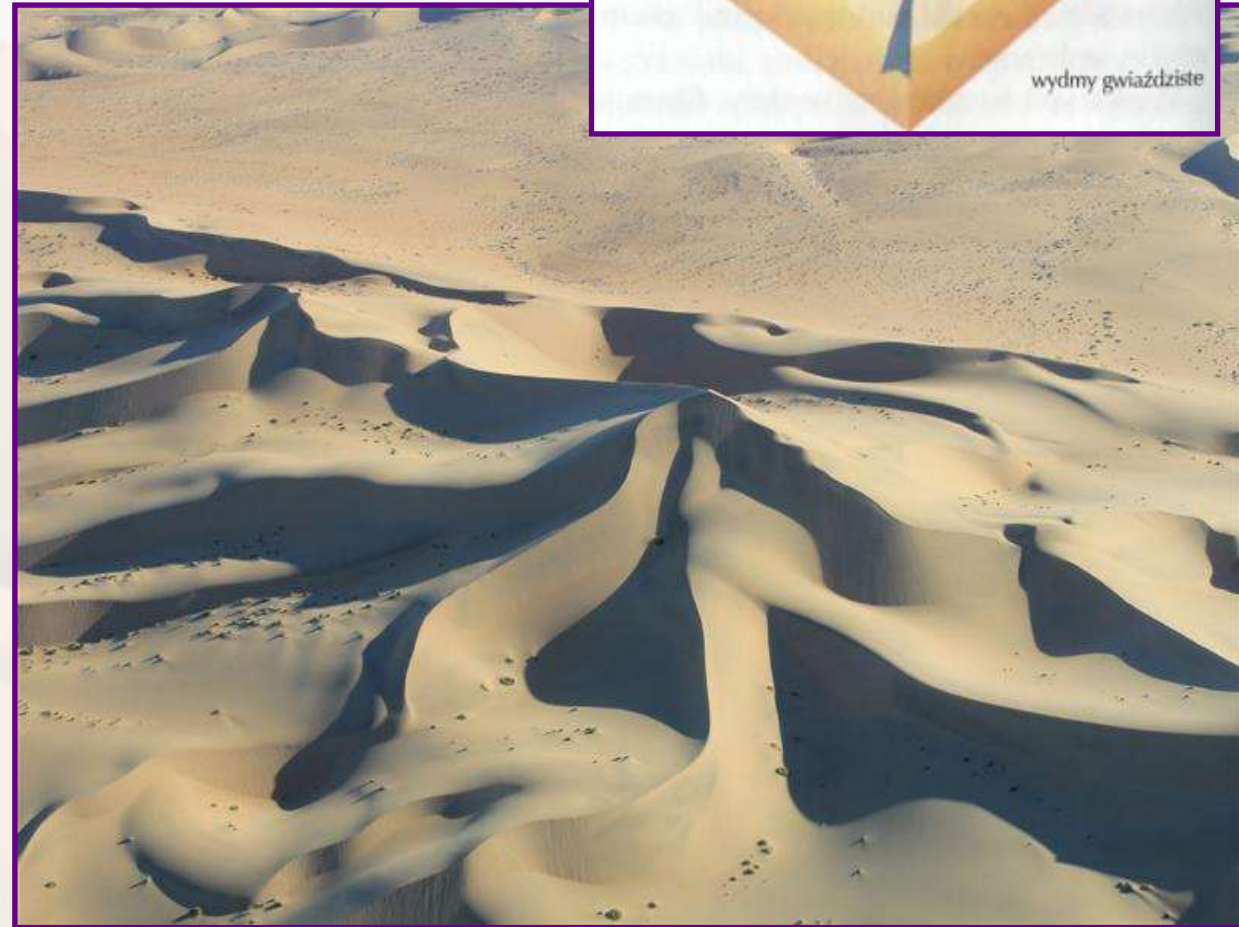
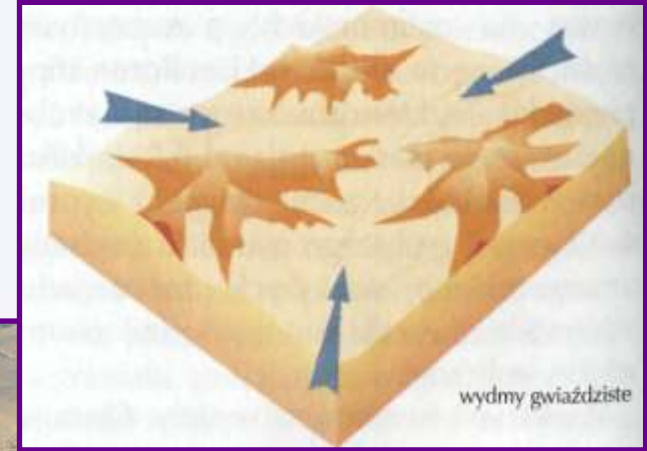
Wydmy swobodne: **wydmy podłużne (sejfy)**

- Pomędzy długimi wałami, przebiegającymi zgodnie z kierunkiem panujących wiatrów ciągną się równoległe obniżenia szerokości do 500 m, zwane **gassi**, skąd jest wywiewany piasek wydłużający wał wydmowy.
 - Przyjmuje się, że wydmy podłużne powstają, gdy dwa kierunki wiatru są dominujące, przy czym są zorientowane względem siebie pod kątem ostrym.



Wydmy swobodne: *wydmy gwiaździste*

- **Wydmy gwiaździste** – o kształcie stożka lub kopy powstają w obszarach pustynnych, gdy piasek jest nawiewany z różnych kierunków.
 - Nawiewanie piasku ze wszystkich stron doprowadza do rośnięcia wysokości, ale uniemożliwia wędrówkę.



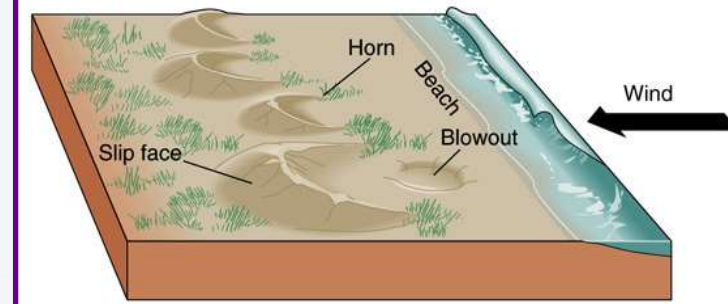
Wydmy swobodne: *wydmy gwiaździste*

- Wydmy gwiaździste są to złożone morfologicznie formy wydymowe, w których trzy do czterech ramion zbiegają się w najwyższym punkcie centralnym.
 - Każde ramię ma stok dowietrzny i usypiskowy zawietrzny, mogą one jednak zamieniać się miejscami.
 - Wydmy gwiaździste są stacjonarne i mogą osiągać imponujące wysokości, powyżej 300 m, aczkolwiek część z nich jest zapewne nadbudowana na wzniesieniach podłoża.



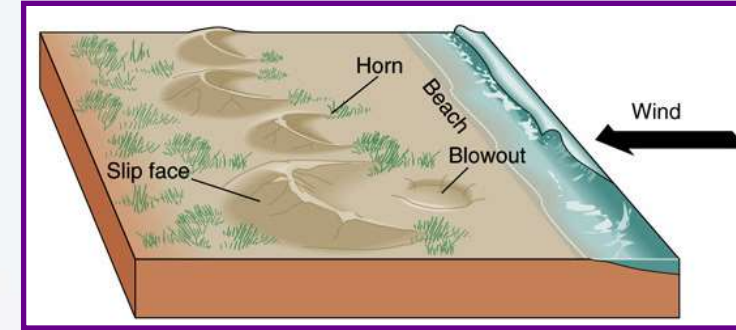
Wydmy wymuszone: *wydmy paraboliczne* (*wydmy łukowe*)

- **Wydmy paraboliczne** (**wydmy łukowe**) – powstają wtedy, gdy oba końce przesuwanego przez wiatr barchanu lub wału piaszczystego zostaną unieruchomione przez roślinność lub wilgotne podłoże, podczas gdy środek o większej masie piasku, a więc suchszy, posuwa się naprzód.
 - Są one jakby odwrotnością barchanów, ale osiągają większe rozmiary.



Wydmy wymuszone: *wydmy paraboliczne* (wydmy łukowe)

- Pomędzy ramionami wydmy parabolicznej znajduje się **misa deflacyjna**.
 - Szybsze przemieszczanie części środkowej może doprowadzić do rozerwania wydmy parabolicznej i powstania wydm podłużnych.
 - Do tego typu należą przeważnie wydmy nadbrzeżne i śródlądowe.
 - Wydmy paraboliczne są najbardziej powszechne w Polsce.



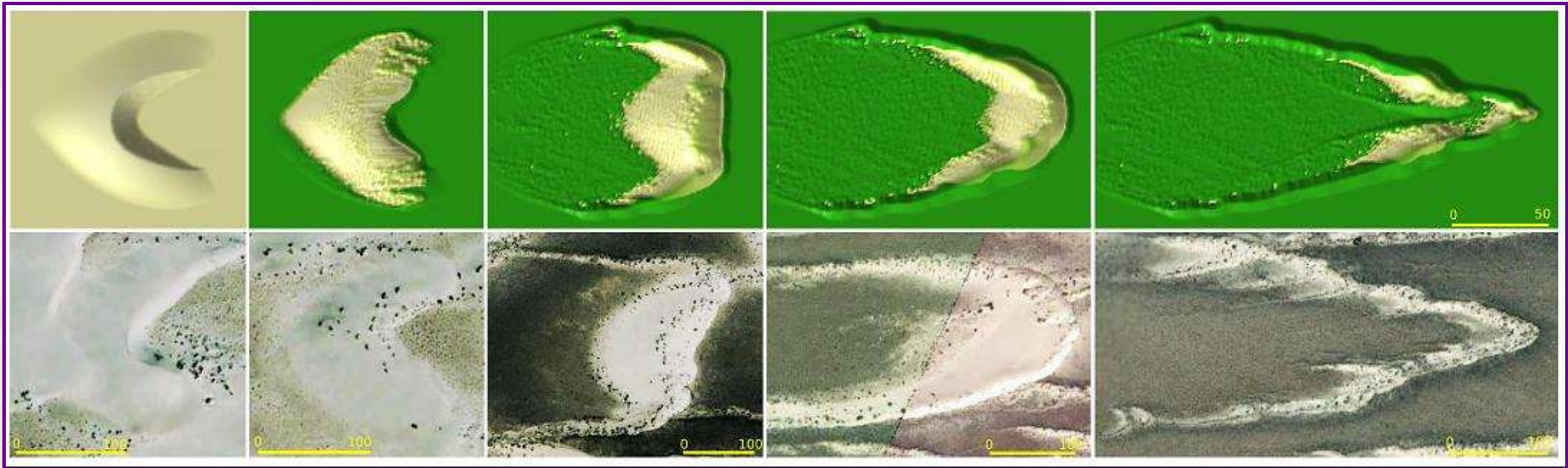
Wydmy wymuszone: *wydmy nadmorskie*

- **Wydmy nadmorskie** – rozwijają się w obrębie wybrzeży piaszczystych.
 - Przeważają **wydmy paraboliczne**.
 - Wydmy nadmorskie, wędrujące z prędkością 1 - 20 m/rok stanowią bardzo poważne zagrożenie dla wszelkich obiektów położonych na ich drodze i dlatego są sztucznie utrwalane roślinnością.



Zmiany środowiskowe i przekształcenia wydmy (np. *barchanów* w *wydmy paraboliczne*)

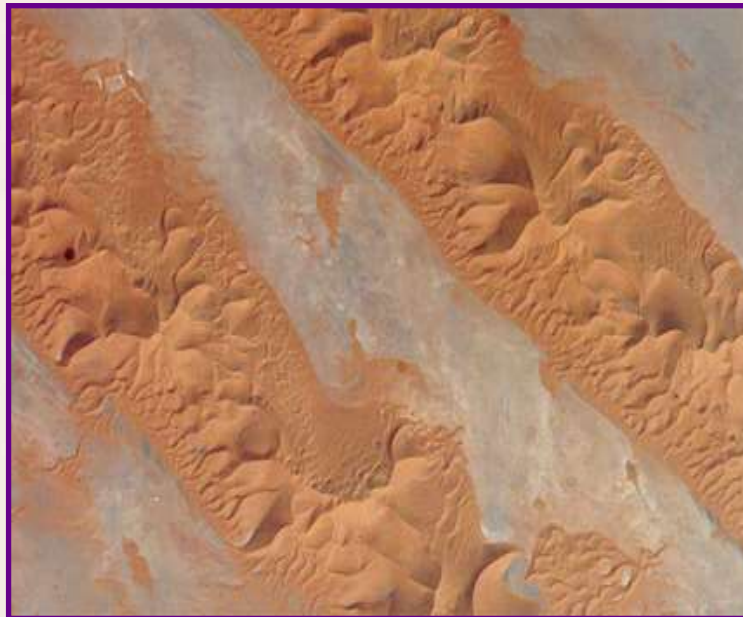
- Zmiany w klimacie na danym obszarze mogą prowadzić do zmiany rodzajów powstających wydmy.
 - Przykładowo na terenie suchym, na którym tworzyły się wydmy typu barchan, w wyniku wzrostu wilgotności (zwiększonych opadów atmosferycznych), mogą zacząć przekształcać się one w wydmy paraboliczne (one z kolei mogą przekształcić się w wydmy podłużne).



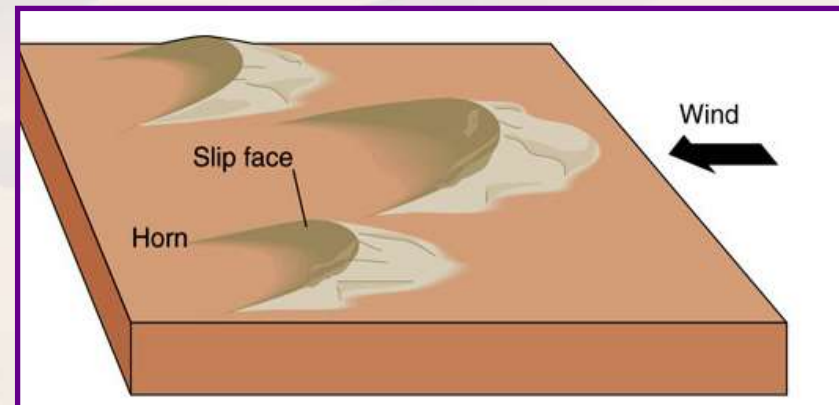
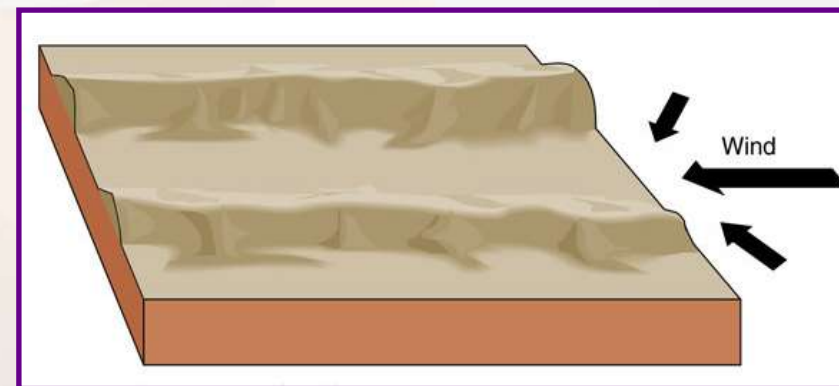
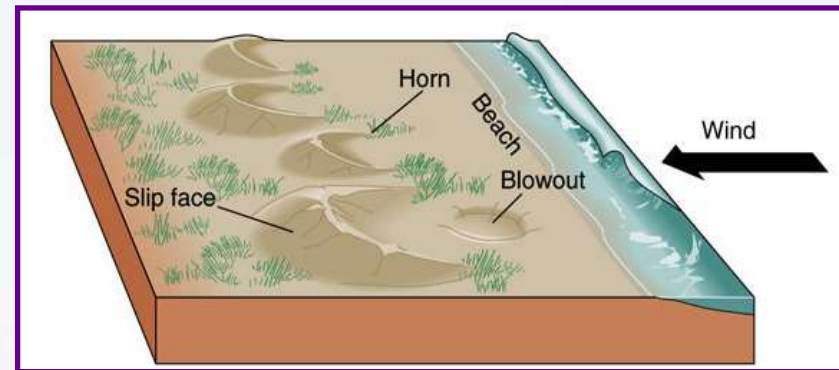
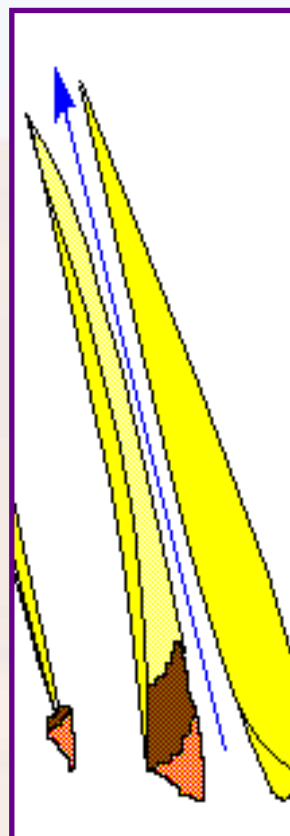
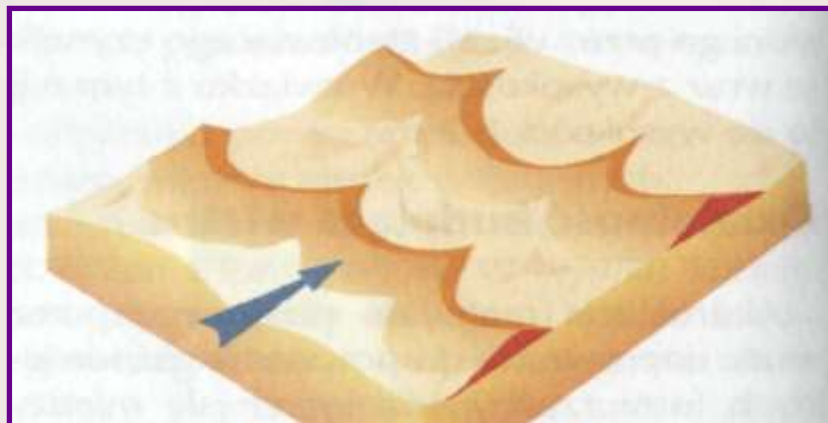
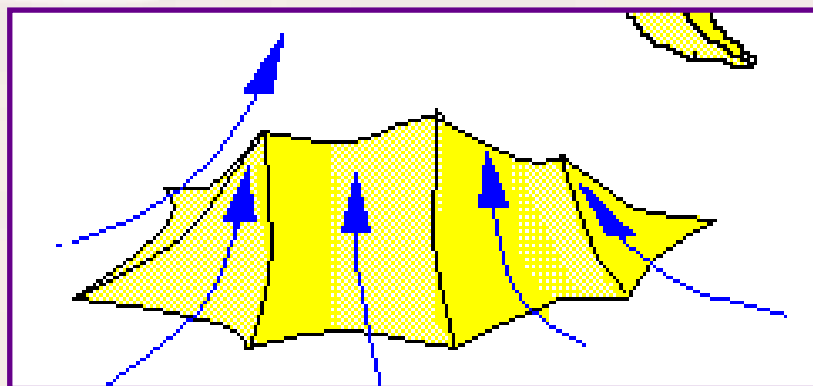
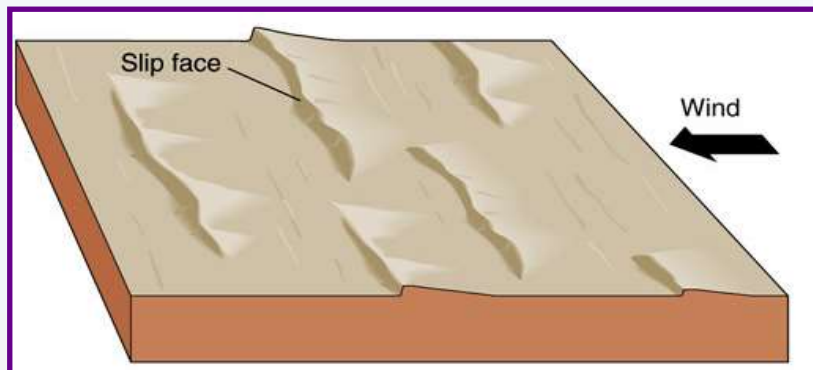
Formy wytworzone wskutek budującej działalności wiatru

C. Makro-formy: DRAASY

- **Wydmy draa (draasy; megawydmy)** – to długie i szerokie wały piaszczyste, należące do form eolicznych najwyższego rzędu, odznaczające się bardzo dużą wielkością:
 - do 800 km długości,
 - 1-3 km szerokości,
 - 50-450 m wysokości.
- Powstają one z połączenia wielu form wydmowych, tj. barchany, wydmy poprzeczne.
 - Szerokie (do 300 m) rynny pomiędzy nimi są produktem erozji eolicznej.
 - Przypuszcza się, że powstawały w późnym plejstocenie, gdy wiatry były dużo silniejsze.



ZADANIE: Rozpoznaj poniższe wydmy



Pustynie



Definicja pustyni

- **Pustynie** – krainy pozbawione pokrywy roślinnej (lub z bardzo rzadką roślinnością), z ubogim światem zwierzęcym.



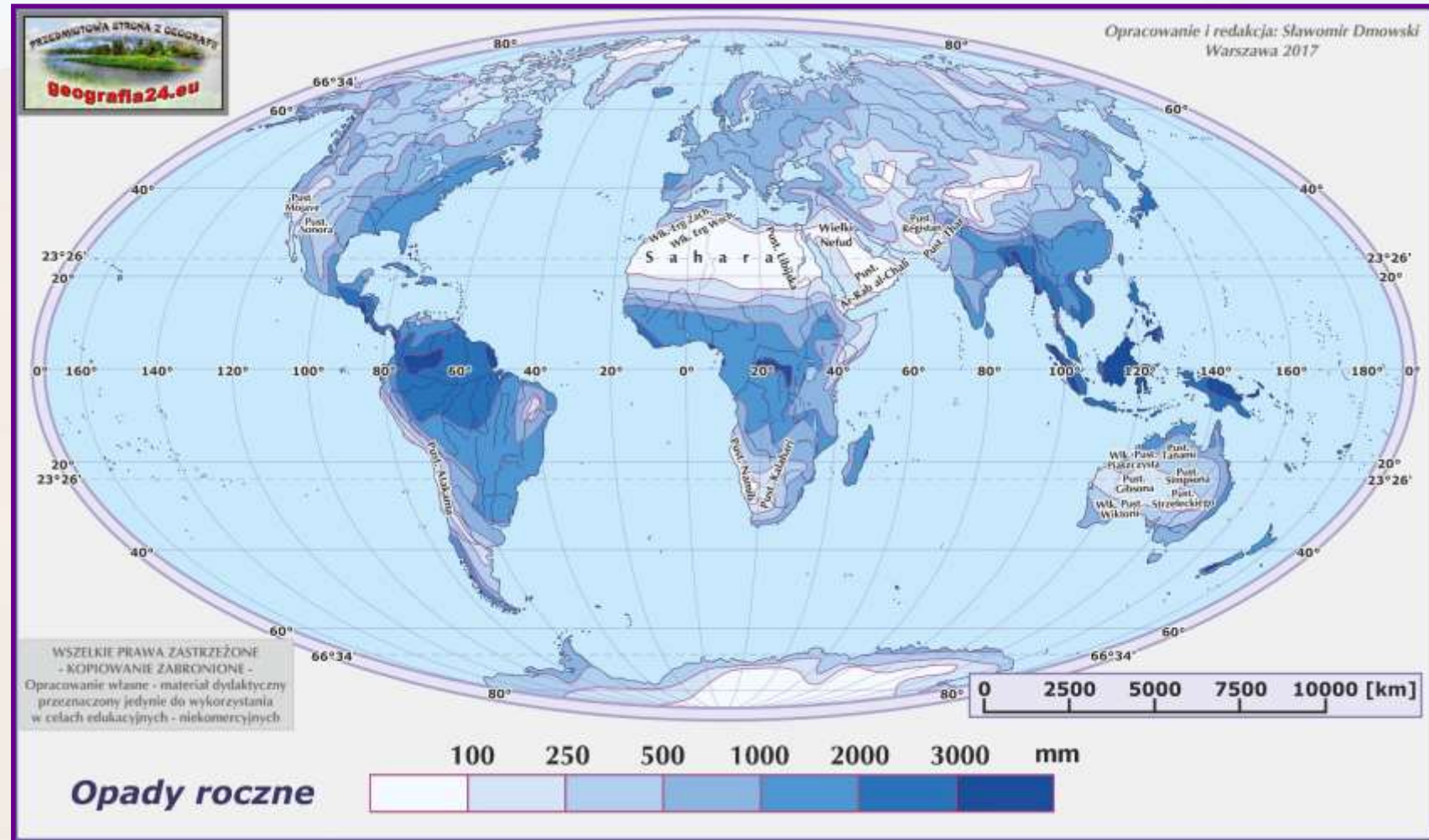
Cechy pustyń

- Do najważniejszych cech pustyń należą:
 - **niedostatek wody** w powierzchniowych warstwach gruntu;
 - **bardzo cienka pokrywa glebowa** lub **zupełny brak gleby**;
 - **silne nasłonecznienie**, związane z dużą liczbą dni bezchmurnych;
 - **duże dobowe wahania temperatur**;
 - **opady wynoszące średnio poniżej 250 mm na rok** i są bardzo nieregularne,
 - niekiedy wynoszą zaledwie kilka mm rocznie, zdarza się ich **zupełny brak** przez kilka lat z rzędu,
 - po długich okresach suszy pojawiają się gwałtowne, kilkudniowe ulew.
- Pustynie powstają w klimacie zwrotnikowym, podzwrotnikowym lub umiarkowanym, gdzie **parowanie znacznie przewyższa opady**.



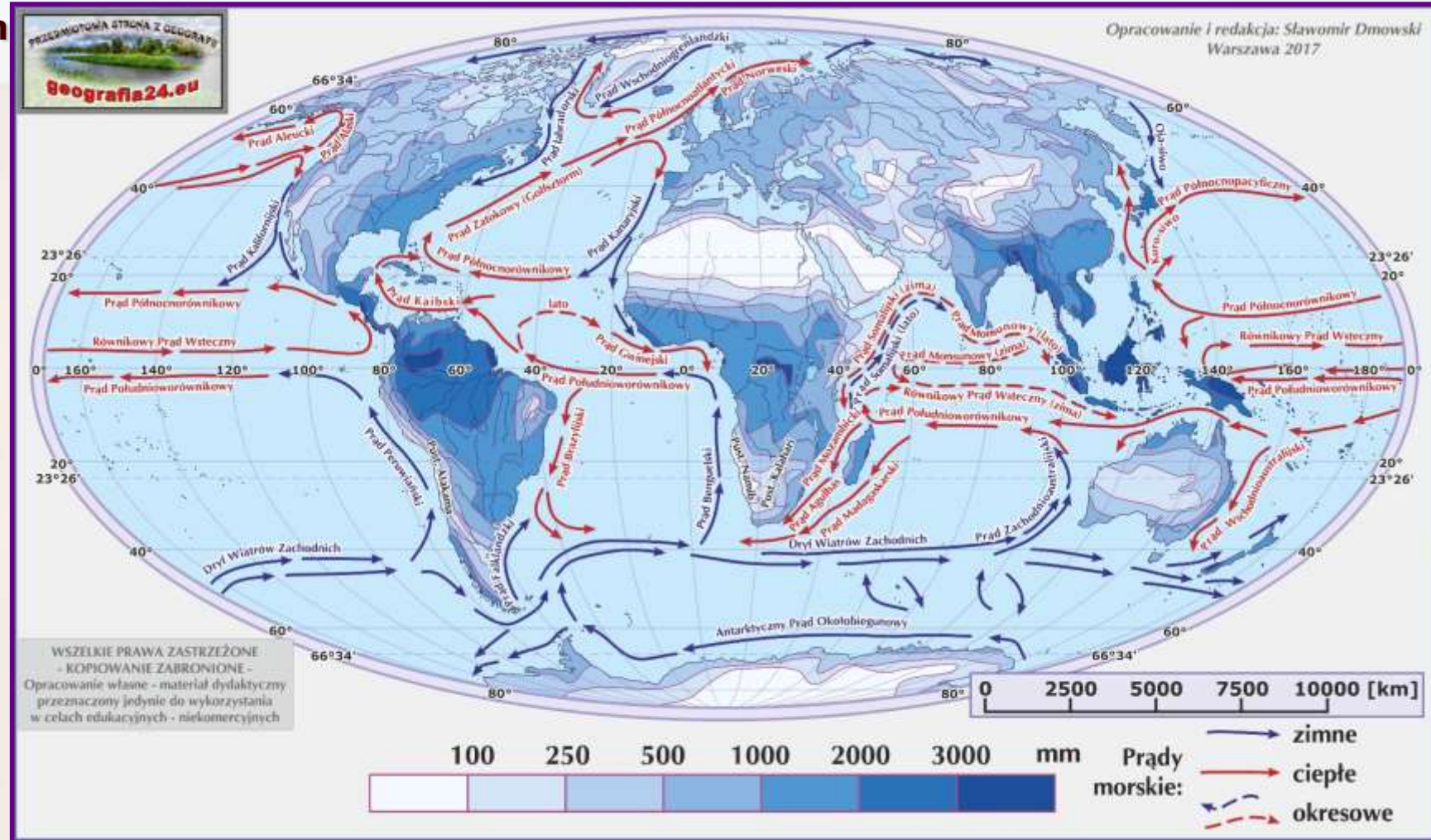
Czynniki odpowiedzialne za powstawanie pustyń

- Suchość klimatu jest rezultatem wytworzenia się **pasa wysokiego ciśnienia w strefie około 30° szerokości geograficznej (od około 18° do około 35°)**.
 - Sporadycznie tylko pojawia się układ niżowy przynoszący deszcz.
 - Przykładem powstałej z tej przyczyny pustyni jest np.:
 - Pustynia Sahara,
 - Pustynia Libijska,
 - Pustynia Registan,
 - Pustynia Thar,
 - Pustynia Ar-Rab al-Chali,
 - Wielki Nefud,
 - Wielki Erg Zachodni,
 - Wielki Erg Wschodni,
 - Pustynia Namib,
 - Pustynia Kalahari,
 - Pustynia Atakama,
 - Pustynia Sonora,
 - Pustynia Mojave,
 - Wlk. Pustynia Piaszczysta,
 - Wlk. Pustynia Wiktorii,
 - Pustynia Gibsona,
 - Pustynia Strzeleckiego.



Czynniki odpowiedzialne za powstawanie pustyń

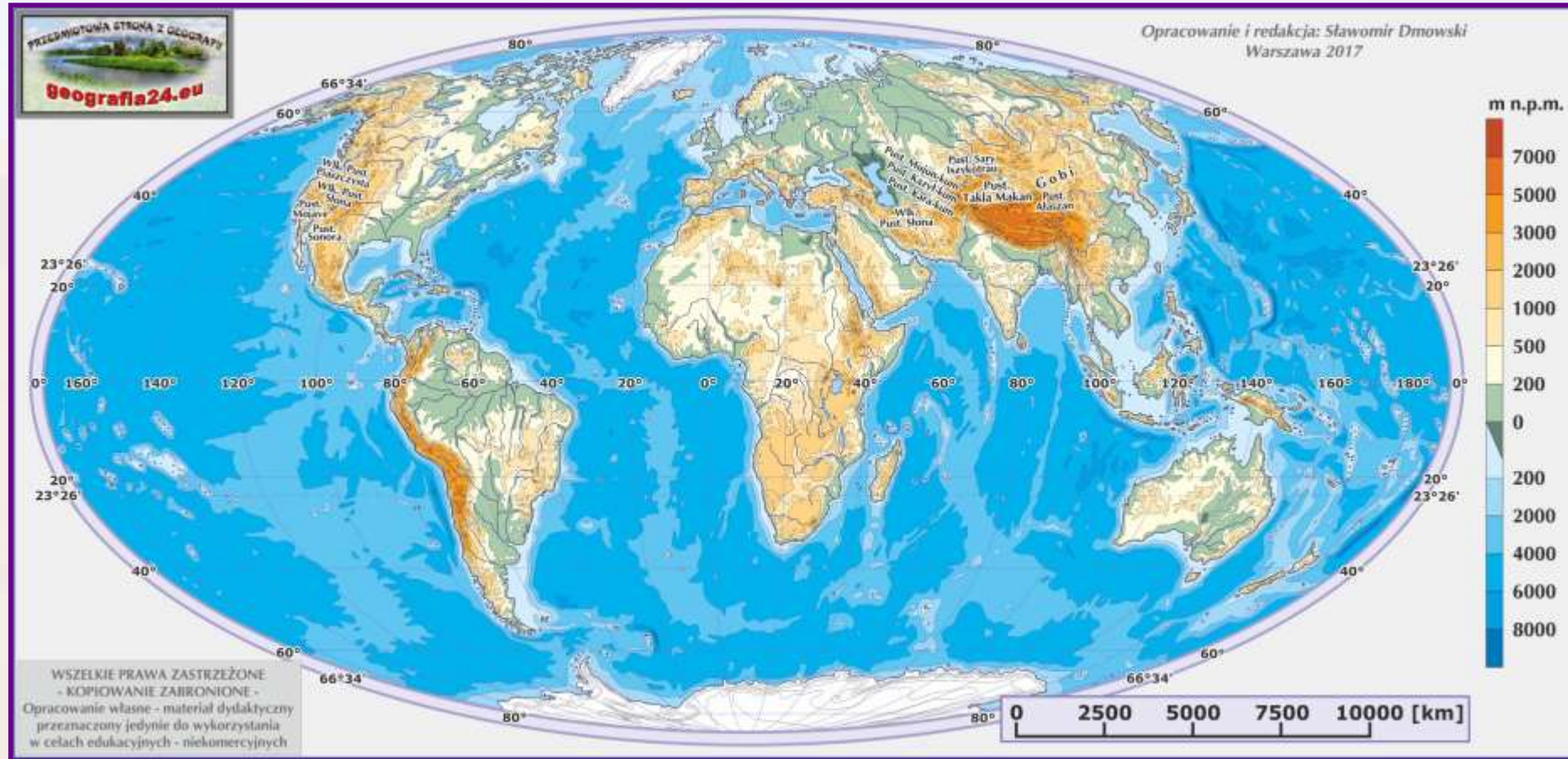
- Niektóre pustynie związane są z występowaniem **zimnych prądów morskich**, które u wybrzeży kontynentów schładzają zaległe nad nimi powietrze, nie dopuszczając do intensywnej kondensacji pary wodnej, co uniemożliwia skraplanie się jej i tym samym powoduje zaniknięcie opadów.
- Do pustyń powstałych w związku z występowaniem zimnych prądów morskich należą głównie:
 - Pustynia Atacama,
 - Pustynia Namib,
 - Pustynia Kalahari.



Czynniki odpowiedzialne za powstawanie pustyń

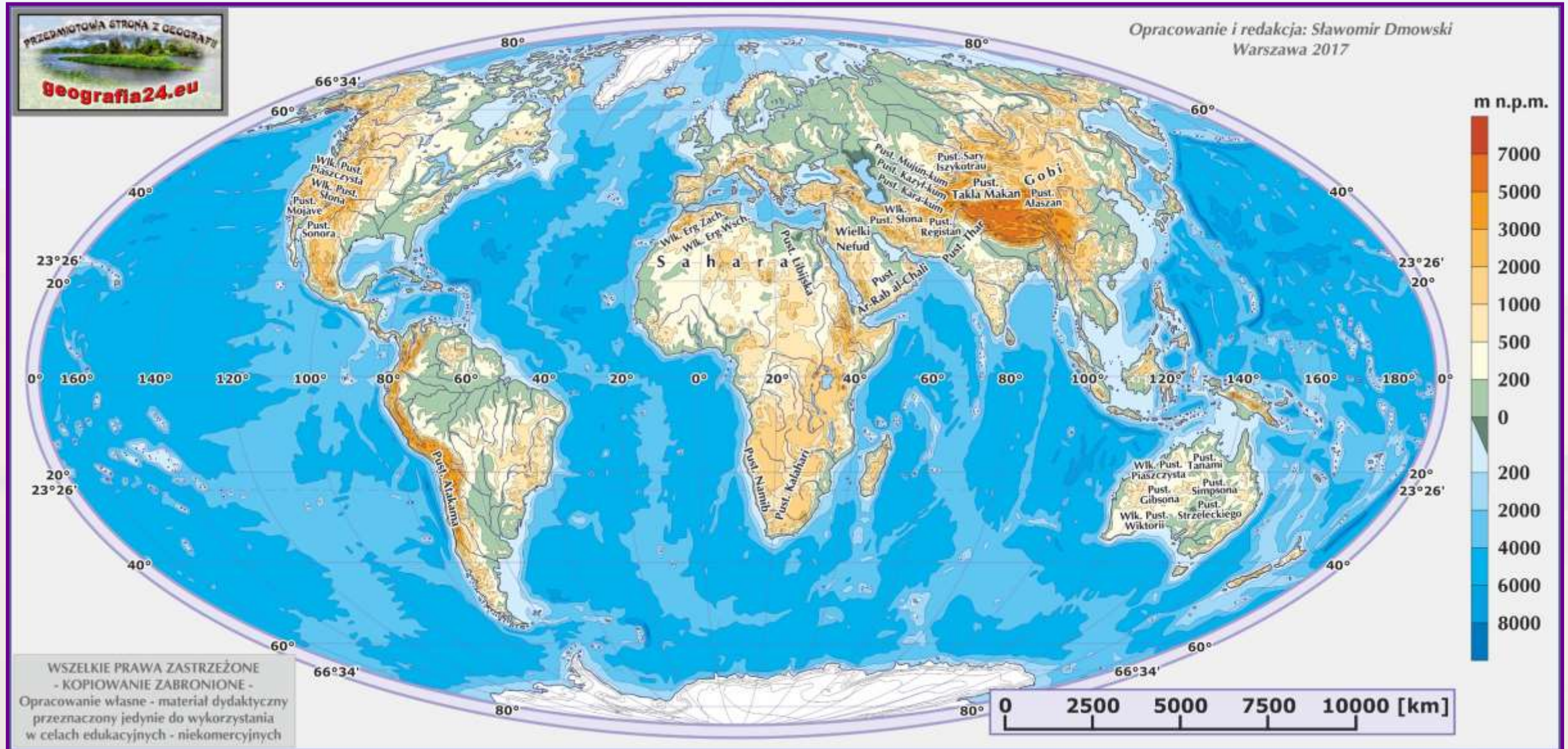
- Pustynie mogą się również tworzyć w **tzw. cieniu opadowym**, po zawietrznej stronie gór na obszarach, gdzie panują suche wiatry, np.:

- Pustynia Gobi,
- Pustynia Kara-kum,
- Pustynia Kazył-kum,
- Pustynia Mujun-kum,
- Pustynia Ałaszan,
- Pustynia Takla Makan,
- Pustynia Sary Iszykotrau,
- Wlk. Pust. Słona,
- Wlk. Pust. Piaszczysta,
- Pustynia Sonora,
- Pustynia Mojave (leżąca w Dolinie Śmierci).



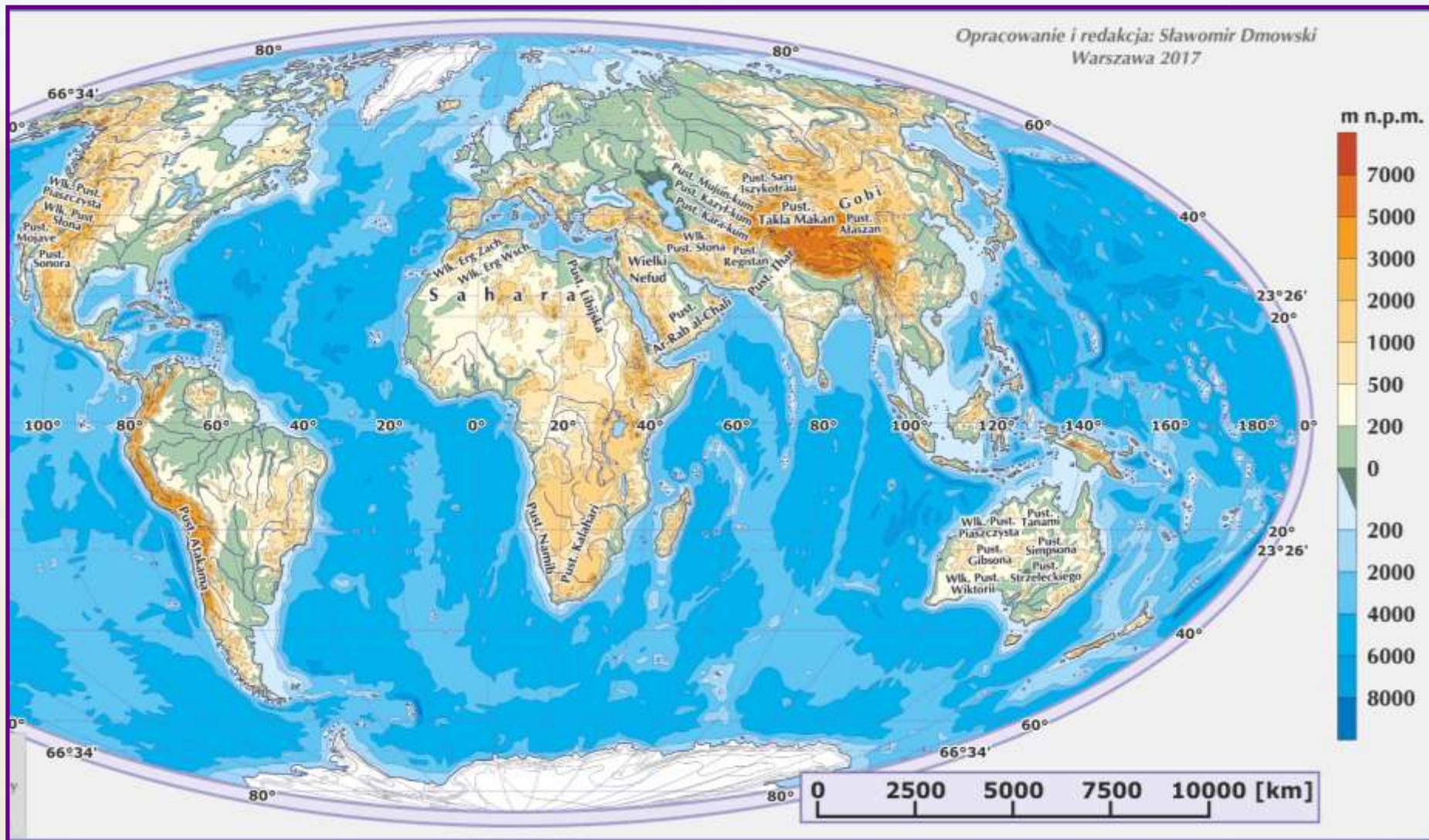
Główne pustynie na świecie

- Tereny pustynne zajmują 12% powierzchni lądów (około 20 mln km²).



Pustynie na różnych kontynentach

- Na poszczególnych kontynentach odsetek powierzchni zajmowanej przez pustynie jest różny, i tak wynosi on w:
 - Australii 45% powierzchni,
 - Afryce – 30%,
 - Azji – 26%,
 - w tym na Płw. Arabskim – 95%,
 - Ameryce PN – 10%,
 - Ameryce PD – 8%,
 - Europie – mniej niż 1%.



Typy pustyń wg. elementów tworzących pustynie

- W podziale pustyń ze względu na elementy składowe wyróżniamy 4 główne typy:
 - **pustynie skalisto-kamieniste,**
 - **pustynie żwirowe (lub żwirowo-gruzowe),**
 - **pustynie piaszczyste,**
 - **pustynie pylaste (lub pylasto-ilaste).**



1. Pustynie skalisto – kamieniste (hamada)

- **Pustynie skalisto-kamieniste** – występują zwykle w środkowych częściach wielkich obszarów pustynnych w dwóch odmianach:
 - **kamieniste {hamada}** – pokryte złomowiskami skalnymi (kanciaste okruchy skalne; o zabarwieniu szaro-brązowym, rudym lub szarawym – często pokryta czarną pokrywą żelazistą),
 - **skaliste** – pokryte wygładzoną powierzchnią skał litych.



Pustynia kamienista



Pustynia skalista

1. Pustynie skalisto – kamieniste (hamada)

- Obecne w obrębie pustyni skalisto-kamienistych wielkie struktury górskie z blokami skalnymi pocięte są przez **wadi** (**uedy**, **creek**), czyli suche doliny okresowych lub epizodycznych rzek (powstały one w okresach wilgotnych; dziś cieką jedynie po większych i rzadkich opadach deszczu).
 - W czasie intensywnych opadów deszczu są intensywnie zmywane i splukiwane (wpływa to na wygładzanie powierzchni skalnych).
 - Występują w ich obrębie bezodpływowe kotliny śródgórskie zwane **bolsonami**,
 - np. w Meksyku i Górach Skalistych.
 - Są obecne licznie bardzo malownicze ostańce skalne (**grzyby skalne**).



1. Pustynie skalisto – kamieniste (hamada)

- Powolne i długotrwałe wietrzenie fizyczne w obrębie pustyni skalisto-kamienistych prowadzi do uaktywnienia ruchów masowych – obrywania bloków skalnych na skutek dużych dobowych wahań temperatury (wietrzenie mrozowe) i odpadania będącego efektem osłabiania spójności skał wskutek niszczącego wpływu promieni słonecznych (wietrzenie insolacyjne).

- Bloki i gruz skalny podlegają szlifowaniu, a piasek i żwir wywiewane są przez wiatr (deflacja).
 - W szczelinach skalnych występują kolczaste zarośla – tu także chowają się więksi przedstawiciele świata zwierząt.

PRZYKŁADY: Pustynia Al-Hamada Al-Hamra (Libia), płaskowyż Ustiurt (Azja Środkowa – Kazachstan, Uzbekistan), Nanszan, wschodni Tien-Szan (Azja Centralna – Chiny).



2. Pustynie żwirowe (serir) lub żwirowo - gruzowe

- **Pustynie żwirowe** (lub **żwirowo-gruzowe**) {nazwy regionalne: **serir**, azrir (kraje arabskie), **gobi** (Mongolia), **reg** (Iran), gibber (Australia), bajada (USA)}:
 - tworzą drobne kamienie i żwir pochodzące z wietrzenia i наносów rzecznych, zwykle barwy czerwonej;
 - wiejące wiatry wygładzają okruchy skalne (częste formy to **graniaki**) i wywiewają drobniejsze ich części (obecny **bruk deflacyjny**);
 - występują suche dolinki **uedy** (**wadi** lub **creek**);

PRZYKŁADY: Pustynia Gobi (Azja Centralna), Pustynia Simpsona (Australia), Pustynia Ałaszan (Chiny).



3. Pustynie piaszczyste (erg)

- **Pustynie piaszczyste** {nazwy regionalne: **erg** (Sahara), kum (Azja środkowa), **barchan** (Turkmenistan), nafud, tomahak (kraje arabskie), szamo (Chiny), elisun (Mongolia)}:
 - budują piaski lotne z licznymi wzniesieniami w postaci ruchomych wydmy (m.in. barchanów, poprzecznych oraz podłużnych i gwiaździstych);

PRZYKŁADY: Wielki Erg Zachodni i Wielki Erg Wschodni (Północna Sahara), Wielka Pustynia Piaszczysta (Australia), Pustynia Kara-Kum (Turkmenistan) oraz Pustynia Ar-Rab al-Chali (Płw. Arabski).



4. Pustynie pylaste (Takyr) lub pylasto - ilaste

- **Pustynie pylaste** (lub **pylasto-ilaste**) {nazwy regionalne: **takyr** (Turkmenistan), **szot** (Sahara), **sebka** i **sabcha** (kraje arabskie – Sahara), **kewir** (Iran), **hor** (Mongolia), **sor**, **szor** (Turcja), **playa** (USA)}:
 - tworzą ją osady ilaste przyniesione przez wiatr lub rzeki okresowe:
 - w czasie suszy ił ulega silnemu spękaniu (spękania przyjmują kształt wieloboków),
 - odparowująca woda powoduje wytrącanie wapieni, gipsu, soli.



4. Pustynie pylaste (Takyr) lub pylasto - ilaste

- **Pustynie pylaste** (lub **pylasto-ilaste**) występują najczęściej w obrębie **bolsonów** – kotlin:
 - najniżej położoną część dna bolsonu (lub niecki deflacyjnej) zajmują okresowo wysychające jeziora nazywane **szottami** (przybierają zwykle postać słonych trzęsawisk).
- PRZYKŁADY:** niewielkie obniżenia w obrębie innych rodzajów pustyń, np. Wielki Szott (Tunezja), Szatt Malghigh (Algieria), Dasht-e Kawir (Wyżyna Irańska), Pustynia Kyzyl-kum.



Typy pustyni wg klasyfikacji klimatyczno-regionalnej

- Wg klasyfikacji klimatyczno-regionalnej pustynie dzielimy na:
 - pustynie kontynentalne** – obecne przede wszystkim w otoczonych wyniosłościami częściach:
 - Środkowej Azji, np. Gobi, Kara-Kum, Kazył-Kum i Takla-Makan,
 - zachodniej części Ameryki Północnej – np. Wielka Pustynia Słona i Wielka Pustynia Piaszczysta w USA;
 - pustynie obszarów strefy zwrotnikowej** – występujące w Afryce i Australii, m.in. Sahara i Wlk. Pustynia Wiktorii;
 - pustynie uwarunkowane obecnością zimnych prądów morskich** – np. pustynie Atakama w Ameryce Południowej (zimny prąd Peruwiański) i Namib w Afryce (zimny prąd Benguelski);
 - pustynie lodowe** – występujące na obszarze Antarktydy, Grenlandii i wysp Arktyki pustynie cechują się specyficznymi cechami, tj.:
 - obecność wody, ale praktycznie tylko w postaci stałej, więc paradoksalnie utrudniającej tutaj funkcjonowanie i rozwój świata żywego,
 - występowanie wielkich pokryw śnieżnych (huraganowy wiatr tworzy tu wielkie zaspy).



Pustynia lodowa

Typy pustyni wg konfiguracji terenu

- Wg klasyfikacji nawiązującej do konfiguracji terenu pustynie dzielimy na:
 - **pustynie górskie,**
 - **pustynie wyżynne,**
 - **pustynie nizinne.**



Typy pustyń wg konfiguracji terenu – pustynie górskie

- **Pustynie górskie** – odznaczające się skalistością (**pustynie skaliste**) i znaczną wyrazistością w terenie występujących form terenu – świetnie jest tu widoczna (np. Ahagar i Tibesti w Afryce oraz Góry Skaliste w Ameryce Północnej), wynikająca z budowy geologicznej (obecności odpornych na niszczenie skał), mnogość form korazyjnych, gęsta sieć suchych obecnie dolin rzecznych (typu **wadi**, **ued**, **creek**).



Typy pustyni wg konfiguracji terenu – pustynie górskie

- U podnóża niszczonych form rzeźby w obrębie pustyni górskich, w miejscach wylotów dolin, występują stożki napływowe:
 - piaszczyste (erg),
 - żwirowe (serir),
 - za nimi rozpościerają się równiny napływowe (playa, sebka).
- Wewnątrz śródgórskich obniżeń, w kotlinach bezodpływowych (w bolsonach) gromadzi się materiał zwietrzelinowy – po pewnym czasie może dojść do “zatopienia” gór skalistych we własnym materiale zwietrzelinowym (zjawisko to określamy jako panfan).



Typy pustyń wg konfiguracji terenu – pustynie górskie

- W rzeźbie pustyń górskich często spotykane są także **graniaki wiatrowe (wielograńce)**, **gzymy skalane**, **półki skalne** i **grzyby skalne**.
 - W obrębie niszczonych form korazyjnych występuje bogactwo form drobnych w obrębie skalnych ścian, rozpadlin, kopuł, iglic i bazaltowych słupów, tj.:
 - żłobki i jamy korazyjne, kieszenie i zagłębienia plastrowe.**
- Pustynie górskie zajmują stosunkowo duże powierzchnie spośród wszystkich obszarów pustynnych (w Azji – 65%, Ameryce Północnej – 40%, Afryce Północnej – 35% oraz Australii – 17%).



Typy pustyni wg konfiguracji terenu – pustynie wyżynne

- **Pustynie wyżynne** – o zróżnicowanej budowie geologicznej, od struktur płytowych i monoklinalnych, po mocno erodowane wypiętrzenia fałdowe i zrębowe, niszczone wskutek selektywnej działalności korazyjnej i deflacyjnej.
 - W ich obrębie występują:
 - **suche doliny (wadi)**,
 - **pustynie kamieniste (hamady)** pokryte czerwono-czarną patyną żelazistą (lakierem pustynnym),
 - **pustynie żwirowe (serir)** lub **żwirowo-gruzowe** z licznymi **graniakami** występującymi w obrębie **bruku deflacyjnego**.



Typy pustyń wg konfiguracji terenu – pustynie nizinne

- **Pustynie nizinne** – obejmują rozległe równiny i mało urozmaicone wielkie kotliny.
 - W ich obrębie występują przede wszystkim pustynie piaszczyste (należy jednak podkreślić, iż np. na Saharze pustynie piaszczyste stanowią jedynie nieco ponad 10% powierzchni).



Typy pustyń wg konfiguracji terenu – pustynie nizinne

- Pustynie nizinne zbudowane są z **piasków lotnych** budujących wydmy (sierpowe – barchany, podłużne – sejfy, poprzeczne, kopulaste lub odwracalne, gwiaździste oraz łukowe – paraboliczne).
 - Są urozmaicone różnorodnymi mikroformami eolicznymi, tj.: zmarszczki eoliczne (ripplemarki), języki piaszczyste (cienie piaszczyste), kopce piaszczyste i pagórki piaszczyste.
 - Tworzą je także różnego pochodzenia **piaski “zamarłe”** – unieruchomione w obrębie pustyń pylastych (takyr, playa) leżących w górnej części skał skorupy pylastej, wapnistej lub solnej.



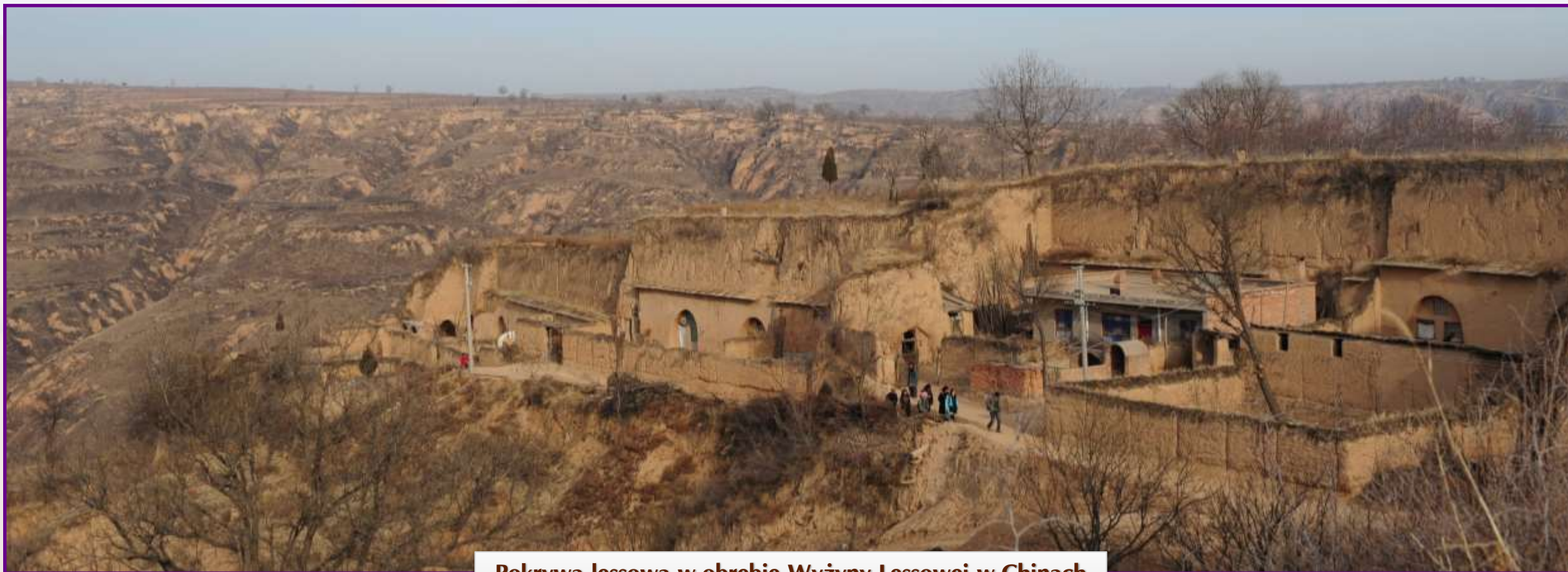
Typy pustyń wg konfiguracji terenu – pustynie nizinne

- Typową formą pustyń nizinnych są także okresowe **słone jeziora (szotty)** z charakterystyczną pokrywą pylastą podzieloną na rozsychające się wieloboki.
 - Często dno tych form usłane jest okruchami skalnymi tworzącymi **bruk deflacyjny** (gruba pokrywa stanowi ochronę przed dalszą deflacją).
 - Czasami ich dno znajduje się poniżej poziomu morza (np. depresja Kattara w Egipcie – 133 m p.p.m.).



Pokrywy lessowe

- **Pokrywy lessowe** – tworzone są w wyniku przenoszenia przez wiatr, a następnie osadzania mineralnych cząstek pylastych o średnicy mniejszej od 0,1 mm (przeważnie pyłów o średnicy 0,01-0,05 mm).
- Są one wywiewane z pustyń i obszarów peryglacjalnych na odległość nawet kilku tysięcy kilometrów.



Pokrywa lessowa w obrębie Wyżyny Lessowej w Chinach

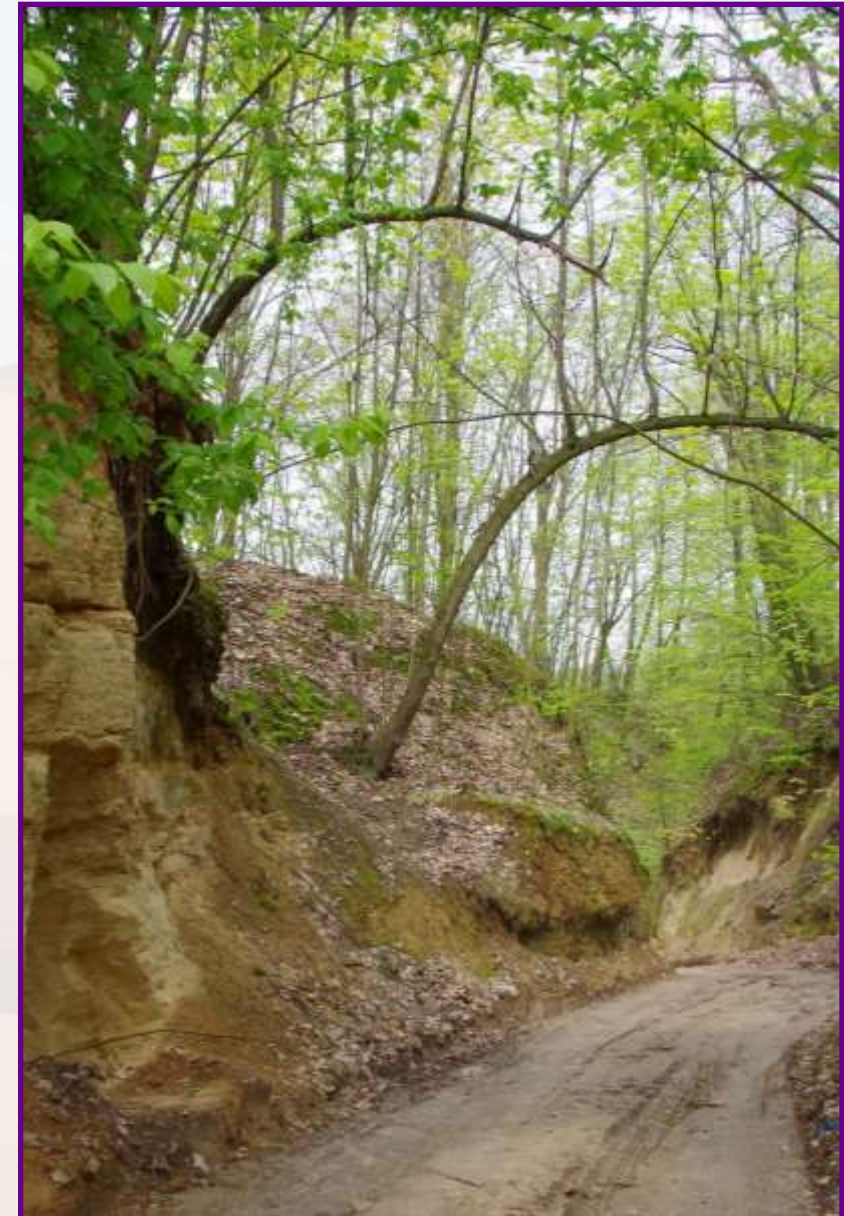
Less (pył nawiany)

- **Less (pył nawiany)** – zwięzła skała osadowa pochodzenia eolicznego, złożona z drobnych pyłów kwarcowych z niewielką domieszką pyłów skaleniowych i kalcytowych.
- Ma barwę jasnożółtą, jest najlepszym podłożem mineralnym dla procesów glebotwórczych,
 - tworzą się m.in. na nim urodzajne czarnoziemy.



Rodzaje lessu ze względu na genezę

- Ze względu na genezę wyróżniamy pokrywy:
 - lessu kontynentalnego** – pyłu wywiewanego z pustyń:
 - we Włoszech i we Francji wielokrotnie obserwuje się opad pyłu pustynnego przynieszonego przez wiatr (sirocco) z Sahary;
 - w Chinach na Wyżynie Lessowej znajdują się olbrzymie powierzchnie pokryw lessowych, o miąższości kilkuset metrów,
 - materiał pyłowy, tworzący less został wywiany z wnętrza pustyni Gobi;
 - lessu peryglacjalnego** – pyłu pochodzącego z obszarów na peryferiach lodowców (miało to miejsce głównie w plejstocenie);
 - terenami deflacji były rozległe równiny sandrowe i pradoliny, a także odsłonięte osady jezior zastoiskowych;
 - akumulacja takiego lessu doprowadziła do powstania płaskich powierzchni na przedpolu przeszkód terenowych,
 - najgrubsza warstwa lessów została zdeponowana w zagłębieniach które potem poddane zostały procesom fluwialnym, o czym świadczą wytworzone w nich formy wąwozowe (np. w Polsce na Wyżynie Lubelskiej);
 - na terenach górskich less osadził się na stokach odwieznych.



Pokrywy lessowe na świecie i w Polsce

- **Najgrubsze pokrywy lessowe na świecie**, osiągające miąższość 500 m, znajdują się na **Wyżynie Lessowej w Chinach, Mongolii**, na **Ukrainie i na równinach centralnych w Ameryce Północnej**.
 - Na wielu obszarach less przykrywa całkowicie starsze formy rzeźby, tworząc równiny lessowe.
 - Dotyczy to zwłaszcza plejstocénskich obszarów peryglacialnych.
- **Pokrywy lessowe w Polsce** (także we Francji, Niemczech) są przykładem działalności peryglacialnej.
 - W Polsce pokrywy lessowe o miąższości dochodzącej do 35 m występują m.in. na Wyżynie Lubelskiej, Roztoczu, Podkarpaciu, Nizinie Śląskiej.
 - Płaty lessów zbudowane są one z różnowiekowych warstw, tworzących się w okresach zlodowaceń, niekiedy poprzedzielanych glebami kopalnymi (tworzącymi się w okresach ociepleń – w interstadiałach).



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

Opracowanie i redakcja: *Sławomir Dmowski*
Kontakt: *kontakt@geografia24.eu*

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -