

Kazimierz Łyczko
emerytowany nauczyciel akademicki



ŻYWE ZEGARY

**"Przyroda zdaje się wołać do człowieka.
Dlaczego patrzysz w niebo?
Dałam Ci przecież rośliny, które wskazują godziny"**
Pliniusz Starszy

Życie na ziemi dostosowane jest do jej obrotów, zarówno wokół własnej osi, jak i obiegu wokół Słońca. Wszystkie organizmy musiały wykształcić swoiste wewnętrzne zegary umożliwiające im zsynchronizowanie procesów biologicznych z fazami dnia i nocy, a także ze zmianami pór roku. Skutkuje to różnymi zmianami obejmującymi wszystkie organizmy żywe.

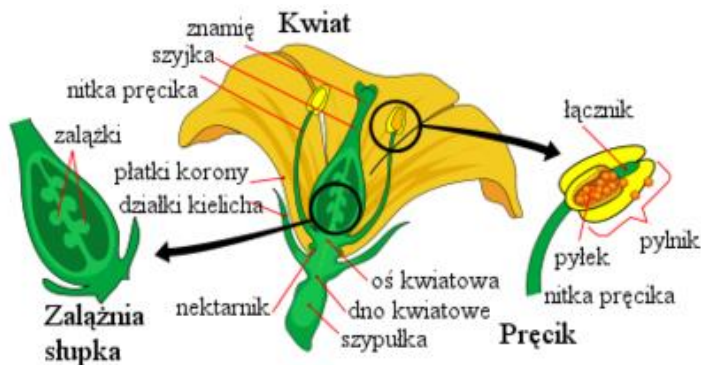
Pierwsze obserwacje zachowania roślin miały miejsce już w IV wieku p.n.e. Podczas przemarszu wojsk Aleksandra Wielkiego w Zatoce Perskiej na wyspie Tylos (obecnie Bahrajn), gdzie generał Androstenes z Tasos odnotował, że liście niektórych roślin składają się w nocy i rozkładają w dzień. Również Teofrast z Eresos (370-287) p.n.e. grecki filozof przyrody, uczeń Arystotelesa rozbudował metodę obserwacji ruchu roślin i stosował ją w badaniach biologicznych, medycznych i meteorologicznych. Nie podejrzewano wówczas, że przyczyna tych cyklicznych zmian może mieć charakter endogeny (wewnętrzny).

Dopiero 2000 lat później zostało to potwierdzone. W 1729 r. francuski astronom Jean-Jacques d'Ortous de Mairan ogłosił, że dobowe ruchy rośliny utrzymują się również w warunkach ciągłej ciemności. Potwierdził to na przykładzie zachowania liści mimozy wstydliwej (składają się nocą, a otwierają za dnia) że po umieszczeniu tej rośliny w warunkach stałego braku światła, to niezależnie od dostępu do światła liście rozkładały się i składały zgodnie z ich rytmem dobowym.

Doświadczenie to pozwoliło udowodnić istnienie wewnętrznego zegara kontrolującego fizjologię roślin. Właściwa synchronizacja wewnętrznego zegara ze zmianami środowiskowymi jest ściśle związana z rozwojem roślin. Wpływa m.in. na prawidłowy rozwój hipokotyłu (najniższa część rośliny między korzeniem a liśćmi), powstawanie kwiatów, przebieg fotosyntezy czy ruchy liści.

Pojęcie "żywego zegara" zaistniało w połowie XVIII wieku i było wynikiem obserwacji dobowego ruchu płatków - rytmu zakwitania różnych gatunków kwiatów. Jaka jest godzina, rozpoznawano kiedyś także na podstawie obserwacji otwierania się kwiatów. Ogrodnicy układali tzw. zegary Flory (rzymska bogini kwiatów i wiosny). Zegar Flory to był rodzaj spisu roślin z uwzględnieniem otwierania się i ewentualnego zamykania kwiatów. Kwiat występuje u roślin nasiennych i jest organem rozmnażania. Jego budowa zasługuje na bliższe poznanie.

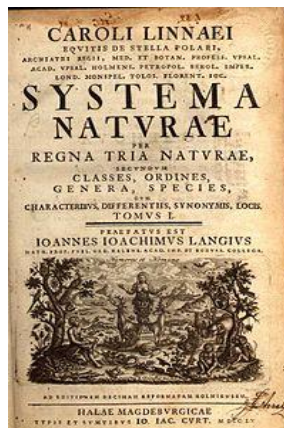
"Kwiat jest uśmiechem rośliny" - Peter Hille



Okwiat - płatki + działki kielicha,
Pręciki - męskie organy rozrodcze wytwarzające ziarna pyłku,
Stupek - żeński organ rozrodczy z zalaznią,
Dno kwiatowe - na nim osadzone są wszystkie elementy kwiatu

Budowa kwiatu

Zakwitnienie zależne jest od barwnika - fitochromu i uaktywnia się pod wpływem światła. Za pioniera w "skonstruowaniu" pierwszego żywego zegara uważa się szwedzkiego przyrodnika i lekarza Karola Linneusza, który obok Arystotelesa i Darwina wywarł największy wpływ na rozwój biologii. Stworzył On system podziału organizmów - dziś nazywany sztucznym - w którym stosował kryterium podobieństwa zewnętrznego. Wprowadził stosowanie nazw gatunkowych w języku łacińskim. Jest autorem dzieł: "Systema naturale" (1735) i "Geniera Planiarium" (1737) dających podwaliny pod system kwalifikacyjny roślin i będące podstawą dzisiejszej botaniki. Na podstawie obserwacji Linneusz opisał ok. 7700 gatunków roślin klasyfikując je wg kształtu słupka, pręcika oraz sposobu rozmnażania. W 1745 r. posadził w Ogrodzie Botanicznym w Upsalli pierwszy zegar kwiatowy. Była to okrągła rabata podzielona na 12 części, każda z nich wypełniona roślinami w taki sposób by kwiaty otwierały się lub zamykały o tej samej porze.



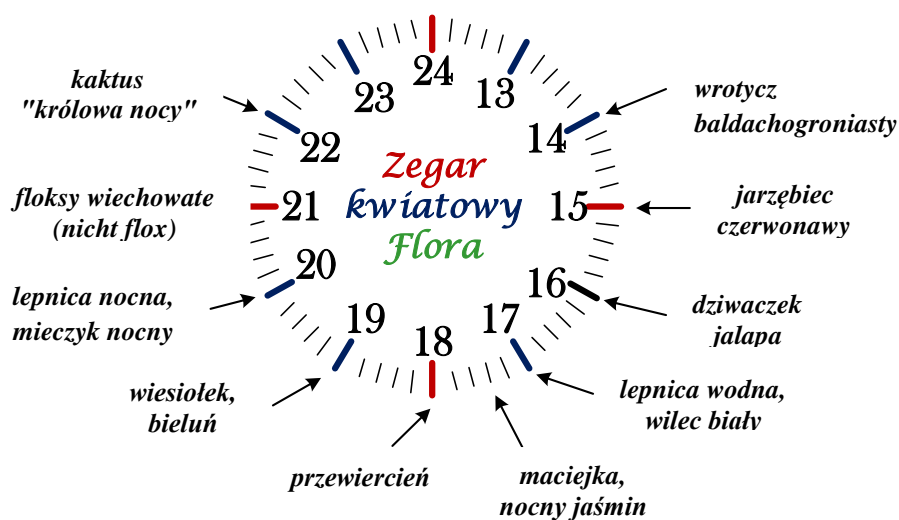
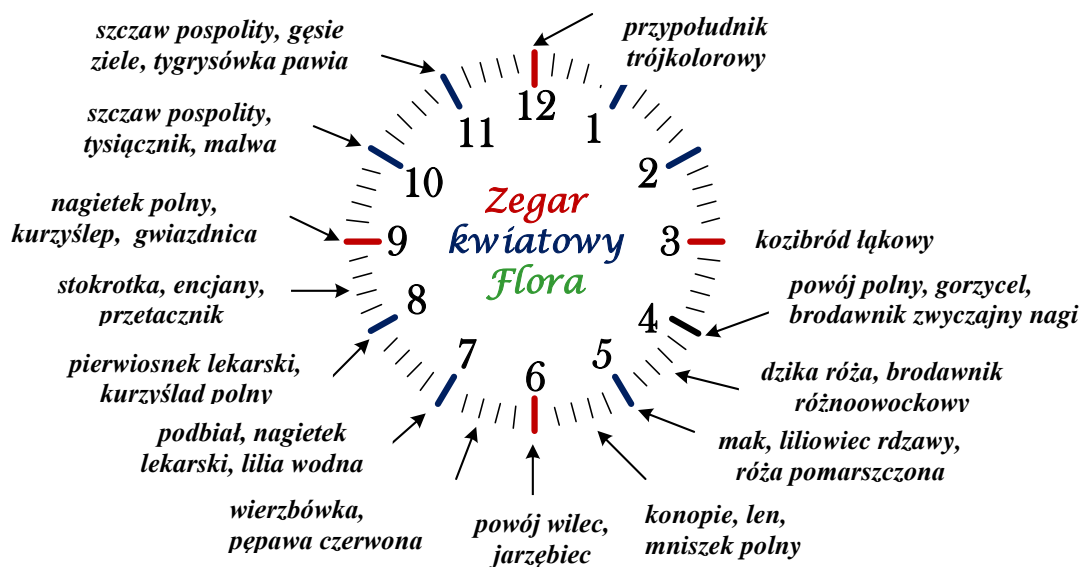
Karol Linneusz (1707-1778) ; Systema Naturale ; zegar Linneusza

Dopiero w 1936 r. Erwin Bunning biolog niemiecki, autor modelu **fotoperiodyzmu** roślin, potwierdził, że między dobowymi rytmemi ruchów liści roślin a zdolnością tych roślin do pomiaru długości dnia istnieje korelacja wyrażająca się momentem ich zakwitania. Zjawisko fotoperiodyzmu omówione zostanie w dalszej części niniejszego opracowania. Ponadto biolog pochodzenia brytyjskiego Colin Stephenson Pittendrigh wysunął hipotezę, że rytmy dobowe roślin są regulowane

przez te same układy, które pozwalają ptakom i pszczołom odmierzać upływające godziny dnia niezależnie od związanych z porą roku różnic w położeniu Słońca względem horyzontu.

**Kwiat nie używa słów, by ogłosić swoje przybycie,
kwitnie o określonej godzinie"**
Matshona Dhlwayo

Czasy otwierania i zamykania dostosowują się do klimatu danego regionu, położenia słońca na danej szerokości geograficznej oraz od proporcji ilości światła dziennego do nocy. Na podstawie obserwacji prowadzonych w naszym klimacie oraz korzystając ze spisu roślin do zegara kwiatowego w przedstawionych w pismach "Ogrodnik Polski" z 1888 r., "Ogrodnik" z 1935 r. oraz innych źródeł można sporządzić zestawienie różnych rodzajów kwiatów i pór otwierania swoich kielichów, co przedstawiono na niżej zamieszczonych rysunkach.



Przyporządkowanie godzin do rytmu zakwitania kwiatów wybranych roślin

Podobne zegary, różniące się tylko składem gatunkowym kwiatów, można by utworzyć i dla innych miejsc na kuli ziemskiej. Spotykane w różnych miejscach świata często w parkach i na centralnych placach zegary kwiatowe na wzór zegara Linneusza spełniają jedynie rolę symboliczną a ze względu na swoją kolorystykę są przede wszystkim elementem dekoracyjnym. Przyporządkowanie godzin do rytmu zakwitania ma również miejsce m. in. na tarczach zegarów talerzowych lub wielu wyrobach artystycznych.



Do wyjątkowych zegarów kwiatowych należy zaliczyć zegar w Genewie, regularnie zmieniany i uzupełniany od 1955 r. Na jego tarczy rośnie ok. 6500 roślin i krzewów.

Własny rytm biologiczny - otwieranie się i zamykanie swoich kielichów o bardzo różnych porach odrywa ważną rolę w przyrodzie ponieważ różne pory rozkwitania kwiatów zapewniają owadom całodobowy dostęp do pyłków i nektaru. Korzyścią jest to że owady wiedzą dokładnie które kwiaty kiedy się otwierają a druga korzyść że "konkurencja" między pszczołami, trzmielami, motylami jest mniejsza. Korzyści mają również kwiaty bo nie muszą ze sobą konkurować o przyciąganie owadów które mogłyby je zapylić. Oprócz informacji jaka jest pora dnia, kwiaty informują nas o zmianach

pogodowych. Np. jeżeli nagietek o siódmej rano, jeszcze nie rozwinął płatków nie będzie ładnej pogody a jeżeli całkowicie się zamknie idzie burza.

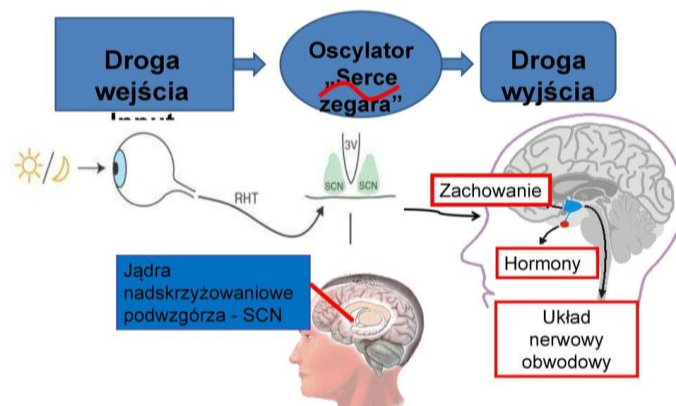
Zegar biologiczny

"Życie w zgodzie ze swoim zegarem biologicznym jest łatwiejsze i efektywniejsze"

Przysłowia chińskie

Organizmy mierzą czas dla zapewnienia ściśle uregulowanego trybu życia dostosowanego do wymuszanego przez cykliczne zmiany w środowisku zewnętrznym. W wielu pracach opisywano różne procesy fizjologiczne, zarówno u roślin, jak i u zwierząt, zmieniające swe natężenie w rytmie dobowym czy rocznym. Ważnym elementem tych prac było to, że przedstawiały one dowody na wrodzony charakter tych zmian. Dokładne odczytywanie sygnałów środowiskowych będących odbiciem zmiennych czynników środowiska jako "**wskazówek czasu**" umożliwia **zegar biologiczny**.

Zegar biologiczny - wewnętrzny oscylator, zespół sterowanych genami procesów biochemicznych zachodzących w komórkach i tkankach organizmu. Jest to wewnętrzny mechanizm regulujący i synchronizujący **procesy życiowe** organizmów do cyklicznie powtarzających się zmian w zewnętrznych warunkach środowiska. **Zegar biologiczny** inaczej **cykl biologiczny** to zespół procesów biochemicznych, które umożliwiają pomiar czasu i synchronizację procesów życiowych z warunkami w środowisku zewnętrznym.



Budowa zegara biologicznego

Zegar biologiczny u ssaków, a więc i u człowieka, znajduje się w mózgu, a dokładniej w obszarze podwzgórza mózgu zwanym jądrem nadskrzyżowaniowym. Komórki jądra nadskrzyżowanego położone ponad skrzyżowaniem nerwów wzrokowych odbierają informacje z siatkówki, na tej podstawie szacuje przybliżoną porę dnia i wysyła sygnały do wszystkich komórek, które generują rytmy okołodobowe.

Źródłem energii napędzającej zegar biologiczny jest energia powstająca w wyniku różnych procesów metabolicznych zachodzących w komórkach organizmu. Rolę koordynacyjną, głównym regulatorem

jest **melatolina**. Melatolina to hormon wytwarzany przez szyszynkę wtedy gdy na dworze robi się ciemno. Utrzymuje ona rytmiczność wielu procesów fizjologicznych (m. in. wpływa na rytmikę snu, obniża temperaturę ciała, zmniejsza metabolizm mózgu, moduluje wydzielanie hormonów). Reguluje rytm dobowy poprzez cykl: **światłość - ciemność**.

"Wskazówki" zegara biologicznego, można przesuwać. Przykładem może być reakcja organizmu ludzkiego na przekraczanie stref czasowych. W miarę upływu czasu nasz rytm snu i aktywności dostosowuje się do lokalnych warunków. Następuje więc przesunięcie wskazówek naszego wewnętrznego zegara pod wpływem działania miejscowego rytmu dnia i nocy. Można uznać że:

Zegar biologiczny to nasz wewnętrzny czasomierz, który jest odpowiedzialny za uporządkowanie w czasie niektórych naturalnych czynności organizmu m.in. za przyływ energii i regulację rytmu snu czy za kondycję serca, mózgu oraz układu pokarmowego.

Zagadnieniami związanymi z zegarem biologicznym, a konkretnie projektem badawczym: spenetrowania możliwości znacznego wydłużenia ludzkiego życia zajmuje się m. in. firma Altos Labs mająca swoje przedstawicielstwa w Kalifornii, Wielkiej Brytanii i Japonii. Firma skupiająca wybitnych światowych uczonych koncentruje swe badania na przeprogramowaniu komórek organizmu w celu ich odmłodzenia i odwrócenia procesu starzenia się. Prof. Stive Horvarth z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Los Angeles opracował "zegar biologiczny" umożliwiający precyzyjne monitorowanie procesu starzenia się, jednak droga do dalszych obiecujących eksperymentów i do odmładzania ludzi jest jak na razie długa i niepewna.

Rytmy biologiczne

***"Każdy dzień jest nowym początkiem,
weź głęboki oddech i zacznij od nowa"***

Antoni Kępiński

Z prowadzonych już od starożytności obserwacji roślin i zwierząt wynika, jak już wyżej wspomniano, większość procesów w organizmach żywych podlega okresowej zmienności zwanej **rytmami biologicznymi - biorytmami** wyznaczanymi przez zegar biologiczny.

Rozpoznanie swojego rytmu biologicznego i wydajności organizmu w zależności od pory dnia może znacznie ułatwiać codzienne funkcjonowanie.

Rytmy biologiczne to cykliczne, powtarzające się w czasie, nasilanie się i osłabianie procesów biologicznych i funkcji życiowych, związane z obrotem Ziemi dookoła własnej osi (dzień i noc), ruchem Ziemi wokół Słońca (pory roku), oraz ruchem Księżyca w relacji do Ziemi (pływy oceanów). Mają one zdecydowany wpływ na proces adaptacji, funkcjonowania i rozwoju życia na Ziemi. Rytm biologiczny decyduje jak organizm funkcjonuje w czasie. Dotyczy to nie tylko człowieka - podlegają mu wszystkie organizmy żywe, od tych najmniejszych, jednokomórkowych do największych na naszej planecie ssaków. Wiele zjawisk cyklicznych powstaje w wyniku wspólnego działania czynników zewnętrznych i wewnętrznych.

Rytmu biologiczne można scharakteryzować następującymi parametrami:

- **okres rytmu** - przedział czasu, potrzebny do zakończenia jednego kompletnego cyklu po którym następuje powtórzenie określonego stanu danego procesu (może być różny od sekund do wielu lat),
- **częstotliwość** - liczba okresów pojawiających się w jednostce czasu,
- **amplituda** - wielkość wahań intensywności procesów rytmicznych, np. rozpiętość między największą a najmniejszą intensywnością oddychania, lub fotosyntezy, to dwie amplitudy,
- **oscylacja** - zmiana natężenia przebiegu określonego procesu w czasie,
- **zakres oscylacji** - rozpiętość między największą a najmniejszą intensywnością natężenia przebiegu określonego przebiegu (to dwie amplitudy),
- **faza rytmu** - odpowiedni stan oscylacji rytmu w czasie trwania okresu,
- **akrofaza** – przedział czasowy w ciągu doby, kiedy pojawia się wartość maksymalna

Synchronizatory rytmu - czynniki otoczenia, prowadzące do wyrównania fazy rytmu biologicznego z rytmami astronomicznymi, geograficznymi lub środowiskowymi.

Badaniem rytmów biologicznych zajmuje się dziedzina biologii - **chronobiologia** (od greckiego "chronos" - czas). Powstała w 1959 roku a której zadaniem jest badanie natężenia procesów biologicznych w czasie, niezbędne do pełnego opisu struktury czasu biologicznego. Znajomość rytmów przynosi wiele korzyści i ma ważne, choć ciągle niedoceniane, znaczenie praktyczne. Jak ważną rolę w życiu człowieka pełni zegar biologiczny i jak silny wpływ wywiera na funkcjonowanie organizmu. W sytuacjach, gdy następuje jego "rozregulowanie" czyli jak sygnały wewnętrzne przestają się zgadzać z bodźcami płynącymi z zewnątrz, pojawiają się nieprzyjemne skutki w postaci zmęczenia, poważniejszych schorzeń, itp.

Rodzaje rytmów

"Życie jest jak jazda na rowerze. Żeby utrzymać równowagę, trzeba być w ciągłym ruchu" -

Antoni Kępiński

Rytmu okołodobowe - podstawowe jednostki czasu zegara biologicznego.

Wiele organizmów żywych posiada zegar dobowy, który dba o to, by rozmaite aspekty metabolizmu, fizjologii i zachowania następowały o optymalnej porze cyklu dziennego. Wyniki badań pokazały, że niektóre geny wykazują większą aktywność w określonych porach dnia, a aktywność genów powiązanych funkcyjnie jest często regulowana na tę samą porę.

Wyróżnia się dwa rodzaje tych rytmów, które przebiegają w cyklach trwających:

- ♦ **przez okres krótszy niż 20 godzin** tzw. **rytmu ultradielne** - sekundowe (np. fale mózgowe), minutowe (np. częstość akcji serca), godzinne (np. naprzemiennosc faz snu),
- ♦ **przez okres około 24 godzin** - **rytmu dobowe** (np. sen - czuwanie, temperatura ciała, poziom pierwiastków i hormonów, ciśnienie krwi, tężyzna fizyczna).

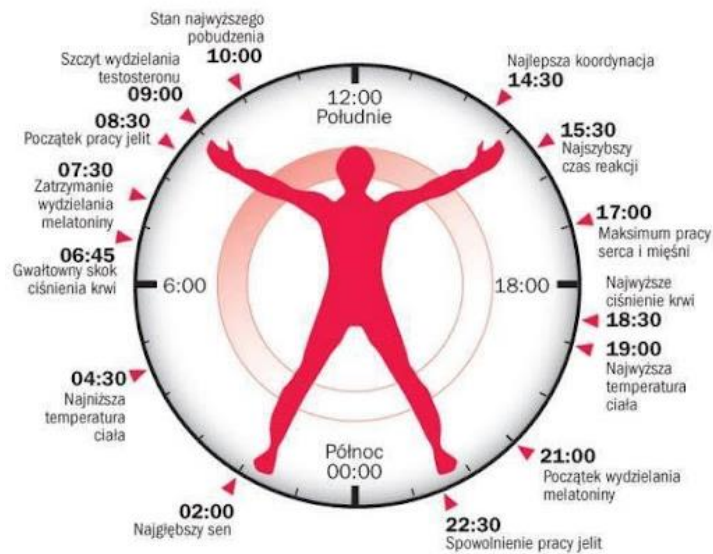
W rzeczywistości, długość powyższych dwóch rytmów jest u różnych organizmów nieco krótsza lub nieco dłuższa niż doba, dlatego nazywa się je **rytmami okołodobowymi**. Rytmu te znajdują się pod

kontrolą zegara biologicznego, złożonego z głównego mechanizmu obecnego w mózgu (jądra nadskrzyżowane podwzgórza) oraz podrzędnych zegarów obecnych w każdym narządzie i tkance. Na poziomie komórek praca zegara jest regulowana przez aktywność różnych genów.

Bardzo ważnym czynnikiem, który wpływa na biorytm dobowy ma **fotoperiodyzm** i **fotoindukcja**. **Fotoperiodyzm** to reakcja organizmu na ilość i zmiany naturalnego światła i ciemności jaka dociera do nas zależnie od pory dnia. Pierwsze sugestie o zdolności organizmów do pomiaru długości dnia wysunięto, jak już wyżej wspomniano na podstawie obserwacji okresu zakwitania roślin, a także rozmnażania się zwierząt, przypadających w odpowiednich porach roku. Natomiast **fotoindukcja** jest odpowiedzią organizmu na zmiany długości dnia, zaprogramowana genetycznie.

Najłatwiejsze do pomiaru są procesy związane z mechanicznym przemieszczaniem się, np. ruchami liści czy aktywnością ruchową zwierząt. Mając na uwadze fotoperiodyzm u roślin możemy wyróżnić:

- **rośliny dnia długiego** - kwitną w okresie długich dni i krótkich nocy (klimat umiarkowany i zimny), zboża, trawy, szpinak, rzodkiewka i in.
- **rośliny dnia krótkiego** - rośliny klimatu podzwrotnikowego, kwitną w klimacie umiarkowanym wczesną wiosną lub późną jesienią (gdy dzień krótki a noc długa), tytoń, ryż, proso, kukurydza, chryzantemy
- **obojętne** - kwitną niezależnie od długości dnia i nocy, pomidory, gryka.



Przebieg biorytmu dobowego człowieka

Powszechnie znane są dobowe zmiany zachowania się zwierząt i człowieka związane z fazami aktywności i spoczynku. Ważną cechą organizmów żywych jest ich różna wrażliwość na te same czynniki środowiska, zależnie od pory dnia. U podłoża tego zjawiska leży rytm dobowy różnych procesów fizjologicznych. Znaczący to, że organizm żywy jest inny w każdej chwili ale jak wykazały badania ma podobny wzorzec reakcji na działanie różnych bodźców środowiska, co świadczy o stabilności dziedzicznego zegara biologicznego.

Za odkrycie mechanizmów molekularnych regulujących rytm dobowy przyznano w 2017 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizjologii i medycyny. Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash i Michael W. Young, wykorzystując muszkę owocówkę jako organizm modelowy, zbadali geny regulujące nasz wewnętrzny zegar biologiczny, zidentyfikowali również proteiny jakie te geny kodują. Mimo, że rytm dobowy opisywany był w literaturze już wcześniej, dopiero to odkrycie umożliwiło dogłębne zrozumienie procesów komórkowych, adaptacji fizjologii i zachowania zwierząt do pór dnia i nocy (Nobel Prize Lessons, Nobel Prize in Physiology or Medicine 2017).

Rytm miesięczny - rytmy o okresie mniej więcej miesięcznym. To oscylacje aktywności metabolicznej organizmu, związane z ruchem postępowym Księżycy wokół Słońca (*np. cykl menstruacyjny u kobiet, cykle rozrodcze wielu zwierząt*).

Rytm roczny - okresowe zmiany aktywności metabolicznej związane z długoterminowym odmierzeniem czasu zachodzące w ciągu roku (*zmiana wzrostu, ubarwienia, zachowań czy aktywności rozrodczej i inne*) Można przyjąć, że w ramach rytmów rocznych mają miejsce **rytm sezonowe**.

Rytm sezonowe - definiuje się je jako zmiany stanu fizjologicznego organizmów poprzez wytwarzanie najróżniejszych typów cech w zależności od sezonowych zmian klimatycznych. Organizm człowieka reaguje w znaczący sposób na zmiany zachodzące w przyrodzie, związane z następstwem pór roku.

Wiosna charakteryzuje się naszą większą energią i zapałem do pracy, większym udziałem w zajęciach rekreacyjno-sportowych, zdrowym odżywianiem sprzyjają łatwo dostępne wiosną świeże owoce i warzywa.

Lato to czas dobrego samopoczucia będącego pochodną dużego zasobu energii, dzięki znacznej ilości światła słonecznego organizm produkuje więcej witaminy D, dobre samopoczucie i bogaty wybór świeżych produktów spożywczych wpływa że dopisuje nam zdrowie.

Jesienią biorytm wyraźnie się zmienia, mniej słońca i krótszy dzień wywołują senność i obniża energię, zwiększa się podatność na stres i podatność na różnego rodzaju dolegliwości zdrowotne.

Zimą jeszcze krótszy dzień i znaczne obniżenie temperatury również ma istotny wpływ na gorsze samopoczucie, brak ruchu na świeżym powietrzu oraz niedobór witamin i minerałów powoduje obniżenie układu odpornościowego co jest powodem, że częściej chorujemy.

Do procesów regulowanych przez fotoperiod należą również m.in. kiełkowanie nasion, stan spoczynku pąków roślin, diapauza, polimorfizm (tworzenie się hierarchii i podziału funkcji w obrębie populacji - pszczoły, mrówki), linienie zwierząt, gniazdowanie, migracje ptaków.

Lato i zima to dwa główne sezony do których organizmy muszą się odpowiednio wcześniej przygotować. Jedne organizmy przeżywają niekorzystne okresy w stanie biernym, inne w stanie czynnym, a jeszcze inne po prostu opuszczają te niekorzystne warunki, odbywając dalekie wędrówki (wiele gatunków ryb, gadów, ptaków, ssaków lądowych i wodnych przystosowało się do dalekich wędrówek).

Podstawowy podział wędrówek to: *tarłowe, rozrodcze, pokarmowe* i *zimowiskowe*, natomiast pod względem przemieszczania wyróżnia się:

- **wędrówki bierne (pasywne)** - charakterystyczne dla zwierząt morskich, a zwłaszcza dla ich najmłodszych stadiów rozwojowych niezdolnych przeciwstawić się ruchom wody - ikry i larwy. Organizmy przemieszczane są przez prądy morskie, czasami na odległość tysięcy kilometrów.

- **wędrówki czynne** - polegające na aktywnym poruszaniu się zwierząt w określonym kierunku, w wyniku podnieć wewnętrznych przy określonych warunkach środowiskowych.

Przemieszczanie się zwierząt może odbywać się **cyklicznie** lub **niecyklicznie**.

- **wędrówki cykliczne** - to zakodowane genetycznie przemieszczanie się organizmów związanych z cyklami życiowymi (np. wędrówki rozrodcze) wynikającymi ze zmiany pory dnia (spowodowane zmianą oświetlenia dobowe migracje planktonu lub żerowiskowe wywoływane dostępnością pokarmu lub chęcią uniknięcia drapieżników).

- **wędrówki niecykliczne** - to aktywne przemieszczanie się związane najczęściej z klęskami żywiołowymi lub przegęszczeniem populacji. Wędrówka ta może odbywać się na małe odległości (w glebie) lub na znaczne - rzędu kilku tysięcy kilometrów.

Zwłaszcza w strefach zimnych rośliny oraz niektóre zwierzęta nabyły zdolność zapadania w stan:

- **stan spoczynku** - jest to najlżejsza forma letargu, spadek temperatury ciała tylko o kilka stopni (niedźwiedzie, wiewiórki, borsuk),
- **torpor** - odrętwienie, letarg trwający kilka dni, co umożliwia przetrwanie niekorzystnych warunków pogodowych; krótkotrwałe obniżenie temperatury ciała i tempa przemian metabolicznych (myszy leśne, nietoperze),
- **hibernacja** - stan letargu (obniżenie tempa przemian metabolicznych), wiąże się ze znacznym obniżeniem temperatury ciała (o kilka stopni poniżej temperatury otoczenia) na długi okres (kilka miesięcy). Niektóre ssaki rokrocznie zapadają na kilka miesięcy w sen zimowy (świszaki, popielice, suseł, część nietoperzy) żyją przez ten czas kosztem nagromadzonych w organizmie rezerw. Zapasy tłuszczu i gęściejsze futro muszą być gotowe jeszcze przed nadejściem zimy, aby jej początek nie zaskoczył zwierząt. Aby tak było istotnie muszą z dnia na dzień porównywać długość dnia i nocy czyli korzystać ze swych zegarów biologicznych,
- **estywacja** - (sen letni, ale raczej odpowiednik hibernacji) - stan letargu (odrętwienia), typowy dla zwierząt pustynnych, stepowych i tropikalnych, pojawia się w niekorzystnym okresie (porze suchej, przy braku pokarmu), wiąże się ze znaczną utratą wody (rekordzistka żaba byk, mięczaki, płazy).

Rytmy wieloletnie - zmiany zachodzące przez dłuższy okres (np. cykle wzrostu roślin, cykl rozwojowy szarańczy).

Rytmy pływowe - powiązane są z przyptywami i odpływami będące skutkiem przyciągania masy wody przez Księżyc. Biorytmy pływowe u zwierząt powodują np. że zagrzebują się w piasku i wydostają na zewnątrz odpowiednio do przyptywu lub odpływu, zjawiają się punktualnie nad wodą o porze przyptywu, pojawiają się tylko w porze odpływu bowiem żywią się tym co pozostawia cofająca się woda. Jak wykazały badania głównym synchronizatorem (wyznacznikiem czasu) rytmów

plywowych jest oświetlenie - raz o dużym, to znowu o małym stężeniu. Jednocześnie może działać ciśnienie hydrostatyczne, w innych przypadkach turbulencja wody.

Rytm lunarne - jak wynika z dotychczasowych obserwacji są regulowane przez zegar biologiczny "mierzący" porę doby. W większości badanych przypadków pewne fazy tych rytmów mogły być determinowane przez światło Księżyca (rozmnażanie zwierząt, masowego wylęgu i przechodzenie larw do planktonu, zwiększenie szansy zapłodnienia i wydania potomstwa. Innymi wskaźnikami tych rytmów mogą być kombinacje cyklu światło - ciemność łącznie z ciepłymi przyptywami a więc nałożeniem się rytmów sezonowych. Rytm lunarne wiążą się zasadniczo z okresowością rozmnażania zwierząt najczęściej determinowane światłem Księżyca.

Perspektywy rytmów biologicznych

***"Natura jest pełna nieskończonych rzeczy,
niedostępnych doświadczeniu"*** -

Leonardo da Vinci

Dotychczas nagromadzono dostateczną ilość danych wskazujących na to, że rytmy biologiczne występują na wszystkich możliwych poziomach organizacji żywej materii, począwszy od komórki, a skończywszy na organizmie jako całości. W ramach już wspomnianej dziedziny **chronobiologii** zaznaczają się odrębne jej następujące działy:

- ◆ ***chronofizjologia*** - obejmująca wszystkie zmieniające się w rytmie dobowym procesy życiowe zachodzące na poziomie organizmu, tkanek i komórek,
- ◆ ***chronofarmakologia*** - zajmująca się badaniem wpływu różnych substancji chemicznych na przebieg rytmiki dobowej różnych procesów dobowych,
- ◆ ***chronopatologia*** - obejmująca zarówno badania mające na celu stwierdzenie, jakie zmiany rytmiki dobowej powodują wszelkiego typu schorzenia oraz badania mechanizmu powstawania chorób i wyników zaburzeń rytmiki dobowej.

Ważnym efektem prowadzonych badań jest poznanie możliwie wszystkich naturalnych rytmów dobowych zdrowego człowieka oraz mechanizmu ich wzajemnych oddziaływań mając na uwadze szerokie zastosowanie, uzyskanej w tym zakresie wiedzy w medycynie.

Datowanie -metody pomiaru czasu "wstecz"

***"Człowiek jest bardzo daleko od poznania całej
misternej sieci powiązań przyrodniczych"***

Witold Lenard

Powszechnie znane metody i środki (różnego rodzaju zegary: mechaniczne, kwarcowe, atomowe) pozwalają mierzyć czas "***naprzód***" od pewnej chwili uważanej za początek rachuby czasu. Istnieją jednak ***metody umożliwiające także rachubę czasu "wstecz"***.

Początkowo czas określano na podstawie analiz chemicznych, które nie są w stanie rozróżnić izotopów pierwiastków. Rozwój wiedzy o budowie atomów, poznanie izotopów i rozwój metod

badawczych, szczególnie spektrometrii mas, spowodował, że precyzyjne **datowanie** z użyciem technik jądrowych ma swój początek od około 1950 roku.

Datowanie – proces przypisywania zdarzeniom czasu z przeszłości, w którym mogło się ono wydarzyć. Znane jest wiele metod datowania, a opierają się one na różnych zmianach zachodzących z upływem czasu, bądź zmianach charakterystycznych dla danego czasu.

Efektom datowania możliwe było m.in. określenie czasu powstania naszej galaktyki (około 10 mld lat temu), czy naszego układu słonecznego (4,5 mld lat), pojawienie się życia na Ziemi (około 2 mld lat), pojawienie się rodzaju Homo (2-2,5 mln lat), ukształtowanie się wyglądu ludzi podobnych do współczesnych (120 tys. lat), czy przywędrowanie człowieka do Europy (40 tys. lat).

Dziś, datowanie radiometryczne uznaje się za bardzo wiarygodną metodę i źródło podstawowej informacji o bezwzględny wieku skał i innych formacji geologicznych, włączając wiek samej Ziemi. Techniki te można rozszerzyć także na ustalanie wieku szerokiej gamy materiałów wytwarzanych przez człowieka ponieważ pierwiastki promieniotwórcze mają bardzo różne okresy połowicznego zaniku. Istnieje wiele metod, stosowanych do ustalania różnych skal czasowych.

Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje **datowania**:

Datowanie bezwzględne - określające czas wystąpienia zdarzenia, są to:

► **Metody izotopowe:**

◆ radiowęglowa ; ◆ potasowo-argonowa ; ◆ argonowa ; ◆ uranowo-torowa ; ◆ trytowa

Metoda radiowęglowa

Za początki opracowania tej metody uważa się badania Piotra Curie i Marii Curie-Skłodowskiej, w których stwierdzono, że niektóre z występujących w przyrodzie pierwiastków mają właściwość "ulatniania się" - zmniejszania swej masy przez promieniowanie. Proces promieniowania, zwany również rozpadem atomów, odbywa się z dużą prawidłowością. Dla wielu pierwiastków zmierzono prędkość rozpadu; mierzy się ją **okresem połowicznego rozpadu**, tj. czasem, w ciągu którego połowa początkowej masy "ulatnia się". Okres życia promieniotwórczego jest różny dla poszczególnych pierwiastków i trwa od miliardów lat do ułamka sekundy. Jednym z takich pierwiastków jest węgiel będący podstawowym składnikiem wszystkich żywych organizmów. Jedną z jego trzech odmian ^{14}C ma własności promieniotwórcze, którego czas połowicznego rozpadu wynosi 5730 lat. Stosunek ilości węgla promieniotwórczego do ogólnej ilości zawartego w powietrzu węgla jest niezmienny. A zatem rośliny pochłaniające dwutlenek węgla z powietrza, organizmy zwierząt spożywające rośliny, człowiek który oddycha i spożywa rośliny i mięso zwierząt mają taką samą zawartość procentową ^{14}C w organizmie. Masa tego izotopu stale się zmniejsza, ale strata jest wyrównywana przez ciągły dopływ nowych zapasów pory, póki organizm żyje. Z chwilą śmierci organizm przestaje pochłaniać izotop ^{14}C i uruchamia się tzw. "**zegar wsteczny**" wskazujący systematyczne zmniejszanie jego procentowej zawartości. Proces ten nazywany często "życiem pozagrobowym", trwać będzie aż do wyczerpania

izotopu węgla ^{14}C . Po upływie 5730 lat zawartość ^{14}C zmniejszy się do połowy, po upływie następnych 5730 lat pozostanie czwarta część początkowej ilości, itd.



a - spektrometr mas przy akceleratorze, służący do datowania wieku próbek zaledwie kilku miligramów węgla ^{14}C , b i c - obrazy naskalne, których wiek określono przy pomocy ^{14}C

Datowanie radiowęglem rozwinięto w połowie XX w., a Amerykanin Willard Frank Libby otrzymał Nagrodę Nobla z chemii za wykorzystanie ^{14}C do określenia wieku w archeologii, geologii, geofizyce.

Od lat czterdziestych kiedy to po raz pierwszy odkryto metodę określania wieku wykopalisk przy pomocy węgla ^{14}C , historycy i paleontolodzy uważali ją za podstawową do określania wieku *dosłownie wszystkiego*: od kości prehistorycznych zwierząt - po dawne osiedla ludzkie i mumie starożytnego Egiptu. Na podstawie badania wiarygodności sprawdzanej na próbkach o znanym wieku (*sarkofagów faraonów, grobowców etruskich*) można przyjąć, że metoda jest dokładna jedynie przy określaniu wieku obiektów nie starszych niż do około 60 000 lat. Dziś wiadomo już, że poziom węgla ^{14}C w powietrzu - a zatem także ilości wchłaniania przez organizmy żywe - zmienia się w różnych okresach czasu, co wpływa na wyniki datowania. Okazało się, że metoda jest mniej pewna, niż myślano; błędy sięgają rzędu 3500 lat; dość aby postawić znak zapytania, na przykład, datę określającą początek osadnictwa na terytorium obu Ameryk. Niedoskonałość tę wykryto stosując konkurencyjną metodę; otóż organizmy żywe zawierają śladowe ilości uranu, który ulega rozpadowi, przekształcając się w tor.

Metoda uranowo-torowa

Szybkość rozpadu jest znana, wiek eksponatu można więc określić na podstawie proporcji ilościowych między obydwoma pierwiastkami. Metoda uranowo-torowa opiera się na rozpadzie promieniotwórczym izotopów uranu i toru a czas istnienia badanych próbek oblicza się mierząc stosunek ilości toru-230 do uranu-234. Czas połowicznego rozpadu ^{230}Th wynosi ok. 75 tys. lat, a ^{234}U – ok. 245 tys. lat. Bezpośrednio po utworzeniu skały nie ma w niej toru, powstaje on w wyniku rozpadu uranu, ale tor także rozpada się i po czasie równym kilka czasów połowicznego rozpadu stosunek ilości toru do uranu jest praktycznie stały, co ogranicza maksymalny czas stosowania metody.

Metoda uran - tor jest bardziej wiarygodna od węglowej. Ponadto pozwala określać wiek wykopalisk nawet sprzed 500 000 lat. Ma jednak i wadę: nadaje się przede wszystkim do określania wieku zwierząt i roślin wodnych, ponieważ uran występuje w większych ilościach w wodzie niż na powierzchni. Metodę tę można stosować w datowaniu: skał bogatych w węglan wapnia; nacieków jaskiniowych i raf koralowych; zębów; dzięki nowym technikom badawczym służy również do datowania kości kopalnych.

Metoda potasowo-argonowa

W tej metodzie wykorzystuje się powszechność występowania potasu w minerałach oraz istnienie jego izotopu ^{40}K o odpowiednim długim czasie rozpadu (*jego czas połowicznego zaniku wynosi ok. 1,26 miliarda lat*), który rozpada się do trwałego gazowego izotopu argonu ^{40}Ar , uwięzienie powstającego argonu w skale, a uwalnianie go, gdy skała ulegnie stopieniu. Znając szybkość rozpadu ^{40}K i zmierzwszy ilość ^{40}K i ^{40}Ar uwięzionego w próbce skały, można obliczyć czas zachodzący między jej formowaniem się a wykonaniem badania. Ta właśnie metoda K-Ar mając na uwadze czas połowicznego rozkładu nadaje się do badań aktywności wulkanów i wykorzystywana jest obecnie do datowania okresów od 10^6 do 10^9 lat temu. Była również użyta do określenia kolejności okresów geologicznych na Ziemi - ustalenia wieku Ziemi na około $4,5 \cdot 10^9$ lat oraz pojawienie się pierwszych ludzi (we wschodniej Afryce), wyznaczania tempa odwracania się biegunów ziemskiego pola magnetycznego. Metoda ta jest dobrze dopasowana do badania aktywności wulkanicznej.

Metoda argonowa

Datowanie argonowe jest rozwinięciem metody K-Ar z wykorzystaniem techniki radiometrycznej polegającej na przekształceniu potasu 39 w argon 39 przez napromieniowywanie neutronami i pomiarze ilości izotopów argonu (^{39}Ar - ^{40}Ar) w próbkach mineralnych. Datowanie argonowe pozwala na określanie wieku próbki w jednym pomiarze, a nie jak w metodzie potasowo-argonowej, w której pomiar ilości potasu odbywa się z innej próbki niż argonu, przez co możliwe jest uzyskanie dokładniejszych wyników z mniejszych próbek, co zwiększa wiarygodność ustalonej daty i umożliwia określenie wieku późniejszych skał. Datowanie metodą Ar-Ar przyczyniło się do skorygowania do 1,88 miliona lat wieku szczątków wczesnych hominidów (naczelných człekokształtných) znalezionych w rejonie Jeziora Turkana/Doliny Omo na granicy kenijsko-etiopskiej oraz wykazania, że najwcześniejsze znane nam szczątki hominidów znalezione w Etiopii liczą sobie od 3,4 do 4,4 milionów lat.

Metoda trytowa

Stosowana do określania wieku wody, odciętej od możliwości wymiany z innymi zbiornikami wód oraz z parą wodną atmosfery. Gdy woda znajdzie się w zamkniętym zbiorniku, zatrzymuje się dopływ trytu i ilość jego zaczyna maleć na skutek rozpadu promieniotwórczego. Okres przechowywania wody w zamkniętym zbiorniku można określić mierząc różnicę zawartość w niej trytu. Metodą tą oznacza się m.in. wiek win. Metoda ta ma zastosowanie do określania wieku maksymalnie ok. 30 lat, ponieważ czas połowicznego rozpadu trytu wynosi ok. 12 lat. Trytu wytworzonego w atmosferze ziemskiej w wyniku reakcji jądrowych neutronów promieniowania kosmicznego i azotu jest niewiele. Szacuje się, że na Ziemi jest go od kilku do kilkunastu kilogramów. Od roku 1954 znaczne ilości trytu zostały wytworzone w atmosferze w wyniku prób nuklearnych (głównie termojądrowych), co znacznie utrudnia interpretację wyników. Istotnym źródłem trytu w środowisku są także reaktory jądrowe.

► **Inne metody datowania bezwzględnego:**

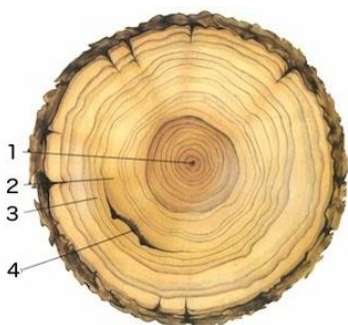
◆ historyczna ; ◆ ultradźwiękowa kości ; ◆ dendrochronologiczna ; ◆ termoluminescencyjna

Datowanie historyczne – metoda opierająca się na powiązaniu archeologii z chronologiami i kalendarzami, na analizie źródeł pisanych, wykazów królów, dynastii, listów, annałów, kronik. Niekiedy dzięki źródłom pisanim można datować bezwzględnie pozostałości danych kultur archeologicznych. Jednak aby datowanie było obiektywne, trzeba znaleźć punkt wspólny sekwencji badanej oraz „naszej” sekwencji chronologicznej, ponieważ w różnych kręgach kulturowych przyjęto odmienne daty, od których mierzono czas. Przykładem takiego wspólnego punktu mogą być zjawiska astronomiczne, które były obserwowane i odnotowywane w większości kultur. Przykładowe punkty wyjściowe, od których mierzono czas:

Majowie – 3114 rok p.n.e ; Grecy – od pierwszej olimpiady 776 r. p.n.e. ; Rzymianie – od założenia Rzymu 754/753 p.n.e. ; Chrześcijaństwo - narodziny Chrystusa 1 rok n.e. ; Muzułmanie – od opuszczenia Mekki przez Mahometa 622 rok n.e.

Datowanie ultradźwiękowe kości – metoda datowania bezwzględnego stosowana od lat sześćdziesiątych XX wieku. Cechą charakterystyczną tej metody jest to, że nie niszczy ona próbek. Można ją stosować przy datowaniu kości. Datowanie polega na analizie szybkości rozchodzenia się fal. Im ultradźwięki rozchodzą się wolniej tym kości są starsze, ponieważ bardziej zaawansowany jest proces ich mineralizacji.

Datowanie dendrochronologiczne – gałąź dendrologii, naukowa metoda datowania zjawisk przyrodniczych, zabytków i znalezisk archeologicznych zawierających drewno. Polega na analizie wzoru przyrostów rocznych (słojów) drzew i pozwala określić wiek z próbek drewna z dokładnością przynajmniej do roku, a czasem nawet co do sezonu.



Zmiany słojów w drzewie:

- 1 - pierwszy rok wzrostu drzewa,*
- 2 - deszczowy sezon (grubsze pierścienie),*
- 3 - sezon suchy (węższe pierścienie),*
- 4 - uszkodzenia spowodowane pożarem lasu.*

Metoda została opracowana w latach 20-tych XX wieku przez amerykańskiego astronoma A.E. Douglassa, założyciela Laboratory of Tree-Ring Research na Uniwersytecie Stanu Arizona w Tucson.

Datowanie termoluminescencyjne - jest własnością wielu minerałów, polegającą na wysyłaniu światła w wyniku podgrzania minerału. Zjawisko termoluminescencji zostało odkryte przez Sir Boyle'a w 1663 roku. Technika ta ma wiele zastosowań, jak datowanie podgrzewanego krzemienia, wyrobów garncarskich i naczyń ceramicznych z prehistorii. Najstarsze znaleziska, których wiek możemy wyznaczyć, mają około 250000 lat. Trzysta lat po tym odkryciu wykazano, że natężenie

emitowanego światła proporcjonalne jest do promieniowania zaabsorbowanego przez minerał. Zjawisko to można więc wykorzystać w datowaniu. Piotr i Maria Curie zauważyli, że szkło używane przez nich w laboratorium uzyskuje w wyniku naświetlania wyraźny kolor znikający przy podgrzaniu.



Wyroby garncarskie datowane techniką termoluminescencyjną, których wiek (7000 do 10000 lat)

Datowanie względne - określające które spośród dwóch zdarzeń, było wcześniej, a które później:

♦ pyłkowe ; ♦ metodą typologiczną ; ♦ metodą numizmatyczną

Datowanie pyłkowe – metoda datowania względnego, oparta na sekwencjach pyłków dawnej roślinności i klimatu. Poprzez zbadanie pyłków i dopasowanie ich do sekwencji chronologicznej można określić wiek względny danego stanowiska. Pyłki mogą również dostarczyć informacji na temat środowiska naturalnego nawet sprzed 3 mln lat.

Datowanie metodą typologiczną – metoda datowania względnego oparta na teorii ewolucji Darwina. Opiera się na założeniu, że ewolucja zabytków przebiegała w taki sam sposób jak żywych organizmów, tzn. od form najprostszych do najbardziej złożonych. Im zabytek jest starszy tym ma prostszą formę, im młodszy tym forma bardziej złożona.

Datowanie metodą numizmatyczną – metoda datowania względnego polegająca na określaniu wieku kontekstu archeologicznego na podstawie monet. Na monetach widnieją daty emisji, co daje podstawy do wydatowania kontekstu, w którym moneta ta została znaleziona.

Źródła: B. Cymborski: Żywe zegary ; B. Cymborski: Zegary biologiczne ; A. Komosa: Podstawy datowania radiowęglowego ; W. Ashmore, R.J. Sharer: Odkrywanie przeszłości ; S. Stanley: Historia Ziemi; C. Renfrew, P. Bahn: Archeologia. Teorie, metody, praktyka, ; A. Zielski, M. Krapiec: Dendrochronologia ; D. Lawecka: Wstęp do archeologii, J. Simmons: 100 najwybitniejszych uczonych wszech czasów ; J.B. Zawilska, J.Z. Nowak: Rytmika okoloobowa i zegar biologiczny ; J.B. Zawilska, J.Z. Nowak: Rytmy biologiczne - uniwersalny system odczytywania czasu ; W. Fydryszewska: Rośliny mastermind - zegar biologiczny.