

# EKOLOGIA OGÓLNA

## WBNZ 884

Wykład 3

Powstanie życia (Biogeneza)

SKĄD SIĘ WZIĘŁO  
ŻYCIE NA ZIEMI?

MAJ 2007

SCIENTIFIC AMERICAN

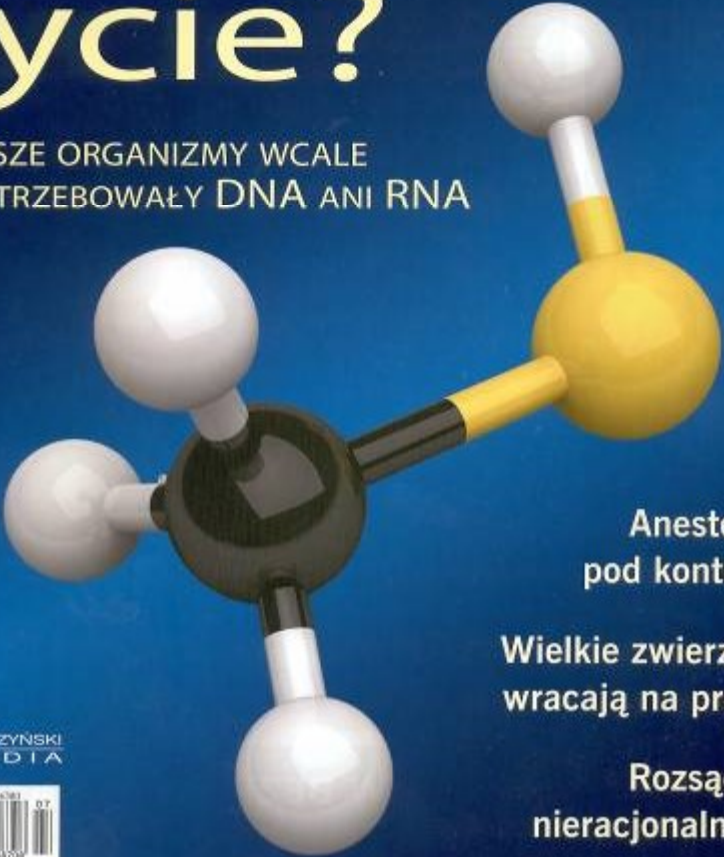
KOSMOLOGIA I CZĄSTKI ELEMENTARNE

# SWIAT NAUKI

Lipiec 2007 Nr 7 (191) Cena 10 zł 99 gr (w tym 7% VAT) www.swiatnauki.pl

## Jak zaczęło się życie?

PIERWSZE ORGANIZMY WCALE NIE POTRZEBOWAŁY DNA ANI RNA




Anestezja pod kontrolą

Wielkie zwierzęta wracają na prerię

Rozsądna nieracjonalność

PRÓSZYŃSKI MEDIA



JAK SIĘ WYMYŚLA AUTO? Wizjonerzy współczesnej motoryzacji

FIZYKA NA KRAŃCU CZASU Jak sfilmować elektron?

# wiedza i życie

MAJ 2007  
CENA 6,90 zł (w tym 7% VAT) www.wiedzaizycie.pl

## CZY ISTNIEJE ŻYCIE POZAZIEMSKIE

CZY POTRZEBUJEMY BOGA?  
DAWKINS KONTRA KREACJONIŚCI

KOŚCI OSTATNIEGO KRÓLA  
WOŁCZYN CZEKA NA ARCHEOLOGÓW

ZDROWE GRILLOWANIE  
KIEDY KARKÓWKA MOŻE ZASZKODZIĆ?

TOKSYCZNA CHEMIA POWIELANIA  
ŚWIATOWA KARIERA NIEWIDZIALNEJ KALKI

PRÓSZYŃSKI MEDIA





## JAK POWSTAŁY

BANKNOTY • SIŁA CORIOLISA • LSD • MIŁOŚĆ

ŻYCIE GOTOWANIE • MIMIKA  
FOTOKOPIE • HIV

SILNIK SPALINOWY • ODTWARZACZ MP3

WWW • WSZECHŚWIAT

WĄGLIK • PROMIENIE GAMMA • PLANETOIDY

KROŚNA MECHANICZNE • BATERIE

KOMPUTERY ZĘBY

STRZEMIĘ • WĘGIEL • NOWOTWORY

ŚWIATŁO • NANORURKI • WYPIEKI • FOTOSYNTeza

NASZ UMYŚŁ PIGUŁKA

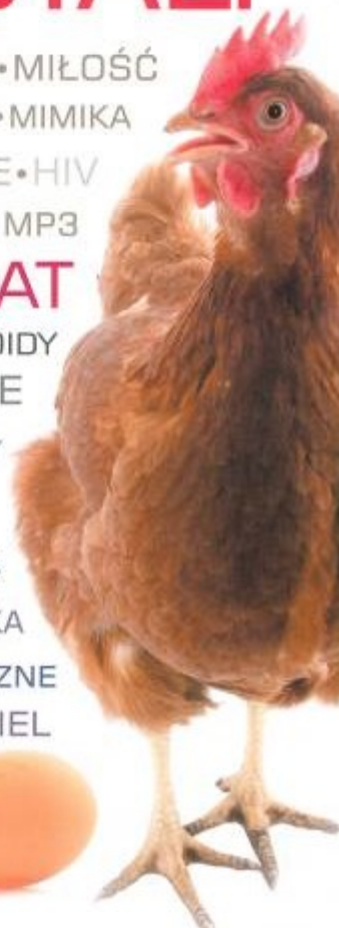
WIBRATOR • SPINACZE • PŁYTY TEKTONICZNE

UBEZPIECZENIA • WĘGIEL

RELIGIJNOŚĆ • JAJKO

TAŚMA KLEJĄCA

ZEGARY

PRÓSZYŃSKI  
MEDIA

## PAŹDZIERNIK 2009

## ŻYCIE NA ZIEMI

ALONSO RICARDO I JACK W. SZOSTAK

JAK  
POWSTAŁO

Ostatnie odkrycia rzucają nowe światło na zagadkę powstania pierwszych organizmów z nieożywionej materii

W każdej żywej komórce, nawet w najprostszej bakterii, aż roi się od molekularnych mechanizmów, na widok których niedługo nanokonstruktor zzieleniałby z zazdrości. Bezustannie drgając, wirując lub krążąc po komórce, wykonują niezliczone zadania: wycinają, sklejają i kopiuje materiał genetyczny, przenoszą związki odżywcze lub przetwarzają je w energię, budują i naprawiają błony komórkowe, przekazują chemiczne, elektryczne i mechaniczne bodźce – długo można by wyliczać i dodawać nowe, wcześniej nam nieznane funkcje.

Niemal nie sposób sobie wyobrazić, jak ta maszyna, złożona głównie z białkowych katalizatorów zwanych enzymami, utworzyła się spontanicznie z materii nieożywionej około 3,7 mld lat temu. Niewątpliwie w odpowiednich warunkach z prostych związków chemicznych mogą powstać cząstki budujące białka, czyli aminokwasy. Udowodnił to przełomowy eksperyment Stanleya L. Millera i Harolda C. Ureya z University of Chicago przeprowadzony w latach pięćdziesiątych. Jednak przejście od aminokwasów do białek, a następnie enzymów to całkiem inna sprawa.

Synteza białka w komórce wymaga obecności skomplikowanych enzymów, które rozdzielają nici podwójnej helisy DNA (kwasu deoksyrybosukleinowego) i wydobywają informację zawartą w genach (zapis struktury białka), a następnie na jej podstawie budują produkt końcowy. Tak dochodzimy do paradoksu powstania życia: do otrzymania białka niezbędne są zarówno informacje zawarte w DNA, jak i jakieś białka.

To błędne koło przestałoby istnieć, gdyby pierwsze organizmy w ogóle nie potrzebowały białek. Najnowsze doświadczenia dowodzą, że cząsteczki podobne do DNA i RNA (kwasu rybosukleinowego) mogą powstawać spontanicznie. A ponieważ ich łańcuchy potrafią zwinąć się w różne formy przestrzenne oraz katalizować proste reakcje, wydają się całkiem prawdopodobne, że niektóre z nich miały także zdolność rozmnażania się przez samopowielanie, bez udziału białek. Najwcześniejsze formy życia składałyby się zatem z błony utworzonej z kwasów tłuszczowych (które, jak wykazano, powstają samoistnie) otaczającej pulę cząsteczek wody zawierającej wspomniane samoreplikujące się cząstki genetyczne. One właśnie pełniłyby funkcję nośnika informacji o cechach organizmu, przekazywanych z pokolenia na pokolenie, którą we współczesnych istotach żywych realizuje DNA. Przypadkowe mutacje, losowo pojawiające się podczas kopiowania informacji, napędzałyby proces ewolucji, ułatwiając prototypom komórek przystosowanie się do środowiska, rywalizując z innymi komór-

## W SKRÓCIE

- Naukowcy ustalili, w jaki sposób RNA, prawdopodobnie pierwszy nośnik informacji genetycznej, mógł spontanicznie powstać ze związków istniejących na wczesnej Ziemi.
- Wyniki innych badań przekonują, że przedwzrostki białkowy o samorzutnym powstaniu pierwszych protokomórek zawierających nośnik informacji podobny do RNA, które potrafiły rozmnażać się i ewoluować.
- Badacze chcą teraz do stworzenia w laboratorium pierwszego, w pełni zdolnego do powielania się organizmu. Inne sławy, dając drugi początek życiu, mają być nieodłącznie związane, jak one powstało wiele miliardów lat temu.



Tjeerd H. van Andel  
**NOWE SPOJRZENIE  
na STARĄ PLANETĘ**  
zmienne oblicze Ziemi



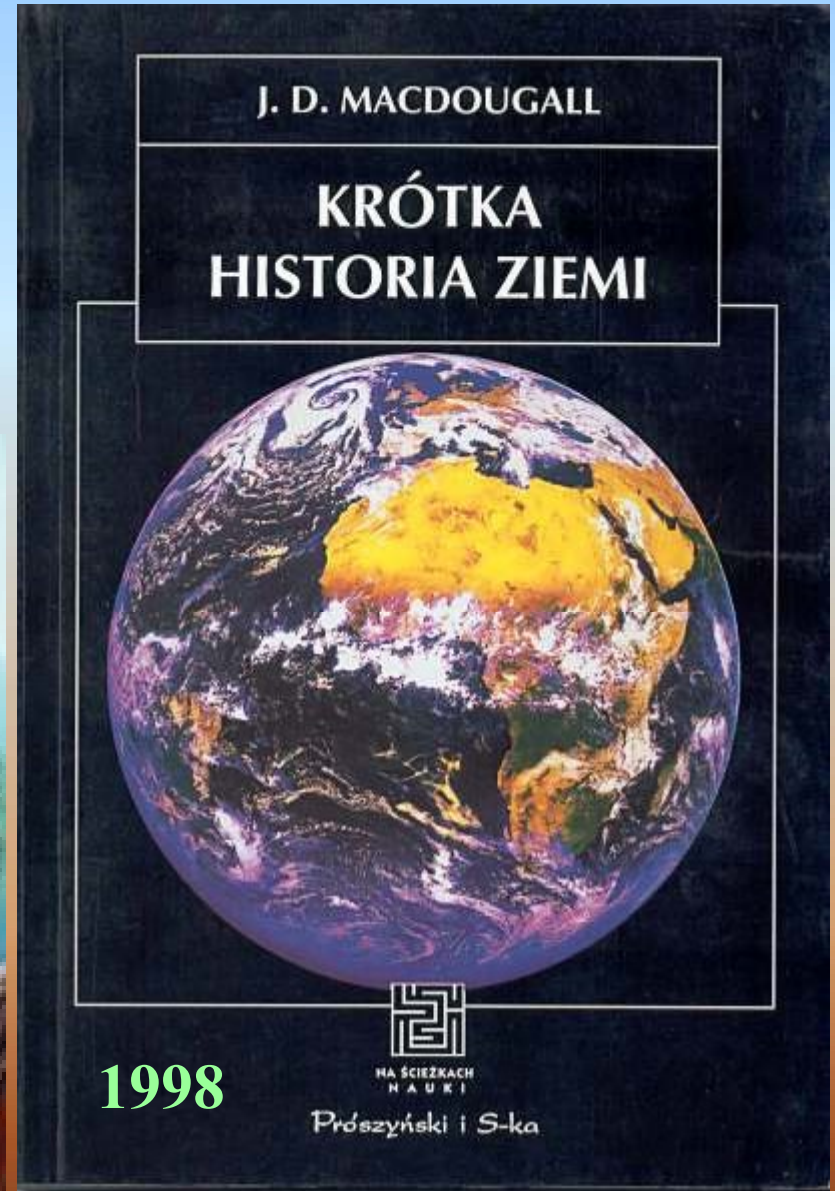
Wydawnictwo Naukowe  
PWN

1997



Tjeerd H. van Andel  
**NOWE SPOJRZENIE  
na starą planetę**  
Zmienne oblicze Ziemi

2010



J. D. MACDOUGALL

**KRÓTKA  
HISTORIA ZIEMI**

1998



NA ŚCIEŻKACH  
NAUKI

Prószyński i S-ka



Freeman **DYSON**  
*początki życia*

*Państwowy Instytut Wydawniczy*

1993



Francis **CRICK**  
*istota i pochodzenie  
życia*

1992

J. William Schopf

# Kolebka życia

O narodzinach i najstarszych śladach życia na Ziemi



2002

Wydawnictwo Naukowe PWN

# ŻYCIE

NIEAUTORYZOWANA BIOGRAFIA



Historia naturalna  
pierwszych czterech miliardów lat  
życia na Ziemi



1999

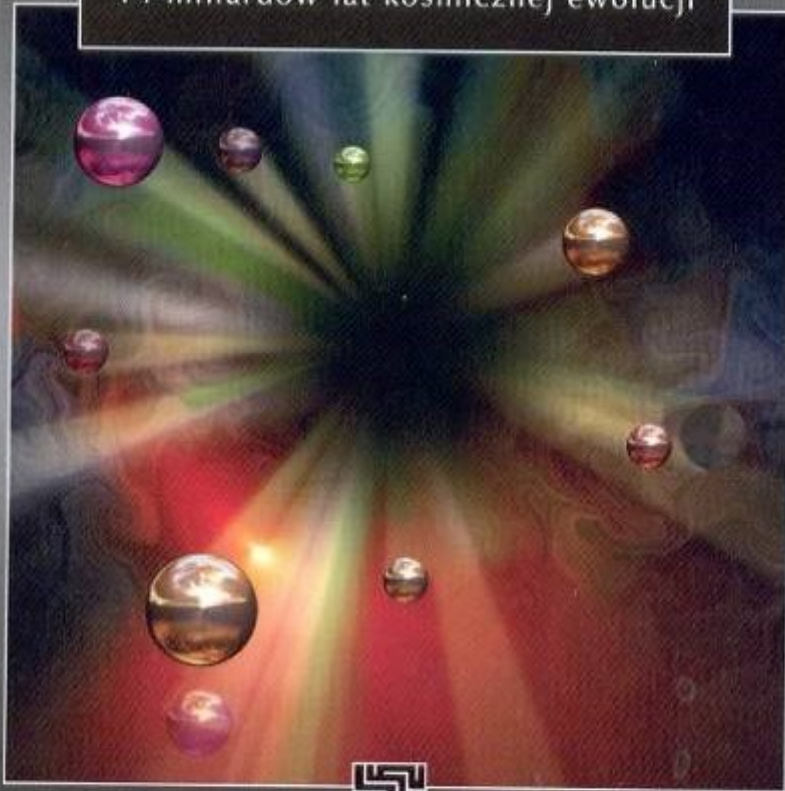
Richard Fortey



Neil deGrasse Tyson  
Donald Goldsmith

# WIELKI POCZĄTEK

14 miliardów lat kosmicznej ewolucji



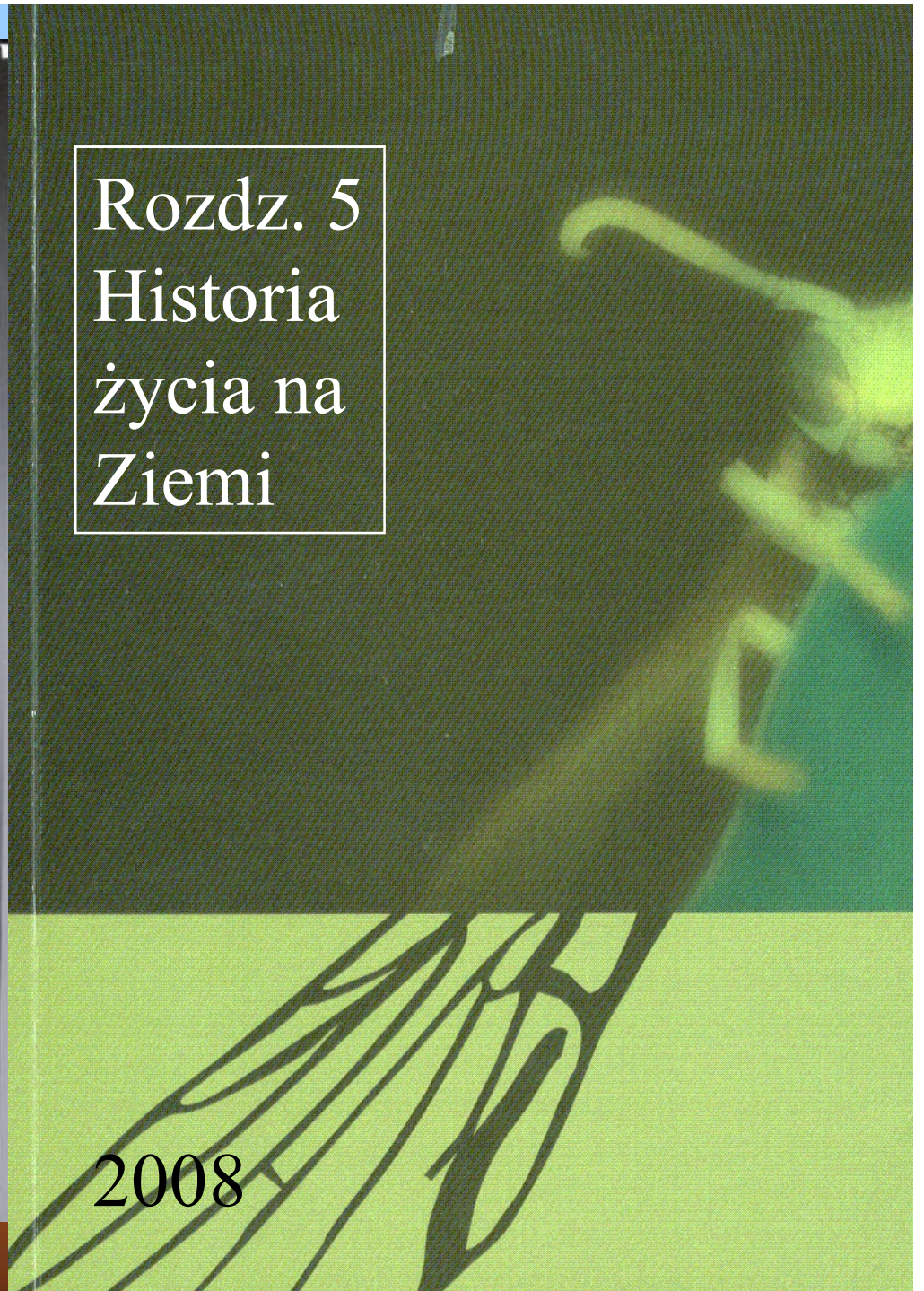
NA ŚCIEŻKACH  
NAUKI

2006

Prószyński i S-ka

## Rozdz. 5 Historia życia na Ziemi

2008





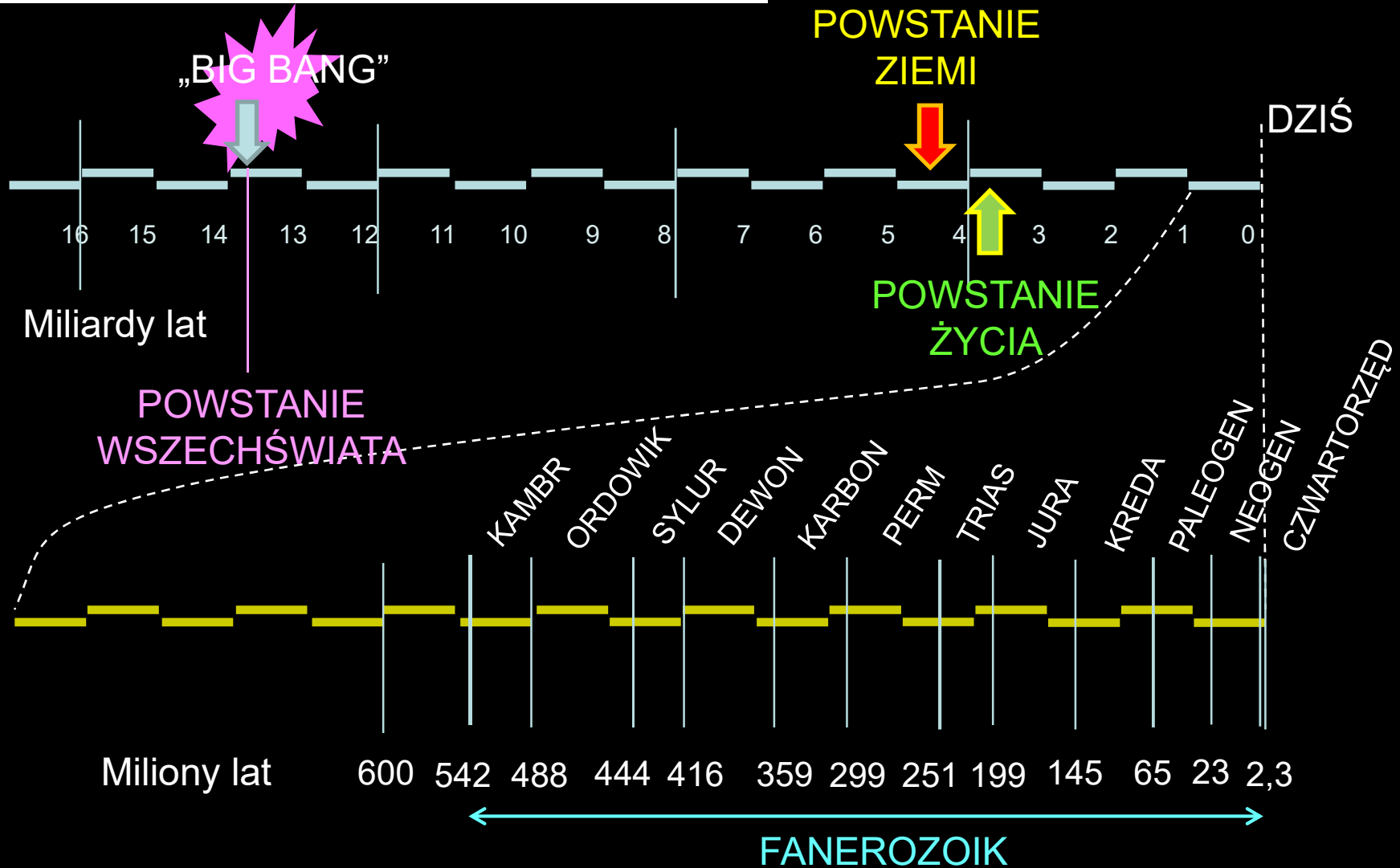
January Weiner:

**HIPOTEZY O POWSTANIU I  
WCZESNEJ EWOLUCJI ŻYCIA  
HISTORIA DOCIEKAŃ (OD DARWINA  
DO MILLERA)**

<http://kosmos.icm.edu.pl/>

pdf na stronie kursu

# Historia Ziemi







## INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART

International Commission on Stratigraphy



eonothem Eon	erathem Era	system Period	series Epoch	stage Age	Age Ma	GSSP	
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene		0.0117	👉	
			Pleistocene	Upper		0.126	
				"Ionian"		0.781	
			Pliocene	Calabrian		1.806	👉
				Gelasian		2.588	👉
			Neogene	Miocene	Piacenzian		3.600
		Zanclean				5.332	👉
		Messinian				7.246	👉
		Tortonian				11.608	👉
		Serravallian				13.82	👉
		Oligocene		Langhian		15.97	👉
				Burdigalian		20.43	👉
	Aquitanian				23.03	👉	
	Chattian				28.4 ± 0.1	👉	
	Rupelian				33.9 ± 0.1	👉	
	Paleogene	Eocene	Priabonian		37.2 ± 0.1	👉	
			Bartonian		40.4 ± 0.2	👉	
			Lutetian		48.6 ± 0.2	👉	
			Ypresian		55.8 ± 0.2	👉	
			Thanetian		58.7 ± 0.2	👉	
		Paleocene	Selandian		~ 61.1	👉	
			Danian		65.5 ± 0.3	👉	
			Cretaceous	Maastrichtian		70.6 ± 0.6	👉
				Campanian		83.5 ± 0.7	👉
				Santonian		85.8 ± 0.7	👉
	Coniacian			~ 88.6	👉		
	Turonian			93.6 ± 0.8	👉		
	Mesozoic	Upper	Cenomanian		99.6 ± 0.9	👉	
			Albian		112.0 ± 1.0	👉	
			Aptian		125.0 ± 1.0	👉	
			Barremian		130.0 ± 1.5	👉	
		Lower	Hauterivian		~ 133.9	👉	
Valanginian				140.2 ± 3.0	👉		
Berriasian				145.5 ± 4.0	👉		

eonothem Eon	erathem Era	system Period	series Epoch	stage Age	Age Ma	GSSP
Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper	Tithonian	145.5 ± 4.0	👉
				Kimmeridgian	150.8 ± 4.0	👉
				~ 155.6		👉
			Middle	Oxfordian	161.2 ± 4.0	👉
				Callovian	164.7 ± 4.0	👉
				Bathonian	167.7 ± 3.5	👉
				Bajocian	171.6 ± 3.0	👉
				Aalenian	175.6 ± 2.0	👉
				Toarcian	183.0 ± 1.5	👉
				Pliensbachian	189.6 ± 1.5	👉
		Lower	Sinemurian	196.5 ± 1.0	👉	
			Hettangian	199.6 ± 0.6	👉	
			Rhaetian	203.6 ± 1.5	👉	
		Triassic	Upper	Norian	216.5 ± 2.0	👉
				Garnian	~ 228.7	👉
				Ladinian	237.0 ± 2.0	👉
			Middle	Anisian	~ 245.9	👉
				Olenekian	~ 249.5	👉
	Induan			251.0 ± 0.4	👉	
	Paleozoic	Permian	Lopingian	Changhsingian	253.8 ± 0.7	👉
				Wuchiapingian	260.4 ± 0.7	👉
				Capitanian	265.8 ± 0.7	👉
				Wordian	268.0 ± 0.7	👉
			Guadalupian	Roadian	270.6 ± 0.7	👉
				Kungurian	275.6 ± 0.7	👉
				Artinskian	284.4 ± 0.7	👉
				Sakmarian	294.6 ± 0.8	👉
		Carboniferous	Upper	Asselian	299.0 ± 0.8	👉
				Gzhelian	303.4 ± 0.9	👉
				Kasimovian	307.2 ± 1.0	👉
			Lower	Moscovian	311.7 ± 1.1	👉
				Bashkirian	318.1 ± 1.3	👉
Serpukhovian				328.3 ± 1.6	👉	
Mississippian	Middle	Visean	345.3 ± 2.1	👉		
	Lower	Tournaisian	359.2 ± 2.5	👉		

eonothem Eon	erathem Era	system Period	series Epoch	stage Age	Age Ma	GSSP
Phanerozoic	Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian	369.2 ± 2.5	👉
				Frasnian	374.5 ± 2.8	👉
				~ 385.3 ± 2.8		👉
			Middle	Givetian	391.8 ± 2.7	👉
				Eifelian	307.5 ± 2.7	👉
				Emsian	407.0 ± 2.8	👉
		Lower	Pragian	411.2 ± 2.8	👉	
			Lochkovian	416.0 ± 2.8	👉	
			Pridoli	418.7 ± 2.7	👉	
		Silurian	Ludlow	Ludfordian	421.3 ± 2.8	👉
				Gorstian	422.9 ± 2.5	👉
				Sheinwoodian	428.2 ± 2.4	👉
			Wenlock	Telychian	428.2 ± 2.3	👉
				Aeronian	436.0 ± 1.9	👉
				Rhuddanian	439.0 ± 1.8	👉
		Ordovician	Upper	Hirnantian	443.7 ± 1.5	👉
				Katian	445.6 ± 1.5	👉
				Sandbian	455.8 ± 1.8	👉
	Middle		Darriwilian	460.9 ± 1.8	👉	
			Dapingian	468.1 ± 1.6	👉	
			Floian	471.8 ± 1.6	👉	
	Cambrian	Lower	Tremadocian	478.6 ± 1.7	👉	
			Stage 10	~ 492 *	👉	
			Stage 9	~ 496 *	👉	
		Furongian	Paibian	~ 499	👉	
			Guzhangian	~ 503	👉	
			Drumian	~ 506.5	👉	
	Series 3	Stage 5	~ 510 *	👉		
		Stage 4	~ 515 *	👉		
		Stage 3	~ 521 *	👉		
	Series 2	Stage 2	~ 528 *	👉		
		Fortunian	542.0 ± 1.0	👉		

This chart was drafted by Gabi Ogg. Intra Cambrian unit ages with \* are informal, and awaiting ratified definitions.

Copyright © 2009 International Commission on Stratigraphy

eonothem Eon	erathem Era	system Period	Age Ma	GSSP GSSA	
Precambrian	Proterozoic	Neo-proterozoic	Ediacaran	542	👉
			Cryogenian	~ 635	👉
			850	👉	
		Meso-proterozoic	Tonian	1000	👉
			Stenian	1200	👉
			Ectasian	1400	👉
			Calymmian	1600	👉
		Paleo-proterozoic	Statherian	1800	👉
			Orosirian	2050	👉
			Rhyacian	2300	👉
	Siderian		2500	👉	
	2500		👉		
	Archean	Neoarchean	2800	👉	
		Mesoarchean	3200	👉	
		Paleoarchean	3600	👉	
		4000	👉		
		4600	👉		
		Hadean (informal)	~ 4600	👉	

Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the base of Ediacaran are defined by a basal Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP 👉), whereas Precambrian units are formally subdivided by absolute age (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the ICS website ([www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org)).

Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages within the Cambrian will be formally named upon international agreement on their GSSP limits. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle and Upper Aptian) are not formally defined.

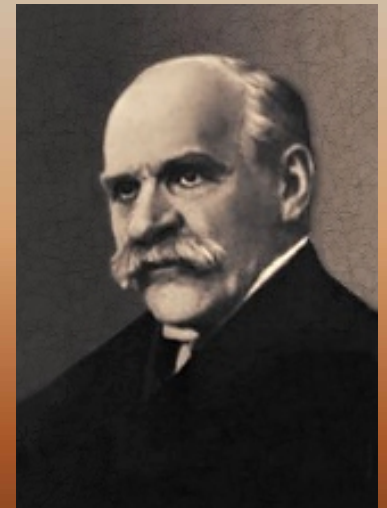
Colors are according to the Commission for the Geological Map of the World ([www.ogmw.org](http://www.ogmw.org)). The listed numerical ages are from 'A Geologic Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press) and 'The Concise Geologic Time Scale' by J.G. Ogg, G. Ogg and F.M. Gradstein (2008).

# Skład chemiczny organizmów

Pierwiastki						Związki chemiczne	Zawartość w organizmach				
							Bakteria	Roślina	grzyb	ryba	świnia
	H	O				Woda	75	94	90	83	57
C	H	O	N		S	Białka	17.5	1.4	3.6	12	20.1
C	H	O				Tłuszcze	2.5	0.4	0.4	3.5	20.2
C	H	O				Węglowodany	1.3	3.0	5.1	0	0
C	H	O	N	P		DNA, RNA, ATP	3.7	1.2	0.9	1.5	2.7

ZWIĄZKI ZREDUKOWANE: POTRZEBNA ENERGIA I DONOR ELEKTRONÓW

Aleksander Iwanowicz Oparin (1894-1980)  
i Salvadore Dali  
(Barcelona, 1973)

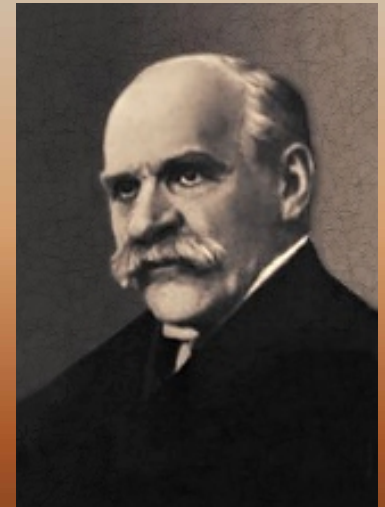


J.B.S.Haldane: „zupa pierwotna”

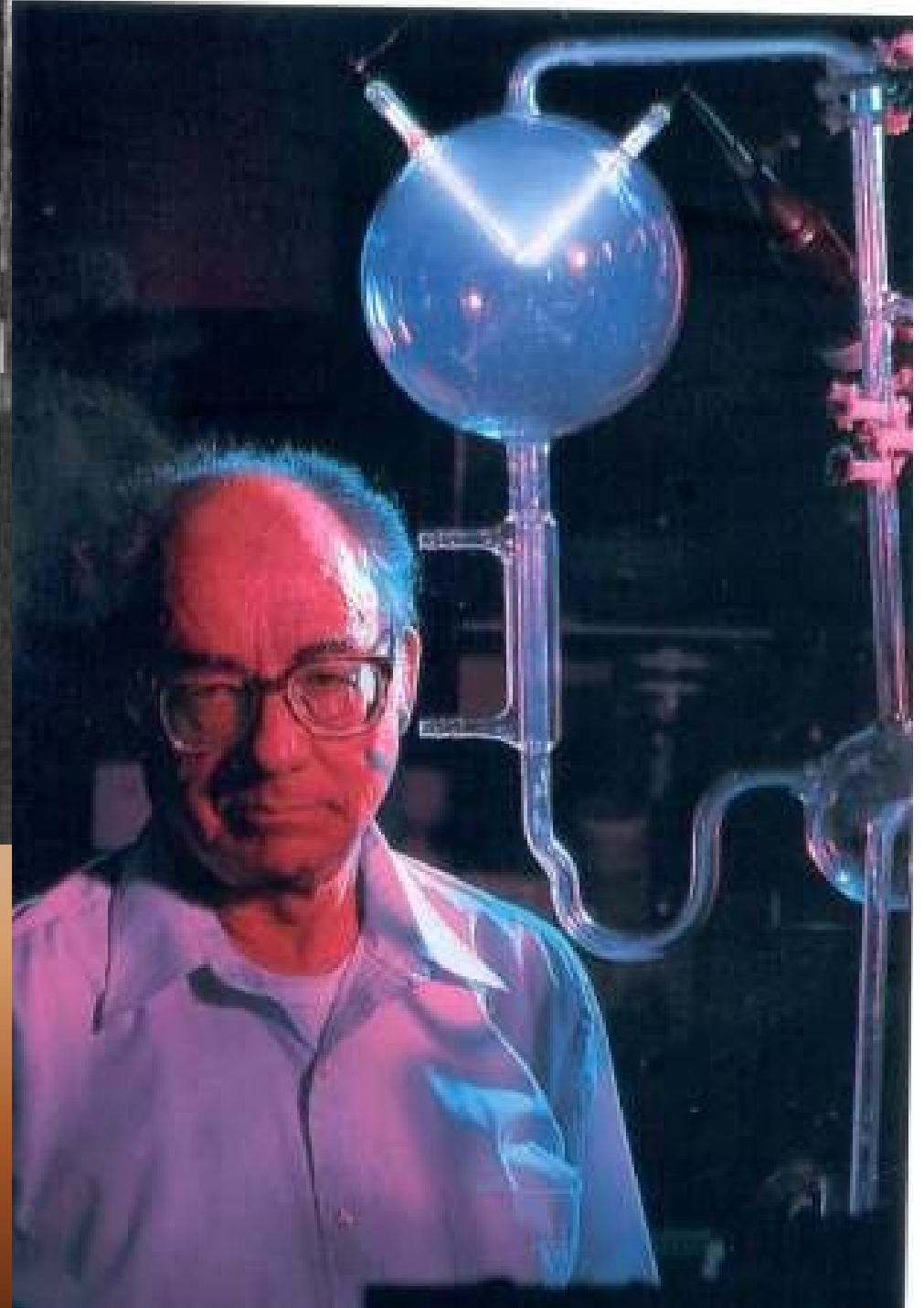


# TEORIA OPARINA

- Związki redukujące w atmo-  
/hydrosferze ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ )
- (Potencjał redox)
- Zasilanie energetyczne  
(wyładowania elektr., UV)
- Synteza związków organicznych
- Polimeryzacja
- Powstawanie struktur  
komórkowych („koacerwaty”)

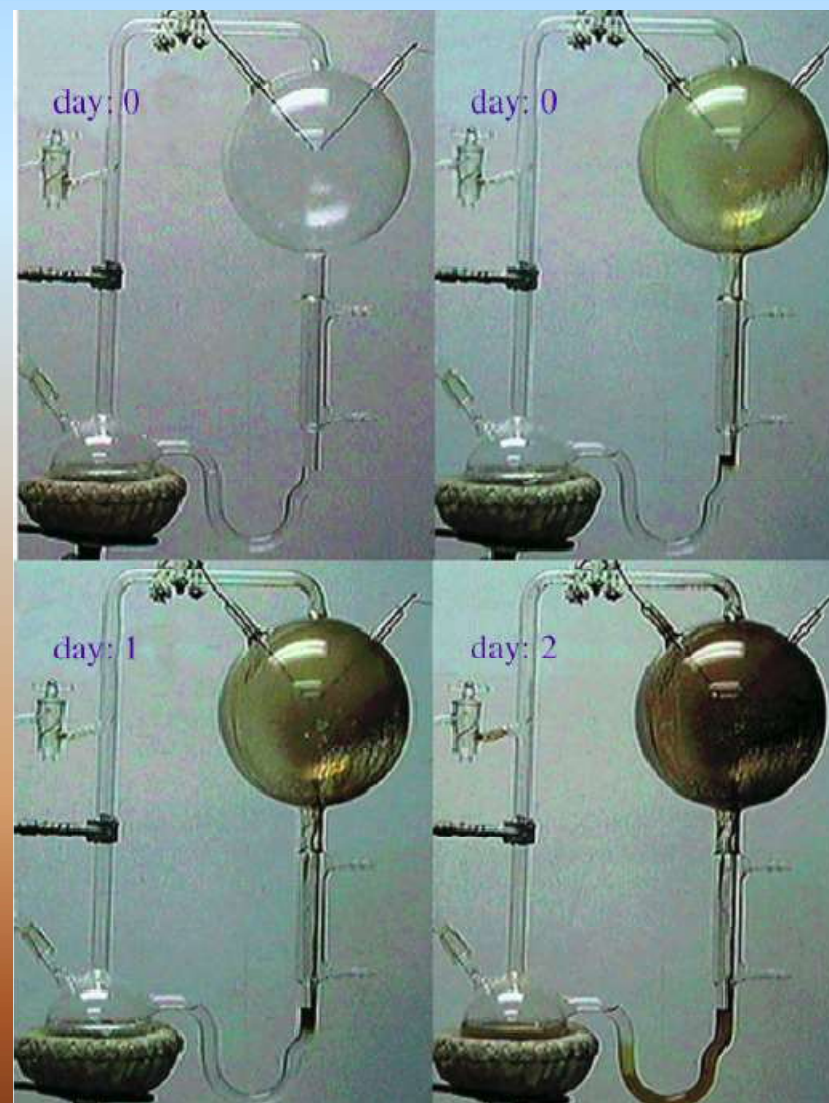
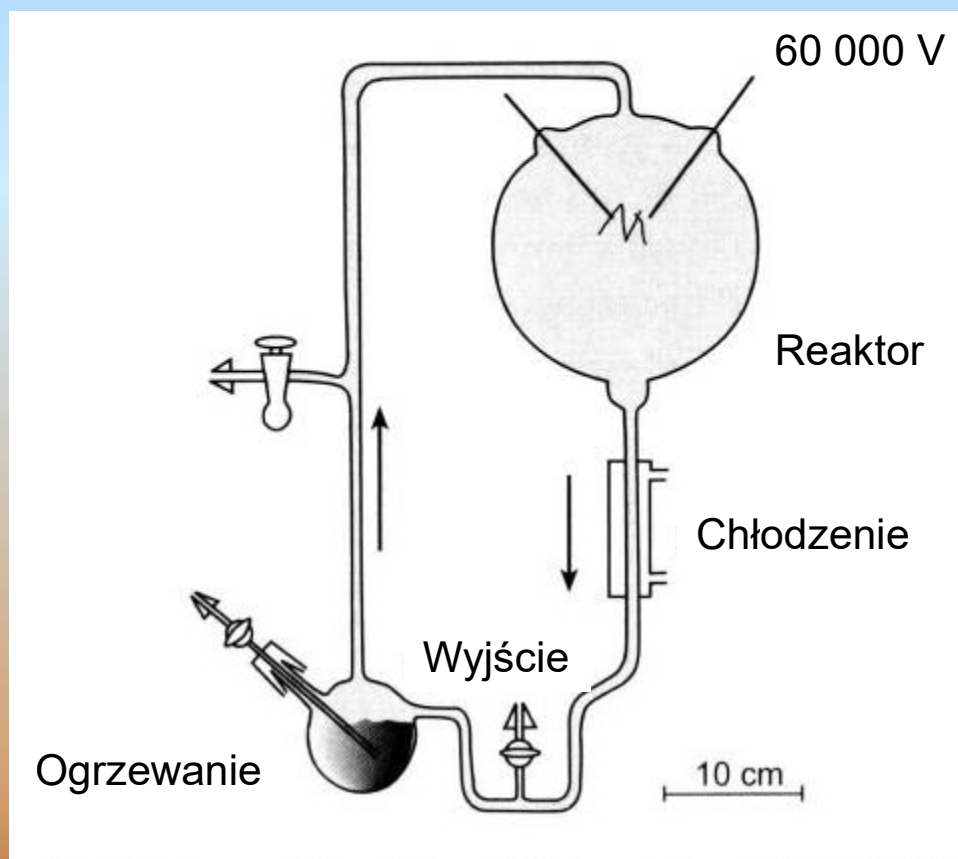


J.B.S.Haldane: „zupa pierwotna”



Stanley L. Miller  
1930-2007

# EKSPERYMENT MILLERA



SUBSTRATY:  $H_2O$   $H_2$   $CH_4$   $NH_3$   $N_2$   
(atmosfera redukująca)



# Wynik eksperymentu Millera

TABLE 2  
Yields of compounds (moles  $\times 10^5$ )

	Spark Run 1	Silent discharge Run 3	N <sub>2</sub> Run Run 6
Glycine . . . . .	63 (2.1)*	80 (0.46)*	14.2 (0.48)*
Alanine . . . . .	34	9	1.0
Sarcosine . . . . .	5	86	1.5
$\beta$ -Alanine . . . . .	15	4	7.0
$\alpha$ -Aminobutyric acid . . . . .	5	1	—
N-Methylalanine . . . . .	1	12.5	—
Aspartic acid . . . . .	0.4	0.2	0.3
Glutamic acid . . . . .	0.6	0.5	0.5
Iminodiacetic acid . . . . .	5.5	0.3	3.9
Imino-acetic-propionic acid . . . . .	1.5	—	—
Formic acid . . . . .	233	149	135
Acetic acid . . . . .	15.2	135	41
Propionic acid . . . . .	12.6	19	22
Glycolic acid . . . . .	56	28	32
Lactic acid . . . . .	31	4.3	1.5
$\alpha$ -Hydroxybutyric acid . . . . .	5	1	—
Succinic acid . . . . .	3.8	—	2
Urea . . . . .	2	—	2
Methylurea . . . . .	1.5	—	0.5
Sum of yields of compounds listed . . . . .	15%	3%	8%

\* Percent yield of glycine, based on carbon placed in the apparatus as methane.

# Wynik eksperymentu Millera

TABLE 2

Yields of compounds (moles  $\times 10^5$ )

	Spark Run 1	Silent discharge Run 3	N <sub>2</sub> Run Run 6
<b>AMINOKWASY</b>			
Glycine	63 (2.1)*	80 (0.46)*	14.2 (0.48)*
Alanine	34	9	1.0
Sarcosine	5	86	1.5
$\beta$ -Alanine	15	4	7.0
$\alpha$ -Aminobutyric acid	5	1	—
N-Methylalanine	1	12.5	—
Aspartic acid	0.4	0.2	0.3
Glutamic acid	0.6	0.5	0.5
Iminodiacetic acid	5.5	0.3	3.9
<b>KWASY TŁUSZCZOWE ICH POCHODNE</b>			
Formic acid	233	149	135
Acetic acid	15.2	135	41
Propionic acid	12.6	19	22
Glycolic acid	56	28	32
Lactic acid	31	4.3	1.5
$\alpha$ -Hydroxybutyric acid	5	1	—
Succinic acid	3.8	—	2
<b>MOCZNIK; METYLOMOCZNIK</b>			
Urea	2	—	2
Methylurea	1.5	—	0.5
Sum of yields of compounds listed	15%	3%	8%

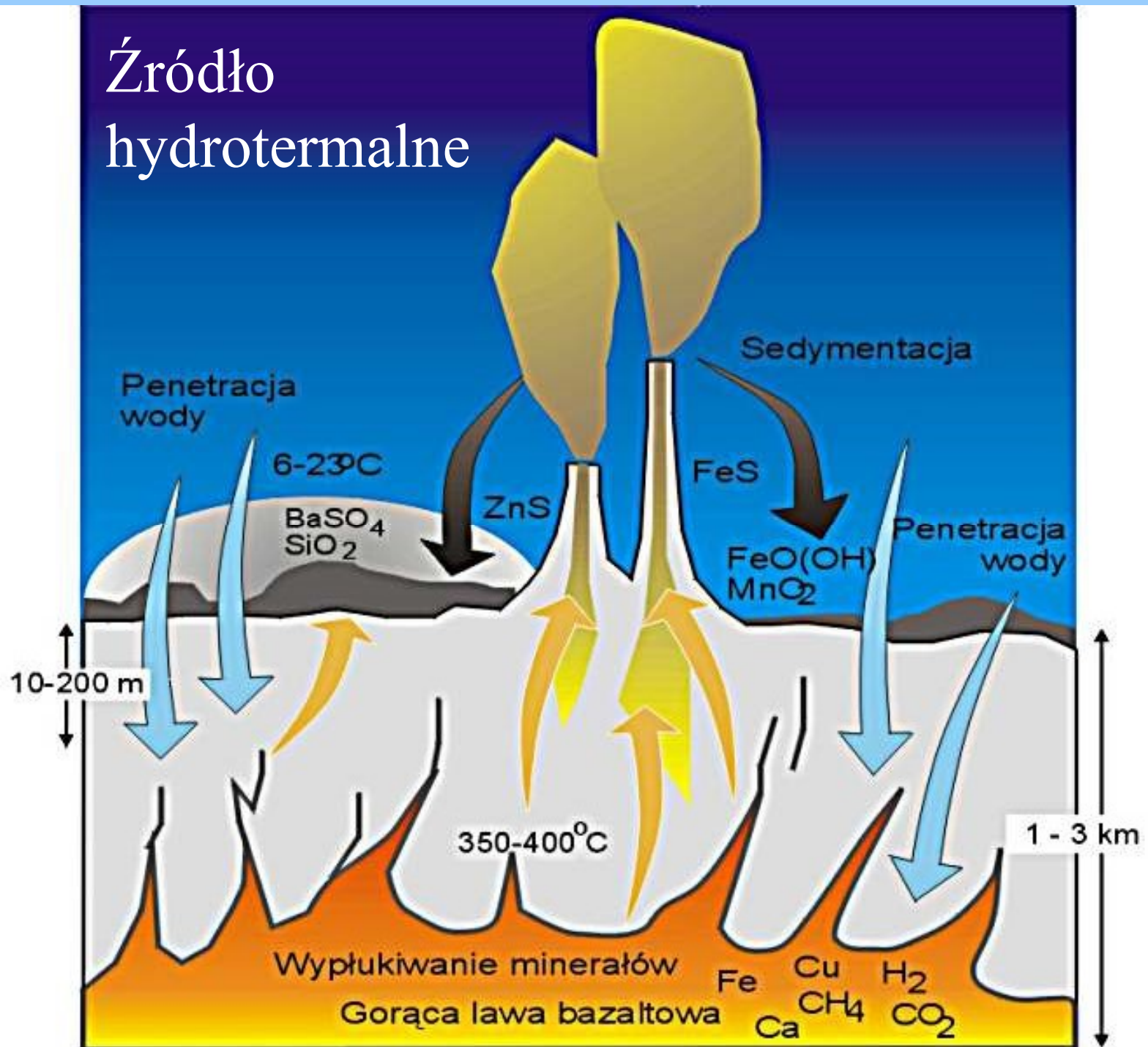
\* Percent yield of glycine, based on carbon placed in the apparatus as methane.

# Hipoteza Millera:

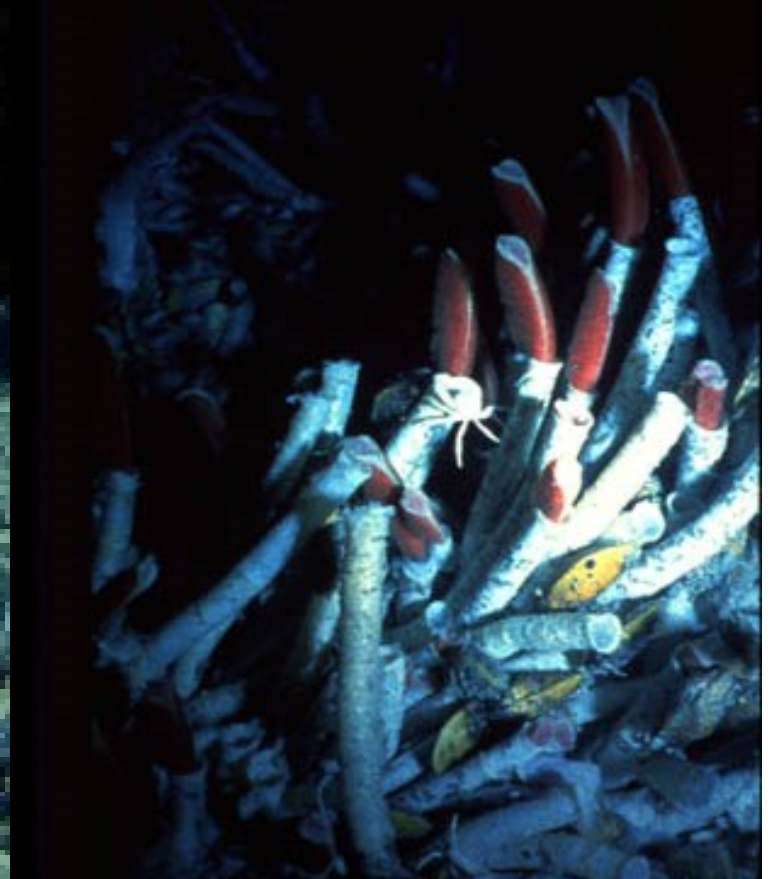
- Warunki na powierzchni Ziemi (atmosfera, oceany, energia słoneczna/wyładowania elektryczne) umożliwiają syntezę organiczną
- Procesy abiotyczne prowadzą do powstania dużego zapasu związków organicznych zredukowanych
- Stanowią one zasoby do wykorzystania przez pierwsze **heterotroficzne** organizmy



# Źródło hydrotermalne



# ŹRÓDŁA HYDROTHERMALNE – EKOSYSTEMY CHEMOAUTOTROFICZNE

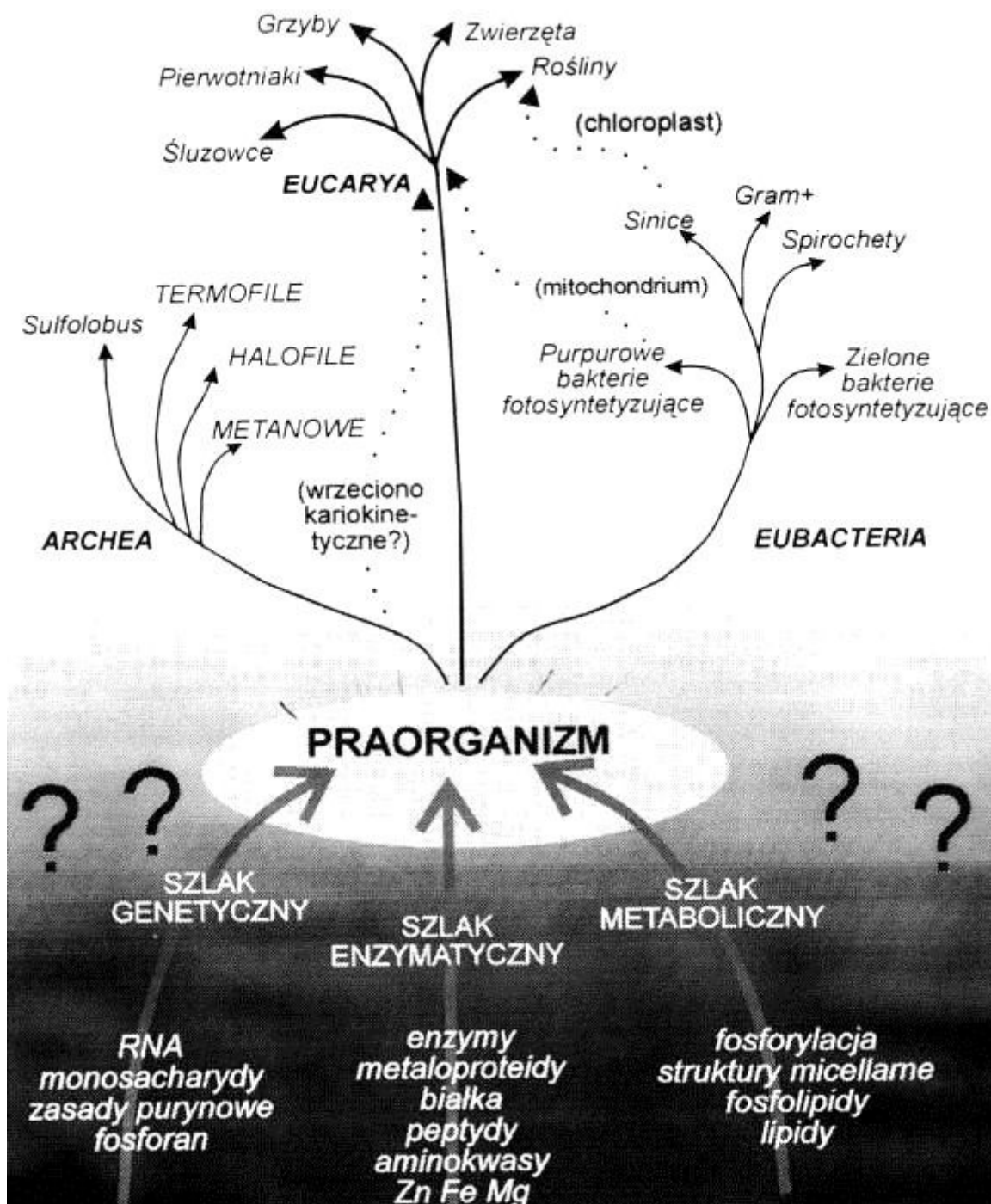


# DWIE GRUPY HIPOTEZ:

- „ZIMNA ZUPA” (Miller i wsp., następcy):
  - ocean + atmosfera; energia słoneczna i/lub elektryczna; najpierw **heterotrofia**
- „GORĄCA PIZZA” (Wächtershäuser i wsp.)
  - źródła hydrotermalne; **autotrofia** (chemosynteza) od początku; znaczenie pirytu



3.X.	<b>Rozdział 1: Wstęp</b> ( <i>wyjątkowo lektura po wykładzie</i> ). Sprawy organizacyjne. Metodologia i pragmatyka nauk przyrodniczych. <b>Rozdział 2: Życie biosfery.</b> Ziemia jako środowisko życia
10.X.	<b>Rozdział 3: Biogeneza i historia biosfery.</b> Istota i pochodzenie życia, wydarzenia geochemiczne w historii biosfery, epoki i okresy geologiczne, wielkie wymierania.
17.X	<b>Rozdział 4: Metabolizm biosfery.</b> Biologiczne reakcje redoks, strategie metaboliczne.
24.X	<b>Rozdział 5: Produkcja pierwotna biosfery.</b> Produktywność lądów i oceanów czynniki dominujące, najważniejsze dane liczbowe.
31.X	<b>Rozdział 6: Dekompozycja, czyli rozkład biomasy;</b> <b>Rozdział 7: Cykle biogeochemiczne 7.2. Cykl obiegu węgla;</b> wpływ na klimat globalny.
7.XI	<b>Cykle biogeochemiczne 7.2. Azot, siarka, fosfor i inne pierwiastki odżywcze (K, Mg, Ca, Fe).</b>

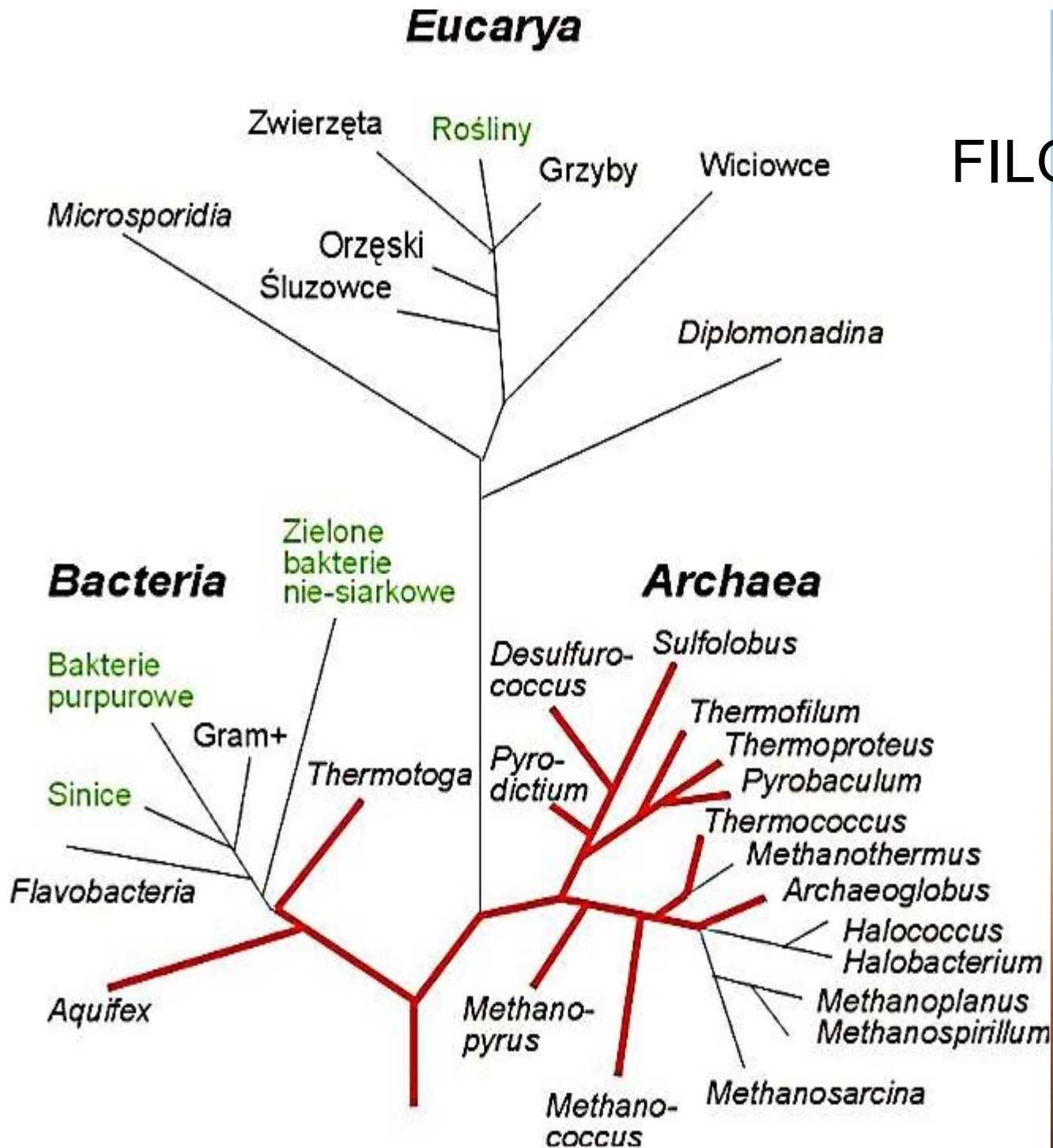


# BIOGENEZA I WCZESNA EWOLUCJA ŻYCIA

Metabolizm był  
wcześniej  
niż organizm

# DRZEWO FILOGENETYCZNE

## GŁÓWNE TAKSONY

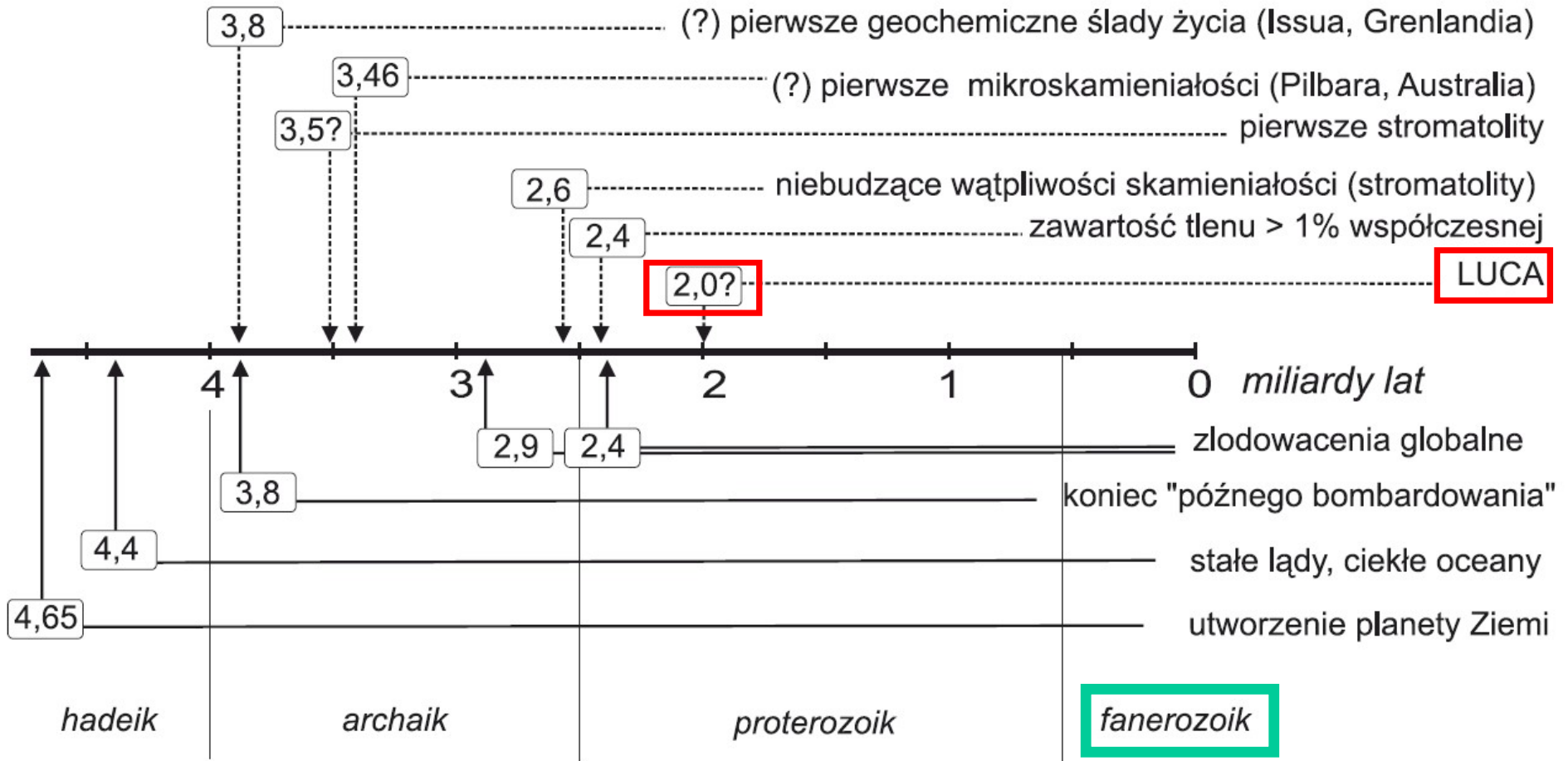






Termofile

# HISTORIA ŻYCIA NA ZIEMI



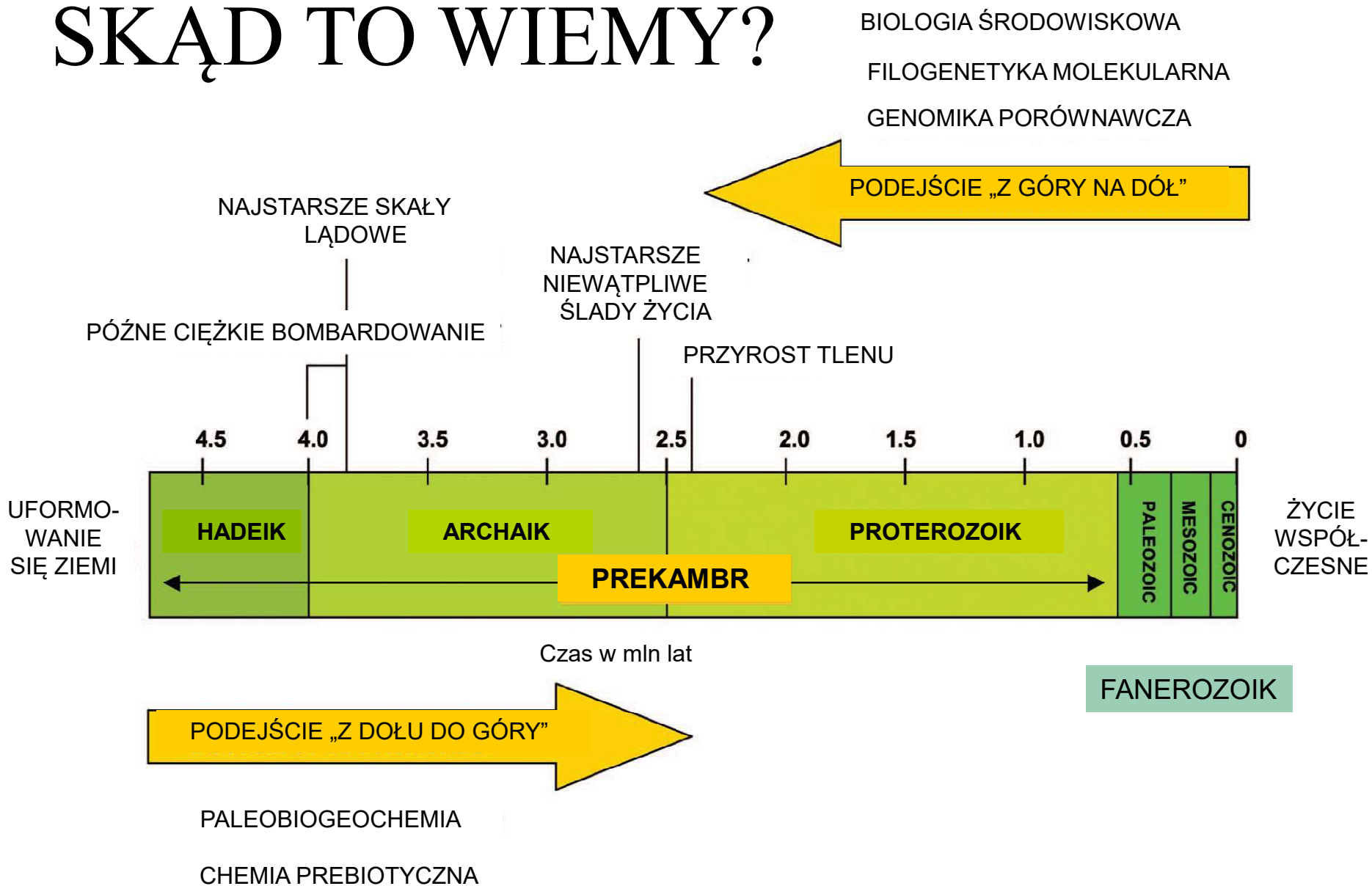
Ryc. 1. Kalendarz najważniejszych wydarzeń geologicznych i biologicznych, od powstania planety Ziemia, do dziś, według współczesnych poglądów.

# BAZA EMPIRYCZNA TEORII BIOGENEZY

- Dane geologiczne (geochemiczne)
- Dane paleontologiczne
- Badania „astrobiologiczne”
- Badania porównawcze współczesnych organizmów
- Eksperymenty laboratoryjne

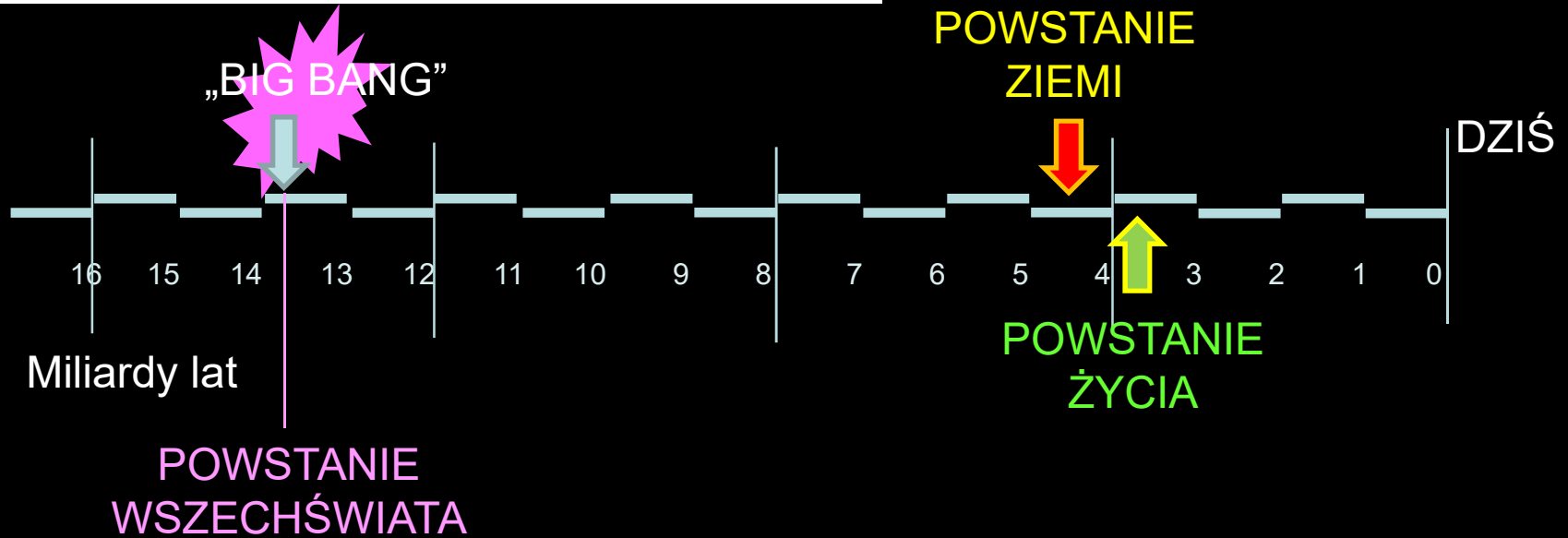


# SKĄD TO WIEMY?

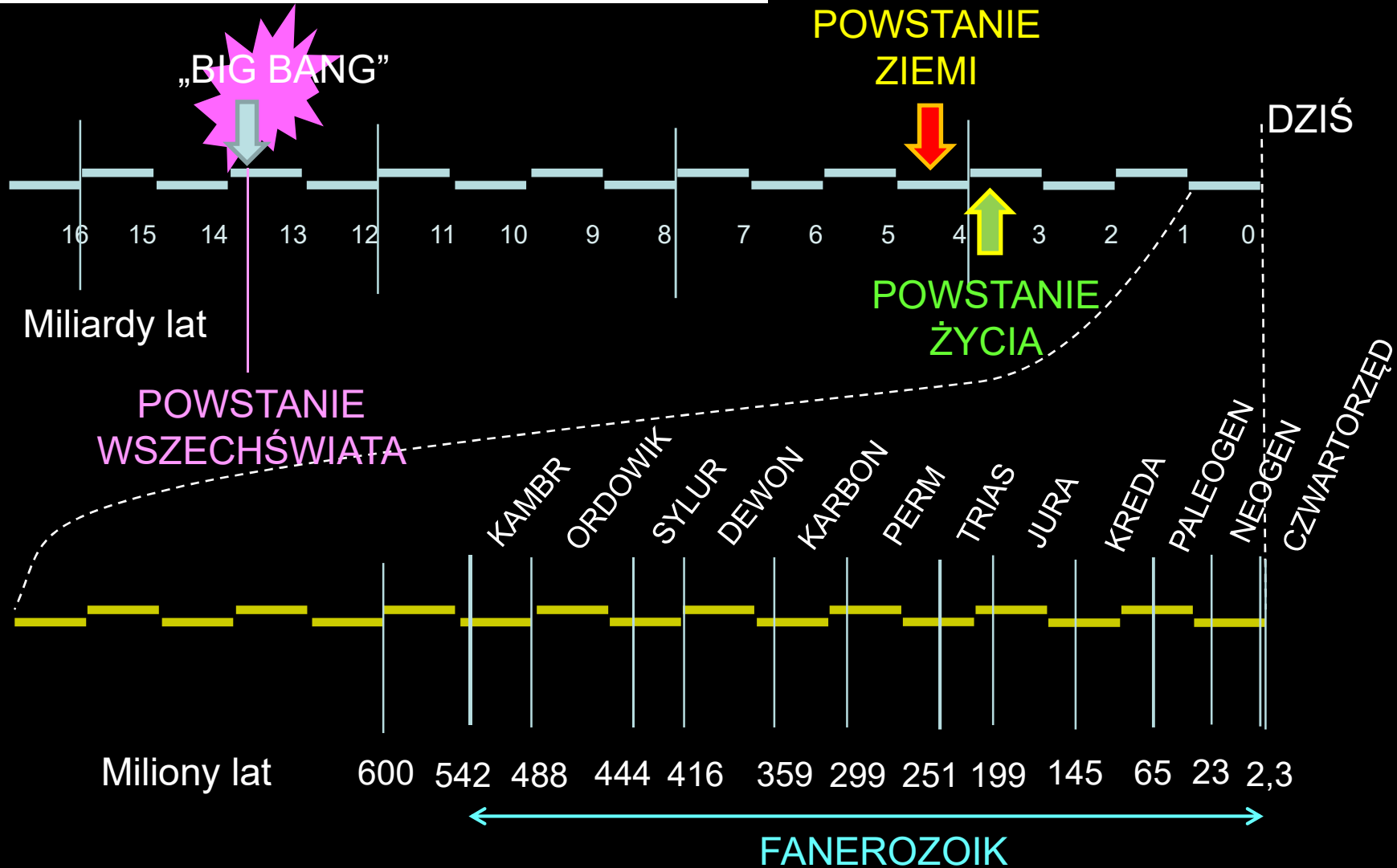


wg. Forterre & Gribaldo 2008

# Historia Ziemi



# Historia Ziemi







## INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART

International Commission on Stratigraphy



Eonothem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP	
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene	0.0117	👉	
			Upper	150.8 ±4.0		
				155.6		
			Pleistocene	"Ionian"	0.126	
				Calabrian	0.781	
		Gelasian		1.806	👉	
		Neogene	Pliocene	Piacenzian	2.588	👉
				Zanclean	3.600	👉
				5.332	👉	
			Miocene	Messinian	7.246	👉
	Tortonian			11.608	👉	
	Serravallian			13.82	👉	
	Langhian			15.97	👉	
	Burdigalian			20.43	👉	
	Aquitanian			23.03	👉	
	Chatthian			28.4 ±0.1	👉	
	Rupelian			33.9 ±0.1	👉	
	Eocene			Priabonian	37.2 ±0.1	👉
				Bartonian	40.4 ±0.2	👉
	Paleocene	Lutetian	48.6 ±0.2	👉		
		Ypresian	55.8 ±0.2	👉		
		Thanetian	58.7 ±0.2	👉		
		Selandian	~ 61.1	👉		
		Danian	65.5 ±0.3	👉		
		Maestrichtian	70.6 ±0.6	👉		
	Mesozoic	Cretaceous	Campanian	83.5 ±0.7	👉	
			Santonian	85.8 ±0.7	👉	
			Coniacian	~ 88.6	👉	
Turonian			93.6 ±0.8	👉		
Cenomanian			99.6 ±0.9	👉		
Upper		Albian	112.0 ±1.0	👉		
		Aptian	125.0 ±1.0	👉		
		Barremian	130.0 ±1.5	👉		
		Hauterivian	~ 133.9	👉		
		Valanginian	140.2 ±3.0	👉		
Berriasian	145.5 ±4.0	👉				

Eonothem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP
Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper	145.5 ±4.0	
			Tithonian	150.8 ±4.0	
			Kimmeridgian	~ 155.6	
			Oxfordian	161.2 ±4.0	
			Callovian	164.7 ±4.0	👉
		Middle	Bathonian	167.7 ±3.5	👉
			Jurassic	167.7 ±3.5	👉
			Bajocian	171.6 ±3.0	👉
			Aalenian	175.6 ±2.0	👉
			Toarcian	183.0 ±1.5	👉
	Lower	Pliensbachian	189.6 ±1.5	👉	
		Sinemurian	196.5 ±1.0	👉	
		Hettangian	196.5 ±1.0	👉	
		Rhaetian	199.6 ±0.6	👉	
		Norian	203.6 ±1.5	👉	
	Triassic	Upper	216.5 ±2.0	👉	
		Garnian	~ 228.7	👉	
		Middle	Ladinian	237.0 ±2.0	👉
		Anisian	~ 245.9	👉	
		Lower	Olenekian	~ 249.5	👉
		Induan	251.0 ±0.4	👉	
	Paleozoic	Permian	Lopingian	253.8 ±0.7	👉
			Wuchiapingian	260.4 ±0.7	👉
			Capitanian	265.8 ±0.7	👉
			Wordian	268.0 ±0.7	👉
			Roadian	270.6 ±0.7	👉
		Cisuralian	Kungurian	275.6 ±0.7	👉
			Artinskian	284.4 ±0.7	👉
Sakmarian			294.6 ±0.8	👉	
Asselian			299.0 ±0.8	👉	
Gzhelian			303.4 ±0.9	👉	
Carboniferous	Pennsylvanian	Upper	Kasimovian	307.2 ±1.0	👉
		Middle	Moscovian	311.7 ±1.1	👉
	Lower	Bashkirian	318.1 ±1.3	👉	
		Serpukhovian	328.3 ±1.6	👉	
	Mississippian	Upper	Visean	345.3 ±2.1	👉
		Lower	Tournaisian	359.2 ±2.5	👉

Eonothem Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP
Phanerozoic	Paleozoic	Devonian	Upper	359.2 ±2.5	👉
			Famennian	374.5 ±2.8	👉
			Frasnian	385.3 ±2.8	👉
			Givetian	391.8 ±2.7	👉
			Eifelian	307.5 ±2.7	👉
		Middle	Emsian	407.0 ±2.8	👉
			Pragian	411.2 ±2.8	👉
			Lochkovian	416.0 ±2.8	👉
			Pridoli	418.7 ±2.7	👉
			Ludlow	421.3 ±2.8	👉
	Lower	Gorstian	422.9 ±2.5	👉	
		Wenlock	426.2 ±2.4	👉	
		Sheinwoodian	428.2 ±2.3	👉	
		Telychian	436.0 ±1.9	👉	
		Aeronian	439.0 ±1.8	👉	
	Silurian	Rhuddanian	443.7 ±1.5	👉	
		Hirnantian	445.6 ±1.5	👉	
		Katian	455.8 ±1.8	👉	
		Sandbian	460.9 ±1.8	👉	
		Dapingian	471.8 ±1.6	👉	
	Ordovician	Lower	Floian	478.6 ±1.7	👉
		Tremadocian	488.3 ±1.7	👉	
		Middle	Darriwilian	~ 492 *	👉
		Stage 9	~ 496 *	👉	
		Stage 10	~ 499	👉	
	Cambrian	Furongian	Paibian	~ 503	👉
			Guzhangian	~ 506.5	👉
		Series 3	Drumian	~ 510 *	👉
Stage 5			~ 515 *	👉	
Series 2		Stage 4	~ 521 *	👉	
	Stage 3	~ 528 *	👉		
Terreneuvian	Fortunian	542.0 ±1.0	👉		

This chart was drafted by Gabi Ogg. Intra Cambrian unit ages with \* are informal, and awaiting ratified definitions.

Copyright © 2009 International Commission on Stratigraphy

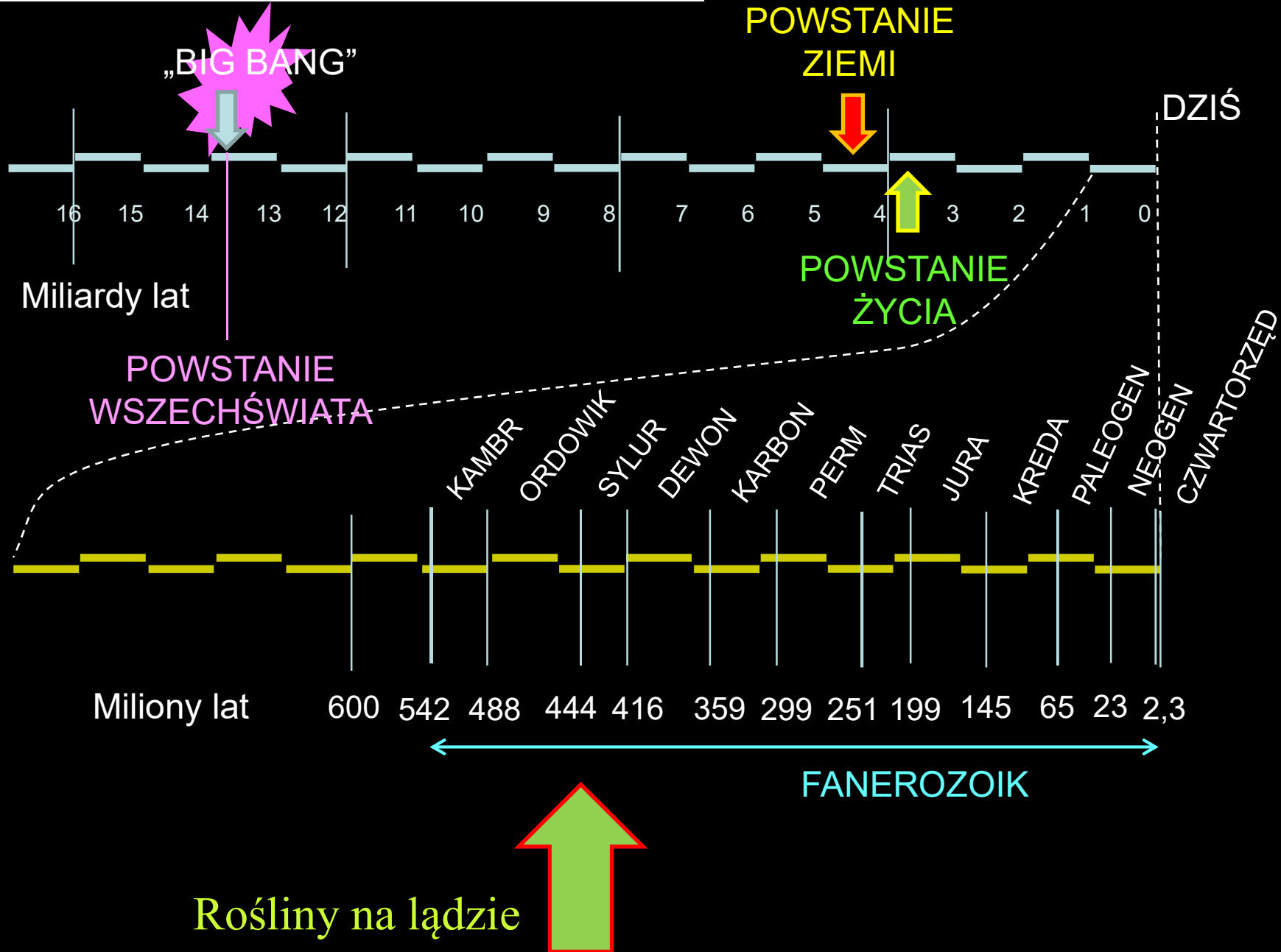
Eonothem Era	System Period	Age Ma	GSSP	
Precambrian	Proterozoic	Ediacaran	~542	👉
		Cryogenian	~635	👉
		Tonian	850	👉
		Stenian	1000	👉
		Ectasian	1200	👉
	Meso-proterozoic	Calymmian	1400	👉
		Calymmian	1600	👉
		Statherian	1800	👉
		Orosirian	2050	👉
		Rhyacian	2300	👉
	Paleo-proterozoic	Siderian	2500	👉
		Neoproterozoic	2800	👉
		Mesoarchean	3200	👉
		Paleoarchean	3600	👉
		Eoarchean	4000	👉
Hadean (informal)		~4600	👉	

Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the base of Ediacaran are defined by a basal Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) 📍, whereas Precambrian units are formally subdivided by absolute age (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the ICS website ([www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org)).

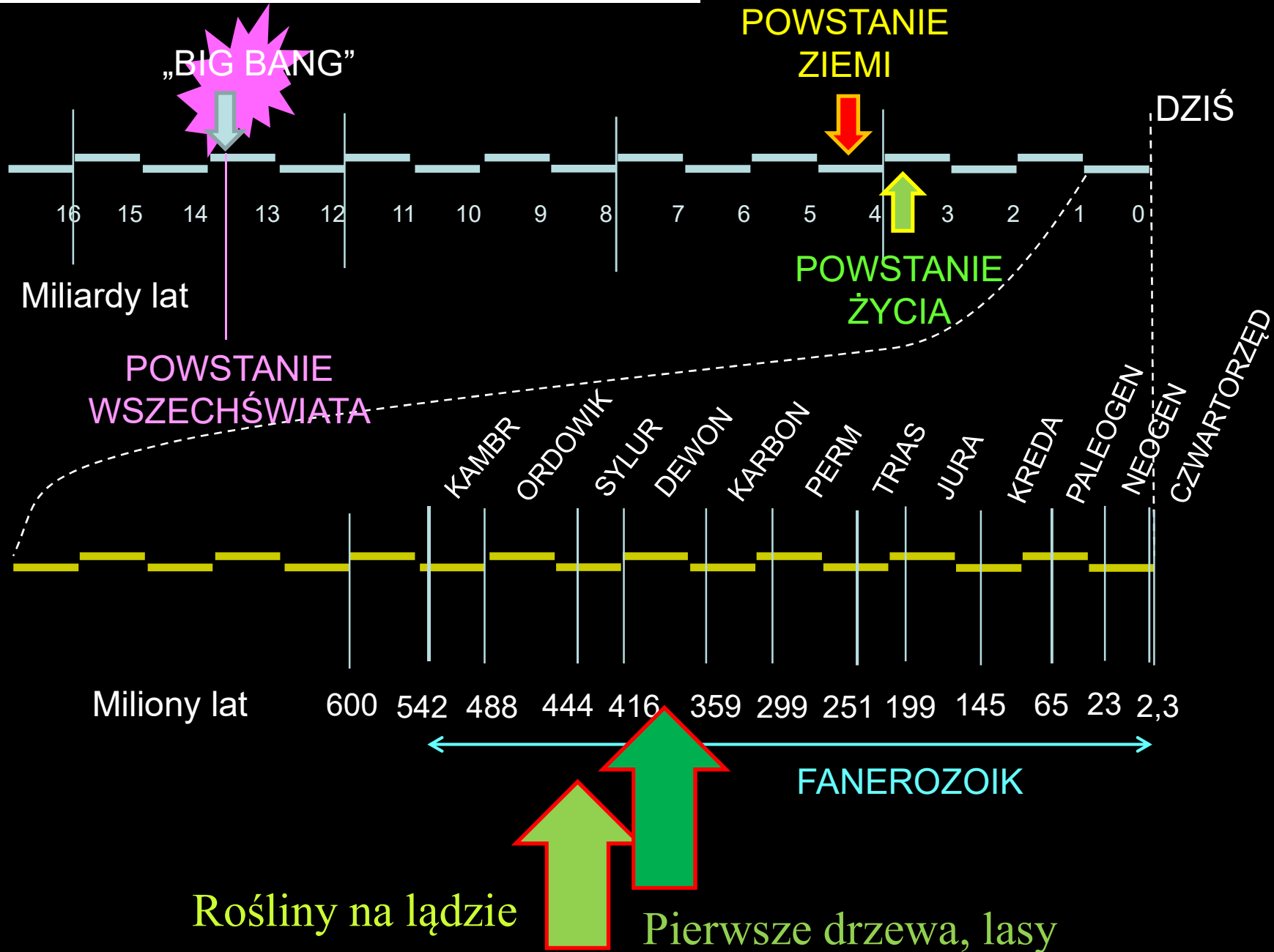
Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages within the Cambrian will be formally named upon international agreement on their GSSP limits. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle and Upper Aptian) are not formally defined.

Colors are according to the Commission for the Geological Map of the World ([www.ogmw.org](http://www.ogmw.org)). The listed numerical ages are from 'A Geologic Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press) and 'The Concise Geologic Time Scale' by J.G. Ogg, G. Ogg and F.M. Gradstein (2008).

# Historia Ziemi

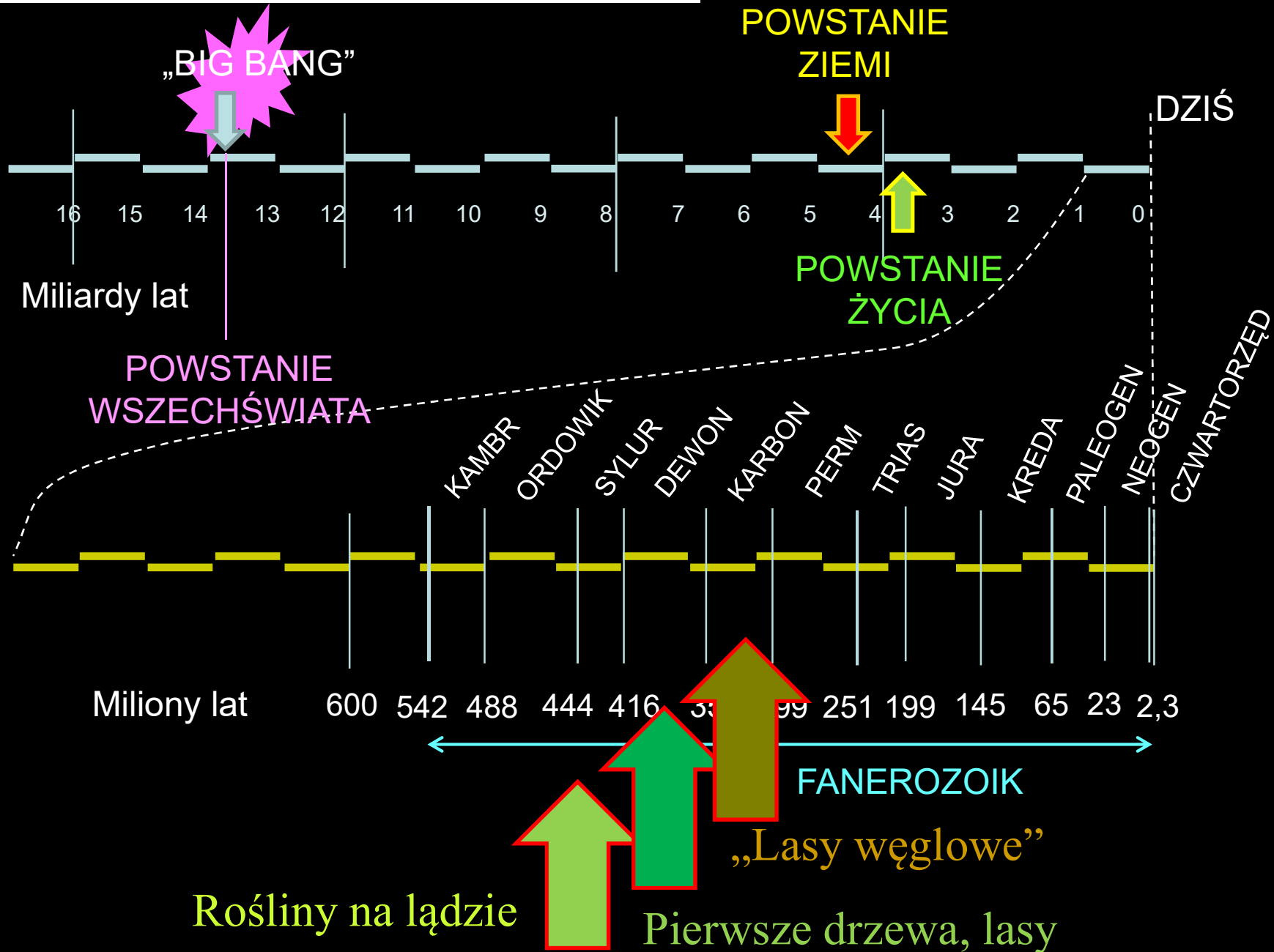


# Historia Ziemi

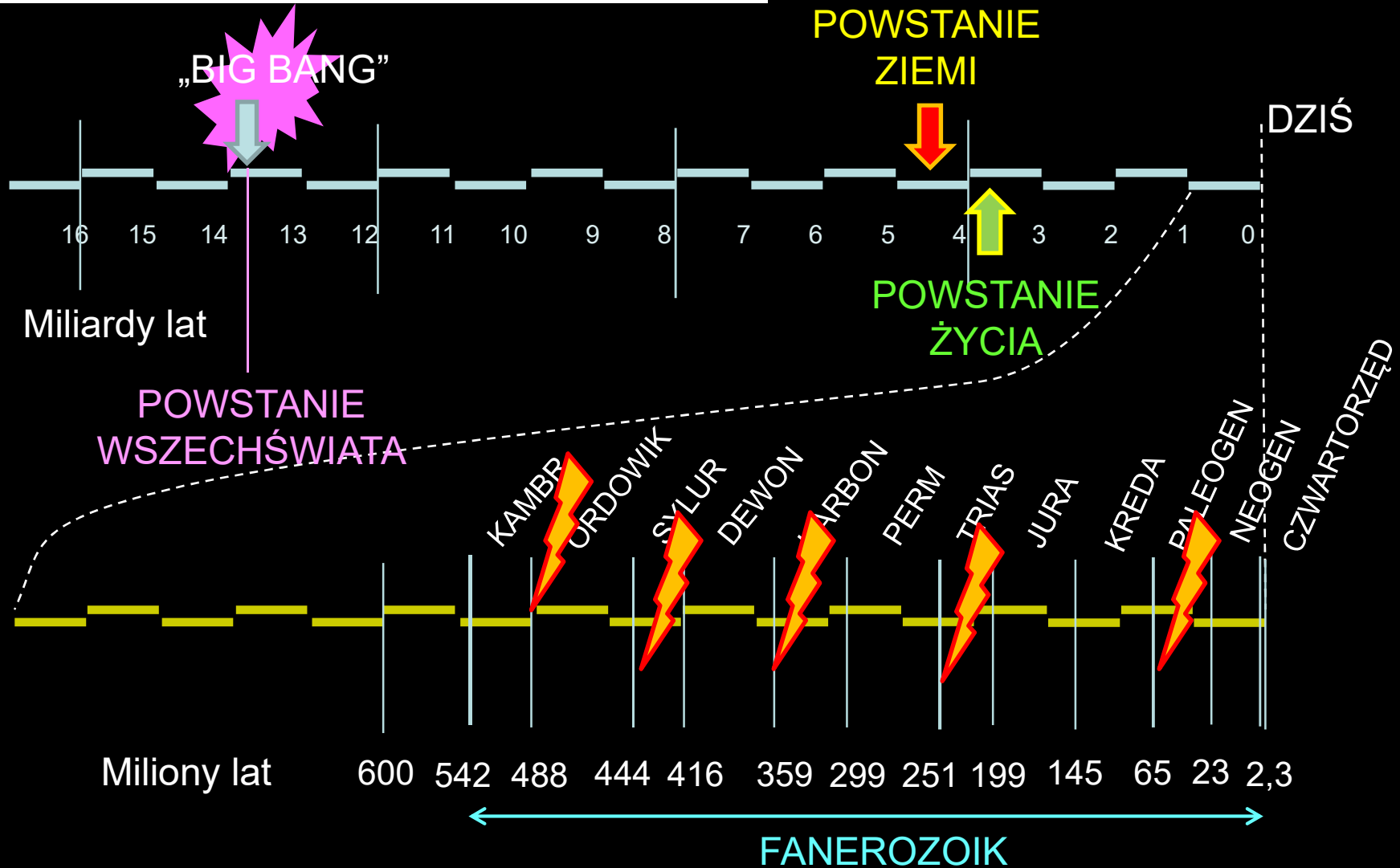




# Historia Ziemi



# Historia Ziemi



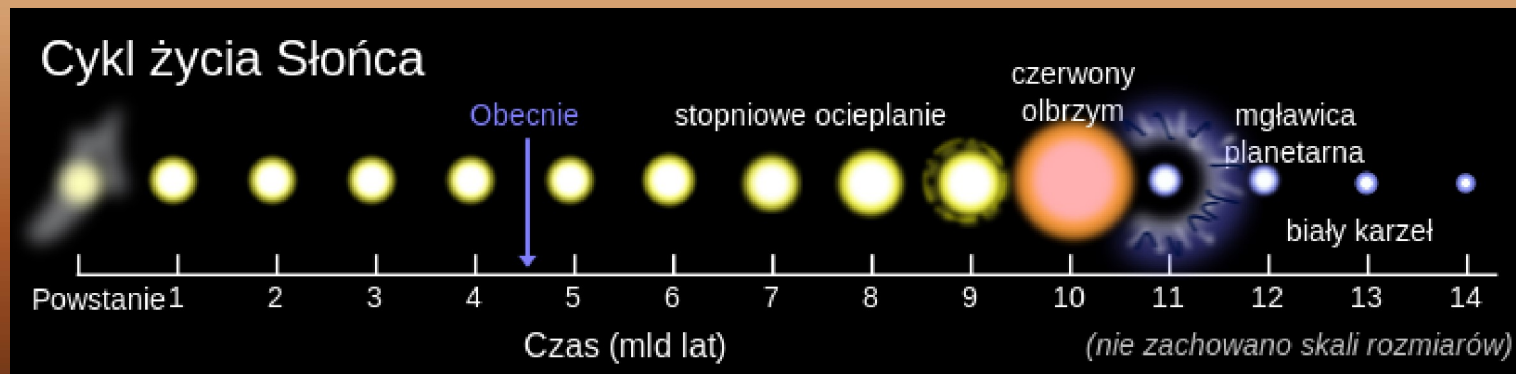
JAKI BĘDZIE (naturalny)  
KONIEC  
ŻYCIA NA ZIEMI?





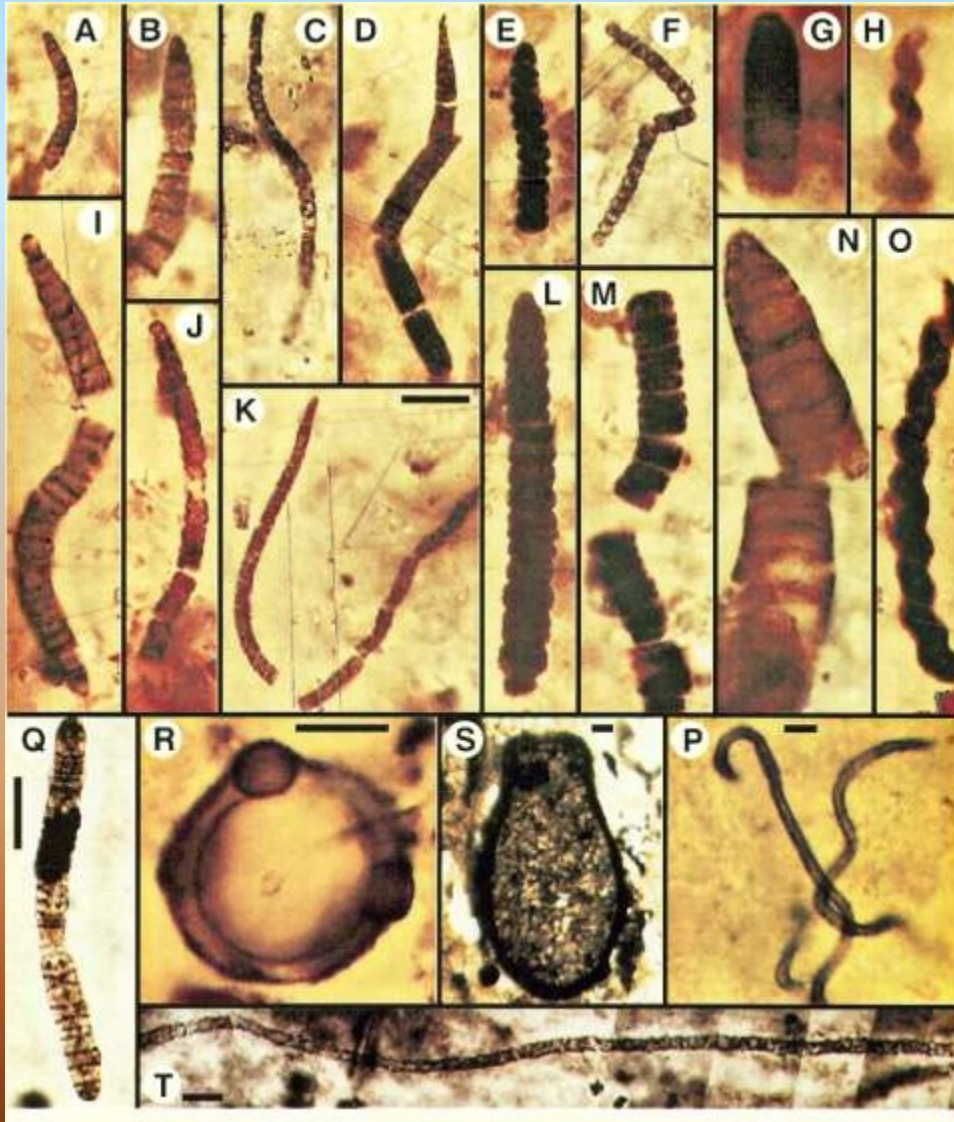
- Dalszy wzrost natężenia promieniowania słonecznego, podwyższenie temperatury
- Szybsze wietrzenie skał krzemianowych – sekwestracja CO<sub>2</sub>
- Spadek stężenia CO<sub>2</sub> poniżej 150 ppm
- Zatrzymanie fotosyntezy
- Po 1,5 mld lat temp. Ziemi >50°C (Obecnie: 15°C)
- Wymieranie organizmów (poza mikroorganizmami)
- Dalszy przyspieszający wzrost temp. (efekt cieplarniany H<sub>2</sub>O)
- Ucieczka wodoru. Po 2,5 mld lat brak wody

- Za 6,5 mld lat: wyczerpanie paliwa wodorowego Słońca
- Kolaps Słońca, ponowne zapalenie wodoru, rozszerzenie („czerwony olbrzym”) do średnicy równej orbicie Ziemi.
- Temperatura powierzchni Ziemi  $>1500^{\circ}\text{C}$
- Po 8 mld lat – definitywny koniec paliwa
- Słońce staje się „białym karłem”
- **Życie na Ziemi zużyło już 80% swojego czasu**



# MIKROORGANIZMY PREKAMBRYJSKIE

(-770 : -1500 mln lat)



Schopf 2002



# Stromatolity kopalne



Kanada  
(Archean)



Estonia  
(Sylur)





# Stromatolity współczesne



# Przełomowe odkrycie polskich paleontologów. O miliard lat przesunęli jeden z największych wynalazków ewolucji!

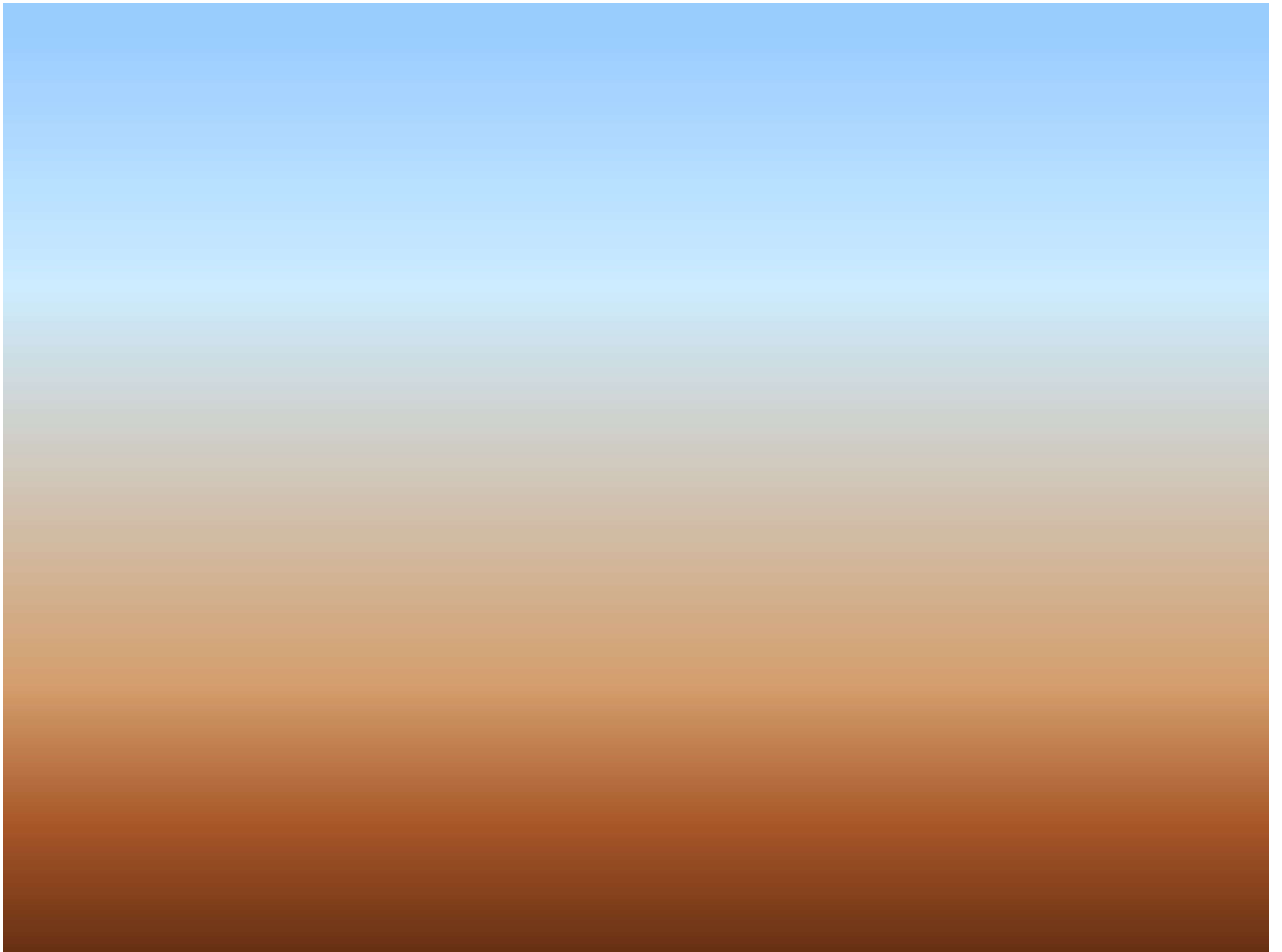
Wojciech Mikołuszko, 16 października 2016 | 14:06



Komórki eukariotyczne 2,8 mld lat temu (stanowisko w RPA)

[Precambrian Research](#), Volume 286, November 2016, Pages 180–194

Tubular microfossils from ~2.8 to 2.7 Ga-old lacustrine deposits of South Africa: A sign for early origin of eukaryotes? [Józef Kaźmierczak<sup>a</sup>](#), [Barbara Kremer<sup>a</sup>](#), [Władysław Altermann<sup>b</sup>](#), [Ian Franchi<sup>c</sup>](#)

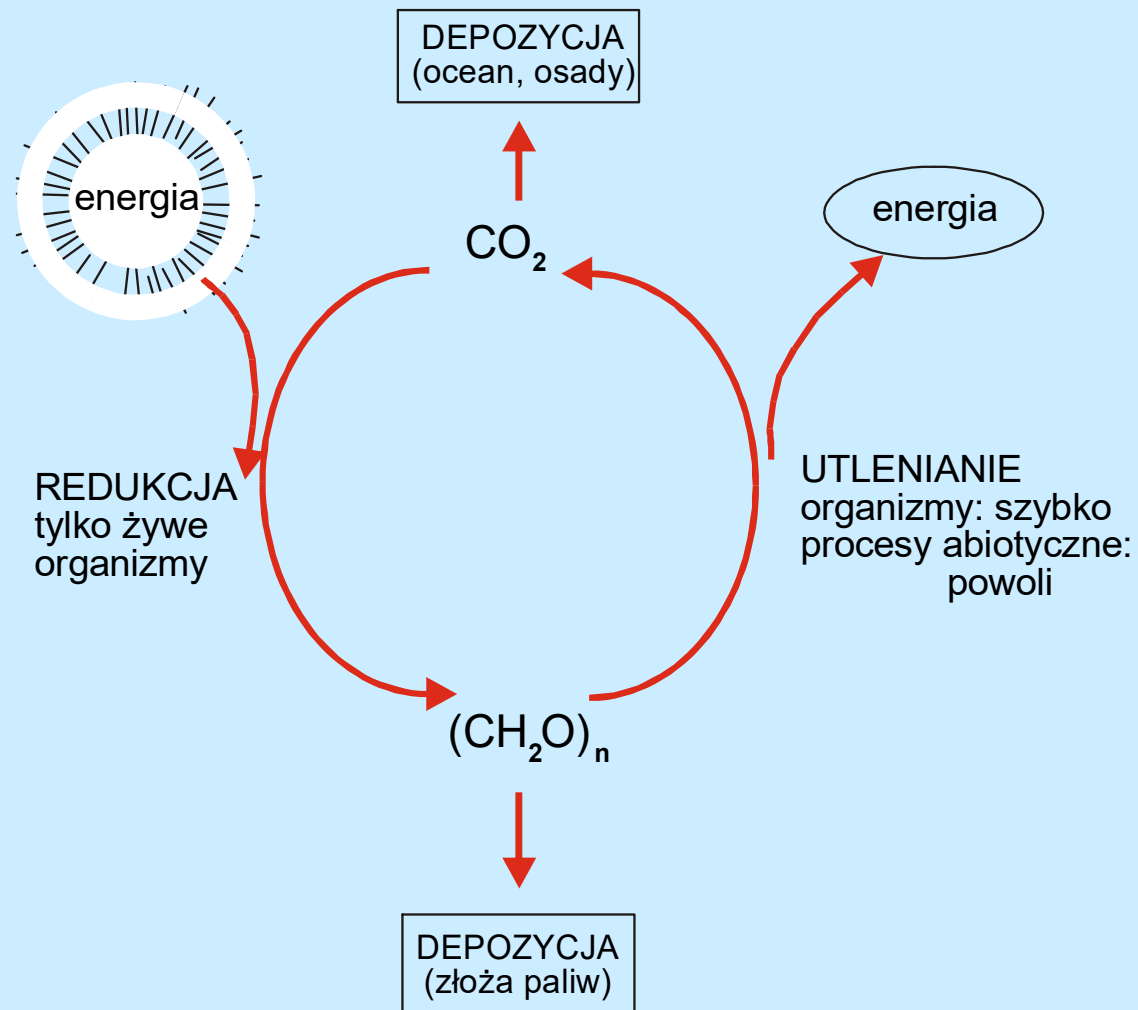




# Życie jako właściwość planety

Życie to endoenergetyczny proces, polegający na cyklicznym utlenianiu i redukowaniu związków węgla, realizowany przez autokatalitycznie powielające się makrocząsteczki (organizmy).

# Życie biosfery = cykl redoks węgla



# SUBSTRATY ŻYCIA

Budowa  
biomasy

SUBSTRAT  
STRUKTURALNY  
(C, H, O, N, S...)

DONOR ELEKTRONÓW  
(REDUKTOR  
LUB SUBSTRAT  
ENERGETYCZNY)  
(CH<sub>2</sub>O), H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S

AKCEPTOR  
ELEKTRONÓW  
(UTLENIACZ)  
O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>

Energia  
(praca)

# Reakcja redoks

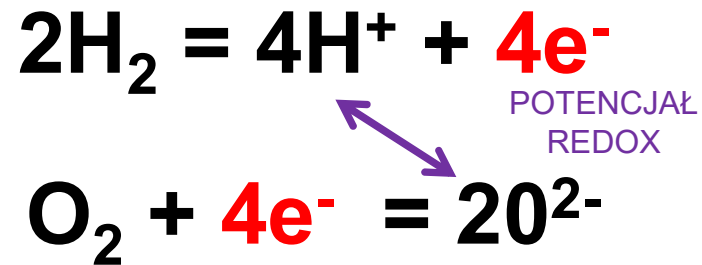


H = donator elektronów, reduktor

O = akceptor elektronów, utleniacz



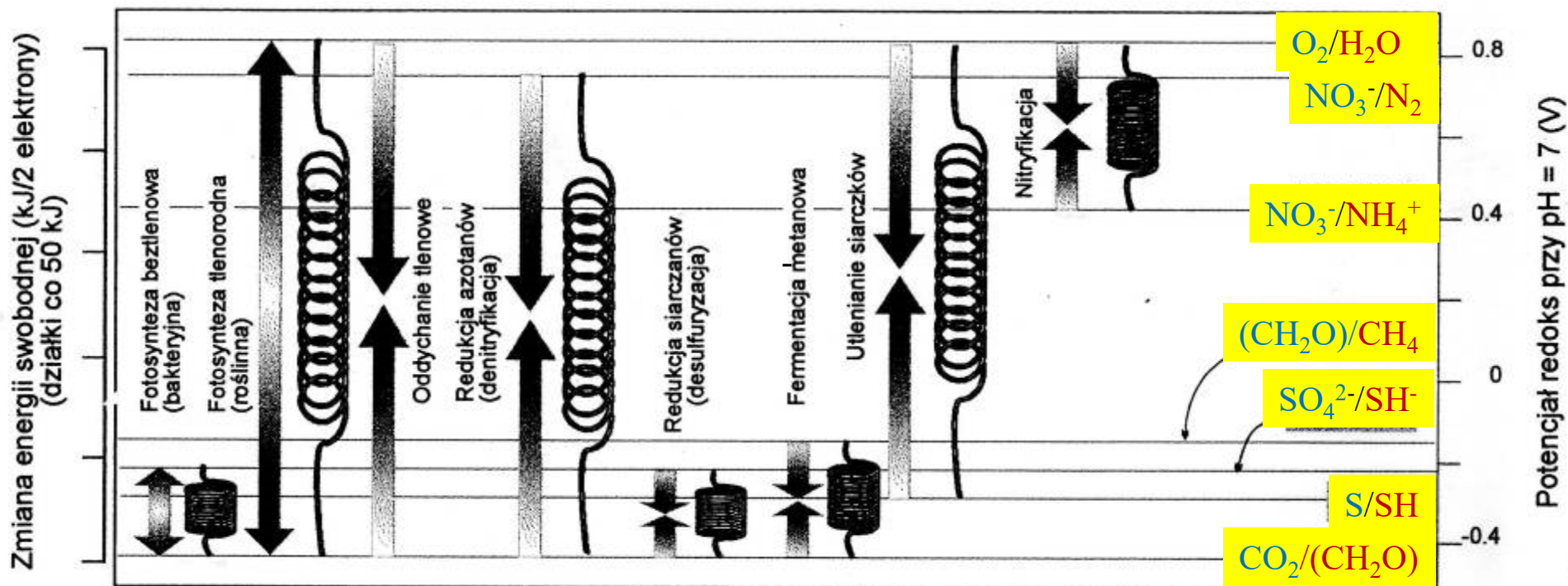
# Reakcja redoks



H = donator elektronów, reduktor

O = akceptor elektronów, utleniacz

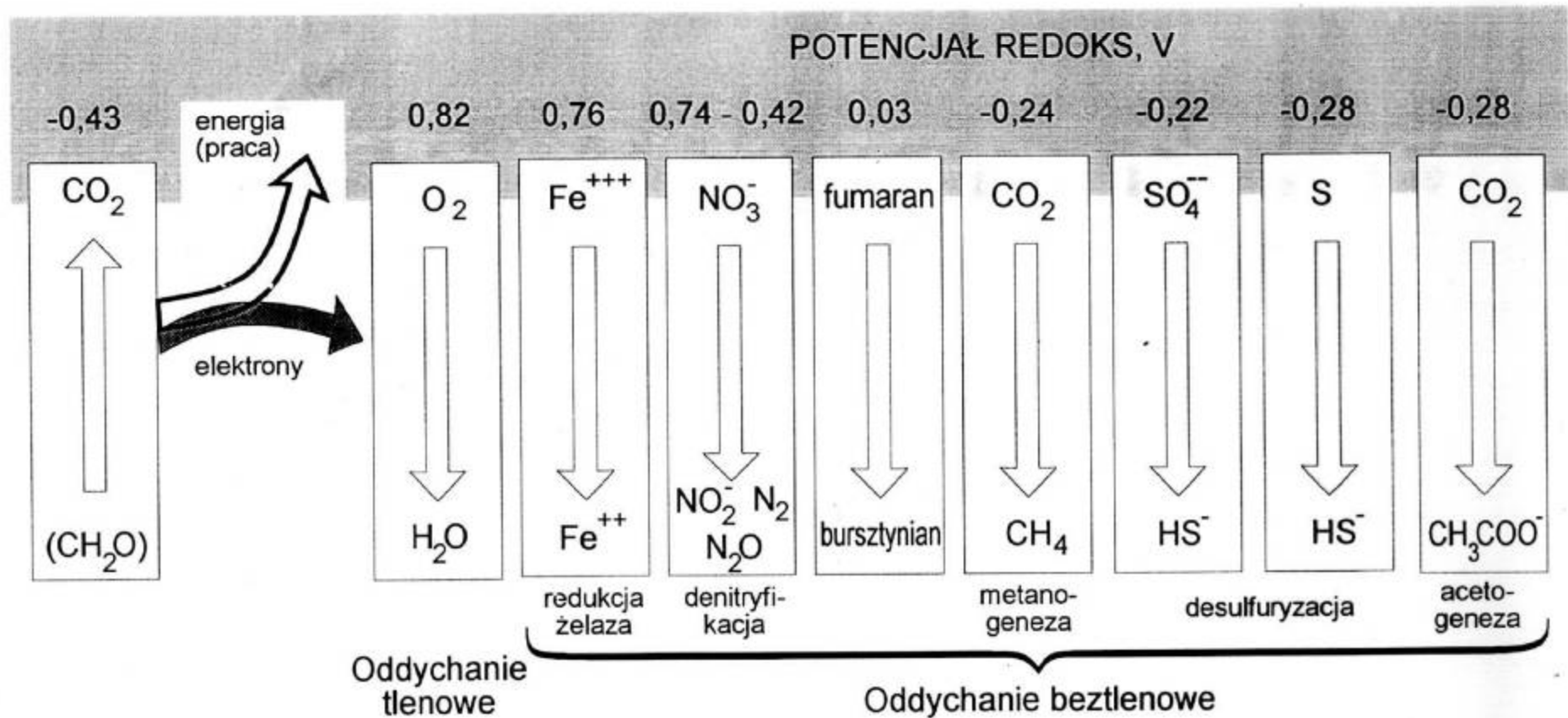
# Potencjał REDOX



# ODDYCHANIE

ODDYCHANIE  
(UTLENIANIE  
ZWIĄZKÓW  
WĘGLA)

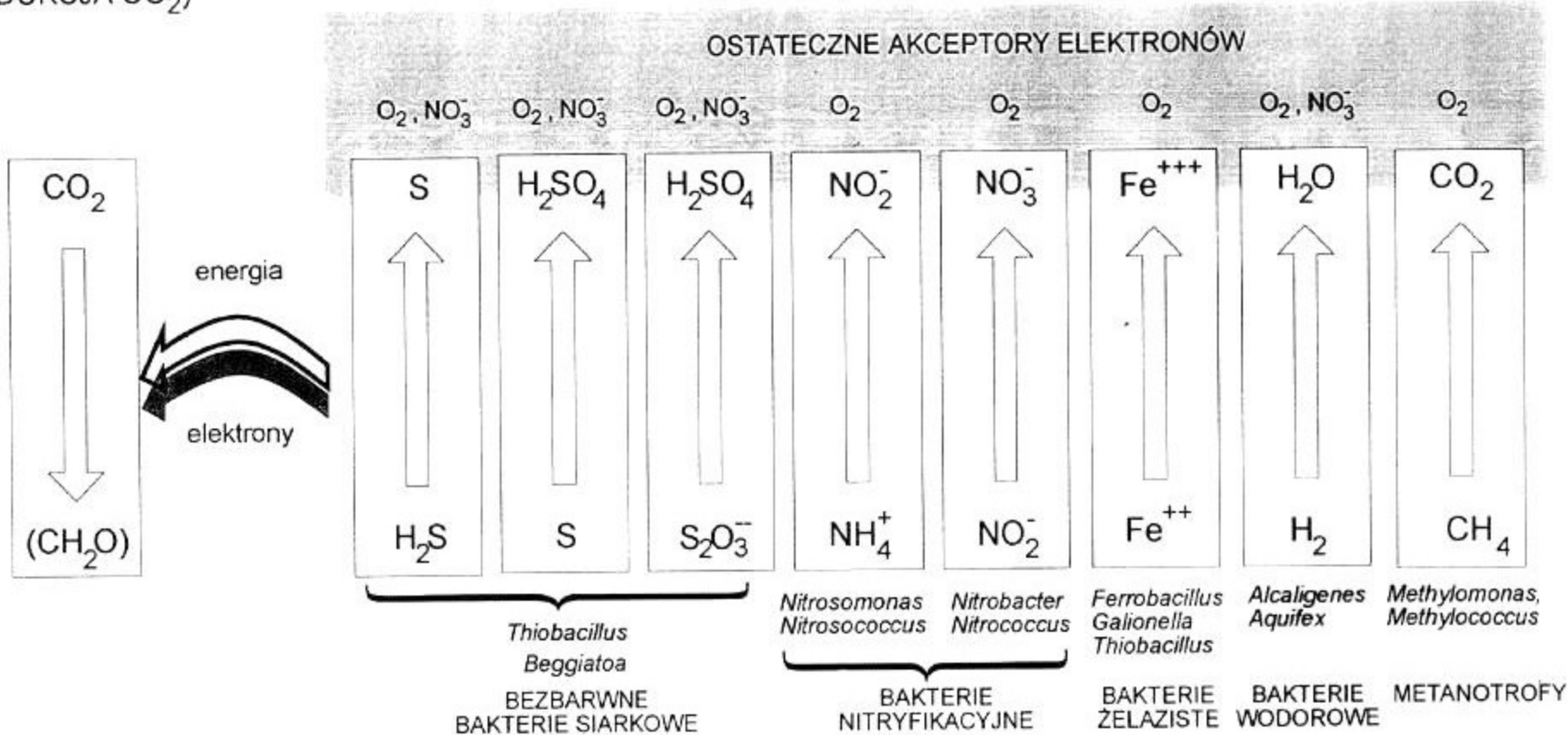
REAKCJE REDOKS PO STRONIE AKCEPTORA ELEKTRONÓW  
W RÓŻNYCH TYPAH ODDYCHANIA



# Metabolizm chemoautotrofów

PRODUKCJA  
BIOMASY  
(REDUKCJA  $\text{CO}_2$ )

REAKCJE REDOKS DOSTARCZAJĄCE ENERGIĘ I ELEKTRONÓW  
W RÓŻNYCH GRUPACH CHEMOAUTOTROFÓW





**2,45-2,32** mld LAT TEMU: FOTOSYNTTEZA

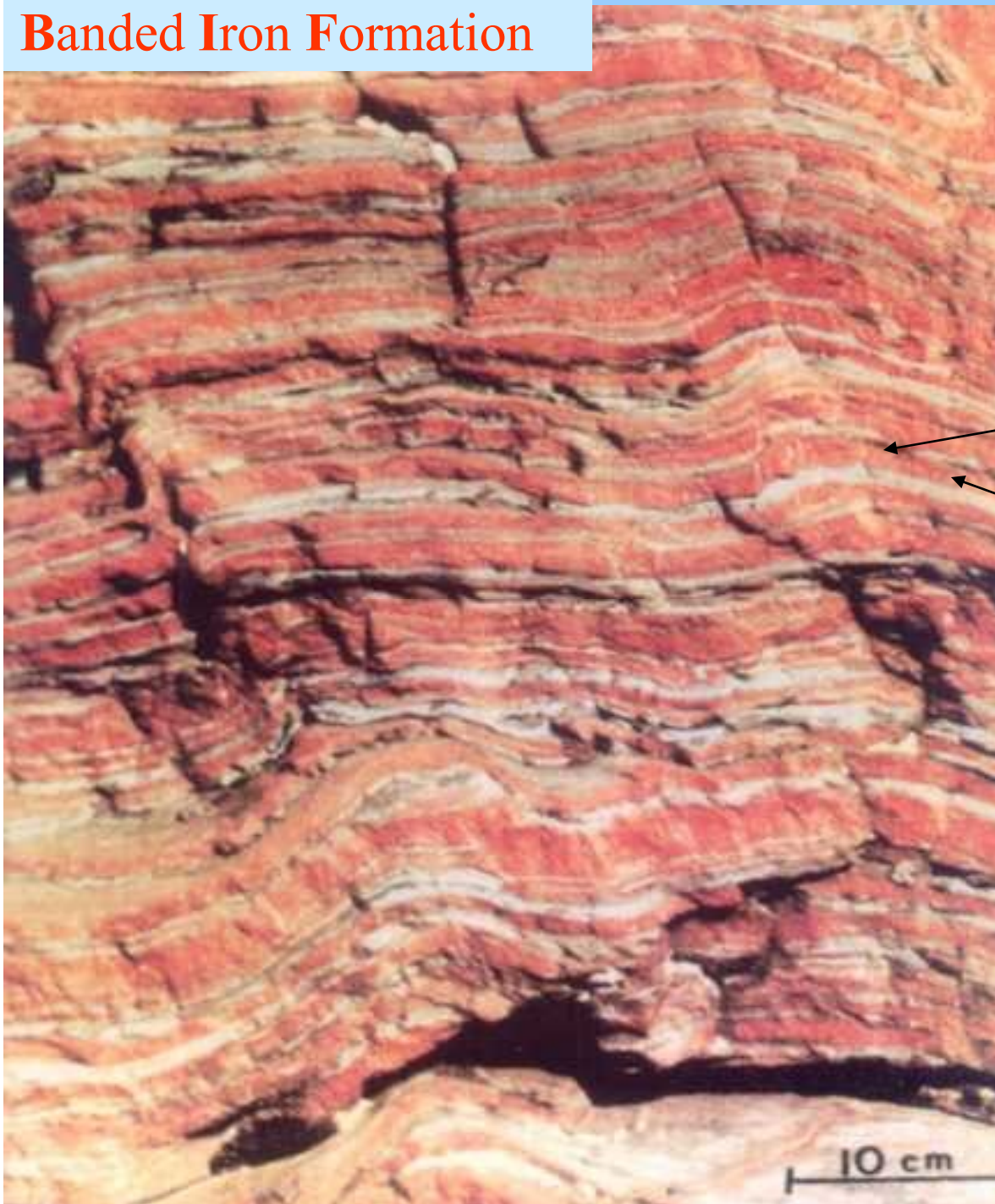


**GOE:**  
Great  
Oxydation  
Event

2,8 mld lat?

CHLOROFIL, TLEN

## Banded Iron Formation

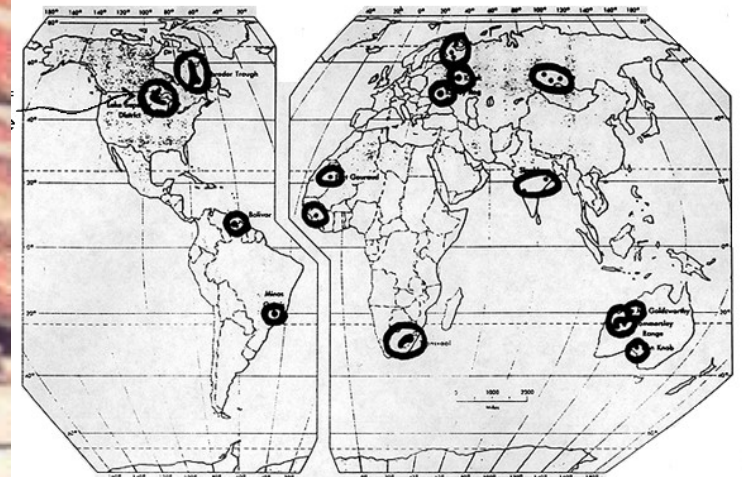


**FOTOSYNTTEZA**  
**>2 mld lat**

żelazo utlenione

żelazo zredukowane

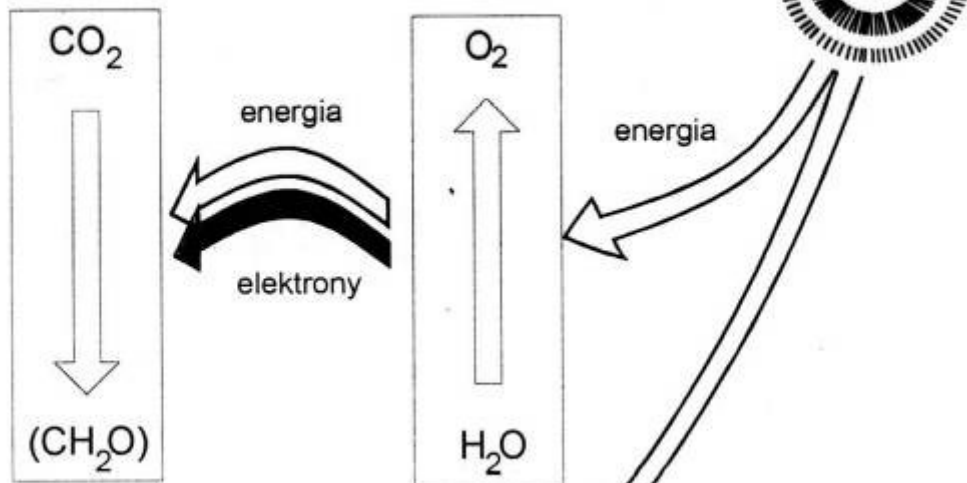
Precambrian Banded Iron Formations



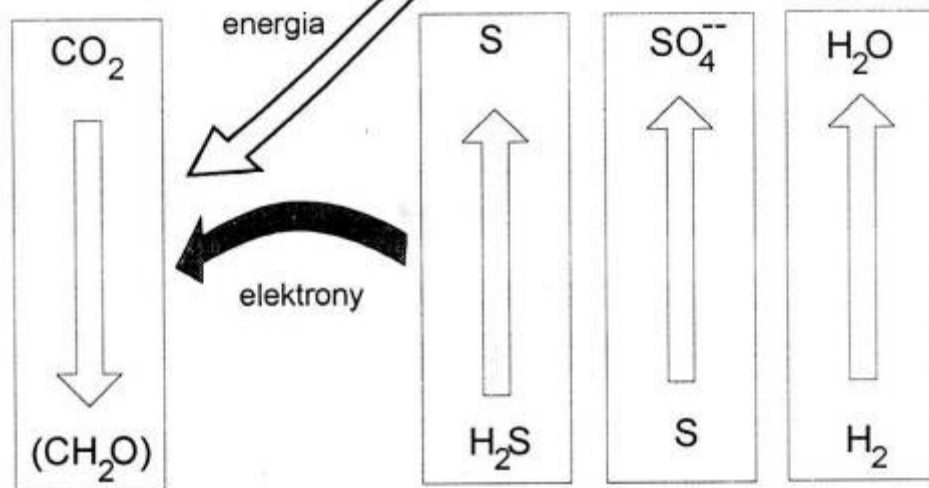


# Fotosynteza

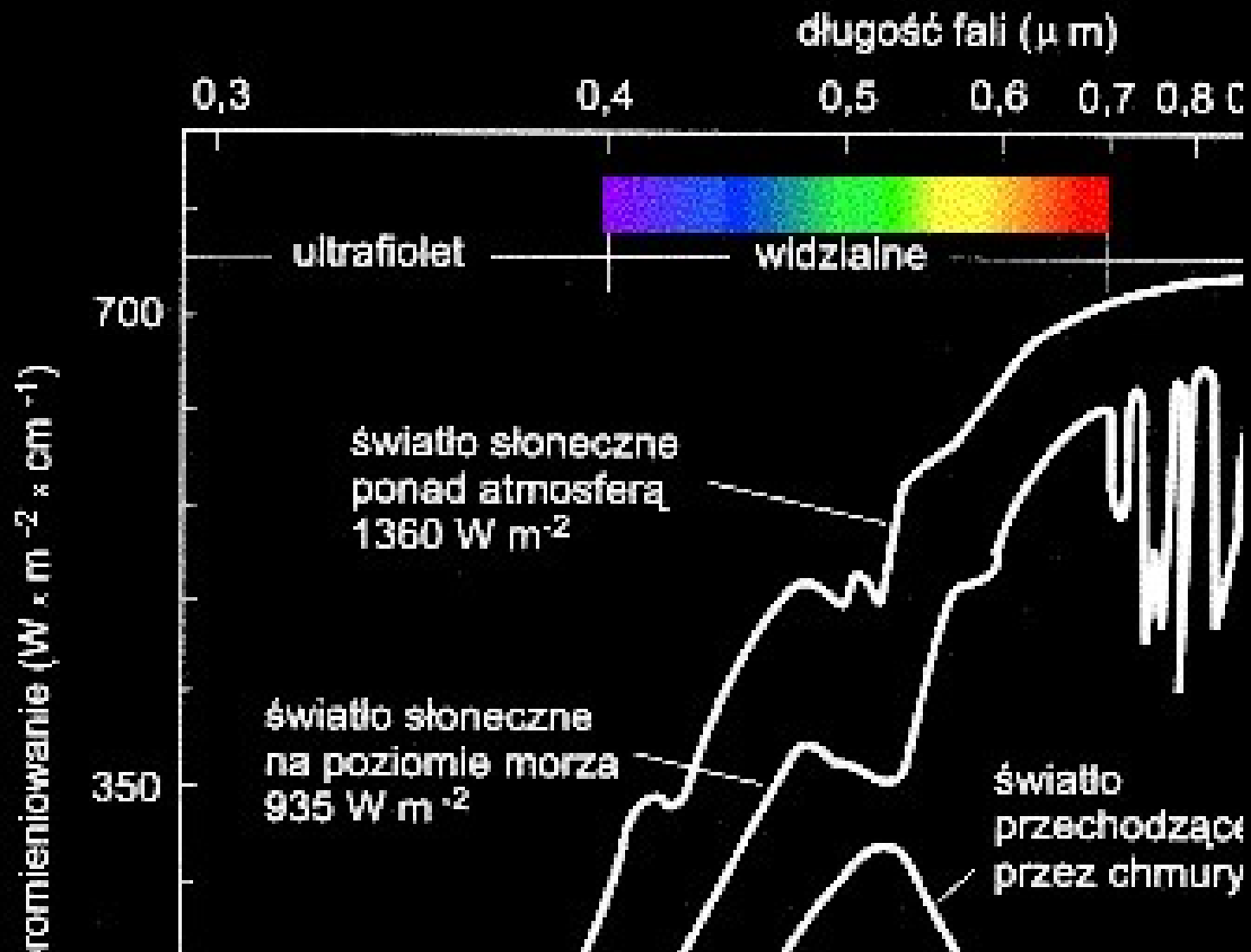
## FOTOSYNTYZA TLENORODNA (rośliny zielone, sinice)



## FOTOSYNTYZA BEZTLENOWA (bakterie zielone i purpurowe)

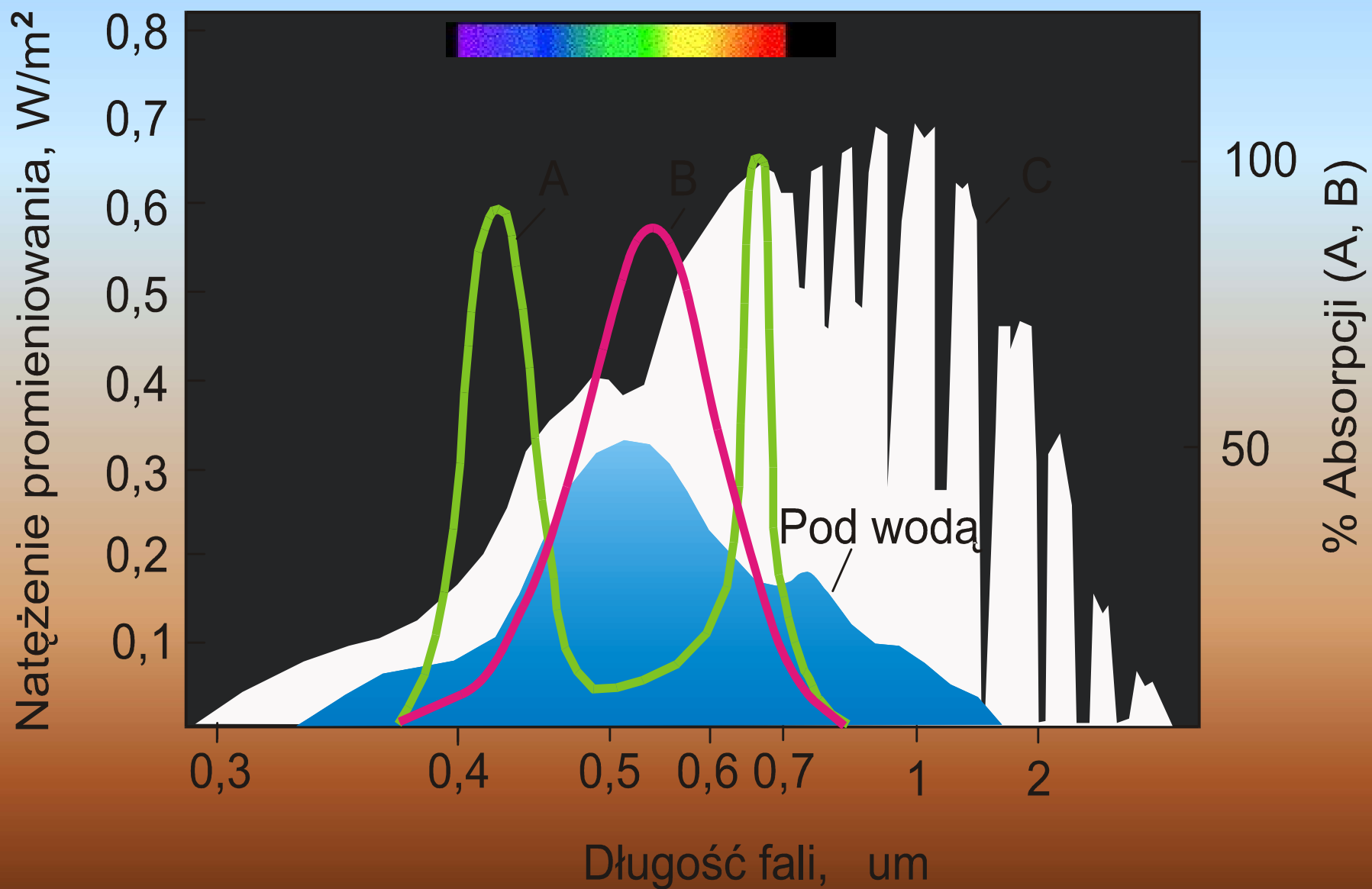


# Widmo promieniowania słonecznego



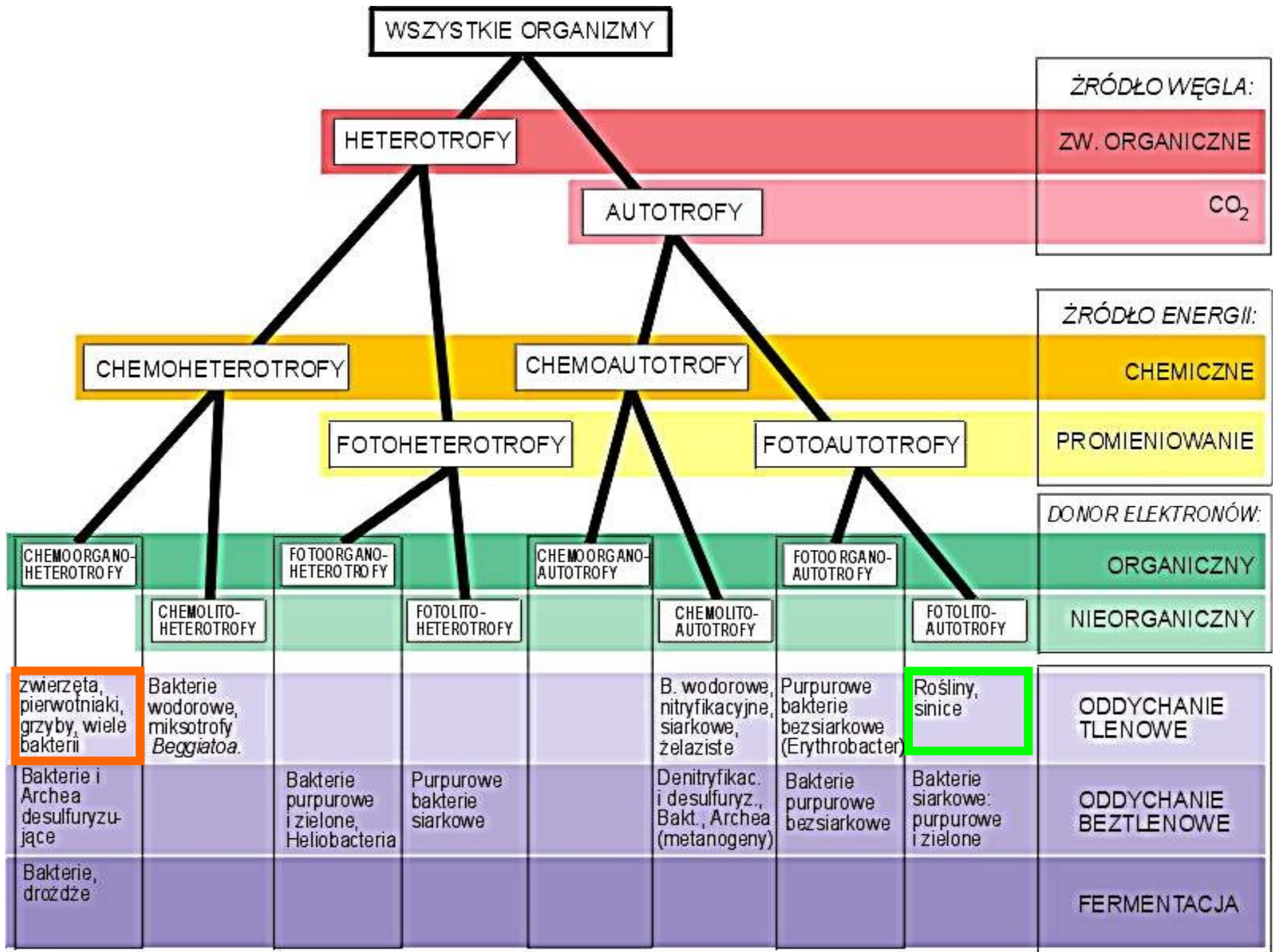


# Widma chlorofilu i bakteriorodopsyny







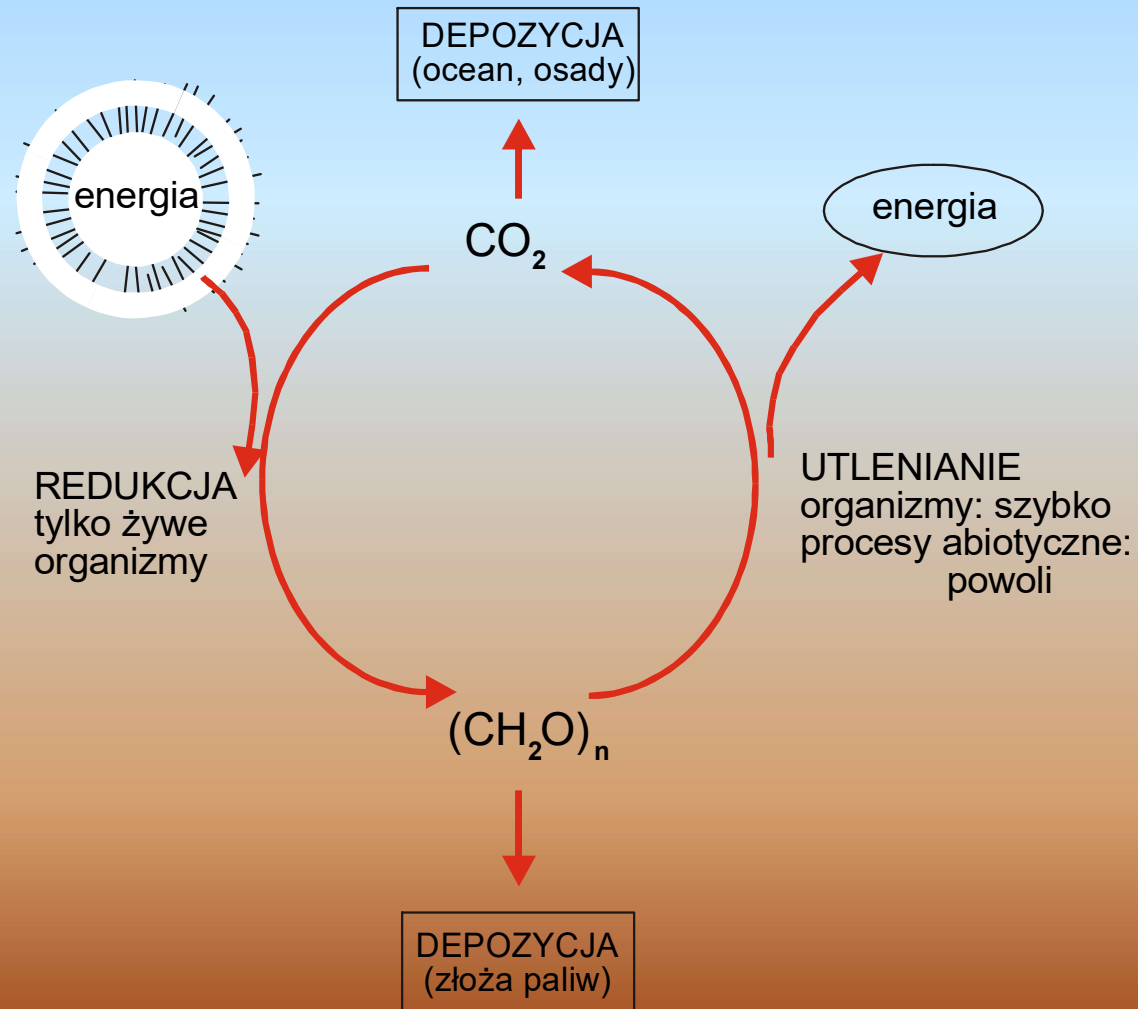




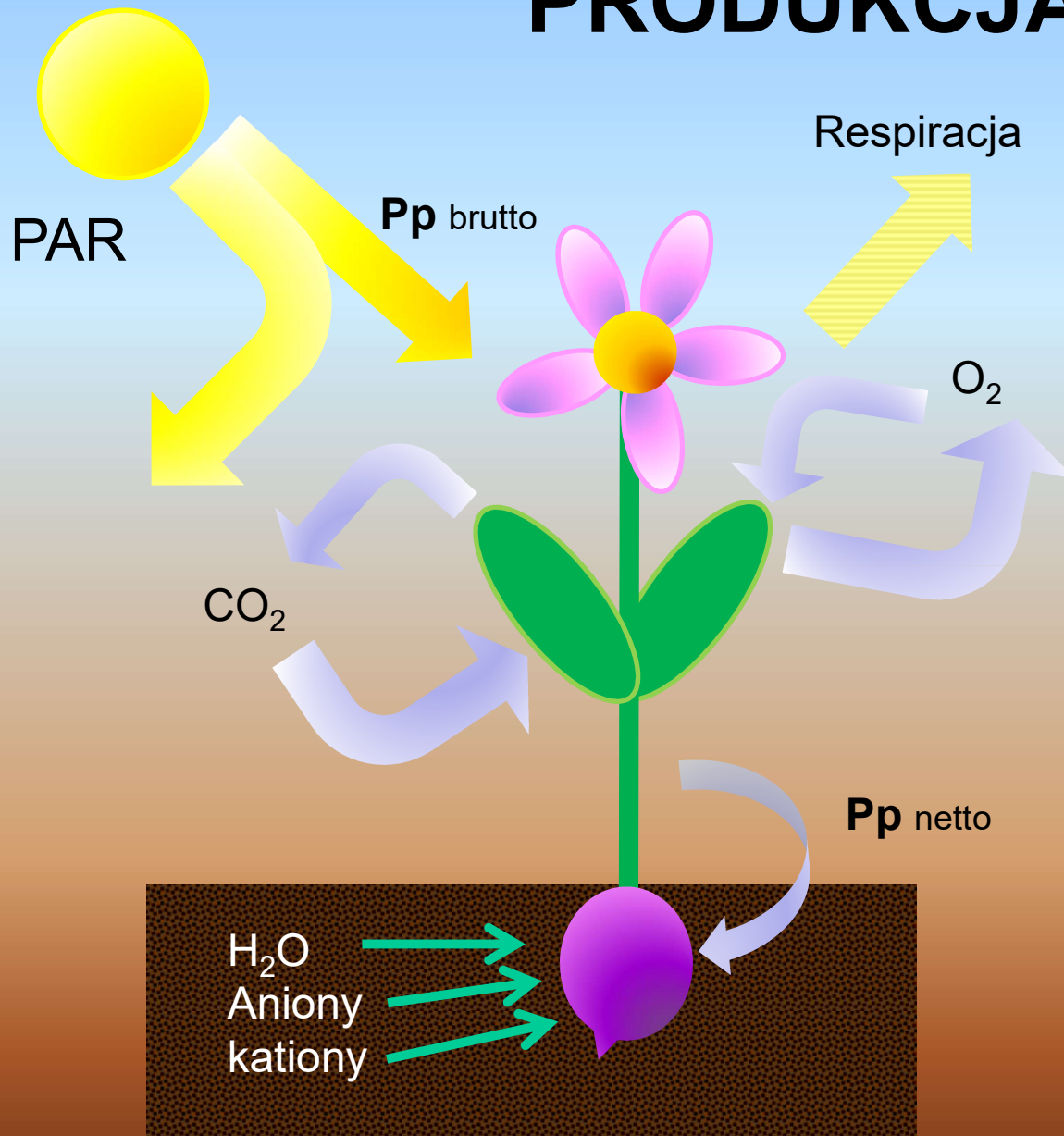
# PRODUKCJA PIERWOTNA BIOSFERY



# Życie biosfery = cykl redoks węgla



# PRODUKCJA PIERWOTNA



# MIARY STANU I TEMPA PRODUKCJI BIOMASY

1. Stan:

g (kg) biomasy / m<sup>2</sup> [ha, km<sup>2</sup>]

2. Produkcja:

g [kg] biomasy / (m<sup>2</sup> [ha km<sup>2</sup>] × rok [doba, godz])

## PRZELICZENIA JEDNOSTEK

1 g s.m. ~ 5 g biomasy = 4.1 kcal = 17.2 kJ

1 g węgla = 2.4 g s.m. (bo: C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>...)

1 kcal = 0.249 J

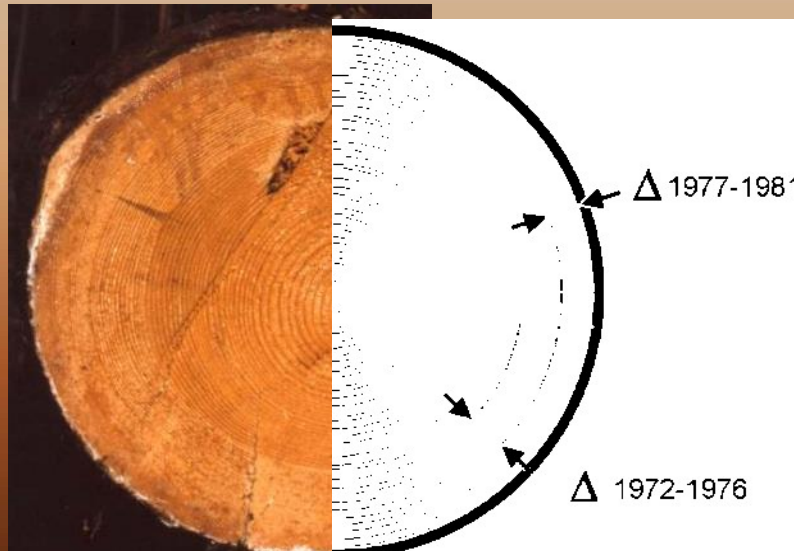
1 g C = ok.. 10 kcal

**1 J/sec = 1W = 86.4 kJ/dobę**



METODY ŻNIWNE

METODY DENDROMETRYCZNE

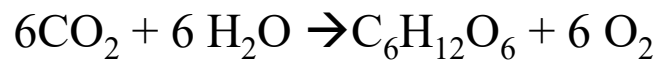




# Pomiar fotosyntezy



POMIAR TEMPA FOTOSYNTAZY



CPY-4 Canopy Assimilation Chamber





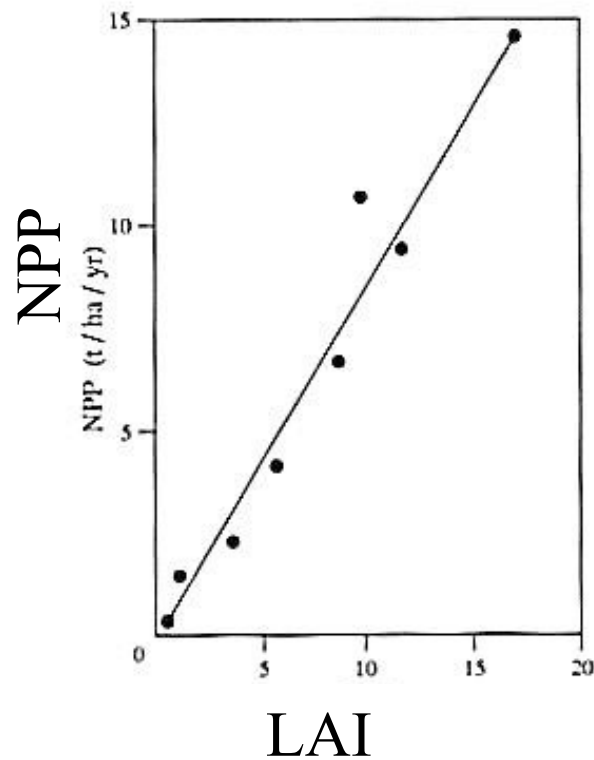


# Leaf Area Index = LAI

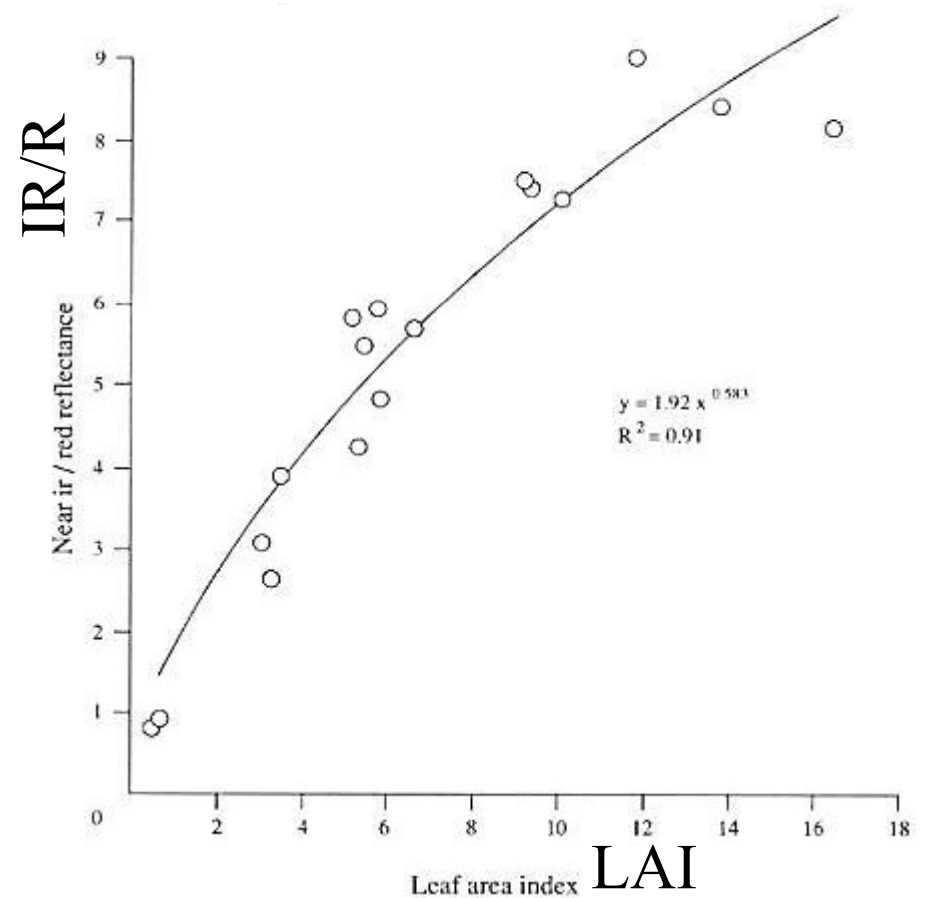


# POŚREDNIE METODY POMIARU PRODUKCJI PIERWOTNEJ

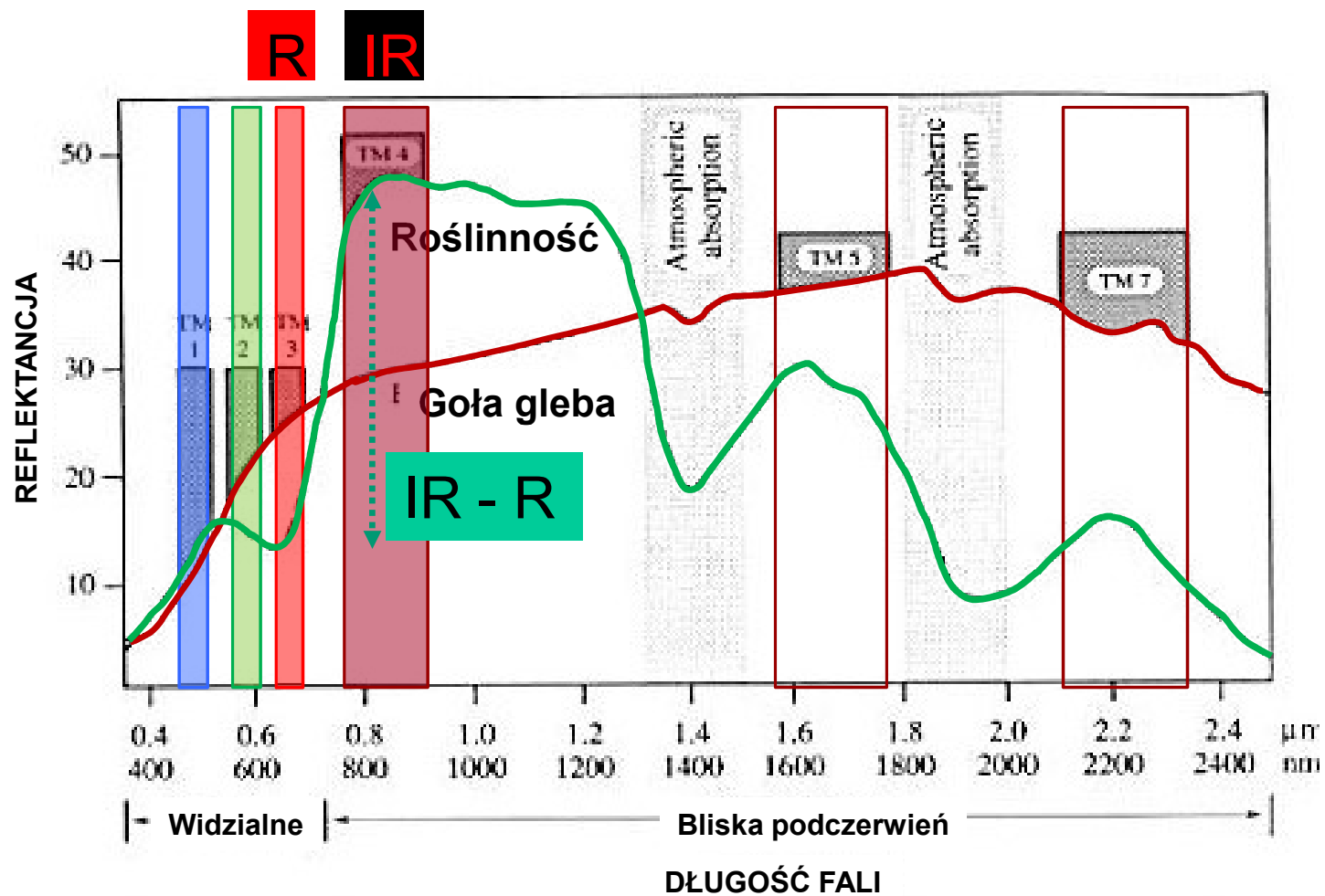
NPP vs. LAI



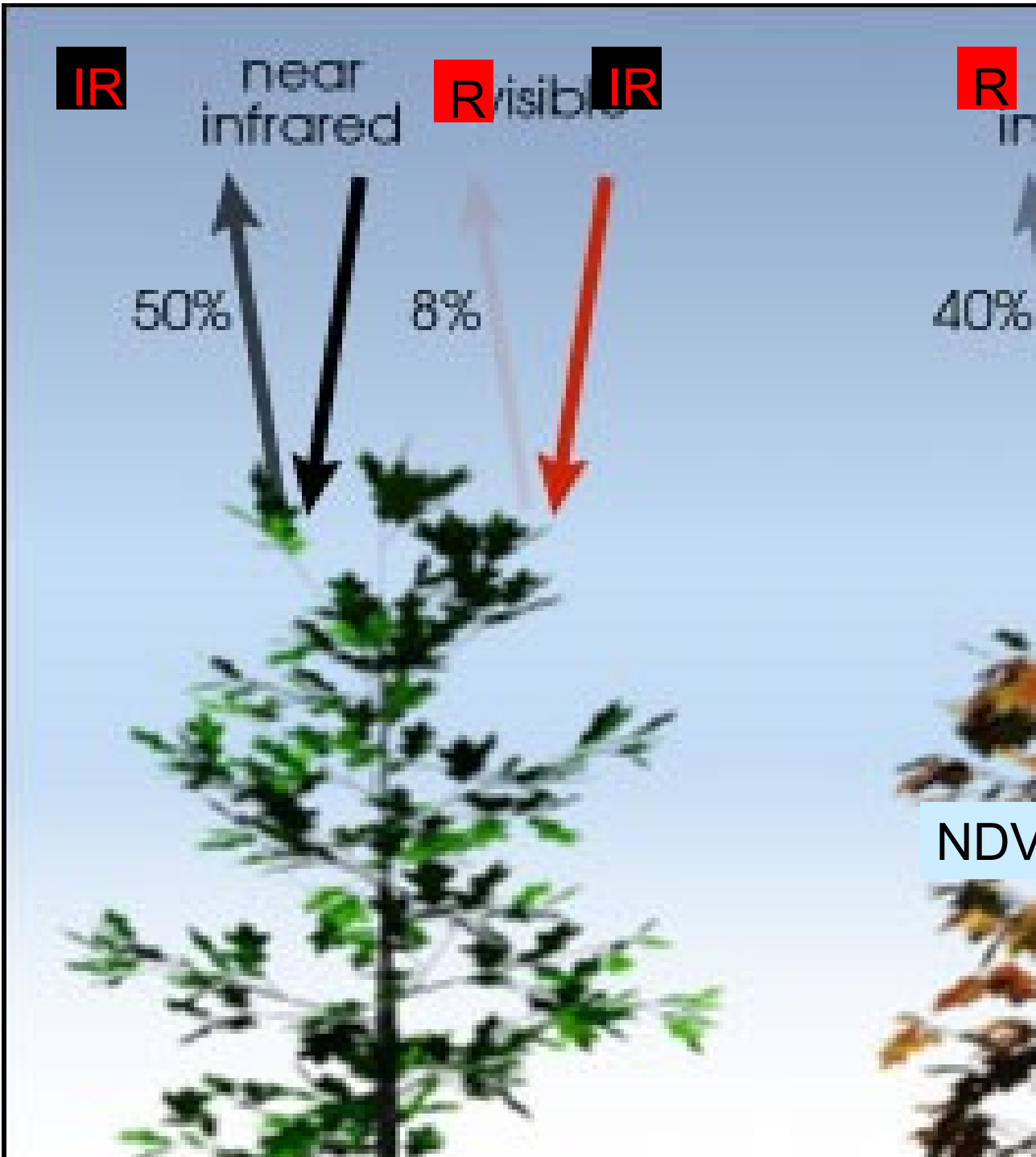
IR/R REFLEKTANCJA vs. LAI



# ZASADA ZDALNEGO POMIARU NDVI



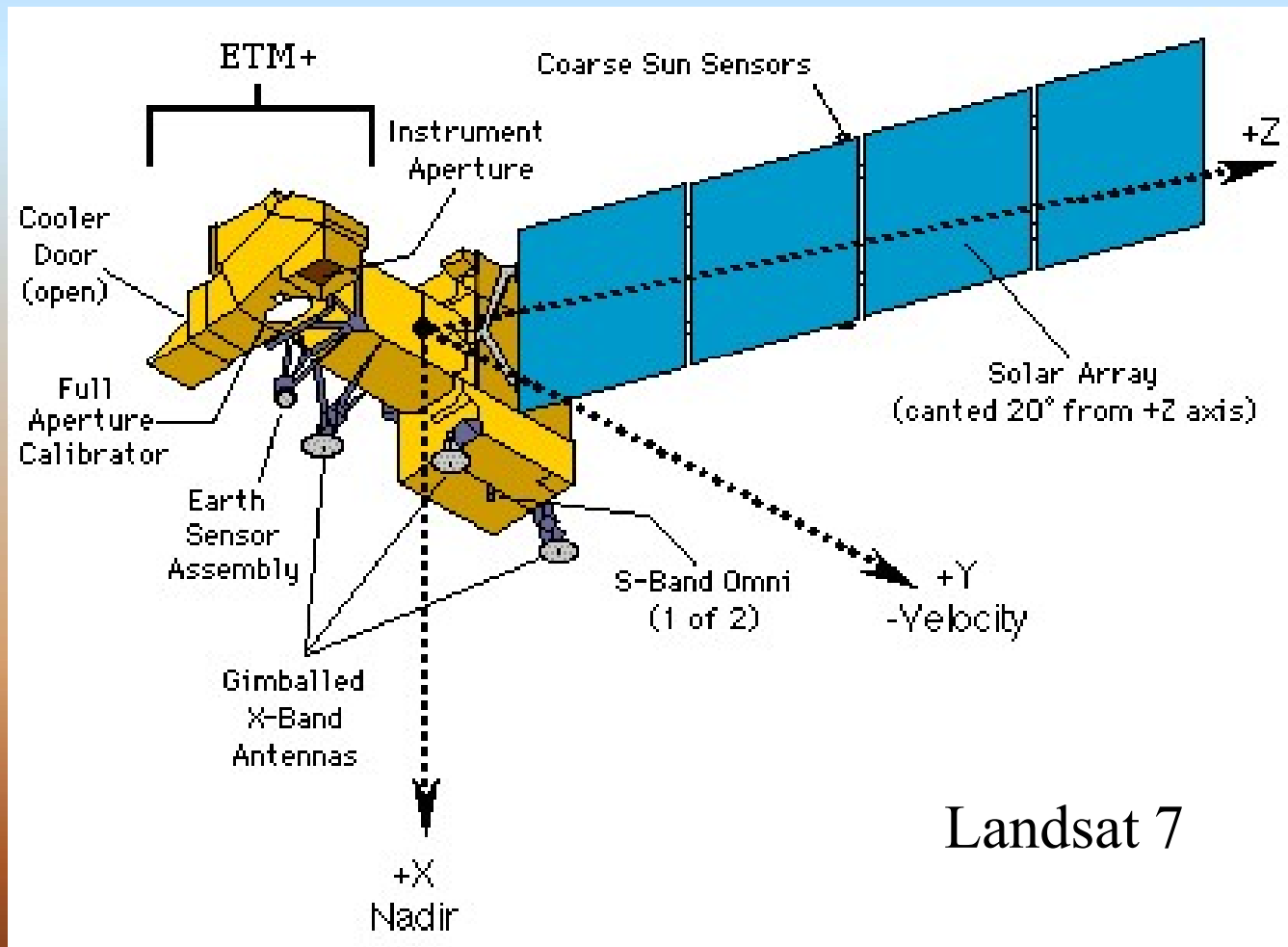




Zasada  
pomiaru  
NDVI

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{R}}{\text{IR} + \text{R}}$$

# BADANIA SATELITARNE



# Platforma LANDSAT (od 1972)

Spektrometr MSS, Thematic Mapper (TM)

Rozdzielczość czasowa: 16 dni

Rozdzielczość spektralna: 7 kanałów

	$\mu\text{m}$	Rozdzielczość przestrzenna	
1	0.45-0.52	30 m	niebieski
2	0.52-0.60	30 m	zielony
3	0.63-0.69	30 m	czzerwony
4	0.76-0.90	30 m	podczerwień
5	1.55-1.75	30 m	podczerwień
6	10.4-12.5	120 m	„termiczne”
7	2.08-2.35	30 m	podczerwień

Scena 175 x 182 km

Obecnie funkcjonują:

Landsat 5 (1984)

Landsat 7 (1999) – Enhanced Thematic Mapper



Landsat 1, 1972



LAN1A\_



NIEBIESKIE



LAN2A\_



ZIELONOŻÓŁTE

LAN3A\_



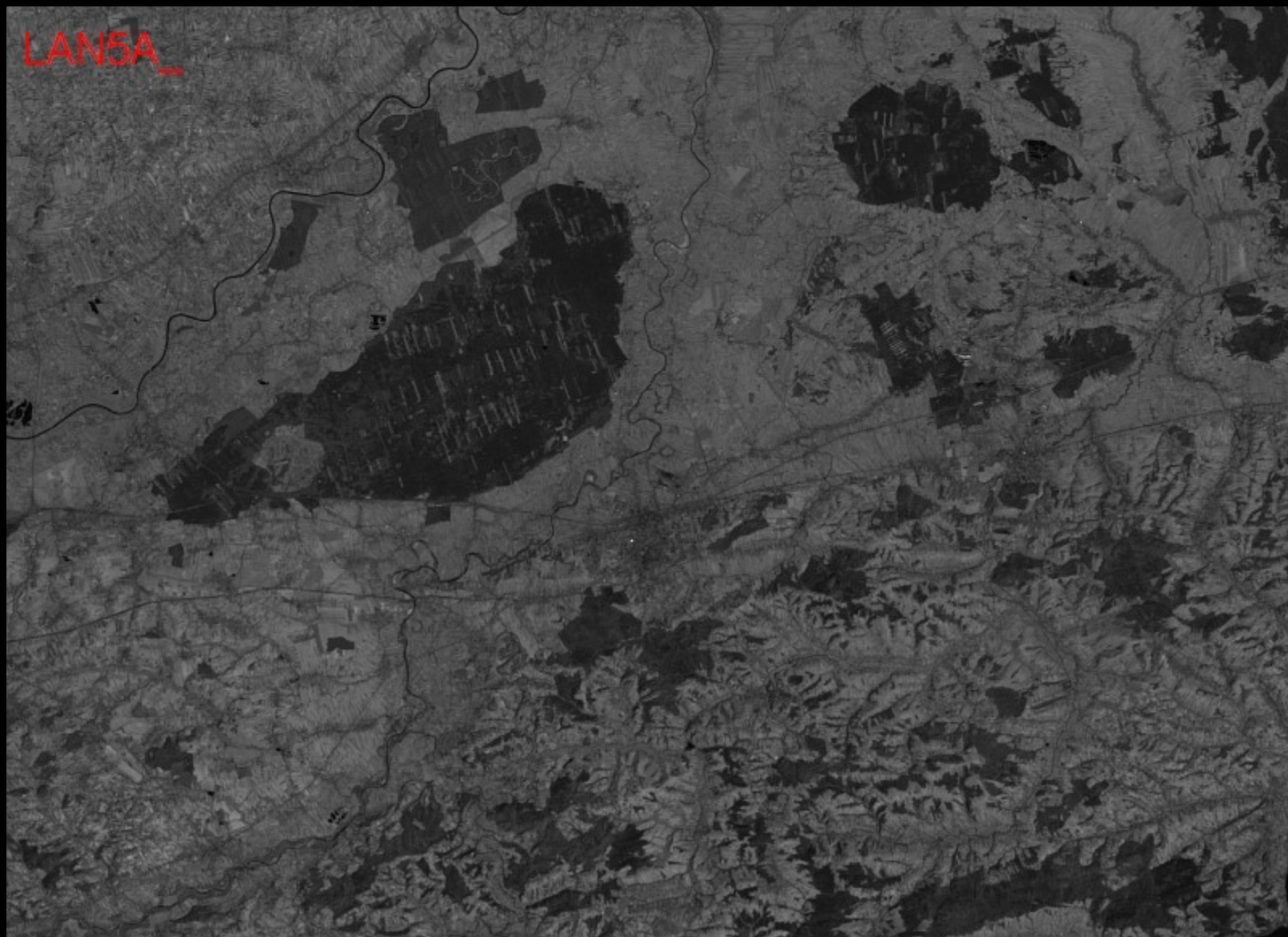
CZERWONE

LAN4A\_



BLISKA PODCZERWIEN





LAN5A\_

PODCZERWIEN



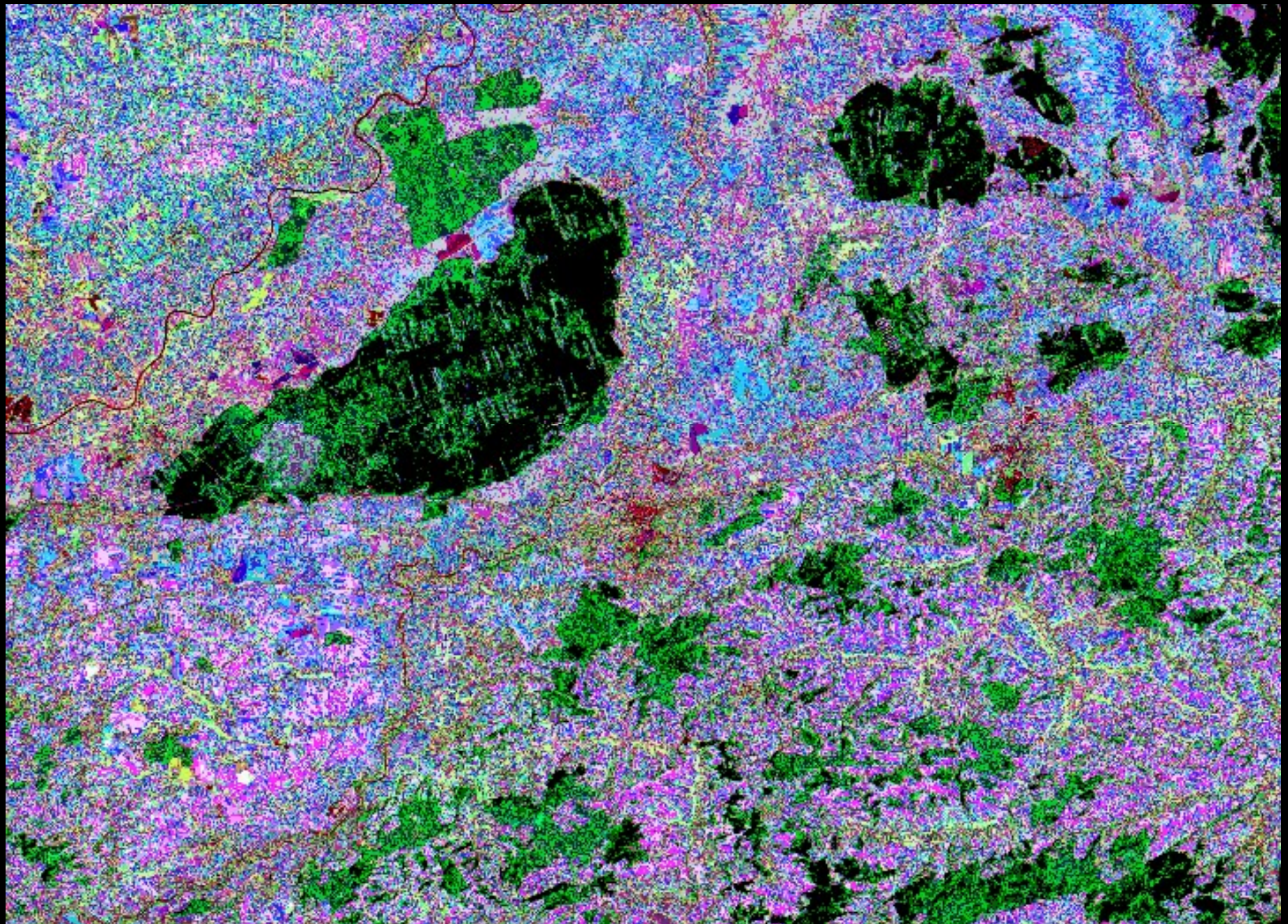
LAN7B\_



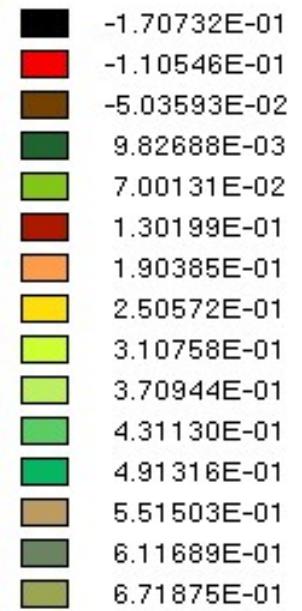
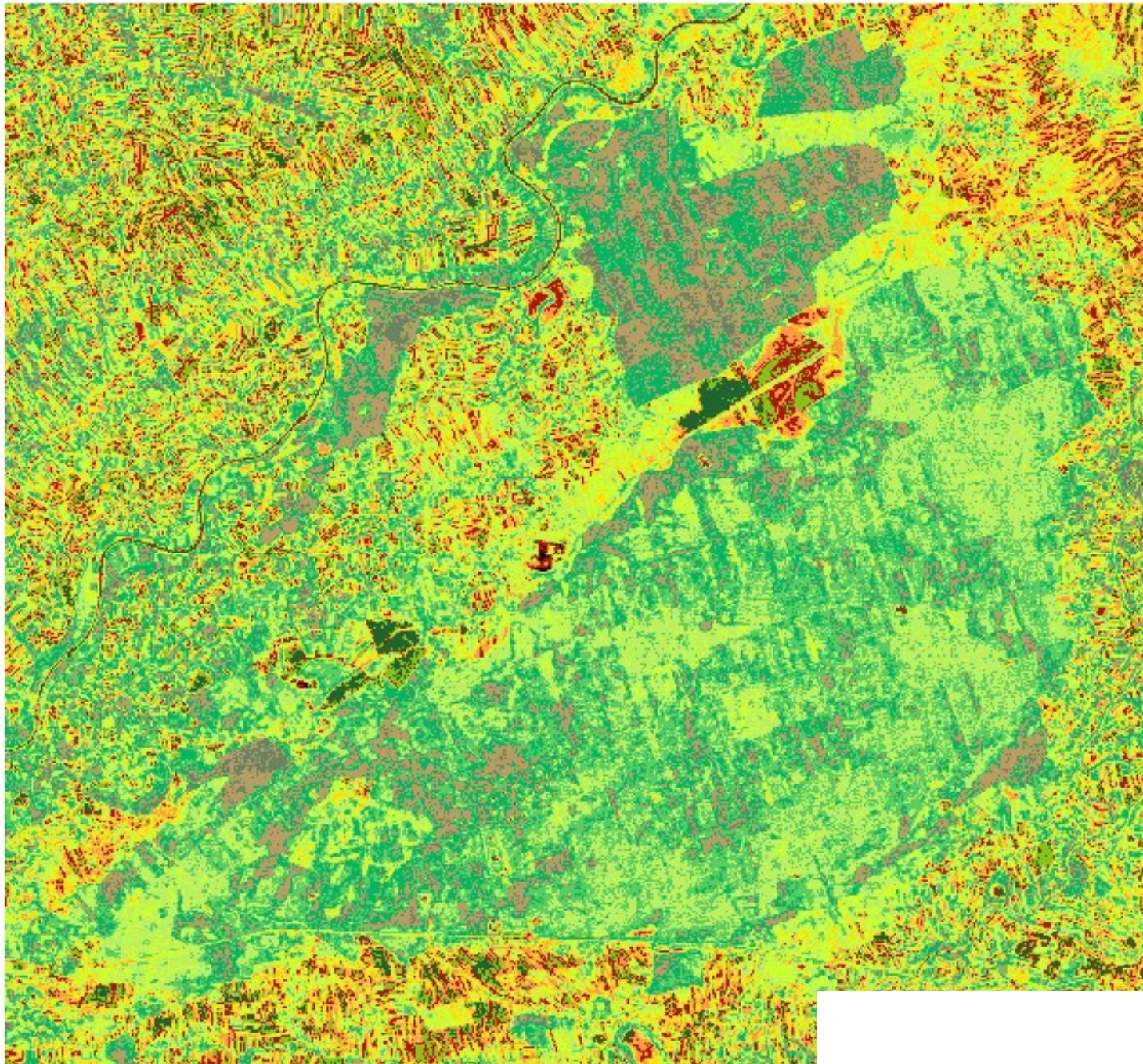
PODCZERWIEN



PUSZCZA NIEPOŁOMICKA (Landsat, Aug.1992; bands 5+4+2)





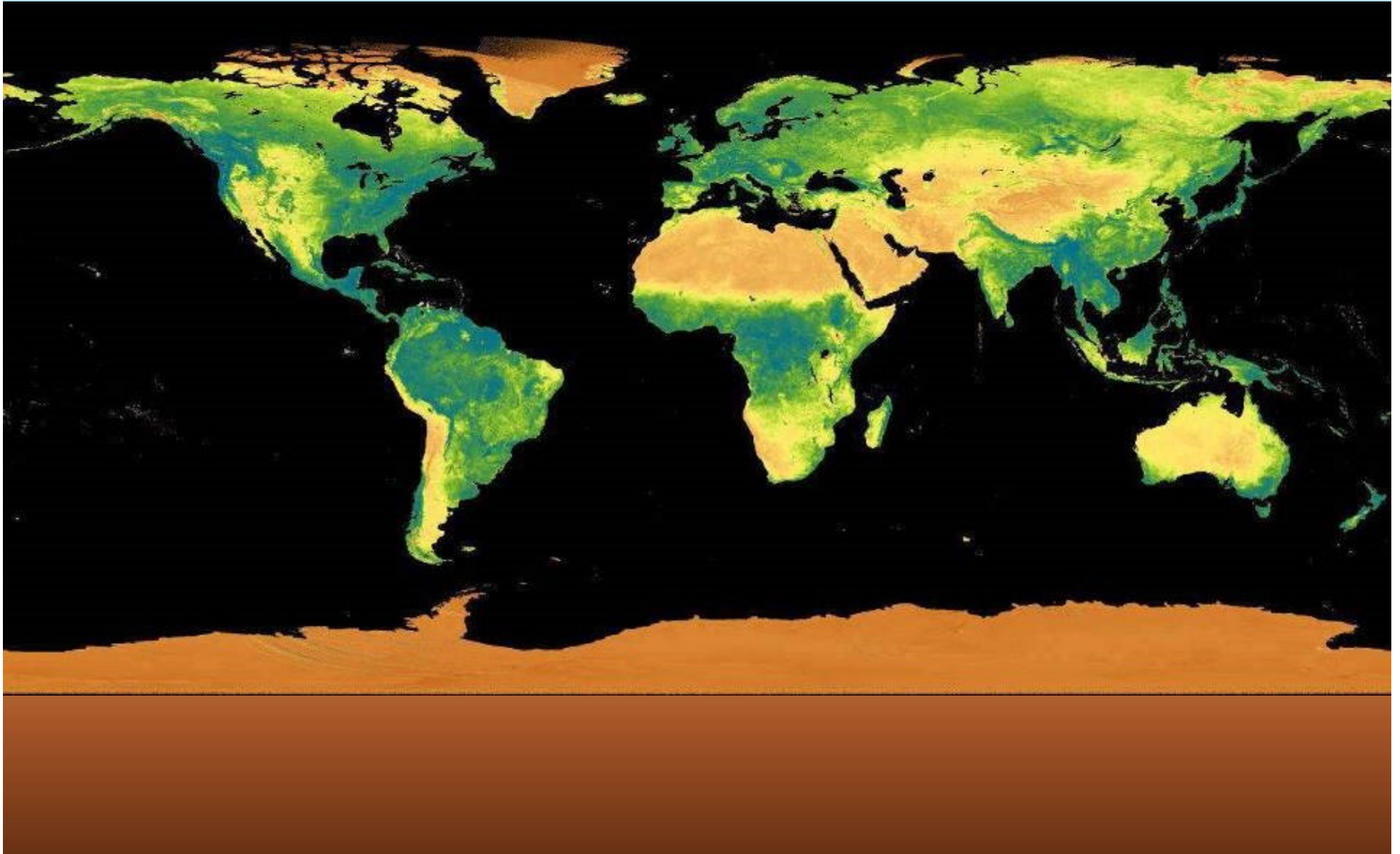


**PUSZCZA  
NIEPOLOMICKA  
NDVI**

**Landsat  
08.1992  
bands 4&3**



$$\text{NDVI} = \frac{(\text{IR}-\text{R})}{\text{IR}+\text{R}}$$





# SATELITA TERRA

AQUA  
AURA

aparatura pomiarowa:

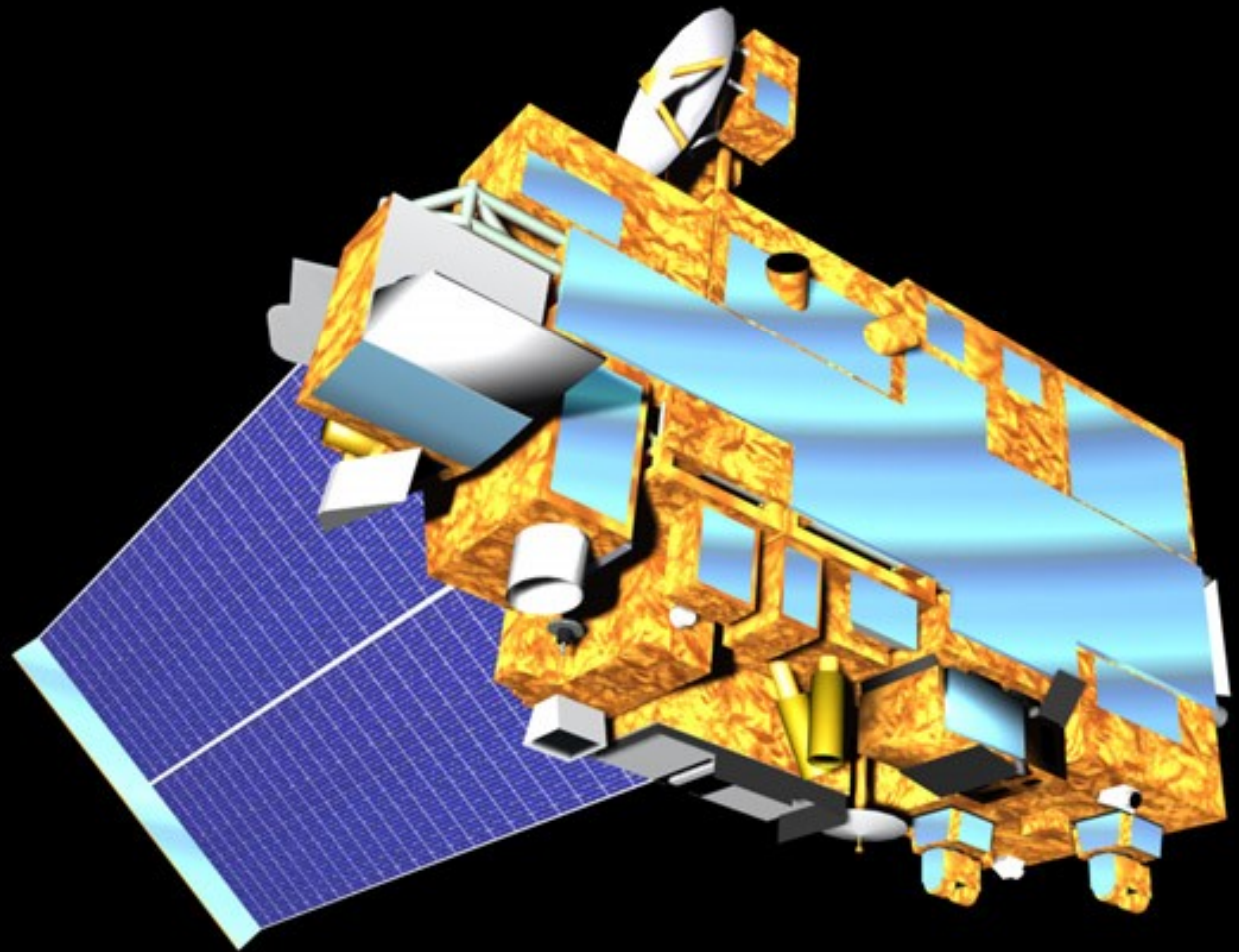
ASTER

CERES

MISR

MODIS

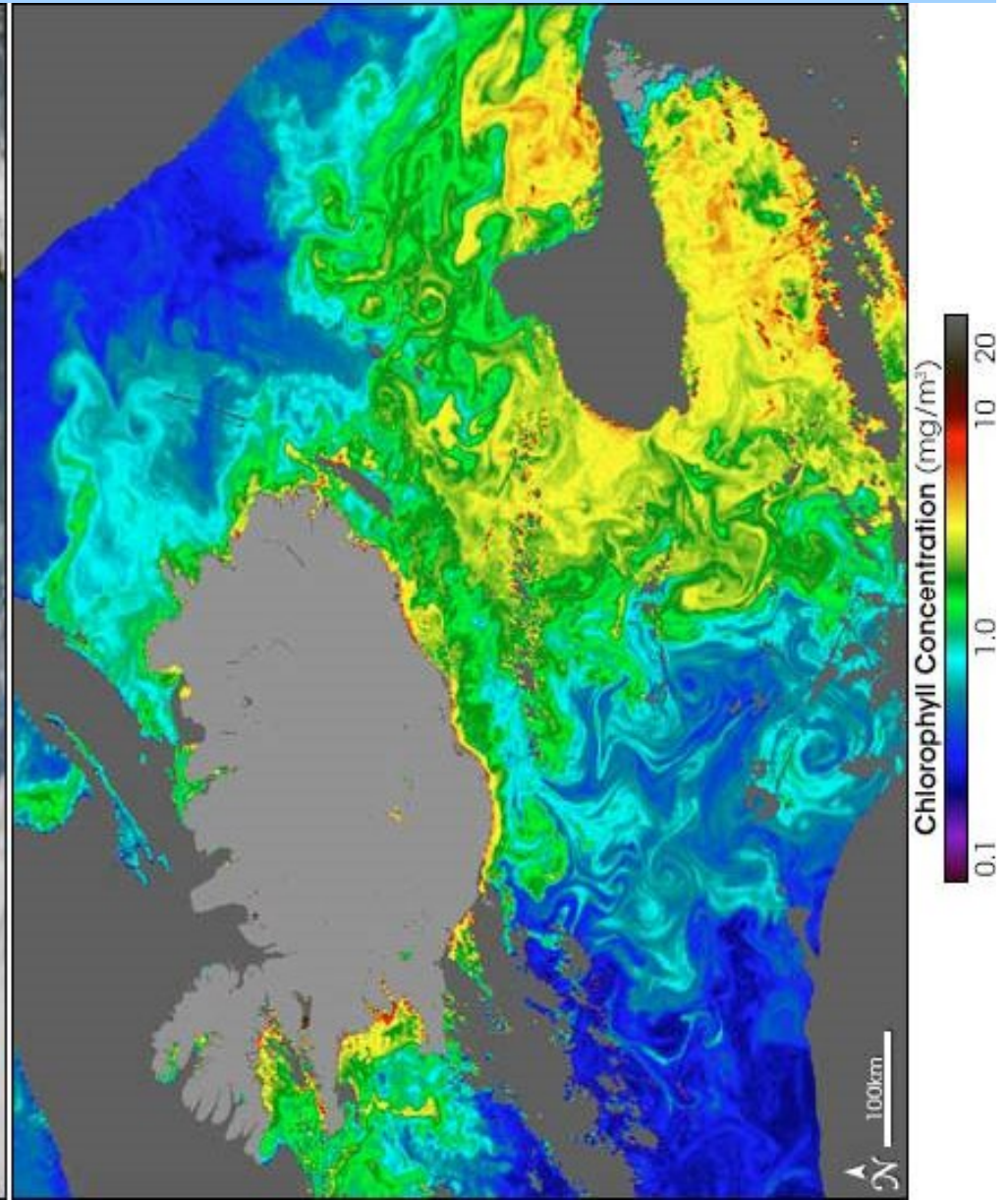
MOPITT



# Stężenie chlorofilu w oceanie k. Islandii ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) SEAWIFS



Obraz panchromatyczny



Chlorofil (przetworzony z NDVI)



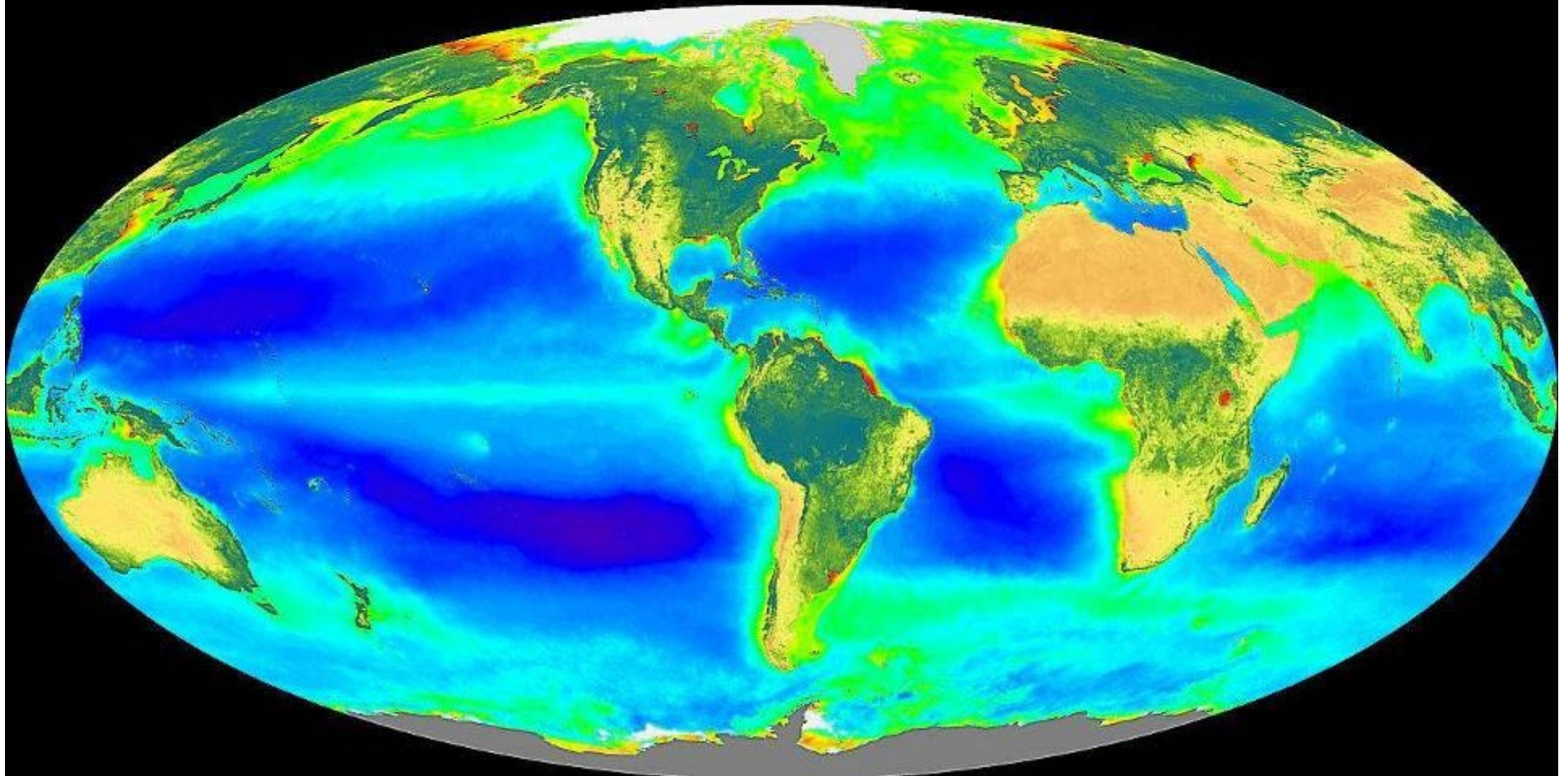
MODIS  
jesień 2000

Enhanced Vegetation Index (EVI)





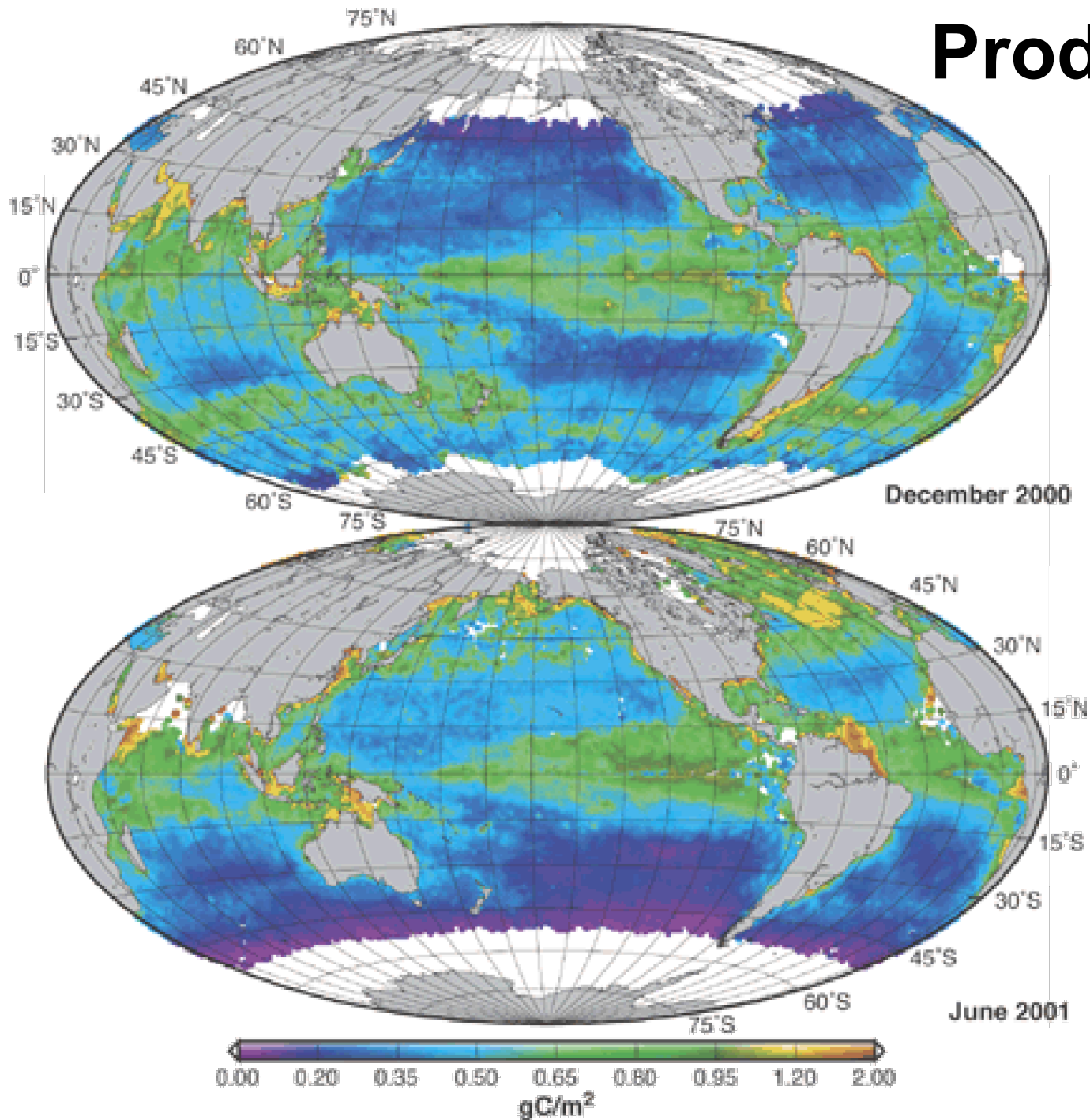
SeaWiFS Global Biosphere      September 1997 – August 2000  
Three Year Anniversary



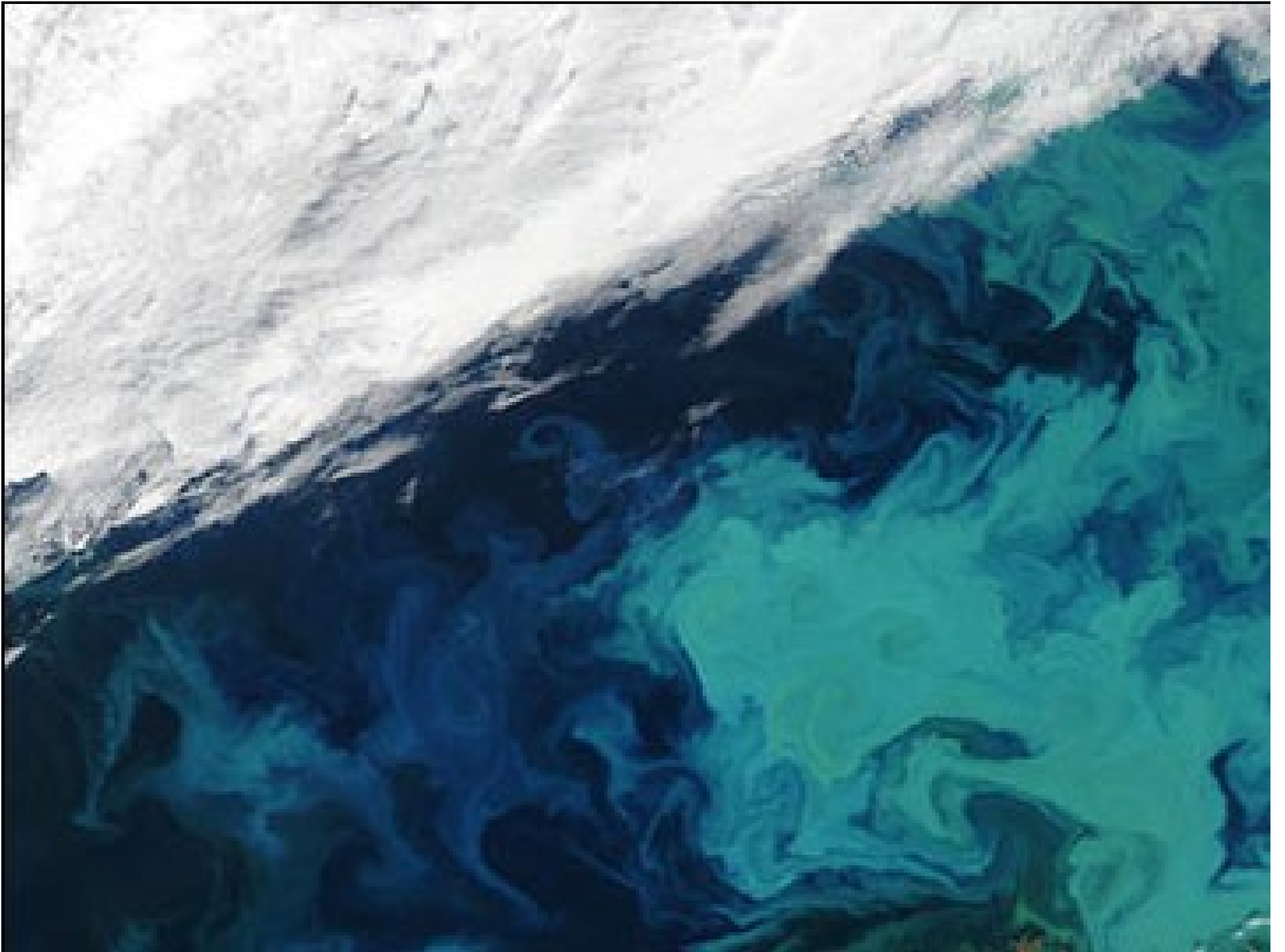
>01 .02 .03 .05 .1 .2 .3 .5 1 2 3 5 10 15 20 30 50  
Ocean: Chlorophyll *a* Concentration (mg/m<sup>3</sup>)

Maximum Minimum  
Land: Normalized Difference Land Vegetation Index

# Produktywność Oceanów



Z danych satel.  
SeaWiFS  
Science, czerw. 2002





# ODMIANY FOTOSYNTETY

## **Fotosynteza typu „CAM”**

*(Crassulacean acid metabolism)*

- Szparki otwarte w nocy; akumulowanie CO<sub>2</sub> do zużycia przy świetle
- Szparki zamknięte w dzień (oszczędność wody);  
Kaktusy, opuncje itd..

## **Fotosynteza typu C<sub>3</sub> lub C<sub>4</sub>**

- Oszczędna gospodarka wodna, wymaga silnego światła
- Może działać w cieniu, mniej oszczędna gospodarka wodna

## Typowe rośliny C<sub>3</sub>

**pszenica**, żyto, rajgras, wyka, fasola,  
koniczyna, lucerna, dąb, buk, brzoza





Typowe rośliny  $C_3$

ryż





Typowe rośliny  $C_3$

soja







Typowe rośliny C<sub>4</sub>  
Kukurydza, **trzcina**  
**cukrowa**, proso, sorgo,  
*Amaranthus* (**szarłat**),  
*Portulaca*, *Chaenopodium*  
(komosa)





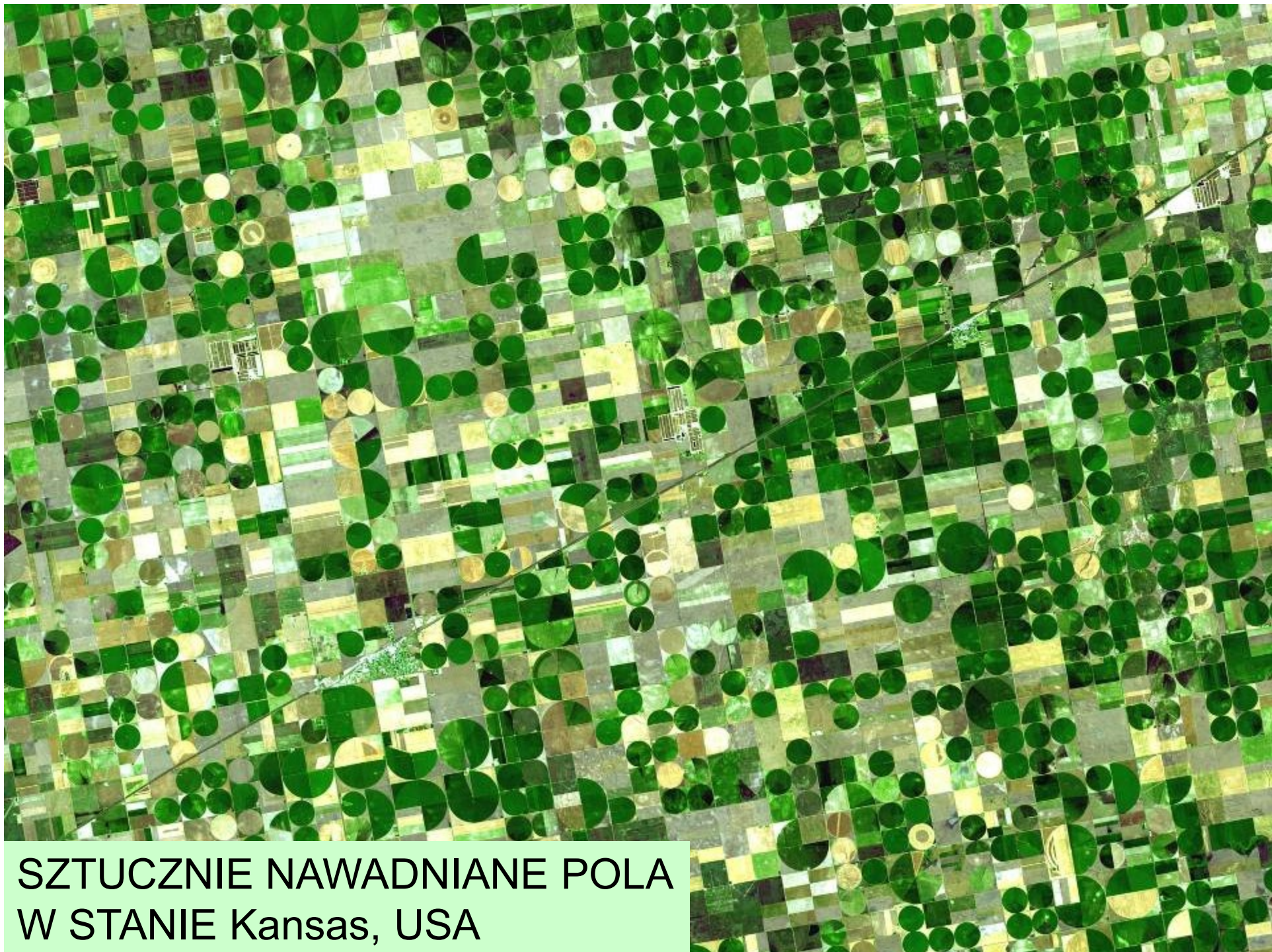
# Główne ograniczenie Pp na lądach: WODA



ANDRE BRUTMANN

**Bewässertes Tomatenfeld in der Negev-Wüste (Israel): 3000 Tonnen Wasser für eine Tonne Getreide**



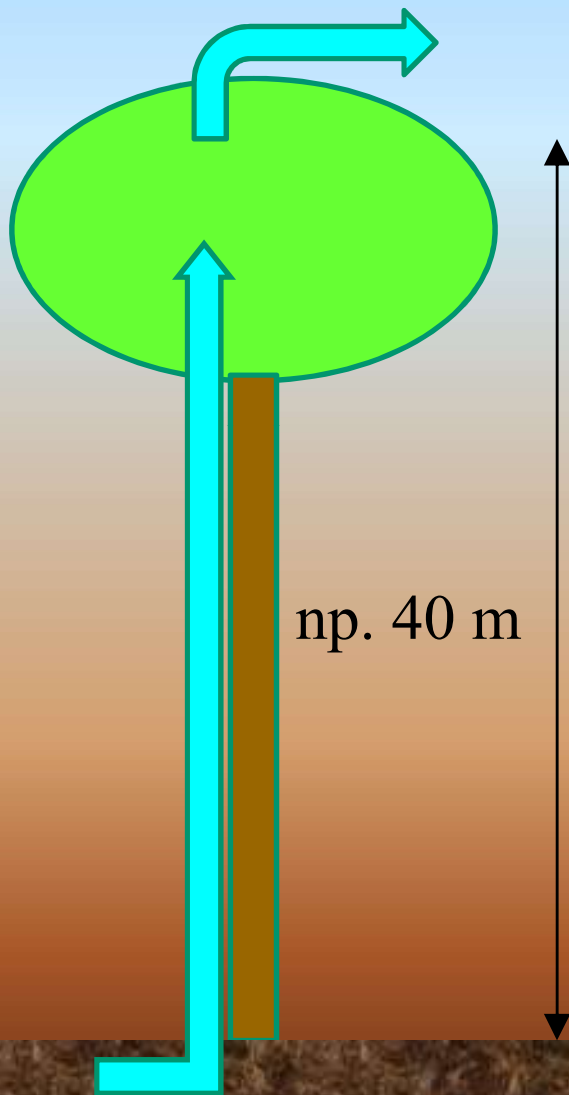


SZTUCZNIE NAWADNIANE POLA  
W STANIE Kansas, USA





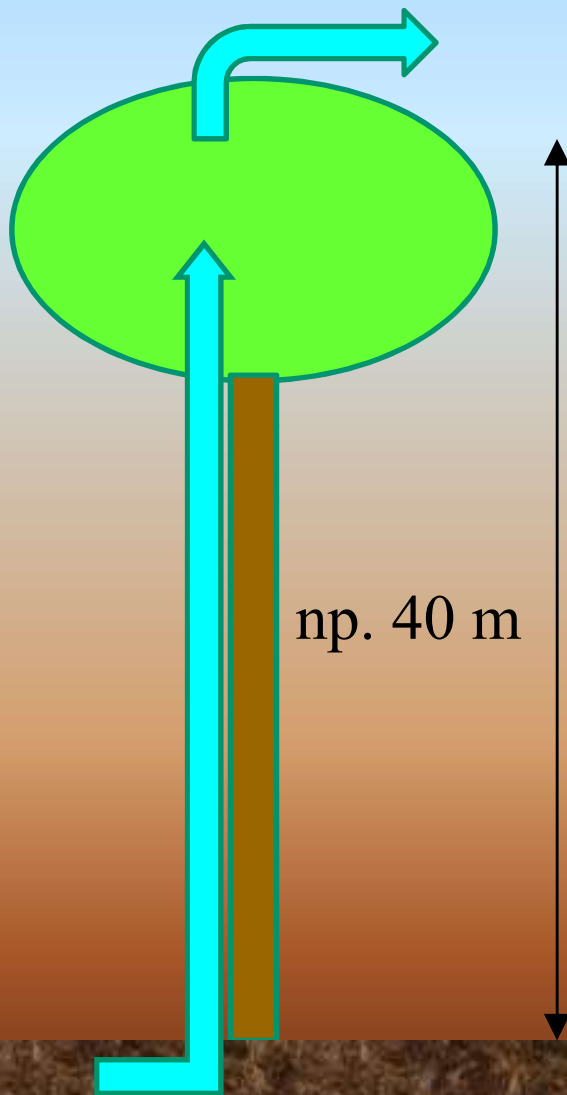
# DLACZEGO WODA OGRANICZA PRODUKCJĘ PIERWOTNĄ?



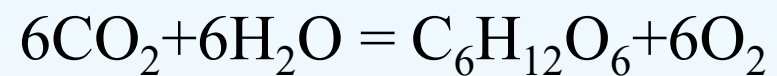
np. 40 m



# DLACZEGO WODA OGRANICZA PRODUKCJĘ PIERWOTNĄ?



Założmy:  $NPP = 6 \text{ g} \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$



108g      180g

3.6 g      6g

Założmy  $ET = 3 \text{ mm} \times \text{d}^{-1}$

= 3000  $\text{cm}^3 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$

833 × więcej niż potrzeba do  
biochemicznej fotosyntezy.

## Tabela wybranych wartości Pp na lądach (sucha masa)

	g /(m <sup>2</sup> .rok)	10 <sup>9</sup> t/rok
Lasy równikowe	1600-2200	49.4
Lasy strefy umiarkowanej	600-2500	14.9
Tajga	800	9.6
Sawanna, Stepy itp.	600-900	24.9
Inne	10-6000	18.7
<b>Razem lądy</b>		<b>117.5</b>

# GLOBALNA PRODUKCJA PIERWOTNA NETTO

ŁĄDÓW [pG C rok<sup>-1</sup>]

1 pG = 1 mld t

Biomy	pG C/r
Tropikalne lasy deszczowe	17,8
Lasy liściaste sezonowe	1,5
Lasy mieszane	3,1
Lasy iglaste wieczniezielone	3,1
Lasy iglaste sezonowe	1,4
Sawanny	16,8
Murawy (stepy, prerie, pampasy)	2,4
Krzewy liściaste bez podszytu	1,0
Tundra	0,8
Pustynie	0,5
<b>Uprawy</b>	<b>8,0</b>
<b>SUMA Pg C/rok</b>	<b>56,4</b>

LASY  
ŁĄCZNIE  
26,9

MURAWY  
ŁĄCZNIE  
20,2



## Tabela wybranych wartości Pp w morzach (sucha masa)

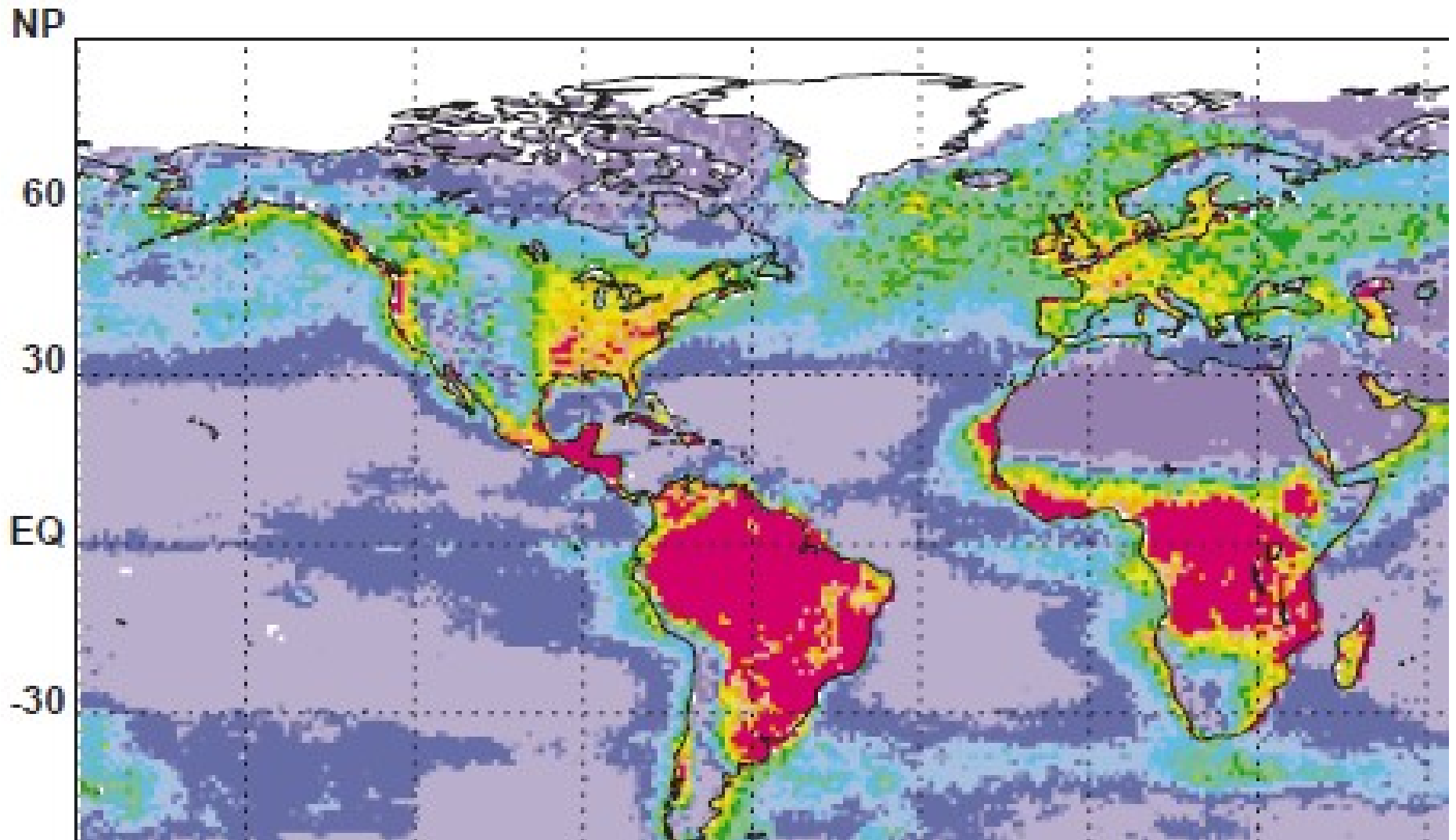
	g / (m <sup>2</sup> .rok)	10 <sup>9</sup> t/rok
Otwarty ocean	2-400	41.5
Upwellingi	400-1000	0.2
Szelfy kontynentalne	200-600	9.6
Rafy koralowe	500-4000	1.6
Estuaria	200-400	2.1
<b>Razem morza</b>		<b>55.0</b>

# GLOBALNA PRODUKCJA PIERWOTNA NETTO OCEANÓW [pG C rok<sup>-1</sup>] 1 pG = 1 mld t

<b>Wg sezonów</b>	Pg C/3 mies.
kwiecień - czerwiec	10,9
lipiec - wrzesień	13,0
październik - grudzień	12,3
styczeń - marzec	11,3
<b>Wg siedlisk</b>	Pg C/rok
Oligotroficzne (otwarty ocean)	11,0
Mesotroficzne (szelfy, upwelingi)	27,4
Eutroficzne (upwellingi, rafy, estuaria)	9,1
Makrofity (estuaria)	1,0
<b>SUMA Pg C/rok</b>	<b>48,5</b>

*Field et al. 1998*

# NPP biosfery



$\text{gC m}^{-2}\text{rok}^{-1}$

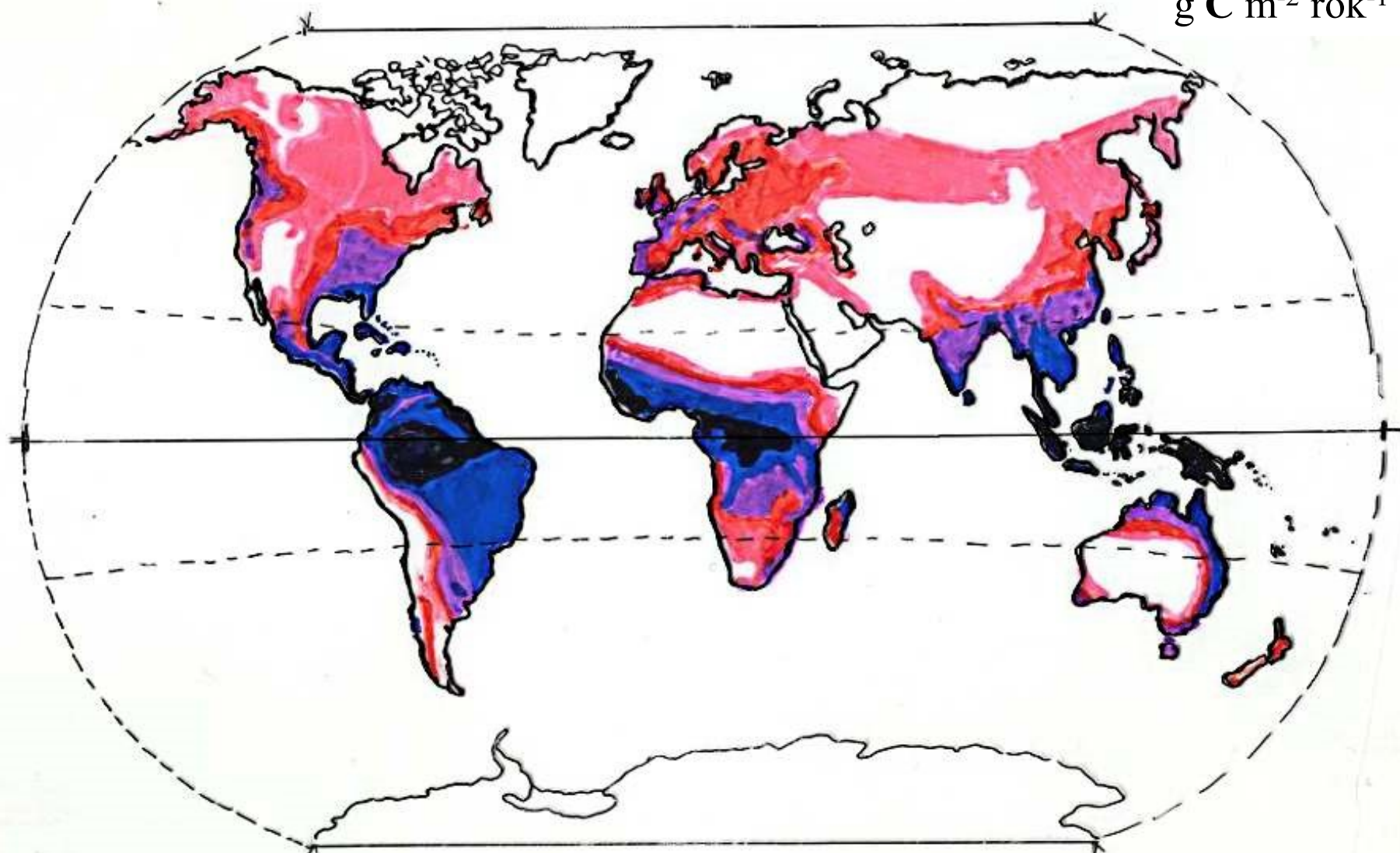
Field et al. 1998



LĄDY

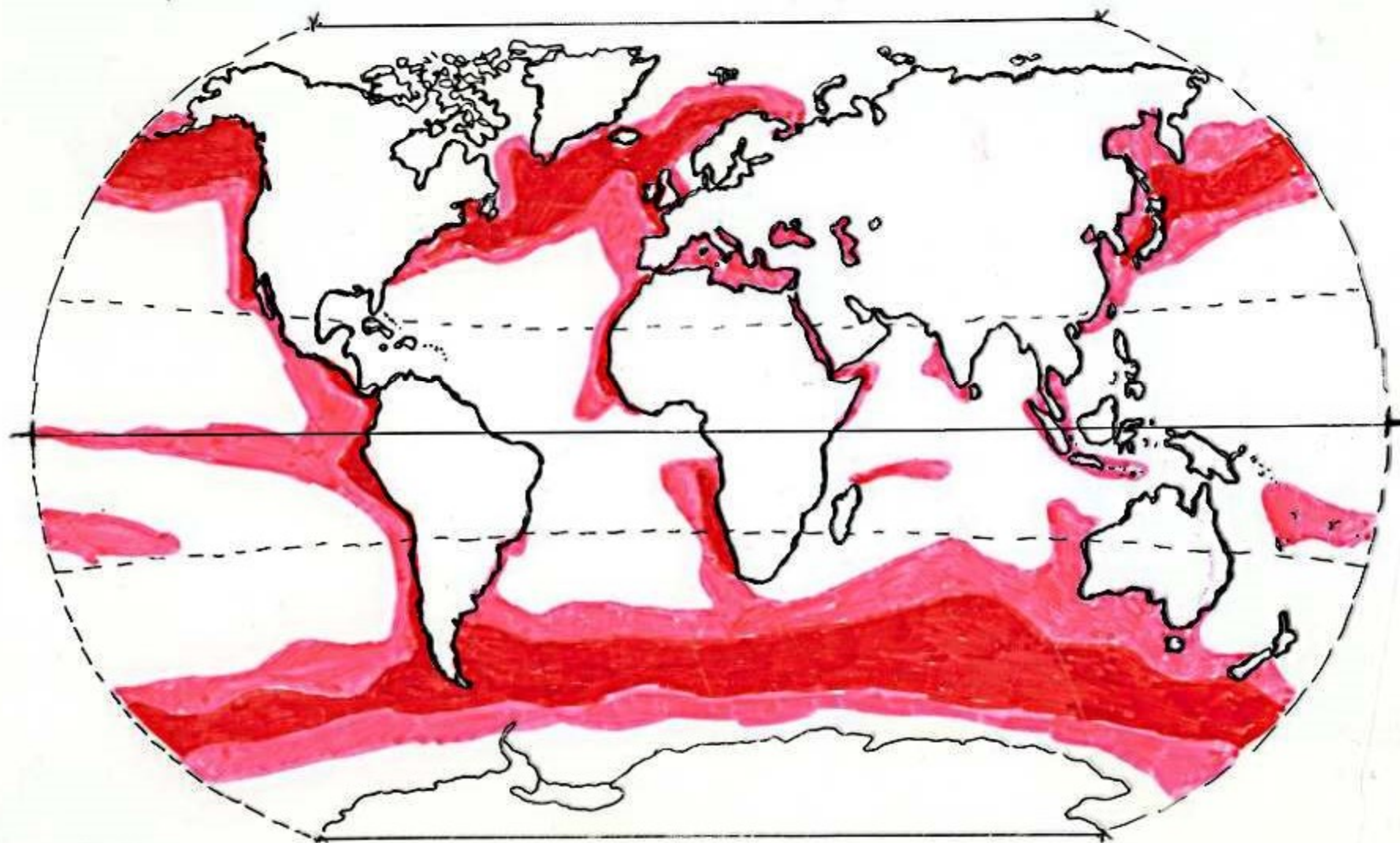


$\text{g C m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$

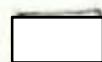


Mapa produktywności netto lądów

# Mapa produktywności netto oceanów



MORZA



0-100



100-200



> 200

$\text{g C m}^{-2} \text{ rok}^{-2}$

# BILANS ENERGETYCZNY BIOSFERY

## CAŁKOWITA PRODUKCJA OCEANÓW:

$$48,5 \times 10^9 \text{ ton C/ rok} =$$

$$101,0 \times 10^9 \text{ ton s.m. / rok} =$$

$$1,82 \times 10^{21} \text{ J / rok} = 57,6 \times 10^6 \text{ MW}$$

## CAŁKOWITA PRODUKCJA LĄDÓW:

$$56,4 \times 10^9 \text{ ton C / rok} =$$

$$101,0 \times 10^9 \text{ ton s.m. / rok} =$$

$$2,12 \times 10^{21} \text{ J / rok} = 67,1 \times 10^6 \text{ MW}$$

## RAZEM BIOSFERA:

$$104,9 \times 10^9 \text{ ton C/rok} = 218,5 \times 10^9 \text{ ton s.m. / rok} =$$

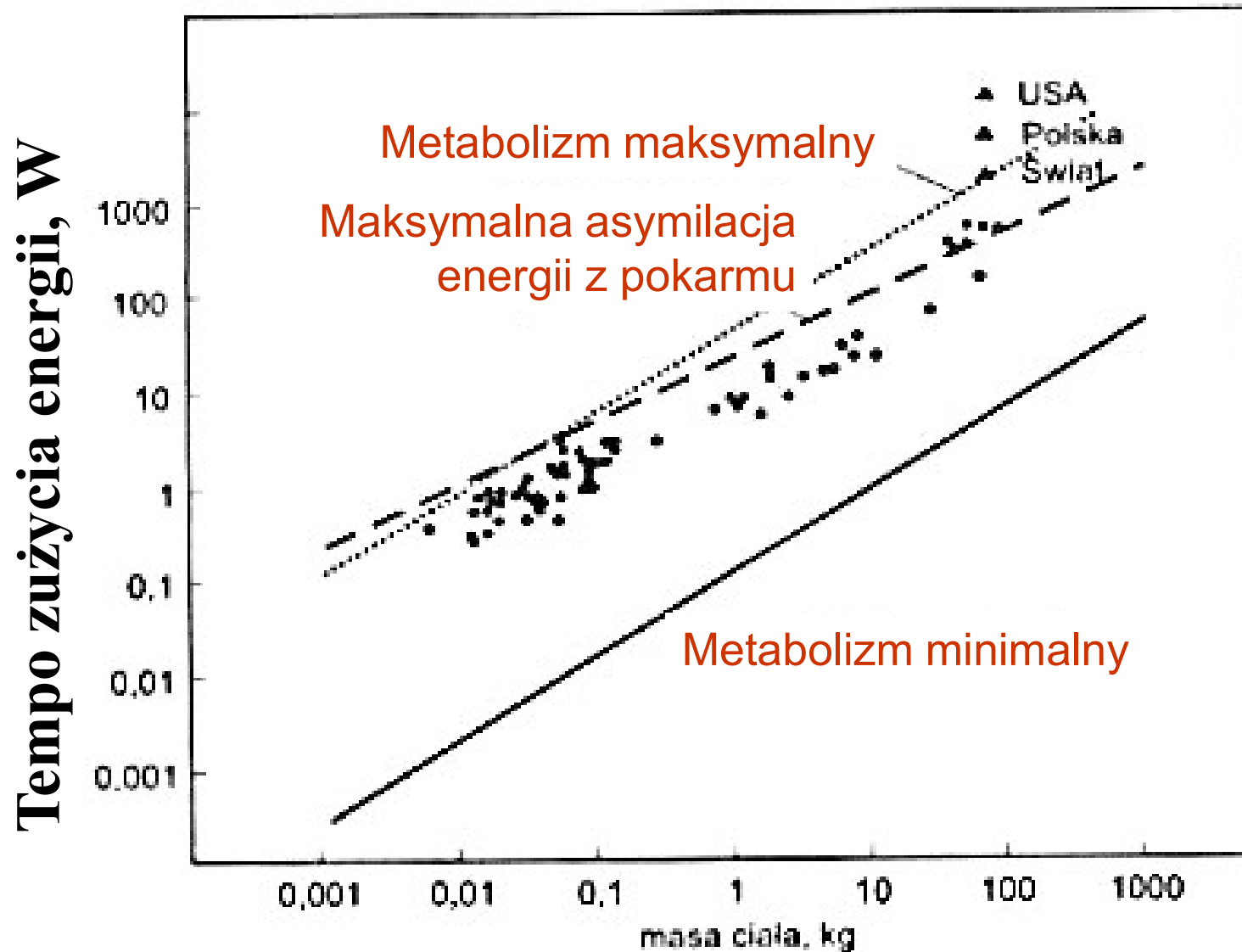
$$= 3,94 \times 10^{21} \text{ J/rok} = 124,7 \times 10^6 \text{ MW}$$

**ENERGIA ZE SŁOŃCA (PhAR):  $80.0 \times 10^9 \text{ MW}$**

**$P_p = 0.15.. \% \text{ PhAR}$**

Wszystkie elektrownie świata - ok. 2,4 mln MW





Zużycie energii przez człowieka ( $\blacktriangle$ ) na tle fizjologicznego zapotrzebowania na energię ( $\bullet$ ) u ssaków (wg Weiner 1989)

# ZUŻYCIE ENERGII PRZEZ CZŁOWIEKA

Świat (średnio)  $< 2$  kW/osobę

Polska ok.  $3$  kW/osobę

U.S.A.  $> 8$  kW/osobę

**Organizm ludzki** w spoczynku:  $70 - 80$  W  
przy pracy:  $350 - 600$  W

# PRODUKCJA PIERWOTNA BIOSFERY A CYWILIZACJA

**ŚREDNIE ZUŻYCIE  $\approx 2$  kW /1 człowieka**

**KRAJE ROZWINIĘTE  $\approx 10$  kW / 1 człowieka**

**$P_p$  BIOSFERY  $\approx 100 \times 10^6$  MW =  $100 \times 10^9$  kW**

$(100 \times 10^9) / 10 = 10 \times 10^9 = 10$  miliardów ludzi  
(cywilizowanych nadmiernie)

$(100 \times 10^9) / 2 = 50 \times 10^9 = 50$  miliardów ludzi  
(cywilizowanych średnio...)



## Zużycie energii na głowę (średnie dla regionów)

