

Dzieje życia 9.

Paleozoiczna era stabilności

Jerzy Dzik

*Instytut Paleobiologii PAN
Instytut Biologii Ewolucyjnej UW*

2023

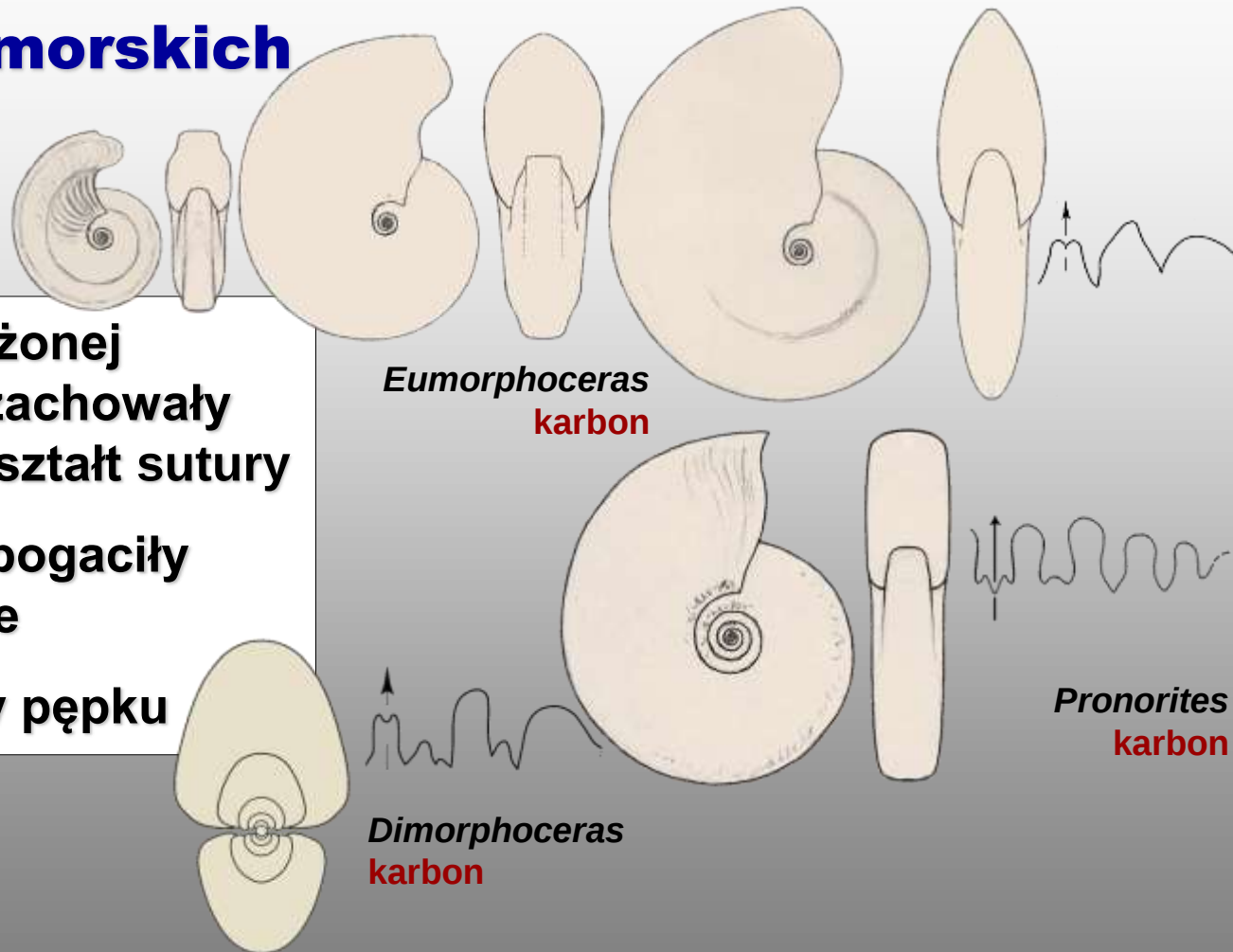


Donetzoceras aegiranum
ostatni morski poziom karbonu, spąg westfalu C

DATOWANIE

poziomów morskich

- amonity o złożonej ontogenezie zachowały „dewoński” kształt sutury
- inwolutne wzbogaciły ją przy syfonie
- ewolutne przy pępku



w morskim poziomie Mazon Creek fauna bezszkieletowa

MAZON CREEK

skamieniałe meduzy

- konkrety syderytowe ze śladami miękkich ciał
- środowiska na pograniczu morskich i bagiennych
- najstarsze bezdyskusyjne scypho- i hydromeduzy

Anthracomedusa
Cubomedusae
karbon 310 Ma

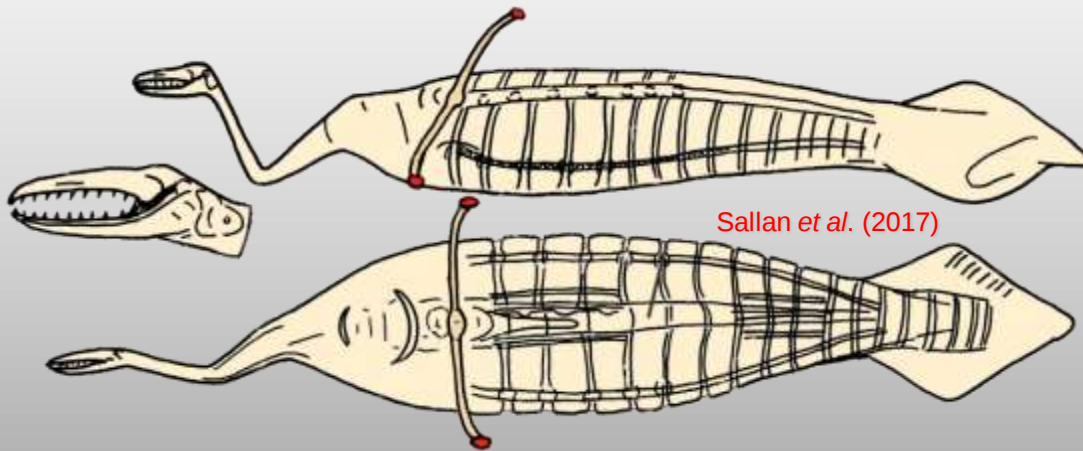


wiele form o nierozpoznanych pokrewieństwach

TAJEMNICE

Mazon Creek

Tullimonstrum
karbon 310 Ma



Sallan et al. (2017)

oko?



- w karbonie są bezszkieletowe zwierzęta niepodobne do dzisiejszych
- być może relikty dawnych faun

zwierzęta bezszkieletowe ujawniają szczegóły anatomii

MORSKI BENTOS

Mazon Creek

strzykwa
Achistrum
karbon 310 Ma



- okresowe morskie wpływy
- fauny ilastego dna karbonu podobne do dzisiejszych

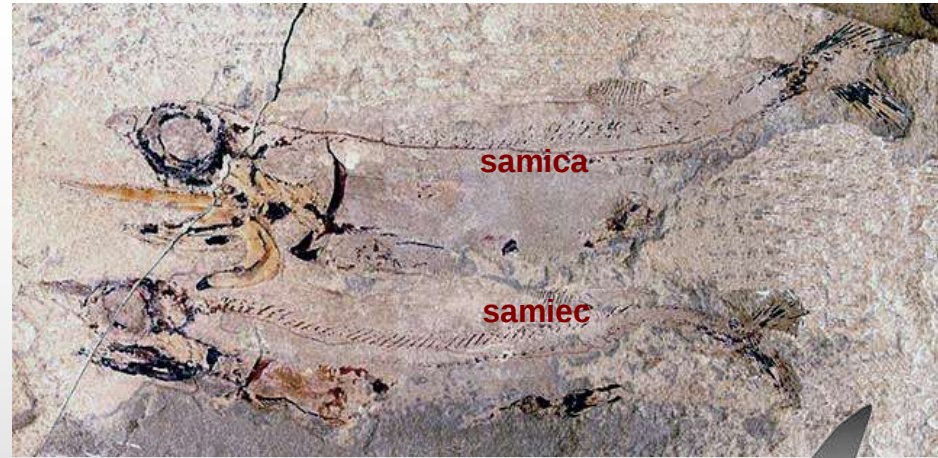
wieloszczet
Fossumdecima
karbon 310 Ma



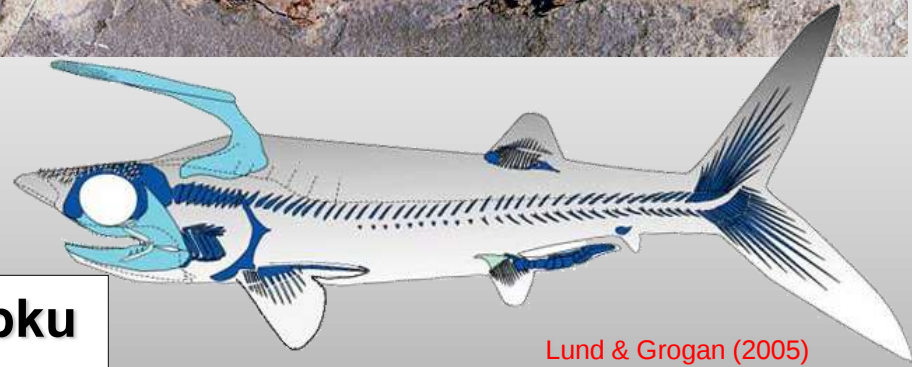
morskie fauny mają i wcześniejsze analogi

BEAR GULCH

uzupełnia



Falcatus
karbon 320 Ma



- uwęglenia na powierzchni łupku powstałego w morzu namuru
- wiele dziwnych ryb
- różnorodność bezkręgowców porównywalna z Mazon Creek

także tajemnicze organizmy morskiego pelagialu

OSŁONICE karbońskie?



Salpa
dziś

Chevrainis et al. (2018)

Euphanerops=*Endeiolepis*
dewon 370 Ma

Typhloësus karbon 320 Ma



- promienie płetwowe *Typhloësus* wskazują na związek z anaspidami
- w koszu skrzelowym? ząbki konodontów

konodonty dokumentują przemiany na granicy dewon-karbon

ZARANIE węglowej epoki lodowej

zdarzenie Hangenberg (glacjalne?)

Drewer
Rheinische Schiefergebirge

- zanik tropikalnego nektonu i czarne ily
- zwiększenie produktywności
- redukcja różnorodności

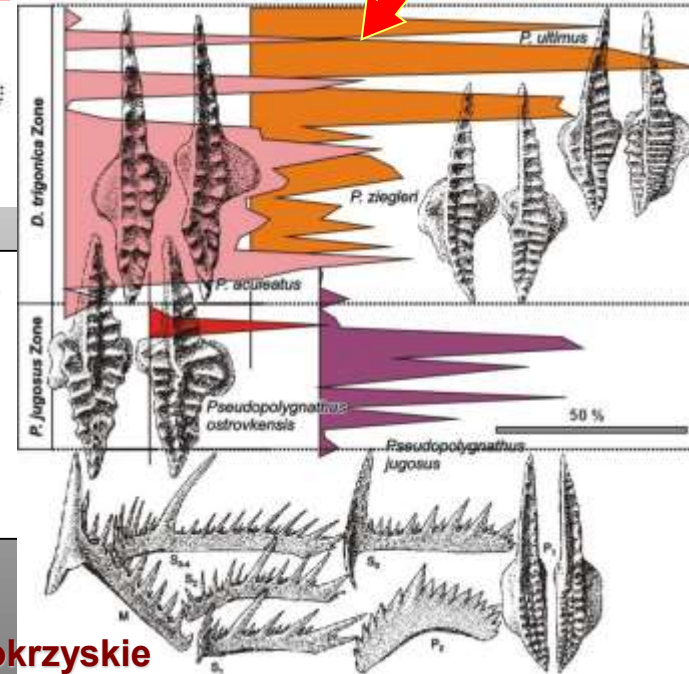
Kowala
Góry Świętokrzyskie

transgresja

odnowa różnorodności

wzrost produktywności
i obniżenie różnorodności

cykliczność
Milankovića?



Dzik (2006)

standard biostratygrafii oparty na zwierzętach pelagialu morskiego

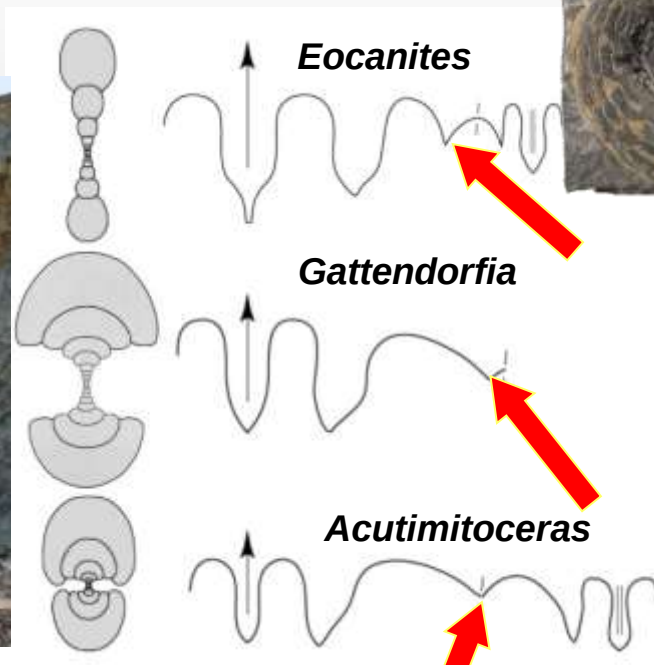
AMONITY

ukorzenione w dewonie



- ekspansja cech młodocianych na dojrzałe stadia
- ewolucja muszli spowodowała „wynicowanie” sutury

Korn et al. (2003)



Merocanites



Dzik (2006)

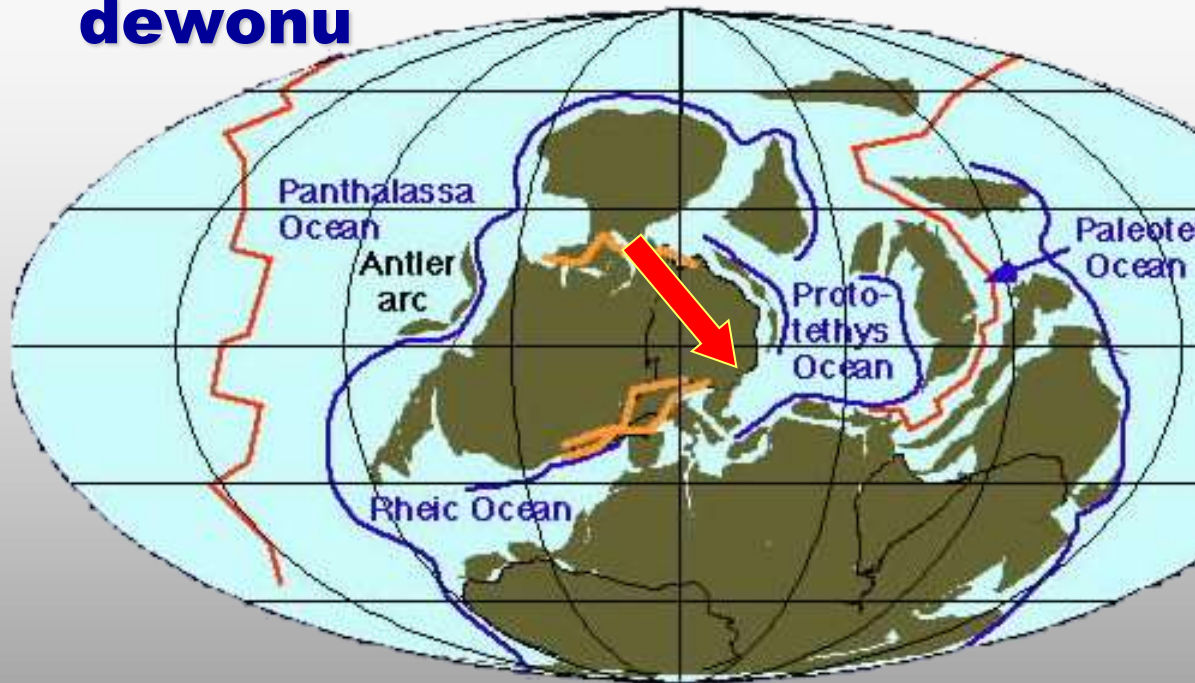
Prionoceras



przemiana fauny dewońskiej w karbońską w nieznanym refugium

EUSTATYKA

dewonu



- zapis kopalny niemal wyłącznie z tropików („biogeografia biogeografów”)
- szczyt wyrównania klimatu ~370 Ma

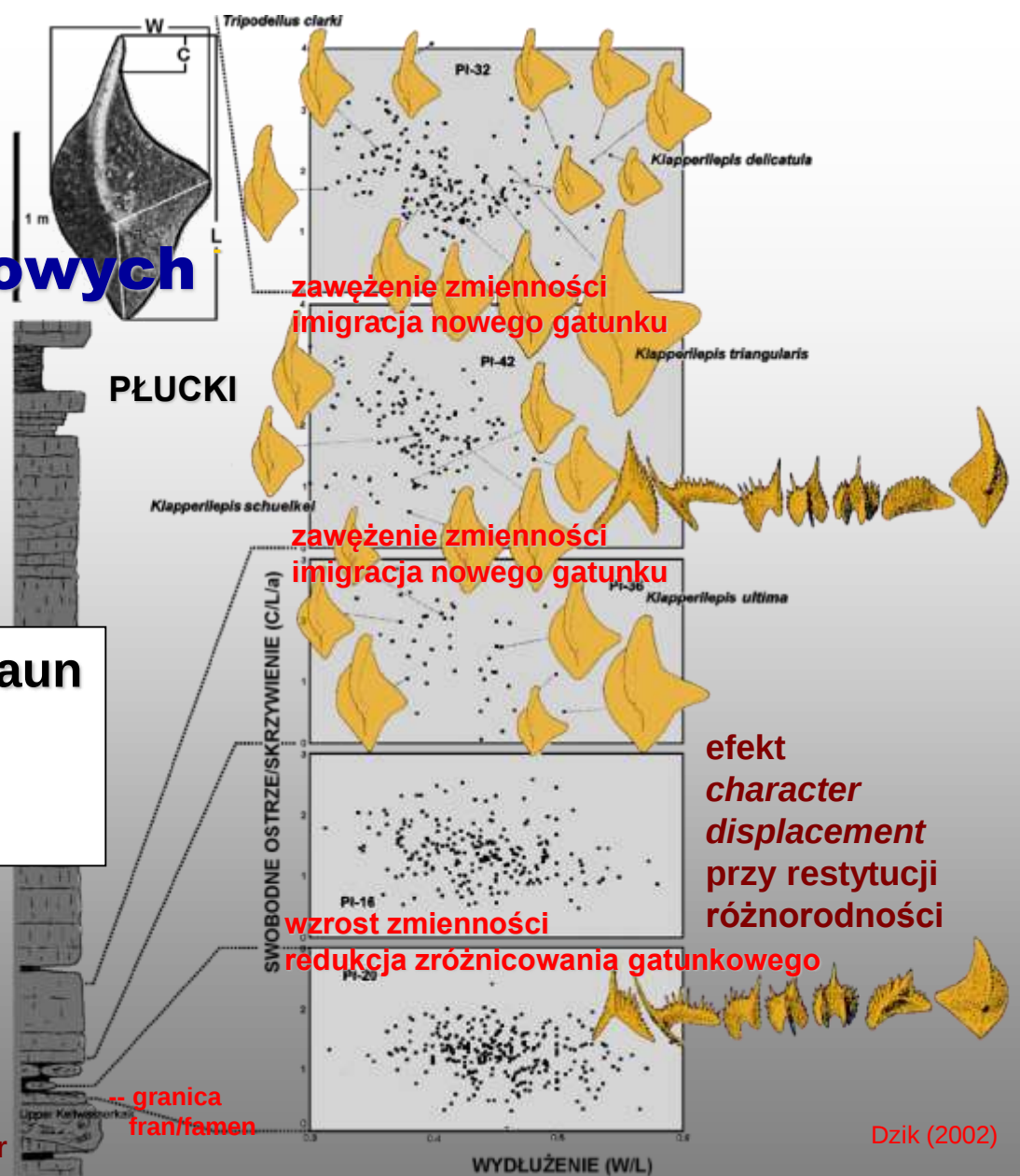
FAMENIAN	praesulcata	Hangenberg
	expansa	
	postera	
	trachytera	annulata
	marginifera	Enkeberg Condroz
	rhomboides	
	crepida	
FRASNIAN	triangularis	Kellwasser Lower Kellw.
	gigas	
	A. triangularis	
GIVETIAN	asymmetricus	Frasne, Ense Manticoceras
	disparilis	
	horm-cristatus	Taghanic Pharciceras
EIFELIAN	varcus	
	onsensis	Kačak otomari
	lockellianus	
EMSIAN	australis	
	costatus	
	patulus	Choteč jugleri
PRAG.	serotinus	
	inversus-lat	Daleje gracilis cancellata
	gronbergi	
LOCHKOV.	dehiscens	Zlichov
	kindel	
	sulcatus	
Dedmanian	pesavis	
	delta	
	eurekaensis	
Dedmanian	hesperius	

na późny dewon przypada koniec ery stabilnie ciepłego klimatu

KONIEC raf stromatoporowych

- zanik raf i wymiana faun
- w tropikach
czarne wapienie i ily

zdarzenie Kellwasser



rafy stromatoporowo-koralowcowe królowały przez 50 mln lat

STROMATOPORY

wapienny szkielet gąbek krzemionkowych?

astrorhizy

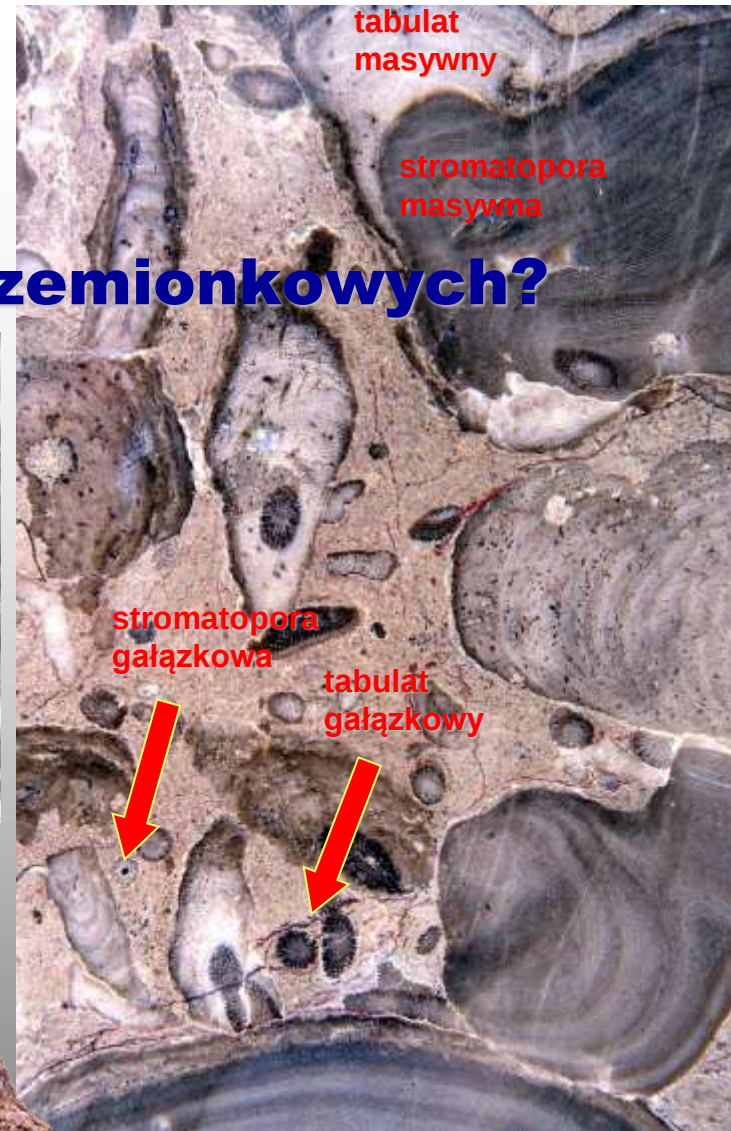


- bardzo różnorodne od ordowiku
- główny składnik dewońskich raf
- reliktowe w famenie

laminy

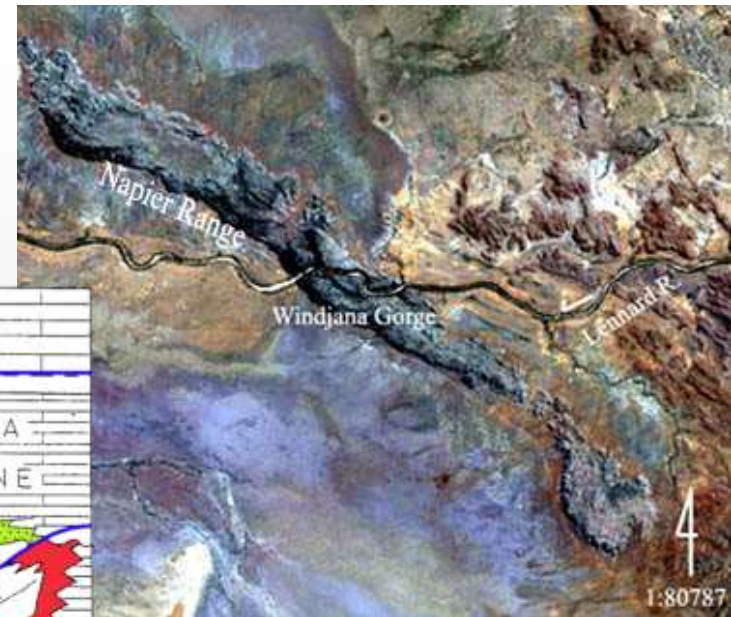
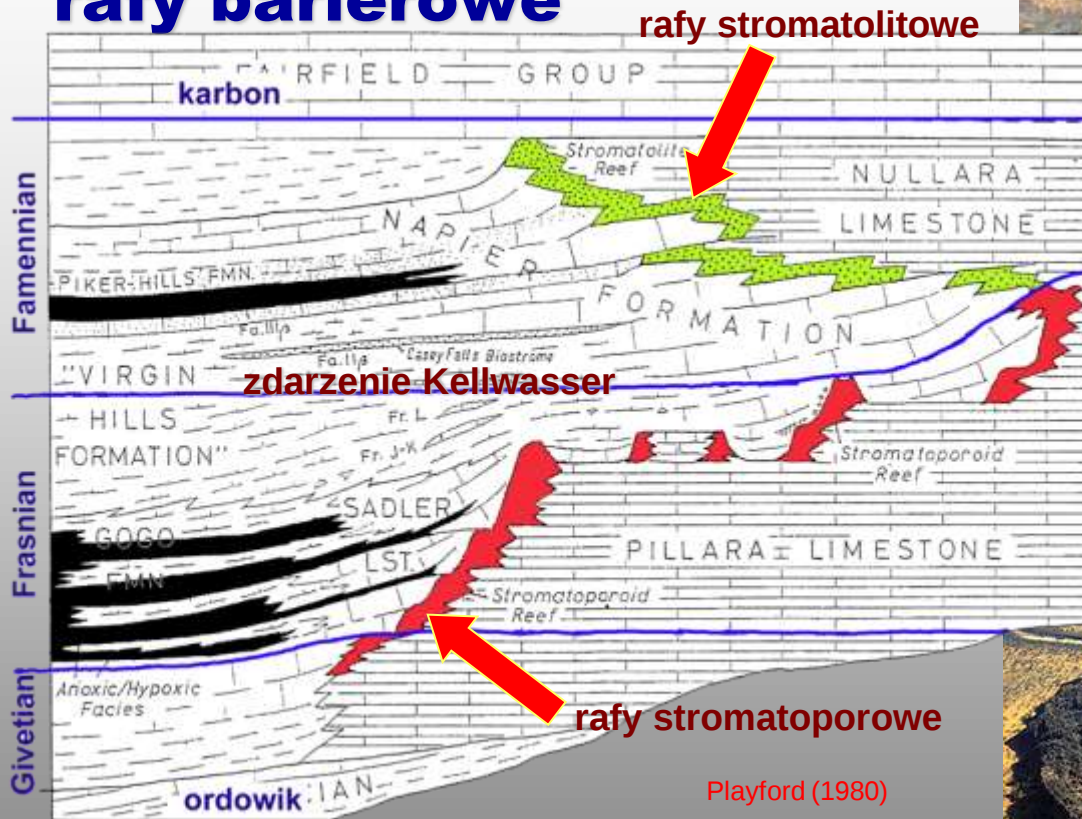


„marmur chęciński” od Australii po Belgię



DEWOŃSKIE

rafy barierowe



■ **największe rafy w historii Ziemi**

dopiero po ich zaniku rozpoczęła się era lądowych kręgowców

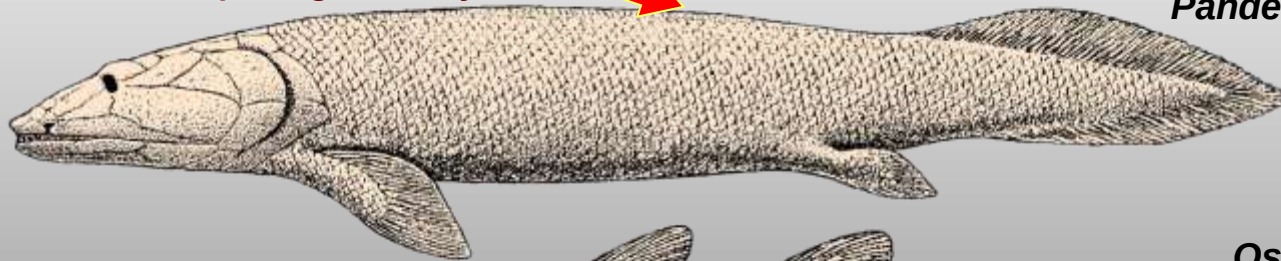
KOŃCZYNY

pierwszych czworonogów

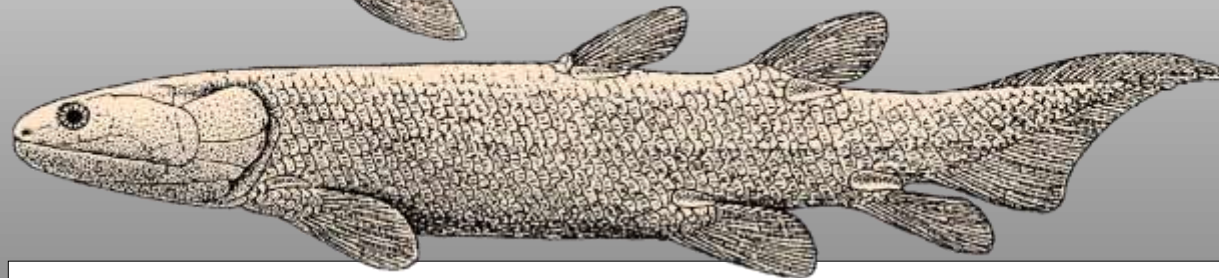
Acanthostega dewon 360 Ma



Panderichthys dewon 380 Ma



Osteolepis dewon 390 Ma



- sens palczastości (6-8) przed wyjściem na ląd niejasny
- dewońskie tropy kontrowersyjne

wiedza na podstawie nielicznych wyjątkowych stanowisk

PIASKI LODÉ

płycizny późnowońskie

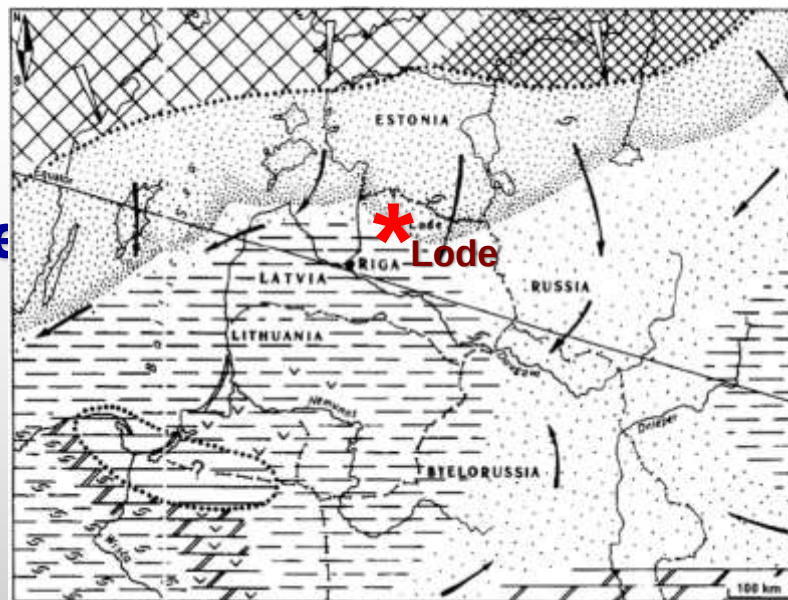
wczesny fran 380 Ma



Upeniece (2001)

haki helminty?
na skórze narybku

- płytkowodne trzonopłetwe wyjściowe dla czworonogów
- pancerne ryby Antiarchi
- bezszczękowce Heterostraci

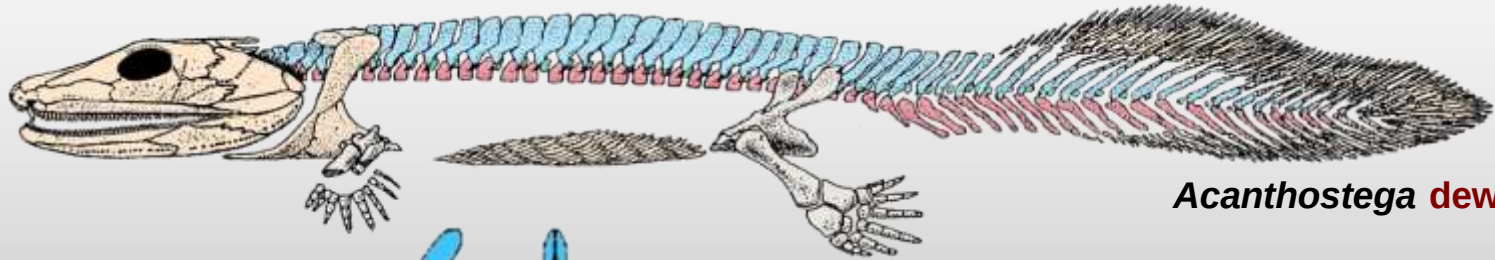
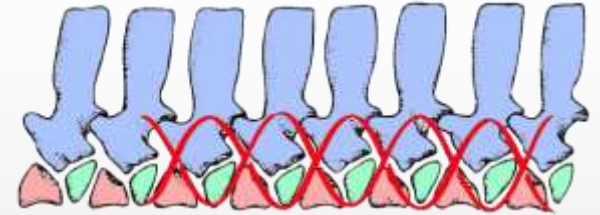


czaszka *Panderichthys* dewon 360 Ma

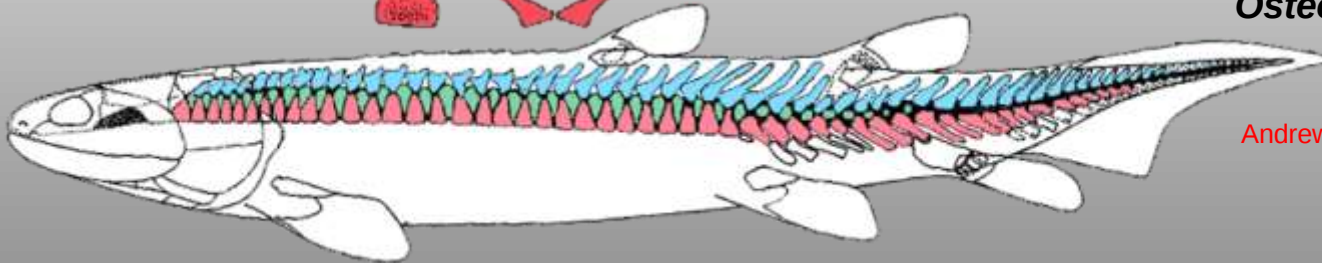
stopień skostnienia większy niż u dzisiejszych wodnych kręgowców

KRĘGOSŁUP

pełzających ryb



Acanthostega dewon 360 Ma



Osteolepis dewon 390 Ma

Andrews & Westoll (1970)

- sposób kostnienia szkieletu osiowego zależy od rozkładu naprężeń podczas lokomocji

biologia zapewne taka jak dzisiejszych reliktowych potomków

DZIEDZICTWO rybie



kijanka dwudysznej *Protopterus*
dziś



kijanka ganoidowej *Polypterus*
dziś

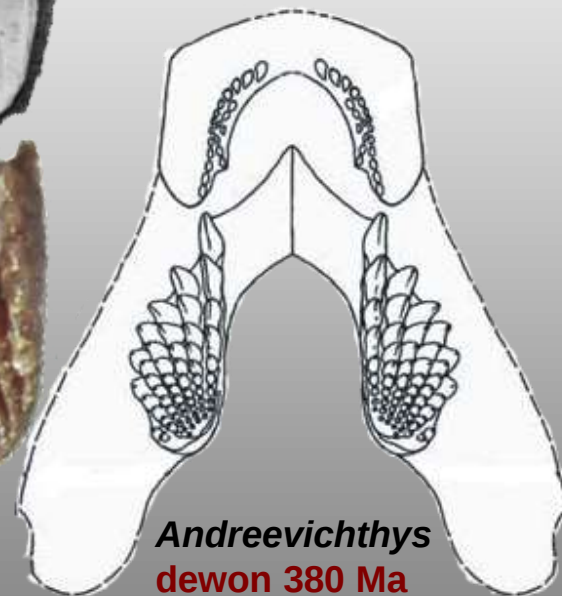
- umięśnione nasady płetw piersiowych
- oddychanie jelitowe – płuca i
- stadium kijanki z zewnętrznymi skrzelami



Ptychoceratodus
trias 200 Ma

Sagenodus
karbon 320 Ma

Schultze & Chorn (1997)



Andreevichthys
dewon 380 Ma

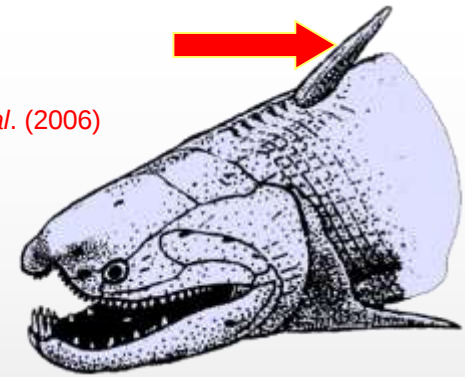
Reisz & Smith (2001)

przodkowie doskonalili życie przy deficycie tlenu w płytkiej wodzie

POCHODZENIE ryb kostnoszkieletowych

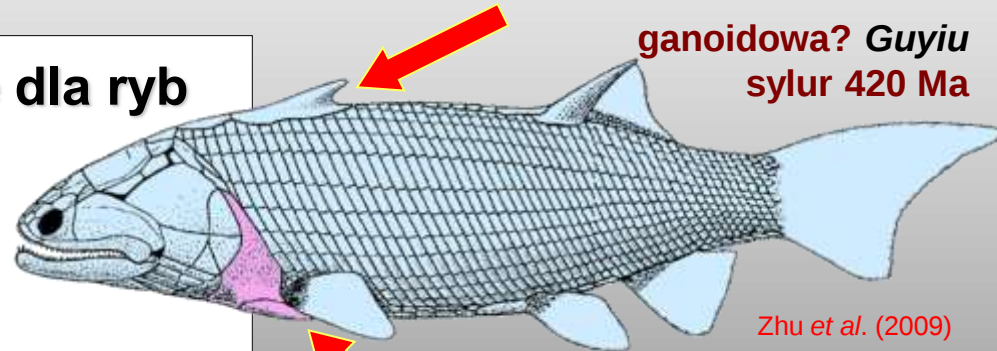


Zhu et al. (2006)



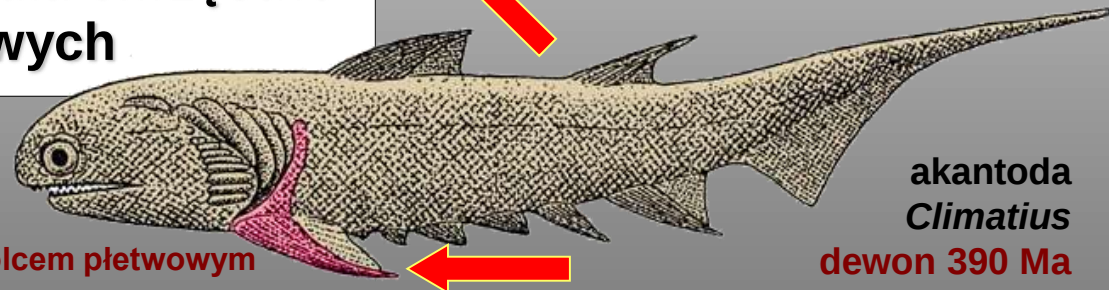
przodek trzonopłetwych? *Psarolepis*
dewon 400 Ma

- kolce płetwowe pierwotne dla ryb
- także spirale zębowe
- i dwie płetwy grzbietowe
- akantody wyjściowe dla chrzęstno-
jak i kostnoszkieletowych



ganoidowa? *Guyiu*
sylur 420 Ma

Zhu et al. (2009)



akantoda
Climatius
dewon 390 Ma

cleithrum z kolcem płetwowym

chrzęstnoszkieletowe od dewonu w otwartych wodach morskich

KONKRECJE GOGO

morski przestwór dewonu

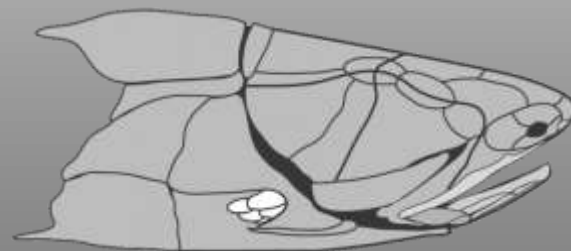


placodermy *Arthrodira*
Mcnamaraspis
dewon 375 Ma
formacja Gogo, Australia

Dunkleosteus
dewon 370 Ma
łupki Cleveland, Ohio

konkrecje z formacji Gogo
dewon 375 Ma

- arthrodiry przetrwały w środowiskach otwartego morza do famenu
- pospolite w Górach Świętokrzyskich



miejsce w ewolucji ryb kontrowersyjne (chimery?)

Entelognathus
sylur 420 Ma
Zhu et al. (2013)

SWOISTOŚĆ kapsuł jajowych

- lokomocja chimer to podwodne "fruwanie"
- kapsuły jak ryb pancernych, zęby ze spiral rekinów?



chimera *Menaspis* perm 260 Ma



arthrodin *Coccosteus* dewon 400 Ma



kapsuła jajowa chimery
Callorhynchus
dziś



pierwotny rekin
Heterodontus dziś



kapsuła zaawansowanego
rekin *Cephaloscyllium*
dziś



dziś



kapsuła z dewonu 380 Ma



Carpenter et al. (1978)

pancerność myli filogenetyków

PSAMMOSTEIDY

przemiany podwodnego lotu



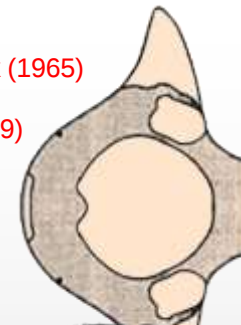
Larnovaspis
dewon 410 Ma

Lebedev et al. (2009)

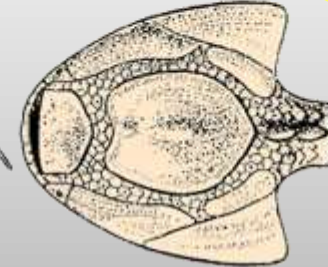
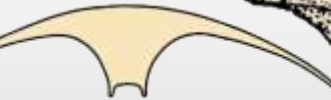
- w ewolucji rewersja do drobnych tarczek między płytami
- analogia zmian hydrodynamiki do maszyn latających

Obruchev & Mark-Kurik (1965)

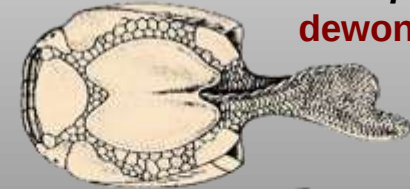
Halstead (1969)



Pycnosteus
dewon 380 Ma



Psammolepis
dewon 380 Ma



Drepanaspis
dewon 400 Ma



Pteraspis
dewon 410 Ma



Ctenaspis dewon 415 Ma



ekosystemy lądowe dewonu gotowe na przyjęcie kręgowców

DRZEWO

wyścig do światła

Stein et al. (2007)

Eospermatopteris
= *Wattieza*
dewon 385 Ma

- drzewa od środkowego dewonu
- proste korzenie, dychotomiczne gałęzie bez liści u bagiennych pra-paproci
- korzenie, konary, liście i drewno wtórne u wyższych roślin różnazarodniowych

pleć gametofitu określona w zarodni

Archaeopteris
dewon 370 Ma



Callixylon

Woodford Shale, Oklahoma

RÓŻNOSPOROWOŚĆ

specjalizacja płci

- w zapasy wyposażany jedynie zarodnik żeński
- wytwarza mały gametofit, zachowując zasoby dla pasożytniczego sporofitu
- gametofit może powstać już w zarodni
- tylko maleńkie zarodniki męskie roznoszone wiatrem



różne "gatunki"
Archaeopteris
dewon 370 Ma



Andrews et al. (1965)



„A”. *halliana*
Miguasha, Quebec 370 Ma

większość paproci rozrzuca jednakże zarodniki

PAPROCIE

cienkozarodniowe



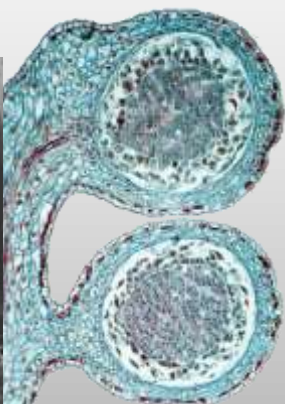
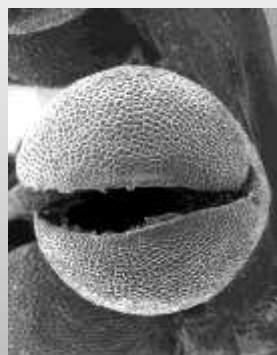
- cienkościenne drobne zarodnie z pierścieniem zgrubiałych komórek
- osłonięte zawijką kupki zarodni na krawędziach liści dopiero od 180 Ma
- długość *Osmunda* od permu ma *anuli* w grubościennych zarodniach



zarodnie pierwotnych paproci grubościenne, pękają poprzecznie

RELIKTOWE

paprocie bez zawijki



podejrzon
Botrychium
dziś



Marattia
dziś

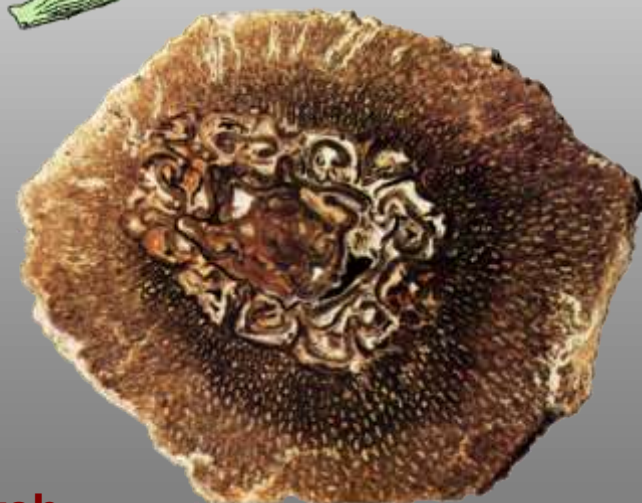


sorus

Radstockia
karbon 310 Ma



- paproć drzewiasta *Marattia* ma gwiaździsty układ zarodni od karbonu
- zarodnie nasięźrzału *Ophioglossum* i podejrzonu *Botrychium* osobne (jak drobnozarodniowy długosz *Osmunda*)



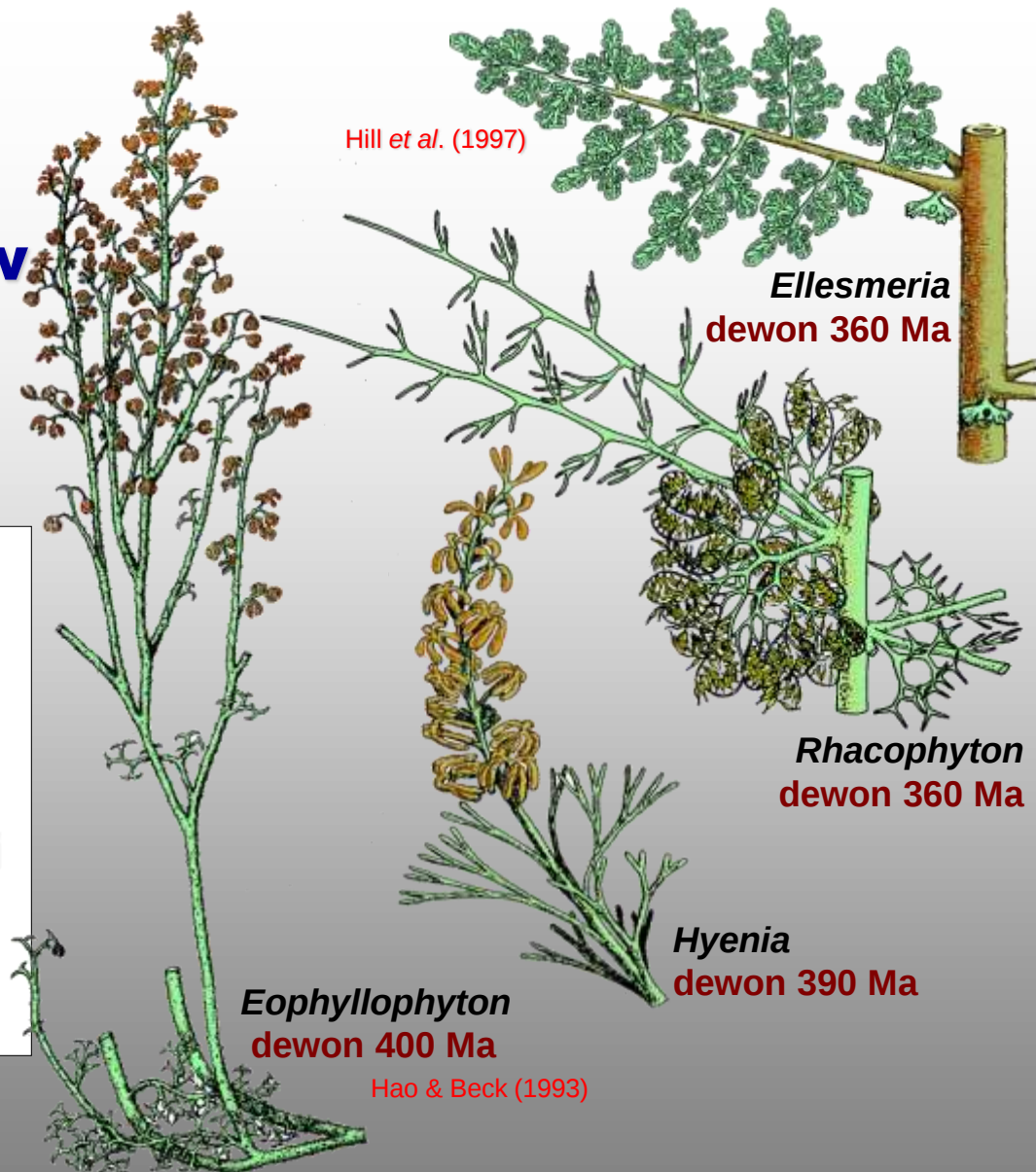
Psaronius
perm 280 Ma

pierwsze paprotniki nie miały blaszek liściowych

LIŚCIE

paproci i skrzypów

- zarodnie paproci na końcu odgałęzień, włączone w blaszkę
- zarodnie skrzypów w grupach, zagięte ku osi
- skrzypy wyróżnia okółkowy układ liści



listki widłaków odmiennego pochodzenia, powiązane z zarodnikami

WIDŁAKI

pochodzenie

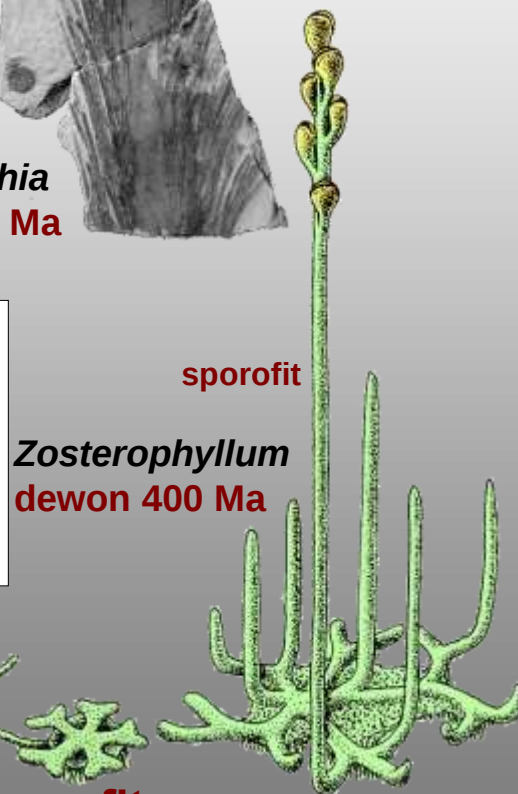
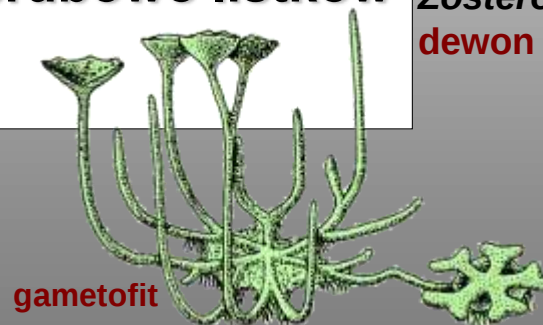


Asteroxylon
dewon 410 Ma



Baragwanathia
dewon 415? Ma

- pękające poprzecznie płaskie zarodnie
- w kątach rozmieszczonych śrubowo listków
- monopodialne



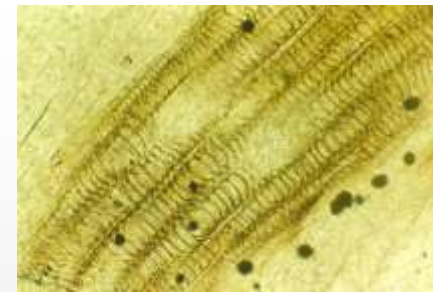
Zosterophyllum
dewon 400 Ma

rozdzielenie dróg ewolucji w stadium rozbudowy sporofitu

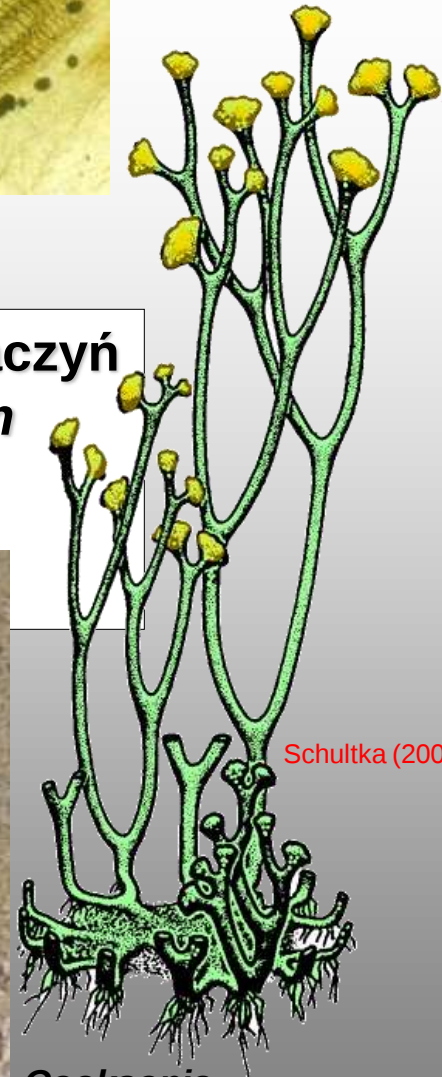
PSYLOFITY

inwencja ligniny

- transport wody dzięki lepkości włosowatych naczyń i kohezyjnemu podciąganiu słupa wody – *xylem*
- hipertoniczny roztwór cukru transportowany osmotycznie – *phloem*



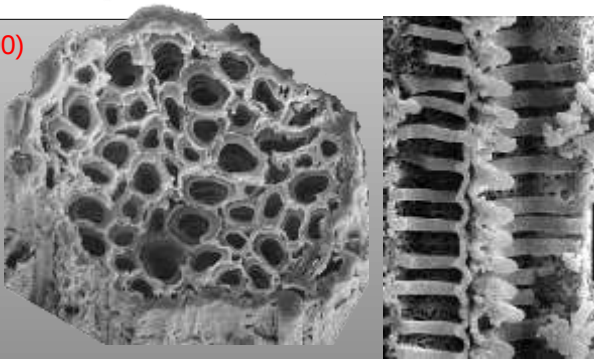
Ventarura
dewon 410 Ma



Schultka (2003)

Cooksonia
sylur 430 Ma

Edwards (2000)



wiązka przewodząca z tracheidami
dewon 390 Ma

Libertin et al. (2018)



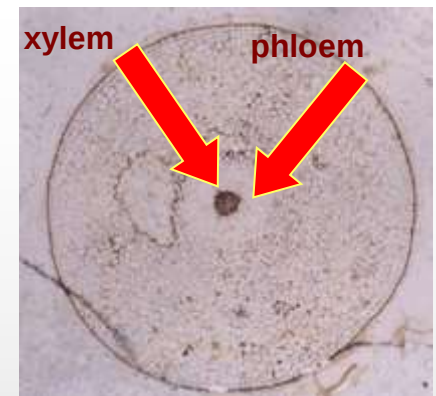
wcześniej regulacja gospodarki wodnej

PSYLOFITY

aparaty szparkowe



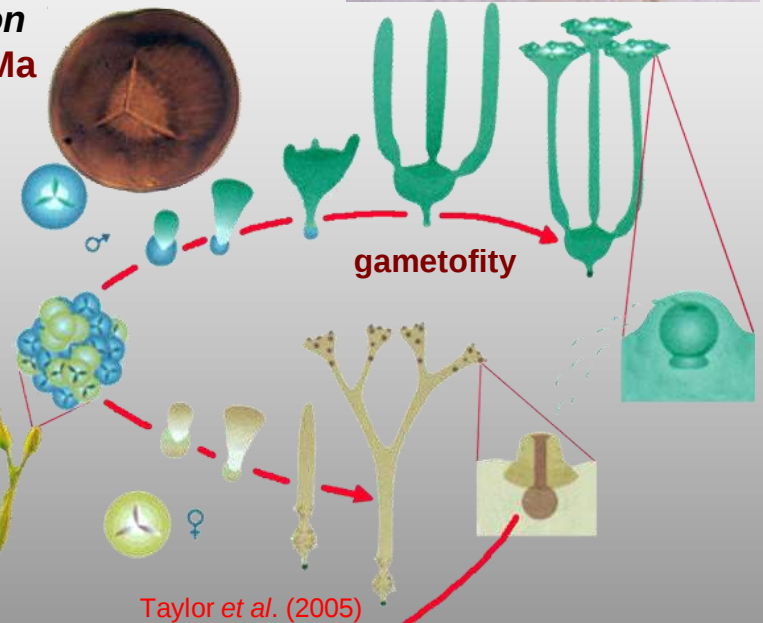
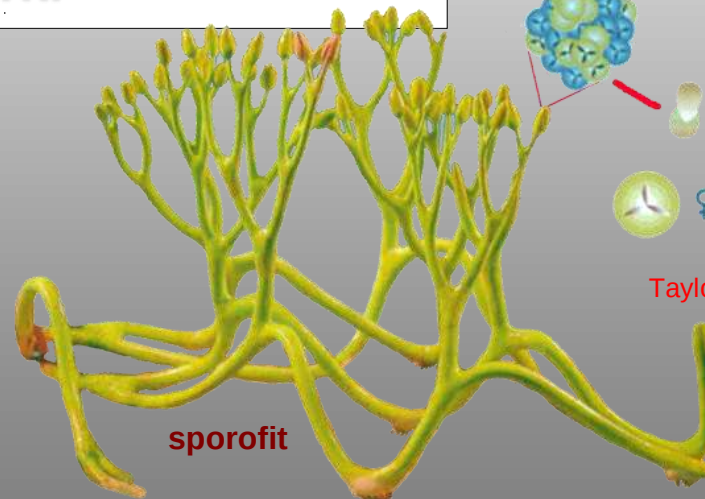
Horneophyton
dewon 410 Ma



- najpierwotniejsze bez naczyń, jedynie zgrubienia ścianek
- miały już szparki



columella w zarodni jak u mszaków



Aglaophyton
= *Lyonophyton*
dewon 410 Ma



ROZBIEŻNA ewolucja pokoleń

paprotniki

sporofit

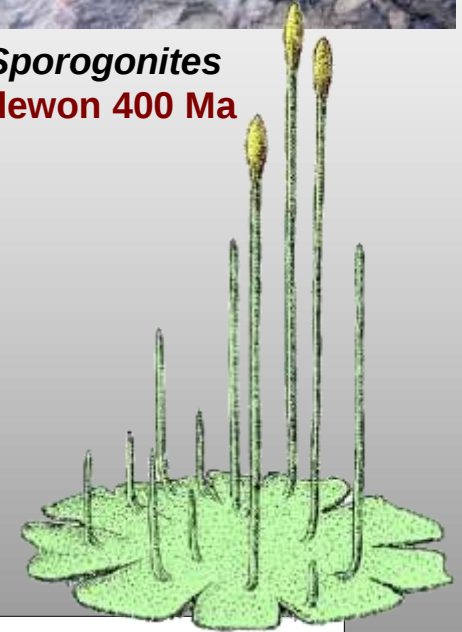
mszaki

gametofit

pierwsze
rośliny
lądowe



Sporogonites
dewon 400 Ma



- rozgałęzienie zielonego sporofitu to początek paprotników
- ulistniony gametofit cechą zaawansowanych mszaków

osłonki spor formowane w trakcie tworzenia tetrad meiotycznych

GENEZA

"logo Mercedes"



Wellman (2010)

kryptospory *Tetrahyaletes*
ordowik 450 Ma



poryblin



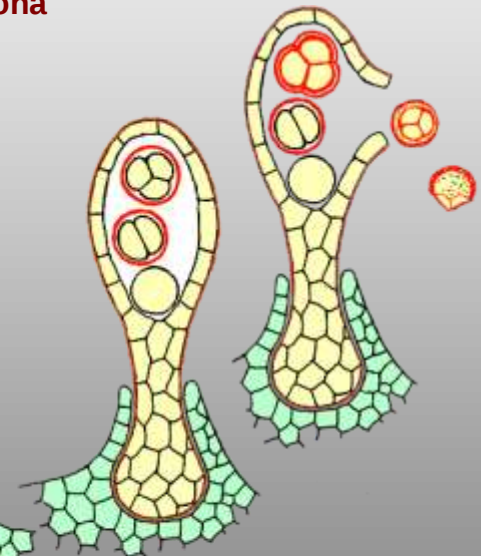
szew trójdzielny

wątrobowiec

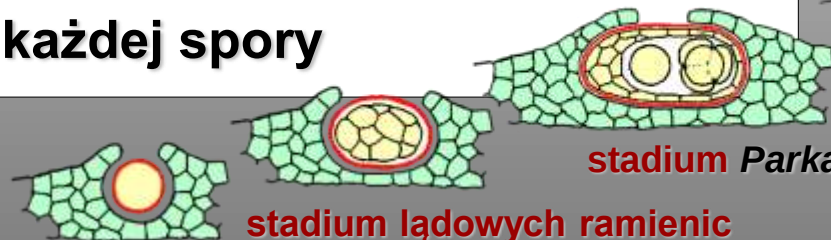


nierozdzielona
tetradą
meiotyczna

- ścianka zarodnika może powstawać etapami
- przed mejozą ścianka wspólna dla tetrady
- po pierwszym podziale dla diady
- na koniec dla każdej spory



stadium kryptospor



stadium Parka

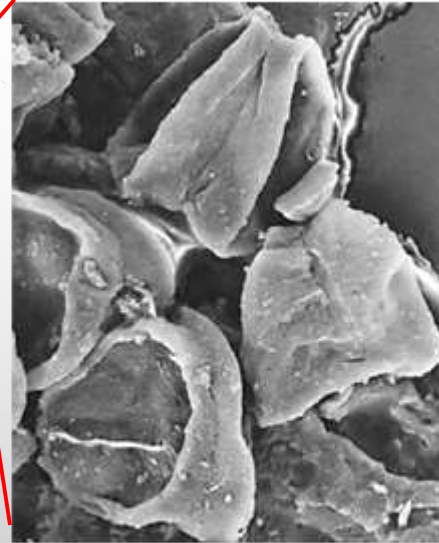
stadium lądowych ramienic

rozdział spor po mejozie od 450 Ma

MSZAKI

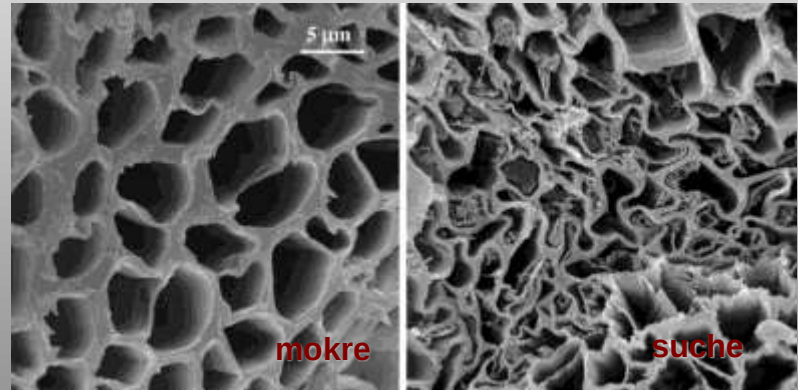
kryptospory i diady

- nierozgałęziony sporofit
- spory w permanentnych triadach lub diadach
- szparki w gametoficie
- hydroidy wyższych mchów analogami naczyń



Edwards (2000)

diady w zarodni
dewon 410 Ma



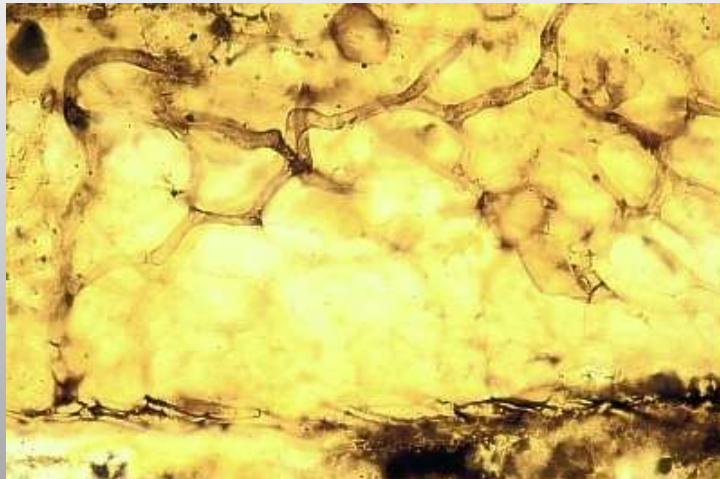
hydroidy mchu *Polytrichastrum*
dziś

Ligrone et al. (2012)

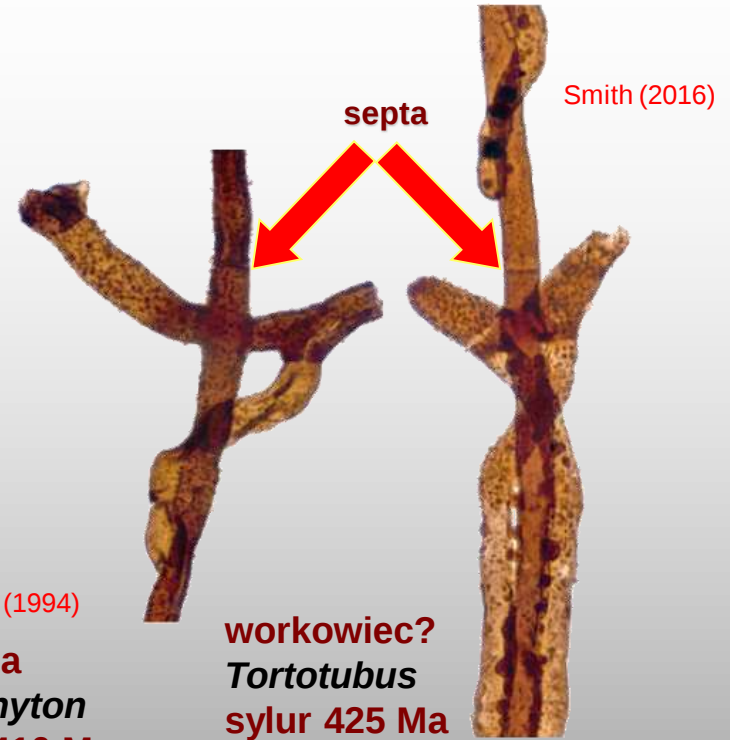
grzyby udostępniały zasoby na lądzie i degradowały produkty

GRZYBY

pradawna koewolucja



Remy et al. (1994)
mikoryza
Aglaophyton
dewon 410 Ma



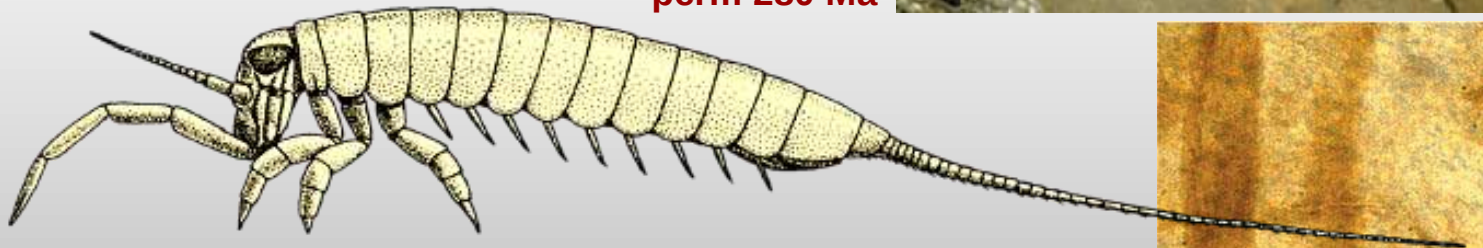
- grzyby mikoryzalne w psylofitach
- sznury grzybni od końca ordowiku

produkcja pierwotna na lądach umożliwiła ich zasiedlenie zwierzętom

OWADY

pochodzenie

Dasyleptus
perm 280 Ma



- najdawniejsze owady skrzydlate w formacjach węglowych 320 mln lat temu
- bezskrzydłe Thysanura od 400 mln lat; Collembola jeszcze wcześniej
- początki różnicowania nierozpoznane

Engel & Grimaldi (2004)

wraz z nimi wije drapieżne

żuwaczki owada
Rhyniognatha
dewon 410 Ma

WIJE

drapieżne

scutigera Latzelia
karbon 310 Ma



chilopod
Devonobius
dewon 380 Ma

jadowe Mxpes I



Shear & Bonamo (1988)

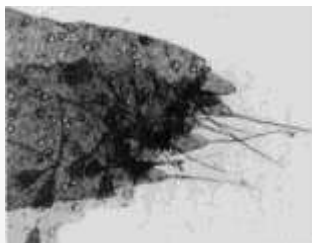
- drapieżnictwo bez mechanicznego rozdrabniania – wije Chilopoda trawią jadem od 380 mln lat
- kolec i gruczoł na pierwszej parze odnóży tułowia; narządy gębowe i anatomia stopniowo upraszczane



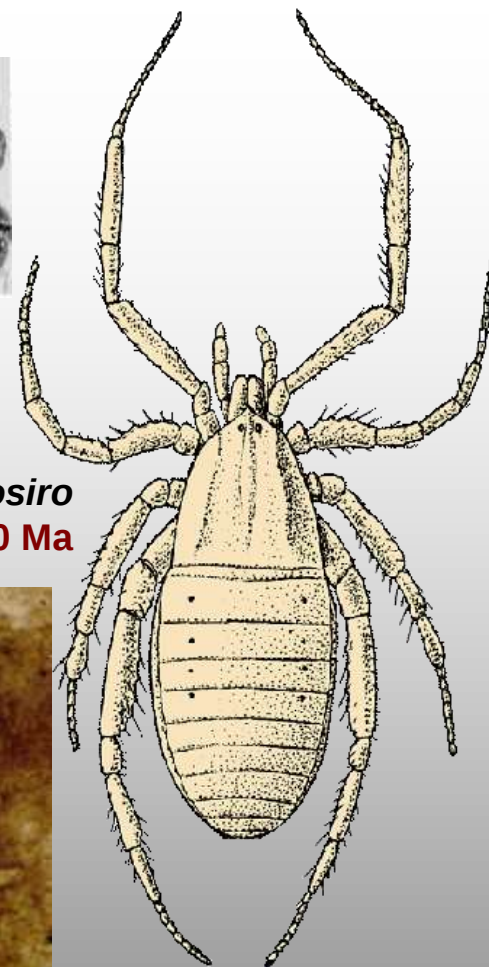
pajęczaki prawdopodobnie jeszcze wcześniej

PIERWSZE pająki

kontrowersyjny kądziółek i chelicera



Selden et al. (1991) „pająk” *Atterctopus*
dewon 380 Ma



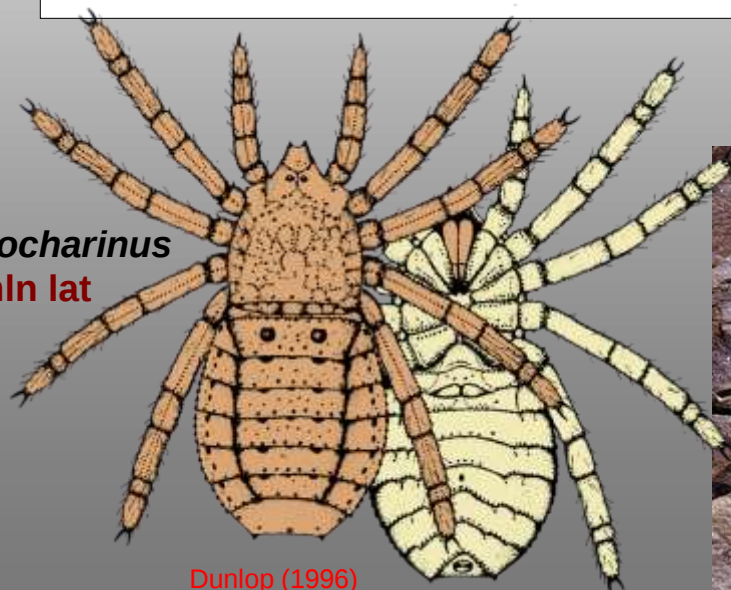
kosarz *Plesiosiro*
karbon 310 Ma



kosarz
dewon 410 Ma

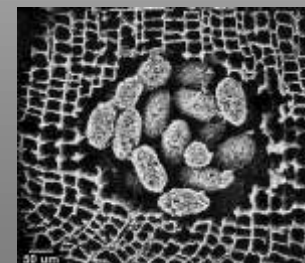


Palaeocharinus
410 mln lat



Dunlop (1996)

Dunlop et al. (2003)



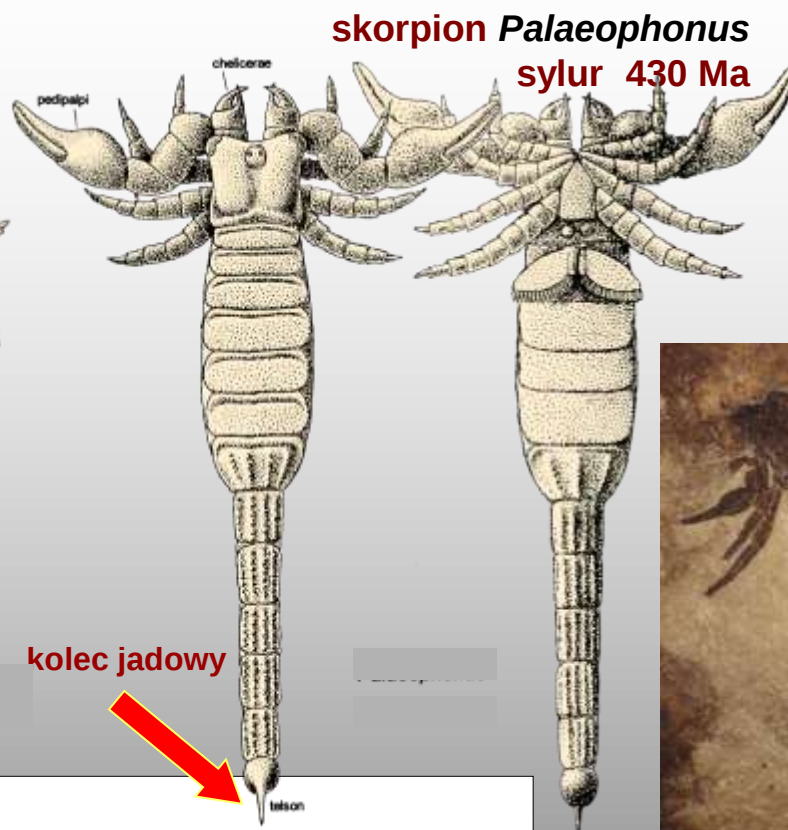
Architarbus
karbon 310 Ma

PAJĘCZAKI morskie

4 pary odnóży
kroczych

Brachyopterus
ordowik 450 Ma

kolcowaty telson



Proscorpius
sylur 420 Ma

- skorpiony od 420 mln lat pierwotnie wodne
- szeroki odwłok pajaków i zaleszczotków późny

różnorodność morskich stawonogów zadziwiająca

zaleszczotek
eocen 45 Ma

