

Sedimentární petrologie KARBONÁTOVÉ HORNINY I.

**Flügel, E. Microfacies of Carbonate Rocks Analysis, Interpretation and Application.
Springer, 2010, 984 s.**

**Hladil, J. KARBONÁTOVÁ SEDIMENTÁRNÍ TELESÁ I. Jejich vznik a vývoj. Masarykova
univerzita, 1996, 99 s.**

Úvod

- Karbonáty *sensu stricto* – karbonátové minerály
- Karbonáty *sensu lato* – horniny tvořené karbonátovými minerály
- **Karbonátové sedimenty/Sedimentární karbonátové horniny**
- **Vznik především v marinním prostředí**, na které bude přednáška především zaměřena (existují ale samozřejmě i kontinentální prostředí s karbonátovou depozicí)

Velmi specifické sedimenty, mající značný význam :

- ložiskový (čistý vápenec velmi cenná surovina pro chemický a farmaceutický průmysl; značné množství uhlovodíkových pastí je právě v karbonátových horninách ...)
- jako paleoenvironmentální archivy

Karbonáty - mineralogie

precipitace ve vodním prostředí probíhá jak biologickými tak abiotickými cestami

- materiál pro karbonátovou sedimentaci je extrahován z rozpuštěných karbonátových komponent v oceánu
- precipitační reakce



- Struktura karbonátů v sedimentech - **skupiny CO₃ + kationty kovů M²⁺**
- Naprosto dominující kationt je Ca²⁺, méně Mg²⁺,
Ostatní kationty jsou jen akcesorické

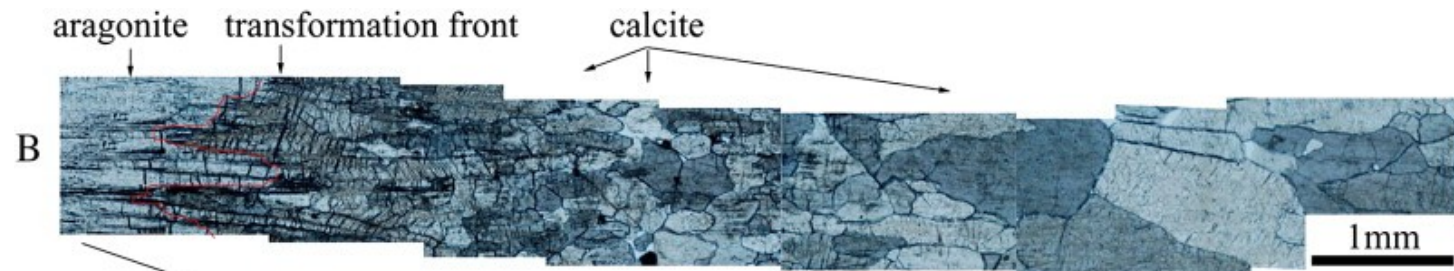
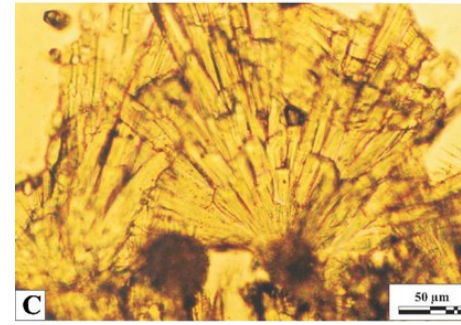
Karbonáty - mineralogie

- precipitace, uložení a nahrazování karbonátových hornin je silně ovlivněna jejich mineralogií
- Horninotvorný význam má jen **kalcit, dolomit a aragonit**
- kalcit, aragonit a dolomit se velmi liší rozpustností, což je velmi důležité pro sedimentaci
- rozpustnost aragonit > kalcit > dolomit

Karbonáty - mineralogie

Aragonit CaCO_3

- Rombická kr. mřížka, často jehličkovité agregáty
- Běžný biomineralizační karbonát
- **Nízká stabilita při diagenézi, rekrystalizuje v kalcit** (často již při velmi rané diagenézi, přímo v moři za několik let)



A

Karbonáty - mineralogie

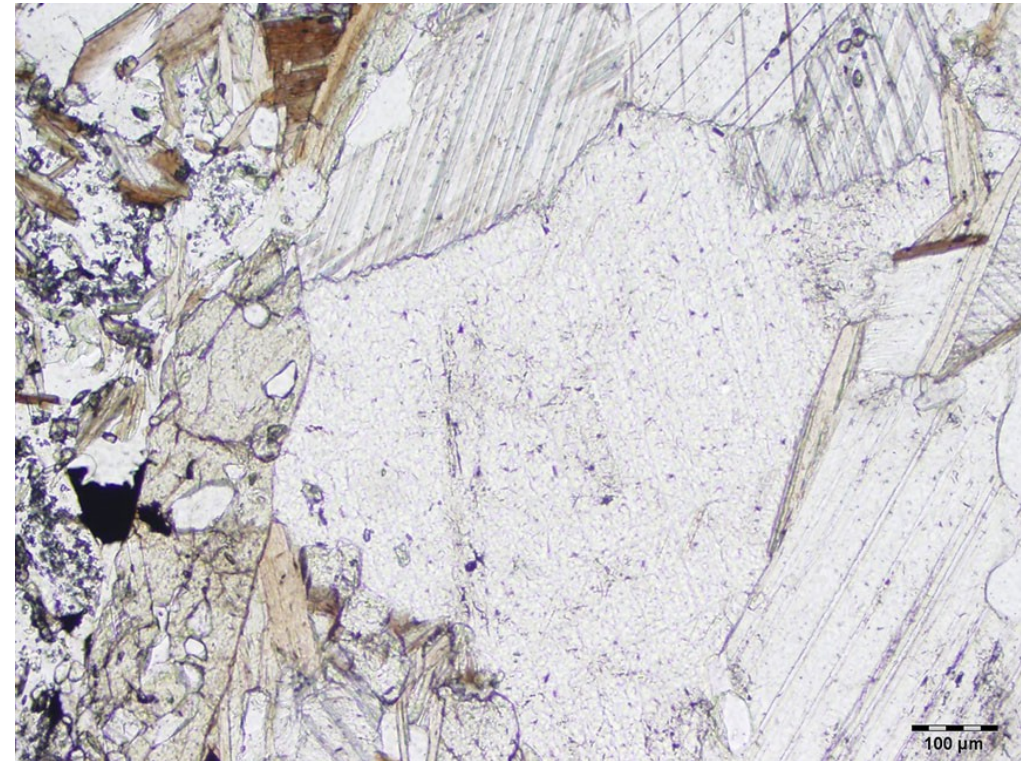
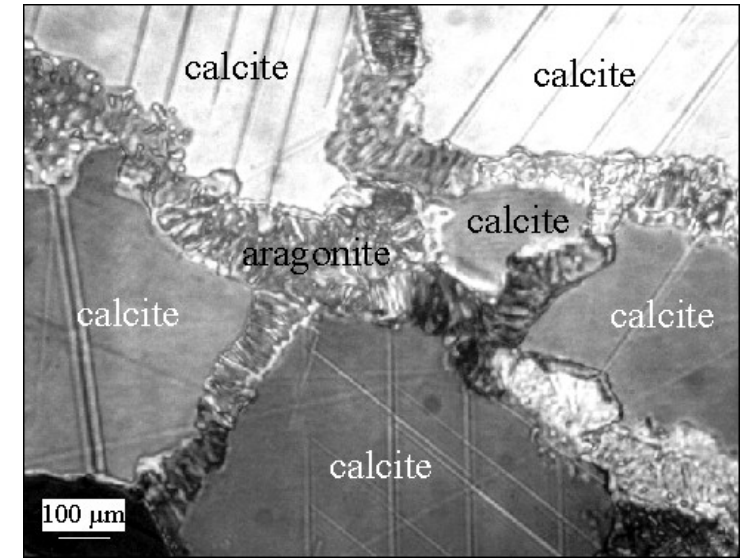
Kalcit CaCO_3

- Trigonální kr. mřížka, typický habitus krystalů - klenec
- Běžný biomineralizační karbonát

1) čistý kalcit (**nízkohořečnatý kalcit** - LMC)

2) hořečnatý kalcit (**vysokohořečnatý kalcit** - HMC) více jak 4mol% CaCO_3 nahrazeno MgCO_3

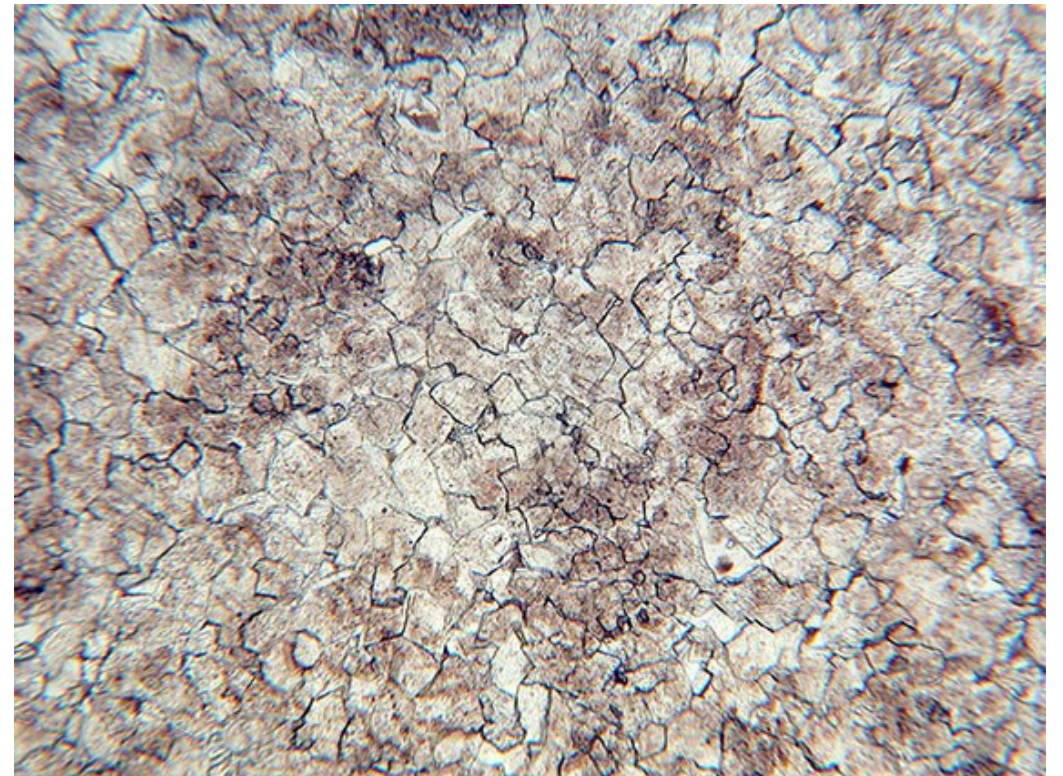
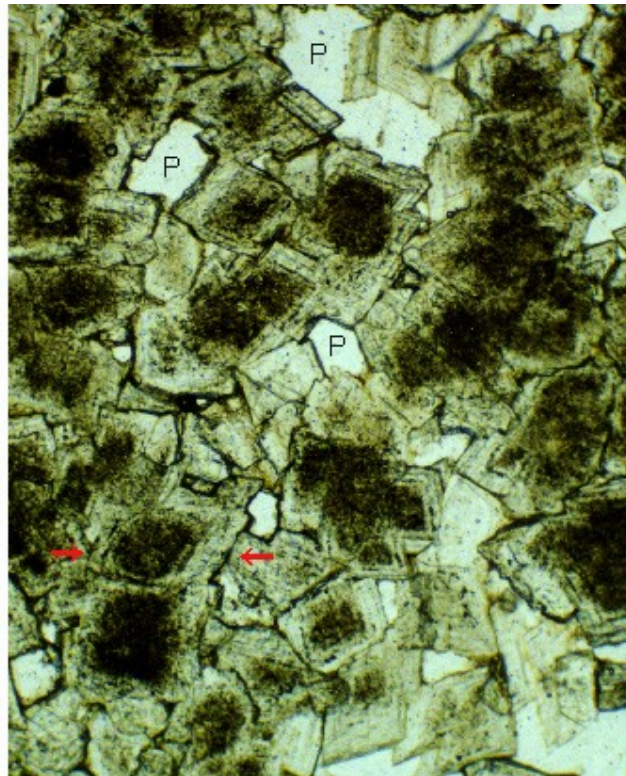
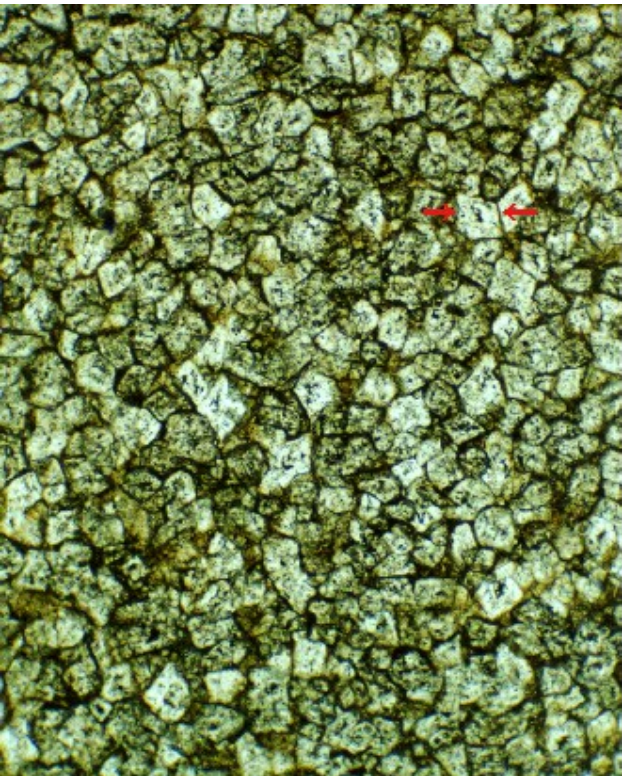
- HMC >12mol% MgCO_3 je více rozpustný než aragonit



Karbonáty - mineralogie

Dolomit ($\text{Ca}_{0,53}\text{Mg}_{0,45}\text{Fe}_{0,02}\text{CO}_3$)

- Trigonální krystalová mřížka, běžné jsou rhomboedry
- Karbonát, který běžně biomineralizací nevzniká
- Vznik diagenetickou přeměnou z kalcitu nebo vysrážením ve specifickém prostředí
- Velmi stabilní (proto je pro organizmy energeticky náročné z něj budovat skelety)

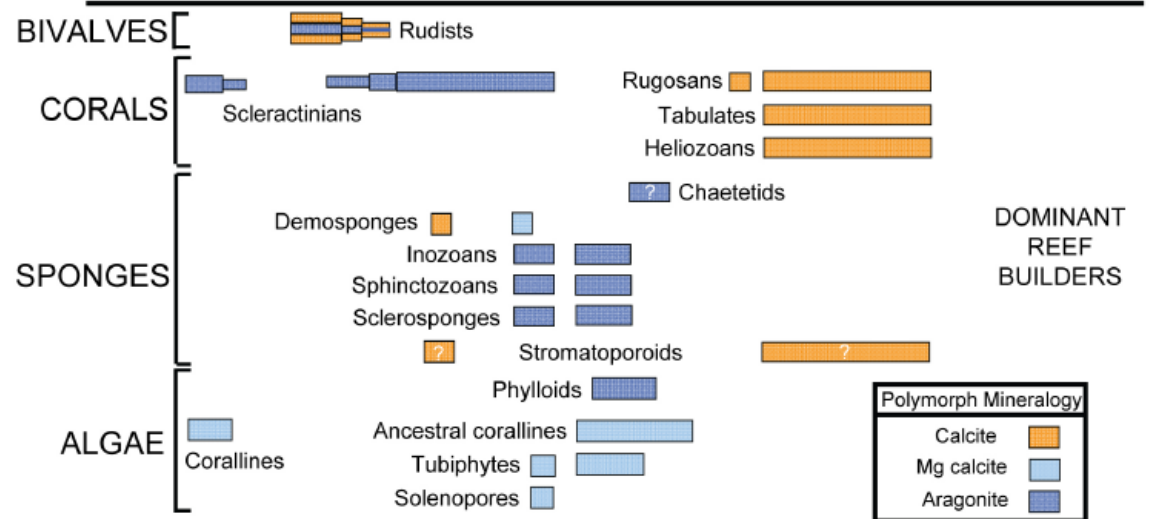
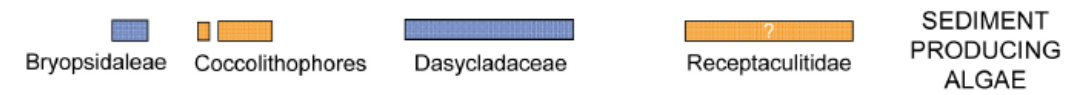
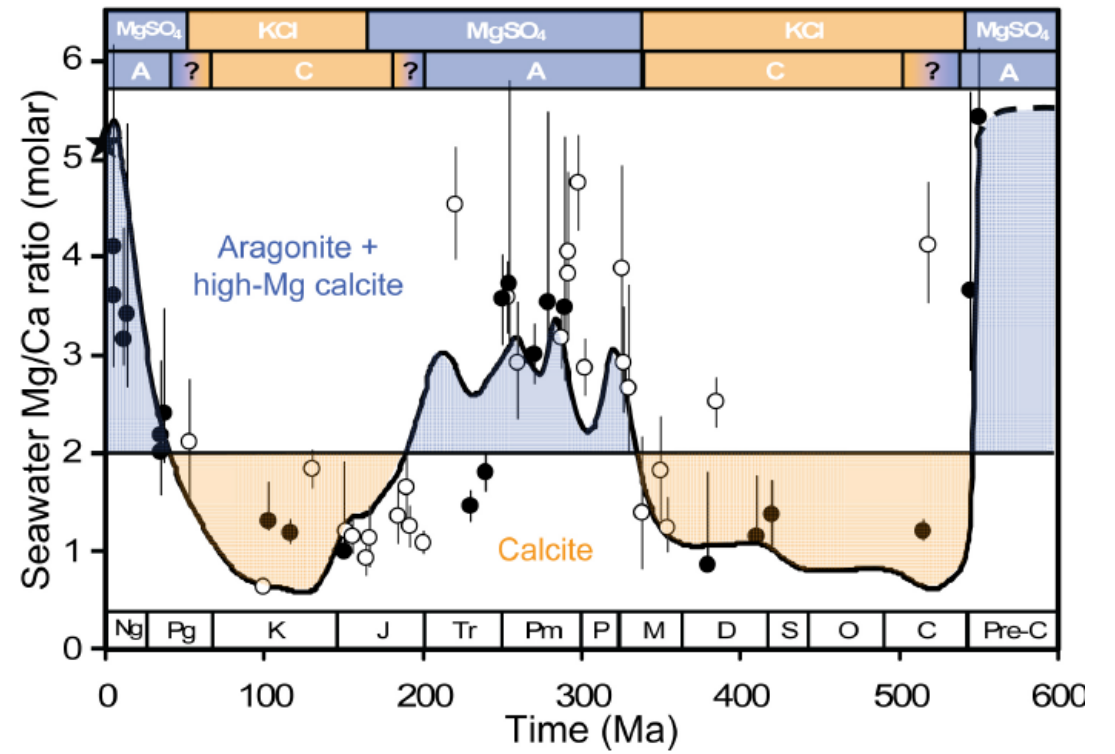


Karbonátová mineralogie

- karbonátové sedimenty současného tropického prostředí
- hlavně z aragonitu a HMC; jen malá část z kalcitu
(v historii Země se však mění – aragonitová/kalcitová moře)
- primární dolomit vzniká pouze ve speciálních prostředích (např. bakteriální činností), běžně je diagenetického původu
- karbonáty chladných vod jsou bohatší na kalcit ale obsahují stále převážně aragonit a HMC
- důvodem je, že precipitace je především vázána na biotickou produkci, pro níž jsou aragonit a HMC termodynamicky nejvhodnější
- **většina bioticky vysráženého aragonitu a HMC však během diagenese přemění na kalcit a dolomit**

Aragonitová / kalcitová moře

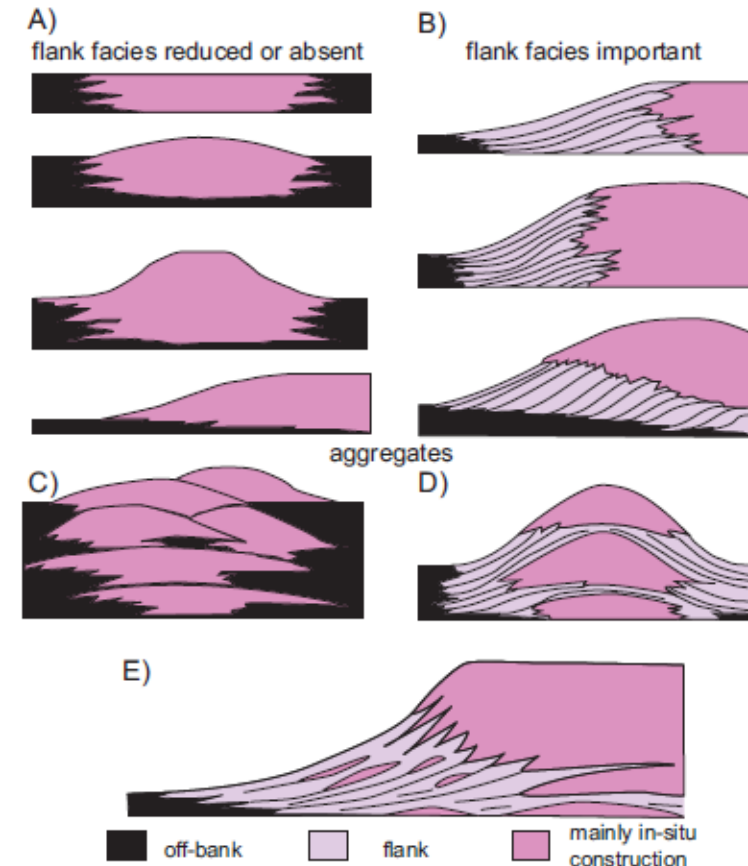
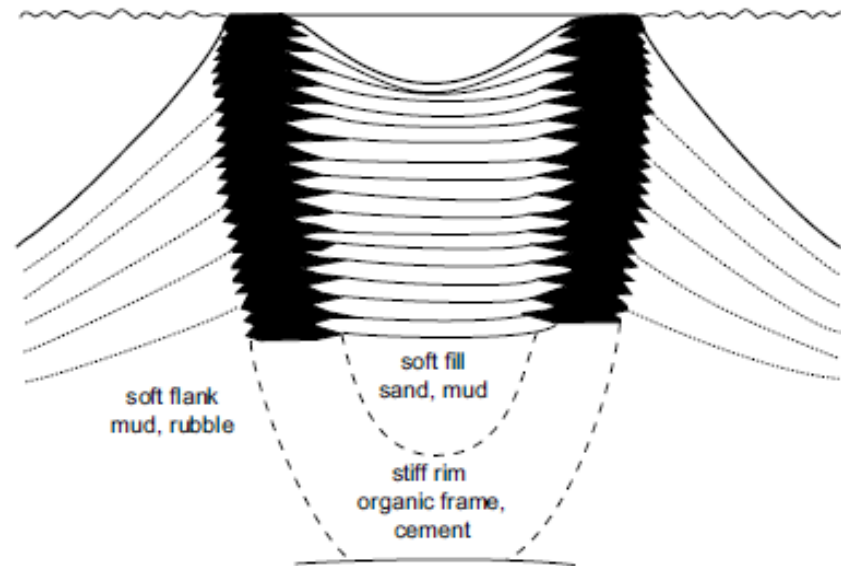
- závisí na chemizmu mořské vody (poměr Mg/Ca)
- aragonitová moře mají $Mg/Ca > 2$
- především vliv aktivity rozpínání oceánského dna (aragonitová moře při pomalém rozpínání)



„Karbonátové sedimenty nevznikají, ale rodí se“

Noel James (1979)

- Nejmarkantněji se liší mělkomořské karbonátové a siliciklastické depoziční systémy
- Karbonátové systémy mohou růst vertikálně a sledovat růst mořské hladiny (**agradáční potenciál**) a produkovat a exportovat sediment (**produkční potenciál**)
- Důležité z hlediska sekvenční stratigrafie
- Přepřacované karbonáty se ale naopak chovají jako klastické sedimenty



Sorbyho princip: vápence jsou převládající biogenní sedimenty

1879 Henry Clifton Sorby

- studoval fosilní karbonáty ve výbrusech a zjistil všudypřítomnost fosilií a jejich význam pro formování mikritu (vápnitého kalu)
- Zjistil že množství karbonát produkujících organismů silně závisí na environmentálních faktorech

- Přes 90% karbonátů v moderním marinním prostředí je biogenního původu
- Bioticky indukované (biot. spuštěné – mikrobiální mikrit)
- Biotou přímo tvořené (sklerální autotrofní a heterotrofní organizmy)

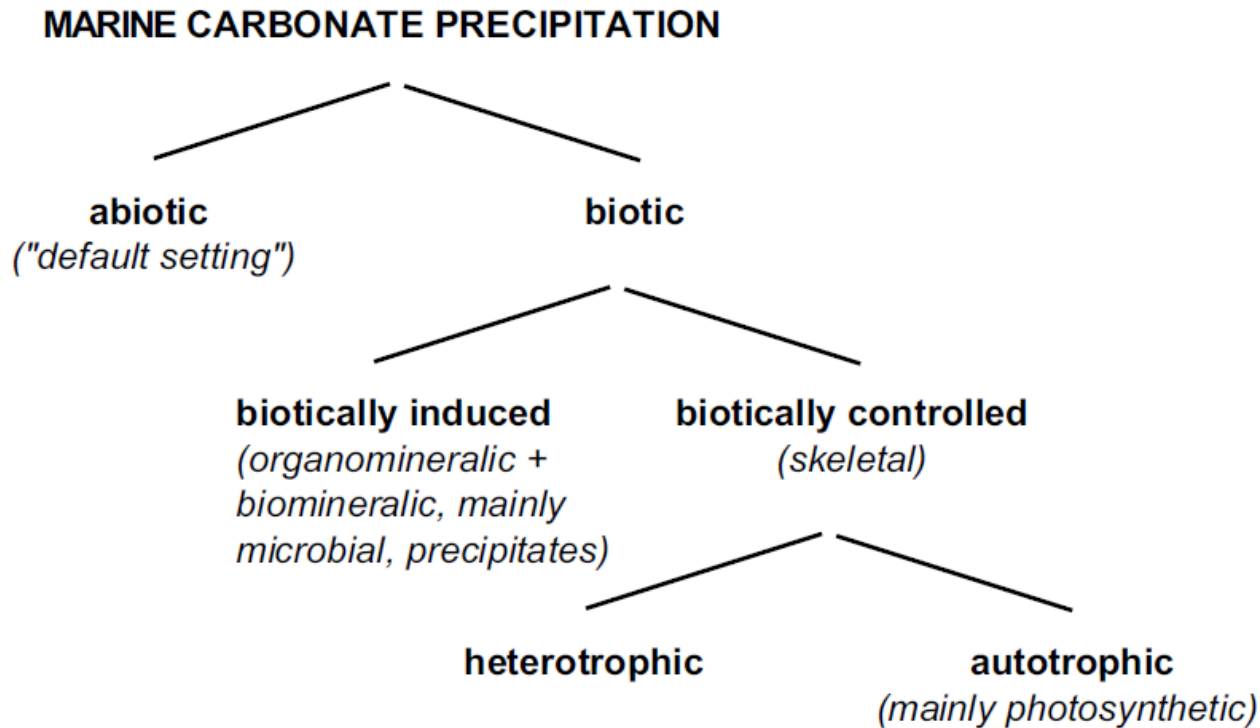


Fig. 2.1.— Pathways of carbonate precipitation in aquatic environments – a cascade of options governed by the degree of biotic influence. After Schlager (2000), modified.

| Autotrophic producers | Heterotrophic producers |
|--|--|
| Cyanobacteria (only biotically induced precipitates) | Foraminifera |
| Coccolithophorid algae (Haptophyceae) | Archaeocyathans |
| Green algae (such as dasycladaceans, codiaceans) | Sponges (e.g. pharetronids, stromatoporoids, chaetetids) |
| Red algae | Ahermatypic corals (Scleractinia) |
| | Most bivalves |
| | Gastropods |
| | Cephalopods |
| | Arthropods (e.g. trilobites, ostracodes, barnacles) |
| | Brachiopods |
| | Bryozoans |
| | Echinoderms |
| Autotrophic production via symbionts | |
| Many larger foraminifers | |
| Hermatypic corals (Scleractinia) | |
| Certain bivalves (Tridacnids, rudists?) | |

Fig. 2.2.— Important autotrophic and heterotrophic carbonate producers.

Biologické srážení karbonátů

Srážení karbonátů kolem organismů – změny ve složení vodného roztoku kolem organismů

- Biomineralizace virů – bývají často na počátku nukleace karbonátového mikritu
- Vysoké koncentrace karbonátů např. kolem řasových a sinicových rohoží
- Sinice jsou schopny přímé biomineralizce (sádrovec, kalcit, dolomit a magnezit)
- Denní změny v absorpci a uvolňování CO₂ při fotosyntéze
 - Dochází tak ke změnám chemismu vody v okolí fotosyntetizujících sinic
 - Nastává (i několikrát za den) vhodná chemická konfigurace pro srážení karbonátu
 - Nárůsty sinic a řas jsou tak periodicky prokládány krystaly kalcitu nebo aragonitu

Biologické srážení karbonátů

- Velmi důležitá je přímá biomineralizace skeletálních tkání jednobuněčných i mnohobuněčných organismů, jejíž význam roste po celé fanerozoikum
- Genetické důvody pro využívání CaCO_3 :
 - stahování kationtů vápníku z okolí fyziologických membrán (nadbytek Ca brání životním funkcím)
 - energeticky a fyziologicky dobrá přijatelnost CaCO_3 jako kosterního doplňku

Růst karbonátových hornin - procesy

Faktory ovlivňující karbonátovou produkci:

- Biologické faktory
- Klima/klimatické zóny
- Teplota
- Salinita
- Množství přínosu klastického materiálu (kalnost)
- Hloubka (prosvětlení/kalnost; dynamika)

- **Akrece karbonátu** – hromadění karb.sedimentu
- Řádově 10 až 100 nižší než produkce karbonátu
- Silně se totiž uplatňuje rozouštění a odnos

Růst karbonátových hornin - procesy

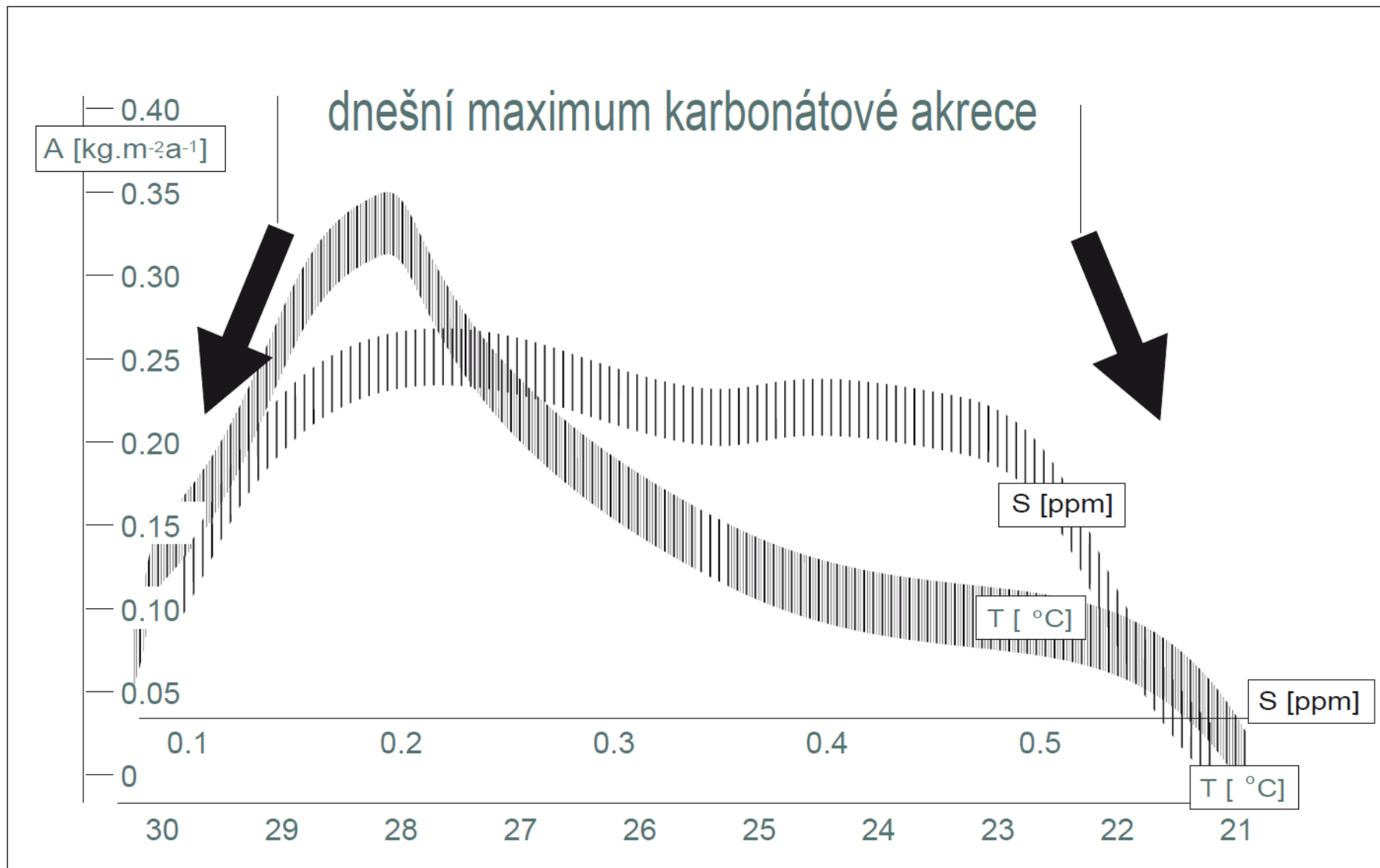
- Fyzikálně-chemické vlastnosti v depozičním prostředí musí být „tak akorát“ pro efektivní produkci karbonátu. *Voda nesmí být příliš horká ani příliš studená, ne moc hluboká ani moc mělká ...*
- *Goldilocks principle* (~ *Mášenčino pravidlo*; pohádka o Máše a třech medvědech, kdy jí chutná jen kaše, která není ani moc horká a ani moc studená ...)

Z. Kukul: „*Karbonáty jsou sedimenty držící se hesla bud' a nebo*“

- Když přestanou působit omezující faktory na mělkých šelfech, tato prostředí se stávají místy enormní produkce karbonátu – **karbonátové továrny**



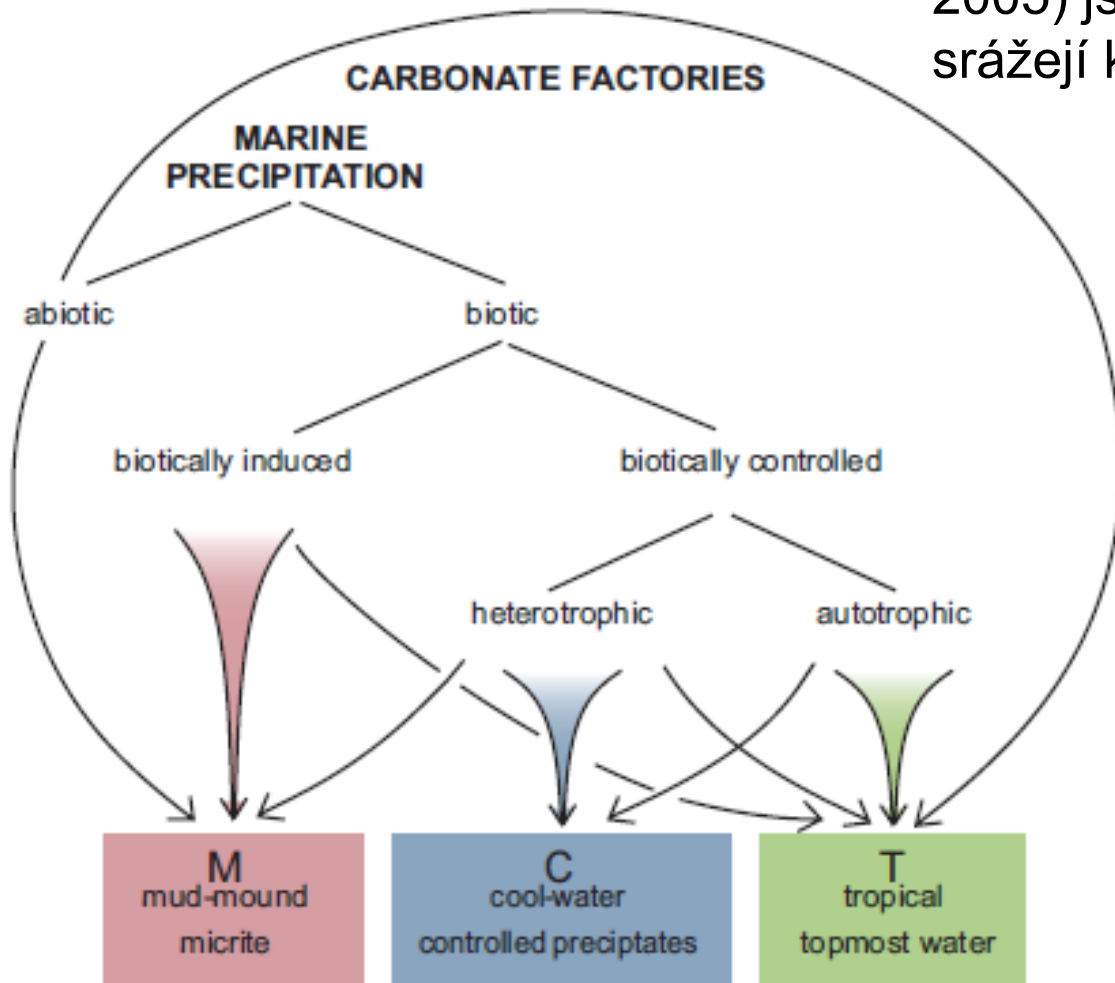
Karbonátová produktivita vs. teplota + suspenze



Obr. 4a Závislost intenzity výsledného hromadění karbonátu (A) na teplotě vody (T) a množství suspenze v ní (S).

Karbonátové továrny

Karbonátové továrny (carbonate factories; Wolfgang Schlager, 2005) jsou mělká prosvětlená dna moří, kde rostou nebo se srážejí karbonátové částice



T – tropické karbonátové továrny
C – karbonátové továrny chladných vod
M – karbonátové továrny kalových kup

Typy karbonátových továren rozdělené dle způsobu srážení karbonátů

Karbonátová produktivita vs. batymetrie

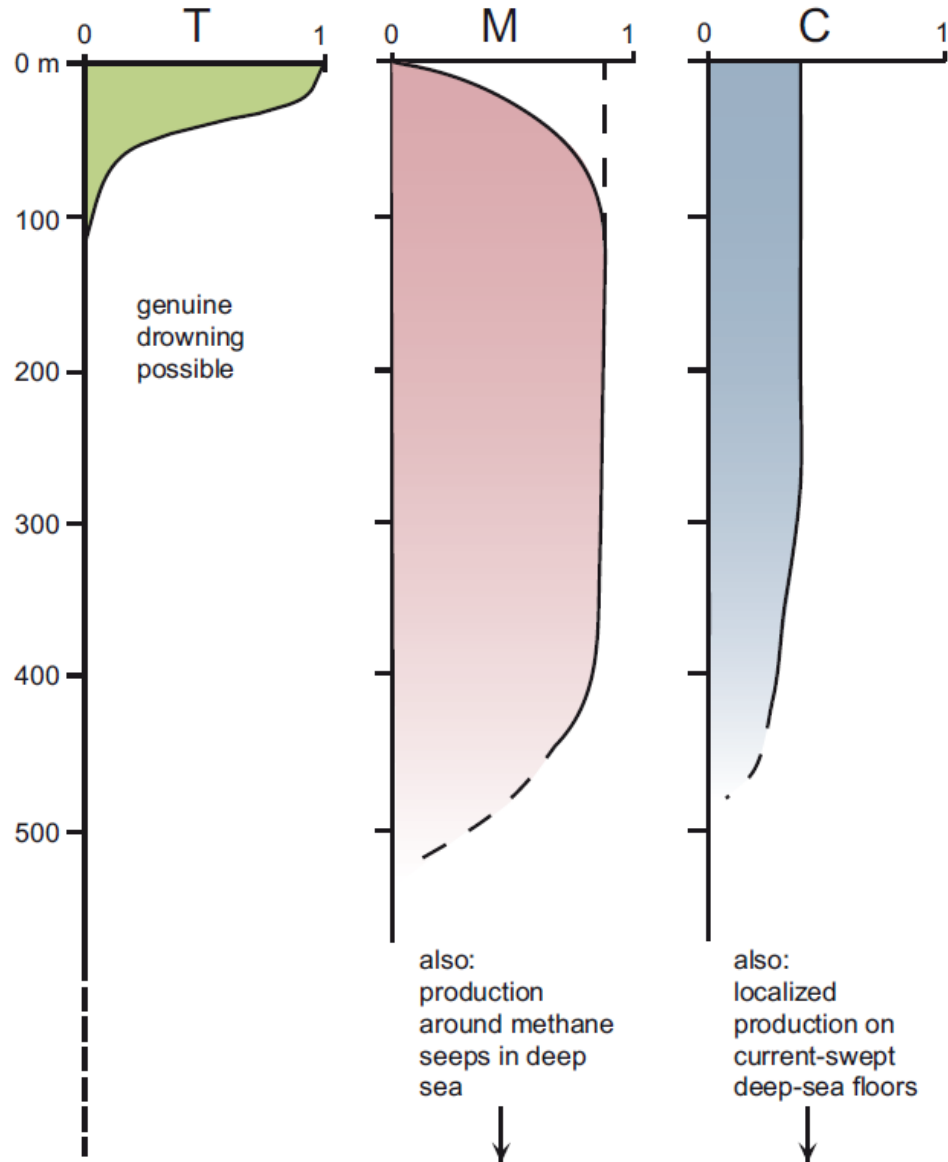


Fig. 2.16. — Production rates and depth window of production of carbonate factories. Width of shaded bars represents estimated production rate at a given depth as a fraction of the tropical standard. Dominance of photo-autotrophic (i.e. light-dependent) organisms in the tropical factory leads to very high production rates but only in a narrow depth window. Production of the other factories is largely independent of light, the depth windows extend over hundreds of meters and their lower limits are poorly known. In modern oceans, production by the M factory is low at shallow depths, probably because of competition by the T factory. After Schlager (2003), modified.

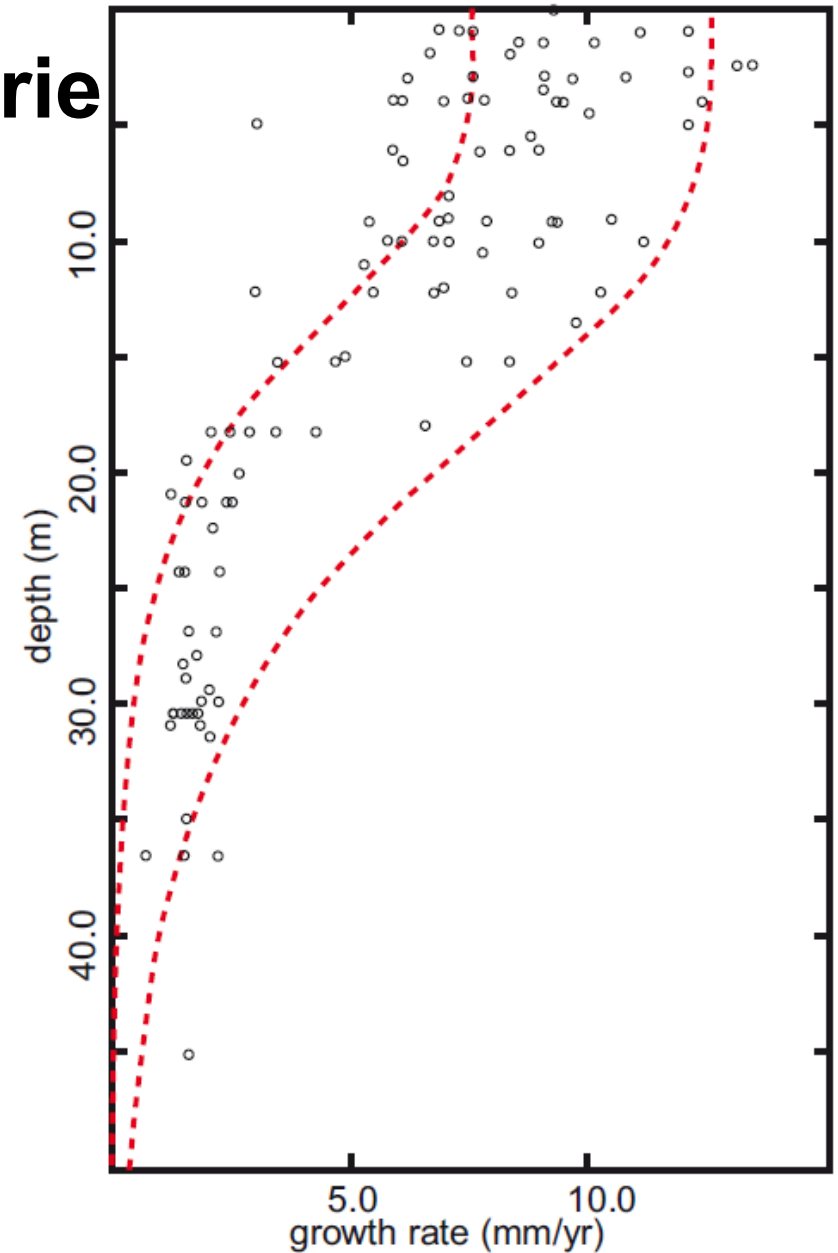
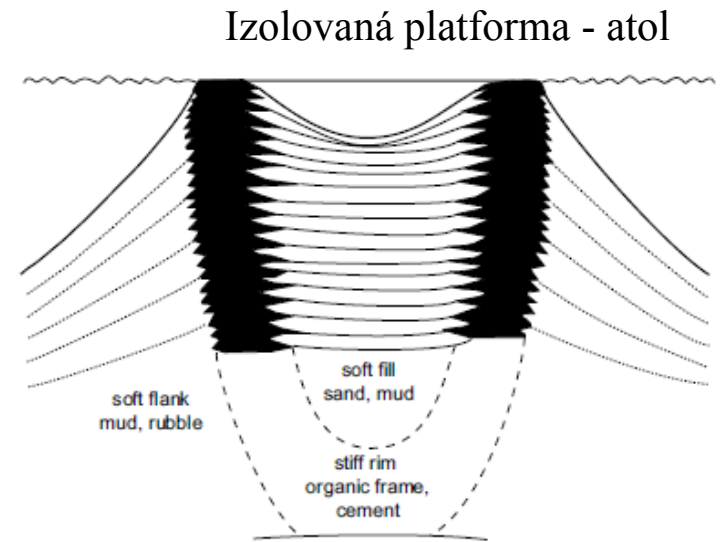
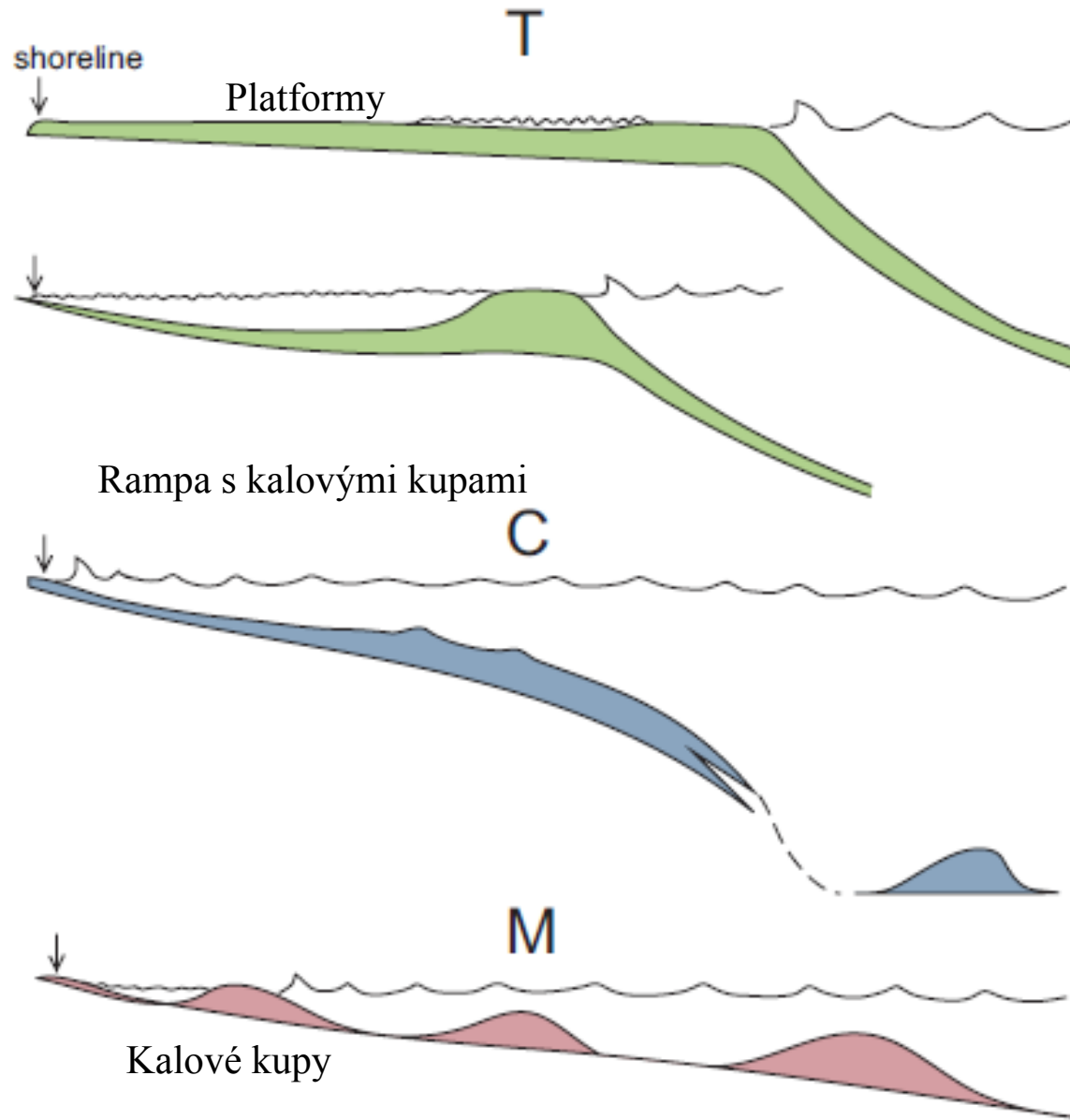
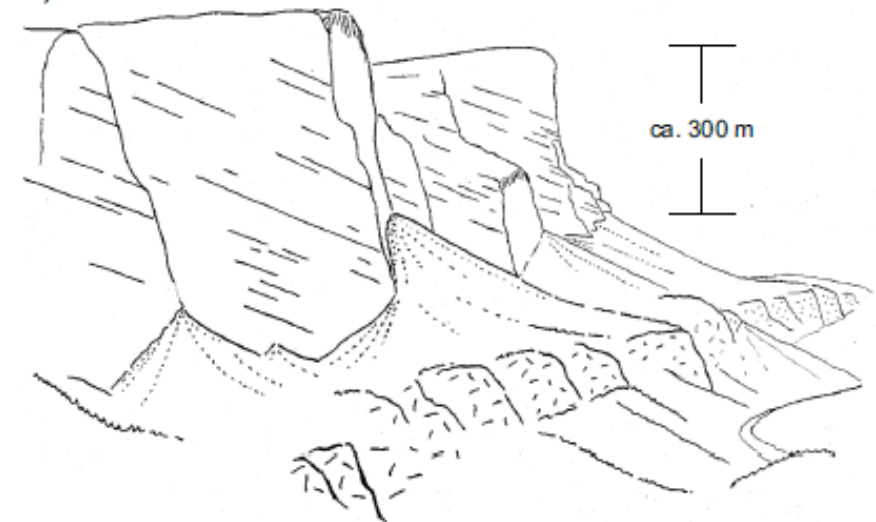


Fig. 2.5. — Predicted and observed values of coral growth vs. depth. Circles: measured growth rates of Caribbean reef coral

Architektura karbonátových továren



B) Příkrý svah platformy typu by-pass



Stavební komponenty karbonátových sedimentů

- **Alochemy** (karbonátové klasty – skeletální/neskeletální)
- **Mikrit** (vápnitý kal; základní hmota/matrix; ~od 4 mikrometrů)
- **Sparit** (cement; později – ale často velice brzy – krystalizovaný karbonát, cementující alochemy a mikrit k sobě)

Dunhamova klasifikace:

Carbonates

Dunham (1962)

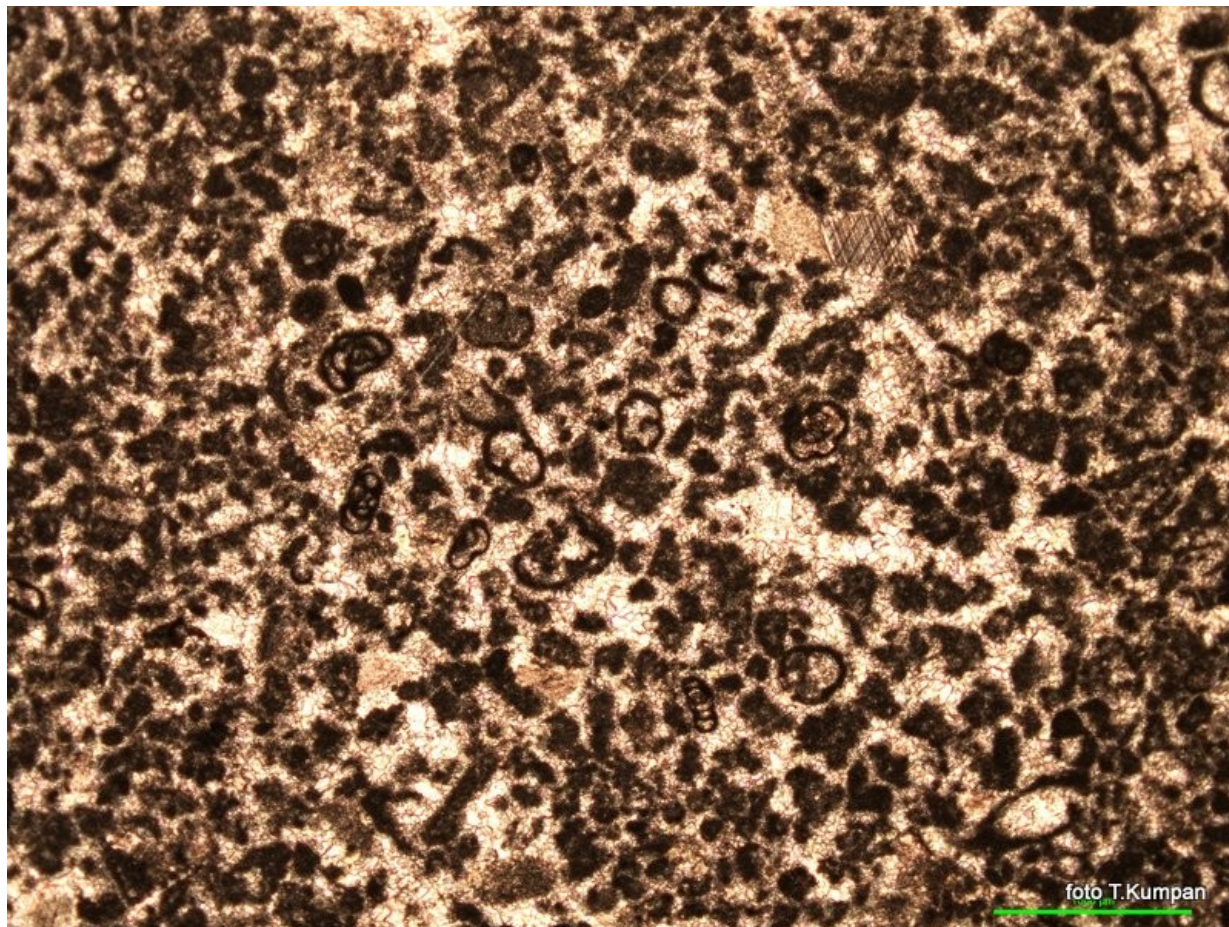
| Groundmass: | | | | |
|-----------------------|------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Fine carbonate matrix | | + spar | sparry cement | Bioconstruction |
| Matrix-supported | | Grain-supported | | |
| Grains: < 10% | > 10% | | | |
| MUDSTONE | WACKESTONE | PACKSTONE | GRAINSTONE | BOUNDSTONE |



Alochemy

- Skeletální (bioklasty)

Neskeletální peloidy + bioklasty (foraminifery)



Bioklasty (mlži)

Alochemy

- Neskeletální

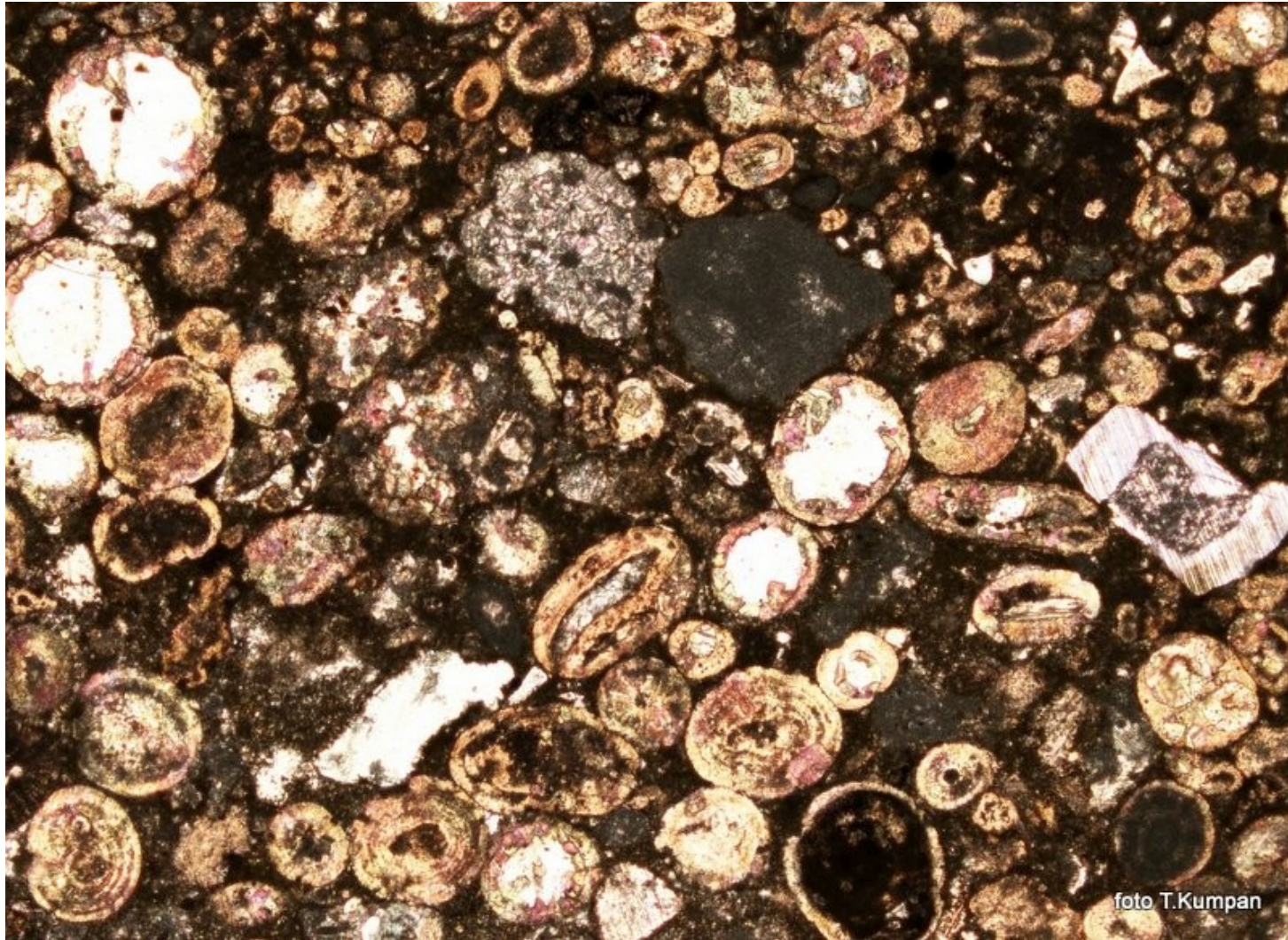


foto T.Kumpan

Ooidy a povlékaná zrna + intraklasty

PELOIDS



CORTOIDS



ONCOIDS



OIDS



PISOIDS



GRAIN AGGREGATES



CLASTS



Základní hmota

- Mikrit – mikrosparit - pseudosparit

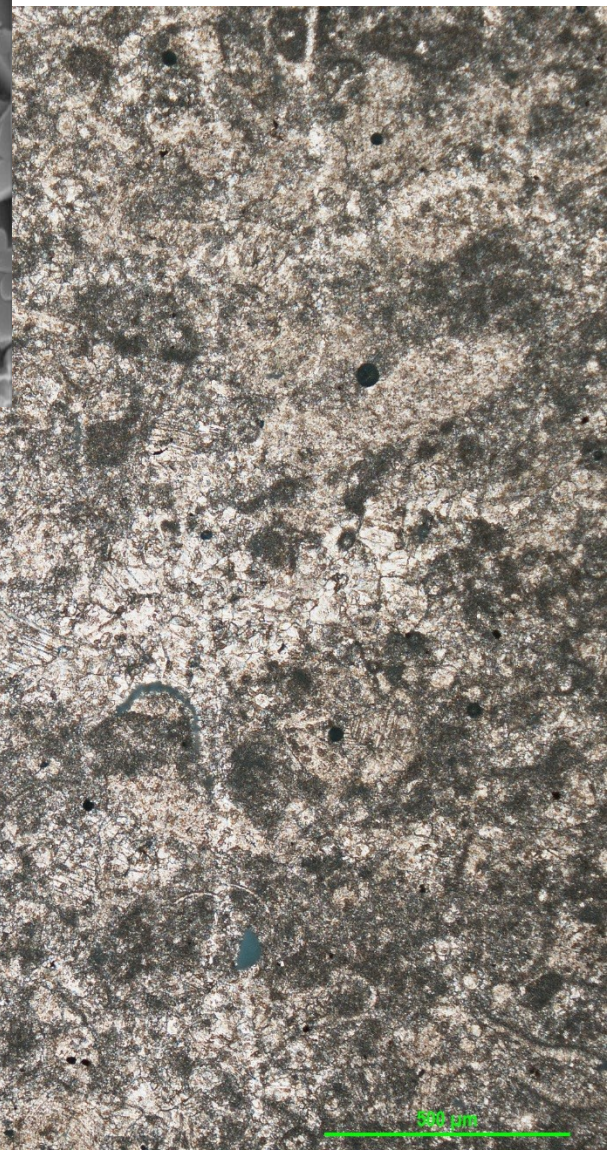
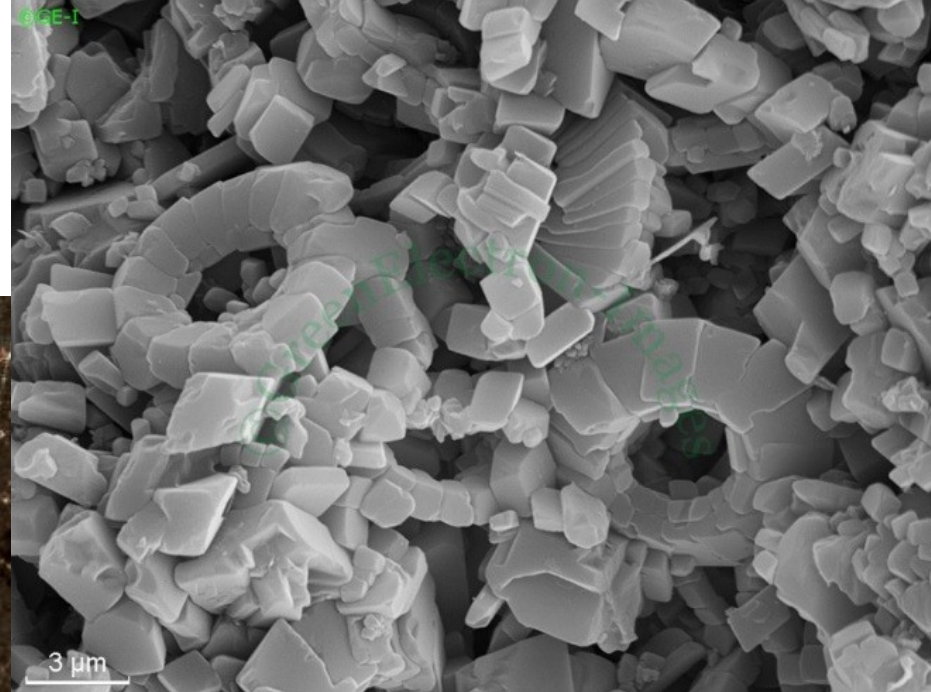
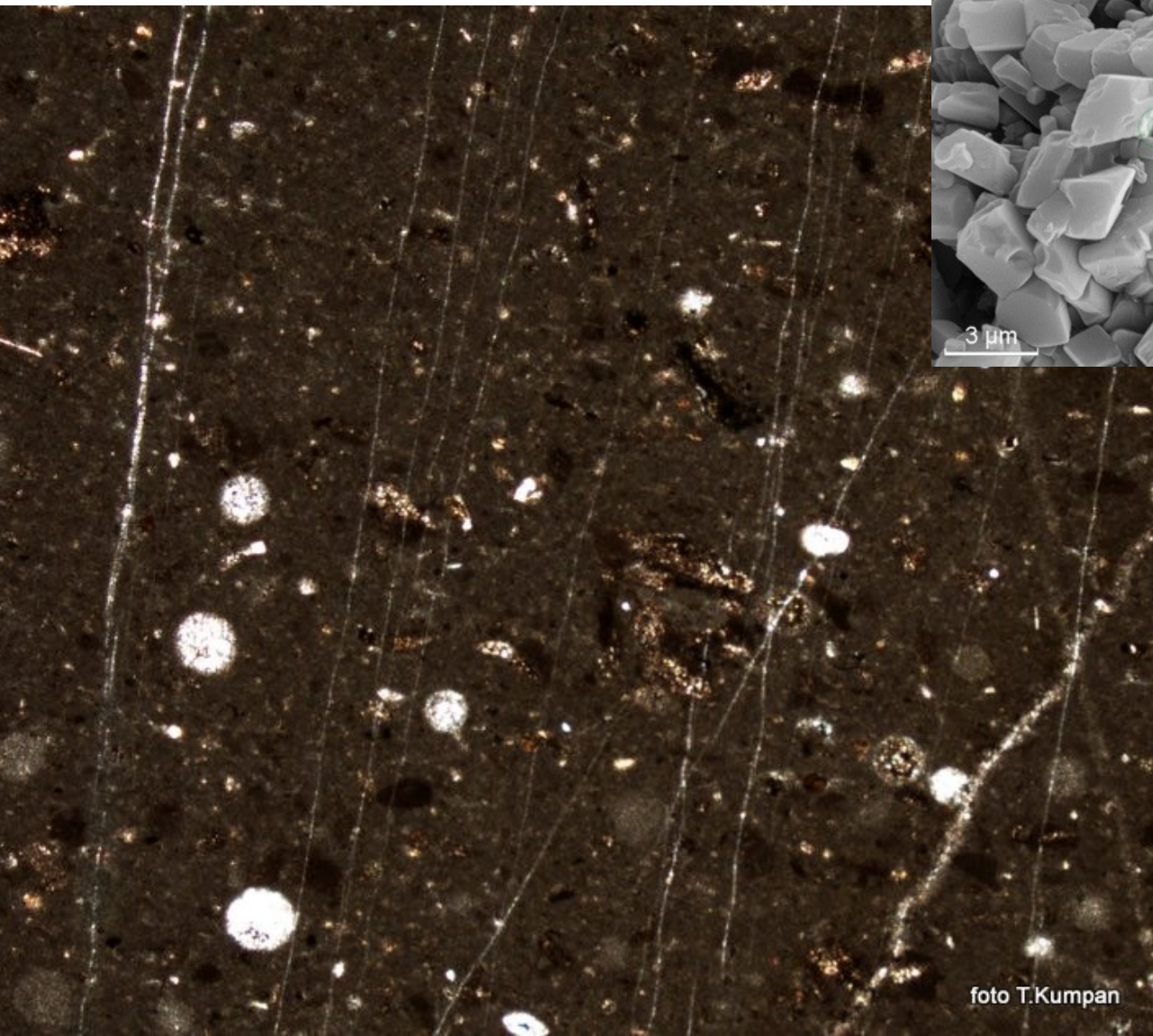
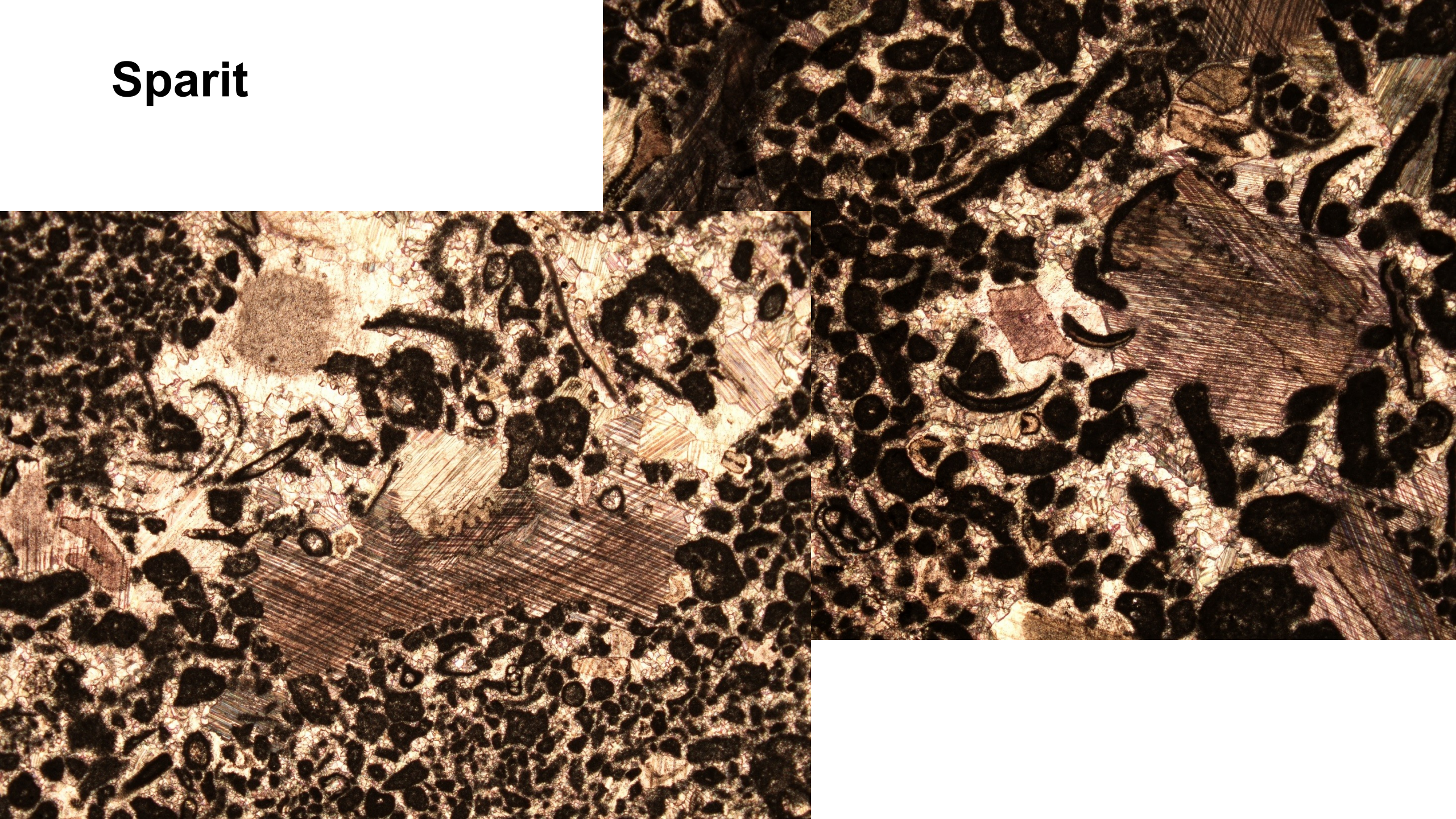


foto T.Kumpan

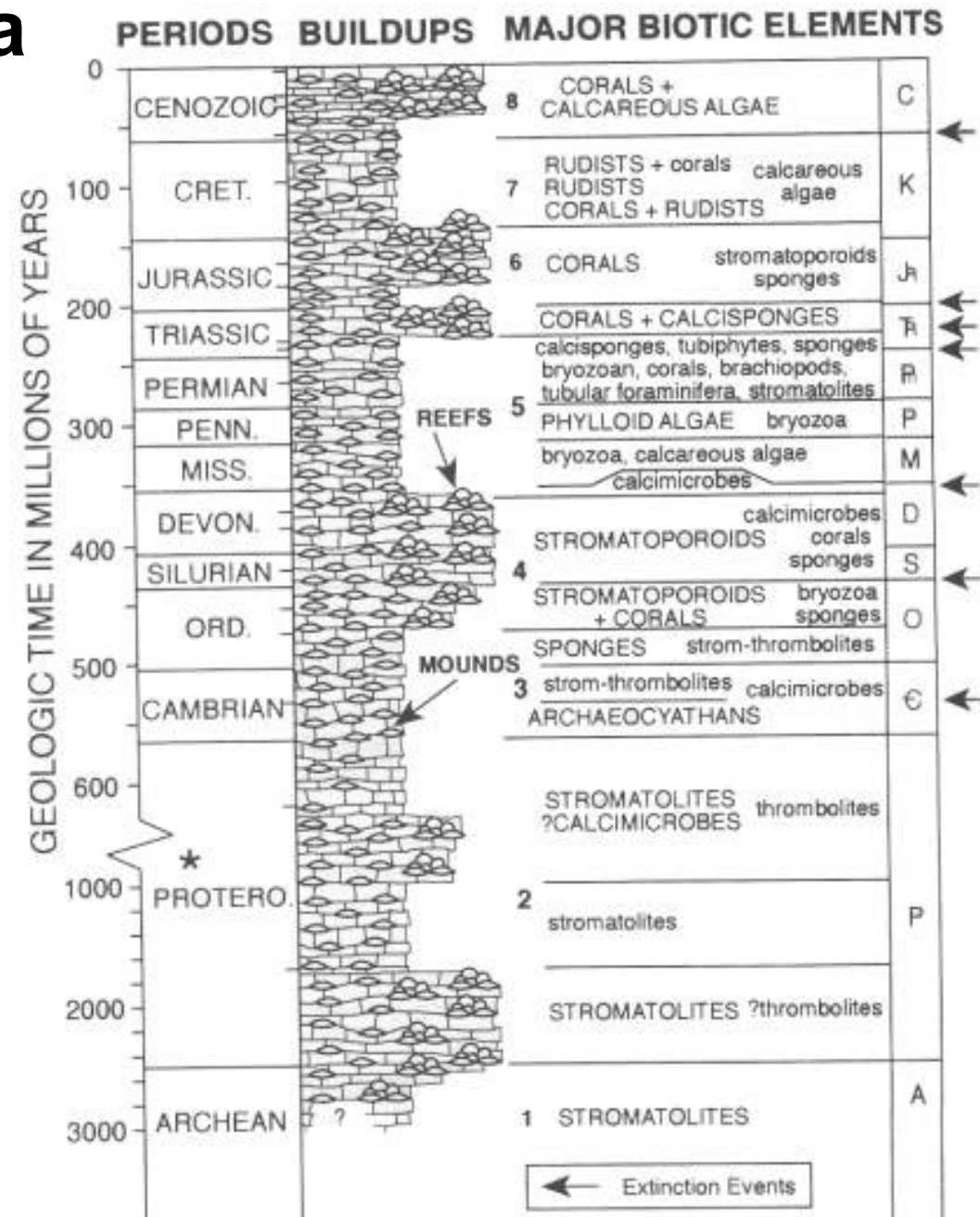
50 μm

Sparit



Mikrofacie a mikrofaciální analýza

- Mikrofacie - složení, znaky a vzhled karbonátových hornin v mikroměřítku, studované především na výbrusech, ale částečně i na drobných vzorcích lupou (či dobře trénovaným okem :)
- Mikrofaciální analýza karbonátových hornin
- Výrazná podobnost a analogie mezi současnými a fosilními karbonáty: „**Karbonátové nárůsty jsou jako Shakespeare; hry pokračují, jen se mění herci**“ (R. N. Ginsburg) + nutno dodat, že značný vliv má inspicient, který často rozhodne o tom, jak bude vypadat jeviště (např. rozhraní prekambrium/fanerozoikum; perm/trias ...)



Moderní karbonáty: povinná četba

- Studium současných karbonátových systémů je nezbytné pro porozumění těm fosilním
- ale platit to může i naopak, např. pro zodpovězení otázky, jak a kam se karbonátové systémy mohou vyvíjet, jakou intenzitou atd.
- Informace z recentních karbonátů jsou základem pro interpretace fosilních mikrofacií