

# Raznolikost morskih gmazova tijekom krede

---

**Kolić, Anita**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:284920>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-23**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Anita Kolić

**RAZNOLIKOST MORSKIH GMAZOVA  
TIJEKOM KREDE**

Seminar III  
Preddiplomski studij geologije

Mentor:  
prof. dr. sc. Aleksandar Mezga

Zagreb, 2021.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Seminar III

### RAZNOLIKOST MORSKIH GMAZOVA TIJEKOM KREDE

**Anita Kolić**

**Rad je izrađen:** Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, Horvatovac 102 a

**Sažetak:** Gmazovi su skupina kralježnjaka koja se pojavila krajem paleozoika, no svoj su vrhunac imali u razdoblju mezozoika koje se još naziva i era gmazova. Morski gmazovi su imali različite prilagodbe za život u vodi poput pluća, udova koji su se transformirali u peraje, te kleidoična jaja u kojima su mladunci bili zaštićeni. Bez obzira na niz prilagodbi, te njihove izvanredne veličine u odnosu na današnje gmazove, ipak su izumrli u masovnom krednom izumiranju što i danas još nije u potpunosti razjašnjeno.

**Ključne riječi:** kretanje, disanje, viviparnost, mozasauri, plesiosauri, ihtiosauri

**Rad sadrži:** 35 stranica, 15 slika

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

**Mentor:** prof. dr. sc. Aleksandar Mezga

**Ocjenjivači:** prof. dr. sc. Alan Moro, doc. dr. sc. Borna Lužar - Oberiter

**Datum završnog ispita:** 28. rujna, 2021.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### **Seminar III**

## **DIVERSITY OF SEA REPTILES DURING THE CRETACEOUS**

**Anita Kolić**

**Thesis completed in:** Faculty of Science, Zagreb, Horvatovac 102 a

**Abstract:** Reptiles are a group of vertebrates that appeared in the late Paleozoic, but reached their peak in the Mesozoic period, which is also called the era of reptiles. Marine reptiles had various adaptations for life in the water such as lungs, limbs that transformed into fins, and cleidoic eggs in which the cubs were protected. Despite a number of adaptations and their extraordinary size in relation to today's reptiles, they still became extinct in the mass Cretaceous extinction, which is still not fully clarified today.

**Keywords:** locomotion, respiration, viviparity, mosasaurs, plesiosaurs, ichthyosaurs

**Seminar contains:** 35 pages, 15 figures

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Geological Library, Department of Geology, Faculty of Science

**Supervisor:** prof. dr. sc. Aleksandar Mezga

**Reviewers:** prof. dr. sc. Alan Moro, doc. dr. sc. Borna Lužar - Oberiter

**Date of the final exam:** September 28, 2021.

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Kretanje.....	2
3. Testudini.....	4
3.1. Disanje.....	4
3.2. Evolucija.....	5
4. Talatosauri, mozasauri i ostali morski gušteri.....	6
4.1. Viviparnost Mosasauroida.....	7
5. Champsosaurs.....	9
6. Krokodili.....	10
6.1. Konvergencija zubala.....	12
6.2. Fiziologija i ponašanje.....	13
7. Plesiosaurs.....	14
7.1. Plivanje.....	14
7.2. Raznolikost plesiosaure.....	15
8. Ichthyosaurs.....	18
8.1. Plivanje.....	18
8.2. Raznolikost ihtiosaure.....	20
9. Zaključak.....	21
10. Literatura.....	22
11. Slike.....	24

# 1. Uvod

Kralježnjaci koji stanuju na zemlji ne okreću se životu u moru do razdoblja trijasa, ali se taj trend od tada više puta ponavljao. Mnogi vodozemci bili su vodeni u razdoblju trijasa, no malo ih je bilo morskih. Razlog tome vjerojatno leži u njihovim osmotskim odnosima. Gmazovi su bili bolje opremljeni za razvoj prilagodbi neophodnih za život u morskoj vodi. Ne samo da su imali učinkovita pluća koja su zamijenila njihove davno izgubljene škrge predaka, već su im se udovi lako pretvorili u peraje. Repovi su u nekim slučajevima stekli funkcije vrlo slične onima peraja i repovima riba. Nadalje, gmazovi su imali kleidoična jaja u kojima su mladunci bili u potpunosti zaštićeni. Ženke bi dolazile na obalu kako bi jaja zakopale u pijesak, a druge su razvile viviparnost gdje bi rađale žive mlade koji su se razvili iz jaja u tijelu majke.

Čimbenici koji su imali najveći utjecaj na način na koji će životinje evoluirati su, prvo, okoliš u kojem se životinje kreću i žive i, drugo, način na koji se hrane. Tetrapodni gmazovi su se razvili i prvi put diverzificirali na kopnu. Neki od njih su se zatim vratili u vodu i postali prilagođeni za plivanje, dok su drugi razvili krila i poletjeli u zrak poput ptica. Ne samo da je bilo mnogo mezozojskih vodenih gmazova, već ih je nekoliko postalo istinski morskim. To je uključivalo neke kornjače, plakodonte, notosaure i plesiosaure, morske krokodile i ihtiosaure koji su bili najprilagođeniji od svih. Ukupno sedam podrazreda ili redova, bilo u cijelosti ili u velikom dijelu, postalo je vodeno i vratilo se u vode u kojima su njihovi daleki preci izvorno evoluirali. Jedna od njih bila je obitelj Mesosauridae, čiji je primjer, *Mezosaurus* iz donjeg perma južne Afrike i Brazila, o kojem ćemo reći nešto kasnije. Drugi mezosaur, *Stereosternum*, pronađen je samo u južnom Brazilu što govori o pomicanju tektonskih ploča.

## 2. Kretanje

Mnogi gmazovi koristili su svoje udove kao vesla i plivali su relativno sporo. Kornjače su skoro pa letjele kroz vodu koristeći svoje prednje peraje, ali to im nije pridonijelo u brzini. Neki gmazovi poput pliosaure i ihtiosaure imali su pojednostavljeno, aerodinamično tijelo i bili su iznimno brzi. Plivali su pomoću spljoštenih tijela i repova poput ribljih. Najvažniji dijelovi za plivanje uključuju tri dijela: kralježnicu, aksijalnu muskulaturu koja se odnosi na mišiće trupa i repa i lateralne površine tijela uključujući i škrge. Kralježnica se može smatrati nizom krutih točaka pričvršćenih na način da se tijelo može savijati samo u poprečnoj bočnoj ravni. Cijeli rep u biti je skraćeni nastavak takvih jedinica. Jegulji ili kružni pokret sličan je zmijolikom kretanju. Smatralo se da se na taj način zmije i jegulje ne mogu kretati uglančanom površinom, ali budući da pojedini dijelovi tijela slijede put dijela ispred to je moguće.

Prema tome morski gmazovi podijeljeni su u četiri grupe prema obliku tijela koji je u ovom slučaju nazvan Bauplan. Svaki od njih je karakteriziran različitim načinom plivanja. Prva grupa sastojala se od posttrijaskih i nekih trijaskih ihtiosaure (sl. 1). Oni su imali duboka, aerodinamična tijela, najdublja u prsnoj regiji i sužena posteriorno od repne peraje. Pokretali su se oscilirajući repom, dok su se udovi poput peraje koristili uglavnom za upravljanje. Opći oblik tijela je bio u optimalnom rasponu kako bi se smanjilo povlačenje i za učinkovito plivanje. Vjerojatno su to bili najbrži morski gmazovi sposobni za stalno plivanje, grabežljivci koji su lovili ribe i drugi plijen na velikim površinama. Bauplan II (sl. 2) sadržavao je mozasaure, talatosaure, morske krokodile, pachypleurosaura i preostale trijaske ihtiosaure. Ove životinje su imale uska, izdužena tijela i duge, široke repove. Pogon je postignut valovitošću dijela ili cijelog tijela zajedno s repom. Slijedom toga, rep mogao biti upotrijebljen za iznenadni udar, a plijen je morao biti uhvaćen brzim naletima brzine. Bauplan III (sl. 3) su primjeri notosaura, pliosaure i plesiosaure. Ove životinje imale su ukočena, elipsoidna tijela s dva para produženih udova ili u obliku krila kod plesiosaure. Plivanje se sastojalo od modificiranog podvodnog "leta" donekle sličnog onom koji se nalazi među postojećim morskim lavovima. Nothosauri i plesiosauri imali su duge vratove i male glave, dok su pliosauri imali kraći vrat, veće glave i zbijenija tijela. Iako ne tako brzi kao ihtiosauri, ali poput njih, pliosauri su bili vjerojatno grabežljivci koji su lovili svoj plijen na velike udaljenosti. Nasuprot tome, drugi taksoni bili bi mnogo sporiji. Pokret njihovih vrata i glava moralo im je uzrokovati skretanje s kursa ako su se kretali prebrzo; tako zasjedali su svoj

plijen skriveno i zgrabili ga naglim pokretom vrata. Konačno, Bauplan IV (sl. 4), pronađen u plakodontima i morskim kornjačama koje su imale tijelo sabijeno dorzoventralno i prekriveno koštanim oklopom. Pogon je postignut veslanjem s udovima, iako su u nekih kornjača prednji udovi modificirani u 'krila', a pogon je bio podvodnim letom, čime je postignuta veća brzina. Plakodonti, kojima je nedostajalo takvih prilagodbi, bili su u nemogućnosti postignuti velike brzine ili ubrzanja i lovili su nepokretne školjke, te im zbog toga kretanje nije bio važan faktor u ishrani.



### 3. Testudini

Testudini ili Chelonia su drevni red gmazova za koje se dugo smatralo da pripadaju podrazredu Anapsida i stoga potječu od Captorhinidae ili kotilosaura. Kornjače i njihovi rođaci jedini su živi potomci ovoga raznolikoga taksona, a danas nema drugih anapsidnih gmazova. Chelonia vjerojatno potječe iz permske eunotosaurije, a prave kornjače pojavile su se tijekom srednjeg i kasnog trijasa (prije oko 220 milijuna godina) zajedno s ranim dinosaurima. Moderne kornjače nemaju zube, ali trijaski kelonijani *Proganochelys* i *Triassochelys* su još imali nekoliko zuba na nopcima. Tako je i imao Australochelidae iz kasnog trijasa u Južnoj Americi i rane jure u Africi, koji je i dalje zadržao neke zube nepca kao u *Australochelysa*. Zubi su nestali gotovo potpuno do razvitka jurskih oblika.

#### 3.1. Disanje

Zbog čvrstih ljuski, disanje predstavlja posebne probleme za testudine jer nije moguće pumpati zrak u i iz pluća pokretima prsa. Nadalje, pluća se prazne kada se one vrste koje mogu to učiniti, povuku glave i udove u oklop. Kornjača koja je napadnuta ili uznemirena možda će morati ostati u ovom stanju jedno vrijeme ili duže razdoblje, a to je, međutim, moguće zahvaljujući evoluciji niza fizičkih mehanizama koji su već morali biti prisutni u njezinim mezozojskim precima. To uključuje sposobnost podnošenja visoke razine ugljičnog dioksida u krvi. Kod drugih kralježnjaka oni povećavaju kiselost (ili smanjuju pH), no u kelonijana se ovaj učinak suzbija pomoću puferskog sustava bikarbonatnih iona, proteina u serumu i hemoglobina u krvi. Osim toga, kornjače su sposobnije potpunije napuniti i isprazniti pluća nego što većina ostalih kralježnjaka može. Posljedično, kada su glava i udovi povučeni, pluća u početku sadrže vrlo malo ugljičnog dioksida. Mišići kornjača često su iznenađujuće crveni zbog visokog sadržaja mioglobina. Ove životinje stoga mogu pohraniti značajne količine kisika, ne samo u hemoglobinu krvi već i u mioglobinu mišića. Osim toga, mogu imati „dug kisikom“, koji se kasnije otplaćuje zadihanim ili ubrzanim disanjem. Prilikom stvaranja duga kisika, energija se opskrbljuje mišićima anaerobnom pretvorbom ionizirane piruvične kiseline, s proizvodnjom mliječne kiseline koja se skladišti u mišićima i kasnije prenosi u jetru koja se oksidira. Iako je ovaj proces donekle otrovan, kornjače mogu tolerirati mnogo veće razine mliječne kiseline od većine drugih životinja. Suvremena kopnena

kornjača može dobrovoljno zadržati dah u razdobljima od 15 ili 20 minuta i na ovaj način se prilagoditi životu u vodi. Sposobnost provođenja dužeg vremena bez disanja su korisna, ne samo kopnenim organizmima reda Chelonia, koji mogu povući svoje ekstremitete kada su uznemireni, nego i vodenim vrstama, što omogućuje da dugo ostanu potopljeni. Ta se razdoblja produžuju za vrijeme bradikardije, što je zapravo usporavanje otkucaja srca, koja se automatski javlja kada vodene kornjače rone. Nadalje, ti gmazovi mogu ekstrahirati otopljeni kisik iz okolne vode kroz njihove bukalne sluznice ili tanku bradavičastu, kvržičastu kožu. Kretanje zraka u plućima i van njih postiže se na više načina. Tlak u plućima neprestano se mijenja otkucajima srca i pokreti pojasa udova, udova i vrata. Membrana iza pluća također može stisnuti ove organe uzrokujući izdah. U morskim kornjačama čija udovi se ne mogu uvući, moguće je neko proširenje pluća jer postoji skeletna fleksibilnost mosta između oklopa i plastrona odnosno donjeg dijela oklopa kornjače.

### 3.2. Evolucija

Red Chelonia je od svog razvoja evoluirao vrlo malo, ali je ipak preživjeo sve prirodne katastrofe koje su eliminirale toliko drugih gmazova tijekom mezozoika. Nema sumnje da se njihovi životni stilovi također nisu puno promijenili tijekom ere, ali *Proganochelys* i *Triassochelys* možda nisu razvili sposobnost uvlačenja glave, nogu i repa unutar oklopa potpuno isto kao što to čine napredniji moderni članovi reda Chelonia. Oba ova roda su pronađena u gornjotrijaskim keuperskim sedimentima u Europi. Od jure do danas, testudine možemo podijeliti u dvije glavne skupine, Pleurodira i Cryptodira. Pleurodira povlače glavu savijajući vrat bočno, dok ih Cryptodira savijaju vertikalno. Mezozojski gmazovi poznati su po svojoj velikoj veličini, a testudini su bili bez iznimke. Divovska kornjača *Archelon ischyrios* iz gornje krede Sjeverne Amerike bila je dugačka preko 4 metra i težila oko 3 tone iako joj je oklop sveden na okvir od rebara. Ova su rebra vjerojatno bila prekrivena debelim slojem gumene kože, kao što to posjeduje i postojeća kornjača *Dermochelys coriacea*. U moru je bilo manje grabežljivaca nego na kopnu u to doba, pa je veća manevarska sposobnost omogućena smanjenjem težine oklopa i time povećala obrambeni mehanizam. Nadalje, udovi su bili moćni s iznimno dugim, mrežastim dijelovima koji su oblikovali široke peraje za kretanje životinje kroz vodu. *Dermochelys coriacea*, najveća je živa kornjača, dužine do 2,1 metar i teži čak 4,5 kilograma.

## 4. Talatosauri, mozasauri i ostali morski gušteri

Gušteri i zmije i *Sphenodon*, tuatara nalik na guštera Novog Zelanda, svi su razvrstani u podrazred Lepidosauria koja je nastala u permu. Prvi poznati *Sphenodon* pojavio se u trijasi i imao je duge vitke udove, dok je *Pleurosaurus* iz kasne jure bio vodeni, čiji su udovi bili smanjeni dok je rep bio čak duži od izduženog tijela i vjerojatno korišten za pogon, te su neki rodovi imali čak i do 57 kralježaka. Imali su nozdrve koje su se otvorile na njušci blizu očiju, što je bila još jedna prilagodba životu u vodi. Prave guštere predstavljali su mozasauri poput poznatih *Tylosaurusa* (sl. 6) i *Thalattosaurusa*. *Thalattosaurus* iz gornjeg trijasa u Kaliforniji bio je nešto manji od *Tylosaurusa*, no oba su imala udove nalik veslu i izdužene lubanje. Kao i kod mnogih vodenih životinja, vrat i tijelo su bili dugački i vitki u *Thalattosaurusa*, rep izdužen tako da je životinja plivala poput jegulje, koristeći stopala uglavnom za upravljanje i kočenje, ali i na kopnu kad su životinje izašle na obalu snositi jaja. Drugi mezozojski morski gušteri slični varanidima bili su Aigialosauria i Dolichosauria. Oni su se pojavili u ranoj kredi i bile su male životinje, samo djelomično prilagođene morskom životu. Doista, čini se da su aigialosauri bili pretci mozasaura iz gornje krede, koji su bili među najspecijaliziranijim morskim gmazovima. Kako je vrijeme prolazilo, mozasauri su, poput mnogih drugih morskih kralježnjaka, postupno postajali sve veći, te je *Tylosaurus* dosegao duljinu preko 9 metara. Njihove prilagodbe također su uključivale i povlačenje nosnica u stražnji položaj na vrhu lubanje kao u *pleurosaurusa*, te modifikacija udova i širenje repa. Jasno je da su mozasauri bili vrlo učinkoviti plivači, probijajući se kroz vodu pomoću izduženog tijela i spljoštenog repa, te upotrebom njihovih udova za uravnoteženje i upravljanje.

Mozasauri su bili među najhrabrijim i najspremnijim predatorima mora gornje krede. Čeljusti su im bile vrlo dugačke i ispunjene nizovima snažnih stožastih zuba. Središte donje čeljusti bilo je poput zgloba, što je pridonijelo elastičnosti kako bi se mogli progutati veliki komadi hrane. Nema pronađenih fosila mladih mozasaura u morskim okolišima, što sugerira da su ženke možda napustile oceane i koristile rijeke za uzgoj mladunčadi koji su tada mogli svoje ranije dane života provesti u tom zaštićenijem okruženju prije nego što su se vratili u ocean. Poput modernih guštera i mnogih drugih gmazova, živućih ili izmurlih, mozasauri su se vjerojatno koristili svojim dugim repovima nalik na bič u obrani koja je bila učinkovita. Mozasauri bili su klasa vodenih mezozoičkih guštera koji su postigli najveću raznolikost tijekom santona i mastrihta, prije nego što su izmurli tijekom masovnog izumiranja na kraju krede zajedno s mnogim drugim klanama kralježnjaka. To su bili morski gušteri koji su

uključivali primitivne aigialosaure srednjih veličina i gigantske mozasauere. Veći mozasauri s perajama prelazili su veličinu svih postojećih guštera, u rasponu od 3 metra preko 13 metara u duljinu, i bili su vrhunski grabežljivci u mnogim morskim ekosustavima kasne krede. Premda su ostaci mozasaura otkriveni na svih sedam kontinenata, posebno raznolik sklop poznat je iz kasne kredne formacije Niobrara. Ostaci odraslih mozasaura obilno su očuvani u Smoky Hill pripadniku formacije Niobrara, ali otkrića mlađih primjeraka rijetka su. Ta nestašica mlađih primjeraka iz Niobrare navela je prve znanstvenike da pretpostave da su rodilišta mozasaura locirana negdje drugdje i da su odrasli možda putovali u unutrašnjost rijekama i penjali se na obalu kako bi položili jaja. U to vrijeme ovaj je scenarij pružio uvjerljivo objašnjenje rijetkosti mladih mozasaura na morskim fosilnim lokalitetima poput Niobrare, s obzirom da su gravidni predstavnici drugih morskih gmazova, poput ihtiosaure, pronađeni iz pelagičnih sedimenata, ali mozasauri nisu. Od tada su, međutim, pronađeni fosili mladunčadi na mjestima naseljenim odraslim mozasaurima unutar Niobrare i drugdje.

#### 4.1. Viviparnost Mosasauoidea

Mozasauri su bili veliki morski gmazovi koji su nastanjivali sve svjetske oceane tijekom kasne krede. Njihov uspjeh kao vrhovnih predatora pripisuje se njihovom brzom stjecanju vodenih prilagodbi, što im je omogućilo da postanu potpuno pelagični. Međutim, malo se zna o biološkom uzgoju izvedenih mozasaura koji nose peraje jer je zapis o neosiranim fosilima mozasaura iznimno oskudan. Ovdje izvješćujemo o fragmentarnim kranijalnim ostacima dvaju novorođenčadi mozasaura iz formacije Niobrara, koji se odnose na *Clidastes sp.* Usporedba s drugim preliminarnim izvještajima neonatalnih mozasaura otkriva da su ti primjerci među najmanjim jedinkama ikada pronađenim i zasigurno predstavljaju najmanje poznate primjerke. Pronalazak ovih iznimno mladih primjeraka iz pelagičnog okruženja ukazuje na to da su čak i novorođenčadi mozasaura zauzimali otvorena oceanska staništa i vjerojatno su rođeni u tom okruženju. Ovi podaci bacaju novo svjetlo na ekologiju neonatalnih mozasaura i ilustriraju stupanj u kojem su tafonomske i zbirne pristranosti povezane s veličinom utjecale na naše razumijevanje rane životne povijesti ovih kulturnih morskih gmazova.

Aigialosaur *Carsosaurus marchesetti* poznat je iz jednog primjerka prikupljenog u vapnencima blizu Komena u Sloveniji. To je bio najveći aigialosaur ikad poznat dužine oko 2 metra i imao je puno veće udove neg ostali poznati aigialosauri. Kostur izložen u ventralnom

pogledu vrlo je kompletan i savršeno spojen samo što nedostaje lubanja, te je zbog toga bila onemogućena usporedba sa ostalim aigialosaurima. Kornbuser (1893.) primjećuje da su se dobro očuvali mekši dijelovi tijela, poput ljuskica, te zamjećuje prisutnost malih skeletnih elemenata kralježnjaka u tjelesnoj šupljini za koje smatra da su sadržaji crijeva odnosno ostaci životinja kojima se *Carsosaurus* hranio. Međutim, 1996. grupa znanstvenika sumnja da su ti isti skeletni elementi jako dobro očuvani ostatci nekoliko embrija koji se nalaze u trbušnoj šupljini što je i potvrđeno 1999. godine. Ovi kredni morski gušteri su izvanredni zbog dvaju razloga. Prvi, iako se viviparnost razvila oko 100 puta unutar gmazova nikada nije bila sačuvana u fosilnom obliku. Drugi, budući da je viviparnost bila razvijena kod aigialosaura, velika je mogućnost da je postojala i kod puno naprednijih rodova poput mozasaura. Smatralo se da je viviparnost bila važna reproduktivna prilagodba koja je olakšala širenje ove velike i raznolike grupe morskih guštera unutar morskih okoliša. Obilni ostaci naprednih embrija sačuvani u trbušnoj šupljini ukazuju na to da je ova jedinka aigialosaura *Carsosaurus* trudna ženka blizu poroda (sl. 7). Prisutnost barem četiri mala guštera u trbušnoj šupljini potvrđena je postojanjem četiriju para čeljusti. Utvrđeno je da su svi aigialosauri zbog analiza na kosturima i udovima. Također su iste veličine, te su sačuvani u prirodnom položaju.

## 5. Champsosaurs

Tijekom kasnog permskog razdoblja istaknule su se dvije loze dijapsidnih gmazova, Lepidosauria i Archosauria. Među prvima bili su Choristodera, čudan sklop gmazova sličnih krokodilima koji su se odvojili od glavne linije tijekom razdoblja donje krede, prije nekih 140 milijuna godina. Jedan od uključenih rodova bio je *Champsosaurus* (sl. 8). Pojavio se u razdoblju kasne krede, a zadržao se do paleogena, točnije obitavao je u rijekama i močvarama Europe i Sjeverne Amerike od kampana do paleocena i izumro prije 50 milijuna godina. Imao je duge, uske čeljusti sa šiljastim zubima poput onih kod današnjeg modernog gavijala, *Gavialis gangeticusa*. Uske čeljusti prilagodba su za ishranu ribom. Bočnim zamasima glave uranjali su u vodu da bi postigli velike brzine pri hvatanju plijena. *Champsosaurus* je vjerojatno plivao kao i krokodili pomoću pojednostavljenog, valjkastog tijela i repa, te udova koje je čvrsto držao uz bočnu stranu tijela. Lubanja mu je bila velike površine, te se iza očiju pružalo veliko područje koje je služilo za pričvršćavanje snažnih mišića čeljusti i zbog toga je *Champsosaurus* bio sposoban zadati vrlo moćan ugriz. Vjerojatno se hranio pticama i sisavcima, kao i ribama poput gavijala.

## 6. Krokodili

More i slatke vode u razdoblju jure i krede prepune su riba i drugih životinja kojima su se hranili razni gmazovi, uključujući i krokodile. Sphenosuchia su bili takvi najraniji organizmi, od kojih se *Gracilisuchus* pojavio u srednjem trijasu Južne Amerike. Ovo sićušno stvorenje izvorno je klasificirano u red Ornithischia, zbog lagano građenog tijela i nesrazmjerno velike glave. Štoviše, bio je dvonožan i vjerojatno je lovio male guštere ubijajući ih njegovom snažnom čeljusti koja je sadržavala oštre, udubljene zube. Građa lubanje, vratnih kralježaka i zglobova udova nepogrešivo dokazuju da je to bio krokodil. Iznenadujuće je stoga da su preci pravih krokodila morale biti male, dvonožne životinje kao što su *Terrestrisuchus*, *Saltoposuchus* i druge Saltoposuchidae poznate iz gornjeg trijasa u Europi. Sve ove vjerojatno su se hranile malim gmazovima, kukcima i drugim člankonožcima. Unatoč općem izgledu i načinu života insektojeda, Saltoposuchidae, poput Sphenosuchidae, posjedovao je niz dijagnostičkih krokodilskih značajki što je uključivalo produljenje glavnih kostiju zgloba u elemente u obliku šipke, dok je zdjelica imala otvoren acetabulum (udubljenu zglobnu čašicu). Osim toga, postojao je niz krokodilskih specijalizacija u građi kostura.

*Terrestrisuchus* je bio manji i kompleksnije građen od *Gracilisuchusa*. Njegovo tijelo je bilo kraće, udovi dugi i tanki, a rep gotovo dvostruko veći od njegove glave i tijela zajedno. Lutao je po polusuhim ravnicama Europe tijekom kasnog trijasa, hvatajući insekte i male guštere sa svojim produženim čeljustima. Nema sumnje da se kretao uglavnom na četiri uda, ali poput svojih ekoloških ekvivalenata današnjeg guštera, basiliska, te guštera s ovratnikom, najveću bi brzinu postigao dvonožno. Smatra se da je sprintao na dvije noge, ne samo u potrazi za plijenom nego, što je još važnije, pri bijegu od predatora. Jedan od prvih pravih krokodila bio je *Orthosuchus* iz donje jure Južne Afrike. Bila je to mala, lagano građena, četveronožna životinja čiji su zadnji udovi bili duži od prednjih udova i time ukazivali na njezino dvonožno porijeklo i kretanje.

Samo četiri obitelji mezozojskih krokodila bile su potpuno morske, dok su *Teleosaurus* i *Metriorhynchus* među poznatijim primjerima. *Teleosaurus* iz donje jure Europe bio je po izgledu sličan gavijalu. Njegove snažne čeljusti bile su uske i izdužene, oštri zubi isprepleteni kad su usta bila zatvorena. Leđa su mu bila jako oklopljena, a prednji udovi kratki. *Metriorhynchus* iz srednje jure i njegovi potomci, geosauri, s druge strane, nisu imali debele oklope, a udovi su im se pretvorili u peraje, pri čemu je stražnji par udova bio duži od prednjih. Njihovi su se repovi razvili u peraje kao kod riba, te su ih koristili u plivanju. Peraje

su bile poduprte vrhom kralježnice, koja je bila nagnuta naglo prema dolje što je vrlo slično evoluciji kod Ichthyosauria. Fosili želučanog sadržaja pokazuju da se *Metriorhynchus* hranio amonitima, belemnitima, velikom ribom i pterosaurima. *Geosaurus* (sl. 9) je bio otprilike iste veličine kao *Metriorhynchus*, ali imao je još aerodinamičnije tijelo. Jedan fosilni primjerak iz južne Njemačke bio je ocrtan finim ugljikovim filmom što je sačuvalo oblik mesnatih udova dok je životinja bila živa. Plivao je snažnim mišićima aerodinamičnog tijela. Vjerojatno je da je *Metriorhynchus* imao poteškoća u hodanju po kopnu, ali se smatra da je naglim ubrzanjem kroz vodu hvatao glavonošce i ribe i time bio dobar predator. Eusuchia, ("pravi krokodili"), pojavili su se u kasnoj kredi, te su se odlikovali posjedovanjem sekundarnog nepca i bili su vrlo slični današnjim modernim oblicima. Nažalost, samo su lubanja i neki ulomci kostura pronađeni vrste *Deinosuchus*. Lubanja je bila 2 metra duljine, što ukazuje na životinju ukupne duljine 15 metara ili više ako su joj omjeri bili isti kao kod ostalih krokodila. Naseljavao je močvare u Sjevernoj Americi gdje je vjerojatno lovio dinosaure, osobito biljojede poput hadrosaura. Imao je sekundarno nepce koje bi mu dopuštalo otvoriti usta dok je pod vodom, bez gutanja vode što je vrlo napredna značajka, ali također pronađena i u postojećim oblicima. *Deinosuchus hatcheri* iz gornje krede Sjeverne Amerike vjerojatno je imao oko 15 tona i najveći je primjerak od svih poznatih krokodila.

Nema sumnje da su četiri vrste kretanja koja se nalaze u postojećim krokodilima bile prisutne i kod njihovih predaka. Postoje sljedeći:

1. rašireni, s udovima koji strše bočno
2. visoki hod, koji je normalan hod, s udovima uvučenim ispod tijela
3. trbušni trk u kojem se životinja vraća do raširenog držanja i klizi po površini tla, gurajući se samo stražnjim udovima dok brzo bježi u vodu
4. galop, koji je rijetko primijećen.

Poput plesiosaure i postojećih krokodila, mezozoički krokodili vjerojatno su gutali kamenje za ravnotežu. Oči modernih krokodila i aligatora imaju okomite zjenice, a vjerojatno je isto vrijedilo i za fitosaure i rane krokodile. Šarenica s okomitim otvorom zjenice karakteristična je za prvenstveno noćne životinje koje su također aktivne i tijekom dana. Kad je potpuno zatvorena, zjenica s prorezom može isključiti veći udio svjetla od kružne zjenice, a kada je potpuno otvorena dopušta više svjetla da uđe u oko i registrira se na mrežnici u većem postotku nego što je to kod oka s okruglom zjenicom. Time se povećava količina svjetlosti koja stimulira vizualne stanice i svjetlo se ponovno vraća kroz mrežnicu. Iz tog razloga, oči krokodila čine se kao da svijetle kad ih se noću osvijetli kad je zjenica proširena. Kada love



pod vodom, oči su im zaštićene prozirnim membranama, ali vid im može biti otežan u tamnoj, mutnoj vodi. Krokodili također imaju akutna osjetila mirisa i sluha. Olfaktivno područje mozga dobro je razvijeno, unutarnje uši jako razvijene, a slušni kanal se proteže preko glave. To vjerojatno pomaže u otkrivanju plijena, dok osjetljivost na široki raspon zvučnih frekvencija osigurava da mogu čuti mlade iz unutrašnjosti ljuske jaja pri njihovom izlijeganju.

## 6.1. Konvergencija zubala

Tamo gdje mezozojske gmazove danas u svijetu predstavljaju živi rođaci, kao u slučaju kornjača i krokodila, često je lakše zamisliti njihov način života od skupina ili vrsta bez živih predstavnika. Na primjer, većina vodenih grabežljivih četveronožaca ima duge čeljusti naoružane šiljatim zubima koji hvataju plijen i ubijaju ga. Malo njih ima zube prilagođene za rezanje tijela svog plijena, jer se oni ne mogu koristiti na objektima koji slobodno plutaju u vodi. Umjesto toga, za držanje i ubijanje plijena koriste se zubi poput onih u pasa. U nekim slučajevima postoji zubalo za drobljenje koje se koristi za otvaranje ljuštura mekušaca s tvrdom ljuskom i na rakovima. Mali plijen se raskomada tresući ga s jedne na drugu stranu, te komadići koje se tako otkinu gutaju se cijeli. Veći plijen se ne može raskomadati na ovaj način. Umjesto toga, grabežljivac odvaja komade. Na primjer, krokodili i njihovi ekološki ekvivalenti stalno se kotrljaju u vodi sve dok se dijelovi mesa ne otkinu s trupa njihova plijena. Obično se pretpostavlja da su krokodili, i da su uvijek bili, mesožderi. Obično posjeduju jednolično zubalo prepuno jednostavnih zuba u obliku klina, ali jedna vrsta iz donje krede Malavija jedinstvena je po tome što ima reducirano zubalo slično onome u sisavaca, jednostavnog ureza zubiju, te očnjaka u gornjoj čeljusti. Osim toga, njuška je bila iznimno kratka u usporedbi s onom drugih krokodila. Još jedna vrlo neobična značajka bila je pokretljiva čeljust koja je bila izdužena i dopuštala bi kretanje naprijed i natrag. Unutarnja prerada hrane mogla bi biti povezana s posjedovanjem sekundarnog nepca koje je moglo omogućiti disanje tijekom žvakanja, kao u živih sisavaca. Zbog takvog načina hranjenja, životinja je morala imati prilično specijaliziranu prehranu, ali ipak su je smatrali insektojednim grabežljivcem, možda zbog prisutnosti sjekutića i očnjaka. Međutim, postoji i pretpostavka da je ovaj krokodil mogao biti i biljojed. Lubanja je bila duljine oko 8 cm pa bi ukupna duljina životinje vjerojatno bila najmanje 40 cm budući da mu je njuška bila tako kratka što ukazuje više na hranu biljem.

Čeljusti slične kliještima sa zubalom mesoždera razvile su se kod mnogo različitih poluvodenih i vodenih skupina uključujući fitosaure, krokodile, plesiosaure i ihtiosaure, kao i u fosilnih ptica, modernih kitova itd. Zubi za gnječenje i mljevenje karakteristični su za plakodonte, mozasaure i morževe. Konačno, filtratori su se nalazili u brojnim svojcima. To ne čudi jer eliminira barem jednu trofičku razinu između predatora i primarnih proizvođača te izravno i učinkovito koristi te resurse. To se dogodilo kod nekih plesiosaura, pterosaura, a moguće i u mezosaura.

## 6.2. Fiziologija i ponašanje

Postojeći krokodili tradicionalno se smatraju relativno tromim životinjama koje većinu vremena provode ležeći čekajući plijen, ali zapravo mogu biti izuzetno aktivni kada situacija to zahtijeva. Imaju složene hijerarhijske sustave slične onima koji se nalaze u mnogim vrstama ptica i sisavaca, te muški krokodili sudjeluju u ritualnim teritorijalnim borbama, a složeno udvaranje prethodi parenju. Oba spola pomažu mladima kad je potrebno pri lomu njihove ljuske jaja, pokupe mladunce u ustima i odnose ih do vode gdje vrijeme provode u plićacima prije nego što im se dopusti da isplivaju u dublje dijelove, te se pazi na njih nekoliko mjeseci. „Ako su krokodili sa svojim tipično gmazovskim mozgom bili sposobni za tako složene obrasce ponašanja, nema razloga da ne pretpostavimo da dinosauri sa slično razvijenim mozgom nisu trebali voditi slično složene živote“, govori McGowan i zapravo potiče ljude na razmišljanje o tome i istinitost izjave. Oblici s relativno malim mozgom, kao što su sauropodi i stegosauri nisu imali užurban i kompliciran način života. Čini se da postoji neobičan trend u smjeru krokodilske evolucije bilo sa kopna na more, a odatle u slatku vodu. To je neizbježno moralo uključivati osmotske probleme i nije poznato kako su oni riješeni osim kod pravih krokodila. Žlijezda koja izlučuje sol, a koja nije bila ograničena samo na krokodile, vjerojatno je već bila prisutna u ranoj fazi evolucije arhosaurija i pridonijela je širenju preko morskih barijera nekoliko svojci čije podrijetlo nije bilo morsko. Gubitak topline važan je čimbenik morskih gmazova i živih krokodila koji nastanjuju samo tople vode. Isto je vjerojatno vrijedilo i za njihove jurske i kredne prethodnike jer nema dokaza da su oni ikada razvili mogućnost postojanja endotermije. To pomaže objasniti rasprostranjenost njihovih fosila.

## 7. Plesiosaurs

Plesiosaurs su klasa životinja krupnih tijela, koji su mesožderi, morski gmazovi, koji su bili važna sastavnica morskih ekosustava u cijelom svijetu tijekom jure i krede i poznati su po obilnim fosilnim ostacima. Fosilni zapisi i biologija plesiosaura bili su u središtu značajnih studija sve do otkrića prvog roda plesiosaura, *Plesiosaurus*. U posljednja dva desetljeća zabilježen je porast u proučavanju plesiosaura, uključujući ponovni opis i taksonomsku reviziju ključnih povijesnih primjeraka i vrsta.

Najopsežnija studija bila je Massareova pri čemu je brzine plivanja u plesiosaura i drugih gmazova određivao pomoću izračunavanja omjera finoće tipova tijela, te zatim uspoređujući taj omjer s optimalnim oblikom niskog otpora. Massare je to obrazložio na način da bi životinje s oblicima tijela malog otpora bile predatori, dok bi one izvan ovog raspona bile sporiye. Utvrđeno je da su pliosauromorfi mnogo bliži optimalnom obliku niskog otpora nego što je to bio slučaj pleziosauromorfa, što je Massarea dovelo do zaključka da su se te dvije skupine razlikovale prema strategiji lova. Glavna razlika između ovih životinja očituje se u njihovom fizičkom izgledu gdje su plesiosaurs imali duge vratove i sitne glave, a pliosaur je imao kratak vrat i izrazito veliku glavu.

### 7.1. Plivanje

Kretanje plesiosaura postavilo je predmet barem tri različite hipoteze koje će biti objašnjenje niže u tekstu. Budući da su im repovi bili relativno mali, njihove peraje velike i snažne, razumno se može pretpostaviti da su korištene za stvaranje potiska. U početku se mislilo da su plesiosaurs plivali udarajući udovima naprijed i natrag kao da su vesla. Peraje bi, naravno, pri tome morale biti rotirane u vodoravni položaj poput nogu patke, međutim, fosili ne ukazuju na to da se takva rotacija zaista dogodila (sl. 11 a). Rješenje problema predložio je Robinson (1975.) koji je predložio da su plesiosaurs „letjeli“ kroz vodu, kao i današnje kornjače i pingvini. U njihovom slučaju, peraja je ravna, aerodinamična, poput ptičjeg krila, sa zaobljenim prednjim rubom i suženim stražnjim krajem. Nalazi se pod određenim kutom u odnosu na horizontalu, tako da u hodu prema dolje stvara potisak i naprijed. U uzgonu kut prema horizontu je nagnut u obrnutom smjeru tako da se stvara manji potisak prema naprijed i stvara silu podizanja. Vrh peraje opisuje uzorak osmice, a svaka faza ciklusa proizvodi

podizanje i kretanje prema naprijed (sl. 11 b). U novije vrijeme Godfrey (1984.) je poboljšao ovaj koncept sugerirajući da je vrh peraje plesiosaurova možda opisivao put u obliku polumjeseca kao i peraje morskih lavova (sl. 11 c). Tvrdio je da plesiosauri ne bi mogli pomicati peraje gore-dolje u obliku osmice. To je bilo zato što su prsni i zdjelčni pojas bili teški, spljošteni dijelovi kosti povezani s nizom trbušnih rebara tvoreći masivnu, nepomičnu trbušnu ploču. Na njima su bili pričvršćeni snažni mišići koji su pokretali udove. Smatralo se da su plesiosauri mogli koristiti sve četiri peraje u pogonu jer im je putanja kroz vodu bila valovita. Slijedom toga na kretanje stražnjih peraja ne bi utjecala turbulencija vrtloga nastala udarima snage prednjih peraja. Dugi vratovi mnogih plesiosaurova otežali bi im plivanje pod vodom i održavanje pravoga kursa, jer ako bi skrenuli malo s jedne strane voda bi, udarajući koso po vratu, uzrokovala da još više skrenu, te se iz tog razloga obično prikazuju kako plivaju na površini. To uključuje korištenje više energije nego što je potrebno za plivanje pod vodom, ali razlika nije bila tolika kad su plesiosauri polako plivali. Da su se hranili crvima ili školjkama, dugim vratom sezali do dna, to bi riješilo problem ishrane, ali njihovi riblji zubi, međutim, bili bi prikladniji za hvatanje ribe i mekušaca slični lignjama. Međutim, te su životinje bile prebrze da bi lako bile uhvaćene osim u slučaju da su plesiosauri isturili svoj dugi vrat kako bi zgrabili takve životinje koje su proplivale pored njih. Iz fosilnih zapisa može se vidjeti da su plesiosauri, poput krokodila, gutali kamenje. Nema sumnje da su oni služili za suzbijanje prirodnog uzgona životinja. Nadalje, gastroliti, to je želudčano kamenje, možda je služilo za mljevenje školjki i sličnih namirnica. Nasuprot tome, ihtiosauri, koji su nastanjivali dublju vodu daleko od obale, nisu se služili gastrolitima. Ne samo da bi teže pronašli odgovarajuće kamenje za gutanje, ali i prehrana sastavljena uglavnom od lignji i riba im ne bi uzrokovala probavne poteškoće.

Otkriće brojnih fosilnih plesiosaurova beba i mladeži na jugu Australije sugerira da je to možda bilo uzgojno područje na koje su odrasle jedinke migrirale sezonski, poput migracije kitova uz obalu danas.

## 7.2. Raznolikost plesiosaurova

Prvi pravi plesiosauri iz gornjeg trijasa bili su veći od notosaura s kojima su bili u tako bliskom srodstvu, ako zapravo nisu i potjecali od njih. Duljina njihovih tijela kretala se od oko 2 do 15 metara. Red Plesiosauria sadržavao je četiri glavne obitelji: Plesiosauridae, Cryptoclididae, Elasmosauridae i Pliosauridae. Neki su imali duge vratove, drugi kratke.

Plesiosauridi, uglavnom poznati iz donje jure Europe, imali su male lubanje i prilično duge vratove dok je *Plesiosaurus* tipičan primjer. Cryptoclididae, poput *Cryptoclidusa* iz gornje jure Europe, imale su još duže vratove proporcionalno tijelu. Imale su 30 vratnih kralježaka, a lubanje su im imale šiljate njuške s nosnicama odmaknutim od vrhova. Elasmosauridae iz gornje jure Europe imale su još duži vrat. Na primjer, kod *Muraenosaurusa* vrat je bio dugačak koliko su tijelo i rep zajedno, a sadržavao je 44 kralješka. *Elasmosaurus* (sl. 12) iz gornje krede iz Azije i Sjeverne Amerike imao je još duži vrat koji se sastojao od 71 kralješka. To je nesumnjivo bio grabežljivac iz zasjede.

Nasuprot tome, pliosauri su imali vratove koji su se postupno smanjivali dok su peraje tijekom evolucije postajale sve veće i snažnije. Vrat donjojurske vrste *Macroplata* iz Europe sadržavao je 29 blago skraćениh kralježaka. Vitka lubanja nalik krokodilu bila je tek neznatno veća od dimenzija onima kod plesiosaurida. Iako manji od *Macroplata*, pliosaur *Peloneustes* iz gornje jure Europe i Amerike, imao je još kraći vrat sa samo 20-ak kralježaka, a puno većom glavom. Bio je aerodinamičnije građe od *Macroplate*, koja se morala hraniti uglavnom ribama, a zubi su joj bili manji i tupi. *Peloneustes* je bio bolje prilagođen za hvatanje lignji mekog tijela i za drobljenje amonita tvrde ljuške. *Kronosaurus* iz donje krede Australije najveći je poznati pliosaur, a ime mu dolazi od mitološkog Kronosa koji je proždirao svoju djecu. Lubanja mu je mjerila oko četvrtine ukupne duljine tijela i bio je veći i čak moćniji od *Tyrannosaurus rexa*.

Plesiosauridae, Cryptoclididae i Elasmosauridae hranile su se uglavnom mekušcima i ribama. Koristili bi svoje duge vratove za hvatanje plijena koji je plivao u njihovoj blizini, nesvjestan skorašnje zasjede, izbijajući ga iz ravnoteže. Njihovi dugi, šiljasti stožasti zubi isprepleteni u čeljusti bili su prilagodba za zadržavanje skliskih riba i glavonožaca u njima kad se čeljusti zatvore. Nasuprot tome, pliosauri su bili prilagođeni za duga plutanja i brzo plivanje. *Kronosaurus* i *Liopleurodon*, iz gornje jure Europe, s teškim glavama, kratkim vratovima i vitkim tijelima, bili su vrlo dobri u balansiranju i održavanju ravnoteže, te zasigurno ne grabežljivci koji sjede i čekaju poput ranijih pliosaurida i svih drugih plesiosaura. Vjerojatno su se hranili i glavonošcima, morskim psima i drugim ribama kao i na ihtiosaurima i manjim plesiosaurima. Sa svojim snažnim čeljustima i ostrim, zubima, Pliosauridae su imale lubanje oblikovane poput rešetke ojačane s pojasevima koji su odoljevali velikim silama nastalim tijekom grizenja. Plesiosauri su gotovo sigurno u velikom broju došli na obalu kako bi položili jaja u gnijezdima iskopanim u pijesku, kao što to čine i današnje morske kornjače. Kao što je već spomenuto, otkriće brojnih beba i mladih fosilnih

plesiosaure na jugu Australije sugerira da je to možda bilo uzgojno područje u koje su odrasle jedinke ženki migrirale sezonski. Kada bi bili na kopnu, bili bi mnogo ranjiviji zbog drugih mezozojskih gmazova nego kad su plivali u oceanu. Tek izlegli mladi suočili bi se sa opasnim putovanjem niz plažu do mora. Bez sumnje je sigurnost ovisila o brojnosti pa je izlijevanje moralo biti sinkronizirano odnosno u velikoj količini. Osim terestričkih gmazova, neprijatelji beba plesiosaure vjerojatno su bili krokodili i pterosauri dok su se odrasle jedinke u vodi morale suočiti s mozasaurima, krokodilima, većim plesiosaurima i ihtiosaurima.

## 8. Ichthyosaurs

Ihtiosauroi, zvani još i "riblji gušteri", bili su osebujna i visoko specijalizirana skupina, te najočitiji morski od svih gmazova i bez prijelaznih oblika između njih i njihovih dalekih terestričkih predaka. Evoluirali su u vrhunske morske grabežljivce, ali su u biti ostali isti oblikom tijela tijekom većeg dijela mezozoičke ere, oko 150 milijuna godina. Pojavili su se u donjem trijasu, počeli se širiti tijekom srednjeg i gornjeg trijasa, a bivaju nadjačani plesiosaurima, izumrvši nešto prije njih u gornjoj kredi dok su i plesiosauroi bili u opadanju prije masovnog izumiranja u kredi.

Ihtiosauroi su možda i bili endotermalni organizmi kakvi su vjerojatno bili i neki od većih teropoda i dinosaura. Nesumnjivo da su bili iznimno aktivni i da nisu zapravo homeotermni, te bi generirali znatnu količinu endotermalne topline kada bi lovili svoj brzi plijen. Nadalje, nesumnjivo su bili društveni, ako ne i potpuno društveni, te su zajedno plivali u velikim plovama kao što to čine i dupini.

### 8.1. Plivanje

Nema sumnje da su ihtiosauroi bili vrlo učinkoviti plivači. Njihove prilagodbe morskom životu bile su još veće i ekstremnije od onih kod plesiosauroa i njihov izgled je jako nalikovao ribama. Plivali su kao ribe, njihova tijela i repovi bili su specijalizirani za pogon, udovi su im bili spljošteni u peraje za balansiranje, dok im je leđna peraja služila za spriječavanje od kotrljanja. Za balansiranje i plivanje služili su se i repovima koje su pomicali s lijeve na desnu stranu, a ne gore dolje kao kitovi. Ihtiosauroi su imali obrnuti heterocerkalni rep koji im je služio za generiranje potiska za prevladavanje prirodnog uzgona što znači da su imali rep kojemu dva reznja nisu slična. Kad se vrh kralješka proteže u leđni, dorzalni reznj, kao i kod morskih pasa, ovaj je obično veći nego trbušni, ventralni reznj. Međutim, budući da je donji reznj blokiran više od krutog, gornjeg reznja, njegova okomita sila je veća, a rep stvara nagli potisak prema gore. Hrskavičnjače poput morskog psa, nemaju mjehuriće za plivanje pa su stoga teži od morske vode. Kad se zapravo ne kreću, miruju na dnu, ali tijekom plivanja, pomoću relativno krute prsne peraje, čiji presjek podsjeća na krilo aviona, podižu prednji dio tijela, dok heterocerkalna repna peraja podiže rep (sl. 14 a). Nasuprot tome, obrnuti heterocerkalni rep bi stražnji dio tijela spustio u vodu (sl. 14 b). Ihtiosaur koji pliva na površini može započeti ronjenje savijanjem repa prema dolje (sl. 14 c). To bi izazvalo pomak

glave prema dolje, tjerajući životinju duboko u vodu gdje bi se izvršile promjene u vodoravnoj razini plivanja promjenom nagiba prsnih peraja pri čemu bi one vjerojatno djelovale kao stabilizatori, održavajući tijelo ravno, ispravljajući pokrete gore i dolje kao i one s lijeve na desnu stranu i obrnuto. Učinkovitost nagnute ravnine ovisi o omjeru sustava podizanja i sile otpora koji raste s povećanjem površine. Duga, uska ravnina, poput krila zrakoplova, ima mnogo veći takav omjer nego kvadratna ravnina. Relativna mala širina u odnosu na duljinu izražava se također njihovim omjerom. Na primjer, ako je avion dugačak 10 jedinica i širok 10, imao bi omjer 1. S druge strane, ravnina dugačka 30 jedinica i široka 5 jedinica imala bi omjer stranica 6, te se iz toga može zaključiti da ravnine s visokim omjerima stranica stvaraju manje turbulencije nego one s niskim omjerom. Nadalje, omjer sustava podizanja i sile uzgona povećava se zahvaljujući aerodinamičnom profilu.

Kretanje životinja i u vodi i u zraku ovisi o gustoći medija u kojem putuju. Iako je voda više od 800 puta gušća od zraka, plivanje, pomalo iznenađujuće, uzrokuje manje trošenje energije od letenja. To je djelomično i zato što voda osigurava veći uzgon nego što to čini zrak. Životinje koje plivaju ne mogu utjecati na gustoću vode koja ih okružuje, ali leteće životinje mogu utjecati na gustoću zraka odabirom visine na kojoj lete. Zato ptice selice obično lete na relativno visokim nadmorskim visinama gdje je gustoća atmosfere manja. Budući da se otpor povećava s površinom poprečnog presjeka tijela, kao i sa brojem i veličinom vanjskih izbočina, poput peraja, brze vodene životinje, imaju tendenciju da budu izdužene i da mogu uvući peraje ili ih spljoštiti uz tijelo pri brzom plivanju. Prsne i trbušne peraje ihtiosaure bile su nagnute koso prema dolje, poput pera na strelici za pikado. Otklanjale bi se od ravnine kad god bi tijelo skrenulo iz predviđenog smjera i generirale bi ispravljajuće sile kako bi tijelo vratilo na pravi kurs. Budući da su imale specifičnu orijentaciju mogle su ispraviti i okomita i bočna kretanja. Ugladeno tijelo s visokim omjerom širine i duljine nije bilo karakteristično za sve ihtiosaure. Neki od ranih oblika, kao što je *Stenopterygius megacephalus*, iz donje i srednje jure Europe, imao je veliki rep sa umjerenim omjerima širine i duljine, te je jasno da nije bio prilagođen na duga plutanja kao i većina kasnijih ihtiosaure. Za razliku od njega *Stenopterygius hauffianus* je bio plivač vrlo visoke izdržljivosti. Rep mu je bio vitak i imao omjer širine i duljine kao kod moderne sabljarke.

Poznato je da dupini i morske pliskavice više puta iskaču iz vode dok plivaju. Taj proces im je potreban za disanje pri putovanju velikom brzinom. Kada bi kao kitovi tijelo izlagali na površinu da dišu preko otvora za disanje tada bi tijelo bilo izloženo velikom otporu, stvorila bi se prevelika turbulencija i brzina bi pala ispod kritične brzine za učinkovito plivanje. Štoviše,



takvo izranjanje može zapravo uštedjeti energiju smanjenjem otpora koji je znatno veći u vodi nego u zraku, čak i pri velikim brzinama. Što je skok duži, manji je gubitak energije i brzine i vjeruje se i da su se i ihtiosauroi koristili ovim procesom i jedino zbog hrane zaranjali u dublje dijelove mora.

## 8.2. Raznolikost ihtiosauroa

Od svih gmazova, ihtiosauroi su bili najviše specijalizirani za morski način života, te nikada nisu prešli na kopneni način života, a u moru su ovoviviparnim putem rađali mlade. Bebe su razvijale rep prvi, kao i kitovi, jer da su najprije razvili glavu, utopile bi se. Vanjske nosnice bile su postavljene u blizini očiju tako da su se morali samo vrlo malo probiti kroz vodenu površinu kako bi mogli disati. *Mixosaurus* iz donje do srednje jure s područja Europe, Azije i Sjeverne Amerike bio su jedan od najranijih ihtiosauroa. Bio je mali, bez mogućnosti savijanja repa i imao je primitivne udove s pet „prstiju“ koji su produženi dodatkom mnogih manjih kostiju što se naziva hiperfalangija. Ogroman *Cymbospondylus* također iz sjeverne Europe i Amerike, bio je sličan ribi, mogao savijati rep i eventualno imao leđnu peraju. S druge strane, *Mixosaurus* je sa sigurnošću imao leđnu peraju. Prednje peraje bile su duže od stražnjeg para, a uske šiljaste čeljusti bile su dobro naoružane brojnim ostrim zubima prilagođenim za lov ribe. Ovi zubi bili su postavljeni svaki u svoj utor. Oči *Mixosaurus*a bile su vrlo velike i okružene sklerotičnim prstenom koštanih ploča. Ovo ne samo da je pomoglo u fokusiranju, nego je zaštitilo meka tkiva od pritiska vode kad je životinja duboko zaranjala. Niti jedan od ovih ranih ihtiosauroa nije se mnogo razlikovao od njihovih potomaka u juri i kredi. Broj rodova u jurskom i krednom razdoblju bio je veći nego u trijasu. Nekoliko stotina potpunih fosilnih kostura *Ichthyosaurus spp.* bilo je pronađeno u blizini Holzmadena u škriljevcima južne Njemačke. Male kosti nerođene mladunčadi od kojih neka izviru iz tijela ženki sačuvani su u velikom broju. Čini se da ihtiosauroi krede pripadaju jednom rodu, *Platypterygius* (sl. 15) koji je bio široko rasprostranjen. Najpoznatije vrste su *P. americanus* iz Sjeverne Amerike i *P. australis* iz Australije. Ovo su bile posljednje preostale vrste ihtiosauroa prije nego što je skupina izumrla tijekom gornjeg dijela krede, oko 25 milijuna godina prije kraja razdoblja. *Platypterygius spp.* imao mali rep i neobično dugačke, uske peraje. Stoga je možda bio prilagođen na plovidbu na velike udaljenosti. Peraje su bile robusne i pričvršćene s velikim prsnim pojasem, pa su se možda koristile za veslanje, a ne upravljanje.

## 9. Zaključak

Tijekom razdoblja mezozoika postojale su dvije skupine grabežljivih životinja, a to su bili grabežljivci iz zasjede ili grabežljivci koji čekaju, od kojih su mnogi bili sposobni iznenaditi plijen, te su dominirali u velikim predatorskim zajednicama srednjeg trijasa i gornje krede. Druga skupina su bili grabežljivci koji su lovili svoj plijen i bili su dominantni u razdoblju donje jure. Najveći mezozojski morski gmazovi bili su pliosaur *Kronosaurus* i ihtiosaur *Shonisaurus* koji su dosegli duljinu od oko 15 metara. Mezozojski morski gmazovi bili bi ograničeni s hranjenjem s većim pojedinačnim komadima plijena za što su bili dobro prilagođeni.

Na prvi pogled moglo bi se činiti čudnim da su ihtiosauri, koji su bili tako visoko prilagođeni morskom životu, izumrjeli prije plesiosaure. Međutim, tijekom svog postojanja ihtiosauri su zauzimali homogenije okruženje od okruženja plesiosaure i, posljedično, pokazali mnogo manje raznolikosti u fosilnim zapisima. Postoji oko 38 postojećih vrsta pliskavica i dupina, te 31 vrsta tuljana, morževa i morskih lavova koji sadrže ekološke ekvivalente plesiosaure. Ove razlike vjerojatno nemaju velikog značaja, ali nesumnjivo postoji veća morfološka raznolikost među plesiosaurima nego među ihtiosaurima. Budući da su posljednji ihtiosauri nestali oko 25 milijuna godina prije kraja krede, plesiosauri su pronađeni u kasnom mastrihtu pri samom kraju razdoblja, iako su bili znatno smanjeni i brojem i raznolikošću do tada. To sugerira da je došlo do postupnih klimatskih promjena pred kraj krede. Razina mora očito je pala relativno brzo i klima je postala promjenjivija. Prehrambeni lanac je bio nepovoljno pogođen u cijelom svijetu, a to je možda i bio uzrok izumiranja ovih divovskih morskih gmazova iz mezozoika.

## 10. Literatura

CALDWELL, M.W. and LEE, M.S.Y. (2001.): Live birth in Cretaceous marine lizards (mosasauroids)

CLOUSSLEY-THOMPSON, J.L. (2005.): Ecology and Behaviour of Mesozoic Reptiles

FIELD, J.D., LEBLANC, A., GAU, A. and BEHLKE, A.D. (2015.): Pelagic neonatal fossils support viviparity and precocial life history of Cretaceous mosasaurs

O'KEEFE, F.R. (2002.): The evolution of plesiosaur and pliosaur morphotypes in the Plesiosauria (Reptilia: Sauropterygia)

TUTIN, S.L. and BUTLER, R.J. (2017.): The completeness of the fossil record of plesiosaurs, marine reptiles from the Mesozoic

<https://en.wikipedia.org/wiki/Archelon>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Proganochelys>

[https://www.google.com/search?q=dermochelys+coriacea&sxsrf=AOaemvJEPZqtIjIUjSfzjA BYVF6lSQ11Ng:1632419872162&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwidt-r01ZXzAhUx8bsIHfLEBGgQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgrc=p dcpBeWfOPBQvM](https://www.google.com/search?q=dermochelys+coriacea&sxsrf=AOaemvJEPZqtIjIUjSfzjA BYVF6lSQ11Ng:1632419872162&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwidt-r01ZXzAhUx8bsIHfLEBGgQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgrc=p dcpBeWfOPBQvM)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Leatherback\\_sea\\_turtle](https://en.wikipedia.org/wiki/Leatherback_sea_turtle)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Pleurosauros>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tuatara#/media/File:Tuatara\\_\(5205719005\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tuatara#/media/File:Tuatara_(5205719005).jpg)

<https://www.google.com/search?q=Tylosaurus&sxsrf=AOaemvIjR8Vkp7xdR4KpK4CBBJN NiZPclA:1632420830832&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjcjvu92ZXzAhX>

[Q26QKHQMBBI4Q\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=568&dpr=1#imgcr=pkM1m46hn8qDsM](https://www.google.com/search?q=Teleosaurus&sxsrf=AOaemvJgmNOTqFupOjygrXc49Dj7Ek7GEQ:1632483814298&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiXz-iOxJfzAhVONowKHbp2BPgQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgcr=ktZrz-o17GL-TM)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tylosaurus#/media/File:Bunker\\_Tylosaur.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Tylosaurus#/media/File:Bunker_Tylosaur.png)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Thalattosaurus#/media/File:Thalattosaurus\\_alexandrae\\_life\\_restoration.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Thalattosaurus#/media/File:Thalattosaurus_alexandrae_life_restoration.jpg)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Champsosaurus#/media/File:Large\\_williston\\_champsosaurus.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Champsosaurus#/media/File:Large_williston_champsosaurus.jpg)

[https://www.google.com/search?q=Teleosaurus&sxsrf=AOaemvJgmNOTqFupOjygrXc49Dj7Ek7GEQ:1632483814298&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiXz-iOxJfzAhVONowKHbp2BPgQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgcr=ktZrz-o17GL-TM](https://www.google.com/search?q=Teleosaurus&sxsrf=AOaemvJgmNOTqFupOjygrXc49Dj7Ek7GEQ:1632483814298&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiXz-iOxJfzAhVONowKHbp2BPgQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgcr=ktZrz-o17GL-TM)

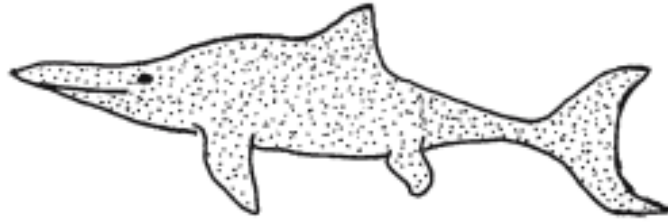
[https://www.google.com/search?q=Metriorhynchus&sxsrf=AOaemvIBzHA15Q1RfsObjDyKWskHGc4HcA:1632483971911&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj41\\_zZxJfzAhVJnaQKHbfwBM0Q\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgcr=dQDvLz5Rhrkjm](https://www.google.com/search?q=Metriorhynchus&sxsrf=AOaemvIBzHA15Q1RfsObjDyKWskHGc4HcA:1632483971911&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj41_zZxJfzAhVJnaQKHbfwBM0Q_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgcr=dQDvLz5Rhrkjm)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Geosaurus>

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kronosaurus.jpg>

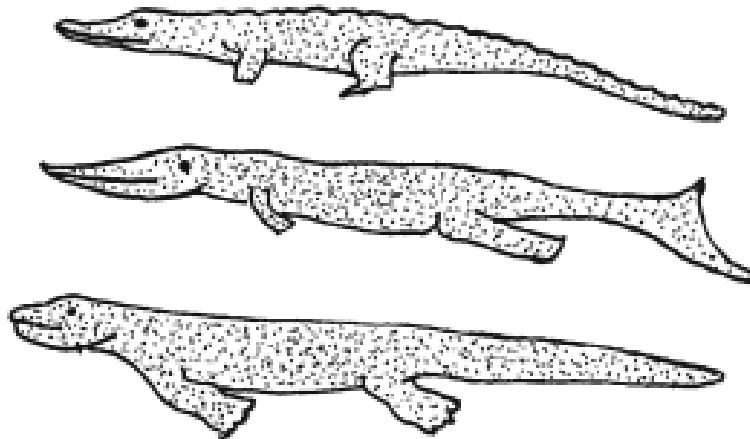
<https://australian.museum/learn/dinosaurs/fact-sheets/platypterygius-australis/>

## 11. Slike



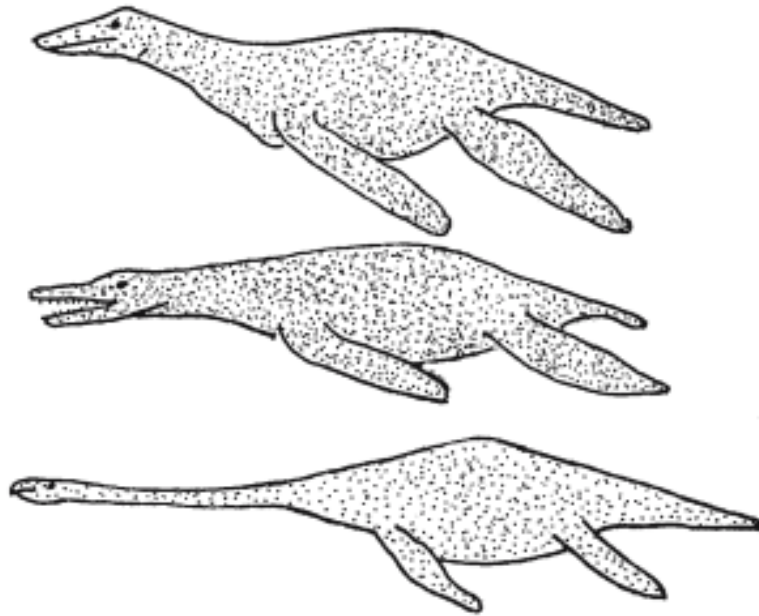
### **Bauplan I**

Slika 1. Način kretanja ihtiosaure koji se naziva Bauplan I



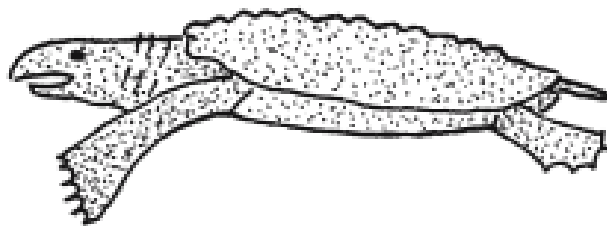
### **Bauplan II**

Slika 2. Način kretanja mosasaura i krokodila koji se naziva Bauplan II



### **Bauplan III**

Slika 3. Način kretanja pliosaúra i plesiosaúra koji se naziva Bauplan III

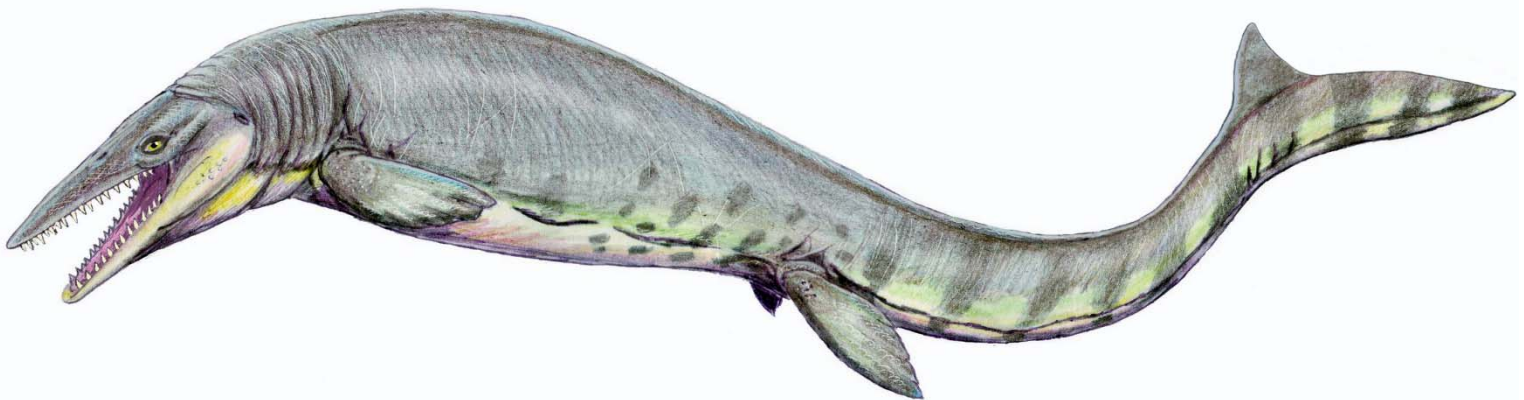


### **Bauplan IV**

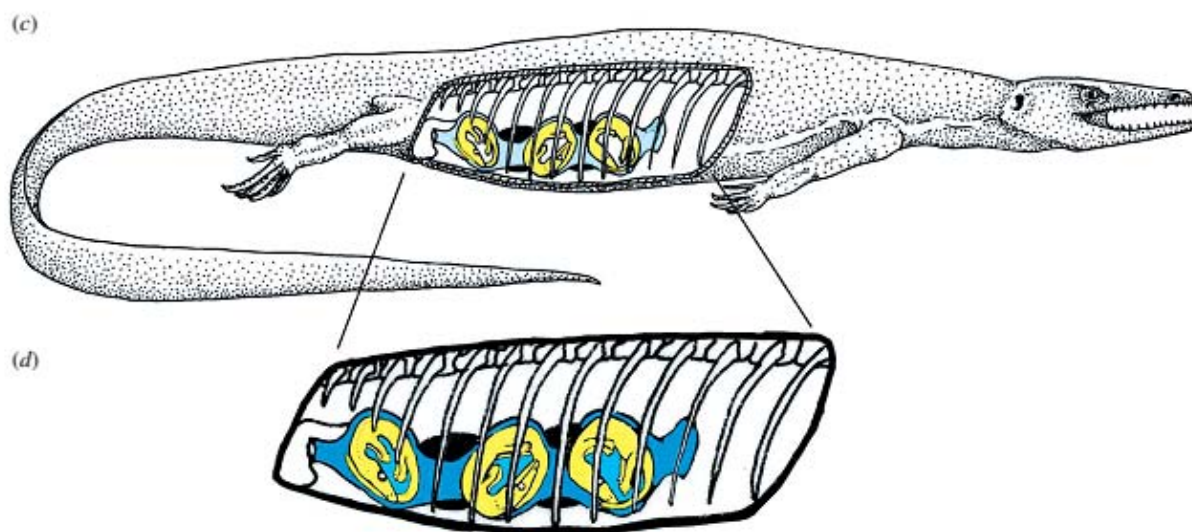
Slika 4. Način kretanja morskih kornjača koji se naziva Bauplan IV



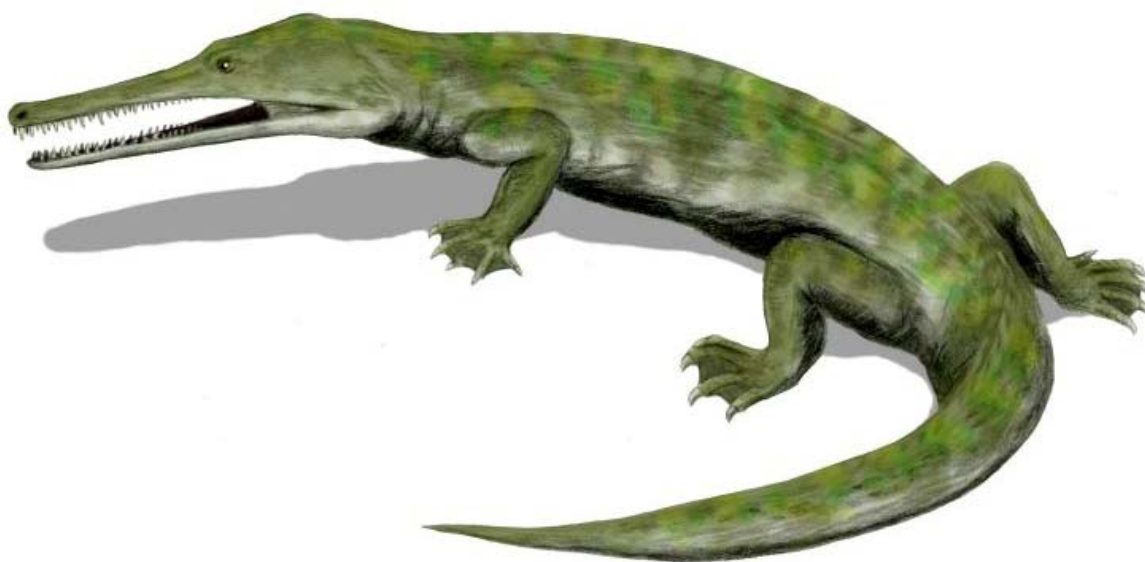
Slika 5. *Archelon ischyrios*, divovska kornjača iz gornje krede duljine preko 4 metra i težine oko 3 tone



Slika 6. *Tylosaurus*, mozasaur iz razdoblja kasne krede duljine preko 9 metara



Slika 7. Aigialosaur *Carsosaurus marchesetti*, ženka krednog morskog guštera s nekoliko embrija u trbušnoj šupljini

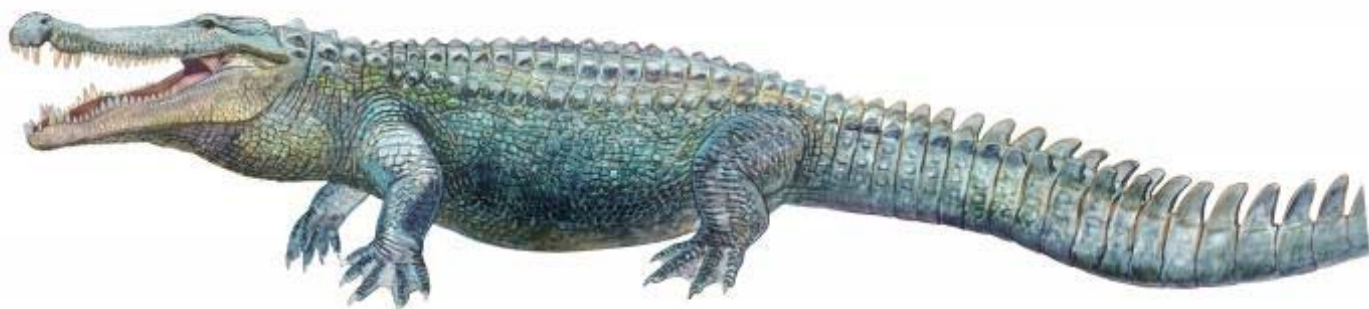


Slika 8. *Champsosaurus*, gornjokredni gmaz sličan krokodilu duljine oko 1,5 metara

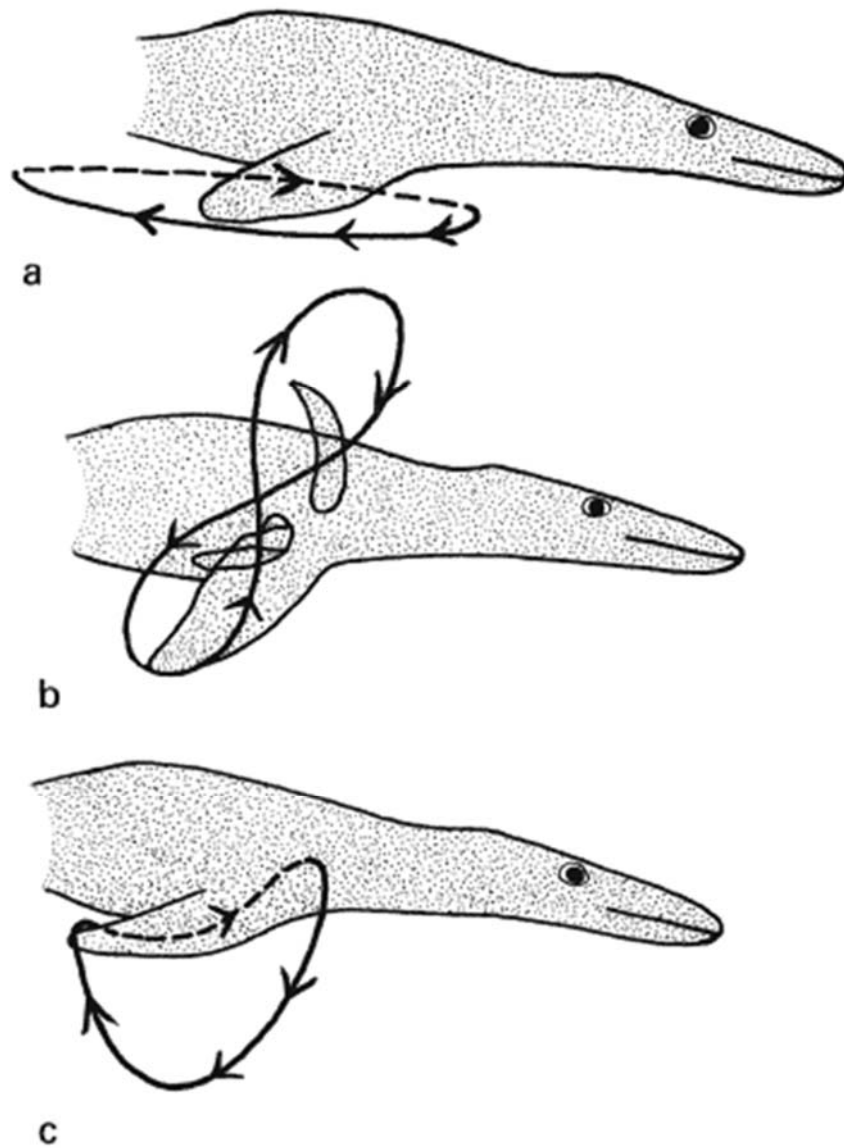




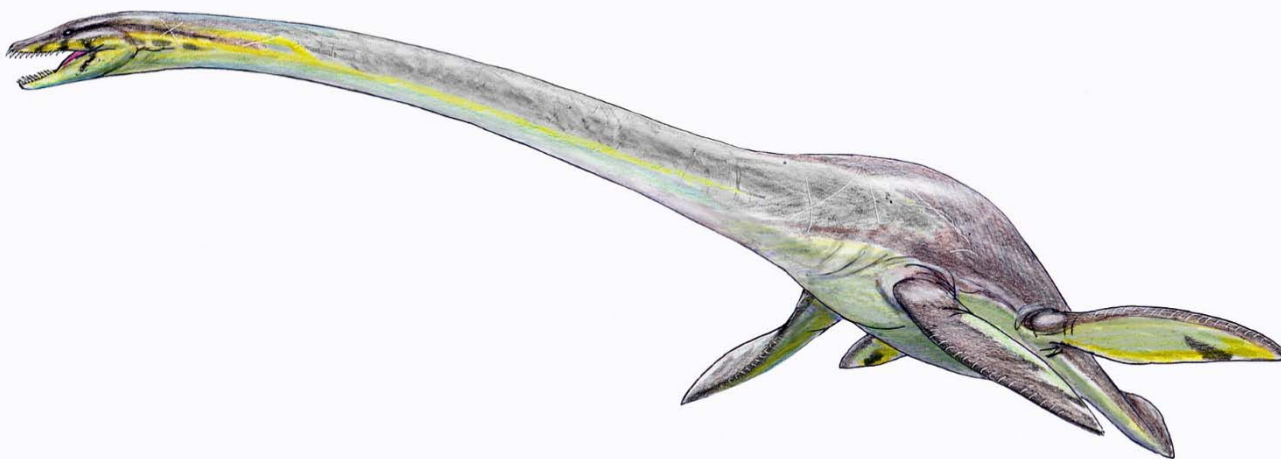
Slika 9. *Geosaurus*, donjokredni morski gmaz duljine oko 3 metra



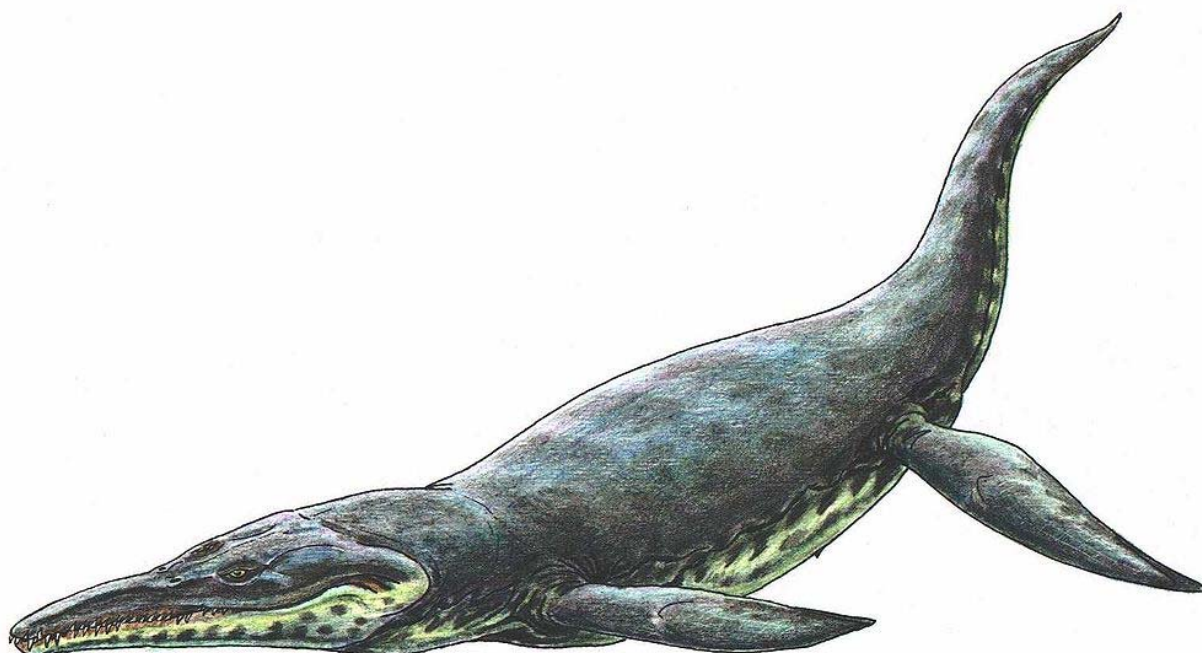
Slika 10. *Deinosuchus*, prvi „pravi krokodil“ iz razdoblja gornje krede duljine oko 15 metara



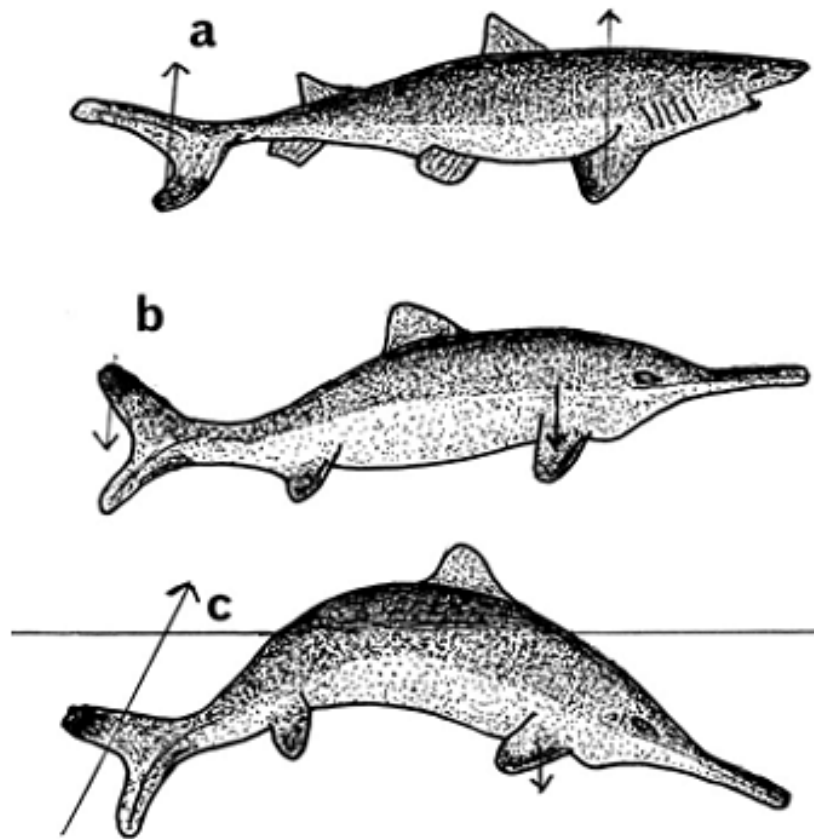
Slika 11.a-c. Tri hipoteze plivanja plesiosaurova: (a) kao patka udarajući udovima naprijed-natrag, (b) „leteći“ kroz vodu kao današnji pingvini gdje peraja opisuje oblik osmice i (c) poput morskih lavova pomičući peraju u obliku polumjeseca



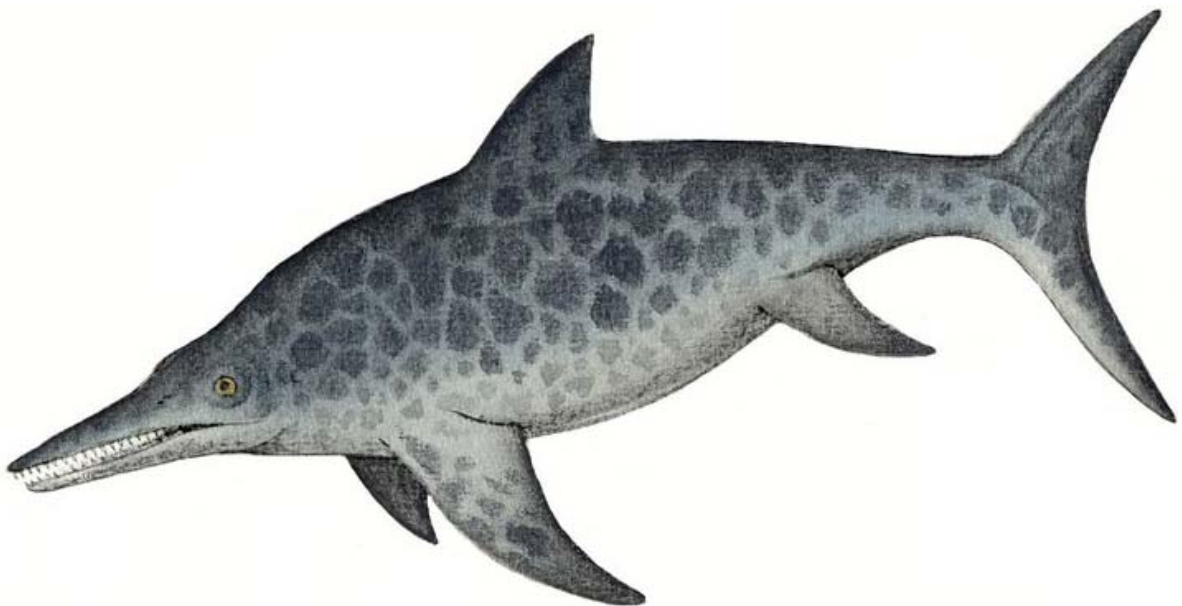
Slika 12. *Elamosaurus*, plesiosaur iz gornje krede čiji se vrat sastojao od 71 kralješka



Slika 13. *Kronosaurus*, najveći pliosaur iz razdoblja donje krede duljine oko 10 metara



Slika 14. a-c. Usporedba plivanja morskoga psa i ihtiosaure: (a) morski pas s viškom kilograma koji suzbija djelovanje sila prema gore pomoću prsne i repne peraje, (b) plivanje ihtiosaure vodoravno s prirodnim uzgonom suprotstavljajući se potisku prema dolje pomoću repne i prsne peraje i (c) zaranjanje ihtiosaure



Slika 15. *Platypterygius*, gornjokredni ihtiosaur duljine oko 7 metara