

Promjene u morfologiji ptica od perioda jure do danas

Trčak, Tea

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:217:848236>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Tea Trčak

**Promjene u morfologiji ptica
od perioda jure do danas**

Završni rad

Zagreb, 2023.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa Znanosti o okolišu na Geološko-paleontološkom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom doc. dr. sc. Karmen Fio Firi i doc. dr. sc. Ankice Oros Sršen

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Završni rad

Promjene u morfologiji ptica od perioda jure do danas

Tea Trčak

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Nalazi roda *Archaeopteryx* predstavljaju prvi fosilni zapis ptica. Od jure kada je ovaj rod živio, do sadašnjosti gdje su ptice bitan dio mnogih ekosustava, mnogo se promijenilo u morfologiji ptica i njihovom načinu života. U početku njihova razvoja, praptice su dijelile mnoge karakteristike s dinosaurima, kao što su zubi u kljunu i kralješci u repu, no već u kredi se većina tih karakteristika gubi. Razvoj sposobnosti letenja započeo je kao ublažavanje pada i skakanje s jedne površine na drugu dok se nisu razvile brojne prilagodbe, kao redukcija kostiju i aerodinamično perje koje je pticama omogućilo spretan i okretan let. Praptice izgledom podsjećaju na spoj gmazova i ptica, no početkom kenozoika poprimaju karakteristike modernih ptica. Sistematika ptica je kompleksna i bazira se na komparativnoj anatomiji i DNK analizama te još uvijek postoje brojne nedoumice oko veza između pojedinih grupa unutar jedne od najbolje istraženih skupina životinja na svijetu. Ovaj rad daje uvid u razvoj ptica od perioda jure, kada se prvi puta pojavio rod *Archaeopteryx*, do modernog doba kada ptice postižu najveću razinu diversifikacije.

Ključne riječi: rod *Archaeopteryx*, fosili, usporedba, let, kostur, razvoj

Mentori: doc. dr. sc. Karmen Fio Firi, PMF, Geološki odsjek
doc. dr. sc. Ankica Oros Sršen, HAZU

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Bachelor thesis

Changes in morphology of birds from Jurassic till present

Tea Trčak

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

The genus *Archaeopteryx* represents the first fossil record of birds. From the Jurassic, when the genus first appeared, to the present, where birds are an essential part of many ecosystems, much has changed in the morphology of birds and their way of living. At the beginning of their development, the first bird shared many characteristics with dinosaurs, such as teeth in their beaks and vertebrae in their tails, but shortly after, in the Cretaceous, most of these characteristics were lost. The ability to fly began as cushioning the fall and jumping from one surface to another until numerous adaptations such as bone reduction and streamlined feathers developed that allowed birds to fly nimbly and elegantly today. First birds look like a combination of reptiles and birds, but at the beginning of the Cenozoic they took on the characteristics of modern birds. The systematics of birds are complex and are based on comparative anatomy and DNA analysis, but there are still many questions about the connections between individual groups within one of the best-studied animals in the world. This scientific paper provides an insight into the development of birds from the Jurassic period, when the genus *Archaeopteryx* first appeared, to the modern era, when birds reach the highest level of diversification.

Keywords: *Archaeopteryx* genus, fossils, comparison, flight, skeleton, development

Mentors: doc. dr. sc. Karmen Fio Firi, PMF, Geology department
doc. dr. sc. Ankica Oros Sršen, HAZU

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Dinosauri nalik pticama.....	2
3. Rod <i>Archaeopteryx</i> i njegove značajke	4
4. Razvoj i promjene ptica kroz povijest	7
4.1. Razvoj sposobnosti leta	8
4.2. Kreda; period nadogradnje	9
4.3. Kenozoik; era eksperimentiranja i diversifikacije	10
5. Utjecaj čovjeka na razvoj ptica.....	13
6. Usporedba modernih ptica i njihovih predaka.....	16
7. Zaključak.....	19
8. Literatura	20
9. Životopis.....	23

1. Uvod

Ptice čine skupinu kralježnjaka koja posjeduje kombinaciju prilagodba koje nema niti jedna druga skupina na Zemlji. Perje, let, jaja i kljun samo su neka od obilježja prema kojima ih prepoznajemo i kojima su se uspješno prilagodile životu u zraku i raznovrsnim ekološkim uvjetima po cijelom svijetu, kao što su niske temperature na Antartici, manjak kisika na visokim vrhovima planina, ali i gradovima u moderno vrijeme. No, takvi procesi razvoja i prilagodba nisu se mogli dogoditi u kratkom vremenu. Prvi fosilni nalaz koji je upućivao na ptice pronađen je 1860. godine (Padian i Chiappe, 1998a). Radi se o peru koje je datirano na prije oko 150 milijuna godina, odnosno period jure. Samo godinu dana kasnije pronađen je cjeloviti kostur koji je dao uvid u blisku povezanost dinosaura i ptica koju tadašnji znanstvenici i stručnjaci nisu mogli u potpunosti prihvatiti. Daljnjim istraživanjima, i uz pomoć novih nalaza, došlo je do općeg prihvaćanja ideje da su ptice proizašle iz malenih teropodnih dinosaura (Padian i Chiappe, 1998a).

Ptice su se nastavile razvijati i već u periodu krede postoje raznolike vrste prilagođene na uvjete koji su bili vlažniji i topliji od današnjih. Neke su se razvile u spretne šumske vrste koje su mogle jedriti sa jednog drveta na drugo dok su se druge specijalizirale za lov u vodi (Brusatte i sur., 2015). Tokom krede razvijaju se bolje prilagodbe za let te krajem krede postoje vrste čiji kostur nalikuje modernim pticama uz dodatak zubi u kljunu (Brusatte i sur., 2015). Sve ptice u tom periodu bile su malene, otprilike veličine goluba.

Za vrijeme sljedeće ere, kenozoika, ptice su se slobodno razvijale uz sisavce i postizale puno veće veličine tijela nego ikad prije. Mnoge vrste velikih ptica su izumrle, neke kao što su slonovke, moe i dodo upravo zbog ljudskog utjecaja, no mnoge su se nastavile razvijati koristeći najbolje strategije svojih dinosauruskih predaka (Padian i Chiappe, 1998b). Ptice su razvile brojne prilagodbe s obzirom na različita staništa u kojima žive. Neke su sekundarno izgubile sposobnost leta na područjima bez predatora (kao što su izolirani otoci) jer let zahtjeva mnogo energije. Neke su se okrenule ka životu pored i uz more, kao pingvini koji su potpuno odbacili let i umjesto toga razvili druge prilagodbe za spretno i okretno plivanje u moru.

Navedene promjene možemo pratiti u fosilnim zapisima kroz različita geološka razdoblja i tako prikazati razvitak ptica.

2. Dinosauri nalik pticama

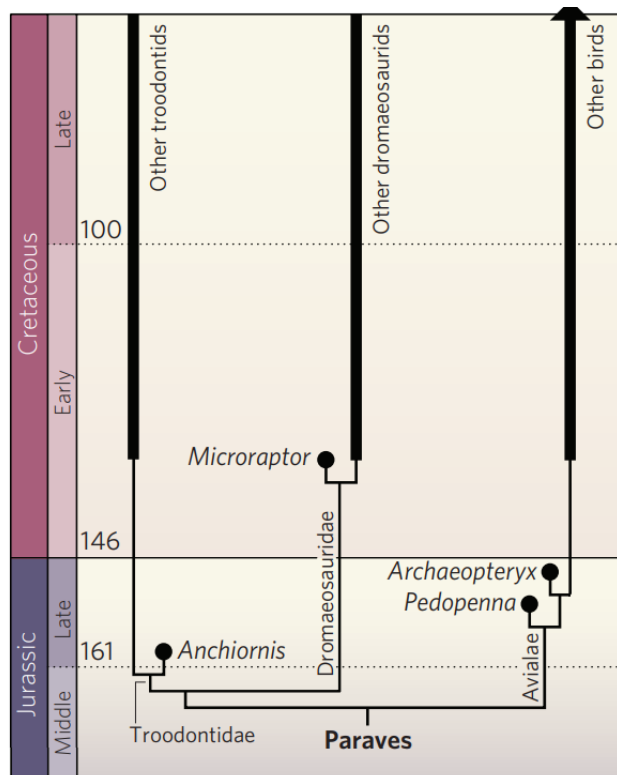
Fosilni nalazi pronađeni na području Kine ukazuju na to da su karakteristike, za koje se mislilo da su specifične samo za ptice, pojavljivale i kod njihovih predaka. Vrsta *Anchiornis huxleyi* čije ime na grčkom znači „skoro ptica“ jedan je takav primjer. Prvi fosil pronađen je u Tiaojishan formaciji u pokrajini Liaoning. Vrlo dobro očuvani primjerak datiran je na oko 161 milijuna godina što ga čini starijim od roda *Archaeopteryx*. Ovaj maleni član teropoda bio je prekriven perjem, no nije bio potpuno prilagođen letu. Duge noge, koje su mu pomagale u trčanju, bile su prekrivene perjem, što nije uobičajeno kod organizama koji su prilagođeni trčanju jer perje predstavlja smetnju i uzrokuje gubitak ravnoteže pri kretanju (Hu i sur., 2009). Pronalazak ovog fosila pružio je uvid u bolje razumijevanje razvitka perja i kako je perje prvobitno bilo raspoređeno po tijelu organizma koje još nije bilo prilagođeno za okretan let. Osim formacije perja, uz pomoć moderne tehnologije, *Anchiornis* je postao prvi dinosaur kod kojeg su određene boje perja (Li i sur., 2010) (slika 1).



Slika 1. Rekonstrukcija vrste *Anchiornis huxleyi* (URL 1)

Otkriće ovog dinosaura dovelo je u pitanje tadašnju klasifikaciju i položaj ptica i njihovih predaka na kladogramu. Vrsta *Anchiornis huxleyi* dokazuje kako su se ptice razvile iz četverokrilih teropoda koji, vrlo vjerojatno, perje nisu koristili za let kao što se do tad mislilo, nego za komunikaciju (O'Connor i Chang, 2015).

Uzimajući u obzir nova znanja i pronalazak dodatnih fosilnih nalaza, kladogramom možemo bolje prikazati zajedničke puteve evolucije i kako se granaju počevši od zajedničkog pretka skupine Paraves. (slika 2) (Witmer, 2009). Uz spomenuti rod *Anchiornis*, ovdje se prikazuje i vrlo slična porodica *Dromaeosauridae* koja se sastoji od teropoda nalik pticama srednje veličine koji su, kao i *Anchiornis huxleyi* bili brzi i spretni trkači. Primjećujemo također granu Avialae iz koje se razvio rod *Archaeopteryx*, preteča današnjih ptica. Svim imenovanim rodovima zajedničko je perje na nogama i izdužene kosti nogu (lisna (os tibia) i goljениčna kost (os fibula) za trčanje te činjenica da potječu od dinosaura, a što je dugo vremena zbunjivalo mnoge znanstvenike (Brusatte i sur., 2015).



Slika 2. Kladogram razvitka ptica počevši od srednje jure

3. Rod *Archaeopteryx* i njegove značajke

Najpoznatiji rod prvih ptica je *Archaeopteryx*, no reći da se u potpunosti radi o ptici sa svim svojim karakteristikama bilo bi krivo. Naime, ovaj rod predstavlja poveznicu između ptica i dinosaura te je zajednički predak svih modernih ptica. Do sada je pronađeno svega dvanaest fosila, od kojih su neki bili fragmentirani, a za neke se niti nije znalo jer su bili poznati po drugom nazivu u nečijoj privatnoj kolekciji. Da su razlike između dinosaura i ptica na kosturu roda *Archaeopteryx* ponekad neuočljive pokazuje prodaja jednog takvog fosilnog nalaza privatnom kolekcionaru koji je mislio da se radi o kostima pterosaura, odnosno letećeg gmaza (Kundrát i sur., 2019).

Od karakteristika koje vežu ovaj rod sa modernim pticama najlakše je izdvojiti perje, no u prethodnom poglavlju smo ukazali na to da su perje posjedovale i druge vrste koje su se pojavile prije roda *Archaeopteryx*. Ipak, perje svakako treba istaknuti kao karakteristiku jer se razlikuje po izgledu i svrsi. Perje kod fosilnih oblika ptica prekriva većinu tijela – krila, rep, glavu, ali i noge, što je karakteristika koja se dijelom gubi kod modernih ptica jer je nepraktična za let. Perje na krilima fosilnih ptica je asimetrično i čvrsto, dok je broj primarnog letnog perja u skladu sa modernim pticama (Foth i sur., 2014). Usprkos tomu, postoje mnogi problemi s odgovorom je li ili nije *Archaeopteryx* mogao letjeti. Kostii koje sačinjavaju krila ovog organizma nisu dovoljno razvijene za kontinuirano mahanje kako bi ptica ostala u zraku jer su previše tanke i nedostaju određene strukture u zglobovima koje bi omogućile pokrete krila potrebne za let. Uz to, kostur ne pruža dobro uporište mnogobrojnim mišićima koje bi *Archaeopteryx* trebao imati za uspješan let.

Valja spomenuti činjenicu da *Archaeopteryx* dijeli određene karakteristike sa dinosaurima koje dodatno opovrgavaju teoriju o letu. Naime, tri prsta koja su sačinjavala prednje udove dodatno bi narušavali aerodinamičnost, a bočna orijentacija ramenog zgloba između lopatice, korakoida i nadlaktične kosti ukazuje na to da krila nije mogao podići iznad leđa (Senter, 2006).

Pitanje je zašto je *Archaeopteryx* uopće imao razvijeno perje, s obzirom da ga je teško održavati čistim i spremnim za let, te je li ih uopće koristio za tu svrhu.

Usprkos rudimentarnim krilima i velikoj povezanosti sa dinosaurima koji nisu letjeli, postoji jedan način kako se *Archaeopteryx* ipak mogao uzdignuti sa zemlje, a to je jedrenje po zraku bacajući se sa izdignutih površina. Ovakav bi način „leta“ bilo najlakše usporediti sa načinom kretanja i leta leteće vjeverice. U trenutku skoka, *Archaeopteryx* bi raširio krila prema naprijed te tako stvorio

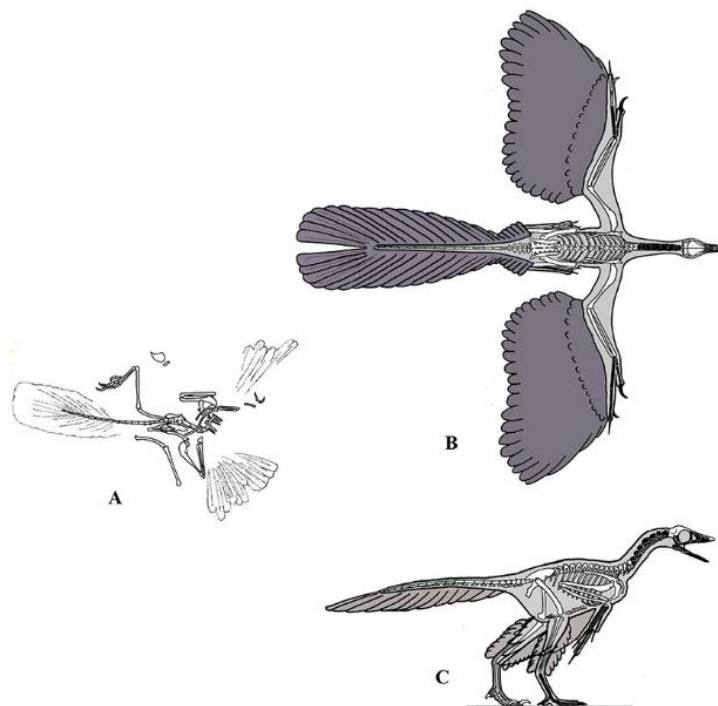
dovoljno uzgona da se drži u zraku dok ne dođe do neke druge površine, i ponovio postupak. Dokazi za takav način leta postoje i kod modernih ptica, pretežito onih koje žive u šumi i imaju kratka krila koja su dovoljna za ovakav način kretanja (Kaiser, 2010).

Archaeopteryx je bio mesojed i hranio se malenim životinjama, a pri tome mu je pomagao kljun pun oštih zuba, što je još jedna karakteristika dinosaura (Padian i Chiappe, 1998b).

Od relativno malenog broja fosilnih nalaza, utvrđene su dvije vrste; *Archaeopteryx lithographica* i *Archaeopteryx siemensii*. Razlika među njima je mala, ali dovoljna za mnogobrojne diskusije. Mnogi znanstvenici nisu htjeli priznati samo dvije vrste. Tako je za neke svaki pojedinačan nalaz imao ime svoje vrste, a za druge su svi bili iste vrste (*Archaeopteryx lithographica*). Do konsenzusa je napokon došlo otkrićem desetog kostura (Mayr i sur., 2007).

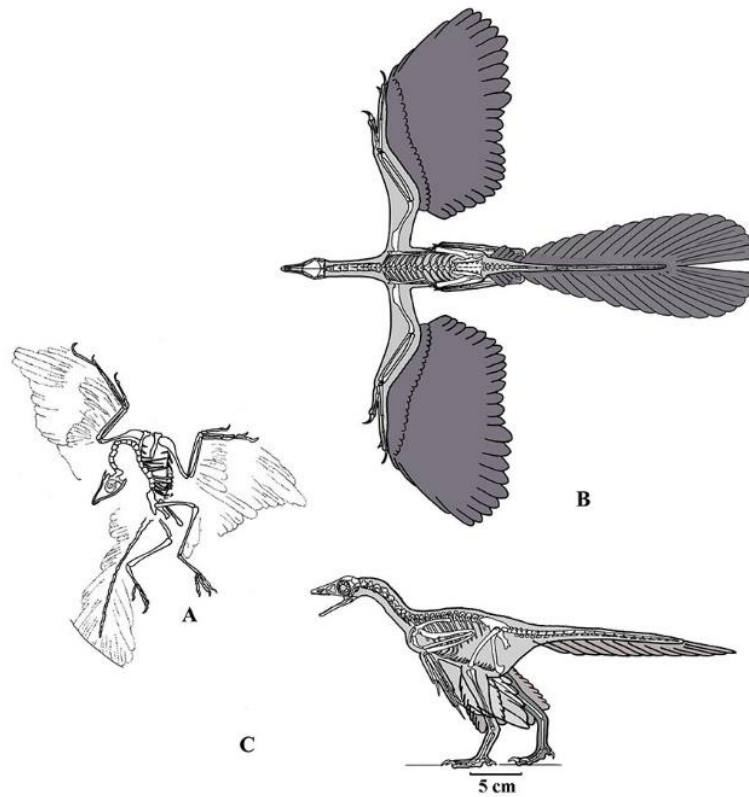
Razlike između tih dviju vrsta očituju se u kandžama stopala, zubima i u čvrstoći metatarzusa (Mayr i sur., 2007). Neke karakteristike, kao razlika u veličinama jedinki, nisu prihvaćene jer su pronađeni fosili uglavnom pripadali mladim jedinkama (URL 2).

Iz svakog pronađenog fosila radile su se mnoge rekonstrukcije kao što je npr. rekonstrukcija prvog pronađenog fosila vrste *Archaeopteryx lithographica* (URL 3) koji se naziva i Londonska jedinka po tome što se trenutno čuva u Londonskom prirodoslovnom muzeju (slika 3). Iako ovom fosilu nedostaje glava, dobro vidljivi otisci perja razlog su zašto ovaj primjerak nije samo tako pripisan uobičajenim fosilima dinosaura. Na rekonstrukciji je jasno vidljiv veliki pernati rep koji je u sebi imao kralješke kao i tanke kosti koje drže velika asimetrična krila (slika 3). Uz skicu pronađenog fosila (A), napravljena je dorzalna rekonstrukcija (B) i u profilu (C) kako bi se bolje predočio kostur i omjer veličina pojedinih dijelova tijela.



Slika 3. Londonska jedinka vrste *Archaeopteryx lithographica* i njena rekonstrukcija (URL3)

Najpoznatiji i najbolje očuvani kostur roda *Archaeopteryx* (slika 4), vrste *Archaeopteryx siemensii*, pronađen je 1876. godine u Solnhofenu i nazvan je Berlinska jedinka po tome što se čuva u prirodoslovnom muzeju u Berlinu. Na fosilnom nalazu je očuvana glava te je izvrsno vidljivo perje i njihov raspored po tijelu, prema čemu je napravljena rekonstrukcija (slika 4). Ako usporedimo slike vrste *Archaeopteryx siemensii* i vrste *Archaeopteryx lithographica* teško ćemo uvidjeti razlike, što je i u prošlosti bila tema mnogih debata.



Slika 4. Berlinska jedinka vrste *Archaeopteryx siemensii* (A- skica fosila) i njena rekonstrukcija (B - dorzalno i C- u profilu)(URL 3)

4. Razvoj i promjene ptica kroz povijest

Prošlo je 150 milijuna godina od pojave prvih ptica i njihove velike diversifikacije do danas. Ptice koje postoje danas rezultati su mnogobrojnih prilagodbi na njihov okoliš. Različiti uvjeti koje vladaju na različitim staništima uvjetovalo je nastanku novih prilagodba i modifikaciju već postojećih.

4.1. Razvoj sposobnosti leta

Postoje dvije glavne teorije o razvoju leta ptica (Padian i Chiappe, 1998a), koje su predmet brojnih rasprava.

Arborealna teorija opisuje kako su ptice jedrile sa jednog drveta na drugo te da se jedrenje u nekom trenutku pretvorilo u letenje. Ova je teorija vrlo popularna jer je intuitivna, no zapravo nema stabilne dokaze u evoluciji ptica. Rod *Archaeopteryx* nije bio dobar penjač, sposobnost koja je ključ ove teorije, niti je imao karakteristike ptice koja jedri (Padian i Chiappe, 1998b), za razliku od nekih vrsta koje su se pojavile oko 30 milijuna godina nakon, kao što je rod *Microraptor* koji je mogao jedriti u kratkim intervalima (Kaiser, 2010). Ovu teoriju dodatno opovrgava činjenica da drveće nije bilo često u aridnom, suptropskom području gdje je *Archaeopteryx* živio pa posebne prilagodbe koje bi mu omogućile penjanje po drveću nisu bile potrebne.

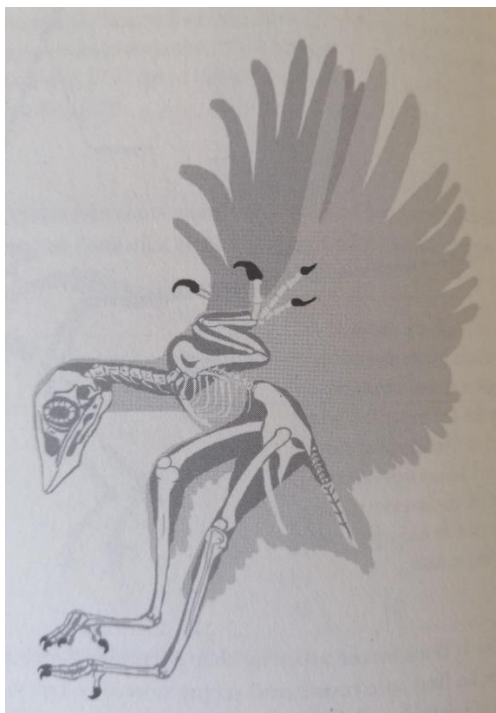
Druga je kursorijalna teorija, koja objašnjava kako su ptice razvile sposobnost leta prvobitno skaćući sa zemlje usred trčanja. Rod *Archaeopteryx* je ponovno dobra početna točka ove teorije. Naime, *Archaeopteryx* je imao dobro razvijene noge za trčanje i potekao je iz malenih bipedálnih dinosaura. Perje je prvobitno služilo za komunikaciju i termoizolaciju, a tek kasnije je služilo za let. Problemi perja na prednjim udovima, a kasnije krilima je da jedinka ne može hvatati plijen s njima zbog velike površine koje perje zauzima, zbog čega bi jedinka izgubila ravnotežu i teže se kretala. Kao rješenje, hvatanje je preuzeo kljun, a jedinka je mogla manevrirati krilima u trenutku skoka na plijen. Problem ove teorije je skup energetski proces uzdizanja tijela sa zemlje. Naime, arborealna teorija ide u logičnom smjeru da je ptica koristila gravitaciju u svoju korist, dok kod kursorijalne teorije ptica mora savladati gravitaciju brzim trčanjem i stvaranjem dovoljno potiska kako bi poletjela (Padian i Chiappe, 1998a).

Fosilni nalazi idu u prilog modificiranoj verziji kursorijalne teorije leta. Ona nalaže kako su pernata krila prvobitnih ptica potpomogla skakanju pružajući ravnotežu. Kroz vrijeme, skokovi su postajali sve duži uz pomoć mlataranja krila i skakanja sa više visine dok skokovi nisu postali let na duže trase (Padian i Chiappe, 1998a).

4.2. Kreda; period nadogradnje

Već se u mlađoj kredi ptice ubrzano razvijaju i dobivaju karakteristike bitne za život među drvećem, kao što su promjene u kostima nogu, specifično na bedrenoj kosti (femur), gnjatnoj kosti (os tibio-tarsus) i pisnici (os tarso-metatarsus), za efektivno držanje za grane i redukcija kosti u repu (Padian i Chiappe, 1998b).

Najpoznatiji fosili ptica iz perioda krede, i ujedno ostaci koji su pronađeni u najvećem broju, pripadaju rodu *Confuciusornis* koji svojom građom i prilagodbama predstavlja sljedeću kariku u evoluciji ptica. Iako još uvijek posjeduje neke karakteristike roda *Archaeopteryx* koje utječu negativno na mobilnost u zraku – kao što su tri prsta s kandžama na krilima, ptice ovog roda imaju izrazito dugačka letna pera koja im omogućuju uzlet s mjesta. Uz perje, posjeduju snažne mišiće koji su vezani za kostur koji je puno bolje prilagođen letu od kostura roda *Archaeopteryx*. Na fosilnim ostacima i rekonstrukciji (slika 5) primjećujemo spajanje nekih kostiju kao što su pešće i zapešće te kraći rep (Kaiser, 2010).



Slika 5. Rekonstrukcija kostura, mišića i perja vrste *Confuciusornis sanctus* (Kaiser, 2010)

Vrsta *Confuciusornis sanctus* mogla je jako dobro manevrirati između drveća, no nije postizala velike brzine u zraku. Razlog tomu je što nije niti trebala. Kombinacija skrivanja u krošnjama i leta bila je dovoljna da pobjegne bilo kojem predatoru koji ju možda opazi.

Iako je fosilnih nalaza ostataka roda *Confuciusornis* bilo mnogo, bili su rašireni na relativno malom području današnje Kine. Za razliku od njih, postojala je grupa ptica raširena po cijelom svijetu koja je živjela uz rod *Confuciusornis*. Poznata je po tome što se prvobitno mislilo da pronađeni fosilni ostaci pripadaju modernim pticama, no Cyril Walker, britanski paleontolog, otkrio je jednu karakteristiku koja je posve suprotna od građe modernih ptica po čemu je i grupa dobila ime *Enantiornithes* („suprotne ptice“). Radi se o karakteristikama ramene kosti. Skupina *Enantiornithes* imala je konkavne lopatice dok je korakoid konveksan (Chiappe i Walker, 2002). Neke od vrsta ovih ptica izgubile su zube u kljunu što je karakteristika koja se do tada još nije pojavljivalo kod ptica. Veliki stupanj diversifikacije možemo uočiti u načinu života nekih rodova kao što je *Yungavolucris* koji je pretežito živio pored vode i u vodi, *Concornis* i *Neuquenornis* koji su bili prilagođeni šumskim staništima, *Lectavis* koji se sa svojim izduženim nogama lako mogao kretati po barama te *Patagopteryx*, rod ptica koji je izgubio sposobnost leta iako se po fosilnim nalazima predaka ovog roda moglo zaključiti da su letjeli (Padian i Chiappe, 1998b).

Većina ptica koje su se razvile u kredi su izumrle i mnogobrojni fosili su fragmentirani ili se vrsta odredila prema samo jednoj kosti. Razlog izumiranja je velika katastrofa na granici krede i paleogena poznato kao peto veliko izumiranje. Oko 75 % svih vrsta je izumrlo zbog nagle promjene uvjeta na Zemlji kao što su promjena temperature, manjak svjetlosti što je smanjilo količinu bilja te udar meteora koji je u trenu izbrisao sav živi svijet u okolici kratera (Robertson i sur., 2004).

Ne postoji dovoljno fosilnih zapisa ptica iz tog perioda da bi mogli sa sigurnošću reći što se zapravo dogodilo i koliko je vrsta ptica izumrlo, ali niti jedan rod prije spomenutih ptica nije preživio. Jedina preživjela skupina ptica, *Neornithes*, rapidno se razvija nakon završetka krede. (Longrich i sur., 2011).

4.3. Kenozoik; era eksperimentiranja i diversifikacije

Nakon mezozoika dolazi do velikog stupnja diversifikacije kod ptica (Kaiser, 2010). Sve ptice toga vremena čine podrazred Neornithes kamo spadaju i moderne ptice. U vremenu bez dinosaura, glavnih predatora koji su bili daleko najdominantnija skupina životinja, ptice su se mogle razviti na razne načine i popunjavati mnogobrojne niše.

Podrazred Neornithes podijeljen je u dva infrarazreda: Paleognathae (ptice trkačice) i Neognathae (ptice letačice). Zbog manjka fosilnih nalaza u kredi, nije jasno kada se ta razdioba dogodila, no postojala je u paleogenu. (Widrig i Field, 2022). Nadred Paleognathae obilježavaju ptice koje su izgubile sposobnost leta i posjeduju karakterističnu strukturu nepca gdje su srasle os palatinum i os pterygoideum (Widrig i Field, 2022). U tu skupinu pripadaju današnje vrste kao što su noj, emu, kivi, nandui, ali i izumrli rodovi kao što su slonovke i moe.

Neognathae je infrarazred u kojem spadaju sve ostale ptice. U današnje vrijeme postoji oko 10 000 vrsta ptica koje pripadaju tom infraredu. Neognathae čine izrazito raznolike skupine ptica kao što je red Anseriformes (patkarice) koje su prilagođene životu pored slatkovodnih voda, Columbiformes (golubovke) prilagođene životu u gradu, Falconiformes (sokolovke) savršeno prilagođene lovu u zraku, Passeriformes (vrpčarke) koje čine najveći udio vrsta, te mnogi drugi (van Tuinen, 2009).

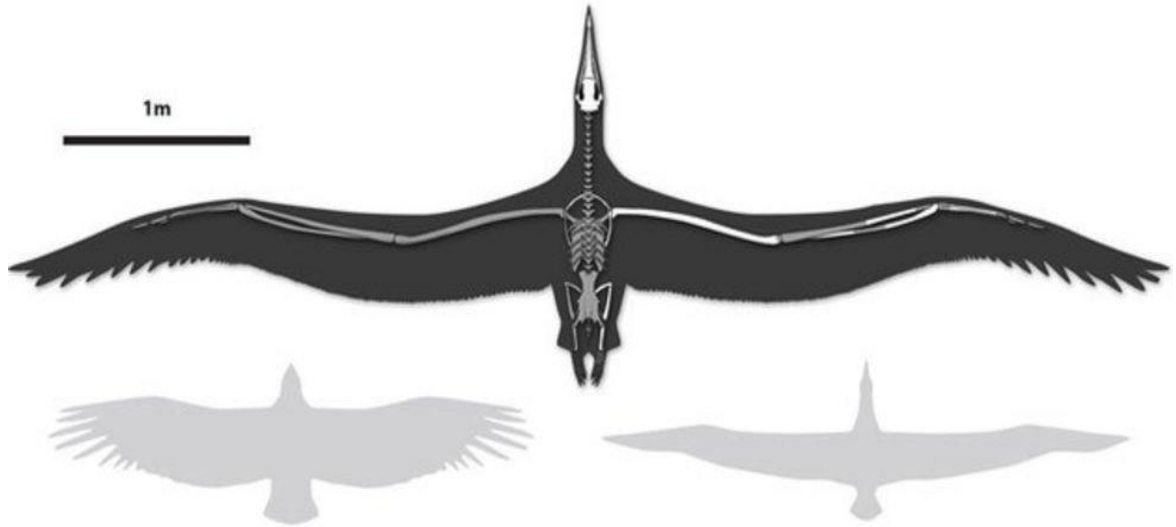
Istraživanja ukazuju na to da je do velikog stupnja diversifikacije došlo u prvih 15 milijuna godina nakon izumiranja između krede i paleogena. Ptice krede koje su preživjele mogle su se skloniti od većine katastrofa kao što su požari i tsunamiji jer su bile prilagođene vodenim staništima i mogle su letjeti (Brusatte i sur., 2015). Te ptice predstavljaju pretka svih modernih ptica koje su se razvile u kenozoiku.

Početak paleogena pojavljuju se prve divovske ptice i to u velikom broju. Postoje mnogobrojni fosilni nalazi kao što je npr. rod *Gastornis* (slika 6), koji je najveća paleocenska ptica pronađena u Europi (Buffetaut, 2008). Način života ovog roda je dugo vremena bio misterij, zato što anatomski ne pokazuje značajke niti jedne skupine modernih ptica. Prvobitno se mislilo da je *Gastornis* predator, no istraživanjem izotopa ugljika iz kostiju pronađenih u Francuskoj te uspoređivanjem kljuna s kljunovima modernih ptica dokazano je da je ova ptica bila u potpunosti biljojed (Angst i sur. 2014).



Slika 6. Cjelovit kostur ptice roda *Gastornis* (URL 4)

Divovske ptice postojale su kroz cijeli period paleogena i neogena no broj vrsta se postupno smanjivao zbog kompeticije drugih vrsta i čovjekova utjecaja. (Kaiser, 2010). Rod *Argentavis* bila je najveća ptica u povijesti koja je mogla letjeti. Sa rasponom krila od 6,5 metara, ova ptica nije mogla kontinuirano mahati krilima jer su joj mišići za let bili su preslabi (Chatterjee i sur., 2007). Ovu pticu možemo usporediti sa današnjim strvinarima kao što je bjeloglavi sup koji leti koristeći snagu zračnih struja. U usporedbi s modernim pticama najvećeg raspona krila (kalifornijski kondor i albatros lualica), *Argentavis* je daleko veći (slika 7) Velika veličina ove ptice ima i svojih mana. Veliko tijelo iziskuje puno hrane kako bi normalno funkcioniralo, a zbog ledenog doba hrane nije bilo dovoljno. Zbog manjka hrane, došlo je do kompeticije sa manjim, bržim vrstama koje su bile uspješnije u lovu zbog čega ova vrsta nije mogla preživjeti. (URL 5)



Slika 7. Raspon krila vrste *Argentavis magnificens* (gore), kalifornijskog kondora *Gymnogyps californianus* (lijevo) i albatrosa lualice (*Diomedea exulans*, desno) (URL 6)

5. Utjecaj čovjeka na razvoj ptica

Prije 300 000 tisuća godina razvio se *Homo sapiens*. Ova visoko inteligentna vrsta još i danas dominira cijelim svijetom, mijenja okoliš i nastoji iskoristiti svaki aspekt planeta Zemlje. Čovjek je najvažniji razlog zašto se moderni svijet oko nas mijenja, a uz njega i mnogobrojne vrste koje se moraju prilagoditi na nove uvjete pa tako i ptice.

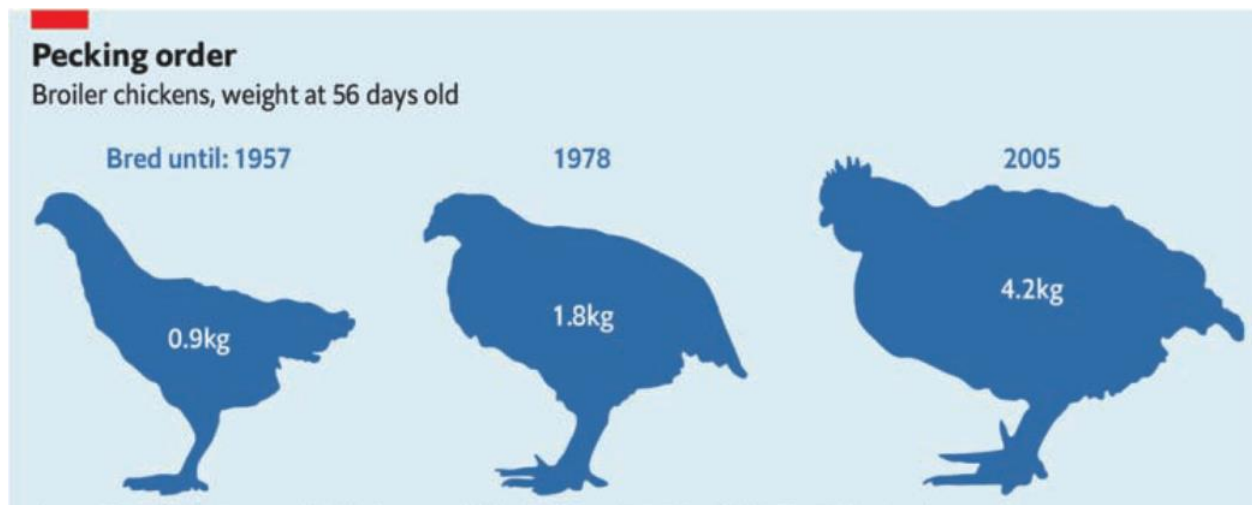
Broj i gustoća šumskih staništa se mijenjala kroz povijest, za što je zaslužan i ljudski utjecaj. Od 1900. godine, prostorna raširenost crnogoričnih šuma u Kanadi se smanjivala te su se ptice morale prilagoditi na let dužih trasa kako bi pronašle hranu i sklonište u čemu su uspješnije bile ptice šiljastih krila. Na području Nove Engleske dogodilo se suprotno. Naime, u periodu između 1800. i 1900. godine veličina šumskih staništa se povećala te su ptice sa manjim, zaobljenim krilima, poput npr. vrste *Setophaga citrina*, bile uspješnije jer nisu trebale trošiti energiju za dugi let (slika 8) (URL 7).



Slika 8. Razlika u izgledu krila (šiljasta gore, zaobljena dolje) vrste *Setophaga citrina*

Čovjek koristi umjetnu selekciju kako bi, kroz više generacija, promijenio prvobitne karakteristike vrste u nešto što može bolje iskoristiti. U tim procesima dolazi do velikih promjena te takve jedinke počinju ovisiti o čovjeku i njegovoj brizi te više ne može živjeti u prirodi. Najčešće se umjetna selekcija koristi kako bi od jedinke dobili veće količine upotrebljivih produkata kao što su meso, veća jaja i slično, ali i to može biti ih estetskih razloga kao što je izgled i kvaliteta perja.

Primjer ekstremne promjene u morfologiji vrste je brojler pasmina kokoši selekcionirana od divlje kokoši (*Gallus gallus*). Ta se pasmina uzgaja isključivo radi mesa za prehranu. Veličina jedinke u posljednjih 60 godina se povećala za 300 % gdje se povećala i masa prsnih mišića (Paxton i sur., 2010) (slika 9). Ta se promjena dogodila u vrlo kratkom roku, prebrzo da bi se ostatak tijela prilagodio na veću masu. Zbog toga ova pasmina često ima probleme i anomalije na kosturu, najčešće na kostima nogu zbog čega kokoš ima poteškoća u kretanju.



Slika 9. Usporedba veličine kokoši kroz godine (URL 8)

Primjer selekcije radi izgleda pronalazimo kod papige tigrice (*Melopsittacus undulatus*), ptice koje predstavljaju jedne od najčešćih kućnih ljubimaca na svijetu. Tigricice u prirodi uvijek imaju zeleno perje s crnim prugama koje im daju određenu razinu kamuflaže u okolini. Zbog recesivne mutacije u genomu, tigrice mogu dobiti plavo obojenje perja. Umjetna selekcija ovih ptica počela je sredinom 20. stoljeća dok je prije tog vremena bila poznata samo u par slučajeva (URL 9). Sekvenciranjem genoma dokazalo se da je boja perja uvjetovana djelovanjem gena MuPKS koji kontrolira aminokiseline potrebne za određivanje boje perja (Cooke i sur., 2017). Umjetnom selekcijom, osim boje, promijenila se i veličina. Engleske tigrice su u pravilu veće od standardnih (slika 10), imaju duža pera koja im često znaju prekrivati oči i kljun, ali zbog čestog parenja u srodstvu imaju kraći životni vijek i češće podliježu bolestima od standardnih tigrice (URL 10).



Slika 10. Razlika u izgledu standardne papige tigrice (lijevo) i engleske tigrice (desno) (URL 11)

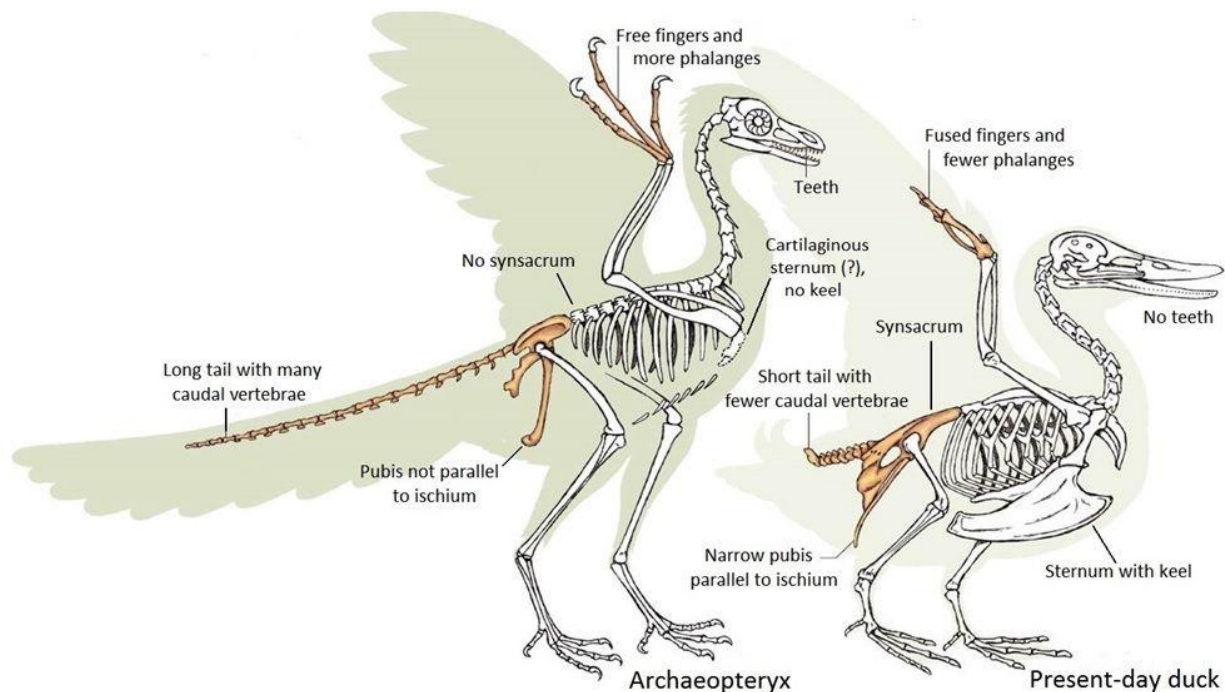
6. Usporedba modernih ptica i njihovih predaka

Pticu karakterizira njezin izgled, sposobnost leta, karakteristike kostura i razne prilagodbe specifične za svaku vrstu s obzirom na njezino stanište. Prvobitna ptica, rod *Archeaeopteryx*, ne prati neke od navedenih karakteristika i nju ne možemo uspoređivati sa modernim vrstama u svim aspektima. Rod *Archeaeopteryx* predstavlja prijelaz između ptica i dinosaura te dijeli neke karakteristike sa obje skupine.

Vrsta hoacin (*Opisthocomus hoazin*) jedina je živa vrsta u porodici Opisthocomidae. Problem u svrstavanju ove vrste u filogenetsko stablo je što posjeduje karakteristike koje ne dijeli ni sa jednom drugom vrstom modernih ptica. Mlade jedinice na krilima imaju dvije kandže koje im pomažu pri penjanju, značajka koja je specifična za prvobitne ptice kao što je *Archeaeopteryx*. Uz kandže koje hoacina čini drugačijim, ova ptica ima jedinstveni probavni trakt. Volja im je puno veća od ostalih ptica dok je želudac manji. Ova ptica hrani se lišćem te se, uz pomoć bakterija,

biljni materijal fermentira nekoliko sati kako bi se najbolje iskoristila nisko kalorična hrana (Cracraft, 2022). Tijekom povijest hoacin se uspoređivao sa mnogobrojnim vrstama, kao što su golubovi, kokoši i kukavice, u svrhu pronalaska zajedničkog pretka i prikupljeno je mnogo podataka koristeći genetska istraživanja, no još uvijek ne postoji savršeni odgovor. Sličnosti sa rodom *Archeaeopteryx* zapravo nisu dobar temelj jer su kandže hoacina odvedenije od kandža roda *Archeaeopteryx* i mlade jedinke imaju izvrsnu pokretljivost koja im pomažu pri kretanju (Böker, 2021).

Kako se sposobnost leta razvijala tako su se mijenjale kosti u tijelu kako bi se reducirala masa. Samim vanjskim izgledom može se uočiti kako su se reducirali prsti, rep je kratak i bez kralješaka i nema zuba (slika 11).



Slika 11. Usporedba anatomije kostura roda *Archeaeopteryx* i patke (URL 12)

Moderne ptice raspoređene su u 41 reda, najveći red čine vrapčarke (*Passeriformes*) sa oko 6500 vrsta (URL 13). Vrapčarke su široko rasprostrane i mogu se naći na svim kontinentima. Ovaj red odlikuju ptice koje su se prilagodile na život generalista (nisu izbirljive s hranom i mogu pojesti svakojaku hranu kao što su sjemenke biljaka, kukce i otpatke hrane) što se odražava na obliku njihova kljuna. Vrste poput vrapca (slika 12) (A) i svrake (B) prilagodile su se životu blizu ljudskih

naselja i njihov kratak kljun je dobro razvijen za mnogobrojne izazove u takvom okolišu. Kao primjer savršeno prilagođenog noćnog predatora je sova ušara (C). Kljun one ptice je kukast i oštar, služi za hvatanje malih životinja kojima se hrani. Koristeći kljun i velike kandže na nogama, ova ptica bez problema trga meso sa kosti svojeg plijena. Sova je predator prilagođen životu u šumi i može nečujno letjeti kako ne bi otkrila svoj položaj plijenu. To joj omogućuje specijalizirano perje koje je veće i oblije od drugih ptica. Ako bi se usporedila glava sove, aktivnog noćnog predatora, s glavom bjeloglavog supa (slika 13) koji je strvinar, mogu se primijetiti razlike. Kljun bjeloglavog supa je velik i zašiljen kako bi mogao lakše trgati meso i kosti strvina. Oni posjeduju izvrstan vid jer strvine traže dok visoko lete. Sova ima velike oči okrenute prema naprijed što joj omogućuje dobar vid pri slabom, noćnom svjetlu dok bjeloglavi sup, koji je aktivan danju, ima manje oči okrenute u stranu. Mala droplja (D) je ptica specifična za travnate ravnice. Svejadi su na što ukazuje kratak, ali snažan kljun. Šumska šljuka i bijela roda su barske ptice, hrane se pretežito insektima, ali i u slučaju rode, manjim životinjama. Lubanja ovih dviju ptica je slična, njihov kljun je dugačak jer s njima traže hranu po tlu i vodi. Kao primjer ptica prilagođenim životu u vodi i pored nje, lisasta guska (G) je razvila prilagodbe poput vodonepropusnog perja i opne između prstiju pomoću koje dobro plivaju. Kljun ove guske prilagođen je prehrani travom i biljkama koje pronalaze pored i u vodi.



Slika 12. Usporedba lubanja (s lijeva na desno): A-*Passer domesticus* (obični vrabac), B-*Pica pica* (svraka), C-*Bubo bubo* (sova ušara), D-*Tetrax tetrax* (mala droplja), E- *Scolopax rusticola* (šumska šljuka), F-*Ciconia ciconia* (bijela roda), G-*Anser albifrons* (lisasta guska).

(Komparativna recentna zbirka Zavoda za paleontologiju i geologiju kvartara HAZU)



Slika 13. Usporedba lubanje sove ušare (*Bubo bubo*, lijevo) i bjeloglavog supa (*Gyps fulvus*, desno). (Komparativna recentna zbirka Zavoda za paleontologiju i geologiju kvartara HAZU)

7. Zaključak

Postoji više od 10 000 vrsta ptica danas u svijetu i smatraju se najistaženijim kralježnjacima (Barrowclough i sur., 2016). Njihova povijest i razvoj prati se otkako je pronađeno kriptično pero u naslagama jure koje je pokrenulo mnogobrojne teorije o tome kako i kada su se ptice prvi put pojavile. Bilo je potrebno neko vrijeme da se prihvati činjenica kako su ptice jedini živući dinosauri koji su se nastavili razvijati nakon kretskog izumiranja (Brusatte i sur., 2015). Ptice su različitim prilagodbama promijenile svoj način života, od prvobitnog roda *Archaeopteryx* koji je koristio krila kao padobran do današnjih ptica kao što je pingvin koji koristi krila kao kormilo pri plivanju ili sivi sokol koji postiže nedostižne brzine leta. Sve promjene dogodile su se kao prilagodbe na okoliš u kojem žive te se mnoge vrste moraju rapidno mijenjati kako se njihovo stanište mijenja zbog prirodnih ili antropogenih utjecaja. Ptice popunjavaju razne niše na svim dijelovima svijeta. Ptice koje žive u polarnim predjelima su razvile debeli masni sloj koji ih štiti od hladnoće mora gdje love hranu, ptice koje žive na ravnicama imaju razvijene noge za trčanje i kriptički obojeno

perje, a ptice koje su se razvile za brzi let, kao što su sokolovke, imaju snažne mišiće. Kljun je jedan od najbitnijih karakteristika ptica. Prvobitno je kljun bio pun oštih zuba, karakteristika koja nije više prisutna u modernih ptica, ali sami izgled se promijenio i diversificirao s obzirom na različit način prehrane. Grabljivice imaju snažne i kukaste kljunove za trganje mesa plijena, ptice koje se hrane raznovrsno, kao što su vrane, imaju kratak, ali svestran kljun. Usprkos mnogim istraživanjima, čovječanstvo još uvijek nije otkrilo sve tajne ptičjeg svijeta, no svakom nadogradnjom filogenetskog stabla dolazimo sve bliže odgovoru u kojim su odnosima današnje ptice i dinosauri.

8. Literatura

- Angst, D., Lécuyer, C., Amiot, R., Buffetaut, E., Fourel, F (2014): Isotopic and anatomical evidence of an herbivorous diet in the Early Tertiary giant bird *Gastornis*. Implications for the structure of Paleocene terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften*, 101, 313–322.
- Barrowclough, G.F., Cracraft, J., Klicka, J., Zink, R.M. (2016): How many kinds of birds are there and why does it matter? *PLoS One*, 11(11), e0166307.
- Böker, H. (2021): *Species Transformation Through Reconstruction: Reconstruction Through Active Reaction of Organisms*: Translated by Alexander Böhm and Jan Baedke. *Biological Theory*, 16, 114–122.
- Brusatte, S.L., O'Connor, J.K., Jarvis, E.D. (2015): The origin and diversification of birds. *Current Biology*, 25(19), R888–R898.
- Buffetaut, E. (2008): First evidence of the giant bird *Gastornis* from southern Europe: a tibiotarsus from the Lower Eocene of Saint-Papoul (Aude, southern France). *Oryctos*, 7, 75–82.
- Chatterjee, S., Templin, R.J., Campbell Jr, K.E. (2007): The aerodynamics of *Argentavis*, the world's largest flying bird from the Miocene of Argentina. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(30), 12398–12403.
- Chiappe, L.M., Walker, C.A. (2002). Skeletal morphology and systematics of the Cretaceous Euenantiornithes (Ornithothoraces: Enantiornithes). *Mesozoic birds: above the heads of dinosaurs*, 240–267.

- Cooke, T.F., Fischer, C.R., Wu, P., Jiang, T.X., Xie, K. T i sur. (2017): Genetic mapping and biochemical basis of yellow feather pigmentation in budgerigars. *Cell*, 171(2), 427–439.
- Cracraft, J. (2022): The Hoatzin. *Current Biology*, 32(20), R1068–R1069.
- Foth, C., Tischlinger, H., Rauhut, O.W. (2014): New specimen of *Archaeopteryx* provides insights into the evolution of pennaceous feathers. *Nature*, 511(7507), 79–82.
- Hu, D., Hou, L., Zhang, L., Xu, X. (2009): A pre-*Archaeopteryx* troodontid theropod from China with long feathers on the metatarsus. *Nature*, 461(7264), 640–643.
- Kaiser, G.W. (2010): *The inner bird: anatomy and evolution*. UBC Press. 386.
- Kundrát, M., Nudds, J., Kear, B. P., Lü, J., Ahlberg, P. (2019): The first specimen of *Archaeopteryx* from the upper Jurassic Mörnsheim formation of Germany. *Historical Biology*, 31(1), 3–63.
- Li, Q., Gao, K. Q., Vinther, J., Shawkey, M. D., Clarke, J. A., D’Alba, L i sur. (2010): Plumage color patterns of an extinct dinosaur. *science*, 327(5971), 1369–1372.
- Longrich, N.R., Tokaryk, T., Field, D.J. (2011): Mass extinction of birds at the Cretaceous–Paleogene (K–Pg) boundary. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(37), 15253–15257.
- Mayr, G., Pohl, B., Hartman, S., Peters, D.S. (2007): The tenth skeletal specimen of *Archaeopteryx*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 149(1), 97–116.
- O’Connor, J.K., Chang, H. (2015): Hindlimb feathers in paravians: Primarily “wings” or ornaments? *Biology Bulletin*, 42, 616–621.
- Padian, K., Chiappe, L.M. (1998a): The origin of birds and their flight. *Scientific American*, 278(2), 38–47.
- Padian, K., Chiappe, L.M. (1998b). The origin and early evolution of birds. *Biological reviews*, 73(1), 1–42.
- Paxton, H., Anthony, N.B., Corr, S.A., Hutchinson, J.R. (2010): The effects of selective breeding on the architectural properties of the pelvic limb in broiler chickens: a comparative study across modern and ancestral populations. *Journal of Anatomy*, 217(2), 153–166.

- Robertson, D.S., McKenna, M.C., Toon, O.B., Hope, S., Lillegraven, J.A. (2004): Survival in the first hours of the Cenozoic. *Geological Society of America Bulletin*, 116(5-6), 760–768.
- Senter, P. (2006): Scapular orientation in theropods and basal birds, and the origin of flapping flight. *Acta Palaeontologica Polonica*, 51(2), 305–313.
- van Tuinen, M. (2009): Birds (Aves). *The timetree of life*, 409–411.
- Widrig, K., Field, D.J. (2022): The evolution and fossil record of palaeognathous birds (Neornithes: Palaeognathae). *Diversity*, 14(2), 105.
- Witmer, L.M. (2009): Feathered dinosaurs in a tangle. *Nature*, 461(7264), 601–602.

Internetski izvori

- URL 1: <https://www.science.org/content/article/fossil-feathers-reveal-how-dinosaurs-took-flight> (pristupljeno 15. 8. 2023.)
- URL 2: <https://www.scientificamerican.com/article/archaeopteryx-dinosaur-bird/> (pristupljeno 16. 8. 2023.)
- URL 3: <http://www.paleofile.com/Dinosaurs/Aves/Archaeopteryx.asp> (pristupljeno 16. 8. 2023.)
- URL 4: https://www.copyrightexpired.com/earlyimage/bones/display_animalspast_diatryma.htm (pristupljeno 24.8.2023)
- URL 5: <https://a-z-animals.com/animals/argentavis-magnificens/> (pristupljeno 24.8.2023)
- URL 6: <https://www.bbc.com/news/science-environment-28164063> (pristupljeno 24.8.2023)
- URL 7: <https://news.cornell.edu/stories/2010/03/american-songbirds-evolve-humans-change-forests> (pristupljeno 25.8.2023)
- URL 8: https://www.researchgate.net/figure/Selective-breeding-has-increased-the-size-of-broiler-chickens-dramatically-since-1957_fig2_338532202 (pristupljeno 25.8.2023)
- URL 9: <https://alenaxp.com/blue-budgie-how-do-budgies-become-blue/> (pristupljeno 26.8.2023)
- URL 10: <https://www.psittacology.com/english-budgie/> (pristupljeno 26.9.2023)

URL 11: <https://www.birds-online.de/wp/en/birds-online-english/general-facts/english-and-wild-type-budgies/> (pristupljeno 26.9.2023)

URL 12: <https://www.pinterest.com/pin/355573333075051106/> (pristupljeno 27.9.2023)

URL 13: <https://www.birdfamiliesoftheworld.com/orders/> (pristupljeno 13.9.2023)

9. Životopis

Tea Trčak rođena je 2002. godine u Zagrebu. Nakon završetka osnovne škole upisala je XV. gimnaziju u Zagrebu. Godine 2022. upisala je smjer Znanosti o okolišu na Biološkom odsjeku PMF-a te je redoviti student. Sudjelovala je u GLOBE smotri i orijentacijskom natjecanju 2016., LiDraNo državnom natjecanju s novinarskim radom 2013. i s digitalnim školskim listom 2016. godine. Bavila se akrobatskim rock 'n' rollom i sudjelovala na brojnim natjecanjima.