

# Biologija pingvina

---

Nižić, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:792120>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-28**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
PRIRODOSLOVNO- MATEMATIČKI FAKULTET  
ODJEL ZA BIOLOGIJU

Nikolina Nižić  
**BIOLOGIJA PINGVINA**  
Završni rad

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
PRIRODOSLOVNO- MATEMATIČKI FAKULTET  
ODJEL ZA BIOLOGIJU

Nikolina Nižić  
**BIOLOGIJA PINGVINA**  
Završni rad

Split, 2024.

Ovaj rad, izrađen u Splitu 2024. godine pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Mate Šantića, predan je na ocjenu Odjelu za biologiju Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Splitu radi stjecanja zvanja sveučilišne prvostupnice (univ. bacc. biol.).

# Temeljna dokumentacijska kartica

Završni rad

Sveučilište u Splitu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Odjel za biologiju

Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

## BIOLOGIJA PINGVINA

Nikolina Nižić

### SAŽETAK

Pingvini (*Aves*, *Sphenisciformes*) su ptice koje ne lete i većinom nastanjuju ledena područja južne hemisfere, dok neke vrste žive u toplijim krajevima. Sistematski obuhvaćaju 18 vrsta. Najpoznatije vrste su carski, kraljevski, adelijski, humboldtski, galapagoski i patuljasti pingvin. Evolucijom su stekli različite prilagodbe kako bi preživjeli u ekstremnim uvjetima. Sekvenciranjem genoma nekih vrsta pingvina identificirani su brojni geni odgovorni za te posebne prilagodbe. Fosilni nalazi sugeriraju da su predci pingvina bili mnogo veći od današnjih vrsta. Reproductivne strategije uključuju složene rituale parenja i zajedničku brigu za jaja i potomstvo, pri čemu oba roditelja aktivno sudjeluju u inkubaciji i hranjenju mladunčadi. Na život današnjih pingvina utječu klimatske promjene, uništavanje staništa i onečišćenje okoliša, pa je većina recentnih vrsta ugrožena.

**Ključne riječi:** pingvini, *Aves Sphenisciformes*, fosili, prilagodbe, reproductivne strategije

**Rad sadrži:** 22 stranica, 12 slika, 26 literaturnih navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku.

**Mentor:** prof. dr. sc. Mate Šantić

**Ocjenjivači:** prof. dr. sc. Mate Šantić, prof. dr. sc. Biljana Apostolska, doc. dr. sc. Antonela Sovulj

**Rad prihvaćen:** Rujan, 2024

## Basic documentation card

Thesis

University of Split  
Faculty of Science  
Department of Biology  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

### BIOLOGY OF PENGUINS

Nikolina Nižić

#### ABSTRACT

Penguins (*Aves Sphenisciformes*) are flightless birds that predominantly inhabit the icy regions of the Southern Hemisphere, although some species live in warmer climates. Systematically, they encompass 18 species. The most well-known species are the emperor, king, Adélie, Humboldt, Galápagos and little penguin. Through evolution, they have developed various adaptations to survive in extreme conditions. Genome sequencing of certain penguin species has identified numerous genes responsible for these special adaptations. Fossil evidence suggests that the ancestors of penguins were much larger than the present-day species. Their reproductive strategies include complex mating rituals and shared parental care for eggs and offspring, with both parents actively participating in incubation and feeding of the young. The lives of modern penguins are affected by climate change, habitat destruction, and environmental pollution, which has led to most contemporary species being endangered.

**Keywords:** penguins, *Aves Sphenisciformes*, fossils, adaptations, reproductive strategies

**Thesis consists of:** 22 pages, 12 images, 26 references. The original language is Croatian.

**Mentor:** Mate Šantić, PhD, Full Prof.

**Rewievers:** Mate Šantić, PhD, Full Prof., Biljana Apostolska, PhD, Full Prof., Antonela Sovulj, PhD, Assoc. Prof.

**Thesis accepted:** September, 2024.

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. RAZRADA TEME</b> .....	<b>2</b>
1.1 Taksonomija pingvina .....	2
1.1.1 Carski pingvin ( <i>Aptenodytes forsteri</i> ) .....	3
1.1.2 Kraljevski pingvin ( <i>Aptenodytes patagonicus</i> ) .....	3
1.1.3 Adelijski pingvin ( <i>Pygoscelis adeliae</i> ) .....	4
1.1.4 Galapagoski pingvin ( <i>Spheniscus mendiscus</i> ).....	5
1.1.5 Humboldtski pingvin ( <i>Spheniscus humboldti</i> ) .....	6
1.1.6 Patuljasti pingvin ( <i>Eudyptula minor</i> ) .....	7
1.2 Rasprostranjenost i stanište .....	8
1.3 Podrijetlo i evolucija pingvina.....	9
1.4 Jedinственe prilagodbe pingvina .....	11
1.5 Ugroženost i prijetnje .....	15
1.5.1 Utjecaj klimatskih promjena na život pingvina.....	16
1.5.2 Antropogene prijetnje.....	17
<b>3. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>19</b>
<b>4. LITERATURA</b> .....	<b>20</b>

## 1. UVOD

Pingvini (*Aves*, *Sphenisciformes*) su morske ptice koje ne lete. Široko su rasprostranjene u južnoj hemisferi gdje naseljavaju hladna područja Antarktike i subantarktičkih otoka. Nalazimo ih i u području Južne Amerike (Patagonija, Falklandski otoci). Pojedine vrste naseljavaju i topla područja Galapagosa, Južne Afrike i Južne Australije. Da bi preživjeli ekstremne uvjete okoliša (jako niska temperatura, jaki vjetrovi, sezonske promjene u duljini dnevnog svjetla), pingvini su evolucijski razvili različite prilagodbe i adaptacije koje obuhvaćaju načine termoregulacije i zadržavanja topline. Pingvini su se pojavili prije formiranja polarnih ledenih ploča (prije više od 60 milijuna godina) kada su izgubili i sposobnost letenja, a evolucijski razvili oblik tijela prilagođen morskom životu (Cole i sur., 2022). Riječ pingvin potječe od latinske riječi “*Pinguis*” što znači “debeo”. Danas je poznato osamnaest vrsta pingvina, ali potpuni broj vrsta još nije definiran jer se njihova taksonomija još uvijek istražuje (Gill i Prevost, 2024). Pingvini su raspoređeni prema Bergmanovom bioklimatskom pravilu, jer veličinom i masom najveći pingvini naseljavaju najhladnija područja (carski i kraljevski pingvini na Antartici), a u toplim područjima obitavaju mali pingvini (galapagoski, patuljasti i afrički pingvini). Pingvini se suočavaju s prijetnjama klimatskih promjena i antropogenih utjecaja. Sve to dovodi do uništavanja staništa što značajno ugrožava život pingvina (Pan i sur., 2019).

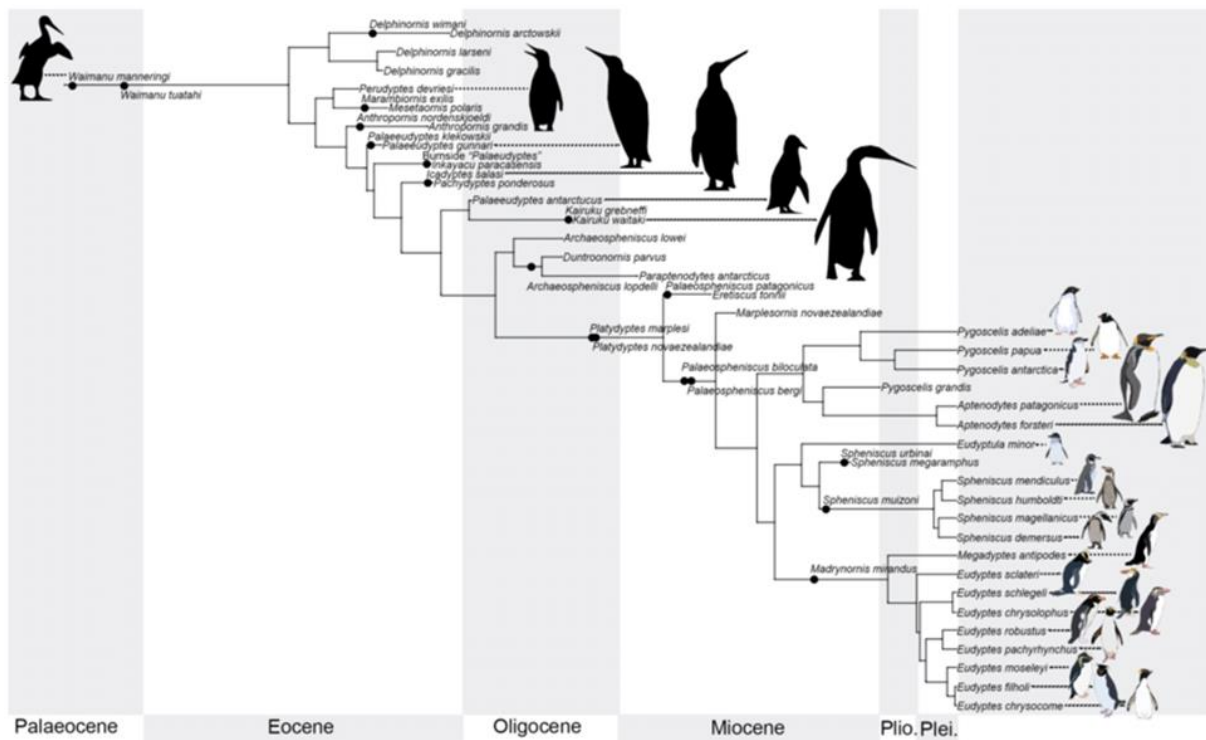
Cilj ovog završnog rada je opisati glavne osobine pojedinih vrsta pingvina i njihove prilagodbe koje im omogućavaju život u različitim uvjetima okoliša.



## 2. RAZRADA TEME

### 1.1 Taksonomija pingvina

Pingvini pripadaju potporodici Sphenicinae, koja uključuje šest rodova (*Aptenodytes*, *Pygoscelis*, *Eudyptula*, *Spheniscus*, *Megadyptes*, *Eudyptes*). Dvije najveće vrste su pingvini iz roda *Aptenodytes*, a to su carski pingvin (*Aptenodytes forsteri*) i kraljevski pingvin (*Aptenodytes patagonicus*). Ove dvije vrste su slične izgledom kao i ponašanjem (Pan i sur., 2019) (Slika 1.).



Slika 1. Filogenetsko stablo postojećih i izumrlih pingvina ([Phylogenetic-tree-of-extant-and-extinct-penguins-The-phylogeny-adapted-from.png \(850×516\) \(researchgate.net\)](#))

### 1.1.1 Carski pingvin (*Aptenodytes forsteri*)

Carski pingvin je endemska vrsta pingvina prilagođena niskim temperaturama ledenih obala Antarktike. Okupljaju se u velike kolonije za vrijeme jakih vjetrova i tako smanjuju gubitak topline. U središtu kolonije temperatura je do 10°C viša u odnosu na vanjski dio (Ancel i sur., 2013). Carski pingvini su najviši i najteži od svih vrsta pingvina. Odrasle jedinke dostižu visinu do 1.2 m i težinu do 45 kg. Upravo veličina i masa tijela smanjuje gubitak topline i omogućava preživljavanje u najhladnijem području na Zemlji, jer se na Antarktici temperature spuštaju i do - 40 C. Također, gusti sloj perja i debeli sloj masti štiti ih od hladnoće. Prilagođeni su na gladovanje, jer preživljavaju bez hrane i do 4 mjeseca. Hrane se ribom i lignjama. U potrazi za plijenom rone do 500 metara u dubinu, gdje se mogu zadržati i do 20 minuta. Sve navedene prilagodbe omogućavaju preživljavanje u ekstremnim klimatskim uvjetima (Li i sur., 2014).

### 1.1.2 Kraljevski pingvin (*Aptenodytes patagonicus*)

Kraljevski pingvin je manji od carskog pingvina. visine do 95 cm i težine do 16 kilograma. Prepoznaje se po izraženoj narančastoj šari u gornjem dijelu prsa (Slika 2.). Također, ima duži kljun i vitkiji stas od carskog pingvina. Kraljevski pingvini hrane svoje mladunce tako što pojedu ribu, djelomično je probave, a zatim je povrate. Hrane se ribom, lignjama i rakovima. Ženka polaže samo jedno jaje o kojem se brinu oba roditelja. Jaje čuvaju na svojim nogama (Bost i Karine, 2012). Partneri se mogu prepoznati među tisućama ptica u koloniji koristeći akustične signale (Lengagne i sur., 1999).



Slika 2. Kraljevski pingvin *A. patagonicus* ([King penguin – Australian Antarctic Program \(antarctica.gov.au\)](http://antarctica.gov.au))

### 1.1.3 Adelijski pingvin (*Pygoscelis adeliae*)

Rod *Pygoscelis* predstavljaju tri vrste: adelijski pingvin, (*Pygoscelis adeliae*), ogrličasti pingvin (*Pygoscelis antarctica*) i žutonogi pingvin (*Pygoscelis papua*).

Adelijski pingvini žive i na antarktičkom kontinentu i na mnogim malim, obalnim otocima koji ga okružuju. Najčešći su pingvini na Antarktiku i subantarktičkim otocima (Slika 3.). Zimu provode na otvorenim morskim prostranstvima koja okružuju antarktički led. Kao i drugi pingvini, adelijski pingvini su elegantni i učinkoviti plivači. Mogu putovati 185 milja (povratno putovanje) kako bi ulovili plijen. Tijekom parenja, naseljavaju stjenovite antarktičke obale gdje obitavaju u velikim kolonijama od više tisuća jedinki (Li i sur., 2014) . Promjene u populaciji ove vrste pokazatelji su određenih ekoloških promjena. Genetička i ekološka istraživanja pokazala su kako je ova vrsta reagirala na klimatske promjene tijekom više od 40 tisuća godina (Millar i sur., 2012). Također, dugoročno praćenje morfoloških osobina kao što je perje adelijskih pingvina, može ukazati na eventualne promjene u ekosustavu (Sun i sur., 2020) .



Slika 3. Adelijski pingvin (*P. adeliae*) ([Adélie penguin: Antarctic birds with attitude | WWF](#))

#### 1.1.4 Galapagoski pingvin (*Spheniscus mendiscus*)

Rodu *Spheniscus* pripadaju galapagoski pingvin, humboldtski pingvin, mageljanski pingvin i afrički pingvin. Galapagoski pingvin jedina je vrsta pingvina koja živi sjeverno od ekvatora gdje se prilagodio toploj klimi (Slika 4). Jedna su od najmanjih vrsta pingvina visine oko 50 cm i težine do 3.5 kg. Imaju tanki sloj perja, a prilikom hlađenja šire i pružaju svoje peraje kako bi oslobodili toplinu. Hrane se srdelama i inćunima. Populacija je mala i ograničena na otoke Fernandina i Isabela. Trenutno ima od 4.250 do 8.500 jedinki, što je polovina broja iz 1970-ih godina. Veličina populacije vjerojatno se smanjila zbog značajnih promjena oceanskih uvjeta (Boersma, 1998). Ono što čini ovu vrstu pingvina posebnom je činjenica da se pare isključivo kada su uvjeti u okolišu povoljni za parenje (Arauco-Shapiro i sur., 2020).



Slika 4. Galapagoski pingvin (*S. mendiculus*) ([Galapagos penguin | Endangered Species, Habitat & Diet | Britannica](#) )

### 1.1.5 Humboldtski pingvin (*Spheniscus humboldti*)

Humboldtski pingvin ističe se posebnim morfološkim osobinama (Slika 5.). Prepoznaje se po širokoj bijeloj traci u obliku slova C koja se proteže preko glave, te po širokoj crnoj traci koja se spušta niz bokove tijela i presijeca bijelo perje na trbuhu ptice. Također, istaknuta osobina je veliko ružičasto mesnato područje na licu. Naseljava obale Perua, Čilea i obližnjih pacifičkih otoka (Rafferty, 2020.). Žive u velikim kolonijama, što je prilagodba u obrani od različitih predatora. U komunikaciji koriste glasne zvukove, što je jedna od njihovih osobina. Hrane se ribom (srdele i incuni) i lignjama. Mogu zaroniti i do 150 m u potrazi za plijenom. U nedostatku hrane migriraju na veće udaljenosti u potrazi za plijenom (Culik, 2001). Srednje su veličine dostižući visinu do 70 cm i težinu do 5kg. Ugroženi su zbog klimatskih promjena, smanjene dostupnosti hrane i onečišćenja mora.



Slika 5. Humboldtski pingvin (*S. humboldti*) ([Humboldt penguin | Endangered Species, Habitat & Diet | Britannica](#))

### 1.1.6 Patuljasti pingvin (*Eudyptula minor*)

Patuljasti ili plavi pingvin (*Eudyptula minor*) je najmanja vrsta pingvina, s karakterističnim perjem u nijansama od blijede plave do svijetlo sive (slika 6.). Ova vrsta je jedini je član roda *Eudyptula*, a uključuje šest podvrsta koje naseljavaju različite regije: kopneni dio Australije, Tasmaniju, jugoistočni Novi Zeland te otoke Novog Zelanda. U moru love plijen preko dana, noću izlaze na obale. Hrane se ribama, lignjama i rakovima. Odlični su plivači koji mogu zaroniti do dubine od 60 metara u potrazi za plijenom. Monogamne su životinje. Gnijezde se u velikim kolonijama. Vrlo su glasni i koriste različite zvukove u komunikaciji sa partnerima, mladim jedinkama i ostalim članovima kolonije. Odrasle jedinke u prosjeku dostižu visinu od 30 centimetara i težinu od 1.5 kilograma. Zbog svoje male veličine, plavi pingvini su izloženi različitim prijetnjama u svom prirodnom staništu. Najčešći predatori su kopneni sisavci poput pasa, mačaka i štakora (Rafferty, 2024).



Slika 6. Patuljasti pingvin (*E. minor*) ([Little Blue \(Fairy\) Penguin | Online Learning Center | Aquarium of the Pacific \(aquariumofpacific.org\)](#))

## 1.2 Rasprostranjenost i stanište

Staništa pingvina obuhvaćaju širok raspon geografskih područja, od ledenih područja Antarktike (Slika 7.), subantarktičkih otoka i Patagonije do toplijih obala Južne Afrike, Australije, Novog Zelanda i otoka Galapagosa. Samo se galapagoski pingvin (*S. mendiculus*) nalazi sjeverno od ekvatora (Boersma, 2008). Antarktika i okolni otoci najhladnija su područja na Zemlji sa specifičnom klimom na koju su prilagođene pojedine vrste pingvina. Na ovim područjima niske su prosječne temperature (zimi se temperatura spusti na  $-60^{\circ}\text{C}$ ), a pušu izuzetno jaki vjetrovi. Također, malo je padalina pa je Antarktika suho područje.

Obalne polinije glavna su staništa pingvina, jer pružaju pristup otvorenom moru tijekom cijele godine. Polinije nastaju djelovanjem vjetra i struja, koje sprječavaju zaleđivanje određenih područja. Ova otvorena morska staništa omogućuju pingvinima lakši pristup hrani i smanjuju potrebu za dugim putovanjima po ledu što omogućava visoku stopu preživljavanja (Arrigo i Dijken, 2003).



Slika 7. Pingvini na Antarktici ([Antarctica \(continent\) | Britannica](#))

Pojedine vrste pingvina naseljavaju toplija područja. Dobro je istražen pingvin s Galapagosa (*S. mendiculus*) koji se prilagodio posebnim klimatskim uvjetima. Samo se ova vrsta pingvina nalazi sjeverno od ekvatora (Boersma, 2008). Otočje Galapagos jedno je od najproduktivnijih morskih ekosustava na Zemlji. Zbog konvergencije četiri oceanske struje i izoliranosti ovih otoka velika je bioraznolikost biljnog i životinjskog svijeta s mnogo endemskih vrsta. Galapagoski pingvin endemska je vrsta rasprostranjena na obalama otoka Fernandina i Isabela, gdje se uzdiže Cromwellova struja i donosi najproduktivnije vode oko otoka (Arauco-Shapiro i sur., 2020).

### 1.3 Podrijetlo i evolucija pingvina

O podrijetlu pingvina, kao i o podrijetlu drugih vrsta možemo učiti iz fosilnih ostataka. Iako su drevni fosili pingvina pronađeni u blizini ekvatora, sugerira se da je najnoviji zajednički predak (MRCA) postojećih pingvina nastao na Antarktiku i kasnije se diverzificirao s tog kontinenta.

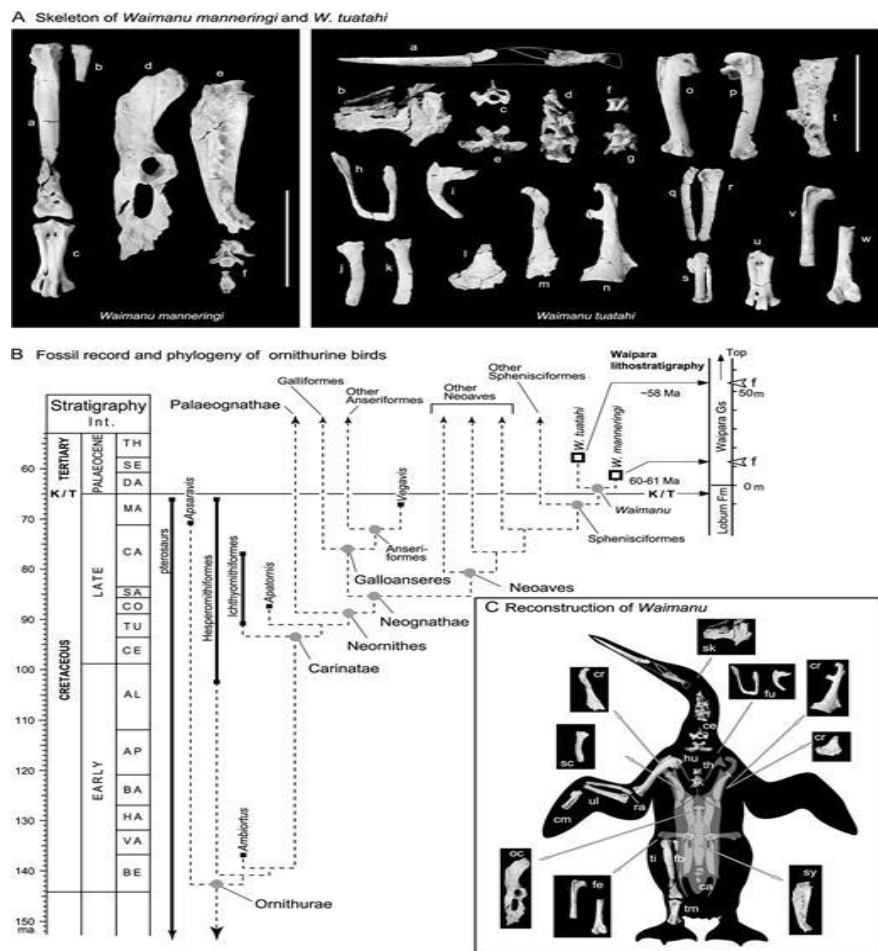
Fosilni zapisi *Sphenisciformesa* su opsežni u usporedbi s većinom drugih ptičjih skupina. Ovi fosili pružaju izvrsnu priliku za istraživanje povijesti pingvina. Thomas Huxley (1859.) dao je prvi opis fosilnog pingvina (*Palaeudyptes antarcticus*) na nepotpunom tarsometatarsusu (kost koja se nalazi u potkoljenici ptica i nekih dinosaura) pronađenom na Novom Zelandu (Ksepka, i sur., 2006). Jedna od značajki evolucije pingvina je pojava vrlo velikih vrsta u ranom kenozoiku, čija je veličina tijela premašila veličinu najvećih postojećih pingvina (Mayr i sur., 2017). Od tih ranih otkrića, Novi Zeland, Antarktika i Južna Amerika donijeli su bogatstvo materijala o pingvinima. Manje zbirke fosila također su pronađene u Australiji i Južnoj Africi (Ksepka i sur., 2006).

Novi Zeland je dao nekoliko fosila paleocenskih *Sphenisciformesa*, što je usmjerilo svjetlo na ranu evoluciju pingvina. Svi primjerci potječu iz Waipara Greensanda u regiji Canterbury, a dvije imenovane vrste, *Waimanu manneringi* i *W. tuatahi*, najstarije su i filogenetski najosnovnije vrste pingvina prijavljene do sada (Mayr i sur., 2017) (Slika 8.).

Prisutnost divovskih pingvina u paleocenu nedugo nakon događaja masovnog izumiranja krajem krede, može ukazivati na to da su te ptice ušle u ekološke niše koje su ostale prazne nakon izumiranja velikih grabežljivih morskih gmazova. Povećanje veličine tijela tijekom vremena poznato je za mnoge skupine organizama, pri čemu je ovaj evolucijski trend ("Cope's rule") posljedica pozitivne, usmjerene selekcije na razini populacije što pogoduje preživljavanju



i uspjehu u parenju. Kod pingvina, povećanje mase može predstavljati prednost u natjecanju za staništa pogodna za parenje. Također se razmatra povezanost veličine tijela s boljom sposobnošću ronjenja. Pojedini znanstvenici smatraju da je natjecanje u hranjenju morskih sisavaca odigralo ulogu u izumiranju divovskih pingvina i drugih velikih “morskih ptica s krilima”. Njihov nestanak doista se podudara s porastom populacija morskih sisavaca, ali točni uzroci i mehanizmi konkurentne zamjene ostaju slabo shvaćeni. Na evoluciju pingvina snažno su utjecali neleteći kralježnjaci budući da je izumiranje većih morskih i kopnenih grabežljivaca krajem krede možda bio ekološki pokretač gubitka sposobnosti letenja kod najranijih pingvina (Mayr i sur., 2017).



Slika 8. Fosilni ostatci *Waimanu* pingvina ([Early Penguin Fossils, Plus Mitochondrial Genomes, Calibrate Avian Evolution | Molecular Biology and Evolution | Oxford Academic \(oup.com\)](#))

## **1.4 Jedinstvene prilagodbe pingvina**

Iako su zbog razmnožavanja i gniježđenja neko vrijeme vezani za kopno, sve vrste pingvina većinu života provode na moru u potrazi za hranom. Već je spomenuto da pojedine vrste nastanjuju područja s jakim vjetrovima i ekstremno niskim temperaturama gdje doživljavaju sezonske promjene u duljini danjeg svjetla. Druge vrste se nalaze u umjerenoj i tropskoj klimi s malim oscilacijama u duljini dana (Pan i sur., 2019). Pingvini su se različitim adaptacijama prilagodili životu u morskom okolišu. Primjer su morfološke promjene krila, razvijeno osjetilo vida pod morem te specifičan način hranjenja i reproduktivne strategije (Li i sur., 2014).

### **Modificirana krila**

Današnji pingvini izgubili su sposobnost leta, jer su krila tijekom evolucije doživjela morfološke promjene. Modificirana krila recentnih pingvina nalik su perajama koje koriste za plivanje, ronjenje i podvodni let (Li i sur., 2014). U odnosu na izumrle vrste, krila recentnih vrsta značajno su se izmijenila i prilagodila načinu života (Ksepka i sur., 2006). Te promjene uključuju modifikacije u prsnoj kosti i kostima krila. Posljedica promjena su ravna krila kod današnjih pingvina. Izravnavanje kostiju u krilima povećava aerodinamičku učinkovitost prilikom plivanja i ronjenja. Za svladavanje sile uzgona u vodi, razvile su se guste kosti i kruti zglobovi krila, te je smanjena muskulatura distalnog dijela krila (Li i sur., 2014).

### **Prehrana**

Obzirom na specifične uvjete života pingvini su prilagođeni jedinstvenom načinu prehrane (Cole i sur., 2022). Preživljavaju dugo vremena bez hrane, a kada ulove plijen mogu odgoditi probavu hrane. Kod carskih pingvina dugotrajni post (do četiri mjeseca kod mužjaka carskih pingvina) prethodi nakupljanju masti i proteina. Tijekom čuvanja jaja za preživljavanje koriste se masti i lipidi kao izvori energije. Blizu potpune iscrpljenosti zaliha masti, nastupaju značajne promjene u ponašanju, metaboličkim aktivnostima i endokrinom sustavu. Povećava se lokomotorna aktivnost i jedinke često na duže razdoblje ostavljaju jaja. Konačno napuštaju jaja i odlaze u more na hranjenje. Navedene promjene potaknute su endogenim signalom za hranjenjem koji se aktivira prije smrtonosne iscrpljenosti (Groscolas i Robin, 2001). U području Rossovog mora, adelijski pingvini hrane se uglavnom krilom i pelagičkim ribama, a njihova dostupnost ovisi o dinamici morskog leda. Istraživanja pokazuju različite prehranske obrasce: u nekim slučajevima zabilježena je veća konzumacija krila kad je morski led minimalan ili

odsutan, dok druga zapažanja bilježe veću ishranu planktonskim račićima u područjima s više leda. Obrasci hranjenja su važni, jer buduće promjene u ledenom pokrivaču mogu utjecati na brojnost ove vrste (Maccapan i sur., 2023).

### **Reproduktivne strategije i briga za potomstvo**

Prirodna selekcija potiče strategiju razmnožavanja koja u određenom okolišu osigurava stvaranje najvećeg broja mladunaca koji će preživjeti i dalje se razmnožavati, kao i preživljavanje roditelja do ponovnog razmnožavanja. Kod ptica, vrijeme razmnožavanja određeno je ekološkim činiocima kao što su dužina osvjetljenja (fotoperiod), temperatura, te dostupnost i kvaliteta hrane (Ancel i sur., 2013). Pingvini se moraju razmnožavati na kopnu (ili na morskom ledu) i istovremeno se hraniti u moru. Zbog toga na nekim otocima gdje se razmnožavaju, stvaraju kolonije koje nisu udaljene od hladnih morskih struja bogatih hranom. Sve vrste su monogamne. Većina vrsta gradi gnijezda za razmnožavanje (kao i ostale morske ptice), dok carski i kraljevski pingvini čuvaju jaja i mlade na svojim nogama (Aubin, 2004).

Većina vrsta razmnožava se jednom godišnje, a kod afričkih i galapagoskih pingvina razmnožavanje se odvija tijekom cijele godine. Pingvini (osim žutookog pingvina) se razmnožavaju stvarajući velike kolonije. U kolonijama stvaraju veliki broj gnijezda. Na primjer, kod carskih pingvina nalazi se desetak ptica na kvadratnom metru što povećava socijalne interakcije. Visoka gustoća ptica koje se gnijezde razvila je kod pingvina raznovrsne vokalne i vizualne manifestacije (Ancel i sur., 2013). Pingvini prepoznaju svog partnera ili mladunce pomoću specifičnog zvučnog signala („display call“). Ovaj način prepoznavanja potreban je u zahtjevnom okruženju, bučnom svijetu kolonije od tisuće ptica (Aubin, 2004). Kada se mladi pingvini izlegu iz jaja, jedan od roditelja brine se o mladuncima, a drugi odlazi u potragu za hranom. Mladi pingvini nisu neovisni, pa je potrebna roditeljska briga zbog ishrane i zaštite od hladnoće. Na primjer, mladunci carskih i kraljevskih pingvina sjede na nogama roditelja ili ispod njihovih trbuha kako bi ostali topli i suhi. Oba roditelja hrane mladunce probavljenom hranom koja se povraća u usta (Slika 9.).

Rastom mladih pingvina potreba za hranom je sve veća pa oba roditelja istovremeno odlaze u more i prikupljaju hranu. U nedostatku hrane, mladunce mogu hraniti i odrasle jedinke koje nisu njihovi roditelji (Ancel i sur., 2013).



Slika 9. Hranjenje mladih probavljenom hranom ([Penguin Family Image | National Geographic Your Shot Photo of the Day](#))

### **Genske prilagodbe recentnih vrsta**

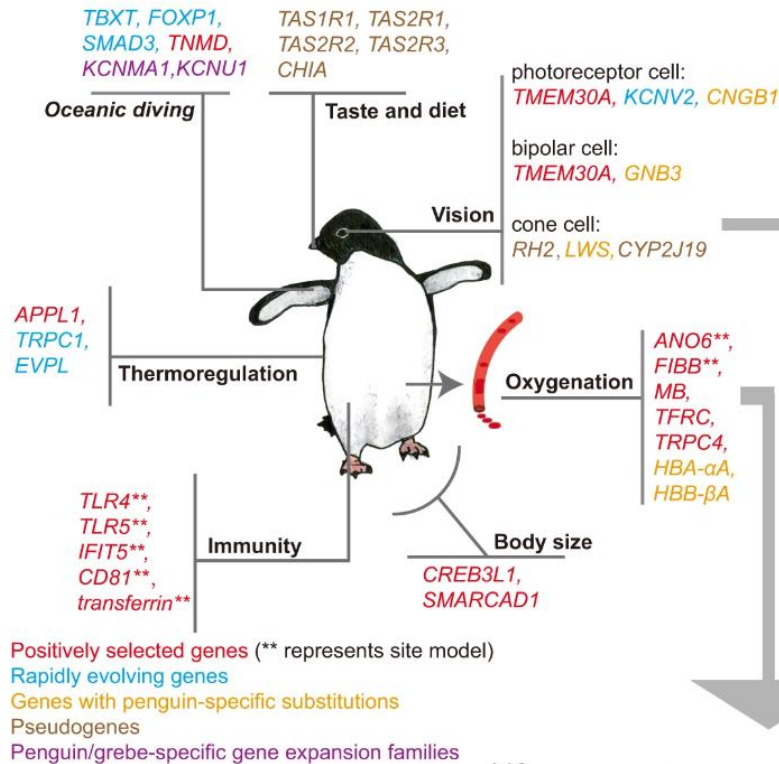
Sekvenciranje genoma vrsta koje žive u ekstremnim uvjetima otkriva ključne spoznaje o tome kako se organizmi prilagođavaju takvim okolišima. Na primjeru drugih životinja, populacijska genomska analiza polarnih medvjeda otkrila je pozitivno odabrane gene povezane s kardiomiopatijom i vaskularnim bolestima, što podrazumijeva važnu reorganizaciju kardiovaskularnog sustava kod polarnih medvjeda kako bi se prilagodili arktičkom okruženju. S obzirom na velike populacije i dugu povijest na Antarktiku, antarktički pingvini također su izvrstan model za proučavanje kako se životinje prilagođavaju ekstremnim uvjetima okoliša (Li i sur., 2014).

Znanstvenici su istraživali gene odgovorne za jedinstvene prilagodbe pingvina, uključujući termoregulaciju, oceansko ronjenje, oksigenaciju, podvodni vid, pomake u prehrani, veličinu tijela i imunitet. Ti se geni ili razlikuju u svih pingvina u usporedbi s drugim pticama, razlikuju se u rodu *Aptenodytes* u usporedbi s drugim pingvinima ili su pod izrazitim selektivnim pritiscima unutar pingvina (Cole i sur., 2022).

Identificirana su tri REG-a (geni koji se brzo razvijaju) koje dijele pingvini i druge ptice koje ne lete ili gotovo ne lete. Ti su geni povezani sa skraćivanjem, krutošću i povećanom gustoćom prednjih kostiju koje doprinose krilu pingvina nalik perajama. TBXT i FOXP1 povezani su s razvojem zglobne hrskavice, tetiva i kostiju udova. Tendomodulin (TNMD) je protein koji se izrazito izražava tijekom procesa diferencijacije i razvoja tetiva udova, ligamenata te kolagenskih fibrila. Njegova važnost ogleda se u činjenici da gubitak TNMD-a može dovesti do smanjene gustoće tenocita, specijaliziranih stanica tetiva. TNMD ima ključnu ulogu u gotovo potpunoj zamjeni mišićnog tkiva distalnog dijela krila pingvina tetivama. Ova adaptacija značajno smanjuje gubitak topline kroz peraje koje, zbog velike površine, imaju tendenciju brzog gubitka topline u hladnim uvjetima.

Pingvini posjeduju gusto raspoređeno, vodootporno perje, debelu kožu te sloj potkožnog masnog tkiva, što im omogućuje učinkovitu termoregulaciju u hladnim okruženjima. Identificirana su četiri gena (APPL1, TRPC1, EVPL) koja su bila pod selektivnim pritiskom kod zajedničkih predaka pingvina, a povezana su s mehanizmima termoregulacije. Ovi geni igraju ključnu ulogu u prilagodbi pingvina na ekstremno hladne uvjete u kojima žive.

Pingvini često love pri slabom svjetlu i pokazuju specijalizacije za vid u prigušenim, plavo-zelenim morskim okruženjima. Deaktivacija gena CYP2J19 omogućuje veću osjetljivost mrežnice pri lovu u uvjetima prigušenog svjetla, kao što je slučaj kod npr. noćnih sova. Poznato je još 7 drugih gena koji imaju važnu ulogu u prijenosu svjetla. Također su identificirani geni odgovorni i za druge prilagodbe (Slika 10.) (Cole i sur., 2022).



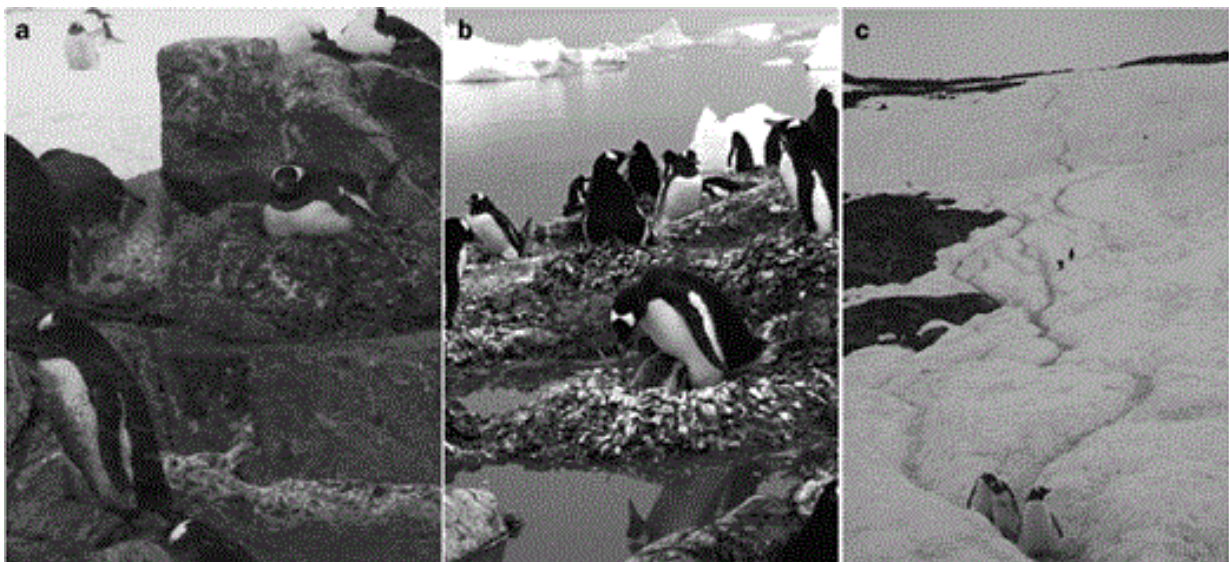
Slika 10. Geni odgovorni za posebne prilagodbe današnjih pingvina (<https://www.nature.com/articles/s41467-022-31508-9/figures/4>)

## 1.5 Ugroženost i prijetnje

Morske ptice su najugroženija skupina ptica (Trathan i sur., 2015). Polovina postojećih vrsta pingvina smatra se ugroženima ili ranjivima uslijed klimatskih promjena i raznih poremećaja u okolišu (Cole i sur., 2022). Mnoge vrste pingvina koje su klasificirane kao ugrožene ili ranjive nalaze se u specifičnim geografskim područjima. Na primjer, galapagoski pingvin i humboldtski pingvin žive u Južnoj Americi, dok afrički pingvin obitava u Africi. Na Novom Zelandu nalazimo žutookog pingvina (*Megadyptes antipodes*), fiordlandskog pingvina (*Eudyptes pachyrhynchus*) te pingvina s uspravnim čupercima (*Eudyptes sclateri*). U subantarktičkim područjima obitavaju vrste poput makaroni pingvina (*Eudyptes chrysolophus*) i makvorijskog pingvina (*Eudyptes schlegeli*). Sve navedene vrste ugrožene su zbog svoje male populacije i ograničenog geografskog položaja, a uzroci pada populacija često nisu potpuno poznati (Trathan et al., 2015).

### 1.5.1 Utjecaj klimatskih promjena na život pingvina

Klimatske promjene predstavljaju značajnu prijetnju globalnoj bioraznolikosti, uključujući ekosustave Antarktike. One dovode do pojave "pobjednika", odnosno vrsta koje se uspješno prilagođavaju novim uvjetima, te "gubitnika", vrsta koje se suočavaju s padom broja jedinki ili izumiranjem (Clucas i sur., 2014). Zapadni dio Antarktičkog poluotoka pati od povećanja atmosferske temperature u posljednjih 50 godina, uglavnom povezanih s globalnim zatopljenjem. Ovaj porast temperaturnog trenda povezan s promjenama u dinamici mora i leda utječe na organizme, utječući na njihovu fenologiju, fiziologiju i razmnožavanje. Na primjer, u posljednjih 50 godina zabilježene su brze demografske promjene u rodu *Pygoscelis*, što rezultira širenjem populacije subantarktičkog žutonogog pingvina (*P. papua*) i povlačenjem antarktičkog adelijskog pingvina (*P. adeliae*). Klimatsko zatopljenje na Antarktičkom poluotoku dovodi do povećanja padalina. Topliji zrak zadržava više vlage, što rezultira većim količinama snijega i kiše (Slika 11.). Na otoku Paulet u Weddellovom moru, povećana količina kiše negativno utječe na adelijske pingvine, uzrokujući smanjenje broja mladih. Mladi adelijski pingvini prilagođeni su hladnom vremenu i laganom snijegu. Iako se snijeg može nakupljati na njihovom perju, ispod perja ostaju suhi i topli. Ako se smoče na kiši, ugibaju od hipotermije (Clucas i sur., 2014).



Slika 11. Posljedice globalnog zatopljenja ([Penguins as Marine Sentinels | BioScience | Oxford Academic \(oup.com\)](#))

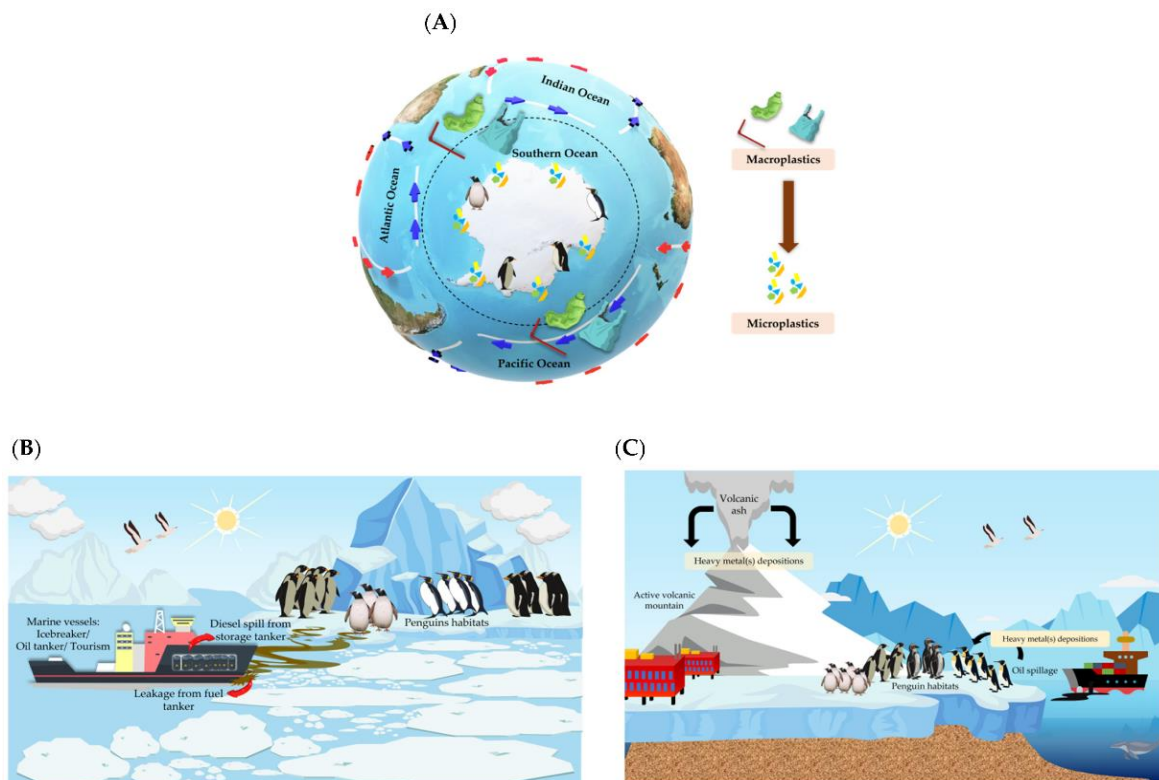
### 1.5.2 Antropogene prijetnje

Mnoga ribarska područja širom svjetskih oceana su iscrpljena. Dogodile su se promjene u obalnim ekosustavima, uzrokovane aktivnostima na kopnu koje mijenjaju ili uništavaju prirodna staništa, uzrokuju prisutnost toksina i zagađivača u moru, te čak mijenjaju tokove morskih struja. Promjene u ekosustavima otvorenog mora uključuju eksploataciju mineralnih resursa, zagađenje od broskog prometa te izgradnju infrastrukture za razvoj nafte ili vjetroelektrana na moru. Pingvini i njihovi populacijski procesi bolje odražavaju lokalne ili regionalne oceanske uvjete u usporedbi s bilo kojom drugom skupinom morskih ptica (Trathan i sur., 2015). Zbog stalno niskih temperatura na Antarktici, zagađenja toksinima mogu imati ozbiljne i dugotrajne učinke na okoliš. Ozbiljnost učinaka varira ovisno o vrsti životinje, tipu kemikalije i razini izloženosti. Pingvini, koji su jedna od najistaknutijih i najrasprostranjenijih životinjskih vrsta na Antarktici, posebno su ugroženi zbog zagađenja. Najčešći zagađivači su dizelska goriva, mikroplastika i teški metali (Slika 12.). Čak i na manjoj skali, utjecaji zagađenja na populacije pingvina su značajni. Pingvini mogu eliminirati teške metale putem izmeta i perja. Za praćenje teških metala kod pingvina često se koriste izmet i perje zbog manje invazivne metode prikupljanja, jednostavnosti uzorkovanja i financijske isplativosti. Pingvini mijenjaju perje jednom godišnje, što ih čini izvrsnim indikatorom bioakumulacije.

Iako su slučajevi izlivanja nafte relativno rijetki na Antarktici, takvi događaji u blizini staništa i područja razmnožavanja pingvina mogu imati značajan utjecaj na ove ptice, posebno tijekom sezone parenja, kada su pod velikim nutritivnim stresom (Puasa i sur., 2021).

U kontekstu mikroplastike, najveća koncentracija pronađena je u regiji Antarktičkog poluotoka (Scotia mora), gdje se nalaze mnoge znanstvene istraživačke postaje i gdje je veća gustoća pomorskog prometa. To ukazuje na to da su glavni izvori mikroplastike znanstvene istraživačke postaje, ribarski brodovi te turistički i istraživački brodovi (Fragão i sur., 2021).





Slika 12. Izvori (a) mikroplastike , (b) dizelskih goriva, (c) teških metala ([Animals | Free Full-Text | Effects of Diesel, Heavy Metals and Plastics Pollution on Penguins in Antarctica: A Review \(mdpi.com\)](#))

Antropogene prijetnje pingvinima uključuju i ribolov, prvenstveno zbog slučajne smrtnosti i konkurencije za iste resurse, budući da ribari i pingvini često love iste vrste riba (Mattern et al., 2013). Ribarske mreže predstavljaju značajnu prijetnju svim vrstama pingvina. Mjere za smanjenje rizika trebale bi uključivati razdvajanje ribara i pingvina prostornim ili vremenskim metodama. Bez takvog razdvajanja, interakcije između pingvina i mreža za ribolov su neizbježne (Trathan i sur., 2015).

### 3. ZAKLJUČAK

Pingvini su morske ptice koje ne lete. Većina pingvina naseljava hladna područja južne hemisfere. Porodica Sphenidae obuhvaća pet rodova sa osamnaest vrsta. Najpoznatije vrste su carski, kraljevski, adelijski, humboldtski, galapagoski i patuljasti pingvin. Pingvini su raspoređeni prema Bergmanovom bioklimatskom pravilu, jer veličinom i masom najveći pingvini naseljavaju najhladnija područja (carski i kraljevski pingvin na Antartici), a u toplim područjima obitavaju mali pingvini. Evolucijom su stekli različite prilagodbe za preživljavanje u specifičnim uvjetima okoliša. Zbog načina života, krila su morfološkim promjenama modificirana u peraje koje koriste za plivanje i ronjenje. Također, razvijene su različite strategije prehrane, razmnožavanja i skrbi za mlade. Pingvini imaju razvijenu sposobnost termoregulacije zahvaljujući vodootpornom, gustom perju, debelom sloju kože te sloju potkožnog masnog tkiva. Kao dominantne vrste na antarktičkim područjima, suočeni su s ozbiljnim prijetnjama, uzrokovanim klimatskim promjenama i antropogenim utjecajima. Klimatsko zatopljenje, zajedno s onečišćenjem i prekomjernim ribolovom, dovelo je do značajnog smanjenja populacija mnogih vrsta pingvina, čineći ih najugroženijom skupinom morskih ptica.

#### 4. LITERATURA

Ancel, A., Beaulieu, M. and Gilbert, C. 2013. 'The Different Breeding Strategies of Penguins: A Review'. *Comptes Rendus. Biologies* 336(1): 1–12. doi:10.1016/j.crv.2013.02.002.

Arauco-Shapiro, G., Schumacher, K. I., Boersma, D. and Bouzat, J. L. 2020. 'The Role of Demographic History and Selection in Shaping Genetic Diversity of the Galápagos Penguin (*Spheniscus Mendiculus*)'. *PLoS ONE* 15(1). doi:10.1371/journal.pone.0226439.

Arrigo, K. R. and van Dijken, G. L. 2003. 'Phytoplankton Dynamics within 37 Antarctic Coastal Polynya Systems'. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 108(C8). doi:10.1029/2002JC001739.

Aubin, T. Penguins and their noisy world. *An Acad Bras Cienc.* 2004 Jun;76(2):279-83. doi: 10.1590/s0001-37652004000200015. Epub 2004 Jun 8. PMID: 15258640.

Boersma, D. 1998. Population trends of the galapagos penguin: impacts of el nino and la nina. <https://academic.oup.com/condor/article/100/2/245/5126272>.

Boersma, P. D. 2008. 'Penguins as Marine Sentinels'. *BioScience* 58(7): 597–607. doi:10.1641/B580707.

Bost, C. and Delord, K. 'View Project KEOPS II View Project'. <https://www.researchgate.net/publication/250305098>.

Clucas, G. V., Dunn, M. J., Dyke, K., Steven, D., Ron Naveen, Polito, M. J., Pybus, O. G., Rogers, A. D. and Hart. 2014. 'A Reversal of Fortunes: Climate Change “winners” and “Losers” in Antarctic Peninsula Penguins'. *Scientific Reports* 4. doi:10.1038/srep05024.

Cole, T. L., Chengran, Z., Fang, M., Pan, H., Ksepka, D. T., Fiddaman, S. R., Emerling, C. A. 2022. 'Genomic Insights into the Secondary Aquatic Transition of Penguins'. *Nature Communications* 13(1). doi:10.1038/s41467-022-31508-9.

Culik, B. 2001. 'Finding Food in the Open Ocean: Foraging Strategies in Humboldt Penguins'. *Zoology* 104(3–4): 327–38. doi:10.1078/0944-2006-00038.

Fragão, J., Bessa, F., Otero, V., Barbosa, A., Sobral, P., Waluda, C. M., Guímaro, H. and Xavier, J. 2021. 'Microplastics and Other Anthropogenic Particles in Antarctica: Using Penguins as Biological Samplers'. *Science of The Total Environment* 788: 147698. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147698.

Gill, F. and Prevost, J. "penguin". Encyclopedia Britannica, 26 Jul. 2024, <https://www.britannica.com/animal/penguin>. Accessed 16 September 2024.

Groscolas, R. and Robin, J-P. 2001. 'Long-Term Fasting and Re-Feeding in Penguins'. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 128(3): 643–53. doi:10.1016/S1095-6433(00)00341-X.

Ksepka, D. T., Bertelli, S. and Giannini, N.P. 2006. 'The Phylogeny of the Living and Fossil Sphenisciformes (Penguins)'. *Cladistics* 22(5): 412–41. doi:10.1111/j.1096-0031.2006.00116.x.

Lengagne, T., Aubin, T., Lauga, L. and Jouventin, P. 1999. 'How Do King Penguins (*Aptenodytes Patagonicus*) Apply the Mathematical Theory of Information to Communicate in Windy Conditions?' *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 266(1429): 1623–28. doi:10.1098/rspb.1999.0824.

Li, C., Zhang, Y., Li, J., Kong, L., Hu, H., Pan, H., Xu, L. 2014. 'Two Antarctic Penguin Genomes Reveal Insights into Their Evolutionary History and Molecular Changes Related to the Antarctic Environment'. *GigaScience* 3(1). doi:10.1186/2047-217X-3-27.

Maccapan, D., Careddu, G., Calizza, E., Caputi, S., Rossi, L. and Costantini M. 2023. 'Effects of Sea-Ice Persistence on the Diet of Adélie Penguin (*Pygoscelis Adeliae*) Chicks and the Trophic Differences between Chicks and Adults in the Ross Sea, Antarctica'. *Biology* 12(5): 708. doi:10.3390/biology12050708.

Mattern, T., Ellenberg, U., Houston, D. M., Lamare, M., Davis, L., van Heezik, Y. and Seddon, P. 2013. 'Straight Line Foraging in Yellow-Eyed Penguins: New Insights into Cascading Fisheries Effects and Orientation Capabilities of Marine Predators'. *PLoS ONE* 8(12): e84381. doi:10.1371/journal.pone.0084381.

Mayr, G., Scofield, R. P., De Pietri, V. L. and Tennyson, A. 2017. 'A Paleocene Penguin from New Zealand Substantiates Multiple Origins of Gigantism in Fossil Sphenisciformes'. *Nature Communications* 8(1). doi:10.1038/s41467-017-01959-6.

Millar, C. D., Subramanian, S., Heupink, T. H., Swaminathan, S., Baroni, C. and Lambert, D. M. 2012. 'Adélie Penguins and Temperature Changes in Antarctica: A Long-term View'. *Integrative Zoology* 7(2): 113–20. doi:10.1111/j.1749-4877.2012.00288.x.

- Pan, H., Cole, T. L., Bi, X., Fang, M., Zhou, C., Yang, Z., Ksepka, D. T. 2019. 'High-Coverage Genomes to Elucidate the Evolution of Penguins'. *GigaScience* 8(9). doi:10.1093/gigascience/giz117.
- Puasa, N. A., Zulkharnain, A., Verasoundarapandian, G., Wong, C-Y., Mohd Zahri, K. N., Merican, F., Shahrudin, N. A., Gomez-Fuentes, C. and Ahmad, S. A. 2021. 'Effects of Diesel, Heavy Metals and Plastics Pollution on Penguins in Antarctica: A Review'. *Animals* 11(9): 2505. doi:10.3390/ani11092505.
- Rafferty, J. P. 2024. 'Blue Penguin'. *Britannica*. 30 Jul. 2024, <https://www.britannica.com/animal/blue-penguin>. Accessed 15 September 2024
- Rafferty, J. P. "Humboldt penguin". *Encyclopedia Britannica*, 28 May. 2020, <https://www.britannica.com/animal/Humboldt-penguin>. Accessed 16 September 2024
- Sun, Y., Lu, Z., Xiao, K., Zeng, L., Wang, J. and Gabrielsen, G. W. 2020. 'Antarctic Adélie Penguin Feathers as Bio-Indicators of Geographic and Temporal Variations in Heavy Metal Concentrations in Their Habitats'. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 206. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.111135.
- Trathan, P.N., García-Borboroglu, P., Boersma, D., Bost, C-A., Crawford, R. J. M., Crossin, G. T., Cuthbert, R. J. 2015. 'Pollution, Habitat Loss, Fishing, and Climate Change as Critical Threats to Penguins'. *Conservation Biology* 29(1): 31–41. doi:10.1111/cobi.12349.