

Komparativni trodimenzionalni prikaz lubanja predstavnika odabranih razreda kralješnjaka

Kabalin, Tin

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:596950>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-09**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Tin Kabalin

**Komparativni trodimenzionalni prikaz
lubanja predstavnika odabranih razreda
kralješnjaka**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Tin Kabalin

**Comparative three-dimensional view of the
skulls of representatives of selected
vertebrate classes**

Master thesis

Zagreb, 2022.

Ovaj rad je izrađen u Zoologijskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta te Zavodu za anatomiju, histologiju i embriologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Perice Mustafića te komentorstvom prof. dr. sc. Tajane Trbojević Vukičević. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistar edukacije biologije i kemije.

Kao prvo, zahvaljujem se svojim mentorima, prof. dr. sc. Tajani Trbojević Vukičević te prof. dr. sc. Perici Mustafiću, što su me cijelo vrijeme podržavali i savjetovali pri pisanju i izradi mog diplomskog rada. Osim toga, od srca zahvaljujem brojnim profesorima i asistenticama koji su me podržavali i usmjeravali vjerujući da bih izradom ovog diplomskog rada mogao pridonijeti edukaciji mlađih naraštaja: v. pred. dr. sc. Damiru Sirovini na savjetima, metodičkom usmjeravanju i dostupnosti, prof. dr. sc. Tomislavu Gomerčiću na podučavanju i savjetovanju u radu s različitim programima za modeliranje, izv. prof. dr. sc. Zoranu Vrbancu i izv. prof. dr. sc. Hrvoju Capku na trudu oko CT-skeniranja lubanja, potom prof. dr. sc. Martini Đuras i asistenticama Kim Korpes, DMV, te Magdaleni Kolenc, DMV, na susretljivosti i nesebičnoj podršci.

Za kraj, zahvaljujem se roditeljima, braći i cijeloj obitelji na podršci tijekom mog obrazovanja, razumijevanju i ljubavi koju su mi pružili kako bih što uspješnije krenuo u život. Zahvaljujem i svojim kolegicama i kolegama na druženju i podršci tijekom studija. Od srca vam hvala i nadam se da ću opravdati vašu vjeru u mene te da ću i ja pružiti podršku, razumijevanje i poticaj mlađim naraštajima, što mi je i želja tijekom cijelog studija.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek
Diplomski rad

Komparativni trodimenzionalni prikaz lubanja predstavnik odabranih razreda kralješnjaka Tin Kabalin

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Egzemplarna nastava, kao suvremeni nastavni sustav koji potiče aktivno kritičko razmišljanje kod učenika, olakšava komparativni pristup poučavanju kojim se proučavaju odnosi, sličnosti i razlike između više predmeta ili pojava s ciljem da se na temelju njih izvedu određeni zaključci. Cilj diplomskog rada bio je izraditi digitalnu zbirku trodimenzionalnih modela lubanja predstavnika pet različitih skupina kralješnjaka (štuke iz razreda *Actinopterygii*, smeđe krastače iz razreda *Amphibia*, šarene boe iz razreda *Reptilia*, domaće kokoši iz razreda *Aves* i smeđeg štakora pripadnika razreda *Mammalia*) te analizirati mogućnost njene primjene u nastavi biologije u osnovnim i srednjim školama. Po jedna lubanja svakog odabranog predstavnika skenirana je CT uređajem nakon čega su izrađene slike obrađene pomoću računalnih programa za 3D modeliranje. Svaka kost lubanja označena je istovjetnom bojom kod različitih vrsta te imenovana sukladno službenom popisu anatomske pojmove. Pristup 3D zbirci je slobodan i besplatan na mrežnim stranicama Zavoda za anatomiju, histologiju i embriologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Nakon provedene analize nacionalnog kurikulum za nastavni predmet Biologija te ministarstvom predloženih godišnjih izvedbenih kurikulum razvidno je da izrađeni materijal može biti koristan u ostvarivanju pojedinih ishoda učenja. Nadalje, mogao bi pridonijeti i ostvarivanju ishoda izvedbenih nastavnih programa pojedinih kolegija u visokoškolskom obrazovanju.

Ključne riječi: egzemplarna nastava, komparativni pristup, digitalni modeli
(41 stranica, 13 slika, 10 tablica, 31 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)
Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: Prof. dr. sc. Perica Mustafić
Komentor: Prof. dr. sc. Tajana Trbojević-Vukičević

Ocjenitelji:
V. pred. dr. sc. Damir Sirovina
Izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš
Prof. dr. sc. Perica Mustafić

Rad prihvaćen: 8.12.2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Master thesis

Comparative three-dimensional view of the skulls of representatives of selected vertebrate classes

Tin Kabalin

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Exemplary education, as a modern teaching system that encourages active critical thinking in students, facilitates a comparative approach to teaching that studies relationships, similarities and differences between several subjects or phenomena with the aim of drawing certain conclusions. The aim of the thesis was to create a digital collection of three-dimensional models of the skulls of representatives of five different groups of vertebrate (pike from the class *Actinopterygii*, brown toad from the class *Amphibia*, colorful boa from the class *Reptilia*, domestic chicken from the class *Aves* and brown rat from the class *Mammalia*) and to analyze the possibility of its integration in primary and secondary schools for the subject of Biology. One skull of each selected representative was scanned with a CT device, after which the created images were processed using computer programs for 3D modeling. Each skull bone is named according to the official list of anatomical terms while homologous bones are marked with the same color in different species. Access to the 3D collection is free and available on the website of the Department of Anatomy, Histology and Embryology of the Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb. After the analysis of the national curriculum for the subject of Biology and the annual implementation curricula proposed by the ministry, it is clear that the prepared material can be useful in achieving certain learning outcomes. Furthermore, it could also contribute to the realization of the results of teaching programs of individual courses in higher education.

Keywords: exemplary education, comparative approach to teaching, digital models
(41 pages, 13 figures, 10 tables, 31 references, original in: Croatian)
Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: Prof. Perica Mustafić, PhD
Co-mentor: Prof. Tajana Trbojević-Vukičević, PhD

Reviewers:
Senior Lect. Damir Sirovina, PhD
Assoc. Prof. Nenad Judaš, PhD
Prof. Perica Mustafić, PhD

Thesis accepted: 8th December 2022

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Dosadašnje spoznaje	2
1.1.1. Suvremeni nastavni sustavi	2
1.1.1.1. Egzemplarna nastava	2
1.1.2. Komparativni pristup u poučavanju bioloških koncepata	3
1.1.3. Kralješnjaci (<i>Vertebrata</i>)	4
1.1.3.1. Taksonomska podjela kralješnjaka	4
1.1.3.2. Osnovna građa lubanje	6
1.1.4. Virtualni modeli	10
1.2. Cilj istraživanja	11
2. MATERIJAL I METODE	12
2.1. Upotrebljeni modeli	12
2.2. Snimanje modela	12
2.3. Obrada modela	12
2.4. Analiza mogućnosti uporabe izrađenih modela u nastavi biologije prema Nacionalnom kurikulumu i okvirnim godišnjim izvedbenim kurikulumima Ministarstva znanosti i obrazovanja	16
3. REZULTATI	17
3.1. Prikazi lubanja predstavnika različitih razreda kralješnjaka	17
3.1.1. Lubanja štuke	19
3.1.2. Lubanja smeđe krastače	21
3.1.3. Lubanja šarene boe	23
3.1.4. Lubanja domaće kokoši	25
3.1.5. Lubanja smeđeg štakora	27

3.2. Analiza mogućnosti uporabe izrađenih modela u nastavi biologije prema nacionalnom kurikulumu i okvirnim godišnjim izvedbenim kurikulumima Ministarstva znanosti i obrazovanja	29
3.2.1. Primjena izrađenih modela u osnovnoškolskoj nastavi	29
3.2.2. Primjena izrađenih modela u srednjoškolskoj nastavi	30
3.2.3. Primjena izrađenih modela u visokoškolskom obrazovanju	33
4. RASPRAVA	34
5. ZAKLJUČAK	37
6. LITERATURA	38
7. ŽIVOTOPIS	41

1. UVOD

Kralješnjaci su, vjerojatno, većini ljudi najpoznatija skupina životinja. S obzirom na to da razni kralješnjaci, kako kroz povijest pa tako i u modernom društvu, ispunjavaju mnoge sveprisutne, čak i integralne uloge u ljudskom životu poput izvora hrane i materijala, te kućnih ljubimaca, nije niti čudno da već od malih nogu mnogi pokazuju zanimanje baš za ovu skupinu životinja. Nadalje, kralješnjaci se navode u Nacionalnom kurikulumu predmeta Biologija za osnovne i srednje škole (2019.), kao prigodne nastavne teme za postizanje pojedinih ishoda učenja te primjeri koji se mogu kvalitetno obraditi egzemplarnim pristupom u nastavi. U krajnju ruku, i mi ljudi sami spadamo u ovu skupinu.

Cilj ovog rada je izraditi i predstaviti online digitalnu zbirku trodimenzionalnih modela lubanja predstavnika različitih skupina kralješnjaka. Kao modelni organizmi izabrane su vrste: štuka (*Esox lucius* Linnaeus, 1758) kao predstavnik razreda Actinopterygii, smeđa krastača (*Bufo bufo* Linnaeus, 1758) kao predstavnik razreda Amphibia, šarena boa (*Boa constrictor* Linnaeus, 1758) kao predstavnik razreda Reptilia, domaća kokoš (*Gallus gallus* Linnaeus, 1758) kao predstavnik razreda Aves te smeđi štakor (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769) kao predstavnik razreda Mammalia. Ovi organizmi izabrani su zbog njihove primjenjivosti kao modelnih organizmama u osnovnoškolskom i srednjoškolskom obrazovanju, te zato što su njihove lubanje dimenzija primjerenih za snimanje CT skenerom.

Ova zbirka namijenjena je korištenju u suvremenoj nastavi u egzemplarnom nastavnom sustavu osnovnoškolskog i srednjoškolskog obrazovanja, u visokoškolskom obrazovnom sustavu, kao i svim zainteresiranima. U tu svrhu analizirani su postojeći kurikulumi te su dani prijedlozi uporabe izrađenih modela pri obradi određenih nastavnih tema i tematskih cjelina sa svrhom ostvarenja predviđenih ishoda učenja. Na digitalnim modelima označene su kosti lubanja tako da su homologne anatomske strukture označene istim bojama, što omogućuje komparativno praćenje i bolje razumijevanje građe lubanja između različitih razreda kralješnjaka. Naime, pristup 3D zbirci slobodan je i besplatan na javno dostupnim mrežnim stranicama Zavoda za anatomiju, histologiju i embriologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, zajedno s ostalim digitalnim anatomskim atlasima (<http://wwwi.vef.hr/3datlas/index/>). Ovaj rad izrađen je u suradnji Prirodoslovno-matematičkog i Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, s obzirom na to da su na Veterinarskom fakultetu već izrađeni radovi srodne tematike (Marić 2020, Došen 2021) te se nalaze bogate zbirke kostura i materijala za izradu trodimenzionalnog atlasa.

1.1. Dosadašnje spoznaje

1.1.1. Suvremeni nastavni sustavi

Izrazito brz razvoj društva u svim područjima života, osnovna je karakteristika suvremenog doba kojeg obilježavaju nikad brži tehnološki napredak i mnogobrojne znanstvene spoznaje. Potaknuti novim saznanjima u području psihologije, pedagogije i didaktike, odgoj i obrazovanje, kao temelji modernog društva, slijede trend promjena suvremenog doba. S ciljem unaprjeđenja odgojno-obrazovnog procesa dolazi do razvoja suvremenih nastavnih sustava kod kojih je naglasak na poučavanju koje potiče učenje (Tot 2010), čiji je zajednički temelj motiviranje i osamostaljivanje učenika. Cilj suvremene nastave je razvoj i poticanje kritičkog razmišljanja kod učenika potaknutog aktivnim učenjem s naglaskom na razumijevanje i primjenu stečenog znanja. Imajući u vidu podjelu učenika s obzirom na pretežiti način usvajanja informacija i stjecanja znanja, Rayin (2016) citira da je Richard Felder još 1988. predstavio indeks stilova učenja (ILS), dijeleći osobe u četiri kategorije, od kojih je predominantna audio/vizualna. Kao potkrjepu teoriji da je čovjek pretežno vizualno biće, Rayin (2016) dodatno navodi rezultate studija prema kojima 75% informacija procesuiranih u ljudskom mozgu proizlaze iz vizualnih izvora. Ljudi vizualne sadržaje pamte i uče izrazito brzo i kvalitetno, čak 90% točnosti (Grady i sur. 1998). Prilikom učenja i stvaranja novih koncepata, vizualni prikaz olakšava i osigurava znatno kvalitetnije razumijevanje (Bleed 2005). Zbog toga se u okviru suvremenih nastavnih sustava preporuča redovito korištenje vizualnih sadržaja i pomagala, što uvelike olakšava i prije spomenuti tehnološki napredak. Njime je omogućeno korištenje mnogobrojnih novih nastavnih sredstava i pomagala u obliku multimedije s ciljem unaprjeđenja suvremenih nastavnih metoda.

1.1.1.1. Egzemplarna nastava

Jedan od često korištenih suvremenih nastavnih sustava je egzemplarna nastava. Ovakav oblik nastave razvija se ranih 1950-ih godina, a izraz egzemplarna nastava prvi puta upotrebljava Martin Wagenschein 1952. Sam pojam egzemplarno potječe od latinskog izraza „*exemplum*“ što znači uzor, primjer, model, nešto esencijalno (Šejtanić 2016). Razvoj egzemplarne nastave potaknut je širinom nastavnog sadržaja u modernome obrazovanju. Kako bi se olakšalo opterećenje učenika i nastavnika, ovakav oblik nastave ima za cilj predstaviti

tematske cjeline na primjeru nekolicine odabranih sadržaja koji će učenicima služiti kao primjer za obradu sličnih sadržaja (Poljak 1989).

Struktura egzemplarne nastave može se podijeliti u četiri koraka. Prvi korak čini podjela nastavnih sadržaja, tj. grupiranje nastavnih sadržaja koji su međusobno slični. Potom se iz tako grupiranih sličnih sadržaja izdvaja ono bitno i reprezentativno tj. egzemplarno. Time se nastavni sadržaj dijeli u dvije skupine, egzemplarnu ili užu i analognu ili širu. U drugom koraku dolazi do obrade egzemplarnog sadržaja na najvišoj didaktičkoj razini kako bi se time predstavio model po kojem će učenici kasnije samostalno raditi. Iz tog je razloga bitno da su egzemplarni sadržaji temeljito obrađeni. Učenici u trećem koraku samostalno obrađuju analogne sadržaje. Četvrti i završni korak podrazumijeva sistematizaciju i ponavljanje svih obrađenih sadržaja (i egzemplarnih i analognih) (Jelavić 1998, Šejtanić 2016).

Zbog izrazito velike uspješnosti u stvaranju novih koncepata, poticanja kritičkog razmišljanja, a posebice kroz učinkovitost obrade predviđenih sadržaja trenutnog kurikulumu nastavnog predmeta Biologija, često se teži upravo egzemplarnoj nastavi kao osnovnom nastavnom sustavu.

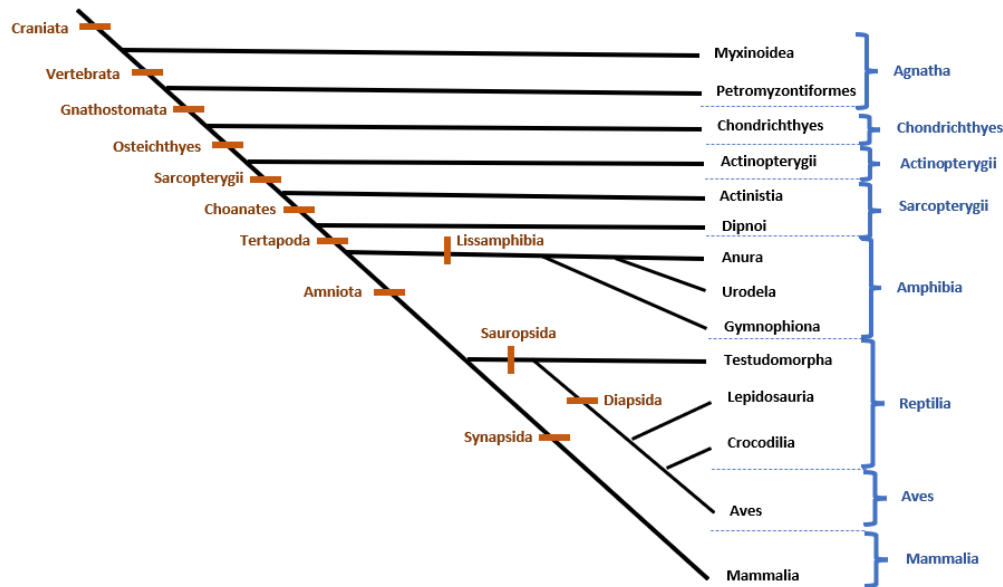
1.1.2. Komparativni pristup u poučavanju bioloških koncepata

Komparativni pristup učenju i poučavanju podrazumijeva skup nastavnih strategija i metoda kojim se proučavaju odnosi, sličnosti i razlike između dva predmeta ili pojave s ciljem da se na osnovi njih izvedu određeni zaključci. Primjenom ovakvog pristupa izbjegava se raspodjela nastavnog sadržaja na zatvorene tematske cjeline, olakšava se povezivanje nastavnih sadržaja u veće koncepte te se potiče kritičko razmišljanje, kao i samostalno istraživanje i zaključivanje učenika (Bognar i Matijević 2002). Zbog mnogih prednosti, komparativni pristup poučavanju predložen je i u nacionalnom kurikulumu predmeta Biologija za osnovne i srednje škole (2019.) kao poželjan pristup obradi mnogih nastavnih sadržaja, a ponajviše onih unutar makrokoncepta: Organiziranost živog svijeta. Kako je navedenim kurikulumom preporučeno, potiče se da se obilježja živih bića proučavaju komparativnim pristupom na karakterističnim predstavnicima različitih vrsta životinja, biljaka, gljiva, protista, bakterija i arheja na zanimljivim primjerima koji su učenicima poznati i bliski. Pri tome je važno učenicima istaknuti zajedničke principe, potičući ih da samostalno uoče povezanost različitih prilagodbi organizama životnim uvjetima i održivosti živih sustava.

1.1.3. Kralješnjaci (*Vertebrata*)

1.1.3.1. Taksonomska podjela kralješnjaka

Kralješnjaci (lat. *Vertebrata*) su potkoljeno svitkovaca (lat. *Chordata*). Ova skupina životinja je izrazito raznovrsna s preko 66 000 – 67 000 opisanih danas živućih vrsta, koje su nastanile gotovo sve ekološke niše (Pough i sur. 2019). Bilo na tlu, u vodi ili u zraku, nije teško pronaći predstavnika ovog potkoljena. Stoga je potrebno istaknuti raznolikost ovog potkoljena koje obuhvaća sitne vrste, tjelesne mase i manje od jednog grama, sve do najvećih vrsta ovog planeta, teških desetke pa čak i do dvjestotinjak tona. Prema tradicionalnoj klasifikaciji najčešće korištenoj u osnovnoškolskom i srednješkoljskom obrazovanju, potkoljeno *Vertebrata* uključuje osam razreda: besčeljuste (lat. *Agnatha*), hrskavičnjače (lat. *Chondrichthyes*), zrakoperke (lat. *Actinopterygii*), mesoperke (lat. *Sarcopterygii*), vodozemce (lat. *Amphibia*), gmazove (lat. *Reptilia*), ptice (lat. *Aves*) te sisavce (lat. *Mammalia*) (Hickman i sur. 2002, Jollie 2022). Ispravnost tradicionalne klasifikacije, kako za kralješnjake tako i za sve vrste živih bića, često je debatirana tema, te uz konstantna nova istraživanja i spoznaje o srodnosti skupina živih bića, prijedlozi za izmjenu klasifikacije postaju česta pojava. U kontekstu klasifikacije kralješnjaka neki od mnogobrojnih primjera su prekvalifikacija same skupine *Vertebrata* na razinu koljena (Irie i sur. 2018) ili prekvalifikacija razreda *Agnata* na status nadrazreda, dok bi skupina *Cyclostomata* preuzela status razreda (Ruggiero i sur. 2015). Iz tog razloga danas se u znanstvenom i obrazovnom svijetu sve više koristi filogenetska sistematika i filogenetski prikaz koji prikazuje točne evolucijske slijedove različitih skupina, vrsta ili gena od određenog zajedničkog pretka, čime se znatno zornije i točnije može pokazati srodnost pojedinih skupina živih bića (Slika 1) (Baum 2008, Pough i sur. 2019).



Slika 1. Podjela *Vertebrata* na filogenetske klade (narančasto) i tradicionalne razrede (plavo). Prilagođeno prema Baum (2008), Pough i sur. (2019).

Navedeni način prikaza podložan je izmjenama u skladu s novim saznanjima, no značajno ga je lakše prilagoditi i objasniti te opravdati eventualne nove promjene (Baum 2008). Međutim, podjela prema tradicionalnoj klasifikaciji i dalje je najčešće korištena, uglavnom zbog svoje jednostavnosti. Naime, iako tradicionalna klasifikacija pruža manje informacija o srodnosti pojedinih skupina živih bića i njihovoj evolucijskoj povijesti, zbog načina na koji organizira živi svijet u hijerarhijske kategorije, puno se jednostavnije prikazuju osnovni odnosi skupina živih bića, što je nerijetko vrlo korisno ili jedino potrebno za razumijevanje ili diskusiju o ovoj temi. Stoga se spomenuta tradicionalna podjela potkoljena *Vertebrata* na osam razreda koristi u gotovo svim udžbenicima biologije u Republici Hrvatskoj, te je preporučena za korištenje u mnogim izvedbenim kurikulumima. S obzirom na ciljanu namjenu, ista podjela koristi se i u ovom radu/atlasu.

1.1.3.2. Osnovna građa lubanje

Kostur je sastavljen od kostiju, hrskavica, sveza i spojeva koji oblikuju okvir te podupiru i štite meka tkiva u tijelu, a zajedno s mišićima omogućava kretanje (Koenig i Liebich 2009). Na temelju položaja, kostur se može promatrati kao dvije odvojene komponente, kranijalni kostur (lubanja) i postkranijalni kostur, koji uključuje aksijalni (osovinski) i apendikularni (privjesni) kostur (Kardong 2019). Lubanja (lat. Cranium) oblikuje čvrstu konstrukciju sastavljenu od mnogo kostiju, s ulogom zaštite, primarno mozga i osjetnih organa vida, njuha, sluha, ravnoteže i okusa (Koenig i Liebich 2009). Osim toga, strukture lubanje prilagođene su sudjelovanju u ispunjavanju osnovnih životnih potreba organizama, kao što su disanje i prehrana. Lubanja se strukturalno i funkcionalno sastoji od tri dijela, od kojih svaki ima različito filogenetsko podrijetlo, a to su: chondrocranium, splanchnocranium i dermatocranium. U literaturi se kao osnovni dio lubanje spominje i neurocranium, koji ovisno o izvoru, može biti ekvivalent chondrocraniumu, podrazumijevati samo okoštale dijelove chondrocraniuma ili chondrocranium i „osjetilne kapsule” (Kardong 2019). Chondrocranium je primarno embrionalna struktura koja podržava mozak u razvoju i osjetilne strukture. Sastoji se od skupine hrskavica mezenhimalnog podrijetla koje međusobno sraštavaju te tvore etmoidalnu, bazalnu i okcipitalnu regiju koje postepeno djelomično ili u potpunosti okoštavaju (enhondralno okoštavanje). Splanchnocranium je filogenetski najstariji dio lubanje, koji začetak evolucijskog nastajanja ima kao mehanička podrška ždrijelnim prorezima pojedinih Protochordata (Hemichordata, Urochordata). Kralješnjacima ovaj dio lubanje najčešće služi kao potpora škragama (škržni lukovi) i drugim dišnim strukturama te čini dijelove čeljusti i hioidnog aparata. Dermatocranium se sastoji od uglavnom pločastih kosti koje nastaju intramembranskim okoštavanjem, a tvori strane i krov lubanje te često i oblaže splanchnocranium. Ovisno o skupini životinja mnoge kosti dermatocraniuma su sraštene (Hyman 1942, Kardong 2019). Iako su osnovni dijelovi lubanje zajednički svim skupinama unutar potkoljena Vertebrata, zbog svoje iznimne kompleksnosti, ona pokazuje izrazito visok stupanj morfološkog diverziteta, kako između samih skupina tako i između pojedinih predstavnika određene skupine (Hanken i Thorogood 1993).

Lubanja razreda Actinopterygii

Lubanje predstavnika razreda Actinopterygii često je teško sveobuhvatno opisati zbog velike raznolikosti u obliku kostiju i funkcionalnim karakteristikama, posebice u vidu uzimanja hrane, što znatno otežava određivanje homologije. Ipak, najprepoznatljivije zajedničke karakteristike predstavnika razreda Actinopterygii su izdužen oblik prednjeg dijela lubanje s relativno velikim očnim šupljinama i malim nosnim šupljinama te čeljusti ispunjene velikim brojem zuba. Također, uočljivi trend u evoluciji morfologije lubanje ovog razreda bio bi odvajanje i oslobađanje mnogih povezanih i sraslih koštanih struktura kako bi se olakšali izrazito različiti procesi hranjenja vrsta pripadnika ovog razreda. Baš zbog tog znatno manjeg broja sraslih kostiju, lubanje razreda Actinopterygii pokazuju izrazito visok stupanj pokretljivosti (ne samo u području spajanja donje i gornje čeljusti) zbog čega ih svrstavamo u kinetičke lubanje. Kod većine pripadnika roda Actinopterygii postoji slobodna artikulacija između premaksile i maksile te maksile i neurocraniuma. Kako se u literaturi navodi, česta je pojava djelomične ili reducirane osifikacije mnogih dijelova splanchnocraniuma i neurocraniuma (Webster i Webster 2013, Kardong 2019).

Lubanja razreda Amphibia

Za razliku od njihovih evolucijskih predaka, lubanje današnjih vodozemaca (lat. Amphibia) su znatno pojednostavljene i reducirane. Veliki broj dermalnih kostiju je izgubljen, dok su one preostale često srasle u zasebne strukture. Chondrocranium vodozemaca često je reduciran na samo pet kostiju: klinasta kost te po par prootičnih i eksokcipitalnih kosti. Lubanje današnjih vodozemaca karakterizira spljošteni oblik i najčešće naglašen nosna kost. Od krovnih kostiju lubanje preostala je samo sraštena os frontoparietale, dok su sa os parasphenoidale srasle druge nepčane kosti (Kardong 2019). Specifične su i veličine njihovih orbita koje pokazuju izrazito velik obujam u odnosu na veličinu lubanje, a zbog skraćivanja preostalih dermalnih kostiju, orbite su smještene bliže stražnjem dijelu lubanje. Istovremeno se koštani elementi smješteni ispred orbite izdužuju, što rezultira dugim čeljustima inaglašenim ličnim dijelom lubanje. Ovakve promjene dovode do smanjenja mobilnosti i artikulacije interkranijalnih zglobova, uslijed čega dolazi do postupnog srašćavanja koje rezultira akinetičkom lubanjom vodozemaca. Znatno dio neurocraniuma današnjih vodozemaca ne osificira tijekom razvoja lubanje (Webster i Webster 2013).

Lubanja razreda Reptilia

Svi današnji gmazovi (lat. Reptilia), osim kornjača, potječu od dijapsidnih predaka, no kroz vrijeme su mnoge skupine, kao gušteri, izgubile jedan otvor ili, kao zmije, oba otvora na lubanji. Lubanje različitih vrsta gmazova pokazuju iznimno visoke i raznolike stupnjeve kineze. Ovisno o zglobovima koji omogućuju kinezu, lubanje gmazova možemo podijeliti prema položaju zglobova na meta-, mezo- i prokinetičke, te na mono- i dikinetičke uzimajući u obzir broj zglobova.

Gmazovi poput zmija i guštera pokazuju svojstvo streptostilije, tj. imaju mogućnost artikulacije (rotacije) između kvadratnih kosti i dorzalnog dijela neurocraniuma. Vrhovi mandibule, koju čine ossa dentales, kod zmija nisu srasli već su povezani fleksibilnim, elastičnim vezivnim strukturama, što im zajedno sa artikulacijom s kvadratnim kostima omogućuje pomicanje dvije polovice donje čeljusti nezavisno jedne o drugoj. Zbog tog svojstva zmije se mogu hraniti plijenom znatno većeg volumena (Kardong 2019).

Lubanja razreda Aves

Iako su se današnje ptice (lat. Aves) razvile od dijapsidnih predaka, to je često teško uočljivo promatrajući njihove lubanje. Kroz dugo razdoblje evolucije, u morfologiji lubanja ptica došlo je do brojnih modifikacija i promjena u odnosu na osnovni uzorak lubanje dijapsidnog pretka. Posebice se ističe vrlo visok stupanj osifikacije i povećanja volumena neurocraniuma kao posljedica znatnog rasta i razvoja mozga. Stupanj osifikacije je na toliko visokoj razini da se kod velikog broja odraslih jedinki vrsta iz razreda Aves mogu slabo ili uopće ne primijetiti šavovi između sraslih kostiju, što često otežava točno određivanje granica među pojedinim kostima. Kod velikog broja vrsta prisutno je sraštavanje elemenata dermatocraniuma, splanchnocraniuma i neurocraniuma. Istaknut je tanak jagodični luk kojeg čine: os jugale i os quadratojugale. Vomer, os palatinum te os pterygoideum često pokazuju visoki stupanj redukcije. Čeljusti ptica ne sadrže zube već su prerasle slojem keratina tvoreći specijalizirani, često izduženi usni aparat, kljun. Kod lubanja ptica prisutna je artikulacija između gornje čeljusti i neurocraniuma, što pticama omogućuje podizanje gornjeg dijela kljuna. Donja čeljust građena je od kosti dermatocranialnog podrijetla, izuzev os oriculare koja je splanchnocranialnog podrijetla te preko koje je donja čeljust povezana s ostatkom lubanje. Kao

i ostatak kostura, lubanja ptica je prilagođena letu - izrazito lagana i pokretljiva na dugom i vrlo fleksibilnom vratu (Webster i Webster 2013, Kardong 2019).

Lubanja razreda Mammalia

Lubanje sisavaca (lat. Mammalia) su sinapsidnog podrijetla, no, kao što je i slučaj kod većine današnjih životinja, pokazuju znatnu modificiranost i raznolikost. Kod viših sisavaca dolazi do gubitka mnogih dermalnih kostiju poput os prefrontale, os postfrontale, os postorbitale i os supratemporale. To nije slučaj kod jednootvora koji su zadržali većinu kostiju koje su viši sisavci izgubili. Medijalni rubovi dermalnih kostiju šire se ventralno te se povezuju s klinastim kostima čime tvore dorzalni krov i lateralne stijenke lubanjske šupljine koja će biti dovoljno velika i primjerena za evolucijski sve napredniji i veći mozak. Sraštavanjem kostiju lubanje sisavaca izdvajaju se tri kompleksa: os occipitale, os sphenoidale i os temporale. Koje kosti i do koje razine su srasle u navedene komplekse varira od vrste do vrste. Tjemene kosti često su srasle s zatiljnim kostima (os exoccipitale, os supraoccipitale, os basioccipitale) koje su i same međusobno srasle. Os orbitosphenoidale, os presphenoidale, os basisphenoidale i os alisphenoidale srasle su u jedinstvenu os sphenoidale. Sljepoočna kost (os temporale) na strani lubanje, nastala je spajanjem bulla tympanica i os squamosum dermatocraniuma, os petrosus chondrocraniuma, te os styloideum i tri kosti srednjeg uha (malleus, incus i stapes) splanchnocraniuma. Donju čeljust (mandibula sisavaca) čini isključivo os dentale, dok su se ostale kosti koje su je činile kod evolucijskih predaka modificirale, povukle dublje u lubanju te preuzele ulogu građe srednjeg uha. Lubanja sisavaca je uglavnom akinetička, tj. nema mogućnost artikulacije između dijelova lubanje izuzev između gornje i donje čeljusti. Smatra se kako je do ove prilagodbe došlo zbog specifičnih načina prehrane sisavaca koji uključuju mastikaciju (žvakanje) hrane. Kako bi mastikacija bila što učinkovitija, poželjno je da su zubi i čeljusti pravilno poravnane, što imobilizacija gornje čeljusti uvelike olakšava. Osim akinetičke lubanje kao prilagodbe raznolikoj prehrani, u razredu sisavaca razvijaju se mnogi različiti, posebno prilagođeni oblici zubala ispunjeni zubima različitih oblika i uloga (Webster i Webster 2013, Kardong 2019).

1.1.4. Virtualni modeli

Trodimenzijski digitalni modeli svoje začetke imaju u ranim 1960-ima, nedugo nakon početka komercijalnog širenja osobnih računala. U to doba nastaju prvi CAD (engl. *Computer Aided Design*) sistemi namijenjeni inženjerima i arhitektima, koji svojim korisnicima omogućuju rad na trodimenzijskim nacrtima. Prvu širu upotrebu računalnih 3D modela donosi program Sketchpad 1963. godine, koji sa svojom jednostavnošću i interaktivnosti omogućuje rad na trodimenzijskim modelima ne samo uskoj i specifičnoj klijenteli, već i široj javnosti, posebice dizajnerima i umjetnicima. Kroz slijedećih pola stoljeća dolazi do iznimnog rasta broja programa za rad na 3D modelima koji zasjenjuje samo napredak u njihovoj kvaliteti i mnogobrojnim mogućnostima. Posebno brz razvoj ovih digitalnih alata može se uočiti zadnjih desetak godina s pojavom i sve učestalijim korištenjem 3D ispisa (Ufo3d 2014).

Digitalni modeli postaju svakodnevna pojava u mnogim industrijama i sferama života, od građevinarstva i arhitekture do umjetnosti i medicine. Naravno, digitalni modeli su svoju svrhu našli i u obrazovanju. Danas se za izradu digitalnih modela uglavnom koriste četiri metode: fotogrametrija, površinsko skeniranje, CT skeniranje (kompjuterizirana tomografija) i digitalno modeliranje. Izuzev digitalnog modeliranja u kojemu se svi koraci izrade modela odvijaju digitalno, ove metode razlikuju se u načinu početnog snimanja i stvaranja digitalnog modela iz stvarnog predmeta (Cheng i sur. 2016, Erolin 2019).

1.2. Cilj istraživanja

Pri izradi i pisanju diplomskog rada poveo sam se pretpostavkom da izrada digitalnih 3D modela i njihova dostupnost mogu olakšati i pojednostavniti svladavanje pojedinih nastavnih tema i tematskih cjelina koje su predložene nacionalnim kurikulumima za predmet Biologija u osnovnim i srednjim školama (posebice gimnazijama) te tako olakšati ostvarenje predviđenih ishoda učenja. Navedeno temeljim na spoznajama da je u mnogim školama ograničena mogućnost uporabe fizičkih modela (zbog njihovog premalog broja ili potpunog nedostatka) te da su mnogobrojna istraživanja pokazala kako prilikom učenja vizualni prikaz olakšava i osigurava znatno kvalitetnije razumijevanje sadržaja.

Stoga su ciljevi istraživanja sljedeći:

1. Izraditi trodimenzionalne modele za komparativni prikaz pojedinačnih lubanja predstavnika pet odabranih razreda kralješnjaka
2. Detaljno opisati lubanje modelnih vrsta životinja pet različitih skupina kralješnjaka te ustanoviti sličnosti i razlike među njima.
3. Postaviti digitalne 3D modele lubanja predstavnika pet odabranih razreda kralješnjaka javno dostupnim na mrežnim stranicama Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
4. Izraditi materijal koristan za ostvarivanje ishoda učenja postavljenih nacionalnim kurikulumom za nastavni predmet Biologija u osnovnim i srednjim školama, te za ostvarivanje ishoda izvedbenih nastavnih programa pojedinih kolegija u visokoškolskom obrazovanju.

2. MATERIJAL I METODE

2.1. Upotrebljeni modeli

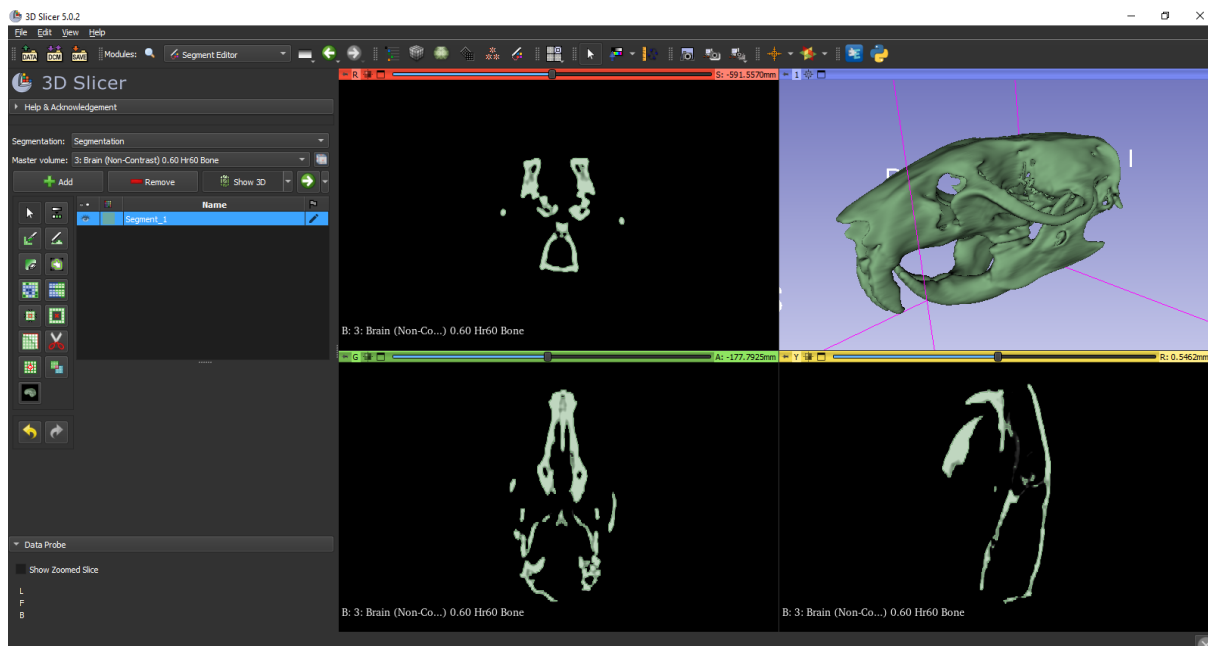
Za izradu digitalnih 3D modela korištena je po jedna lubanja štuke (*Esox lucius* Linnaeus, 1758), smeđe krastače (*Bufo bufo* Linnaeus, 1758), šarene boe (*Boa constrictor* Linnaeus, 1758), domaće kokoši (*Gallus gallus* Linnaeus, 1758) i smeđeg štakora (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769) iz zbirke osteoloških preparata Zavoda za anatomiju, histologiju i embriologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Većina navedenih vrsta izabrana je zbog svoje učestalosti u uporabi kao modelnih organizama te mogućnosti skeniranja njihovih lubanja korištenom aparaturom.

2.2. Snimanje modela

Po jedna lubanja od svakog odabranog predstavnika razreda bila je slikana CT uređajem Siemens Somatom go.Now u Zavodu za rendgenologiju, ultrazvučnu dijagnostiku i fizikalnu terapiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

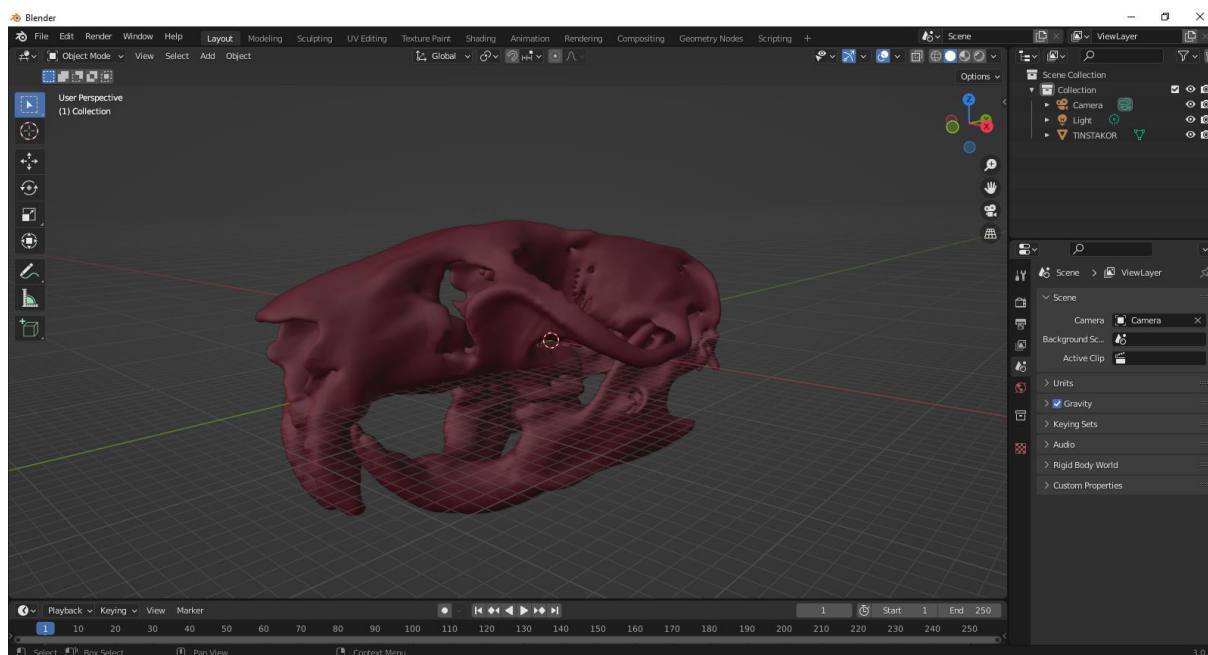
2.3. Obrada modela

Na temelju snimki dobivenih CT uređajem izrađeni su trodimenzionalni modeli u programu 3D Slicer (Slika 2).

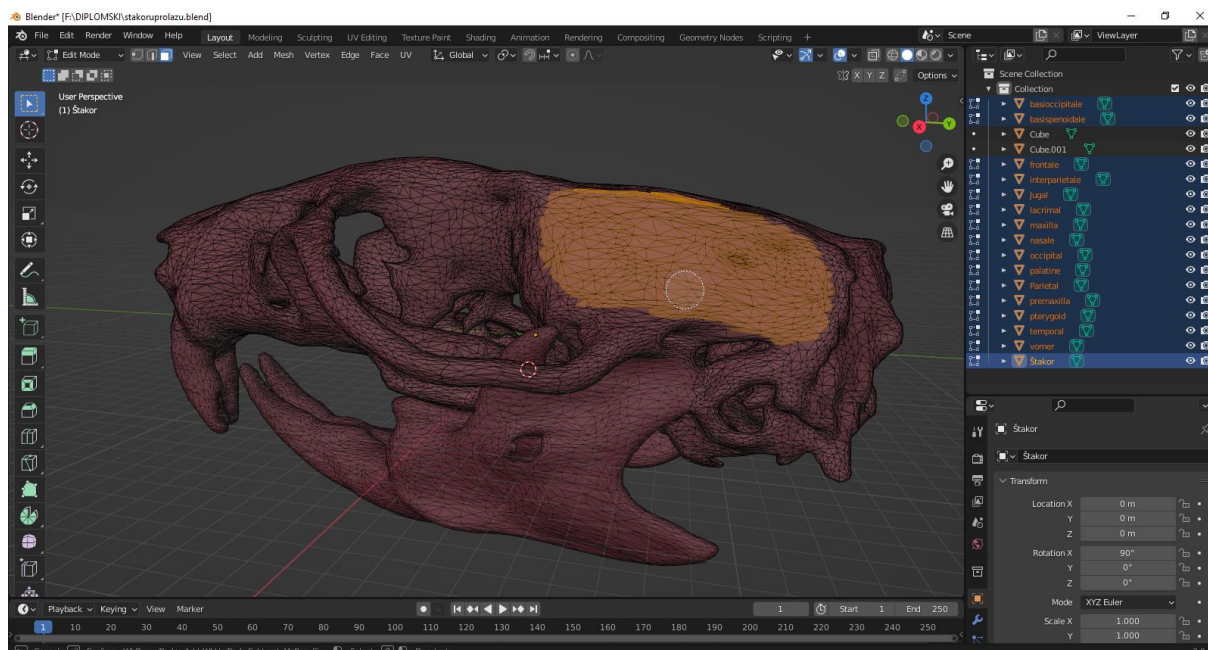


Slika 2. Izrada digitalnog modela iz CT snimki u programu 3D Slicer

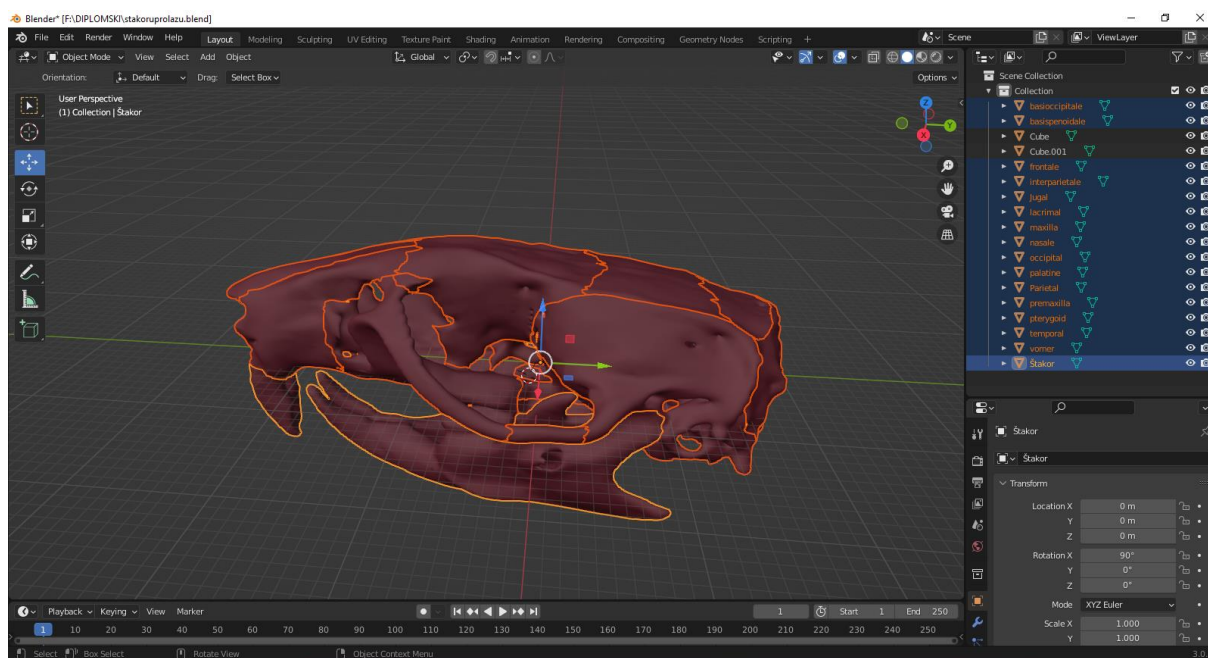
Izrađeni modeli su potom obrađeni u programu za 3D digitalno modeliranje Blender (The Blender Foundation) (Slika 3). U istom su programu na svakom modelu lubanje izdvojene i obilježene zasebne regije modela koje predstavljaju pojedine kosti (Slika 4). Označene i izdvojene regije su potom ponovo povezane u jedinstveni model s jasno naznačenim sastavnicama/regijama (Slika 5).



Slika 3. Obrada modela u programu Blender

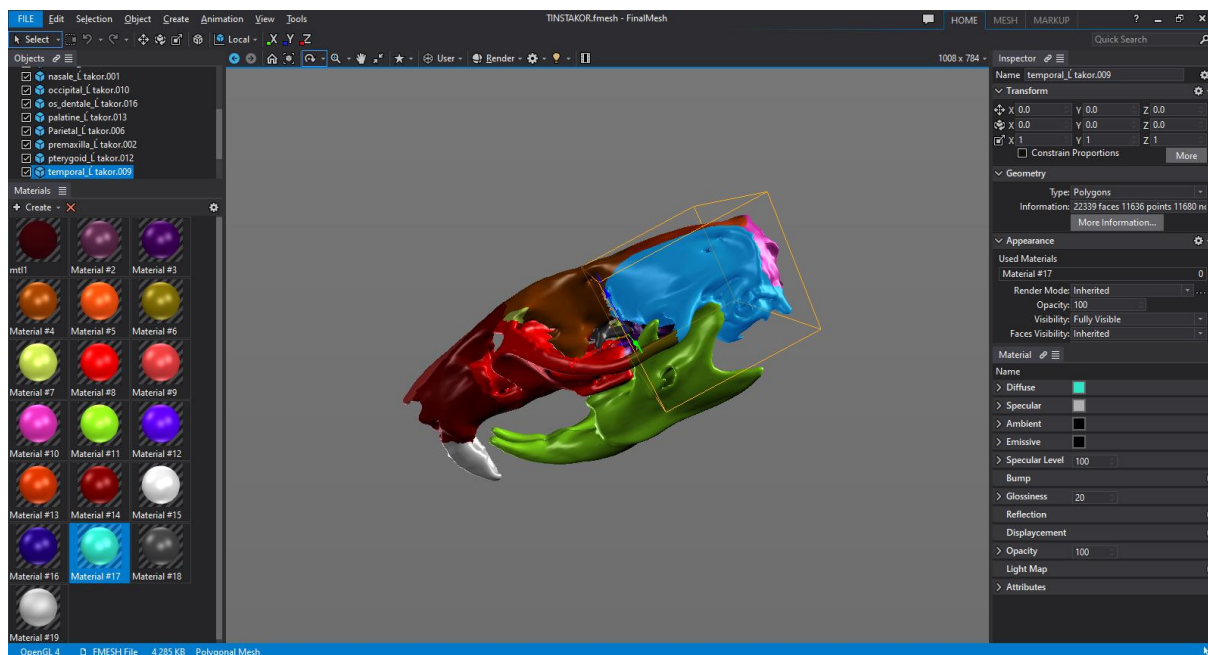


Slika 4. Označavanje regije modela u programu Blender



Slika 5. Izdvojene regije modela u programu Blender

Modeli izrađeni na opisan način su uvezeni u program FinalMesh, u kojem je digitalnom modelu dodana tekstura te su imenovani i obojeni označeni dijelovi kosti (Slika 6).



Slika 6. Obrada modela u programu FinalMesh

Kosti lubanje štuke označene su i imenovane prema Brocklehurst i sur. (2019), lubanje smeđe krastače prema eGyanKosh (2018), lubanje šarene boe prema Boughnera i sur. (2007), lubanje domaće kokoši prema Baumel i Witmer (1993) te lubanje smeđeg štakora prema Nomina anatomica veterinaria (Anonymus 2017). Homologne strukture predstavnika različitih razreda kralješnjaka prikazane su istim bojama. Prijevodi naziva kostiju na hrvatski jezik preuzeti su iz Enciklopedijskog rječnika humanog i veterinarskog medicinskog nazivlja (Padovan 2006), a kosti za koje nije pronađen prikladan postojeći prijevod, ostavljene su u originalnom (latinskom) nazivu.

Tako uređeni modeli podignuti su na internetske stranice Veterinarskog fakulteta omogućujući jednostavno i interaktivno korištenje te preglednost (<http://wwwi.vef.hr/3datlas/index/>).

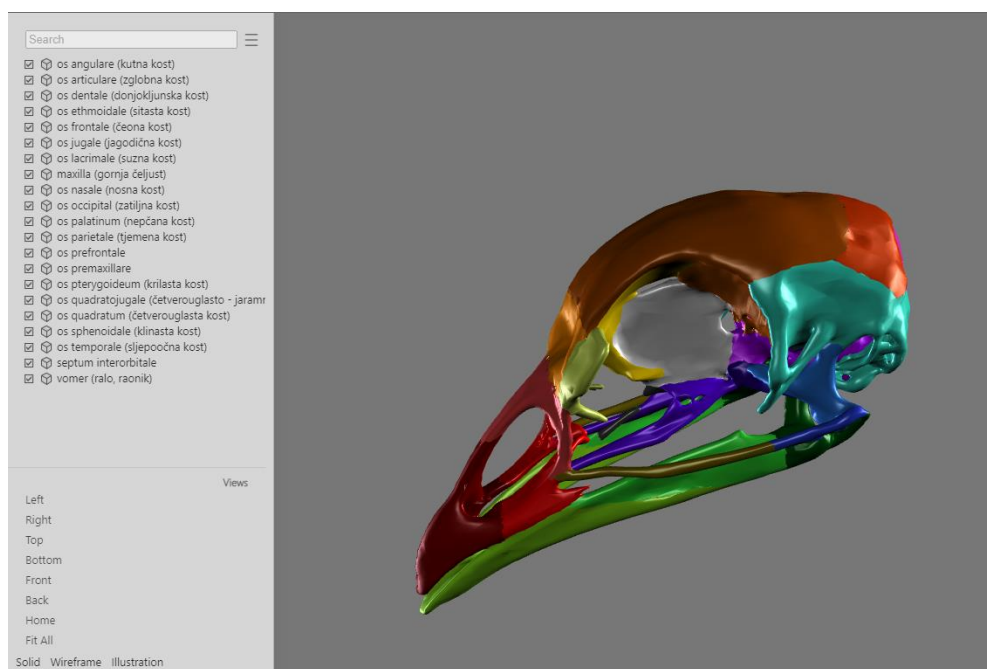
2.4. Analiza mogućnosti uporabe izrađenih modela u nastavi biologije prema Nacionalnom kurikulumu i okvirnim godišnjim izvedbenim kurikulumima Ministarstva znanosti i obrazovanja

Procjena mogućnosti uporabe izrađenih digitalnih modela u suvremenoj nastavi temeljila se na analizi postojećih nacionalnih kurikuluma za predmet Biologija u 7. i 8. razredu osnovne škole te u četiri razreda srednjoškolskog obrazovanja. Pri tome su analizirani načini na koje se, te u kojem obimu, izrađeni modeli mogu koristiti u okviru pojedinih nastavnih tema i tematskih cjelina predloženih Godišnjim izvedbenim kurikulumima za nastavni predmet Biologija predloženih od strane Ministarstva znanosti i obrazovanja u svrhu ostvarenja predviđenih ishoda učenja. Nadalje, u konzultaciji s mentorima rada, procijenjena je njihova mogućnost uporabe u okviru različitih obveznih i izbornih kolegija koji se održavaju na Prirodoslovno-matematičkom i Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

3. REZULTATI

3.1. Prikazi lubanja predstavnika različitih razreda kralješnjaka

U sljedećim su poglavljima na slikama izrađenih trodimenzionalnih modela (lateralni, dorzalni i ventralni prikaz) označene pojedinačne kosti lubanja, istovjetno obojane kod različitih vrsta. Istovjetni prikazi su on-line dostupni kao trodimenzionalni interaktivni modeli na mrežnim stranicama Veterinarskog fakulteta (<http://wwwi.vef.hr/3datlas/index/>). Interaktivnost njihove uporabe očituje se u mogućnosti njihove rotacije i preciznog povećanja u prostoru, potom međusobnog povezivanja naziva zasebnih regija/kosti na alatnoj traci ili izravno na modelu (Slika 7) te mogućnost prikaza modela bez pojedinih odabranih kostiju, kako bi ostatak lubanje bio jasnije prikazan, a i vidljiva uloga navedenog anatomskeg dijela u sklopu cjeline (Slika 8).



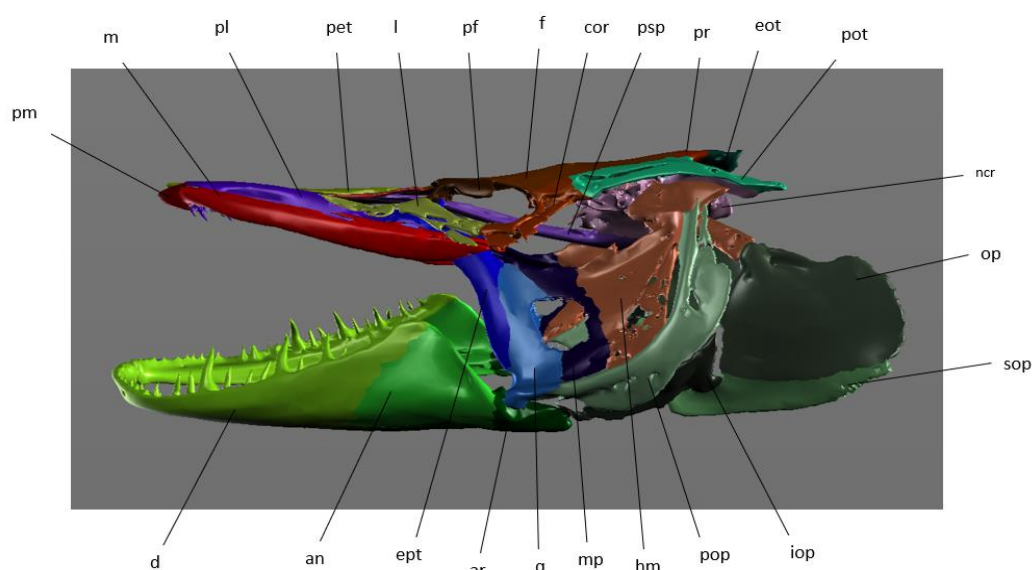
Slika 7. Prikaz interaktivnog sučelja internetske stranice s trodimenzionalnim modelom lubanje domaće kokoši



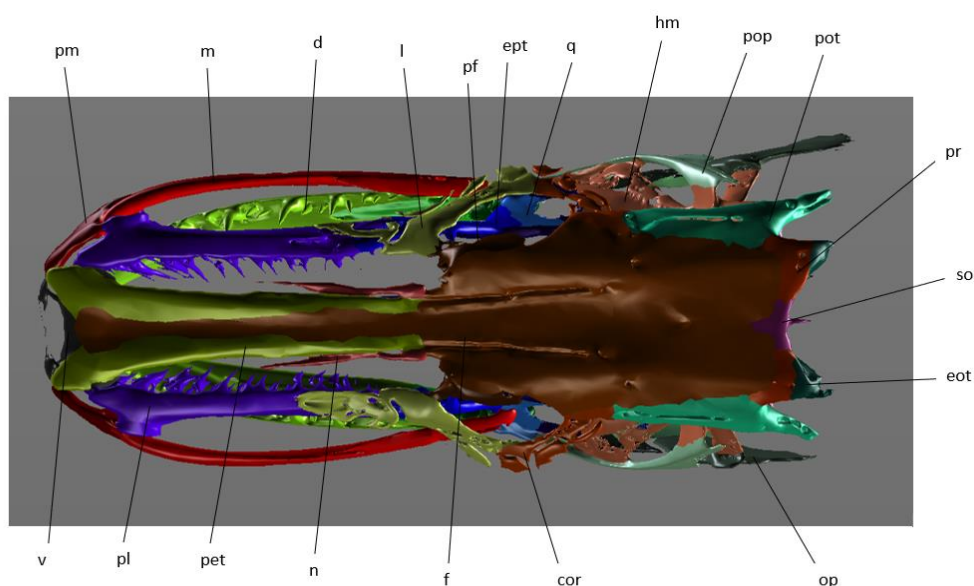
Slika 8. Prikaz možnosti izdvajanja zasebnih dijelova trodimenzionalnih modela - gornja čeljust štuke, smeđe krastače, šarene boe i smeđeg štakora

3.1.1. Lubanja štuke

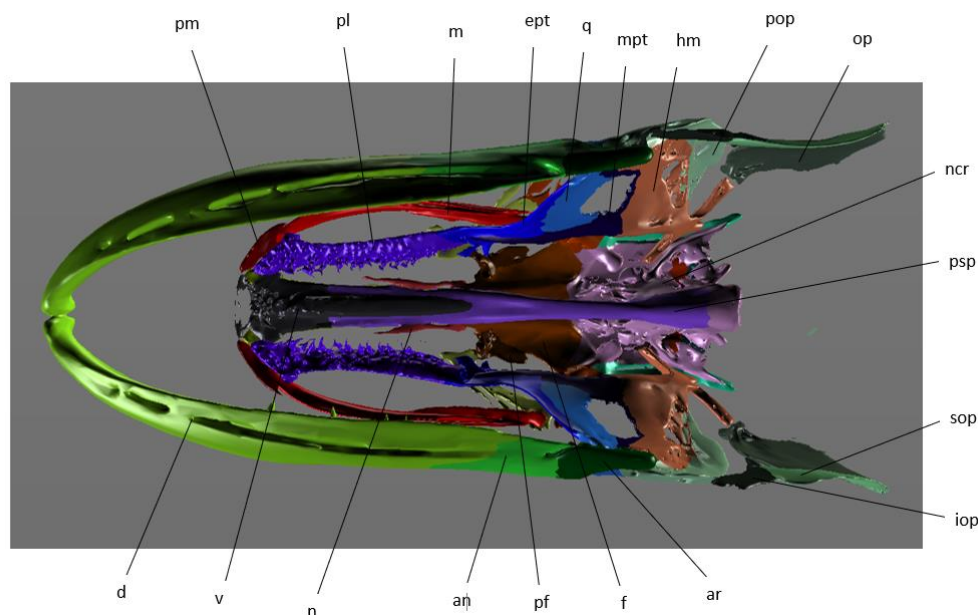
Iz prikazane lateralne (Slika 9a), dorzalne (Slika 9b) te ventralne (Slika 9c) projekcije modela, može se uočiti da štika, kao predstavnik razreda Actinopterygii, ima izdužen oblik prednjeg dijela lubanje, posebice čeljusti ispunjenih velikim brojem zuba. Nadalje, uočljivo je odvajanje koštanih struktura i slobodne artikulacije između os premaxillare (pm) i os maxillare (m) te os maxillare i neurocraniuma (ncr). Trodimenzionalni model dostupan je na stranici http://intranet.vef.hr/3datlas/ostali_modeli/kabalin/stuka/index.htm



Slika 9a. Lateralni prikaz lubanje štuke (*Esox lucius* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 1)



Slika 9b. Dorzalni prikaz lubanje štuke (*Esox lucius* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 1)



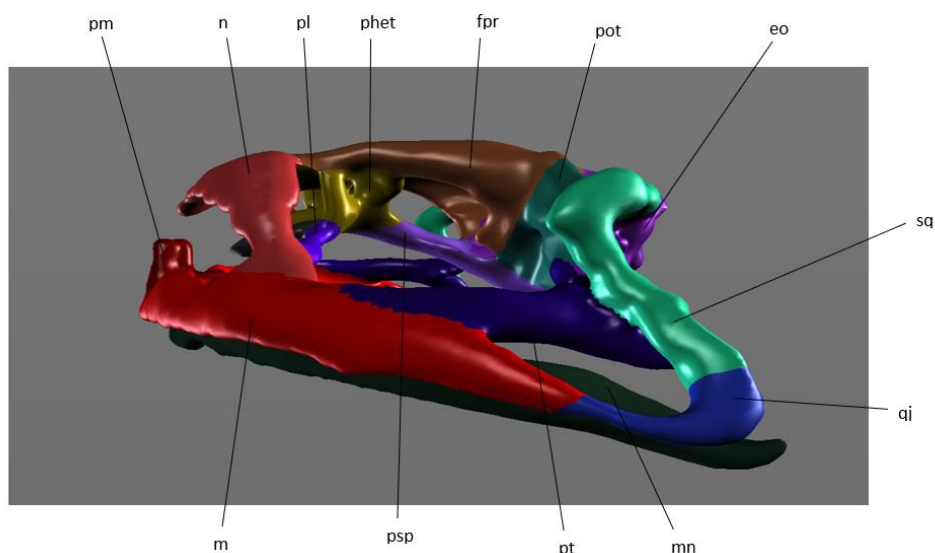
Slika 9c. Ventralni prikaz lubanje štuke (*Esox lucius* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 1)

Tablica 1. Pojašnjenje kratica korištenih u opisu slika lubanje štuke (*Esox lucius* Linnaeus, 1758)

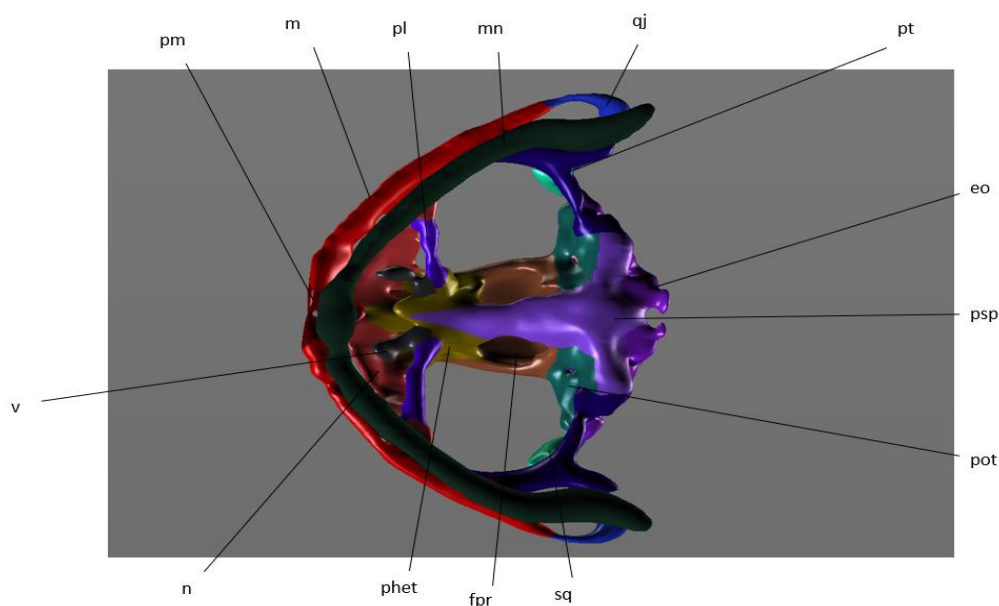
Pojašnjenje kratica:			
an	os angulare (kutna kost)	op	os operculare (poklopna kost)
ar	os articulare (zglobna kost)	pet	os proethmoidale
co	circumorbital series (cirkumorbitalna serija)	pf	os prefrontale
d	os dentale (donjokljunska kost)	pl	os palatinum (nepčana kost)
eot	os epioticum	pm	os premaxillare
ept	os ectopterygoideum	pop	os preoperculare (preoperkularna kost)
hm	os hyomandibulare	pot	os prooticum
iop	os interoperculare (interoperkularna kost)	pr	os parietale (tjemena kost)
f	os frontale (čeona kost)	psp	os parasphenoidale
l	os lacrimale (suzna kost)	q	os quadratum (kvadratna kost)
m	os maxillare (gornja čeljust)	so	os supraoccipitale (ljuska zatiljne kosti)
mpt	os metapterygoideum	sop	os suboperculare (suboperkularna kost)
n	os nasale (nosna kost)	v	vomer (ralo, raonik)
ncr	neurocranium		

3.1.2. Lubanja smeđe krastače

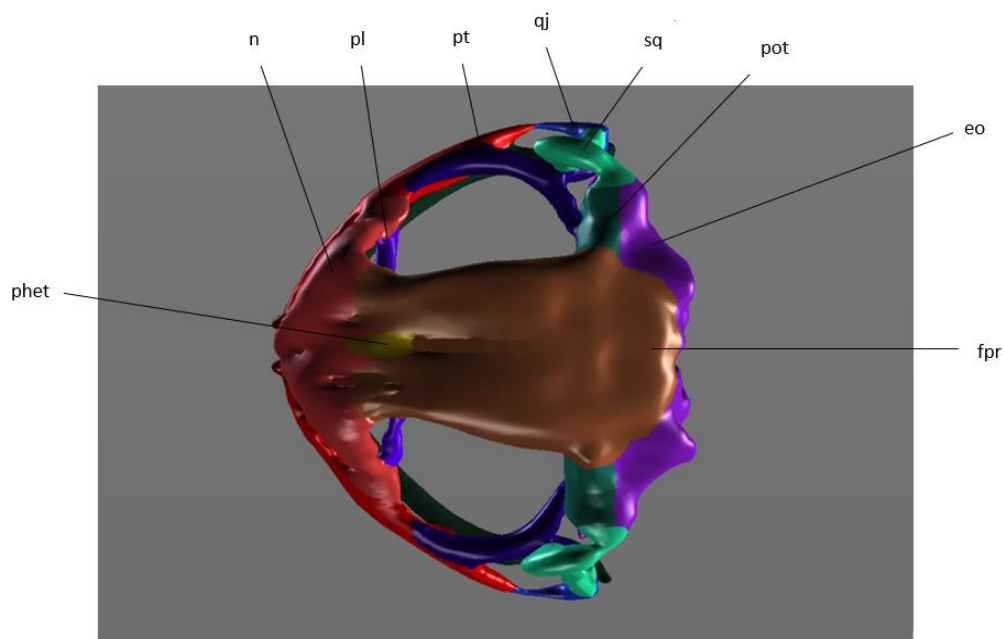
Slika 10a prikazuje lateralnu, slika 10b dorzalnu i slika 10c ventralnu stranu izrađenog modela lubanje smeđe krastače, kao predstavnika razreda Amphibia (vodozemaca). Uočljiv je njen spljošten oblik, brojem reducirane i često srasle koštane strukture, naglašenost os nasale (oznaka n na slici 10abc) te velike orbitalne šupljine smještene bliže stražnjem dijelu lubanje. Trodimenzionalni model dostupan je na stranici http://intranet.vef.hr/3datlas/ostali_modeli/kabalin/zaba/index.htm



Slika 10a. Lateralni prikaz lubanje smeđe krastače (*Bufo bufo* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 2)



Slika 10b. Dorzalni prikaz lubanje smeđe krastače (*Bufo bufo* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 2.)



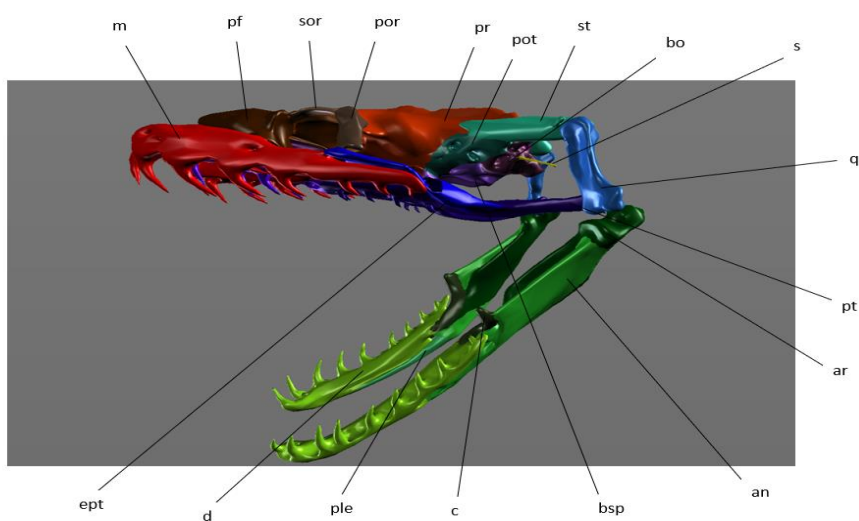
Slika 10c. Ventralni prikaz lubanje smeđe krastače (*Bufo bufo* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 2)

Tablica 2. Pojašnjenje kratica korištenih u opisu slika lubanje smeđe krastače (*Bufo bufo* Linnaeus, 1758)

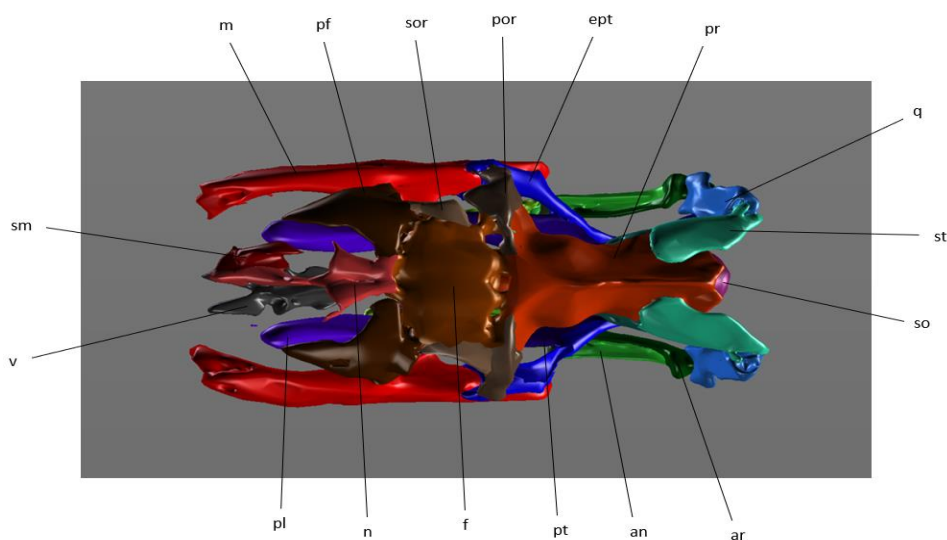
Pojašnjenje kratica:			
eo	os exoccipitale	pm	os premaxillare
fpr	os frontoparietale (čeonno - tjemena kost)	pot	os prooticum
m	os maxillare (gornja čeljust)	psp	os parasphenoidale
mn	mandibula (donja čeljust)	pt	os pterygoideum (krilasta kost)
n	os nasale (nosna kost)	qj	os quadratojugale (četverouglasto- jaramna kost)
phet	os phenethmoidale	sq	os squamosum (sljepoočna ljuska)
pl	os palatinum (nepčana kost)	v	vomer (ralo, raonik)

3.1.3. Lubanja šarene boe

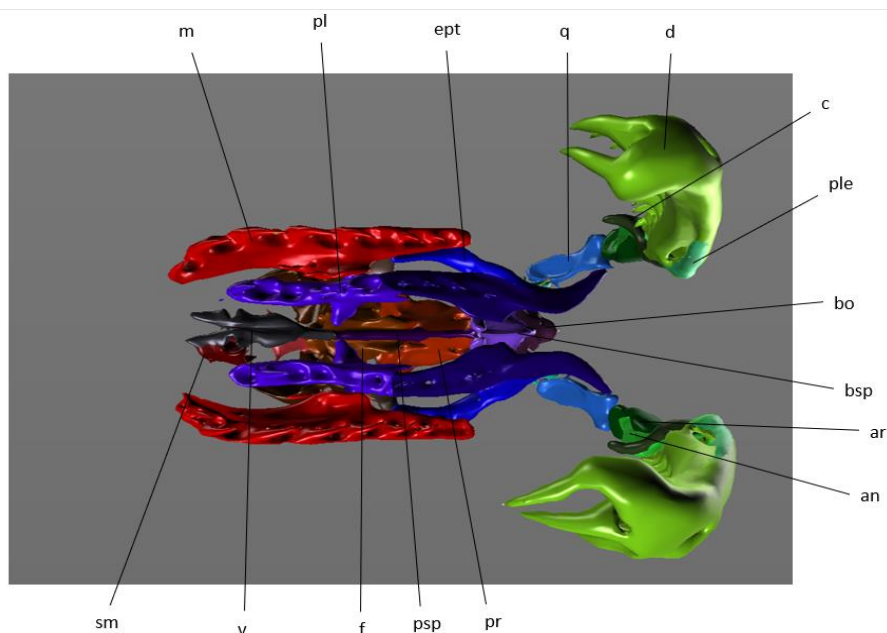
Na lateralnoj (slika 11a), dorzalnoj (slika 11b) i ventralnoj (slika 11c) projekciji izrađenog računalnog modela šarene boe, kao predstavnika razreda Reptilia, vidljiva je kinetičnost, koja je u različitim stupnjevima karakteristična za lubanje različitih vrsta gmazova. Kod zmija je ona jako izražena, jer uz dosta specifičnu mogućnost artikulacije između os quadratum (oznaka q) i dorzalnog dijela neurocraniuma tj. os supratemporale (oznaka st), vrhovi mandibule koju čini os dentale (oznaka d) su slobodni, odnosno nisu srasli koštanim tkivom, što omogućuje iznimnu fleksibilnost pri hranjenju. Trodimenzionalni model dostupan je na stranici http://intranet.vef.hr/3datlas/ostali_modeli/kabalin/zmija/index.htm



Slika 11a. Lateralni prikaz lubanje šarene boe (*Boa constrictor* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 3)



Slika 11b. Dorzalni prikaz lubanje šarene boe (*Boa constrictor* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 3)



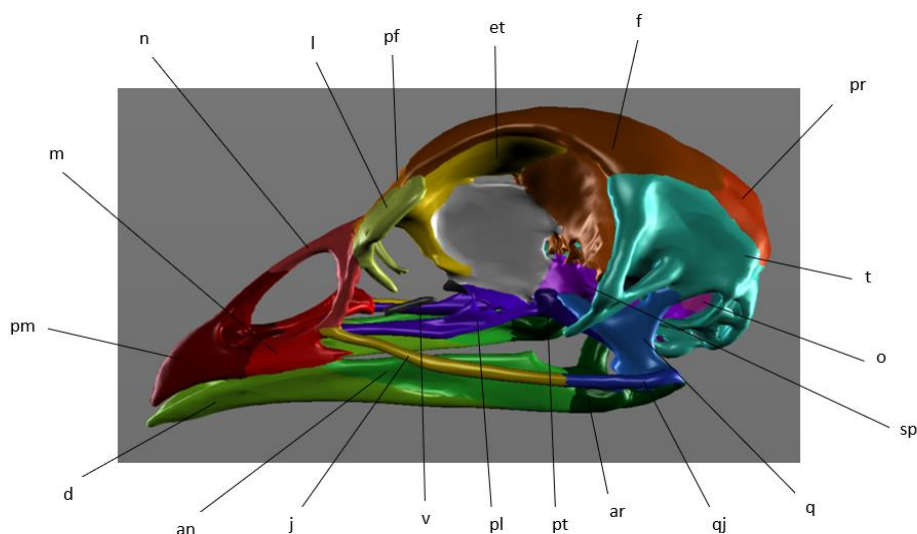
Slika 11c. Ventralni prikaz lubanje šarene boe (*Boa constrictor* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 3)

Tablica 3. Pojašnjenje kratica korištenih u opisu slika lubanje šarene boe (*Boa constrictor* Linnaeus, 1758)

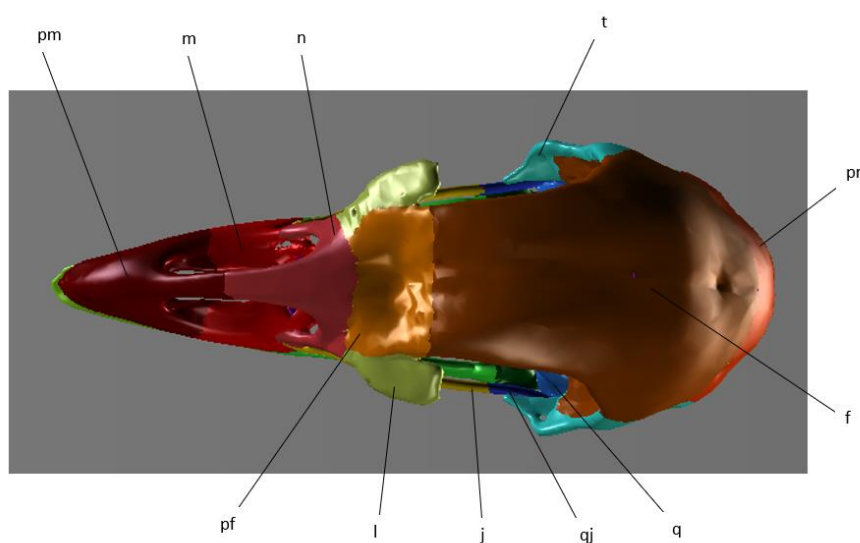
Pojašnjenje kratica:			
an	os angulare (kutna kost)	pot	os prooticum
ar	os articulare (zglobna kost)	pr	os parietale (tjemena kost)
bo	os basioccipitale (baza zatiljne kosti)	bsp	os parasphenoidale
bsp	os basisphenoidale (stražnja klinasta ksot)	pt	os pterygoideum (krilasta kost)
c	coronoid (mišićni izdanak donje čeljusti)	q	os quadratum (četverouglasta kost)
d	os dentale (donjokljunska kost)	s	Stapes (stremen)
ept	os ectopterygoideum	sm	os septomaxillare
f	os frontale (čeona kost)	so	os supraoccipitale (ljuska zatiljne kosti)
m	os maxillare (gornja čeljust)	sor	os supraorbitale (nadočna kost)
n	os nasale (nosna kost)	st	os supratemporale
pl	os palatinum (nepčana kost)		
ple	os pleniale	v	vomer (ralo, raonik)
por	os postorbitale		

3.1.4. Lubanja domaće kokoši

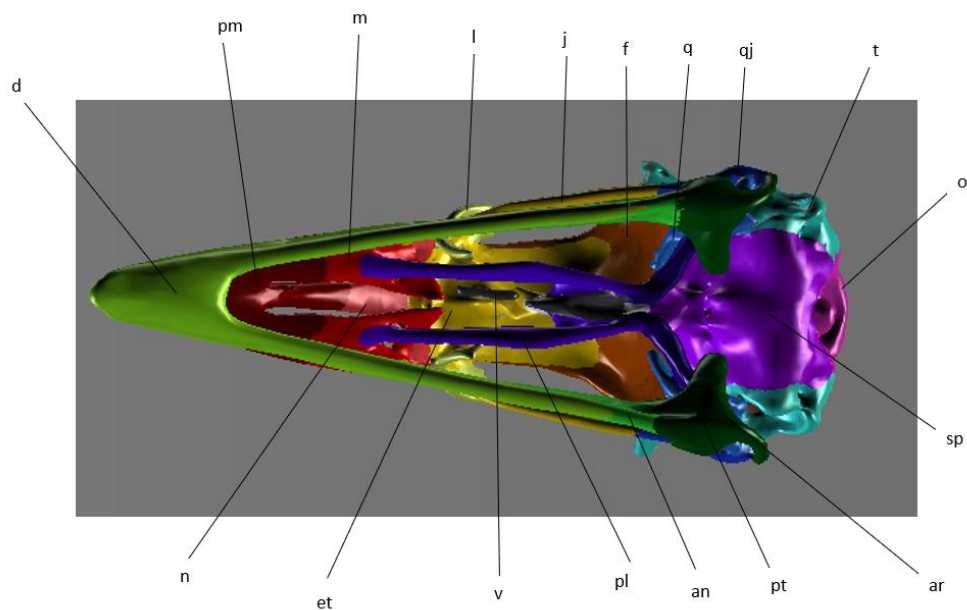
Kod domaće kokoši, kao predstavnika razreda Aves ističe se visok stupanj osifikacije i povećanja volumena neurocraniuma, što je vidljivo na slici 12a u lateralnom, slici 12b u dorzalnom i slici 12c u ventralnom prikazu. Uz visok stupanj sraštavanja kostiju, zbog kojeg se otežano vide šavovi među njima, specifičnom izgledu lubanje doprinose i tanak jagodični luk građen od os jugale (označeno slovom j) i os quadratojugale (označeno sa qj na slici 12abc), izrazito velike orbite te čeljusti modificirane u specijalizirani kljun. Trodimenzionalni model dostupan je na stranici http://intranet.vef.hr/3datlas/ostali_modeli/kabalin/kokos/index.htm



Slika 12a. Lateralni prikaz lubanje domaće kokoši (*Gallus gallus* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 4)



Slika 12b. Dorzalni prikaz lubanje domaće kokoši (*Gallus gallus* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 4)



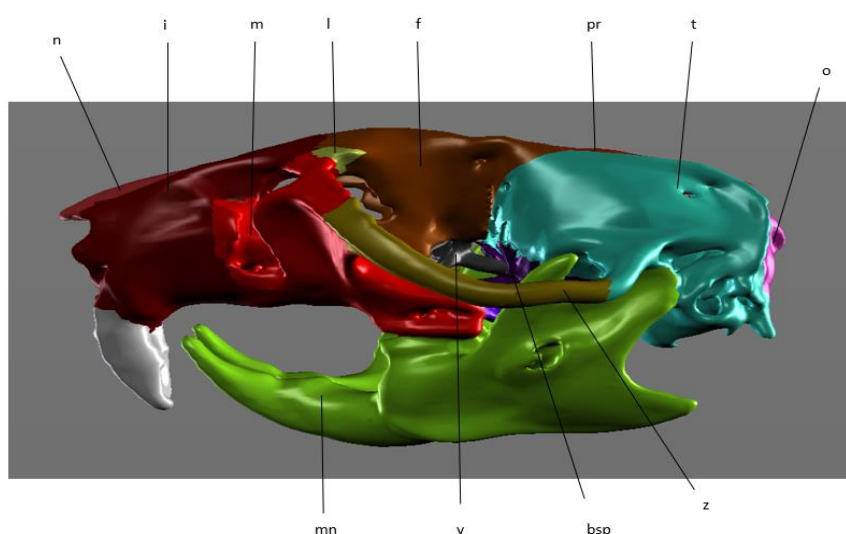
Slika 12c. Ventralni prikaz lubanje domaće kokoši (*Gallus gallus* Linnaeus, 1758) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 4)

Tablica 4. Pojašnjenje kratica korištenih u opisu slika lubanje domaće kokoši (*Gallus gallus* Linnaeus, 1758)

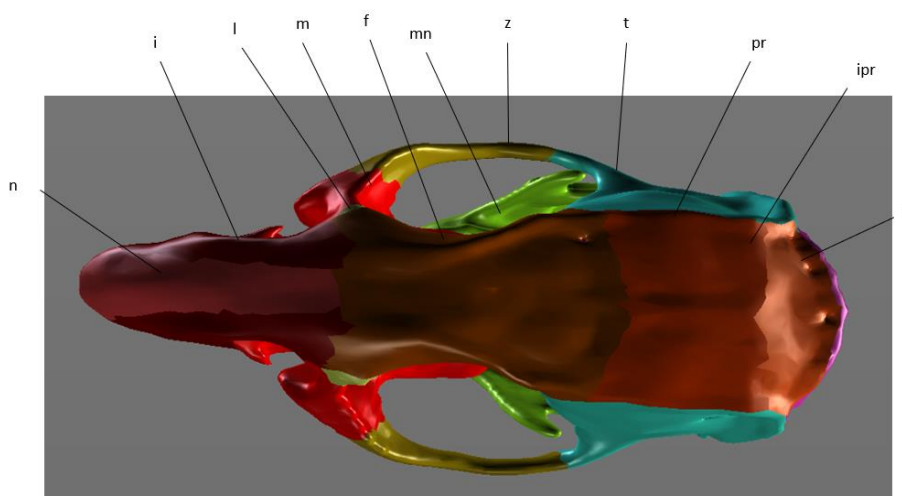
Pojašnjenje kratica:			
an	os angulare (kutna kost)	pf	os prefrontale
ar	os articulare (zglobna kost)	pl	os palatinum (nepčana kost)
d	os dentale (donjokljunska kost)	pm	os premaxillare
et	os ethmoidale (sitasta kost)	pr	os parietale (tjemena kost)
f	os frontale (čeona kost)	pt	os pterygoideum (krilasta kost)
j	os jugale (jagodična kost)	q	os quadratum (četverouglasta kost)
l	os lacrimale (suzna kost)	qj	os quadratojugale (četverouglasto - jaramna kost)
m	maxilla (gornja čeljust)	sp	os sphenoidale (klinasta kost)
n	os nasale (nosna kost)	t	os temporale (sljepoočna kost)
o	os occipital (zatiljna kost)	v	vomer (ralo, raonik)

3.1.5. Lubanja smeđeg štakora

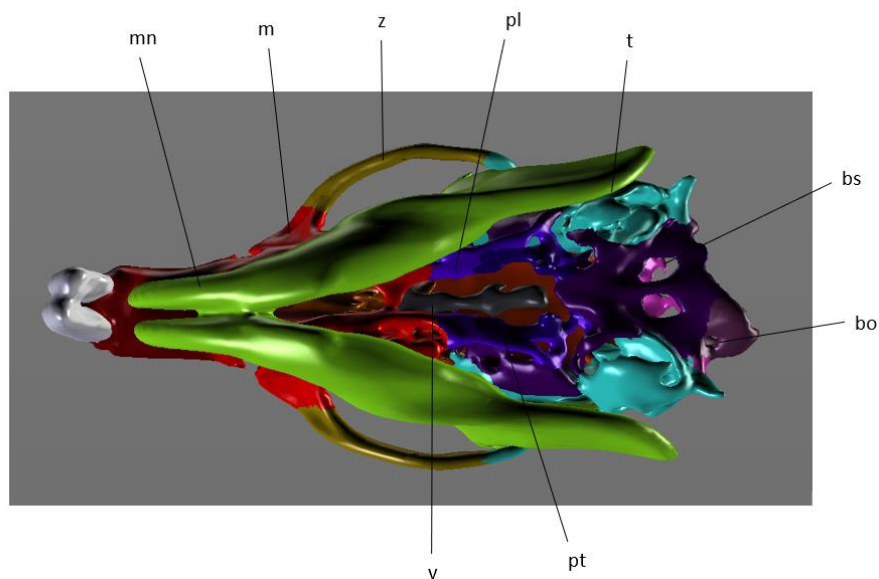
Model lubanje smeđeg štakora, kao predstavnika razreda Mammalia (sisavaca), prikazan je na slici 13a u lateralnom, slici 13b u dorzalnom i slici 13c u ventralnom prikazu. Vidljiv je gubitak pojedinih koštanih struktura i sraštavanje u veće kosti, npr. os temporale (naznačeno slovom t) i os occipitale (naznačeno slovima bi i o). Isto tako, u zubalu smeđeg štakora dominiraju iznimno veliki gornji sjekutići, kako je i vidljivo na modelu. U usporedbi s ostalim modelima, na slici je uočljivo i da se donja čeljust (mandibula) sastoji isključivo od os dentale (naznačeno slovom mn), Trodimenzionalni model dostupan je na stranici http://intranet.vef.hr/3datlas/ostali_modeli/kabalin/stakor/index.htm



Slika 13a. Lateralni prikaz lubanje smeđeg štakora (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 5)



Slika 13b. Dorzalni prikaz lubanje smeđeg štakora (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 5)



Slika 13c. Ventralni prikaz lubanje smeđeg štakora (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769) s označenim kostima (pojašnjenje kratica u Tablici 5)

Tablica 5. Pojašnjenje kratica korištenih u opisu slika lubanje smeđeg štakora (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769)

Pojašnjenje kratica:			
bo	os occipitale, pars basilaris (bazalni dio zatiljne kosti)	n	os nasale (nosna kost)
bsp	os basisphenoidale (stražnja klinasta kost)	o	os occipitale (zatiljna kost)
f	os frontale (čeona kost)	pl	os palatinum (nepčana kost)
i	os incisivum (sjekutična kost)	pr	os parietale (tjemena kost)
ipr	os interparietale (međutjemena kost)	pt	os pterygoideum (krilasta kost)
l	os lacrimale (suzna kost)	t	os temporale (sljepoočna kost)
m	maxilla (gornja čeljust)	v	vomer (ralo, raonik)
mn	mandibula (donja čeljust)	z	os zygomaticum (jagodična kost)

3.2. Analiza mogućnosti uporabe izrađenih modela u nastavi biologije prema nacionalnom kurikulumu i okvirnim godišnjim izvedbenim kurikulumima Ministarstva znanosti i obrazovanja

3.2.1. Primjena izrađenih modela u osnovnoškolskoj nastavi

U okviru predmeta Biologija za 7. razrede izrađeni modeli mogu se koristiti prilikom rada na ishodima: BIO OŠ A.7.2. (Povezuje usložnjavanje građe s razvojem novih svojstava u različitim organizama) te BIO OŠ B.7.3. (Stavlja u odnos prilagodbe živih bića i životne uvjete) (Tablica 1).

Tablica . Nastavne teme i tematske cjeline unutar kojih bi izrađeni modeli mogli pridonijeti ostvarenju ishoda učenja predmeta Biologija za 7. razred

Ishod iz nacionalnog kurikuluma za nastavni predmet Biologije u OŠ	Relevantni dijelovi razrade ishoda prema nacionalnom kurikulumu	Prigodne nastavne teme predložene GIK-om	Tematske cjeline predložene GIK-om
BIO OŠ A.7.2. Povezuje usložnjavanje građe s razvojem novih svojstava u različitim organizama	Povezuje građu i ulogu organa/organskih sustava ukazujući na njihovu promjenjivost, usložnjavanje i prilagodbe.	Prehrana ostalih životinja – prehrana kralješnjaka	Prehrana živih bića
BIO OŠ B.7.3. Stavlja u odnos prilagodbe živih bića i životne uvjete	Uspoređuje prilagodbe različitim načinima prehrane te ih povezuje s načinom života i preživljavanjem		

U okviru izvođenja nastave predmeta Biologija za 8. razrede, izrađeni modeli mogu naći ulogu u ispunjenju ishoda: BIO OŠ A.8.1. (Povezuje usložnjavanje građe s razvojem novih

svojstava i klasificira organizme primjenom različitih kriterija ukazujući na njihovu srodnost i raznolikost) (Tablica 7).

Tablica 7. Nastavne teme i tematske cjeline unutar kojih bi izrađeni modeli mogli pridonijeti ostvarenju ishoda učenja predmeta Biologija za 8. razred

Ishod iz nacionalnog kurikuluma za nastavni predmet Biologije u OŠ	Relevantni dijelovi razrade ishoda prema nacionalnom kurikulumu	Prigodne nastavne teme predložene GIK-om	Tematske cjeline predložene GIK-om
BIO OŠ A.8.1. Povezuje usložnjavanje građe s razvojem novih svojstava i klasificira organizme primjenom različitih kriterija ukazujući na njihovu srodnost i raznolikost	Povezuje građu i ulogu organa/organskih sustava ukazujući na njihovu promjenjivost, usložnjavanje i prilagodbe. Razlikuje najvažnije skupine životinja. Uspoređuje na tipičnim predstavnicima temeljna obilježja pojedine skupine. Stavlja u odnos evolucijske prilagodbe i razvojno stablo živoga svijeta.	Srodnost i raznolikost živog svijeta	Raznolikost živog svijeta

3.2.2. Primjena izrađenih modela u srednjoškolskoj nastavi

Primjena izrađenih modela u nastavi predmeta Biologije ima šire mogućnosti u srednjim školama s obzirom na informacije koje se pomoću njih mogu prenijeti. Tijekom izvođenja nastave 1. razreda srednje škole izravna je povezanost ograničena na ishod BIO SŠ B.1.3. (Uspoređuje prilagodbe organizama na specifične životne uvjete), no isti se mogu koristiti kao popratno i ilustrativno sredstvo u aktivnostima povezanim s ishodom BIO SŠ A.1.1. (Uspoređuje promjenu složenosti različitih organizacijskih razina biosfere te primjenjuje načela klasifikacije živoga svijeta) (Tablica 8).

Tablica 8. Nastavne teme i tematske cjeline unutar kojih bi izrađeni modeli mogli pridonijeti ostvarenju ishoda učenja predmeta Biologija za 1. razred srednje škole

Ishod iz nacionalnog kurikuluma za nastavni predmet Biologije u SŠ	Relevantni dijelovi razrade ishoda prema nacionalnom kurikulumu	Prigodne nastavne teme predložene GIK-om	Tematske cjeline predložene GIK-om
BIO SŠ B.1.3. Uspoređuje prilagodbe organizama na specifične životne uvjete	Analogni i homologni organi	Prilagodljivost organizama, 1. dio (rasprostranjenost s obzirom na prilagodbe, prilagodbe specifičnim uvjetima okoliša – analogni i homologni organi)	Ekološki čimbenici
BIO SŠ A.1.1. Uspoređuje promjenu složenosti različitih organizacijskih razina biosfere te primjenjuje načela klasifikacije živoga svijeta	Razvrstava predstavnike živih bića u pojedine skupine na temelju morfoloških obilježja.	Klasifikacija živog svijeta (domene živog svijeta, sistematske kategorije, primjeri različitih klasifikacija)	Organiziranost živog svijeta

Budući da kurikulum predmeta Biologija za 2. razred srednje škole propisuje obradu gradiva u najvećoj mjeri kroz koncept organizma, ishodi koji obuhvaćaju područja primjene ovog atlasa su: BIO SŠ A.2.1. (Povezuje pojavu novih svojstava s promjenom složenosti organizacijskih razina u organizmu) te BIO SŠ A.2.2. (Uspoređuje specifičnosti građe pojedinih organizama i povezuje ih s razvojnim stablom živoga svijeta) (Tablica 9).

[illegible]

32

Nasuprot tome, u 4. razredu srednje škole razvidna je još jedna mogućnost za korištenje ovog virtualnog atlasa prilikom obrade koncepta evolucije. u ispunjenju ishoda BIO SŠ B.4.3. (Analizira utjecaj promjenjivih životnih uvjeta na evoluciju) (Tablica 10).

Tablica 10. Nastavne teme i tematske cjeline unutar kojih bi izrađeni modeli mogli pridonijeti ostvarenju ishoda učenja predmeta Biologija za 4. razred srednje škole

Ishod iz nacionalnog kurikulumu za nastavni predmet Biologije u SŠ	Relevantni dijelovi razrade ishoda prema nacionalnom kurikulumu	Prigodne nastavne teme predložene GIK-om	Tematske cjeline predložene GIK-om
BIO SŠ B.4.3. Analizira utjecaj promjenjivih životnih uvjeta na evoluciju	Objašnjava teoriju evolucije na temelju postojećih dokaza	Dokazi koji potvrđuju evoluciju, 1. dio (fosili, razvojni nizovi, dokazi iz anatomije)	Evolucija

3.2.3. Primjena izrađenih modela u visokoškolskom obrazovanju

Osim opisane analize mogućnosti uporabe izrađenih modela lubanja u nastavi predmeta Biologija osnovnih i srednjih škola, izvjesna je njihova uporaba i u okviru izvođenja pojedinih studijskih programa na visokoškolskim ustanovama, kao i u okviru izvođenja različitih predmeta srednjih škola strukovnog usmjerenja. Slijedom konzultacija s mentorima rada, koji su ujedno i profesori na Prirodoslovno-matematičkom i Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, te nositelji različitih obveznih i izbornih kolegija, izravnu mogućnost uporabe modela koji će biti on-line dostupni studentima, nalazim u okviru kolegija: „Opća Zoologija“, „Kralješnjaci“ i „Vertebrata“ (na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu) te obveznih kolegija „Anatomija s organogenezom domaćih životinja III“, „Anatomy with Organogenesis of Domestic Animals III“, „Zoologija“, „Zoology“ i izbornih kolegija „Morfologija gmazova“, „Reptile Morphology“, „Arheozoologija“, „Archaeozoology“, „Biologija i zaštita morskih sisavaca“ i „Biology and Marine Mammal Conservation“ (na Veterinarskom fakultetu).

4. RASPRAVA

Kao što je već spomenuto u uvodnom dijelu ovog rada, učenici veliki udio informacija percipiraju te uspješno usvajaju vizualnim putem (Rayin 2016, Grady i sur. 1998). Iz tog su razloga modeli, uz izvornu stvarnost, jedan od osnovnih alata u suvremenoj nastavi. Međutim, iako izrazito korisna, uporaba tradicionalnih fizičkih modela nailazi na određene poteškoće u obrazovnom sustavu (Bognar i Matijević 2002). Ponajviše do izražaja dolazi značajan nedostatak, najčešće uzrokovan financijskim mogućnostima obrazovnih ustanova, fizičkih modela ili predmeta iz izvorne stvarnosti koji se mogu predstaviti učenicima u nastavi. Također, ukoliko škola i posjeduje različite fizičke modele za uporabu u nastavi, u većini slučajeva broj jednakih modela neće biti dovoljan kako bi se osigurao kontinuirani i kvalitetan rad svih učenika na nastavi. Naime, ako se ne može osigurati dovoljan broj modela za kvalitetan samostalni rad, rad u paru ili grupni rad učenika, nastavna aktivnost temeljena na modelu često prelazi u frontalni oblik rada u kojemu se korist modela može značajno smanjiti ili se ta aktivnost značajno produljuje dok model putuje od učenika do učenika, što može rezultirati u znatnom padu koncentracije i motivacije te gubitku vremena (Bognar i Matijević 2002, Bleed 2005). Upotreba digitalnih modela zaobilazi ovaj problem u nastavi. Svaki učenik zasebno može pristupiti i koristiti digitalni model u nastavnim aktivnostima putem svog mobilnog telefona ili školskog tableta/računala, čime se omogućava kvalitetno i vremenski optimizirano provođenje aktivnosti. Štoviše, korisnost dostupnih digitalnih modela napose dolazi do izražaja pri samostalnom učenju i ponavljanju kod kuće (Erolin 2019).

Izrađeni modeli lubanja predstavnika pet razreda iz potkoljena *Vertebrata* zorno pokazuju različite modifikacije u obliku, veličini i sraštavanju kostiju, kao posljedica evolucijskih promjena različitih vrsta (Hanken i Thorogood 1993, Webster i Webster 2013, Kardong 2019). Specifičnosti građe opisane u uvodnom dijelu pregleda literature, naznačene su i u rezultatima te prikazane kroz tri projekcije (lateralna, dorzalna i ventralna) svakog modela (slike 9abc do 13abc). Samostalnom uočavanju razlika pridonosi i istovjetna obojenost pojedinih kostiju glave, čime se lako uoče njihove specifičnosti. Kao što je istaknuto, kod štuke, kao predstavnice razreda *Actinopterygii*, vidljivo je odvajanje koštanih struktura i artikulacija zbog koje se njihova lubanja smatra kinetičkom, te izdužen oblik prednjeg dijela lubanje s velikim brojem zuba u čeljusti, kao prilagodba na specifičan način života i hranjenja. Sraštavanje i redukcija broja kostiju kod smeđe krastače, kao predstavnice razreda *Amphibia*, čine njihovu lubanju akinetičkom, a uočljive su velike orbitalne šupljine i spljošten oblik. Kod

oba navedena razreda može se opaziti djelomična ili reducirana osifikacija neurocraniuma. Kod razreda Reptilia postoje raznoliki stupnjevi kineze lubanje. Kod šarene boe (zmije) postoji izražena mogućnost artikulacije između kvadratnih kostiju i dorzalnog dijela neurocraniuma, a specifičnost u koštanoj građi lubanje, kao što je prikazano na modelu, predstavlja i činjenica da su vrhovi mandibule (os dentale) nisu hrskavično, ni koštano srasli. Za života životinje, vrhovi donjih čeljusti su povezani vezivnim strukturama iznimne fleksibilnosti, što omogućuje proždiranje većeg plijena. Na izrađenom modelu domaće kokoši uočljive su opisane specifičnosti pripadnika razreda Aves. Najizraženija komparativna razlika uočava se kao specifičan izgled čeljusti u obliku kljuna, bez zuba, pri čemu postoji artikulacija između gornje čeljusti i neurocraniuma. Razina sraštavanja kostiju pripadnika skupine Mammalia zavisi o vrsti, no ono što ih karakterizira, a vidljivo je na modelnom prikazu lubanje smeđeg štakora, je da donju čeljust (mandibulu) čini isključivo os dentale. Ostale su kosti, koje su kod evolucijskih predaka bile njen dio, kod sisavaca modificirane te su preuzele ulogu građe srednjeg uha. Kod ptica i sisavaca zamjetno je da dolazi do visokog stupnja osifikacije i povećanja neurocraniuma, a time i lubanjske šupljine, što je neophodno za rast i razvoj evolucijski sve naprednijeg i većeg mozga (Webster i Webster 2013, Kardong 2019).

Modeli izrađeni u ovom radu mogu se uspješno implementirati u svim razinama obrazovanja (Tablice 6 do 10).

U kurikulumu predmeta Biologija za sedme razrede kao jedan od prijedloga za ostvarenje navedenih ishoda navodi se korištenje modela za proučavanje građe organa te se preporučuje egzemplarni oblik nastave. Prigodna nastavna tema predložena godišnjim izvedbenim kurikulumom u kojoj bi se u ostvarenju spomenutih ishoda mogli koristiti izrađeni modeli bila bi „Prehrana ostalih životinja – prehrana kralješnjaka“ u sklopu tematske cjeline „Prehrana živih bića“ (Tablica 6). Kako modeli prikazuju lubanje predstavnika različitih skupina kralješnjaka, na njima se lako mogu uočiti raznolikosti u građi čeljusti i obliku zuba koju učenici mogu povezati s prehranom prikazanih organizama uočavajući prilagodbe za razne oblike prehrane.

Detaljnou analizom nacionalnog kurikuluma za osme razrede osnovne škole, mogućnost uporabe trodimenzionalne zbirke modela, a imajući u vidu označene homologne strukture na lubanjama različitih vrsta kralješnjaka te, samim time, mogućnost njihove usporedbe, nalazim u sklopu nastavne teme „Srodnost i raznolikost živog svijeta“, unutar tematske cjeline „Raznolikost živog svijeta“ (Tablica 7). Kao što je bio slučaj i za sedme

razrede, u kurikulumu stoji prijedlog da se prilikom prikaza organa i organskih sustava koriste modeli.

Kao što je ranije navedeno, mogućnosti uporabe trodimenzionalnih digitalnih modela u okviru nastave predmeta Biologija tijekom srednjoškolskog obrazovanja puno je šira. Unutar predviđenih ishoda učenja iz nacionalnog kurikuluma prvih razreda srednje škole, pri objašnjenju nastavnih tema „Prilagodljivost organizama, 1. dio (rasprostranjenost s obzirom na prilagodbe, prilagodbe specifičnim uvjetima okoliša – analogni i homologni organi)“ te „Klasifikacija živog svijeta (domene živog svijeta, sistematske kategorije, primjeri različitih klasifikacija)“, oni se mogu koristiti s obzirom da se u modelnom prikazu posebna pažnja pridaje predstavljanju homolognih i analognih organa i struktura (Tablica 8).

Gradivo drugog razreda srednje škole kao svoje središte ima koncept organizma. Kurikulumom se predlaže razrada ovog koncepta proučavanjem različitih organizama (od jednostaničnih pa sve do čovjeka) komparativnim pristupom uz naglasak na evolucijski razvoj i prilagodbe svih organskih sustava, ovisno o promjenama životnih uvjeta. Zbog toga je baš ovaj razred najpogodniji za korištenje izrađenog digitalnog atlasa pomoću kojeg se mogu komparativno proučiti lubanje predstavnika pojedinih vrsta kralješnjaka te povezati sličnosti i razlike pojedinih struktura kao prilagodbe na životne uvjete. Tematske cjeline predložene GIK-om pogodne za korištenje modela su: „Život u vodi“ te „Život na kopnu“ tijekom obrade nastavnih tema vezanih uz prehranu te kretanje u sklopu koje se predstavlja kostur (Tablica 9).

U okviru kurikuluma predmeta Biologija za četvrti razred srednje škole, a podržavajući intenciju korištenja virtualnih pomagala u svrhu ostvarenja predviđenih ishoda učenja, lubanje različitih skupina sisavaca mogu poslužiti kao primjeri anatomske dokaze evolucije posebice ako se upare s dodatnim sadržajima i slikama drugih lubanja, kostura i fosila tijekom održavanja nastavne teme „Dokazi koji potvrđuju evoluciju, 1. dio (fosili, razvojni nizovi, dokazi iz anatomije)“ (Tablica 10).

Izrađeni virtualni trodimenzionalni atlas mogao bi, osim u okviru predmeta Biologija, svoju mogućnost korištena naći i unutar predmeta „Anatomija“ (različitog nazivlja) srednjih veterinarskih škola, kao i u okviru izvođenja ranije opisanih obveznih i izbornih predmeta na visokoškolskim učilištima, prvenstveno Prirodoslovno-matematičkom i Veterinarskom fakultetu. Osim toga, vjerujem da će svrsishodnost izrađenih i on-line dostupnih modela prepoznati i profesori te studenti na drugim srodnim fakultetima.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj diplomski rad, izrađen u digitalnom i tiskanom obliku, kroz ostvarenje postavljenih ciljeva može olakšati i osigurati kvalitetnije razumijevanje određenih nastavnih sadržaja. Slijedom toga, izrađeni su trodimenzionalni modeli za komparativni prikaz pojedinačnih lubanja predstavnika pet odabranih razreda kralješnjaka (štuka kao predstavnik razreda Actinopterygii, smeđa krastača iz razreda Amphibia, šarena boa iz razreda Reptilia, domaća kokoš iz razreda Aves i smeđi štakor pripadnik razreda Mammalia), koji su topografski detaljno opisani te iz kojih su razvidne sličnosti i razlike među njima. Izrađeni modeli postavljeni su na javno dostupnim mrežnim stranicama Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Nakon provedene detaljne analize nacionalnog kurikulumu za nastavni predmet Biologija u osnovnim i srednjim školama te Ministarstvom predloženih godišnjih izvedbenih kurikulumu mogu zaključiti da izrađeni materijal može biti iznimno koristan za ostvarivanje pojedinih ishoda učenja. Nadalje, izrađeni materijal mogao bi pridonijeti i ostvarivanju ishoda izvedbenih nastavnih programa pojedinih kolegija u visokoškolskom obrazovanju. Opisane tehnike izrade 3D modela primjenjive su za prikaz brojnih drugih anatomske struktura, čijom bi se realizacijom moglo doprinijeti još lakšem i kvalitetnijem izvođenju egzemplarne nastave.

6. LITERATURA

- Anonymus (2017): Nomina anatomica veterinaria. 6. izdanje. International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. Hannover, Ghent, Columbia, MO, Rio de Janeiro.
- Baum, D. (2008): Reading a Phylogenetic Tree: The Meaning of Monophyletic Groups. *Nature Education* 1(1): 190.
- Baumel J., Witmer L.M. (1993): Osteologija. U: Baumel J., King A.S., Breazile E., Evans H.E., Vanden Berge J.C. Handbook of Avian Anatomy: Nomina Anatomica Avium. 2nd Ed. Publications of the Nuttall ornithological club no. 23. Cambridge, Massachusetts, str. 45-132.
- Bleed R. (2005): Visual Literacy in Higher Education. *Educause Learning Initiative* 1 (1): 1–11.
- Bognar L., Matijević M. (2002): Didaktika. Školska knjiga, Zagreb.
- Boughner J.C., Buchtova M., Fua K., Diewertb V., Hallgrimsson B., Richman J.M. (2007): Embryonic development of *Python sebae* – I: Staging criteria and macroscopic skeletal morphogenesis of the head and limbs. *Zoology* 110: 212–230.
- Brocklehurst R., Porro L., Herrel A., Adriaens D., Rayfield E. (2019): A digital dissection of two teleost fishes: comparative functional anatomy of the cranial musculoskeletal system in pike (*Esox lucius*) and eel (*Anguilla anguilla*). *J. Anat.* 235 (2): 189-204.
- Cheng G.Z., San Jose Estepar R., Folch E., Onieval J., Gangadharan S., Majid A. (2016): Three-dimensional Printing and 3D Slicer: Powerful Tools in Understanding and Treating Structural Lung Disease. *Chest* 149 (5): 1136-1142.
- Došen S. (2021): Izrada trodimenzionalnog anatomskog modela srca dupina. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet, Zagreb.
- eGyanKosh (2018): Exercise- 1 Study of Osteology of Frog: disarticulated skeleton. Indira Gandhi National Open University, New Delhi.
<http://egyankosh.ac.in/handle/123456789/57537> (pristupljeno 14.6.2022.)
- Erolin C. (2019): Interactive 3D Digital Models for Anatomy and Medical Education. U: Rea, P. M. (ur.) *Biomedical Visualisation: Volume 2 (Advances in Experimental Medicine and Biology, 1138)* 1st ed. Springer, str. 1–16.

- Grady C. L., McIntosh A. R., Rajah M. N., I. M. Craik F. I. M. (1998): Neural correlates of the episodic encoding of pictures and words. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95 (5): 2703-2708.
- Hanken J., Thorogood P. (1993): Evolution and development of the vertebrate skull: The role of pattern formation. *TREE* 8 (1): 9-15.
- Hickman C. P., Roberts L. S., Larson A. (2002): *Animal Diversity*. 3rd Ed. McGraw-Hill Education, New York.
- Hyman L. H. (1942): *Comparative vertebrate anatomy*, The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Irie N., Satoh N., Kuratani S. (2018): The phylum Vertebrata: a case for zoological recognition. *Zoological Lett* 4, 32. <https://doi.org/10.1186/s40851-018-0114-y> (pristupljeno 05. 10. 2022.)
- Jelavić F. (1998): *Didaktika*. Naklada Slap, Zagreb.: 139-140.
- Jollie, M. T. (2022): Vertebrate. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/animal/vertebrate>. (pristupljeno 02. 12. 2022.)
- Kardong K. V. (2019): *Vertebrates Comparative Anatomy, Function*. 8th Ed. Washington State University, New York.
- Köningh E., Liebich H. G. (2009): *Anatomija domaćih sisavaca*. Naklada Slap, Jastrebarsko.
- Marić M. (2020): *Izrada digitalnog anatomskog modela lubanje psa*. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet, Zagreb.
- Narodne novine 7/2019 (2019): Odluka o donošenju kurikuluma za nastavni predmet Biologije za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj.
- Padovan I. (2006): *Enciklopedijski rječnik humanog i veterinarskog medicinskog nazivlja*. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb.
- Poljak V. (1991): *Didaktika. Školska knjiga*, Zagreb.
- Pough F. H., Janis C. M., López-Torres S. (2019): *Vertebrate life*. 10th Ed. Sinauer Associates, New York.
- Raiyn J. (2016): The Role of Visual Learning in Improving Students' High-Order Thinking Skills. *Journal of Education and Practice* 7: 115-121.
- Ruggiero M. A., Gordon D. P., Orrell T. M. Bailly N. Bourgoïn T., Brusca R. C., Cavalier-Smith T., Guiry M. D., Kirk P. M. (2015): A higher level classification of all living organisms. *PLoS One*. 2015 Apr 29;10(4):e0119248. doi: 10.1371/journal.pone.0119248.

Erratum in: PLoS One. 2015;10(6):e0130114. PMID: 25923521; PMCID: PMC4418965.
(pristupljeno 22. 09. 2022.)

Šejtanić S. (2016): Komunikacija učesnika vaspitno-obrazovnog procesa u savremenim nastavnim sistemima. Naša škola, LXXII. 16.

Tot D. (2010): Učeničke kompetencije i suvremena nastava. Odgojne znanosti 12: 65-78.

Ufo3d (2014): 3D Product Modeling <https://ufo3d.com/history-of-3d-modeling/> (pristupljeno 19.10.2022.)

Webster D., Webster M. (2013): Comparative Vertebrate Morphology. Academic Press.

7. ŽIVOTOPIS

Rođen sam 26. veljače 1999. godine u Zagrebu. Osnovnu školu Tituš Brezovački te Prirodoslovno-matematičku gimnaziju Lucijana Vranjanina završio sam također u Zagrebu. Tijekom školovanja polazio sam i muzičku školu. Prirodoslovno-matematički fakultet, nastavnički smjer biologija/kemija upisao sam akademske godine 2017./2018. te sam sve fakultetske obveze ispunio redovito. Prvih godina studija dobivao sam STEM stipendiju Ministarstva znanosti i obrazovanja, a posljednje dvije stipendiju Grada Zagreba za deficitarna zanimanja – kategoriju nastavnika prirodnih predmeta. Nakon što sam položio sve predviđene ispite na studiju, upisao sam apsolventsku godinu u kojoj mi je preostala samo obrana diplomskog rada, kojeg izrađujem pod dvojnim mentorstvom profesora s Prirodoslovno-matematičkog te Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom posljednje godine studija, surađivao sam s mentoricom iz predmeta Biologija pri prijavi učenika na ZGHack natjecanje, prilikom čega su navedeni učenici osvojili prvo mjesto. Od listopada 2022. godine zaposlen samo kao nestručna zamjena u osnovnoj školi Ksavera Šandora Gjalskog u Zaboku, u kojoj predajem predmete Priroda i Biologija učenicima petih do sedmih razreda. Tijekom rada pohađao sam usavršavanja o radu sa učenicima s posebnim potrebama te nadarenim učenicima, kao i usvršavanje prepoznavanja i prevencije rizičnog ponašanja.

Izvršno se koristim engleskim jezikom u govoru i pismu (položivši maturu kao jedan od 2% najboljih polaznika), kao i brojnim računalnim programima (MS Office paketom, programskim jezikom Phyton, Statisticom te programima za grafičku obradu Blender, 3Dslicer i Final Mesh).