

Katedra za zoologijo

Rok Kostanjšek, Nada Žnidaršič, Lila Bizjak Mali, Anita Jemec Kokalj, Damjana Drobne

Zgodovina Katedre za zoologijo na UL svopada z njeno ustanovitvijo leta 1919, ko je bila v okviru Filozofske fakultete ustanovljena Stolica za zoologijo. Ob svoji stoletnici katedra vključuje več kot trideset sodelavcev in tvori največjo enoto Oddelka za biologijo. V okviru katedre delujejo tri raziskovalne skupine: »Skupina za funkcionalno morfolologijo živali in razvojno biologijo«, »Skupina za speleobiologijo« in »Skupina za nanobiologijo in nanotoksikologijo«, ki je kot najmlajša skupina nedavno praznovala 10 obletnico svojega delovanja. Raziskovalno delo katedre poteka v treh tematskih sklopih. V sklopu »Organizem« obravnavamo biologijo živali, od molekulskega do organizemskega organizacijskega nivoja. Pri tem raziskujemo povezave med strukturo in funkcijo živali, zlasti v povezavi z njihovim razvojem, obnavljanjem tkiv, mikrobnimi interakcijami in prilagoditvami na okolje. V sklopu »Od populacij do združb« obravnavamo makroskopske procese, merljive na nivoju populacije in vrste. Glavno vprašanje je razumevanje biotske pestrosti skozi ekološke in evolucijske procese. V sklopu »Živali v antropocenu« obravnavamo interakcijo med človekom in živaljo. Sklopi se med seboj dopolnjujejo. Združevanje teorije in metod posameznih sklopov pa omogoča celostno razumevanje bioloških procesov.

Metodološko podporo raziskovalnemu in pedagoškemu delu katedre nudi sodobna infrastruktura za mikroskopske analize, ki deluje v okviru »Infrastrukturnega centra mikroskopija bioloških vzorcev«, laboratorij za gojenje celičnih kultur, sodobno opremljen laboratorij za molekulske in filogenetske raziskave, laboratorij za atomsko absorpcijsko spektrometrijo, speleokomora za gojenje jamskih živali, akvaterarij za gojenje rib, dvoživk in kopenskih nevretenčarjev.

Na pedagoškem področju sodelavci katedre sodelujemo pri 24 predmetih prvostopenjskih programov »Biologija«, »Mikrobiologija«, »Biotehnologija« in »Živilstvo in prehrana«, ter magistrskih programov »Molekulska in funkcionalna biologija«, »Ekologija in biodiverzitet«, »Biološko izobraževanje« in »Biotehnologija« na Biotehniški fakulteti. Poleg predmetov na med-

fakultetnem doktorskem programu Bioznanosti, pa sodelujemo tudi pri 12 predmetih drugih članic Univerze v Ljubljani, kot so Pedagoška fakulteta, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo in Akademijo za likovno umetnost in oblikovanje.

Raziskovalna skupina za funkcionalno morfolologijo živali in razvojno biologijo

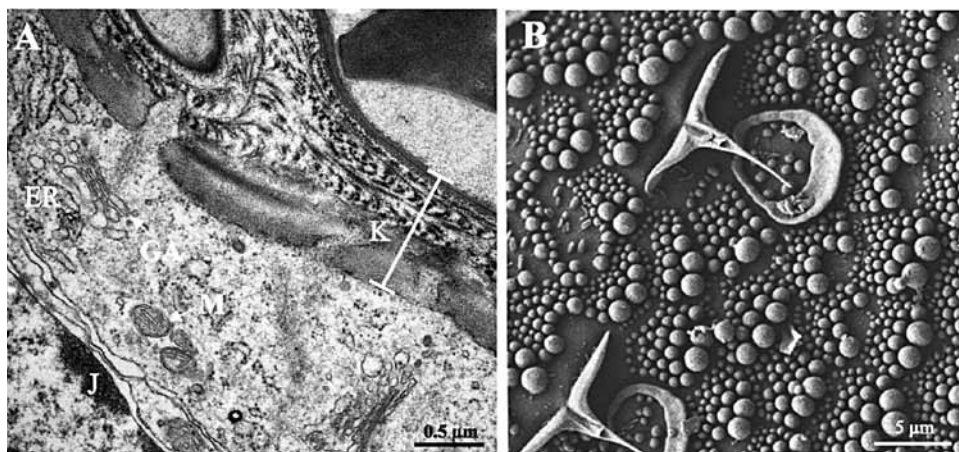
Združitev Raziskovalne skupine za funkcionalno morfološke in ekotoksikološke raziskave nevretenčarjev ter Skupine za funkcionalno-morfološke raziskave vretenčarjev je vodila do oblikovanja Raziskovalne skupine za funkcionalno morfolologijo živali in razvojno biologijo v okviru iste katedre.

Na področju **Splošne zoologije** sta pedagoško in raziskovalno delo vodila prof. dr. Pavel Ličar in zasl. prof. dr. Jasna Štrus. S sodelavkama Mojco Godek in Olgo Urbanc Berčič sta razvijala tudi metodologijo za mikroskopske analize bioloških vzorcev, zlasti za elektronsko mikroskopijo. Področju razvoja mikroskopije so se kasneje pridruževali novi sodelavci, kar je vodilo v oblikovanje Infrastrukturnega centra 'Mikroskopija bioloških vzorcev', ki danes deluje na BF. Aktivnosti v tej skupini so bile ključne tudi za razvoj pedagoškega dela na oddelku. Profesor Ličar je bil dolgoletni predsednik študijske komisije, profesorica Štrus je bila pobudnica in vodilna organizatorica oblikovanja študijskega področja Znanosti o celici v doktorskem študiju Bioznanosti na Biotehniški fakulteti ter je s številnimi aktivnostmi in z vpetostjo v mednarodni prostor bistveno doprinesla k razvoju in prepoznavnosti študijskih programov in raziskovalnega dela Univerze v Ljubljani. Ožje raziskovalno področje profesorja Ličarja je bila funkcijska morfolologija prebavnega sistema enakonožcev. Raziskovalno delo profesorice Štrus obsega široko področje zooloških raziskav, s poudarkom na raziskavah funkcijske morfologije in ultrastrukture nevretenčarjev. Del svojega raziskovalnega dela je posvetila študiju ultrastrukturne zgradbe in dinamike epidermisa

rakov. Drugo težišče njenega dela so raziskave anatomske, histološke in ultrastrukturne zgradbe prebavnega sistema, v zadnjem času pa je veliko pozornosti namenila raziskavam embrionalnega razvoja pri tej skupini organizmov. Širitev in nadgradnja teh raziskav je vodila v več smeri, v raziskave na področju ekotoksikologije (Drobne, Zidar, Malenšek), funkcijske ultrastrukture in razvoja (Žnidaršič, Mrak, Vittori, Bogataj, Milatovič, Murko Bulič) ter interakcij nevretenčarjev in mikrobov (Kostanjšek). Širitvam raziskav in povečevanju števila sodelavcev so sledile tudi spremembe v organizaciji dela in oblikovanje novih raziskovalnih skupin.

Osnovna področja pedagoškega, raziskovalnega in strokovnega dela skupine danes so celična biologija, funkcijska morfologija in razvoj živali. Razumevanje kompleksnosti in dinamičnosti zgradbe v povezavi z delovanjem tkiv in organov ter razumevanje morfogeneze tkiv in organov med embrionalnim in postembrionalnim razvojem je široko področje temeljnih znanj v biologiji in je osnova za uporabo na različnih področjih. Eden ključnih izzivov je analiza oblikovanja tkiv in organov *in situ*, torej v kontekstu celotnega

organizma in z integracijo ultrastrukturnega, histološkega in anatomskega nivoja. V naši skupini raziskujemo morfogenezo tkiv in organov v embrijih enakonožcev, s poudarkom na pojasnitvi ultrastrukturnih značilnosti diferenciacije epidermisa in črevesnega epitela. V zadnjem času je zelo izpostavljen tudi pomen poznavanja podrobne zgradbe in sestave živalskih tkiv z vidika razumevanja značilnosti in funkcionalnosti bioloških materialov. Del naših raziskav tako namenjamo pojasnitvi zgradbe, mineralne sestave in biomehanike skeleta rakov na mikrometrskem in nanometrskem nivoju, z namenom nadgradnje znanja o bioloških materialih. Kutikula rakov je kompleksen hierarhično organiziran biološki matriks iz hitinsko-proteinskega ogrodja, ki je mineraliziran z različnimi kalcijevimi minerali. V okviru študij biomineralizacije raziskujemo tudi kalcijeva telesca pri enakonožcih in vlogo bakterij v teh strukturah. Z morfološkimi in ultrastrukturnimi analizami, zlasti integumenta, se vključujemo tudi v študije prilagoditev organizmov na podzemna okolja Dinarskega krasa. Del raziskav pa je posvečenih študiju izogibnega vedenja in socialnih interakcij kopenskih rakov enakonožcev



Slika 1: (A) - Tvorba nove eksoskeletne kutikule pri enakonožcu vrste *Porcellio scaber* – posnetek s presevnim elektronskim mikroskopom. Razvidna je zgradba nastajajoče kutikule (K) in ultrastruktura epidermalne celice (J: jedro, M: mitohondrij, ER: endoplazemski retikulum, GA: Golgijev aparat). (B) - Epikutikularne strukture na telesni površini enakonožca vrste *Porcellionides pruinosus* – posnetek z vrstičnim elektronskim mikroskopom.

Figure 1: (A) - Formation of the new exoskeletal cuticle in isopod *Porcellio scaber* – TEM image. Structure of the forming cuticle (K) and epidermal cell ultrastructure is shown (J: nucleus, M: mitochondrion, ER: endoplasmic reticulum, GA: Golgi apparatus). (B) - Epicuticular structures on the body surface in isopod *Porcellionides pruinosus* - SEM image.

ter študiju vplivov različnih onesnažil (kovine, pesticidi) na izbrane talne živali (kopenski raki enakonožci, deževniki).

Pomembno področje našega strokovnega in raziskovalnega dela je razvoj in implementacija mikroskopskih tehnik za študij bioloških sistemov ter zagotavljanje delovanja laboratorijev za svetlobno in elektronsko mikroskopijo na našem oddelku. V okviru razvoja in uporabe različnih mikroskopskih metod za vizualizacijo makromolekul, živalskih in rastlinskih tkiv intenzivno sodelujemo z različnimi raziskovalnimi inštitucijami v Sloveniji in tujini.

Veliko pozornosti posvečamo tudi strokovnemu delu na področju vsebinske in didaktične nadgradnje poučevanja na vseh stopnjah univerzitetnega izobraževanja. Osredotočamo se zlasti na sodobne pristope za izboljšave na področju izvedbe laboratorijskih vaj, na alternativne načine ocenjevanja, na pristope za diferenciacijo in individualizacijo študija ter na uporabo različnih oblik e-poučevanja in kombiniranih metod v vlogi dopolnitve pedagoških procesov v vajalnici in predavalnici. Koordiniramo tudi program mednarodnih študentskih izmenjav Erasmus na Oddelku za biologijo.

Izbrane reference

- Bogataj, U., Mrak, P., Štrus, J., Žnidaršič, N., 2019. Ultrastructural differentiation of plasma membrane and cell junctions in the hindgut cells is synchronized with key developmental transitions in *Porcellio scaber*. *Arthropod Structure and Development*, 50, 78-93.
- Kostanjšek, R., Vittori, M., Šrot, V., Aken, P., Štrus, J., 2017. Polyphosphate-accumulating bacterial community colonizing the calcium bodies of terrestrial isopod crustaceans *Titanethes albus* and *Hyloniscus riparius*. *FEMS Microbiology, Ecology*, 93 (6), 1-13.
- Ličar, P., Blejcek, A., Urbanc-Berčič, O., 1979. Mehanske lastnosti primarnega filtra v želodcu pri *Asellus aquaticus cavernicolus* (Isopoda, Asellota). *Biološki vestnik*, 27 (1), 33-48.
- Milatovič, M., Kostanjšek, R., Štrus, J., 2010. Ontogenetic development of *Porcellio scaber*: staging based on microscopic anatomy. *Journal of Crustacean Biology*, 30 (2), 225-234.
- Mrak, P., Bogataj, U., Štrus, J., Žnidaršič, N., 2017. Cuticle morphogenesis in crustacean embryonic and postembryonic stages. *Arthropod Structure and Development*, 46, 77-95.
- Štrus, J., Drobne, D., Ličar, P., 1995. Comparative anatomy and functional aspects of the digestive system in amphibious and terrestrial isopods (Isopoda: Oniscoidea). V: Alikhan, M.A. (ur.): *Terrestrial isopod biology*, Rotterdam, A.A. Balkema, 9, str. 15-23.
- Štrus, J., Žnidaršič, N., Mrak, P., Bogataj, U., Vogt, G., 2019. Structure, function and development of the digestive system in malacostracan crustaceans and adaptation to different lifestyles. *Cell and Tissue Research*, 377, 415-443.
- Vittori, M., Šrot, V., Bussmann, B., Predel, F., van Aken, P.A., Štrus, J., 2018. Structural optimization and amorphous calcium phosphate mineralization in sensory setae of a terrestrial crustacean (Isopoda: Oniscoidea). *Micron: The international research and review journal for microscopy*, 112, 26-34.
- Zidar, P., Kos, M., Vogel-Mikuš, K., Elteren, J. T. van, Debeljak, M., Žižek, S., 2016. Impact of ionophore monensin on performance and Cu uptake in earthworm *Eisenia andrei* exposed to copper-contaminated soil. *Chemosphere*, 161, 119-126.
- Žnidaršič, N., Mrak, P., Tušek-Žnidarič, M., Štrus, J., 2012. Exoskeleton anchoring to tendon cells and muscles in molting isopod crustaceans. *Advances in Terrestrial Isopod Biology, Zookeys*, 176, 39-53.

Začetki delovanja na področju **Funkcionalne morfologije vretenčarjev** segajo v zgodnja sedemdeseta leta. V njej so pod vodstvom prof. dr. Lili Istenič delovali asistent Aleš Sojar, raziskovalec Boris Bulog in tehnični sodelavec Danilo Musar, raziskave skupine pa so bile osredotočene na biološke prilagoditve človeške ribice (*Proteus anguinus*) na podzemno okolje (Slika 2) in v analizo hidrokemijskih lastnosti podzemne vode. Postavili so temelje funkcionalno-morfoloških raziskav te endemne dvoživke. Širok nabor raziskovanih tematik skupine je vključeval nova spoznanja s področij obremenjenosti podzemnih voda s težkimi kovinami, prilagoditev proteusa na anoksične razmere in dolgotrajno stradanje, larvalne značilnosti njegove kože s poudarkom na odzivu Leydigovih celic in kopičenju pigmenta riboflavina, prehrane, ter metabolizma kalcija vključno z mesti skladiščenja kalcijevih soli v prebavnem sistemu. Osrednja tematika raziskav pa so bile čutilne sposobnosti proteusa za učinkovito orientacijo in iskanje plena v popolni temi, v okviru katerih so bili raziskani gustatorni receptorji v ustno-žrelni sluznici in škržnih režah, elektroreptorni ampularni organi v koži glave, mehanoreptorni nevroasti in membranski labirint notranjega ušesa. (Bulog 1994, Bulog et al. 2000)

Z upokojitvijo prof. Istenič leta 1989 je vodenje skupine prevzel prof. dr. Boris Bulog in nadaljeval s svojo ekspertizo čutilnih sposobnosti proteusa. V skupini so delovali asistentka Lilijana Bizjak-Mali, mladi raziskovalci Marjanca Kos, Katarina Mihajl-Dobrovoljc in Petra-Maja Prelovšek, kot tehniška sodelavka pa se je skupini pridružila Katja Zdešar-Kotnik. Odkrita je bila sposobnost orientacije proteusa v magnetnem polju, raziskave notranjega ušesa pa so bile dopolnjene s fiziološkimi študijami. Potrjena je bila prisotnost vidnih pigmentov in funkcionalnost fotoreceptivnih



Slika / Figure 2: *Proteus (Proteus anguinus)*.
(foto: Domin Dalessi)

celic mrežnice reduciranega očesa in pinealnega organa, opisana pa je bila tudi vloga jeter v daljših obdobjih stradanja, ter vloga metalotioneinov in ekstrakutaneusnih pigmentov v tem organu. Uspešno je bila vzpostavljena tudi primarna celična kultura jetrnih celic proteusa. Pomemben prispevek skupine k varstveni biologiji proteusa pa je vključeval spremljanje kopičenja onesnažil v okolju in tkivih proteusa za oceno stopnje njegove ogroženosti, s posebnim poudarkom na redki črni podvrsti proteusa (*P. a. parkelj*), v čigar tkivih so bile izmerjene izredno visoke koncentracije arzena in cinka, v tkivih proteusov iz reke Krupe pa tudi izjemno toksični poliklorirani bifenili (PCB). Prof. Bulog si je ves čas svojega delovanja prizadeval opozarjati na problematiko onesnaženja podzemnih voda plitkega Belokrajnskega krasa, po njegovi zaslugi je bila na edinem dostopnem nahajališču črnega proteusa, na Jelševniku pri Črnomlju, vzpostavljena raziskovalna in učna postaja za opazovanje črnega proteusa v naravnem habitatu. (Bizjak-Mali et al. 2013, Bizjak-Mali in Sket 2019, Bulog 1994, Bulog et al. 2000, 2002)

Od leta 2015 z raziskavami na proteusu nadaljujeta prof. dr. Rok Kostanjšek in doc. dr. Lilijana Bizjak Mali z mlado raziskovalko Tajdo Gredar in doktorandom Gregorjem Benkom ter strokovno sodelavko Katjo Zdešar Kotnik. Z namenom vzpostavitve vzdržnega programa vzreje proteusa v ex-situ pogojih so raziskave reproduktivne biologije proteusa usmerjene v razumevanje procesov gametogeneze, embrionalnega razvoja, citogenetskih in reproduktivnih anomalij ter razvoj nedestruktivnih metod za determinacijo spola. Z optimizacijo postopkov kultivacije celic in tkiv želimo vzpostaviti *in-vitro* sistem, ki bi omogočil študij biologije proteusa brez poseganja v naravne populacije. Z namenom sledenja zdravstvenega stanja populacij proteusov v naravi in ujetništvu vpeljujemo diagnostiko na podlagi hematoloških parametrov, prepoznavanje in zdravljenje okužb in bolezenskih stanj ter razumevanje simbioz. Slednje vključujejo študije in diagnostiko patogenov, analize mikrobioma kože in prebavila ter parazitološke študije. Pomemben prispevek k razumevanju biologije proteusa obeta projekt analize njegovega genoma, h kateremu smo v sodelovanju s kitajskimi in danskimi partnerji pristopili nedavno. (Bizjak-Mali 2017, Bizjak-Mali et al. 2018, Bizjak-Mali in Sket 2019, Gredar et al. 2019, Kostanjšek et al. 2017, 2019).

Izbrane reference

- Bizjak-Mali, L., Sepčič, K., Bulog, B., 2013. Long-term starvation in cave salamander effects on liver ultrastructure and energy reserve mobilization. *Journal of Morphology*, 274 (8), 887–900.
- Bizjak-Mali, L., 2017. Variability of testes morphology and the presence of testis-ova in the European blind cave salamander (*Proteus anguinus*). *Acta Biologica Slovenica*, 60 (1), 53–74.
- Bizjak Mali, L., Zalar, P., Turk, M., Babič Novak, M., Kostanjšek, R., Gunde-Cimerman, N., 2018. Opportunistic fungal pathogens isolated from a captive individual of the European blind cave salamander *Proteus anguinus*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 129, 1, 15-30.
- Bizjak-Mali, L., Sket, B., 2019. History and biology of the »black proteus« (*Proteus anguinus parkelj* Sket & Arntzen 1994; Amphibia: Proteidae): a review. *Folia Biologica et Geologica*, 60 (1), 5–37.
- Bulog, B., 1994. Dve desetletji funkcionalno-morfoloških raziskav pri močerilu *Proteus anguinus* (Urodela, Amphibia, Caudata). *Acta Carsologica*, 23, 248–263.
- Bulog, B., Bizjak-Mali, L., Kos, M., Mihajl, K., Prelovšek, P. M., Aljančič, G., 2000. Biology and functional morphology of *Proteus anguinus* (Amphibia, Caudata). *Acta Biologica Slovenica*, 43 (3), 85–102.
- Bulog, B., Mihajl, K., Jeran, Z., Toman, M. J., 2002. Trace element concentrations in the tissues of *Proteus anguinus* (Amphibia, Caudata) and the surrounding environment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 136, 147–163.
- Gredar, T., Leonardi, A., Novak, M., Sepčič, K., Bizjak-Mali, L., Križaj, I., Kostanjšek, R. 2019. Vitellogenin in the European cave salamander, *Proteus anguinus*: Its characterization and dynamics in a captive female as a basis for nondestructive sex identification. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B* 235, 30–37.
- Kostanjšek, R., Gunde-Cimerman, N., Bizjak-Mali, L., 2017. Microbial and parasitic threats to proteus. *Natura Sloveniae*, 19 (1), 31–32.
- Kostanjšek, R., Prodan, Y., Stres, B., Trontelj, P., 2019. Composition of the cutaneous bacterial community of a cave amphibian, *Proteus anguinus*. *FEMS Microbiology Ecology*, 95, fiz007 doi: 10.1093/femsec/fiz007

Raziskovalna skupina za nanobiologijo in nanotoksikologijo

Raziskovalno skupino za nanobiologijo in nanotoksikologijo je leta 2008 ustanovila prof. dr. Damjana Drobne z namenom vpeljave novega raziskovalnega področja nanotoksikologija ter predvsem poglobljenih študij interakcij nanomaterialov z različnimi *in vitro* ter *in vivo* testnimi sistemi (Drobne 2007, Jemec et al. 2008). Jedro raziskovalne skupine poleg vodje skupine predstavljajo še doc. dr. Anita Jemec Kokalj, doc. dr. Sara Novak in dr. Venko Kononenko, k raziskovalnemu delu pa ves čas obstoja skupine v veliki meri prispevajo tudi številni doktorski študent(je)/ke.

Prednost raziskovalne skupine je širok nabor testnih organizmov, saj le ti vključujejo različne sladkovodne, morske in kopenske nevretenčarje (Jemec et al. 2008, Kos et al. 2017, Novak et al. 2018, Golobič et al. 2012). Med bolj vidnimi dosežki skupine so ugotovitve, (i) da je kvarni

potencial nanomaterialov v veliki meri odvisen od tega, ali se z njega sproščajo kovinski ioni ter (ii) da imajo nanomateriali veliko sposobnost adsorpcije na telesne površine, kar lahko vodi v kvarni učinek (Novak et al. 2018). Bistveno smo prispevali k razumevanju usode nanomaterialov v organizmu, saj smo dokazali, da le-ti preko telesnih barrier ne prehajajo prosto, ampak se v organizem asimilirajo predvsem kovine, ki se raztopijo iz nanomaterialov (Golobič et al. 2012). V zadnjem obdobju se posvečamo zlasti študiji interakcij nanomaterialov z imunskim sistemom nevretenčarjev (Boraschi et al. 2020), s čimer smo odmevni tudi v mednarodnem prostoru (projekt H2020, MSCA-ITN Pandora 2016-2019). Velik prispevek skupine je bila ustanovitev celičnega laboratorija, kjer se izvajajo testi s celičnimi kulturami ter drugimi modelnimi sistemi, kot so krvne celice in encimi. V teh študijah smo testirali vrsto nanomaterialov s potencialno uporabo v biomedicini (Kononenko et al. 2017, 2019).

Skupina je objavila velik opus strokovnih in znanstvenih del. Velik dosežek skupine je vključenost v mnoge nacionalne ter EU projekte. Med slednjimi velja omeniti: EU FP7 NanoValid (2011-2015), EU FP7 NanoMILE (2013-2016), H2020 RIA NanoFASE (2015-2019), in H2020 RIA NanoRIGO (2019-2023), ter nemški projekt DaNa 2.0. S tem je skupina močno mednarodno vpeta in prepoznavna.

V prihodnosti je usmeritev naše skupine predvsem razvoj pristopov upravljanja s tveganji

povezanimi z nanomateriali oz. t.i. »Nanotechnology Risk Governance Framework«. Naš cilj ostaja poglobljeno razumevanje mehanizmov vzajemnega delovanja med (nano)materiali in biološkimi sistemi ter razvoj novih naprednih pristopov za proučevanje na različnih nivojih biološke organizacije. Stremimo tudi k razumevanju interakcij z novimi materiali, ki se pojavljajo v naši okolici, med slednjimi velja izpostaviti nano- in mikroplastike, hibridne ter napredne materiale (Jemec Kokalj et al. 2016).

Izbrane reference

- Boraschi, D., Alijagic, A., Auguste, M., Barbero, F., et al., 2020. Addressing nanomaterial immunosafety by evaluating innate immunity across living species. *Small*, 2000598.
- Drobne, D., 2007. Nanotoxicology for safe and sustainable nanotechnology. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 58, 471-478.
- Golobič, M., Jemec, A., Drobne, D., Romih, et al., 2012. Upon exposure to Cu nanoparticles, accumulation of copper in the isopod *Porcellio scaber* is due to the dissolved Cu ions inside the digestive tract. *Environmental Science and Technology* 46,12112-12119.
- Jemec, A., Drobne, D., Remskar, M., Sepcic, K., Tisler, T., 2008. Effects of ingested nano-sized titanium dioxide on terrestrial isopods (*Porcellio scaber*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27, 1904-1914.
- Jemec Kokalj, A., Horvat, P., Kunej, U., Bele, M., Kržan, A., 2016. Uptake and effects of microplastic textile fibers on freshwater crustacean *Daphnia magna*. *Environmental Pollution*, 219, 201-209.
- Kononenko, V., Erman, A., Petan, T., Križaj, I., et al., 2017. Harmful at non-cytotoxic concentrations: SiO₂-SPIONs affect surfactant metabolism and lamellar body biogenesis in A549 human alveolar epithelial cells. *Nanotoxicology*, 11, 419-429.
- Kononenko, V., Warheit, D., Drobne, D., 2019. Grouping of poorly soluble low (cyto)toxic particles: example with 15 selected nanoparticles and A549 human lung cells. *Nanomaterials*, 9, 1-14.
- Kos, M., Jemec Kokalj, A., Glavan, G., et al., 2017. Cerium (IV) oxide nanoparticles induce sublethal changes in honeybees after chronic exposure. *Environmental science, Nano*, 4, 2297-2310.
- Novak, S., Jemec Kokalj, A., Hočevar, M., Godec, M., Drobne, D., 2018. The significance of nanomaterial post-exposure responses in *Daphnia magna* standard acute immobilisation assay : example with testing TiO₂ nanoparticles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 152, 61-66.

Katedra za botaniko in fiziologijo rastlin

Jasna Dolenc Koce, Nejc Jogan, Marjana Regvar

Katedra za botaniko ima stoletno tradicijo, njeno ime (Stolica za botaniko) se pojavi že v ustanovni listini Univerze v Ljubljani leta 1919, nato pa je bila del novoustanovljenega Inštituta za botaniko.

Razvoj pedagoškega in raziskovalnega dela na Univerzi v Ljubljani je podrobno predstavljen v Fotografskem zborniku o Ljubljanski univerzi in

njenih profesorjih 1919-1960. Po tem, ko je Alfonz Paulin (1853-1942) zaradi starosti zavrnil ponujeno mu redno profesuro, je bil za prvega profesorja s področja Botanike v letu 1921 imenovan Fran Jesenko (1875-1932), ki je predhodni dve šolski leti že poučeval kot izredni predavatelj s habilitacijo Zagrebske univerze. Predaval je Splošno botaniko (anatomija, morfologija, organografija,