

Ob 100-letnici biologije na Univerzi v Ljubljani

Centennial of biology at the University of Ljubljana

Uredila / Edited by Jasna Dolenc Koce
correspondence: jasna.dolenc.koce@bf.uni-lj.si

Izvleček: Leta 1919 je bila ustanovljena Univerza v Ljubljani, v okviru katere sta delovala tudi Botanični in Zoološki inštitut. Ob praznovanju stoletnice je 21.11.2020 na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani potekal enodnevni simpozij z naslovom »100 let biologije na UL«. Na simpoziju so se predstavile raziskovalne skupine Oddelka za biologijo (Katedre za zoologijo, botaniko in fiziologijo rastlin, fiziologijo, antropologijo in etologijo, ekologijo in varstvo okolja, biokemijo, molekularno genetiko in biologijo mikroorganizmov, biološko izobraževanje, Botanični vrt Univerze v Ljubljani) in Nacionalnega inštituta za biologijo (Oddelki za biotehnologijo in sistemsko biologijo, za raziskave organizmov in ekosistemov, za genetsko toksikologijo in biologijo raka, Morska biološka postaja). V prispevku se predstavlja večina raziskovalnih skupin, ki poleg zgodovinskega orisa predstavljajo svojo pedagoško, znanstveno-raziskovalno in strokovno dejavnost v današnjem času.

Ključne besede: biologija, Univerza v Ljubljani, 100 let

Abstract: The University of Ljubljana was founded in 1919 including Botanical Institute and Zoological Institute. Among celebrations of their centennial, a one-day symposium entitled „100 Years of Biology at the University of Ljubljana“ was held on 21 November 2020 at the Department of Biology of Biotechnical Faculty of University of Ljubljana. The symposium presented the research groups of the Department of Biology (Chairs of Zoology, Botany and Plant Physiology, Physiology, Anthropology in Ethology, Ecology and Environment Conservation, Biochemistry, Molecular Genetics and Microbiology, Biological Education, University Botanic Garden Ljubljana) and National Institute of Biology (Departments of Biotechnology and Systems Biology, of Organisms and Ecosystems Research, of Genetic Toxicology and Cancer Biology, Marine Biology Station). The paper presents a majority of research groups that outline their historical background and pedagogical, scientific research and professional activities today.

Keywords: biology, University of Ljubljana, 100 years

V letu 2019 je minilo 100 let od ustanovitve ljubljanske univerze. Med drugimi sta bila takrat pod njenim okriljem ustanovljena tudi Botanični in Zoološki inštitut, zato lahko leto 1919 štejemo tudi za začetek študija biologije. Z namenom obeležitve stoletnice je 21. novembra 2019 na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani potekal enodnevni simpozij z naslovom »100 let biologije na UL«. Na simpoziju se je predstavilo sedemnajst raziskovalnih skupin šestih kateder in dveh samostojnih enot Oddelka za biologijo UL BF, ter štiri raziskovalne skupine Nacionalnega inštituta za biologijo, ki je izšel iz Inštituta za biologijo UL. Simpozij sta otvorila

dekan Biotehniške fakultete prof. dr. Emil Erjavec in direktor NIB izr. prof. dr. Matjaž Kuntner, udeležilo pa se ga je okoli 100 udeležencev iz različnih inštitucij, ki so aktivne na področju biologije v Sloveniji.

Vse predstavitve so kot izročki predavanj objavljene na spletni strani Oddelka za biologijo <http://www.bf.uni-lj.si/biologija/oddelek/predstavitvev/100-letnica-biologije/>. V nadaljevanju so zbrani prispevki večine raziskovalnih skupin. V njih so poleg zgodovinskega orisa predstavljene pedagoška, znanstveno-raziskovalna in strokovna dejavnost skupin v današnjem času.

Oris zgodovine Oddelka za biologijo na Univerzi v Ljubljani – do konca tisočletja

Boris Sket

Zgodovina biologije na Univerzi v Ljubljani se začne z zgodovino same Univerze. Bralca vabim, da si jo v že močno skrajšani podobi prebere v predstavitvi na spletni strani oddelka http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/users/1/biologija/100-letnica/1_Biologija_SKET.pdf.

V tej predstavitvi podajam le osnovne podatke. Časovni okvir obsega dogajanje na Univerzi in Oddelku za biologijo do upokojitve naše generacije, torej približno do konca tisočletja. Zaradi omejenega prostora omenjam večinoma le redne profesorje, ki so predstavniki raziskovalnih in pedagoških skupin. Povprečno skupino so do zadnjih desetletij sestavljali profesor (ki je najverjetneje začel kot docent), asistent in laborant. Tedanji asistenti so večinoma še aktivni na višji ravni. Navedeni znanstveni članki so v veliki meri pisani v soavtorstvu. Podatki o 'čisti' citiranosti so povzeti iz baze SICRIS ob koncu 2019. Ne pustite se številkam zavesti, so le za približen vtis, ne za ocenjevanje. Kot ,znanstveni članki' so združene obsežne študije in kratki povzetki (,abstrakti') kongresnih predavanj. Opisi novih vrst so lahko zelo rutinske zadeve ali pa resne študije. Število citatov je videti zelo eksakten podatek, a mu spet očitajo in dokazujejo zapleteno pristranskost. Botstvo novim taksonom sploh ni delovni dosežek, je le zanimivost, ki pa jo redno navajajo. Zlasti ob osmrtnicah...

Zgodovina univerze se je začela leta 1919 kot **Univerza Kraljevine Srbov, Hrvatov in Slovencev / Universitas Labacensis**. Univerza je zamenjala vsega sedem imen, vključno z današnjim (od 1990) – **Univerza v Ljubljani**. Ustanovitev slovenske univerze v času Avstro-Ogrske je bojda zavirala predvsem graška univerza. Prvi rektor ljubljanske univerze je bil matematik prof. **Josip Plemelj**, čigar predavanja so bila prava umetnina, ,matematika v koncertni izvedbi', kot pravi prof. Križanič. Univerza v Ljubljani je bila večidel nameščena v Deželnem dvorcu. Med drugim je imela Filozofsko fakulteto s **stolico za zoologijo in stolico za botaniko**. Učni načrt Medicinske fakultete je vključeval še **anatomijo in biologijo**. V Univerzo so vključili tudi **Botanični vrt**, ustanovljen že leta 1810. Leta 1957 je bila ustanovljena Naravoslovna fakulteta z Biologijo, leta 1960 pa so Oddelek za biologijo pridružili biotehniškim vedam, katerim naj bi biologija služila kot osnova, kar pa se žal ni uresničilo. Ob koncu 50-ih let so oblasti zahtevale ločitev raziskovalnih dejavnosti od šolskih, posledica česar je bila ustanovitev Inštituta za biologijo (IB) na Biološkem oddelku (OB), nato leta 1994 Inštituta za biologijo Univerze (IBU), ta pa se je leta 1998 preimenoval v Nacionalni inštitut za biologijo (NIB). Ob začetku sta imela OB in IB praktično skupni kader. NIB je torej vegetativni potomec OB in UL.

V naslednjih desetletjih je biološki oddelek ,okostenele‘ univerze opravil kar nekaj temeljnih študijskih reform.

V poročilih ARRS o financiranju raziskovalne dejavnosti za leta 1954-1959 biologija sploh ni omenjena. V letih 1960-1961 je imel Inštitut 5 projektov, OB je imel v letu 1962 dva, IBU pa 12 projektov. V poznih 80-ih npr., je za objavljen članek univerzni raziskovalec iztržil 258, inštitutski pa 2087 raziskovalnih ur. Leta 1996 je imel OB ,že‘ enega ,čistega‘ raziskovalca, medtem ko so bili vsi drugi učitelji z več kot polno pedagoško obremenitvijo. Biologija je bila tako na psu, da smo lahko izsilili poseben finančni program za ,revitalizacijo biologije‘, ki je omogočil financiranje doktoranda, postavitev laboratorija za DNK in še nekaj opreme.

Konec 90-ih let smo se še borili proti davečemu sistemu ,dot‘, ki ga je postopoma verjetno končal dokaj nepravilno zmerjani ,sistem točkovanja‘ (vsaj od 1997).

Proti koncu stoletja je OB začel dobivati pravičnejši delež denarja za raziskovalne projekte zahvaljujoč ocenjevanju (ki se je res malce izrodilo v zloglasno ,točkovanje‘) publicistične produkcije. V 80-ih letih smo nabavili prve osebne računalnike (1993 opremili računalniško učilnico), v 90-ih se je uveljavila e-pošta, pozneje pa še internet, kar je neverjetno olajšalo in pospešilo izmenjavo podatkov in idej ter pripravo znanstvenih člankov. Še sredi moje kariere si lahko zaželeni članek dobil v najboljšem primeru v mesecu, danes to neredko opravimo v nekaj minutah. Podoba stanja na nekem raziskovalnem področju pa si lahko pridobiš v nekaj urah, namesto nekdanjih več mesecev.

Za organiziranje **Stolice za zoologijo** so iz Zagreba povabili profesorja, pozneje akademika **Jovana Hadžija** (1884-1972). Čeprav Balkanec/Panononec, je navezal stike s slovenskimi jamarji, reorganiziral Društvo za raziskovanje jam in svojo katedro močno usmeril v speleobiologijo. Objavil je 210 znanstvenih in kar 890 poljudnih člankov. Po njem so poimenovali nekaj vrst in več rodov: *Hadzia*, *Hadziana*, *Hadziella*, *Hadziina*, *Hadzinta*, morda še kaj. Objavil je revolucionarno teorijo o filogenezi nevretenčarjev (Turbelarijska teorija knidarijev), ki v obdobju analize DNA izgublja tla. Napisal je tudi številne taksonomske in biogeografske članke ter srednješolske učbenike. Bil

je prvi dekan Filozofske fakultete. Hadžiju se je pridružil prof. **Roman Kenk** (1898-1988), ki je 1983 odšel v ZDA. V 60 znanstvenih člankih je obravnaval predvsem taksonomijo vrtničarjev (Turbellaria: Tricladida). Po njem je imenovan rod *Kenkia* in nekaj vrst. Bil je tudi pomemben raziskovalec podzemlja. Hadžija je nasledil akademik **Janez Matjašič** (1921-1996), izjemno priljubljen predavatelj in pisec poljudnih knjig. Objavil je 23 znanstvenih člankov. Tudi njega je najbolj zanimalo jamsko živalstvo, najpomembnejše je odkritje cele favnule temnocefalov (Turbellaria: Temnocephalida) epizoičnih organizmov na dinarskih jamskih kozicah. Posebej koristna je bila njegova pobuda speleobioloških odprav na JV dinarskega krasa. Tudi po njem so poimenovali okoli 10 živalskih vrst. Nasledil ga je akademik **Boris Sket** (1936-), ki je uspel združiti manjšo speleobiološko raziskovalno skupino. Ukvarjal se je predvsem z ekologijo in biogeografijo podzemlja, določil biogeografske vzorce razširjenosti in odkril nova podzemeljska okolja. Raziskoval je tudi taksonomijo številnih skupin (od bakterij do dvoživk; opisal 117 novih vrst, par rodov in družin). Objavil je 350 znanstvenih člankov (z 2490 citati) ter približno 140 poljudnih člankov. Bil je pobudnik laboratorija in vpeljave DNK metod za filogenetske raziskave. Po njem je imenovanih približno 45 novih vrst in par rodov. Bil je rektor UL.

Predavanja iz zoologije vretenčarjev je prevzel prof. **Miroslav Zei** (1914-2006), ki je odkril menjavo spola pri giricah. Bil je pomemben popularizator, direktor Inštituta za morsko biologijo JAZU v Rovinju, bil je eden od ustanoviteljev Inštituta za biologijo, pozneje izvedenec pri FAO, UNDP ter projektih OZN. Za njim je Zoologijo strunarjev prevzela prof. **Lili Istenič** (1931-2020), ki je poglobila raziskave močerila, njegovih čutil in odnosa do pomankanja kisika; objavila je 10 znanstvenih člankov z 18 citati. Njeno delo je nadaljeval prof. **Boris Bulog** (1949-) s 33 znanstvenimi članki, ki se je posvetil tudi onesaženosti podzemlja. Nekaj let je predaval tudi prof. **Boris Kryštufek** (1954-) iz Prirodoslovnega muzeja, ki je specialist za male sesalce.

Ob sistematski se je razvila splošna zoologija (splošna biologija), ki jo je prevzel prof. **Hubert Pehani** (1900-1994) na MF, za njim pa naš prof. **Pavel Ličar** (1935-2015). Ukvarjal se je predvsem

z biologijo rakov in objavil 12 znanstvenih člankov. Bil je zelo priljubljen predavatelj in dolgoletni predsednik študijske komisije, začel pa je tudi z uporabo elektronskega mikroskopa. Ob njem in za njim je splošno zoologijo in funkcionalno morfologijo predavala prof. **Jasna Štrus** (1953-), ki je objavila 289 znanstvenih člankov (citiranih 751-krat), od tega kar 186 kongresnih izvlečkov predvsem o mikro- in makroskopski funkcionalni morfologiji ter biologiji kopenskih rakov. Posebej je skrbela za modernizacijo opreme za zoološke raziskave in postavila laboratorij za elektronsko mikroskopijo.

Od zoologov naj omenimo še tehničnega sodelavca **Franceta Velkovrha** (1934-2009), izjemno prizadevnega v speleobiologiji, tudi avtorja malakoloških znanstvenih člankov (z 18 citati) z opisi novih vrst. Po njem so poimenovali trdoživa *Velkovrha* in nekaj drugih vrst.

Stolica za botaniko je začela s prof. **Franom Jesenkom** (1875-1932), ki se je ukvarjal predvsem z genetiko žitaric, s tritikalo ter s puščavskimi rastlinami. Do leta 1929 je objavil 8 znanstvenih člankov. Bil je eden od glavnih pobudnikov ustanovitve Triglavskega narodnega parka in soustanovitelj semenogojске postaje Beltinci. Po njem so poimenovana Jesenkova priznanja, ki jih podeljuje Biotehniška fakulteta. V Ljubljani sta tudi Učna pot in Ulica Frana Jesenka. Status prof. **Alfonza Paulina** (1853-1942), ki je izdal pomembno herbarijsko zbirko *Flora exiccata Carniolica*, ni povsem razjasnjen. Prof. **Jože Lazar** (1903-1975) je bil prvi slovenski algolog, opisal je nekaj novih vrst. Predaval je sistematiko nižjih rastlin in bil dolgoletni ravnatelj Botaničnega vrta. Prof. **Gabrijel Tomažič** (1899-1977) je bil fitocenolog in florist. Po vsej Jugoslaviji je bil visoko cenjen akademik **Ernest Mayer** (1920-2009), ki se je ukvarjal predvsem s fitogeografsko in taksonomsko opredelitvijo flore višjih rastlin. Raziskoval je endemizem in polimorfizem višjih rastlin na Balkanu in opisal 6 novih taksonov. Po njem so poimenovali okoli šest novih vrst. Objavil je 77 znanstvenih in 15 poljudnih člankov. Bil je gospodar ob izgradnji nove stavbe na Aškerčevi, kjer smo bili nato podnajemniki. Sistematsko in splošno botaniko je predaval tudi doc. **Vlado Ravnik** (1924-2017), sicer znan kot imeniten botanični ilustrator. Objavil je 26 znanstvenih in 99 strokovnih del. Prof. **Tone Wraber** (1938-

2010) se je ukvarjal s taksonomijo, floristiko, fitogeografijo in fitocenologijo. Ima zelo bogato bibliografijo, poleg 90 znanstvenih del (s 570 citati) je objavil kar preko 900 poljudnih člankov, v veliki meri z zgodovinsko tematiko. Po njem so poimenovali nekaj rastlinskih vrst (vsaj 3). Botanične vsebine je predaval tudi prof. **Viktor Petkovšek** (1908-1994), ki je odšel z aplikativno botaniko na oddelek za agronomijo.

Omeniti velja vsaj še dva tehnično-vodstvena sodelavca. Prizadevnemu vrtnarju in enemu največjih poznavalcev flore **Franču Juvanu** (1875-1960) v čast so poimenovali novo vrsto netreska. Pri delu v vrtu se je smrtno ponesrečil. Dr. **Vinko Strgar** (1928-1992) je bil dolgoletni vodja Botaničnega vrta, tudi predstojnik oddelka, posebej pa je zaslužen kot dolgoletni predsednik gradbenega odbora za Biološko središče. Bil je tudi taksonom in se je posvečal gojitvi naših endemnih rastlin.

S **splošno botaniko** je začel prof. **Franc Sušnik** (1930-1996), ki se je veliko ukvarjal s posodobitvijo pouka in z organizacijo, znanstveno pa s citologijo in citogenetiko naše flore. Njegova bibliografija je predvsem poljudna in učbeniška. Za njim sta nekaj let predavali prof. **Marina Dermastia** (1960-), ki se je ukvarjala z rastlinsko biokemijo in fiziologijo ter doc. **Barbara Vilhar**, ki je bila posebej prizadevna pri propagiranju darvinizma.

Z rastlinsko ekologijo je začel prof. **Andrej Martinčič** (1935-), ki se je ukvarjal predvsem z vegetacijo in ekologijo močvirskih združb, poleg tega pa tudi s floristiko in taksonomijo mahov. Objavil je 134 znanstvenih del (s 109 citati). Bil je dekan BF in prorektor UL.

Prof. **Božo Škerlj** (1904-1961) je začetnik biološke **antropologije** na UL. Objavil je preko 200 znanstvenih člankov. Izdajal je tudi revijo Evgenika. Ukvarjal se je predvsem z antropometrijo, somatologijo in etnično antropologijo. Bil je plodovit popularizator. Nasledila ga je prof. **Zlata Dolinar Osole** (1921-2007), ki je predavala človeško anatomijo in fizično antropologijo. V 31 znanstvenih člankih je objavila študije demografije, človeške genetike in etnične antropologije. Sodelovala je pri raziskavah nekropol po Jugoslaviji in raziskovala zaprto populacijo na otoku Susak. Njeno raziskovalno in pedagoško delo je nadaljevala prof. **Marija Štefancič** (1945-), ki

je objavila 55 znanstvenih člankov (z 31 citati). Anatomijo človeka je predavala tudi doc. **Tatjana Tomazo Ravnik** (1946-), ki je napisala 15 znanstvenih člankov.

Prof. **Kazimir Tarman** (1930-) je bil ustanovitelj skupine za **ekologijo**. Je popularizator ekologije in pisec učbenikov. Predaval je ekologijo živali, raziskoval pa je predvsem favno tal ter zgradbo in taksonomijo talnih pršic. Objavil je 30 znanstvenih in 217 strokovnih člankov in 13 knjig. Opisal je 4 nove vrste. Po njem so poimenovane vsaj 3 vrste. Nekaj časa je predaval ekologijo živali doc. **Stanko Červek** (1937-), ki je raziskoval favno skakačev ter njihovo dejavnost pri razkroju opada. Ekologijo voda oz. limnologijo je najprej kot gost predaval prof. **Marjan Rejic**, za njim pa prof. **Danijel Vrhovšek** (1943-). Ta je poleg ekoremediacij raziskoval floristiko sladkovodnih alg, a se je kmalu podal med podjetnike.

Fiziologijo živali je kot gost predaval prof. **Albin Seliškar** (1896-1973) z MF, domač laboratorij in raziskovalno skupino pa je oblikoval prof. **Štefan Sušec-Michieli** (1933-1968). Raziskoval je sezonsko spreminjanje barve žuželk in njihova čutila. Objavil je 34 znanstvenih in prav toliko poljudnih del. Bil je zelo prizadeven in uspešen mentor mladim entomologom – odtod, 'Slovensko entomološko društvo Štefana Michielija'. Za njim je katedro prevzel akademik **Matija Gogala** (1937-), ki je objavil 145 znanstvenih (603 citati) in le nekaj manj poljudnih in strokovnih del. Raziskoval je predvsem fiziologijo žuželčjih čutil ter vibracijsko komunikacijo pri žuželkah. Ugotovil je npr., da sta vretenčarski in askalafov rodopsin skoraj identična. Bil je direktor IBU, kasneje pa tudi direktor Prirodoslovnega muzeja. Po njem so poimenovali okoli 5 vrst. Izr. prof. **Kazimir Drašlar** (1941-) je predaval fiziologijo živali in fiziologijo človeka, raziskoval sluh in čutila žuželk ter pri nas vpeljal vrstično elektronsko mikroskopijo. Njegova dela so bila citirana 175-krat. Prof. **Tine Valentinčič** mi je prepovedal poročati o njem; je pa vpeljal etologijo. Prof. **Miran Vardjan** (1919-2005) je vpeljal rastlinsko fiziologijo in napisal približno 17 znanstvenih in prav toliko poljudnih oz. strokovnih člankov. Raziskoval je predvsem hormonsko regulacijo rasti in razvoja rastlin, na primer regulacijo dormantnosti in kalitve semen. Nasledila ga je prof. **Nada Gogala** (1937-2013), ki je poleg fiziologije rasti in razvoja raziskovala

interakcije med rastlinami in glivami, vključno z mikorizo. Objavila je 68 znanstvenih del (423 citatov).

Začetnik **biokemije** na oddelku je bil prof. **Drago Lebez** (1922-2015), mednarodno priznan toksinolog. Nadaljeval je s svojimi raziskavami, objavil 122 znanstvenih člankov (404 citatov), a tudi poljudne knjige. Nasledil ga je prof. **Peter Maček** (1952-), ki je raziskoval predvsem toksine v morskimi živalih in objavil 119 znanstvenih del (s kar 3367 citati). Bil je zelo aktiven na UL in tudi sicer, bil je dekan BF ter prorektor UL.

Molekularno biologijo je po nabiranju izkušenj v ZDA v Sloveniji vpeljal prof. **Miklavž Grabnar** (1936-). Raziskoval je genetiko bakterij in s predavanji iz 'molekularne' genetike odločilno vplival na razvoj slovenske biologije. Objavil je 35 znanstvenih del, citiranih 712-krat. Študentom biologije in medoddelčnega študija mikrobiologije je predavala tudi doc. **Blagajana Herzog Velikonja** (1953-), ki je raziskovala genetiko bakterij in arhej, npr. biosintezo prolina pri halofilnih arhejah, ter biodiverzitetu arhej v solinah in kraških jamah. Objavila je 35 znanstvenih del, ki so citirana 341-krat. Prof. **Darja Žgur Bertok** (1954-) se je upokojila kot predstojnica Katedre za molekularno genetiko in biologijo mikroorganizmov. Raziskovala je mehanizme izražanja genov, horizontalne prenose DNK, mikrobiota prebavnega trakta in drugo. Objavila je 66 znanstvenih člankov in dosegla 857 citatov. Iz kliničnih ustanov je prišel osnovatelj **mikrobiologije** prof. **Miha Janc** (1937-). Ukvarjal se je z ekologijo in toksinologijo bakterij. Objavil je okoli 50 znanstvenih člankov s 329 citati ter visokošolski učbenik.

Na OB imamo tudi katedro za **biološko didaktiko**, ki jo je zasnoval prof. **Brane Vesel** (1926-2017), sicer aktiven predvsem organizacijsko. Nasledila ga je prof. **Tatjana Verčkovnik** (1948-), ki je objavila 18 znanstvenih del. Bila je mentorica pri kar 117 diplomskih nalogah. Po uveljavitvi katedre za didaktiko se je študij biologije nekako razcepil v dve smeri, v raziskovalno-tehniško ter pedagoško smer.

Svoje čase so nas urili tudi v 'risanju bioloških objektov'. To poslanstvo sta opravljala akademska umetnika **Viktor Cotič** (1885-1955) in **Floris Oblak** (1924-2006).

Vprašljiva je pripadnost temu članku dveh zelo pomembnih učiteljev. Prvi je prof. **Andrej**

Blejec (1953-), ki je bil delno zaposlen na NIB in torej ne čisto naš, povrh vsega pa še ni upokojen. Je matematik, ki so ga k sodelovanju pritegnili ekologi, a je pozneje sodeloval pri najrazličnejših raziskavah. Predava statistiko, bioinformatiko in računalništvo. Objavil je 250 znanstvenih člankov z 917 citati. Drugi pa je že upokojeni akademik **Ivan Kreft** (1941-). Ta ni bil zaposlen na OB, vendar je kar 20 let biologom predaval genetiko evkariontov. Ukvarja se

predvsem z ajdo. Za 315 znanstvenih del je iztržil 2525 citatov.

Že dolga leta dejavnost oddelka pestri Biološki oktet s približno osmimi člani, ki so bili v začetku večinoma biologi. Mlajši in nežnejši je bil ženski zbor Andromeda.

Pregleda nad priznanji, ki so jih prejeli člani Oddelka za biologijo, žal nisem našel; izbrskal sem naslednje podatke (Tabela 1).

Tabela 1: Priznanja članom Oddelka za biologijo BF UL.

Table 1: Awards given to members of Department of Biology.

Priznanje	Število
Mednarodno	
predsednik mednarodnega združenja	vsaj 1
član tuje akademije	vsaj 2
Državno (pred in po osamosvojitvi)	
Red dela s srebrnim vencem	vsaj 1
Red dela z zlatim vencem	vsaj 1
Red republike s srebrnim vencem	vsaj 1
Zlati red za zasluge za življ. delo	vsaj 1
Red zaslug za ljudstvo s srebrno zvezdo	1
akademik	2 živa, 3 pokojni
nagrada AVNOJ-a	1
Prešernova nagrada (za znanost)	vsaj 1
Nagrada sklada Borisa Kidriča (1961-1991)	vsaj 6
Zoisova nagr. za vrhunske znan. dosežke (1988-)	1
Univerzitetno (UL in UP)	
častni doktor	2
častni senator	1
zaslužni profesor	2 živa, 3 pokojni
rektor	1
prorektor	3
manj bleščeča (ali bolj skrita) priznanja	števila

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 morfologijo 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 morfologijo živali in razvojno biologijo

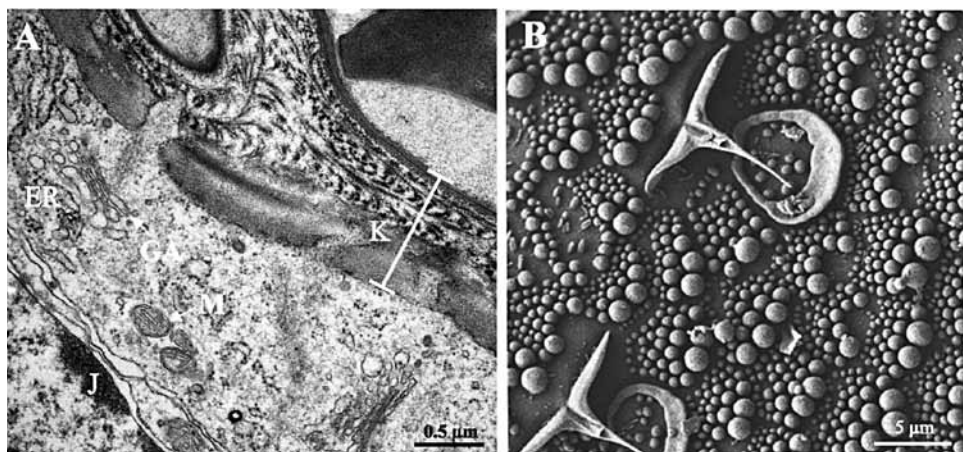
Združitev Raziskovalne skupine za funkcionalno morfološke in ekotoksikološke raziskave nevretenčarjev ter Skupine za funkcionalno-morfološke raziskave vretenčarjev je vodila do oblikovanja Raziskovalne skupine za funkcionalno morfologijo živali in razvojno biologijo v okviru iste katedre.

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 morfologija 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 kopičanju 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 nevrnosti 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 higijeno 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,

fiziologija), Rastlinsko ekologijo ter Sistematsko botaniko, a mu je vsaj pri slednjem predmetu kar nekaj let izdatno pomagal s predavanji in vodenjem vaj tedanji direktor Botaničnega vrta A. Paulin. Jesenkova zgodnja usmeritev v raziskave fiziologije rastlin se odraža že v doktorski disertaciji z naslovom “Odnosi med jakostjo svetlobe in anatomsko zgradbo asimilirajočih rastlinskih organov”, ki jo je leta 1875 zagovarjal na Univerzi na Dunaju. Z objavami o izgubi turgorja pri rastlinah, počitku lesnih rastlin ter rasti in razvoju listopadnih dreves, objavljenimi v letih 1910-1913, je nadaljeval raziskave fizioloških procesov rastlin. Raziskovalno se je najbolj izpostavil s preučevanjem križanca med pšenico in ržjo, tritikalo. Zato ga za pomembnega moža v slovenskem univerzitetnem prostoru šteje tudi Biotehniška fakulteta, ki je po njem poimenovala svoja najvišja priznanja in nagrade.

O razvoju botanike na Oddelku za biologijo UL opisuje v uvodnem delu že prof. Sket. Dolga leta je katedro za botaniko vodil prof. Tone Wraber (1938-2010), ki je med letoma 1978 in 2003 poučeval Sistematsko botaniko in Biogeografijo in kot eden redkih s klasično izobrazbo tudi Osnove latinščine za biologe. Raziskovalno se je ukvarjal s fitocenologijo, kartiranjem flore, naravovarstvom in zgodovino botanike, bil pa je tudi zelo uspešen popularizator botanike. Katedro za fiziologijo rastlin je v 80. in 90. letih vodila zaslužna prof. Nada Gogala (1937-2013), ki je poučevala predmete Fiziologija rastlin, Rast in razvoj rastlin, Simbioze in parazitizem, raziskovalno pa se je usmerila na področje rastlinskih tkivnih kultur in hormonskega uravnavanja mikorizne simbioze. Katedri sta se leta 2008 združili v Katedro za botaniko in fiziologijo rastlin. Takrat je njeno vodenje prevzel izr. prof. Nejc Jogan, od 2013 do 2018 je bila predstojnica katedre prof. Marjana Regvar, danes pa doc. Jasna Dolenc Koce. Dodaten zgodovinski opis posameznega področja je vključen v nadaljevanju pri opisu posamezne raziskovalne skupine.

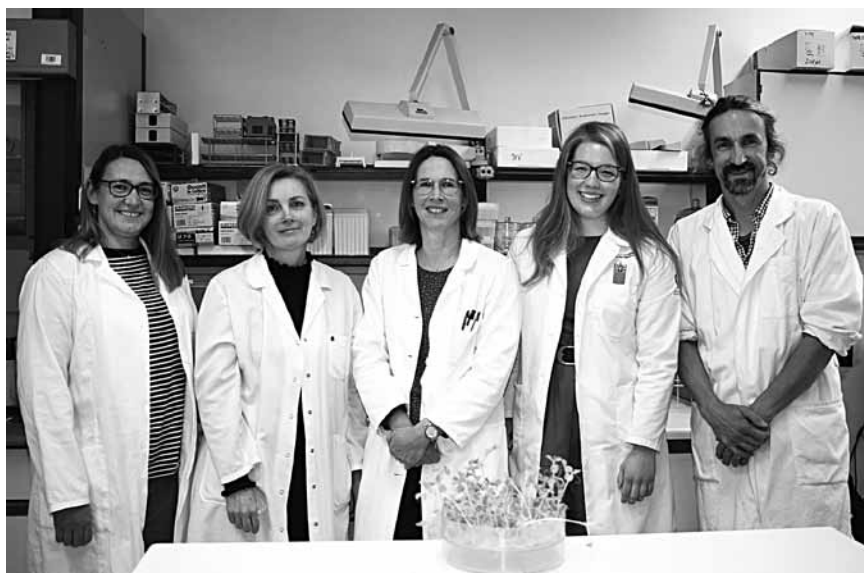
Sodelavci katedre smo močno vpeti v pedagoško delo od prvega do zadnjega letnika različnih študijev, povezanih z biologijo, ki potekajo na Biotehniški fakulteti in Pedagoški fakulteti UL, rastlinski svet pa približamo tudi študentom Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo. Skupno poučujemo 16 obveznih in

izbirnih predmetov na 1. stopnji univerzitetnih študijev Biologija, Mikrobiologija, Biotehnologija, Živilstvo in prehrana, Biokemija (predmeti Splošna botanika, Sistematska botanika, Terensko delo iz botanike in zoologije, Fiziologija rastlin, Biologija, Biologija večceličnih organizmov, Rastline in človek, Uvod v odnose med organizmi Naravovarstvena praksa, Slovenska flora in favna) in 10 na 2. stopnji magistrskih študijskih programov Molekulska in funkcionalna biologija ter Ekologija in biodiverzitetna (predmeti Funkcionalna biologija celice, Rast in razvoj rastlin, Biogeografija, Genetika v ekologiji in sistematiki, Okoljska biotehnologija, Biotske interakcije rastlin, Mikroskopija bioloških sistemov). Sodelujemo tudi na 3. stopnji doktorskega študija Bioznanosti (Fiziologija in morfologija – integrativni pristop, Ekologija).

Raziskovalna dejavnost vseh sodelavcev katedre poteka v okviru raziskovalnega programa ARRS Biologija rastlin (P1-0212). Formalno so v katedri organizirane tri raziskovalne skupine - za eksperimentalno botaniko, sistematsko botaniko in fiziologijo rastlin.

Raziskovalna skupina za eksperimentalno botaniko

Raziskovalna skupina za eksperimentalno botaniko (ali z imenom delovne skupine za za splošno botaniko) je ves čas svojega obstoja del Katedre za botaniko. Razdelitev poučevanja in raziskovanja med “splošnimi” in “sistematskimi” botaniki je bila le deloma razmejena. Prof. Franc Sušnik (1930-1996), ki je predaval Splošno botaniko do začetka 90. let, se je ukvarjal predvsem z uporabno botaniko (zdravilne rastline, fitokemija) in s posodabljanjem poučevanja biologije v srednjih šolah, bil pa je tudi začetnik kariologije in kariosistematike. V istem času je predaval tudi doc. Vlado Ravnik, ki se je posvetil nekaterim taksonomsko kritičnim skupinam in še posebej kukavičevkam, zlasti uspešno pa tudi botanični ilustraciji. Med drugim je opisal novo endemično vrsto kamniško murko. Njun asistent Boris Turk se je posvečal ruderalni in adventivni flori, pomemben pa je tudi njegov opis gozdne špajke. Nov veter je zavel l. 1994, ko je skupino prevzela prof. Marina Dermastia, ki je okrepila



Slika 3: Skupina za eksperimentalno botaniko leta 2020 (od leve proti desni): Simona Strgulc Krajšek, Sabina Anžlovar, Jasna Dolenc Koce, Katarina Šoln, Aleš Kladnik. (foto: Tjaša Pogačnik Lipovec)

Figure 3: Group of Experimental Botany in year 2020 (from left to right): Simona Strgulc Krajšek, Sabina Anžlovar, Jasna Dolenc Koce, Katarina Šoln, Aleš Kladnik.

skupino z mladimi asistentkami in raziskovalkami/ci (Barbaro Vilhar, Jasno Dolenc Koce, Sabino Anžlovar, Simono Strgulc Krajšek, Alešem Kladnikom in drugimi). Raziskave te skupine so bile sprva povezane z interakcijami rastlin z virusi in odzivi na patogene, l. 1999 pa se je laboratorij opremil za merjenje velikosti jedrnega genoma s slikovno citometrijo DNA (Vilhar et al. 2001). Mikroskopija in raziskave velikosti genoma so tudi danes še vedno pomemben segment našega raziskovalnega dela. Za kratko obdobje je prevzela skupino dr. Barbara Vilhar, od leta 2009 dalje pa jo vodi doc. Jasna Dolenc Koce.

Skupina od l. 2004 sodeluje v raziskovalnem programu Biologija rastlin (sprva pod vodstvom Marine Dermastia, danes je njena vodja Alenka Gaberščik). S svojim raziskavami je skupina vpeta v področja Biodiverziteta, Rast in razvoj ter Interakcije rastlin z okoljem. Velikost genoma smo izmerili za različne ekološko zaokrožene skupine, npr. morske trave in halofite, ter kot celične spremembe med razvojem tkiv in organov, npr. med zorenjem semen koruze (Vilhar et al. 2002), njenega prednika teozinta (Dermastia et al. 2009) in sirka (Kladnik et al. 2006). Z velikostjo genoma

in kariotipom smo tudi identificirali morfološko podobne vrste v taksonomsko zapleteni skupini bekič (*Luzula sect. Luzula*) (Bačič et al. 2007), pri tujerodnih dresnikih (*Fallopia*) (Strgulc Krajšek in Dolenc Koce 2015) in pri spominčicah. Svetlobna in fluorescentna mikroskopija je bila tudi osnovno orodje za preučevanje celičnih sprememb med abscizijo cvetov in listov pri paradižniku (Bardror et al. 2011, Dermastia et al. 2012). Pri tem smo prostorsko informacijo kombinirali z molekularnimi metodami za detekcijo programirane celične smrti.

Ves čas smo tudi nadaljevali z raziskavami rastlin z abiotskimi in biotskimi dejavniki v okolju. Ugotavljali smo toksičnost in inertnost nanodelcev bakrovega in titanovega oksida (Dolenc Koce 2017) ter mikroplastike. V zadnjem času se osredotočamo tudi na invazivne tujerodne rastline. Te negativno vplivajo na avtohtono floro, zato je pomembno, na kakšen način jih odstranjujemo in upravljamo z odpadnim materialom (Strgulc Krajšek et al., 2020). Po drugi strani pa njihova velika biomasa predstavlja potencialen vir snovi z biološko aktivnostjo. Zanima nas predvsem njihovo protimikrobno delovanje. S tovrstnimi

raziskavami sodelujemo v evropskem projektu Applause, ki ga koordinira Mestna občina Ljubljana in je namenjen prepoznavanju in odstranjevanju ali predelovanju invazivnih rastlin na območju MOL (<https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/applause/>). V okviru tega projekta sodelujemo tudi pri kartiranju invazivnih vrst rastlin na območju Ljubljane in organizaciji delavnic o invazivnih rastlinah za meščane.

Sodelavci skupine za eksperimentalno botaniko smo strokovno dejavni v različnih društvih, ki delujejo na področju ved o rastlinah doma (Sloven-

sko društvo za biologijo rastlin, Botanično društvo Slovenije) in v tujini (The Federation of European Societies of Plant Biology, International Society for Stereology and Image Analysis). Od leta 2012 sodelujemo pri organizaciji in izvedbi Dneva očarljivih rastlin, ki je namenjen promociji znanosti o rastlinah in ga obišče tudi 1000 osnovnošolcev, zato se za podmladek ne bojimo. Za kakovostno delo in znanje mladih skrbimo tudi kot avtorji učbenikov za osnovne šole (Spoznavamo naravo 6 in 7, Naravoslovje), gimnazije (Biologija 1 in 2) in fakultete (Splošna botanika).

Izbrane reference

- Bačič, M., Jogan, N., Dolenc Koce, J., 2007. *Luzula* sect. *Luzula* in the south-eastern Alps-karyology and genome size. *Taxon*, 56 (1), 129-136.
- Bar-Dror, T., Dermastia, M., Kladnik, A., Tušek-Žnidarič, M., Pompe Novak, M., Meir, S., Burd, S., Philosoph-Hadas, S., Ori, N., Sonogo, L., Dickman, M.B., Lers, A., 2011. Programmed cell death occurs asymmetrically during abscission in tomato. *The Plant Cell*, 23 (11), 4146-4163.
- Dermastia, M., Kladnik, A., Dolenc Koce, J., Chourey, P.S., 2009. A cellular study of teosinte *Zea mays* subsp. *parviglumis* (Poaceae) caryopsis development showing several processes conserved in maize. *American Journal of Botany*, 96 (10), 1798-1807.
- Dermastia, M., Kladnik, A., Bar-Dror, T., Lers, A., 2012. Endoreduplication preferentially occurs at the proximal side of the abscission zone during abscission of tomato leaf. *Plant Signaling and Behavior*, 7 (9), 1106-1109.
- Dolenc Koce, J., 2017. Effects of exposure to nano and bulk sized TiO₂ and CuO in *Lemna minor*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 43-49.
- Kladnik, A., Chourey, P.S., Pring, D.R., Dermastia, M., 2006. Development of the endosperm of *Sorghum bicolor* during the endoreduplication-associated growth phase. *Journal of Cereal Science*, 43, 209-215.
- Strgulc-Krajšek, S., Dolenc Koce, J., 2015. Sexual reproduction of knotweed (*Fallopia* sect. *Reynoutria*) in Slovenia. *Preslia*, 87 (1), 17-30.
- Strgulc-Krajšek, S., Bahčič, E., Čoko, U., Dolenc Koce, J., 2020. Disposal methods for selected invasive plant species used as ornamental garden plants. *Management of Biological Invasions*, 11 (2), 293-305.
- Vilhar, B., Greilhuber, J., Dolenc Koce, J., Tensch, E.M., Dermastia, M., 2001. Plant genome size measurement with DNA image cytometry. *Annals of Botany*, 87 (6), 719-728.
- Vilhar, B., Kladnik, A., Blejec, A., Chourey, P.S., Dermastia, M., 2002. Cytometrical evidence that the loss seed weight in the miniature seed mutant of maize is associated with reduced mitotic activity in the developing endosperm. *Plant Physiology*, 129 (1), 23-30.

Raziskovalna skupina za sistematsko botaniko

Raziskovalna skupina za sistematsko botaniko je od začetka del Katedre za botaniko ter uspešno in aktivno sodeluje predvsem s sodelavci s področja eksperimentalne botanike. Po profesorju

Ernestu Mayerju (1920-2009, poučeval sistematsko botaniko 1952-1978, pred tem 5 let asistent) je vodenje raziskovalne skupine prevzel Tone Wraber (1938-2010, asistent 1968, predavatelj 1984-2007) in za njim Nejc Jogan (asistent 1992-2007, 2007- predavatelj).

Mayerjevo znanstveno delo je bilo usmerjeno bolj v taksonomsko in fitogeografsko problematiko flore tedanje Jugoslavije, tako da se je slovenski flori pomembno posvečal le prva leta svojega raziskovalnega delovanja. Njegova kompilacija nekaterih dotedanjih zbirnih florističnih del, ki pa jih je presejal za območje slovenskega etničnega ozemlja, Seznam praprotnic in cvetnic, je bila pomembno izhodišče za botanične raziskave še več nadaljnjih desetletij, Mayerjevo ime pa bo stalno zapisano ob 24 novoopisanih taksonih z območja zahodnega Balkanskega polotoka, med drugim endemična juljski ušivec in kamniška ivanjščica. Tone Wraber je že kot Mayerjev asistent konec šestdesetih let oral ledino sistematičnega kartiranja slovenske flore po srednjeevropskih principih. Aktivnost je po prvih intenzivnih letih nekoliko zamrla, a bila po dveh desetletjih oživiljena in njen rezultat je tudi delovna verzija atlasa razširjenosti flore Slovenije s 3200 zemljevidi razširjenosti. Tudi drugače je bil T. Wraber raziskovalno usmerjen na slovensko ozemlje in ga po publikacijah štejemo za najbolj produktivnega in vplivnega botanika 20. stoletja, kolikor so mu razmere dopuščale pa je botaniziral tudi po širšem območju tedanje države in z nekaj ekspedicijami tudi v Himalaji. Opisal je čez 10 novih taksonov, med drugim Vardjanov košutnik, Widrovo lepnico in Petkovškov mak. Bil je tudi eden od družbeno izredno angažiranih strokovnjakov, ki mu ni bilo pod častjo diskutirati v pismih bralcev o številnih pomembnih temah.

Vsebinski poudarki Wraberjevega dela so bila področja floristike, fitogeografije, zgodovine botanike, delno tudi fitocenologije in naravovarstva. Poleg osnovnega predmeta Sistematska botanika je bil še posebej zavzet za izbirni predmet Latinščina za biologe, ki ga po njegovi upokojitvi ni mogel prevzeti nihče.

Wraberjev asistent Andrej Podobnik je obdeloval predvsem različne taksonomsko kritične

skupine zlatičevk, gotovo pa ni nič manj pomembno njegovo delo srednješolskega učitelja in pisca učbenikov, s čemer se je ukvarjal predvsem po odhodu z univerze.

Nejc Jogan je sprva kot asistent in kasneje predavatelj nadaljeval z utečeno raziskovalno potjo na področju floristike in sistematike, posebej pa se je raziskovalno posvetil travam in ne samo raziskovalno problematiki tujerodnih invazivnih vrst. Skupaj z asistentko Tinko Bačič sta opisala dve novi vrsti iz taksonomsko kritične skupine bekic, opisal pa je tudi kranjsko bodalico.

Od srede šestdesetih let so bili raziskovalci iz naše delovne skupine ključni avtorji v štirih zaporednih izdajah Male flore Slovenije, temeljnem florističnem delu za to območje.

Nič manj pomembno ni vsa ta desetletja delovanje sodelavcev skupine v različnih društvih, predvsem Botaničnem društvu Slovenije, katerega polovica ustanovnih članov prihaja z Oddelka za biologijo, njegova predsednika pa sta bila tudi Tone Wraber in Nejc Jogan ter sedaj Andrej Podobnik.

Bistven infrastrukturni element, ki ga upravlja in vzdržuje raziskovalna skupina, je tudi največja herbarijska zbirka v Sloveniji, herbarij LJU. Je naslednik Paulinovih herbarijskih zbirk iz časa direktorovanja Botaničnemu vrtu, vsaj po Paulinovi smrti pa samostojna javna herbarijska zbirka, ki ima danes okoli 200.000 herbarijskih pol. Večina herbarijskega materiala je z ozemlja današnje Slovenije, nekaj pa tudi soseščine. Bogata je tudi zbirka nepalske flore. Herbarijsko zbirko je v desetletjih po drugi svetovni vojni obogatilo predvsem intenzivno terensko delo vseh zaposlenih, pod kuratorstvom T. Wraberja je bila na novo urejena ter etiketirana, pod N. Joganom pa tudi digitalizirana. Predstavlja temelj za vse taksonomske raziskave Slovenije in soseščine ter ključen vir naravovarstvenih podatkov (npr. pri izdelavi rdečega seznama).

Izbrane reference

- Bačič, M., Dolenc Koče, J., Jogan, N., 2007. *Luzula* sect. *Luzula* (Juncaceae) in the south-eastern Alps: morphology, determination and geographic distribution. *Botanica Helvetica*, 117, 1-15.
- Bačič, M., Strgulc-Krajšek, S., Jogan, N., 2015. Sivi dren (*Cornus sericea* L.) - nova invazivna vrsta v flori Slovenije = Red osier dogwood (*Cornus sericea* L.) - a new invasive species in Slovenian flora. *Acta Biologica Slovenica*, 58 (2), 13-21.

- Bačič, M., Dolenc Koce, J., Frajman, B., 2019. Diversification and distribution patterns of *Luzula* sect. *Luzula* (Juncaceae) in the Eastern Alps: a cytogenetic approach combined with extensive herbarium revisions. *Alpine Botany*, 129, 149-161.
- De Groot, M., Kleijn, D., Jogan, N., 2007. Species groups occupying different trophic levels respond differently to the invasion of semi-natural vegetation by *Solidago canadensis*. *Biological Conservation*, 136, 612-617.
- Jogan, N., 2014. *Muhlenbergia schreberi* J. F. Gmel (Poaceae), a new naturalized species in Croatia. *Acta botanica Croatica*, 73 (2), 465-470.
- Jogan, N., 2014. Poaceae. V: Rottensteiner, W.K. (ur.). *Exkursionsflora für Istrien*. Klagenfurt: Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, 1014 str.
- Jogan, N., 2017. Spread of *Sporobolus neglectus* and *S. vaginiflorus* (Poaceae) in Slovenia and neighbouring countries. *Botanica Serbica*, 41 (2), 249-256.
- Kus Veenvliet, J., Jogan, N., 2014. Awareness raising on alien species in Slovenia. *Bulletin OEPP*, 44 (2), 243-247.
- Strgulc-Krajšek, S., Dermastia, M., Jogan, N., 2006. Determination key for Central European *Epilobium* species based on trichome morphology. *Botanica Helvetica*, 116, 169-178.
- Taberlet, P., Zimmermann, N.E., Englisch, T., Tribisch, A., Holderegger, R., Alvarez, N., Niklfeld, H., Coldea, G., Mirek, Z., Moilanen, A., Frajman, B., Jogan, N., Wraber, T., et al., 2012: Genetic diversity in widespread species is not congruent with species richness in alpine plant communities. *Ecology Letters*, 15 (12), 1439-1448.

Raziskovalna skupina za fiziologijo rastlin

Samostojna Katedra za fito- in zoofiziologijo je bila na Oddelku za biologijo ustanovljena v letu 1961, dolžnosti predstojnika je do leta 1964 opravljal izr. prof. Štefan Sušec-Michieli, za njim pa izr. prof. Miran Vardjan (1919-2005). V njegovem mandatu se je Katedra razdelila na dve samostojni katedri. Predaval je predmete Fiziologija rastlin (prvič razpisan v letu 1962), Ekologija rastlin in Rast rastlin, raziskovalno pa je deloval na področju kalitve ter hormonske regulacije rasti in razvoja rastlin. V letih 1966-68 je deloval kot direktor Inštituta za biologijo Univerze v Ljubljani, v letih 1971-1973 pa kot predstojnik Oddelka za biologijo. Po njegovi upokojitvi v letu 1981 je Katedro za fiziologijo rastlin prevzela zasl. prof. dr. Nada Gogala (1937-2013). Poučevala je predmete Fiziologija rastlin, Rast in razvoj rastlin, Simbioze in parazitizem za študente biologije, agronomije, biotehnologije in študente Pedagoške fakultete. Vaje pri predmetih je vodil prof. dr. Franc Pohleven, po njegovem odhodu na Oddelek za lesarstvo pa mag. Karin Gabrovšek. Raziskovalno je prof. dr. Gogala opravila pionirsko delo na področju rastlinskih tkivnih kultur v slovenskem prostoru ter hormonske regulacije med razvojem mikorizne simbioze, kar

je odmevalo tudi v mednarodni javnosti. V letih 1977-79 je bila predstojnica tedanje Visokošolske temeljne organizacije za biologijo. Od njegove ustanovitve pa tajnica Jugoslovanskega društva za rastlinsko fiziologijo in predsednica Slovenskega društva za rastlinsko fiziologijo.

Po upokojitvi prof. N. Gogala v letu 1998 je vodenje Katedre za fiziologijo rastlin prevzela prof. Marjana Regvar. Z asistentoma doc. Matevžem Likarjem in prof. Katarino Vogel-Mikuš, nadaljujejo njeno delo na pedagoškem in raziskovalnem področju. Poučujejo predmete s področja fiziologije rastlin in rastlinskih interakcij ter s sodobnimi metodami poučevanja in učnimi pripomočki širijo kompetence študentov. Od leta 2006 redno izdajajo revijo z naslovom *Collectanea Studentium Physiologiae Plantarum*, z objavami študentskih projektnih nalog. Raziskave mikorize so z razvojem molekularskih metod omogočile vpogled v populacije mikoriznih gliv in njihov pomen za ekosisteme. Raziskujejo potencial mikoriznih gliv za pridelavo kulturnih rastlin in remediacijo onesnaženih območij z rastlinami (fitoremediacije). Možnost slikovnih raziskav razporejanja elementov v rastlinskih tkivih z metodami na osnovi pospešenih delcev in sinhrotronske svetlobe in s tem razumevanje procesov privzema in kemijske oblike mineralnih hranil in potencialno strupenih

elementov pri rastlinah jim omogoča sodelovanje s kolegi z Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij (F2), Inštituta Jožef Stefan (IJS). Raziskujejo mehanizme porazdeljevanja mineralnih hranil v tkivih kulturnih rastlin (biofortifikacija) in rastlin bogatih s kovinami (hiperakumulacija). Zaradi reorganizacijskih zahtev se je skupina v letu 2008 združila s skupinami za eksperimentalno in sistematsko botaniko v Katedro za botaniko in fiziologijo rastlin.

Do sodelovanja s strokovnjaki z Odseka za fiziko nizkih in srednjih energij (F2), Inštituta Jožef Stefan (IJS) je prišlo na pobudo prof. Hermanna Bothe iz Botaničnega Inštituta Univerze v Kölnu in zasl. prof. Bogdana Povha, tedanjega direktorja Inštituta Max Planck v Heidelbergu, strokovnjaka na področju fizike jedra in osnovnih delcev. Prenos znanja in tehnoloških rešitev v Mikroanalizni center IJS pod vodstvom prof. Miloša Budnarja in njegovega naslednika, prof. Primoža Pelicona, ter v Laboratoriju za pripravo bioloških vzorcev skupine za fiziologijo rastlin Oddelka za biologijo sta omogočila prve korake na poti k slikovnim raziskavam razporejanja različnih elementov v rastlinskih tkivih in kvantifikacijo elementov *in situ*. Sodelovanje z dr. Petrom Kumpom in dr. Marijanom Nečemrom z Odseka F2, omogoča dopolnitev raziskav s kvantitativno analizo elementov z rentgensko fluorescenčno spektrometrijo v večjem nizu rastlinskih vzorcev. Rezultat sodelovanja je niz objav s področja hiperakumulacije, kot na primer lokalizaciji Cd, Zn in Pb v listih hiperakumulacijske rastline *Nocceaea (Thlaspi) praecox* in razporeditve mineralnih hranil v zrnih kulturnih rastlin, predvsem ajde, opravljenih v sodelovanju s prof. Ivanom Kreftom (Vogel-Mikuš, s sod. 2008, 2009). Kvalitetna priprava rastlinskih vzorcev je omogočila strukturne in funkcionalne raziskave tkiv in celic s sinhrotronsko svetlobo. Z zaporedno

analizo vzorcev z infrardečo spektroskopije (FTIR) in rentgensko fluorescenčno spektroskopijo nizkih energij (LEXRF) smo dopolnili spoznanja o pomenu biokemijskih prilagoditev celic (pektini, lignin), ki omogočajo shranjevanje kovin (Zn) v epidermisu listov *N. praecox* (Regvar s sod. 2013), s korelativno analizo slike in LERF celic alevrona pšenice pa smo pridobili nova spoznanja o pomenu strukturne organizacije rezervnih vakuol (globoidov) v celicah alevrona pšenice, ki shranjujejo esencialne elemente za kalitev semen (Regvar s sod. 2011). Nadgradnja infrastrukture na Mikroanaliznem centru IJS z masno spektrometrijo sekundarnih ionov (MeV-SIMS) je omogočila tudi molekulsko slikanje aktivnih snovi v trihomih konoplje (*Cannabis indica*; Jeromel s sod. 2016).

Raziskave populacij mikoriznih gliv, s potencialom za fitoremediacijo na onesnaženih rastiščih v Mežiški dolini (Regvar s sod. 2010) smo dopolnili tudi z raziskavami simbiotskih gliv v koreninskem sistemu trte (Likar s sod. 2013) in raziskavami populacij gliv v semenu ajde (Kovačec s sod. 2016). Sposobnost glive *Botrytis cinerea*, izolirane iz semena ajde, za biološko transformacijo bakrovih nanodelcev, ki smo jo dokazali z uporabo rentgenske absorpcijske spektrometrije, nakazuje njeno tolerantnost na fungicide pripravljene na osnovi bakra (Kovačec s sod. 2017). V sodelovanju s prof.dr. Iztokom Arčonom iz Univerze v Novi Gorici in prof.dr. Alojzjem Kodretom iz Fakultete za matematiko in fiziko, UL smo razvili metode za ugotavljanje vezavnih oblik in speciacije kovin v rastlinskih tkivih z rentgensko absorpcijsko spektrometrijo, ki jo izvajamo na različnih sinhrotronskih pospeševalnikih v tujini. Kot prvi smo določili vezavne oblike Cd v hiperakumulacijski rastlini rani mošnjak in Hg v koreninah mikoriznih rastlin in užitnih gobah (Kodre s sod, 2017).

Izbrane reference

- Jenčič, B., Jeromel, L., Ogrinc Potočnik, N., Vogel-Mikuš, K., Kovačec, E., Regvar, M., Siketić, Z., Vavpetič, P., Rupnik, Z., Bučar, K., Kelemen, M., Kovač, J., Pelicon, P., 2016. Molecular imaging of cannabis leaf tissue with MeV-SIMS method. Nuclear Instruments and Methods in Physics research, Section B, 371 (15), 205-210.
- Kodre, A., Arčon, I., Debeljak, M., Potisek, M., Likar, M., Vogel-Mikuš, K., 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi alter Hg root uptake and ligand environment as studied by X-ray absorption fine structure. Environmental and Experimental Botany, 133, 12-23

- Kovačec, E., Likar, M., Regvar, M., 2016. Temporal changes in fungal communities from buckwheat seeds and their effects on seed germination and seedling secondary metabolism. *Fungal Biology*, 120 (5), 666-678.
- Kovačec, E., Regvar, M., van Elteren, J. T., Arčon, I., Papp, T., Makovec, D., Vogel-Mikuš, K., 2017. Biotransformation of copper oxide nanoparticles by the pathogenic fungus *Botrytis cinerea*. *Chemosphere*, 180, 178-185.
- Likar, M., Hančević, K., Radić, T., Regvar, M., 2013. Distribution and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in grapevines from production vineyards along the eastern Adriatic coast. *Mycorrhiza*, 23 (3), 209-219.
- Regvar, M., Likar, M., Piltaver, A., Kugonič, N., Smith, J. E., 2010. Fungal community structure under goat willows (*Salix caprea* L.) growing at metal polluted site: the potential of screening in a model phytostabilisation study. *Plant and Soil*, 330 (1-2), 345-356.
- Regvar, M., Eichert, D., Kaullich, B., Gianoncelli, A., Pongrac, P., Vogel-Mikuš, K., Kreft, I., 2011. New insights into globoids of protein storage vacuoles in wheat aleurone using synchrotron soft X-ray microscopy. *Journal of Experimental Botany*, 62 (11), 3929-3939.
- Regvar, M., Eichert, D., Kaullich, B., Gianoncelli, A., Pongrac, P., Vogel-Mikuš, K., 2013. Biochemical characterization of cell types within leaves of metal-hyperaccumulating *Noccaea praecox* (Brassicaceae). *Plant and Soil*, 373 (1/2), 157-171.
- Vogel-Mikuš, K., Simčič, J., Pelicon, P., Budnar, M., Kump, P., Nečemer, M., Mesjasz-Przybyłowicz, J., Przybyłowicz, W. J., Regvar, M., 2008. Comparison of essential and non-essential element distribution in leaves of the Cd/Zn hyperaccumulator *Thlaspi praecox* as revealed by micro-PIXE. *Plant, Cell and Environment*, 31 (10), 1484-1496.
- Vogel-Mikuš, K., Pelicon, P., Vavpetič, P., Kreft, I., Regvar, M., 2009. Elemental analysis of edible grains by micro-PIXE: common buckwheat case study. *Nuclear instruments & methods in physics research. Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms*, 17 (267), 2884-2889.

Katedra za fiziologijo, antropologijo in etologijo

Janko Božič, Gregor Belušič, Petra Golja, Marko Kreft

Katedra kot skupna organizacijska enota treh različnih pedagoških področij deluje od leta 2011. Prvi predstojnik katedre je bil Gregor Zupančič, nato Marko Kreft, nekaj zadnjih let pa katedro vodi Janko Božič.

Najstarejša med tremi na katedri zastopanimi pedagoškimi področji je Fizična antropologija, ki jo je leta 1946 kot Katedro za antropologijo na sedanji Filozofski fakulteti ustanovil prof. dr. Božo Škerlj. Vodenje Katedre za antropologijo je leta 1961 prevzela Zlata Dolinar Osole, leta 1988 Marija Štefančič, ki je delovala skupaj z Tatjano Tomazo Ravnik. od leta 2010 pa Skupino za antropologijo vodi Petra Golja. V skupini pa delujeta še Tatjana Robič Pikel in Katja Zdešar Kotnik.

Relativno dolgo tradicijo ima tudi področje Fiziologija živali, ki je dolgo imelo tudi svojo katedro. Po prvih začetkih se je Fiziologija živali

na Biološkem oddelku začela pospešeno razvijati leta 1961 v obdobju Štefana Sušca-Michielija (1933–1968). Že takoj na začetku se mu je pridružil Matija Gogala (1937-). Kasneje sta fiziološki laboratorij in predavanja vodila Kazimir Drašlar in Peter Stušek, k delu sta pritegnila mlajše sodelavce, med drugimi Gregorja Zupančiča. Trenutno v skupini za integrativno fiziologijo in fiziologijo živali delujemo Marko Kreft, Gregor Belušič, Aleš Škorjanc, Primož Pirih, Uroš Cerkvenc, Andrej Meglič, Suzana Logar, Marko Ilič (trenutno v Hayama, Japonska) in upokojena sodelavca Kazimir Drašlar in Peter Stušek.

Iz fiziologije živali je zrastle tudi Etologija, oz. Nevroetologija, nekaj časa tudi kot posebna katedra. Področje se je začelo razvijati z izbirnim predmetom Etologija pod vodstvom Matije Gogala in izvedbi Tineta Valentincič v sedemdesetih letih

20. stoletja, v naslednjem desetletju pa je Tine Valentinčič začel s samostojnim razvojem področja. Po upokojitvi skupino vodi Janko Božič, v njej pa sta še Gordana Glavan in Špela Golob.

Zaradi različnih zgodovinskih ozadij predstavljamo vsako habilitacijsko in raziskovalno področje posebej. Na področju **Fiziologije živali** trije pedagoški sodelavci Skupine za integrativno fiziologijo in fiziologijo živali (Marko Kreft, Gregor Belušič, Aleš Škorjanc) so/izvajamo pet prvostopenjskih (Fiziologija živali, Fiziologija, Zoofiziologija, Nevrofiziologija, Fiziologija presnove), sedem drugostopenjskih (Fiziologija človeka za tri programe, Nevrobiologija, Funkcionalna biologija celice, Molekulska fiziologija celice, Poletna šola senzorične ekofiziologije) in sedem predmetov na doktorski stopnji (Molekulska fiziologija, Elektrofiziološke meritve nanometerskih razsežnosti, Fiziologija in morfologija živali – integrativni pristop, Analiza bioloških signalov, Optična mikroskopija visoke ločljivosti - konfokalna mikroskopija, Metode za študij funkcije posamezne celice, Celična fiziologija, Nano in mikroelektrofiziološke metode).

Na področju **Fizične antropologije** izobražujemo študente Biotehniške, Pedagoške in Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani na vseh stopnjah bolonjskega programa. Na bolonjskem študijskem programu 1. stopnje izvajamo predmete Anatomija človeka in Biologija človeka za programa Biologija (BF UL) in Dvopredmetni učitelj (PeF UL), predmet Osnove anatomije s histologijo za študente programa Živilstvo in prehrana (BF UL) in predmet Paleoantropologija za študente programa Arheologija (FF UL). Na bolonjskem študijskem programu 2. stopnje izvajamo predmete Fiziologija prehrane II za študente programa Prehrana (BF UL), na bolonjskem študijskem programu 3. stopnje pa predmet Fizična antropologija za študente programa Bioznanosti (BF UL). Študente redno vključujemo v različne študentske projekte, denimo v projekte sodelovanja z gospodarstvom imenovane Po kreativni poti do znanja (PKP) in Študentske inovativne projekte za družbeno korist (ŠIPK).

Na področju **Etologije** sodelavca Janko Božič in Gordana Glavan poučujeta redne predmet Etologija na študijskem programu Biologija 1. bolonjske stopnje, predmet Vedenje živali in okolje na 2. stopenjskem študiju Ekologija in

Biodiverziteti, soizvajanje Nevrobiologije na 2. stopenjskem študijskem programu Molekulska in funkcionalna biologija, predmet Možgani in vedenje na dvopredmetnem študijskem programu z biologijo Pedagoške fakultete na 1. stopnji in kot soizvajalci predmeta Izbrana poglavja biologije z didaktiko na 2. stopnji dvopredmetnih študijskih programov Pedagoške fakultete. Občasno sodelujemo tudi pri izvajanju drugih predmetov znotraj Biotehniške fakultete. Redno izvajamo tudi izbirni predmet Čebelarstvo, ki ga vpisujejo 1. stopenjski študenti vseh študijev Biotehniške fakultete, občasno pa tudi posamezniki iz drugih fakultet. V naboru izbirnih predmetov imamo na drugi stopnji še Biologijo žuželk in Nevroetologijo, ki se pa le redko izvajata. Sodelujemo tudi pri izvedbi doktorskega študija Bioznanosti, v sodelovanju z drugimi fakultetami pa tudi v različnih oblikah študentskih projektov. Janko Božič sodeluje tudi v različnih neformalnih izobraževanju na področju čebelarstva, tako aktivno sodelovanje v Slovenski čebelarški akademiji kot tudi vodenje izpitnega odbora pri Obrtni zbornici Slovenije za poklic Čebelarški mojster/mojstrica.

Raziskovalna skupina za integrativno fiziologijo in fiziologijo živali

Skupina je vključena v dve programski skupini (P3-0333 - Očesne bolezni odraslih in otrok, UKC, Lj, in P3-310 - Celična fiziologija, UL-MF). Raziskave potekajo v treh povezanih laboratorijih: Laboratorij za fotorepcijo, Laboratorij za mehano-repcijo, Laboratorij za celično fiziologijo. Ukvarjamo se z vidom žuželk, s funkcionalnimi lastnostmi filiformnih senzil stenice, in električnimi in presnovnimi lastnostmi celic.

Laboratorij za fotorepcijo preučuje nevrnalno osnovo od vida odvisnega vedenja žuželk. Opremljen je s po meri zgrajenimi merilnimi kompleti za bliskovno in slikovno draženje (Belušič et al., 2016), znotraj- in zunajcelično snemanje signalov iz žuželčjih mrežnic in vidne poti ter optične raziskave sestavljenih oči. Raziskave se dopolnjujejo z anatomsko analizo vidne poti, s spektrometrijo in polarimetričnim slikanjem ter z vedenjskimi poskusi. Teme raziskav obsegajo polarizacijski vid obadov in večšč (Belušič et al. 2017, Meglič et al. 2019), barvni vid metuljev

(Pirih et al. 2020), hroščev (Ilić et al. 2016, Meglič et al. 2020) in drugih skupin žuželk.

Laboratorij za celično fiziologijo z občutljivimi kamerami in svetlobno mikroskopijo izvaja meritve aktivnosti kalcija, dinamiko celičnih metabolitov, celično kinematiko, elektrofiziološko metodo patch-clamp, in razvoj metod analize slike (Fink et al. 2020). V sodelovanju z UL-MF in Celica biomedicinski center se ukvarja z raziskavami celic

glije in vplivom ekso- in endogenih učinkovin na možgane (Muhic et al. 2015, Kreft et al. 2016).

Laboratorij za mehanorepcijo preučuje zaznavo zračnih tokov in vibracij z dlačnimi čutilnicami pri žuželkah. Poskusi obsegajo zunajcelične meritve signalov iz čutilnih živcev, ki nastajajo ob mehanskem draženju dlačic pri rdečem škrtcu (Škorjanc et al. 2009).

Izbrane reference

- Belušič, G., Ilić, M., Meglič, A., Pirih, P., 2016. A fast multispectral light synthesiser based on LEDs and a diffraction grating. *Scientific Reports*, 6, 32012.
- Belušič, G., Šporar, K., Meglič, A., 2017. Extreme polarisation sensitivity in the retina of the corn borer moth *Ostrinia*. *Journal of Experimental Biology*, 220, 2047-2056.
- Fink, K., Prebil, M.L., Vardjan, N., Jensen, J., Zorec, R., Kreft, M., 2020. Increase in subcellular Gsk-3 clusters in insulin- and adrenaline-treated differentiated rat skeletal muscle fibres. *Image Analysis and Stereology*, 39, 25-32.
- Ilić, M., Pirih, P., Belušič, G., 2016. Four photoreceptor classes in the open rhabdom eye of the red palm weevil, *Rynchophorus ferrugineus* Olivier. *Journal of Comparative Physiology A* 202, 203-213.
- Kreft, M., 2016. Buckwheat phenolic metabolites in health and disease. *Nutrition Research Reviews* 29, 30-39..
- Meglič, A., Ilić, M., Pirih, P., Škorjanc, A., Wehling, M. F., Kreft, M., Belušič, G., 2019. Horsefly object-directed polarotaxis is mediated by a stochastically distributed ommatidial subtype in the ventral retina. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116, 21843-21853.
- Meglič, A., Ilić, M., Quero, C., Arikawa, K., Belušič, G., 2020. Two chiral types of randomly rotated ommatidia are distributed across the retina of the flathead oak borer, *Coraebus undatus* (Coleoptera: Buprestidae). *Journal of Experimental Biology*, 223, jeb225920.
- Muhic, M., Vardjan, N., Chowdhury, H. H., Zorec, R., Kreft, M., 2015. Insulin and insulin-like growth factor 1 (IGF-1) modulate cytoplasmic glucose and glycogen levels but not glucose transport across the membrane in astrocytes. *Journal of Biological Chemistry* 290, 11167-11176.
- Pirih, P., Meglič, A., Stavenga, D. G., Arikawa, K., Belušič, G., 2020. The Red Admiral butterfly's living light sensors and signals. *Faraday Discussions*.
- Škorjanc, A., Zupančič, G., Drašlar, K., 2009. Multiple mechanisms generate the resting activity of filiform sensilla in the firebug (*Pyrrhocoris apterus* L.; Heteroptera). *Journal of Comparative Physiology A*, 195, 651-661.

Raziskovalna skupina za antropologijo

Obsežna zbirka antropometričnih podatkov, ki jo vsako leto dopolnjujemo in nadgrajujemo, je neprecenljiva dediščina dolgoletnega dela naših predhodnic in predhodnikov. V zadnjih letih smo uspeli vzpostaviti anonimizirano elektronsko podatkovno bazo, v kateri je zbranih več kot 250 spremenljivk za več kot 15.000 preiskovancev. Vzpostavitev elektronske antropometrične zbirke odpira nove možnosti na področju raziskav

sekularnega trenda in telesne sestave. Področje antropometričnih meritev smo razširili tudi na fiziometrične meritve, predvsem na oceno aerobne telesne zmogljivosti študentov. Pri delu med drugim sodelujemo z raziskovalci Pediatrične klinike, Nacionalnega inštituta za javno zdravje, Fakultete za šport, Zdravstvene fakultete, Inštituta za nutricionistiko in Inštituta »Jožef Stefan«.

V okviru doktorskih disertacij smo obravnavali nekatere za Skupino nove raziskovalne vsebine. V raziskavi „Nedonošenčki 1987“ smo

preučevali zakonitosti rasti in telesnega razvoja donošenih, predvsem pa nedonošenih otrok, od rojstva do zgodnje odrasle dobe. Po našem vedenju je to najobsežnejša do sedaj izvedena longitudinalna raziskava na področju rasti in razvoja nedonošenčkov. Ključni izsledki raziskave so na voljo v znanstvenih člankih (Robič Pikel et al. 2013, 2017), podroben opis raziskave in rezultatov pa v doktorski disertaciji Tatjane Robič Pikel. V raziskavi „Uporaba prehranskih dopolnil pri mladostnikih“, ki smo jo izvedli v okviru projekta ARTOS 2013/2014, smo ocenili tveganje za zdravje zaradi neustrezne prehrane in/ali uporabe prehranskih dopolnil pri slovenskih mladostnikih. Ocenili smo prevalenco uporabe prehranskih dopolnil v tej populaciji in ocenili, v kolikšni meri uporaba prehranskih dopolnil prispeva k celokupnemu vnosu mikrohranil. Ključni rezultati raziskave so na voljo v znanstvenih člankih (Zdešar Kotnik et al. 2017, 2018), podroben opis raziskave in rezultatov pa v doktorski disertaciji Katje Zdešar Kotnik.

Z bogatimi izkušnjami na področju različnih metod za oceno sestave telesa, kot so antropometrija, bioimpedančna analiza, hidrodenzitometrija ipd. (Zdešar Kotnik et al. 2012, 2015, Robič Pikel et al. 2013, Golja et al. 2020) in z znanjem o pravilni oceni prevalence prehranskih dopolnil (Zdešar Kotnik et al. 2018) aktivno sodelujemo v različnih medinstitucionalnih projektih, vključno s projekti Nacionalnega inštituta za javno zdravje (Si.Menu 2017/2018, Shema šolskega sadja in zelenjave), Fakultete za šport (ARTOS), Oddelka za zootehniko Biotehniške fakultete (Moje mleko 1: Vloga materinega mleka v razvoju črevesne mikrobiote dojenčka, Moje mleko 2: NUTRI-PROTECT - Prehrana otrok in odraslih kot zaščitni dejavnik ali dejavnik zdravstvenih tveganj), Inštituta za nutricionistiko in drugih. Naše raziskovalno delo predstavljamo na mednarodnih konferencah v Sloveniji in tujini.

Izbrane reference

- Golja, P. 2019. A short history of physical anthropology in Slovenia. *Anthropological Notebooks*, 25 (3), 85-84.
- Golja, P., Robič Pikel, T., Zdešar Kotnik, K., Fležar, M., Selak, S., Kapus, K., Kotnik, P., 2020. Direct comparison of (anthropometric) methods for the assessment of body composition. *Annals of Nutrition and Metabolism*, v tisku.
- Robič Pikel, T., Benedik, E., Fidler Mis, N., Bratanič, B., Rogelj, I., Golja, P., 2013. Challenges in determining body fat in pregnant women. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 63 (4), 341-349.
- Robič Pikel, T., Starc, G., Strel, J., Kovač, M., Babnik, J., Golja, P., 2017. Impact of prematurity on exercise capacity and agility of children and youth aged 8 to 18. *Early Human Development*, 110 (1), 39-45.
- Štefančič, M., 2008. Review of research work of physical anthropology in Slovenia. *Acta Biologica Slovenica*, 51 (2), 21-33.
- Zdešar Kotnik, K., Golja, P., 2012. Changes in body composition of university students in a country in socio-economic transition. *Anthropologischer Anzeiger*, 69 (3), 261-271.
- Zdešar Kotnik, K., Robič Pikel, T., Golja, P., 2015. Which method to use for a fast assessment of body fat percentage?. *Physiological measurement*, 36 (7), 1453-1468.
- Zdešar Kotnik, K., Jurak, G., Starc, G., Golja, P., 2017. Faster, stronger, healthier: adolescent-stated reasons for dietary supplementation. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 49 (10), 817-826.
- Zdešar Kotnik, K., Jurak, G., Starc, G., Puc, M., Golja, P., 2018. Use of dietary supplements in differently physically active adolescents. *Journal of Food and Nutrition Research*, 57 (3), 231-241.

Raziskovalna skupina za nevroetologijo

Začetno delo na področju nevroetologije se je navezovalo predvsem na raziskovanje sprožanje prehranjevalnega vedenja s kemičnimi signali. Raziskave so potekle na različnih živalskih skupinah kot so iglokožci, raki in ribe. Največji poudarek je bil na vonjalnem razlikovanju aminokislin pri ribah (Valentinčič 2005, Milavc in Valentinčič 2012). V zadnjih letih pa v laboratoriju proučujemo vedenjske odzive medonosne čebel in fiziološka ozadja. Začetne raziskave so bile usmerjene predvsem v razumevanje sporazumevanja čebel zlasti rekrutiranja čebel na pašo s čebeljim plesom (Božič in Valentinčič 1991). Nadaljnje raziskave vpliva etanola na vedenje čebel (Božič

et al. 2006) so postavile osnove za raziskovanje čebelam tujih snovi, predvsem različni pesticidov na njihovo prehranjevalno vedenje, procesi razstrupljanja v telesu čebel (Kos et al. 2017, Glavan et al. 2020) in vplivi na imunski odgovor čebel (Tesovnik et al. 2017). Pomembni vidik novejših raziskovanje je tudi vloga čebel pri vzpostavitvi specifične biološke aktivnosti medu in cvetnega prahu skladiščene v satju (Podrižnik in Božič 2015), predvsem v luči možnosti uporabe medu za nego ran. Poleg aplikativnih raziskav vezanih na čebelje pridelke pa se skupina vključuje tudi v raziskavo vloge čebel za biodiverziteti in možnosti vključitve čebelarstva v upravljanje okolja za ustrezno skrb za njegovo pestrost.

Izbrane reference

- Božič, J., Valentinčič, T., 1991. Attendants and followers of honey bee waggle dances. *Journal of Apicultural Research*, 30 (3/4), 125-131.
- Božič, J., Abramson, C. I., Bedenčič, M., 2006. Reduced ability of ethanol drinkers for social communication in honeybees (*Apis mellifera carnica* Poll.). *Alcohol*, 38 (3), 179-183.
- Glavan, G., Novak, S., Božič, J., Jemec Kokalj, A., 2020. Comparison of sublethal effects of natural acaricides carvacrol and thymol on honeybees. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 166, 1-9.
- Kos, M., Jemec Kokalj, A., Glavan, G., Marolt, G., Zidar, P., Božič, J., Novak, S., Drobne, D., 2017. Cerium (IV) oxide nanoparticles induce sublethal changes in honeybees after chronic exposure. *Environmental Science: Nano*, 4 (12), 2297-2310.
- Milavc, P., Vlentinič, T., 2012. Chemotopy of amino acids on the olfactory bulb predicts olfactory discrimination capabilities of zebrafish *Danio rerio*. *Chemical senses*, 37 (1), 65-75.
- Podrižnik, B., Božič, J., 2015. Maturation and stratification of antibacterial activity and total phenolic content of bee bread in honey comb cells. *Journal of Apicultural Research*, 54 (2), 81-92.
- Tesovnik, T., Cizelj, I., Zorc, M., Čitar, M., Božič, J., Glavan, G., Narat, M., 2017. Immune related gene expression in worker honey bee (*Apis mellifera carnica*) pupae exposed to neonicotinoid thiamethoxam and *Varroa mites* (*Varroa destructor*). *PLOS ONE*, 12 (10), e0187079.
- Valentinčič, T., 2005. Olfactory discrimination in fishes. V: Reutter, K., Kapoor, B.G. (ur.); *Fish chemosenses*, NH: Science Publishers, Enfield, str. 66-85.

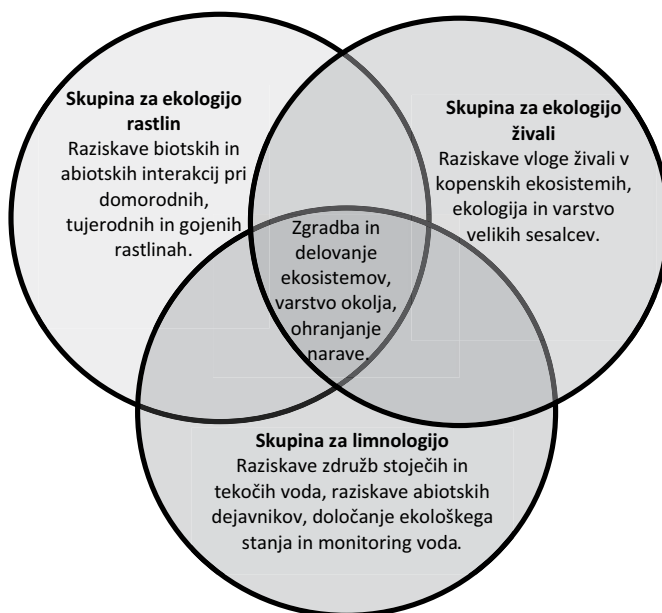
Katedra za ekologijo in varstvo okolja

Alenka Gaberščik, Ivan Kos, Andrej Martinčič, Kazimir Tarman, Mihael Jožef Toman

Katedra za ekologijo in varstvo okolja je bila osnovana v 70. letih. Sestavljena je iz treh raziskovalnih skupin in sicer Skupine za ekologijo rastlin, Skupine za ekologijo živali in Skupine za limnologijo (Slika 4), ki so se oblikovale v 60. letih iz različnih delovnih skupin na Oddelku za biologijo. Z razvojem in uveljavljanjem ekologije kot znanstvenega področja in tudi v širši družbi je Oddelek za biologijo oziroma Biotehniška fakulteta za uspešnejšo pedagoško in raziskovalno dejavnost tudi formalno ustanovila Katedro za ekologijo in varstvo okolja.

Področje **ekologije rastlin** se je na Oddelku za biologijo pričelo razvijati v študijskem letu 1965/66, ko je bil za 2. letnik študija Biologija uveden eno-semesterški predmet Ekologija rastlin, ki ga je predaval Miran Vardjan. V letu 1968/69 je področje prevzel Andrej Martinčič, ki je poleg predavanj uvedel tudi laboratorijske in terenske vaje. Rastlinska ekologija je bila sprva vključena

v predmet Geobotanika, skupaj s Fitogeografijo in Fitocenologijo. Kasneje je bil predmet Geobotanika razdeljen na predmeta Ekologija rastlin ter Fitogeografija in fitocenologija. V 80. so bili uvedeni nekateri novi predmeti kot so Primarna produkcija, Ekosistemi ter Onesnaževanje in varstvo okolja, ki se je kasneje preimenoval v Varstvo okolja in naravne dediščine. Dolga leta se je študij rastlinske ekologije izvajal samo na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, v devetdesetih pa se je začel izvajati tudi na Univerzi v Mariboru. Andrej Martinčič je ustanovil tudi raziskovalno skupino za ekologijo rastlin. Ukvarjal se je s fitocenološkimi, florističnimi in ekološkimi raziskavami skrajnih rastišč: mrazišč, vhodov v jame in jam z umetno osvetlitvijo, visokih in nizkih barij ter presihajočega Cerknškega jezera. Med njegovimi pomembnejšimi deli je monografija o visokih barjih v Sloveniji, ki jo je napisal skupaj z Milanom Piskernikom, ključno pa je prispeval



Slika 4: Sestava Katedre za ekologijo in varstvo okolja in področja raziskav posameznih raziskovalnih skupin.
Figure 4: Research groups of the Chair of ecology and environment conservations, and their research fields.

tudi k nastanku Male flore Slovenije. Že v osemdesetih letih je vzpostavil sodoben, odlično opremljen ekofiziološki laboratorij za meritve v naravnem okolju. Proučeval je funkcionalne (fotosintezo, transpiracijo, učinkovitost rabe sevanja) in morfološke odzive rastlin na okoljske razmere na skrajnih rastiščih.

Področje **ekologije živali** na Oddelku za biologijo je nastalo v okviru aktivnosti povezanih z biologijo živali (zoologijo). S študijskim letom 1959/60 pa je Kazimir Tarman osnoval pedagoško in raziskovalno delo s področja ekologije živali in ga kasneje nadgradil z vključevanjem novih sodelavcev (Stanko Červek, Franci Potočnik, Ivan Kos). Raziskovalno delo je bilo usmerjeno v proučevanje favniističnih, biogeografskih in ekoloških vsebin izbranih talnih (edafskih) živalskih skupin (Acarina, Chilopoda, Collembola, Oligochaeta, Isopoda). Pedagoško delo je bilo usmerjeno v podajanje teoretičnega znanja, uvajanje laboratorijskih in terenskih vaj (oziroma ekskurzij) in mentorstvo študentom, predvsem s področja ekologije živali, pa tudi s področja varstva okolja in narave ter biologije morja. Z uvajanjem področja ekologije in študijske in učne programe je K. Tarman ekologijo vpeljal v širši slovenski prostor in je sedaj zastopana v različnih študijskih programih.

Področje **limnologije** je bilo na Oddelek za biologijo uvedeno sredi sedemdesetih, ko je bil osnovan izbirni predmet Sladkovodni ekosistemi, ki ga je predaval Marjan Rejic, raziskovalec na Kemijskem inštitutu Borisa Kidriča in sodelavec posebne Skupine za kemijo, tehnologijo in biologijo voda, ki jo je vodil Milan Dular. Pod vodstvom M. Rejica so bila predavanja na Oddelku le nekaj časa, kasneje jih je za nekaj let prevzel asistent A. Martinčiča, Danijel Vrhovšek. V osemdesetih letih pa do danes je področje limnologije prevzel Mihael Jožef Toman, ki je razširil nabor predmetov vezanih na ekologijo celinskih voda. Ti predmeti so danes tudi del študija Okoljskega inženirstva na Fakulteti za gradbeništvo in geodeziji in Krajske arhitekture na Biotehniški fakulteti.

Z uvedbo bolonjskega študija je bil vzpostavljen dvostopenjski sistem in sicer univerzitetni študij biologije in magistrski študij Ekologija in biodiverziteta. Danes sodelavci katedre na 1. stopnji predavamo predmet Ekologija, na 2. pa usmerjene ekološke predmete kot so Ekologija

rastlin, Ekologija živali, Ekologija celinskih voda, Ekosistemi, Biogeografija, Varstvena biologija, Okoljske spremembe in varstvo ter Upravljanje z vodnimi ekosistemi.

Skupina za ekologijo rastlin

Leta 1998 je vodenje skupine in pedagoške obveznosti prevzela Alenka Gaberščik. Danes v raziskovalni skupini sodelujejo Tadeja Trošt Sedej, Mateja Germ, Igor Zelnik, Aleksandra Golob, mlada raziskovalka Mateja Grašič. Raziskovalno delo skupine je usmerjeno v raziskave ekologije rastlin in ekosistemske raziskave. Poleg raziskovanja Cerkniškega jezera, ki ga je preučeval že A. Martinčič, se je skupina usmerila v preučevanje ekologije makrofitov in invazivnih tujerodnih vrst (ITV), interakcij rastlin s sevanjem ter v sodelovanju z Ivanom Kreftom tudi v preučevanje ekologije in biofortifikacije kmetijskih rastlin, predvsem ajde in žit. Na usmeritev raziskav skupine je pomembno vplivala vključenost članov skupine v mednarodna združenja; Ekspertno skupino za makrofite donavskega porečja, Svetovno in evropsko združenje za mokrišča in strokovno združenje UV4growth. Raziskave vodnih makrofitov so bile v Sloveniji pionirske. Pregledali smo več kot 1200 km slovenskih vodotokov in pojavljanje vodnih rastlin (makrofitov) povezali z morfološkimi značilnostmi vodotoka. Z dolgotrajnim spremljanjem makrofitov Bohinjskega jezera smo pokazali, da na dinamiko pojavljanja, globinske razporeditve in pogostosti makrofitov vplivajo klimatske razmere in koncentracije fitoplanktona v vodnem stolpcu. Raziskava vodnih teles ob Dravi je pokazala, da vrstna sestava hidrofytov vpliva na prisotnost predstavnikov hroščev. Raziskave interakcij s kemijskimi dejavniki so razkrile, da imajo različne vrste makrofitov različni potencial kopičenja hranil in kovin. Raziskave ITV v obrežnih pasovih odkrivajo, da je pogostost ITV povezana s spremenjenostjo obrežnega pasu ter da tujerodne vzpenjavke lahko močno vplivajo na domorodne vrste. Raziskave UV sevanja smo začeli v okviru EU projekta UV-AQTER. Dokazali smo povezavo med rastnimi oblikami rastlin ter življenjsko dobo in občutljivostjo na UV (npr.: Rozema et al. 2002), nizko sposobnost aklimatizacije na sevanje pri hidrofytih, manjšo

privlačnost z UV obsevanih alg za prehrano vodnih bolh, blažilni učinek UV sevanja ob stresu zaradi suše, pomembnost biomineralov pri razlagi optičnih lastnosti listov predvsem v UV delu spektra. Raziskave biomineralov v rastlinah so pokazale, da se stopnja in vzorec inkrustriranosti razlikujeta med vrstami in glede na starost lista ter, da suša močno zmanjša privzem biomineralov in drugih elementov, kar ima negativen vpliv na žita, ki so pomembni akumuliratorji Si (npr. Grašič et al. 2019). Raziskave optičnih lastnosti listov so pokazale povezanost z zgradbo lista, tako da so odbojni spektri nekakšni »spektralni podpisi« rastlin, kar je pomembno z vidika raziskav, ki temeljijo na zaznavanju vegetacije na daljavo. Prepoznali smo različne mehanizme optimiziranja optičnih lastnosti različnih vrst v podrasti, kjer je svetloba omejujoč dejavnik. Raziskovali smo tudi kako na optične lastnosti vplivajo snovi na površini lista. Prisotnost diatomej na površini hidrofitov in prisotnost soli na površini listov slanuš ščiti liste pred UV sevanjem, prisotnost apnenčastega prahu na površini listov bukve pa odbija PAR in preprečuje segrevanje listov. Na optične lastnosti listov vplivajo tudi biominerali na primer okremenitve listov trav, predvsem bodičke, povečajo odbojnost kratkih valovnih dolžin, kristali kalcijevega oksalata pa vplivajo na prehajanje sevanja v listih ajde. Pomembno področje naših raziskav je Cerkniško jezero, kjer

raziskujemo tako procese kot tudi vrste, na primer rastline z amfibijskim značajem, ki odražajo veliko fenotipsko plastičnost na morfološki in funkcionalni ravni kar optimizira funkcijo v spremenljivih razmerah. Ugotovili smo, da vodostaj močno vpliva na prisotnost večinsko zastopanih vrst, na primarno proizvodnjo navadnega trsta ter da se stopnja razgradnje opada navadnega trsta povečuje s trajanjem poplavljenja. Glivna kolonizacija korenin različnih helofitov je pokazala, da ima večina preiskanih vrst korenine kolonizirane z glivami ter da na stopnjo glivne kolonizacije poplavljenost negativno vpliva. Raziskave vpliva selena na rastline, ki so potekale v sodelovanju z IJS so pokazale, da so nekatere vrste rastlin indikatorji prisotnosti Se ter, da odražajo obremenjenost vodnega okolja s Se. Izkazalo se je, da nekatere vrste privzemajo Se v koncentracijah, ki so primerne za prehrano ljudi. Pri raziskavah skupine so pomembno sodelovali številni diplomanti (154), magistrandi (40) in doktorandi (14). Rezultat naših raziskav v zadnjih 22 letih je 199 znanstvenih člankov, 28 poglavij v monografijah ter uredništvo 2 monografij (Gaberščik 2002 (2003 ponatis), Janauer et al. 2018).

Poleg raziskovalnega dela v skupini opravljamo tudi strokovno delo, ki vključuje spremljanje stanja makrofitov v slovenskih vodah, razvoj metod za vrednotenje ekološkega stanja voda na podlagi makrofitov glede na WFD in kartiranje habitatov.

Izbrane reference

- Gaberščik, A., 2002. Jezero, ki izginja; monografija o Cerkniškem jezeru. Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, 333 str.
- Grašič, M., Golob, A., Vogel-Mikuš, K., Gaberščik, A., 2019. Severe water deficiency during the mid-vegetative and reproductive phase has little effect on proso millet performance. *Water*, 11, 10, 1-21.
- Janauer, G., Gaberščik, A., Květ, J., Germ, M., Exler, N. (uredniki), 2018. *Macrophytes of the River Danube Basin, (Živá příroda)*, 1st ed. Academia, Praha, 407 str.
- Martinčič, A., Piskernik, M., 1985. Die Hochmoore Sloweniens. *Biološki vestnik*, 1, 1-239.
- Rozema, J., Björn, L.O., Bornman, J.F., Gaberščik, A., Häder, D.-P., Trošst, T., Germ, M., Klisch, M., Gröniger, A., Sinha, R.P., Lebert, M., He, Y.-Y., Buffoni-Hall, R., de Bakker N. V.J., van de Staaij, J., Meijkamp, B.B., 2002. The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems - an experimental and functional analysis of the evolution of UV-absorbing compounds. *Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology*, 66, 1, 2-12.

Skupina za ekologijo živali

Skupino za ekologijo živali je po upokojitvi Kazimirja Tarmana in odhodu Stanka Črveka leta 1997 prevzel Ivan Kos. Trenutno v skupini delujejo še asistent Hubert Potočnik, Tomaž Skrbinšek, Aleksandra Majić Skrbinšek, Maja Jelenčič, Marjeta Konec, Astrid Vik Stronen, Irena Kavčič, Elena Pazhenkova, Barbara Boljte, Meta Mavec in Jaka Črtalič. Nadaljevanje raziskovalnega dela iz ekoloških, favnističnih in biogeografskih vsebin povezanih s talnimi plenilci (Chilopoda) smo nadgradili z vključevanjem vsebin povezanih z velikimi sesalci (predvsem zvermi) (Kos et al. 2005, Potočnik et al. 2019). Spoznanje, da tudi (ali pa še bolj) za karizmatične živali velja, da osnovo za varstvo in upravljanje predstavlja dobra znanstvena podpora je bilo osnovno vodilo nadaljnjih aktivnosti. Tako smo s sodelovanjem v širšem krogu evropskih raziskovalcev uspeli delovanje razširiti v treh ključnih smereh, to je poleg klasičnih avtekololoških študij (aktivnost, raba prostora, prehranjevalne interakcije) tudi v uporabo molekularno genetskih metod (varstvena populacijska genetika). Zaradi zavedanja, da je varovanje okolja in narave tudi pomemben družbeni izziv, je pomembna smer aktivnosti povezana področjem družbenih vidikov upravljanja z elementi narave.

Z raziskavami strig (Chilopoda) v gozdnih ekosistemih ugotavljamo pomen horizontalne strukture na vrstno strukturo, kar najverjetneje predstavlja ključen mehanizem za visoko biodiverzitetno živalstva v dinarskih gozdovih (npr. Grgič in Kos 2005). Z intenzivnim proučevanjem združbe talnih plenilcev v pragozdnem ostanku

Krokar želimo pridobiti predstavo o potencialno naravni združbi, ki ni odvisna od različnih načinov upravljanja z gozdom (Kuralt v pripravi). Naslednji sklop raziskav je povezan z daljinskim spremljanjem živali. Začetki so bili s spremljanjem ježev, divje malčke in risa s klasično radiotelemetrijo, kar smo kasneje nadgradili s sodobnejšo GPS-GSM telemetrijo. Poleg spremljanja risov je tudi spremljanje šakalov ključno za ugotavljanje prostorskih zahtev vrste v novo poseljenih območjih (Potočnik et al. 2019). Z razvojem molekularne genetike so se odprle številne možnosti uporabe metodologije v ekologiji. Pogosto uporabljena metoda lova, označevanja in ponovnega ulova za oceno velikosti živalskih populacij je bila za velike sesalce manj primerna, saj je bilo odlavljanje živali zamudno oziroma neizvedljivo. S pomočjo genetske identifikacije, predvsem iz neinvazivnih vzorcev (iztrebki, dlake z mešički, slina, urin) pa lahko razmeroma preprosto ocenimo številčnost, kar v okviru monitoringov izvajamo pri rjavem medvedu, volku in risu (npr. Skrbinšek et al. 2012). Pri varstvu in upravljanju z velikimi zvermi je ključen človek zaradi svojih evolucijskih izhodišč in delovanja družbe. Zato so raziskave družbenega in sociološkega vidika odločilnega pomena za dolgoročno upravljanje z velikimi zvermi (npr. Chapron et al. 2014). Pridobljena nova znanja uporabljamo tudi pri sodelovanju pri pripravi ključnih državnih oziroma evropskih dokumentov kot so strategije in akcijski plani. Večino raziskovalnih in strokovnih aktivnosti izvajamo v okviru evropskih projektov (FP7, Interreg, Life), pri katerih smo vodilni oziroma sodelujoči partner.

Izbrane reference

- Chapron, G., Jerina, K., Kos, I., Krofel, M., Majić Skrbinšek, A., Potočnik, H., Skrbinšek, T., et al., 2014. Recovery of large carnivores in Europe's modern humandominated landscapes. *Science*, 346, 6216, 1517-1519.
- Grgič, T., Kos, I., 2005. Influence of forest development phase on centipede diversity in managed beech forests in Slovenia. *Biodiversity and Conservation*, 14 (8), 1841-1862.
- Kos, I., Potočnik, H., Skrbinšek, T., Majić Skrbinšek, A., Jonozovič, M., Krofel, M., 2005. Ris v Sloveniji : strokovna izhodišča za varstvo in upravljanje, 2. dopolnjena izd. Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana, 271 str.
- Potočnik, H., Pokorny, B., Flajšman, K., Kos, I., 2019. Evrazijski šakal. Lovska zveza Slovenije, Ljubljana, Zlatorogova knjižnica, 42, 248 str.
- Skrbinšek, T., Jelenčič, M., Waits, L., Kos, I., Jerina, K., Trontelj, P., 2012. Monitoring the effective population size of a brown bear (*Ursus arctos*) population using new single sample approaches. *Molecular Ecology*, 21 (4), 862-875.

Skupina za limnologijo

V 80. letih je raziskovalno skupino prevzel Mihael J. Toman. Sodelovanje na raziskovalnem področju s Kemijskim inštitutom, je po njegovem prihodu na Biotehniško fakulteto, postopno odmiralo. Danes je raziskovalno pomembno sodelovanje z IJS, s skupino, ki jo vodi Milena Horvat.

Raziskave pokrivajo različna področja vezana na ekologijo voda, kroženje snovi v vodnih okoljih in vpliv na organizme (Toman in Dall 1998), delno pa tudi tehnologijo voda. Po sprejetju Okvirne vodne direktive (Water framework directive) so se člani skupine pod vodstvom M. J. Tomana, predvsem Gorazd Urbanič, Mojca Hrovat in nekateri zunanji sodelavci osredotočili na raziskave bentoških življenjskih združb v tekočih vodah, združbe makroinvertebratov (velikih vodnih nevretenčarjev) in obrasti perifitona in priprave metodologije za vrednotenje ekološkega stanja tekočih voda, harmonizirane z direktivami EU. Obdobje večletnih raziskav je prineslo veliko dobrih rezultatov, ki smo jih objavili v odličnih revijah tega področja (Urbanič et al. 2005).

Izbrane reference

- Toman, M.J., Dall, P.C., 1998. Respiratory levels and adaptations in four freshwater species of *Gammarus* (Crustacea: Amphipoda). *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 83 (3), 251-263.
- Urbanič, G., Toman, M.J., Krušnik, C., 2005. Microhabitat type selection of caddisfly larvae (Insecta: Trichoptera) in a shallow lowland stream. *Hydrobiologia*, 541, 1-12.
- Žižek, S., Horvat, M., Gibičar, D., Fajon, V., Toman, M.J., 2007. Bioaccumulation of mercury in benthic communities of a river ecosystem affected by mercury mining. *Science of the Total Environment*, 377 (2-3), 407-415.
- Zelnik, I., Balanč, T., Toman, M.J., 2018. Diversity and structure of the tychoplankton diatom community in the limnocene spring Zelenci (Slovenia) in relation to environmental factors. *Water*, 10, 4, 1-12.

Istočasno je M. J. Toman pričel z raziskavami kroženja snovi, predvsem metilnega živega srebra v programski skupini Milene Horvat. Pridružila se je tudi sodelavka Suzana Žižek, ki je s svojo doktorsko nalogo prispevala znanja o premeščanju metilnega živega srebra v bentoških združbah od alg do rib v rečnem sistemu Idrije in Soče. Številne raziskave smo objavili v revijah z visokim faktorjem vpliva (npr.: Žižek et al. 2007). Z raziskavami nadaljujemo še danes, težišče pa je vezano na rečni sistem reke Save po izgradnji rečnih akumulacij s spodnjem toku.

Kasneje se je skupini pridružil Igor Zelnik, ki ga zanimajo predvsem procesi v perifitonskih in tihoplanktonskih združbah, sodeluje pa tudi z drugimi raziskovalci na katedri (Zelnik et al. 2018).

S pridobljenimi znanji uspešno rešujemo strokovna vprašanja, opravljamo monitoring za namene ARSO, ocenjujemo stanje v vodnih telesih po različnih okoljskih nesrečah in prispevamo mnenja in ocene za Ministrstvo za okolje in prostor, druge institucije in individualne uporabnike. M.J. Toman pogosto komentira družbena dogajanja povezana z okoljem, prispeva strokovne ocene v primerih okoljskih nesreč v medijih in tudi na tak način ozavešča širšo družbo o okolju in naravi.

Katedra za biokemijo

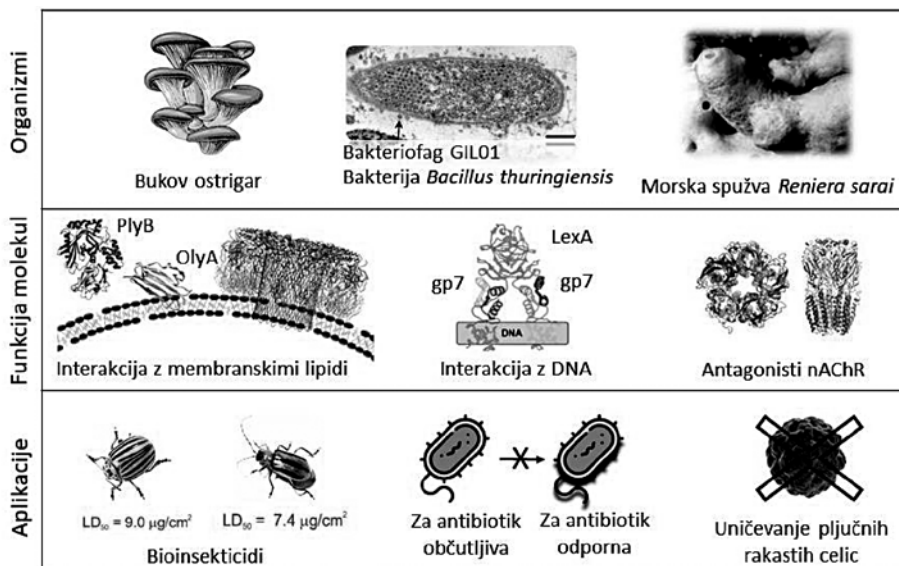
Tom Turk, Matej Butala, Anastasija Panevska, Kristina Sepčič

Začetki katedre za biokemijo sovpadajo s prihodom prof. dr. Draga Lebeza iz Inštituta Jožefa Stefana na Oddelek za biologijo leta 1971. Prof. Lebez je bil mednarodno priznani toksinolog in dolgoletni profesor biokemije na Oddelku za biologijo. Na Univerzi v Ljubljani se je habilitiral kot profesor za biokemijo, ki je bila takrat pri nas dokaj nova znanstvena disciplina. Katedra za biokemijo se je kot samostojna katedra sicer formirala precej pozneje, saj je bila v začetku del skupne Katedre za biokemijo in genetiko, ta pa je imela dve vodji enot: prof. Lebeza za biokemijski in prof. Grabnarja za genetski del katedre. S tem se je »tradicionalnim« biološkim disciplinam na Oddelku za biologijo, pridružila nova razsežnost, preučevanje bioloških procesov na nivoju molekul. Začetki pa so bili zelo skromni, saj je imela biokemija na razpolago le en prostor na hodniku 4. nadstropja Filozofske fakultete, kjer je dolga leta gostovala večina Oddelka za biologijo. Tudi opreme v tistem zasilenem lesenem boksu praktično ni bilo. Pa vendar je katedra rastla. Po nekaj letih je dobila nove prostore v pritličju nekdanjega poslopja Biotehniške fakultete na Krekovem trgu 1, kjer je danes Teološka fakulteta. Laboratoriji biokemijskega in genetskega dela so bili sicer ločeni, vendar so bili še vedno del iste, skupne katedre. Tam je takratna skupina za biokemijo doživela pravi razcvet, čeprav so bili prostori še vedno zelo skromni, opreme pa malo. To so bili časi, ko smo delali z veliko improvizacije, z malo denarja, a z veliko volje. Zato je bilo to, kljub težavam, lepo obdobje, bili smo mladi in polni načrtov. Ob koncu delovanja na Krekovem trgu smo se morali zaradi selitve Biotehniške fakultete pod Rožnik, skupaj z genetiki preseliti nadstropje višje. To je bila za nekatere že druga selitev v razmeroma kratkem času. Spet je bilo treba vse razmontirati in ponovno sestaviti, kar smo, kot vedno, opravili večinoma sami. V teh razmerah se seveda ni dalo normalno delati, saj smo bili praktično v zapuščeni hiši in smo le čakali kdaj bo narejeno vsaj eno krilo v novem Biološkem središču, kamor smo se namenili preseliti. Vaje smo imeli v nezakurjenih prostorih. Lahko bi rekli, da če si takrat potreboval poskusno žival,

si jo lahko počakal kar na hodniku, saj so se po njih veselo podile podgane. V novo, a skoraj popolnoma nedograjeno stavbo Biološkega središča, smo se vselili leta 1993, kjer smo tudi skoraj 30 let kasneje. Tako smo se spet znašli na gradbišču, v nove prostore smo tako hodili kar po zidarskih lestvah. Dobro leto kasneje je bil zahodni del stavbe v celoti končan in življenje se je počasi normaliziralo. To je bil tudi čas, ko se je Katedra za biokemijo in genetiko razdelila na dve katedri – Katedro za biokemijo in Katedro za Genetiko. Prvi predstojnik samostojne katedre je takrat postal prof. dr. Peter Maček. Prišli so boljši časi, katedra se je kadrovske in materialno zelo okrepila, s prihodom mlajših sodelavcev, prof. dr. Sepčičeve in prof. dr. Anderluha (ki je danes direktor KI), pa so se širile tudi teme naših raziskav. V vseh teh letih so na naši katedri diplomirali številni študenti biologije, mikrobiologije, biotehnologije in pedagoških programov. Na katedri so se usposabljali mnogi mladi raziskovalci, ki so kasneje magistrirali ali doktorirali. Pri nas so gostovali tudi tuji študenti in raziskovalni sodelavci. Veseli smo, da so bili vse te kolegice in kolegi z nami in so pripomogli k razvoju in napredku naše katedre, pa tudi to, da so se pri nas dobro počutili in jim je bilo kar malo žal, ko so nas morali zapustiti. Kljub nekatere pomembnim, tudi državnim nagradam, ki so jih prejeli člani katedre, pa smo vedno najbolj počaščeni, ko študenti pohvalijo naše pedagoško delo. Tega smo res iskreno veseli in lepšega plačila za naše delo si ne bi mogli želeli.

Raziskovalno delo na Katedri za biokemijo je od samih začetkov primarno usmerjeno v proučevanje zgradbe in funkcije molekul, predvsem beljakovin, ki se vežejo z različnimi receptorji v bioloških membranah. Interakcije molekul z membranami lahko vodijo v preoblikovanje membran in tvorbo transmembranskih por, ter povzročajo sprožitev različnih signalnih poti, kar ponuja številne možnosti za potencialno uporabo membransko aktivnih molekul v biomedicini, farmaciji, kmetijstvu in drugje.

Tehnike, ki jih uporabljamo pri delu, spadajo v niz biokemijskih preparativnih in analitskih metod ter molekularno-bioloških metod. Pripravljamo in



Slika 5: Raziskovalno delo na Katedri za biokemijo je usmerjeno v proučevanje molekul, ki izvirajo iz gliv, bakterij, bakteriofagov in morskih spužev in imajo različne funkcije ter se lahko uporabijo v različne medicinske in biotehnoške namene.

Figure 5: Research work at the Chair for biochemistry is focused on molecules from fungi, bacteria, bacteriophages and marine sponges that have different functions and applications in medicine and biotechnology.

preučujemo lastnosti modelnih lipidnih sistemov, kot so umetni lipidni vezikli različnih velikosti, lipidne kapljice in Langmuirovi lipidni monosloji. Pridobivamo tudi rekombinantne proteine iz bakterijskih ekspresijskih sevov. V okviru katedre deluje Infrastrukturni center za raziskave molekularskih interakcij, v katerem s pomočjo površinske plazmonske resonance preučujemo kinetiko in interakcije molekul z lipidnimi membranami in drugimi ligandi (proteini, nukleinskimi kislinami, manjšimi molekulami).

V zadnjih 20 letih se pretežno posvečamo proučevanju proteinov iz družine egerolizinov, ki so prisotni predvsem v glivah in bakterijah in katerih skupna lastnost je interakcija s specifičnimi membranskimi lipidi in lipidnimi domenami. Nekateri glavni egerolizinski proteini se specifično vežejo z membranskimi domenami, ki vsebujejo veliko sfingomielina in holesterola (lipidni rafti), in tako predstavljajo obetavno orodje za označevanje teh biološko pomembnih področij celične membrane (Skočaj et al. 2014). Drugi glavni egerolizini specifično reagirajo s

ceramid fosfoetanolaminom, najbolj zastopanim sfingolipidom v membranah nevretčenčarjev, ter v kombinaciji s partnerskim proteinom tvorijo pore v membranah celic, ki vsebujejo to lipidno tarčo. To je tudi razlog za njihovo selektivno toksičnost proti nekaterim ekonomsko pomembnim rastlinskim škodljivcem (koloradski in koruzni hrošč) in predstavlja odlično osnovo za razvoj okolju prijaznih bioinsekticidov (Panevska et al. 2019).

Raziskujemo tudi molekularne mehanizme, s katerimi proteini uravnavajo prepis genov v bakterijah. Razvijamo metodo, ki nam bo omogočila prepoznavo zastopnosti in dinamiko vezave proteinov na nekaj 1000 baznih parov dolgih odsekih DNA direktno v bakteriji. Preučujemo tudi interakcijo bakteriofaga (faga) GIL01 z bakterijo *Bacillus thuringiensis*. Pojasnili smo, da mala proteina faga delujeta kot genetsko stikalo, ki omogočita preklon iz cikla, ko se genom faga pasivno podvaja z genomom bakterije, v cikel sinteze novih virusov (Fornelos et al., 2018, Caveney et al. 2019). Slednja proteina vplivata tudi na odziv bakterije na stresne razmere v okolju,

zato spoznanja omogočajo razvoj učinkovin, s katerimi bi lahko, podobno kot GIL01, nadzorovali procese v določeni bakteriji.

Danes je le manjši del raziskav na katedri za biokemijo še namenjen raziskavam naravnih učinkovin iz morskih organizmov. Predvsem nas zanima delovanje polimernih alkilpiridinijevih spojin, ki jih najdemo v nekaterih spužvah. Te spojine imajo številne biološke učinke, med drugim delujejo kot protivegetativne snovi, v celicah so uporabne kot transfekcijska sredstva, ker lahko inducirajo prehodne pore, inhibirajo acetilholinesterazo, predvsem pa se vežejo na

nekatero nikotinske acetilholinske receptorje in nanje delujejo kot inhibitorji oziroma antagonisti. Ker se specifično vežejo predvsem na $\alpha 7$ nAChR podtip, to pa so receptorji, ki se prekomerno izražajo v nekaterih rakastih celicah, bi z njihovo uporabo lahko zavrli prekomerno proliferacijo in nesmrtnost takih celic. To smo v naših raziskavah že delno dokazali, saj uporaba alkilpiridinijevih sintetičnih analogov, v rakastih celicah pljučnega adenokarcinoma sproži apoptozo in je zanje citotoksična, medtem ko nima vpliva na zdrave celice, ki ne izražajo tega podtipa nAChR (Berne et al. 2018).

Izbrane reference

- Berne, S., Čemažar, M., Frangež, R., Juntos, P., Kranjc, S., Grandič, M., Savarin, M. Turk, T., 2018. APS8 delays tumor growth in mice by inducing apoptosis of lung adenocarcinoma cells expressing high number of $\alpha 7$ nicotinic receptors. *Marine Drugs*, 16, 367, 10.3390/md16100367.
- Caveney, N.A., Pavlin, A., Caballero, G., Bahun, M., Hodnik, V., de Castro, L., Fornelos, N., Butala, M., Strynadka, N.C.J., 2019. Structural insights into bacteriophage GIL01 gp7 inhibition of host LexA repressor. *Structure*, 2, 27 (7), 1094-1102.
- Fornelos, N., Browning, D.F., Pavlin, A., Podlesek, Z., Hodnik, V., Salas, M., Butala, M., 2018. Lytic gene expression in the temperate bacteriophage GIL01 is activated by a phage-encoded LexA homologue. *Nucleic Acids Research*, 12, 46(18), 9432-9443.
- Panevska, A., et al., 2019. Pore-forming protein complexes from *Pleurotus* mushrooms kill western corn rootworm and Colorado potato beetle through targeting membrane ceramide phosphoethanolamine. *Scientific Reports*, 25, 5073.
- Skočaj, M., et al., 2014. Tracking cholesterol/ sphingomyelin-rich membrane domains with the ostreolysin A-mCherry protein. *PLoS ONE* 9, e92783.

Katedra za molekularno genetiko in biologijo mikroorganizmov

Darja Žgur Bertok, Uroš Petrovič, Nina Gunde Cimerman

Prvi in dolgoletni predstojnik katedre je bil prof. dr. Miklavž Grabnar. Njegova študijska in raziskovalna pot je bila ključna za ustanovitev katedre, kakor tudi razvoja področja molekularne genetike oziroma molekularne biologije, tako na Oddelku za biologijo BF, kot v širšem prostoru. Prof. Grabnar je študiral biologijo na Naravoslovni fakulteti Univerze v Ljubljani, doktoriral na John Hopkins University, Baltimore, ZDA, ter se podoktorsko usposabljal na University of California, Berkeley, ZDA. Po vrnitvi v Slovenijo se je leta 1971 zaposlil na Biotehniški fakulteti, Oddelku za biologijo, kjer je ostal do svoje upokojitve. Profesor Grabnar je predaval predmet Molekularna

genetika študentom Biotehniške in Medicinske fakultete. Njegova skupina je bila sprva del Katedre za fiziologijo rastlin in genetiko, v zelo skromnih prostorih na Filozofski fakulteti na Aškerčevi 2. Leta 1979 sta se skupini za Molekularno genetiko in za Biokemijo preselili v za laboratorije primernejše prostore na Krekovem trgu 1 in se združili v Katedro za biokemijo in genetiko.

Pomembna prelomnica je bil v letu 1981 izveden mednarodni tečaj z laboratorijskim delom iz Molekularne biologije in tehnologij rekombinantne DNA, ki je potekal v prostorih katedre na Krekovem trgu. Tečaj je organiziral prof. Grabnar v sodelovanju s prof. dr. Duškom



Slika / Figure 6: Prof. dr. Miklavž Grabnar.

Ehrlichom, INRA, Francija. Sodelovali so vsi člani tedanje genetske skupine in po tečaju pričeli med prvimi v Sloveniji uvajati molekularno biološke metode v svoje pedagoško in raziskovalno delo s področja genetike bakterij.

Leta 1989 se je takratni Katedri za molekularno genetiko pridružil prof. dr. Miha Janc, pred tem zaposlen na Veterinarski fakulteti oziroma na Inštitutu za mikrobiologijo Medicinske fakultete. Kmalu zatem, leta 1990, je sledila še ena selitev, tokrat v Biološko središče na Večni poti 111 in s tem pridruženje ter tesnejše povezovanje z ostalimi katedrami Oddelka za biologijo BF. Profesorja Grabnar in Janc sta bila člana skupine matičarjev za pripravo študija Mikrobiologije na Biotehniški fakulteti UL, ki se je pričel izvajati leta 1993.

S prihodom prof. Janca se je na Oddelku za biologijo vzpostavilo tudi področje mikrobiologije. Prof. Janc je prevzel predavanja iz predmeta Mikrobiologija in pričel z raziskavami na področju klinične mikrobiologije in epidemiologije. Leta 2000 je katedro zapustila asistentka dr. Maja Rupnik, ki se je kasneje zaposlila v Nacionalnem laboratoriju za zdravje, okolje in hrano (NLZOH), Maribor. Po prihodu profesorja Janca se je katedra preimenovala v Katedro za molekularno genetiko in mikrobiologijo. Prof. Janc se je 1999 leta upokojil, mikrobiološki del katedre pa je takrat prevzela prof. dr. Nina Gunde – Cimerman, ki je prišla s Kemijskega inštituta, Oddelka za biotehnologijo in industrijsko mikologijo. Genetskemu delu katedre se je leta 2016 pridružil prof. dr. Uroš Petrovič, ki je prišel z Inštituta »Jožef Stefan«.

Po upokojitvi prof. Grabnarja je bila od leta 2009 do 2018 predstojnica katedre prof. dr. Darja Žgur Bertok, 2019 je prevzela vodenje katedre prof. dr. Nina Gunde – Cimerman, prof. dr. Uroš

Petrovič pa je prevzel vodenje genetske raziskovalne skupine.

Trenutni (2020) člani katedre na učiteljskih mestih so prof. dr. Nina Gunde – Cimerman, prof. dr. Uroš Petrovič, doc. dr. Jerneja Ambrožič Avguštin, asistenti pa doc. dr. Polona Zalar, doc. dr. Martina Turk, doc. dr. Cene Gostinčar, prof. dr. Marjanca Starčič – Erjavec, doc. dr. Matej Skočaj, asist. dr. Kristina Marton, raziskovalca dr. Monika Novak Babič in dr. Zdravko Podlesek, in tehniške sodelavke Barbara Kastelic – Bokal, Iva Lipovšek in Mojca Matul.

Člani katedre sodelujejo pri izvajanju naslednjih predmetov na študijih 1. in 2. stopnje (stanje 2019/2020): Mikrobiologija, Mikrobiologija – praktikum, Genetika, Uporabnost znanj genetike, Mikologija (1. st. Biologija, BF), Molekularna biologija, Mikrobna genetika, Mikrob in patogenez, Mikrobna raznolikost in identifikacija – evkarionti, Mikologija, Industrijska mikrobiologija (1. st. Mikrobiologija, BF), Mikrobiologija, Funkcijska genomika (1. st. Biokemija, FKKT), Mikrobna ekologija (2. st. Ekologija in diverzitet, BF), Genetika evkariontov, Molekulska biologija genov, Genomika in proteomika (2. st. Molekulska in funkcionalna biologija, deloma tudi 2. st. Biološko izobraževanje, BF), Molekularna mikrobiologija, Mikrobiologija ekstremnih okolij (2. st. Mikrobiologija), Mikroskopija – praktikum (2. st. Restavratorstvo, ALUO). Na doktorskem študiju sodelujemo v programih Bioznanosti in Biomedicina. Pedagoško sodelujemo tudi pri izobraževanju učiteljev in v projektih delih z gospodarstvom in negospodarstvom, ki so namenjena vzpostavitvi medsebojnega sodelovanja ter seznanitvi študentov z delom v gospodarstvu.

Raziskovalna skupina za molekularno genetiko

Raziskovalno delo skupine za molekularno genetiko poteka v okviru raziskovalnega programa Molekularno biološke raziskave mikroorganizmov, v zadnjih letih pa delno tudi znotraj programa Toksini in biomembrane. Raziskovalno delo skupine poteka s formalnimi in neformalnimi mednarodnimi sodelovanji, prav tako pa se v luči potrebe po interdisciplinarnosti vedno bolj povezuje in prepleta z raziskovalnim delom sorodnih raziskovalnih skupin na Oddelku za

biologijo BF in na drugih slovenskih raziskovalnih inštitucijah.

Pionirske molekularno genetske raziskave v Sloveniji profesorja Miklavža Grabnarja so bile osredotočene na bakteriofage enterobakterij ter operona bakterije *Salmonella typhimurium* za sintezo aminokislina prolin. Tem so sledile raziskave sinteze antibiotika bacitracin bakterije *Bacillus subtilis* in odpornosti proti njemu. Veja raziskav odpornosti proti protimikrobnim učinkovinam, ki se je v skupini za molekularno genetiko tudi na temeljih novih eksperimentalnih tehnik razvila v več poganjkov, je zelo aktualna še danes, saj je odpornost bakterij proti antibiotikom ena najhujših groženj zdravju ljudi v svetovnem merilu. Poleg medicinsko pomembnih bakterij pa v skupini potekajo intenzivne raziskave tudi veterinarsko pomembnih patogenih bakterij. Raziskave odpornosti patogenih mikroorganizmov proti protimikrobnim učinkovinam je skupina nedavno razširila tudi na področje patogenih kvasovk. Slednje se navezuje tudi na raziskovalno delo na kvasovki *Saccharomyces cerevisiae* kot modelnem evkariontskem organizmu, ki na katedri poteka zadnjih pet let.

Osrednji modelni organizem za raziskave skupine za molekularno genetiko je bakterija *Escherichia coli*. Ta vrsta, ki je najverjetneje najboljše raziskana bakterija, je komezal prebavnega trakta ljudi, vendar pa nekateri sevi *E. coli* z geni za virulentne dejavnike povzročajo črevesne in izven-črevesne okužbe, tudi s težkim potekom. *E. coli* je pomemben indikator tudi za nadzor odpornosti proti antibiotikom in zato tudi v skupini za molekularno genetiko potekajo raziskave genomov ter odpornosti proti antibiotikom bakterije *E. coli* in drugih enterobakterij, izoliranih iz ljudi, živali in okolja. Predmet raziskav skupine so tudi kolicini, torej bakteriocini *E. coli*, ki so vpleteni v tekmovanje in nadzor bakterijskih populacij v kompleksnih ekoloških nišah, na primer v prebavnem traktu. Raziskave uravnavanja sinteze kolicinov po eni strani razkrivajo zapletene mehanizme prepletov molekularnih procesov v bakterijski celici,

po drugi strani pa lahko raziskave kolicinskih genov vodijo tudi k raziskavam uporabe kolicinov kot alternativne protimikrobne učinkovine. Le-to se lahko, poleg načina z izoliranim kolicinom, izvaja z znotrajceličnem delovanjem kolicina po konjugativnem prenosu gena za kolicin v tarčno bakterijo.

Toksini komezalnih bakterij lahko poškodujejo genom gostitelja in izzovejo tumorigenozo. Raziskave skupine razkrivajo zapise za genotoksine v genomih sevov *E. coli*. Primer le-tega je bakteriocinu podoben genotoksin Usp, katerega gen je lociran na relativno majhnem genomskem otoku in ima zapletene mehanizme uravnavanje sinteze. Genotoksin *E. coli* kolibaktin pa je zapisan v drugem genomskem otoku, skupaj z genom clbS. Zanimivo je, da protein ClbS z več mehanizmi ščiti producenta pred delovanjem kolibaktina, tudi fizično z vezavo DNA, vendar z zaenkrat še neznanim molekularnim mehanizmom.

Sinteza kolicinov je uravnavana z represorjem LexA, ki uravnava tudi odziv SOS za popraviljanje poškodb DNA bakterij. Raziskave skupine so bile še posebej osredotočene na molekularni mehanizem vezave proteina LexA na DNA. Sistem SOS ima širšo vlogo tudi pri horizontalnih prenosih DNA, izražanju genov toksinov, razvoju odpornosti, perzistence in tolerance na antibiotike, posledično je lahko tarča za nove protimikrobne učinkovine.

Hiter razvoj na področju molekularne biologije v zadnjih dveh desetletjih je omogočil razširitev raziskav skupine za molekularno genetiko s posamičnih organizmov na mikrobne združbe. Raziskovalci skupine so tako vključeni v metagenomske raziskave, ki začenjajo razkrivati skrivnosti mikrobnih združb od ekstremnih okolij do prebavnega trakta nosečnic. V slednjem primeru potekajo raziskave o vplivu dejavnikov na sestavo mikrobnih združb, ki se na predhodne raziskave skupine navezujejo preko hipoteze, da bi specifični sevi bakterije *E. coli* lahko bili indikator disbioze pri določenih bolezenskih stanjih.

Izbrane reference

- Ball, W.B., Baker, C.D., Neff, J.K., Apfel, G.L., Lagerborg, K.A., Žun, G., Petrovič, U., Jain, M., Gohil, V.M., 2018. Ethanolamine Ameliorates Mitochondrial Dysfunction in Cardiolipin-Deficient Yeast Cells. *Journal of Biological Chemistry*, 293, 10870.

- Godec, P., Pančur, M., Ilenič, N., Čopar, A., Stražar, M., Erjavec, A., Pretnar, A., Demšar, J., Starič, A., Toplak, M., Žagar, L., Hartman, J., Wang, H., Bellazzi, R., Petrovič, U., Garagna, S., Zuccotti, M., Park, D., Shaulsky, D., Zupan, B., 2019. Democratized Image Analytics by Visual Programming Through Integration of Deep Models and Small-Scale Machine Learning. *Nature Communications*, 10, 4551.
- Kamenšek, S., Browning, D.F., Podlessek, Z., Busby, S.J.W., Žgur-Bertok, D., Butala, M., 2015. Silencing of DNase colicin E8 gene expression by a complex nucleoprotein assembly ensures timely colicin induction. *PLoS Genetics*, 11, 1.
- Kogovšek, P., Ambrožič, J., Dovč, A., Dreo, T., Hristov, H., Krapež, U., Ravnikar, M., Slavec, B., Lotrič, M., Žel, J., Zorman-Rojs, O. 2018. Loop-mediated isothermal amplification : rapid molecular detection of virulence genes associated with avian pathogenic *Escherichia coli* in poultry. *Poultry Science*, 98, 1500.
- Kuznetsova, M.V., Gizaizatullina, J., Nesterova, L. J., Starčič Erjavec, M., 2020. *Escherichia coli* isolated from cases of colibacillosis in Russian poultry farms (Perm Krai): sensitivity to antibiotics and bacteriocins. *Microorganisms*, 8, 1.
- Mogrovejo, D.C., Perini, L., Gostinčar, C., Sepčič, K., Turk, M., Ambrožič, J., Brill, F.H.H., Gunde-Cimerman, N., 2020. Prevalence of antimicrobial resistance and hemolytic phenotypes in culturable Arctic bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 570, 1.
- Molan, K., Podlessek, Z., Hodnik, V., Butala, M., Oswald, E., Žgur Bertok, D., 2019. The *Escherichia coli* colibactin resistance protein ClbS is a novel DNA binding protein that protects DNA from nucleolytic degradation. *DNA Repair*, 79, 50.
- Rihtar, E., Žgur Bertok, D., Podlessek, Z., 2020. The uropathogenic specific protein gene *usp* from *Escherichia coli* and *Salmonella bongori* is a novel member of the TyrR and H-NS regulons. *Microorganisms*, 8, 1.
- Zorman-Rojs, O., Zdovc, I., Dovč, A., Žgajnar, J., Slavec, B., Krapež, U., Ambrožič, J., 2019. Presence and distribution of extended-spectrum and AmpC beta-lactamases-producing *Escherichia coli* on poultry farms in Slovenia. *The Journal of Applied Poultry Research*, 28, 200.
- Železni Ramuta, T., Starčič Erjavec, M., Erdani-Kreft, M. 2020. Amniotic membrane preparation crucially affects its broad-spectrum activity against uropathogenic bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1.

Raziskovalna skupina za biologijo mikroorganizmov

Raziskovalno delo skupine za Biologijo mikroorganizmov delno poteka v okviru raziskovalnega programa MF UL Molekulski mehanizmi uravnavanja celičnih procesov v povezavi z nekaterimi boleznimi pri človeku in v okviru IC Mycosmo. Raziskovalna skupina ima vzpostavljena mnoga interdisciplinarna mednarodna sodelovanja, sodeluje pa tudi z raziskovalnimi skupinami na Oddelku za biologijo in drugimi oddelki BF in različnimi slovenskimi raziskovalnimi institucijami.

Raziskovalno delo Katedre za molekularno genetiko se je s pridružitvijo prof. Janca leta 1989 razširilo na področje mikrobioloških raziskav, katedra pa se je preimenovala v Katedro za molekularno genetiko in mikrobiologijo. Prof. Janc

je vpeljal klinične in epidemiološke raziskave. Osredotočil se je na bakterijo *Escherichia coli* in sposobnost sinteze hemolizinov in na bakterije rodu *Salmonella* v povezavi s prašičjo gripo. Pričel je z rutinsko diagnostiko za določevanje bakterij rodu *Campylobacter* in različnih anaerobnih bakterij ter sodeloval pri postavitvi anaerobnih laboratorijev na BF, VF in MF UL. Uvedel je imunofluorescentne metode za detekcijo povzročitelja stekline in se skupaj z asistentko Majo Rupnik poglobil v diagnostiko in virulentne dejavnike bakterije *Clostridium difficile*.

Po upokojitvi prof. Janca in prihodu prof. Gunde-Cimerman v skupino (1999) se je težišče raziskovalnega dela premaknilo na glive v ekstremnih okoljih in se osredotočilo zlasti na njihove interakcije z okoljem, molekularne prilagoditve na ekstreme razmere, biotehnoško uporabnost in oportuno patogenost. Te raziskave so nekaj

časa potekale znotraj nove Katedre za biologijo mikroorganizmov, kmalu pa, tokrat organizirane v Raziskovalno skupino za biologijo mikroorganizmov, spet kot del enotne Katedre za molekularno genetiko in biologijo mikroorganizmov. Raziskave ekstremofilov so se začele z odkritjem slanljubnih gliv v Sečoveljskih solinah, kasneje pa še v drugih solinah po svetu. Za identifikacijo gliv so v skupini uvedli molekularne metode, ki so se takrat v mikologiji šele začele uporabljati. Molekularne prilagoditve na življenje v izjemno slanem okolju so skupaj s sodelavci z Inštituta za biokemijo MF preučevali na ekstremofilnih črnih kvasovkah, zlasti na črni kvasovki *Hortaea werneckii*, ki lahko raste brez soli pa vse do nasičenja s soljo (več kot 30% NaCl) in na halotolerantni črni kvasovki *Aureobasidium pullulans*. Obe glivi sta postali uveljavljena modelna organizma za halofilne raziskave evkariontov.

Raziskave gliv v ekstremnih okoljih so kasneje razširili na ledenike na Arktiki in kot prvi na svetu opisali populacije gliv v ledeniškem subglacialnem ledu in v črnem ledu grenlandskega ledenega pokrova. Seznam ekstremnih okolij, ki jih naseljujejo glive, so razširili še na človeška domovanja, zlasti na gospodinjske naprave. Pogoji v pomivalnih in pralnih strojih so namreč ekstremni: temperatura med 40-60 °C, alkalen pH, strižne sile in oksidativni stres. Pri teh pogojih se selektivno namnožijo le izbrane oportuno patogene glive, med katerimi je najpomembnejša nevtrotopna črna kvasovka *Exophiala dermatitidis*, ki povzroča okužbe možgan. Članek o tem odkritju se je viralno razširil in dosegel več kot 500 milijonov ljudi po celem svetu. Raziskovalna skupina se ukvarja tudi z mikroorganizmi, ki naseljujejo in potencialno uničujejo objekte kulturne dediščine, od oljnih slik,

fresk, do kipov in grobnic, ter skupaj z restavratorji sodeluje pri njihovi sanaciji.

V okviru raziskovalne skupine deluje Infrastrukturni center Mycosmo, ki opravlja štiri med seboj povezane osnovne dejavnosti: 1. shranjevanje izoliranih in identificiranih mikroorganizmov v genski banki Ex, ki obsega največjo zbirko ekstremofilnih gliv na svetu (15.000 sevov gliv, 5.000 sevov bakterij); 2. temeljne in aplikativne mikološke storitve in raziskave, v okviru katerih sodeluje s slovensko in tujo industrijo in različnimi javnimi ustanovami; 3. molekularne raziskave adaptacij na ekstremne pogoje, s poudarkom na biotehnoškem potencialu in virulentnih dejavnikih; 4. preučevanje genomov ekstremofilnih gliv in razširjanje podatkov ter znanja. V letu 2010 je IC Mycosmo kot prvi v Sloveniji določil genomsko zaporedje evkariontskega organizma. V nadaljevanju je kot vodilna organizacija sodeloval pri določanju genomskega zaporedja še petih drugih ekstremofilnih gliv. To delo se nadaljuje v sodelovanju z enim od največjih centrov za sekvenciranje na svetu, kitajskim inštitutom BGI, z določevanjem več kot 200 genomov gliv iz ekstremnih okolij in s sekvenciranjem genoma človeške ribice *Proteus anguinus*, ki je trenutno največji sekvenciran živalski genom. Genomske raziskave nadgrajujejo z bioinformatičnimi analizami izbranih genov povezanih z ekstremotoleranco in z analizami populacijske genomike. Vse genomske in transkriptomske podatke, pa tudi podatke o kulturah ekstremofilnih gliv in bakterij v genski banki Ex javno sproti objavljajo in jih s tem dajejo na razpolago znanstveni skupnosti, s čimer so slovenske raziskave ekstremofilnih gliv in Infrastrukturni center Mycosmo deležni vse večje prepoznavnosti tudi v svetovnem merilu.

Izbrane reference

- Butinar, L., Spencer-Martins, I., Gunde-Cimerman, N., 2007. Yeasts in high Arctic Glaciers : the discovery of a new habitat for eukaryotic microorganisms. *Antonie van Leeuwenhoek : International Journal of General and Molecular Microbiology*, 91 (3), 277-289.
- Gostinčar, C., Zajc, J., Lenassi, M., Plemenitaš, A., de Hoog, S., Al-Hatmi, A., Gunde-Cimerman, N., 2018. Fungi between extremotolerance and opportunistic pathogenicity on humans. *Fungal Diversity*, 93 (1), 195-213.
- Gostinčar, C., Turk, M., Zajc, J., Gunde-Cimerman, N., 2019. Fifty *Aureobasidium pullulans* genomes reveal a recombining polyextremotolerant generalist. *Environmental Microbiology*, 21 (10), 3638-3652.
- Gunde-Cimerman, N., Zalar, P., de Hoog, S., Plemenitaš, A., 2000. Hypersaline waters in salterns: natural ecological niches for halophilic black yeasts. *FEMS Microbiology Ecology*, 32 (3), 235-240.

- Lenassi, M., Gostinčar, C., Jackman, S., Turk, M., Sadowski, I., Nislow, C., Gunde-Cimerman, N., Plemenitaš, A., et al., 2013. Whole genome duplication and enrichment of metal cation transporters revealed by de novo genome sequencing of extremely halotolerant black yeast *Hortaea werneckii*. *Plos One*, 8, 8.
- Perini, L., Gostinčar, C., Anesio, A., Williamson, C., Tranter, M., Gunde-Cimerman, N., 2019. Darkening of the Greenland ice sheet: fungal abundance and diversity are associated with algal bloom. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1-14.
- Rupnik, M., Braun, V., Soehn, F., Janc, M., Hofstetter, M., Laufenberg-Feldmann, R., von Eichel-Streiber, C., 1997. Characterization of polymorphism in the toxin a and b genes of *Clostridium difficile*. *FEMS Microbiology Letters*, 148, 197-202.
- Zajc, J., Liu, Y., Dai, W., Yang, Z., Hu, J., Gostinčar, C., Gunde-Cimerman, N., 2013. Genome and transcriptome sequencing of the halophilic fungus *Wallemia ichthyophaga*: haloadaptations present and absent. *BMC Genomics*, 14, 617.
- Zalar, P., de Hoog, S. Schroers, H. J., Frank, J. M., Gunde-Cimerman, N., 2005. Taxonomy and phylogeny of the xerophilic genus *Wallemia* (Wallemiomycetes and Wallemiales, cl. et ord. nov.). *Antonie van Leeuwenhoek : International Journal of General and Molecular Microbiology*, 87, 311-328.
- Zalar, P., Novak Babič, M., de Hoog, S., Gunde-Cimerman, N., 2011. Dishwashers - a man-made ecological niche accommodating human opportunistic fungal pathogens. *Fungal Biology*, 115 (10), 997-1007.

Skupina za biološko izobraževanje

Iztok Tomažič

Biološka didaktika se je kot ena izmed specialnih didaktik v slovenskem prostoru pričela intenzivneje razvijati leta 1964. Tega leta so na takratnem Zavodu za šolstvo, ki ga je vodil Brane Vesel, med učitelji izvedli anketo o poučevanju bioloških vsebin. Rezultati ankete so bili podlaga za uvajanje sprememb na področju biološkega izobraževanja, predvsem na srednjih šolah. Skoraj desetletje je preteklo, preden je izšel tudi prevod t. i. Modre knjige („Od molekule do človeka“, 1974), katere urednik je bil botanik Franc Sušnik. S spreminjanjem srednješolskega izobraževanja pa se je pojavila tudi potreba po ustanovitvi skupine za specialno didaktiko. Vodenje te skupine je prevzel Brane Vesel. Leta 1974 se je katedri priključila Tatjana Verčkovnik, leto kasneje Rudi Očepek, nekaj let za njim pa tudi Dušan Vrščaj. Vsi so se v večji meri ukvarjali z izobraževanjem osnovnošolskih in srednješolskih učiteljev ter pripravo učnih gradiv za omenjena nivoja šolanja. Veliko truda in energije so vložili v pripravo seminarjev za učitelje, v sklopu katerih so spodbujali izkustveno učenje v želji, da bi učitelji učencem približali naravo/biologijo na čim bolj konkreten način in s tem gradili na znanju, spretnostih in stališčih učencev in dijakov. Pri teh aktivnostih se jim je

leta 1985 pridružila Jelka Strgar. Velik zalogaj je predstavljala prenova osnovne šole, ki se je odvila v že samostojni Sloveniji. Rezultat tega dela sta bila leta 1998 prenovljena učna načrta Naravoslovje in Biologija. V vseh letih od ustanovitve katedre so bili njeni člani aktivni predvsem pri strokovnih objavah na področju biološke didaktike. Leta 2008 je vodenje Skupine za biološko izobraževanje za kratek čas prevzela Barbara Vilhar. Od leta 2013 pa Skupino za biološko izobraževanje in drugostopenjski študijski program Biološko izobraževanje vodi Iztok Tomažič.

Člani skupine za biološko izobraževanje trenutno sodelujejo v študijskih programih Biotehniške, Pedagoške, Filozofske in Zdravstvene fakultete. Na Biotehniški fakulteti je akreditiran drugostopenjski študijski program Biološko izobraževanje (<http://www.bf.uni-lj.si/dekanat/studijski-programi/2-bolonjska-stopnja-magistrski-studiji/biološko-izobraževanje/>). Razpisan je vsako drugo leto. Ta študijski program je edini študijski program v Sloveniji, ki je namenjen usposabljanju bodočih učiteljev biologije v gimnazijskih programih. V študijskem letu 2019/2020 je bila na Biotehniški fakulteti v prvi letnik prenovljenega programa Biološko izobraževanje vpisana tretja generacija



Slika 7: Priprava študentov na poučevanje bioloških vsebin (a) in nastop na delavnici (b).

Figure 7: Preparation of students for biology teaching (a) and workshop performance (b).

študentov. Vpis študentov v ta študijski program se je od prvega do tretjega razpisa skoraj podvojil.

Velik poudarek v omenjenem študijskem programu je namenjen pripravi bodočih učiteljev, da v pouk biologije vključujejo izkustveno in raziskovalno učenje ter uporabljajo metode poučevanja, ki pozitivno vplivajo tako na znanje, spretnosti in stališča učencev in dijakov (slika 7).

V programu se študente usposablja tudi za pedagoško delo v izvenšolskih učnih ustanovah, na primer v živalskih vrtovih in botaničnih vrtovih ter muzejih. Ustrezna biološka in pedagoška izobrazba diplomantom tega študijskega programa med drugim omogoča tudi zaposlitev v založbah, ki izdajajo učbenike, priručnike, poljudnoznanstvene revije in drugo strokovno literaturo.

Člani skupine za biološko izobraževanje sodelujejo pri pripravi gradiv za nacionalno preverjanje znanja iz biologije, prenovah učnih načrtov osnovnih in srednjih šol, organizaciji in izvedbi naravoslovnih tekmovanj (Kresnička, EUSO, IJSO), pisanju in urednikovanju učbenikov in drugih učnih gradiv. Kot člani predmetnih skupin Zavoda RS za šolstvo se člani skupine aktivno vključujejo v permanentno izobraževanje osnovnošolskih in srednješolskih učiteljev. Poleg izobraževanja bodočih učiteljev imajo člani skupine skozi strokovno delo možnost prenosa novosti s področja biološkega izobraževanja v šolsko

prakso. V zadnjem desetletju pa sodelujejo tudi pri raznih naravovarstvenih projektih z namenom ugotavljanja učinka prenosa znanstvenih spoznanj v pouk biologije in naravoslovja.

Znanstveno se člani skupine ukvarjajo predvsem z raziskovanjem znanja učencev in dijakov v povezavi z abstraktnimi biološkimi vsebinami (Gobec in Strgar 2019), stališči in predsodki učencev do organizmov in drugih bioloških in družbeno – znanstvenih tem (Oražem in Tomažič 2018, Randler et al. 2020, Tomažič 2017), učinki različnih načinov poučevanja na znanje, stališča in spretnosti učencev in dijakov (Oražem et al. 2019, Tomažič et al. 2018), analizami dosežkov učencev na nacionalnem preverjanju znanja (Strgar 2018), pa tudi z drugimi temami, ki so povezane z biološkim izobraževanjem (Tomažič in Randler 2018). Ključne ugotovitve omenjenih raziskav so, da poučevanje, ki temelji na pridobivanju neposrednih izkušenj z organizmi pa tudi raziskovalni pouk pozitivno vplivata ne le na znanje učečih, temveč imata bolj kot tradicionalni pouk (frontalni pouk), pozitivne učinke na stališča do tem učenja in na stališča do naravoslovja in naravoslovnega raziskovanja. Predvsem neposredne izkušnje so tiste, ki omogočajo celosten pouk biologije, ki ne upošteva le znanja učečih, temveč tudi že omenjena stališča in naravoslovne spretnosti in veščine.

Izbrane reference

- Gobec, K., Strgar, J., 2019. Agricultural students' knowledge of photosynthesis and the contextual factors that influence it. *Journal of Baltic Science Education*, 18 (1), 6-18.
- Oražem, V., Tomažič, I., 2018. The vocational upper secondary schools students' knowledge and their attitudes toward wolves. *Journal of Baltic Science Education*, 17 (6), 918-934.

- Oražem, V., Tomažič, I., Kos, I., Nagode, D., Randler, C., 2019. Wolves' conservation through educational workshops: which method works best? *Sustainability*, 11, 1124.
- Randler, C., Wagner, A., Rögele, A., Hummel, E., Tomažič, I., 2020. Attitudes toward and knowledge about wolves in SW German secondary school pupils from within and outside an area occupied by wolves (*Canis lupus*). *Animals*, 10 (4), 607.
- Strgar, J., 2018. Analiza dosežkov osnovnošolcev na nacionalnem preverjanju znanja iz biologije = Analysis of elementary school pupils' achievements on the national assessment of knowledge in biology." *Acta Biologica Slovenica*, 61 (1), 47-59.
- Tomažič, I., 2017. Lower secondary school students' interest and emotions regarding dissection in schools: a pilot study = Interes in čustva osnovnošolcev v povezavi s seciranjem v šoli: pilotna študija. *Acta Biologica Slovenica*, 60 (1), 89-99.
- Tomažič, I., Randler, C., 2018. Slovenian adaptation of the Morningness-Eveningness-Stability Scales improved (MESSi). *Biological Rhythm Research*, 51 (3), 453-459.
- Tomažič, I., Hummel, E., Schrenk, M., Rupnik, T., Randler, C., 2018. Cognitive and affective outcomes of teaching about poisonous and venomous animals. *Journal of Biological Education*, 54 (1), 63-76.

Botanični vrt Univerze v Ljubljani

Jože Bavcon

Ustanovitev Botaničnega vrta Univerze v Ljubljani je povezana z ustanovitvijo Ilirskih provinc. Marmontova odredba iz 4. julija 1810 v 9. členu navaja, naj se poleg knjižnice, fizikalnega in kemičnega kabineta ustanovi še botanični vrt. Uredba je visoke šole v Iliriji povzdignila na stopnjo univerzitetne ravni. Franc Hladnik je z ustanovitvijo Ilirskih provinc dobil zemljišče ob Karlovški cesti ob Gruberjevem prekopu, namenjeno ureditvi botaničnega vrta.

Hladnik je svoje znanje botanike dobil od Wulfena, ki je botaniko praktical že vse od leta 1750. Imel je zelo veliko stikov s Scopolijem. Na Hladnika se je tako posredno preko Wulfena preneslo znanje Scopolija in še drugih naravoslovcev. Hladnik je postal v srednji Evropi zelo cenjen. Sodeloval je s Hostom na Dunaju, ki je urejal dunajski botanični vrt. To je bilo odločilno za obstoj ljubljanskega botaničnega vrta, saj je kljub ukinitvi ilirskih provinc kot institucija ostal.

Za Hladnikom je vrt prevzel Biatzowsky in ga zelo uspešno vodil do leta 1850. Za njim je vodenje prevzel Andrej Fleishmann. Leta 1844 je izšel njegov pregled Kranjske flore. Posvečal se je pospeševanju kmetijstva in sadjarstva, se vključeval v prizadevanja za pogozdovanje Krasa. Alfonz Paulin je v vrtu deloval od leta 1886 do 1931. Od leta 1901-1936 je izhajala njegova znamenita posušena zbirka Kranjske flore: *Flora*

exiccata carniolica. Enako pomembno je njegovo delo *Index seminum* -1889, saj je vrt s to znanstveno publikacijo povezal z evropskimi vrtovi.

Vrt je leta 1919 je ponovno prišel pod na novo ustanovljeno Univerzo v Ljubljani. Prevzela ga je od deželne vlade. Na predlog profesorjev Nahtigala (Filozofska fakulteta) in Hinterlechnerja (Tehnična fakulteta) je univerzitetni svet ljubljanske univerze 12. novembra 1919 sklenil Deželno vlado prositi, da odstopi botanični vrt v Ljubljani v last Univerze.

Po Paulinu je bilo obdobje hitrih izmenjav vodij vrta. Med vojno je vrt vodil Tomažič, ki se je ukvarjal s fitocenologijo. Nato je vrt prevzel Lazar, ga povečal in za tedanje čase uredil grede za rastlinski sistem in ekološke enote. Leta 1967 je vodstvo vrta prevzel prof. dr. Vinko Strgar (1928-1992). Površina se je zaradi posodobitev ceste in železnice začela manjšati. Vsa svoja prizadevanja je skupaj s sodelavci oddelka za biologijo usmeril v pridobivanje zemljišča za nov botanični vrt pod Rožnikom in kasneje graditev univerzitetnega biološkega središča. Raziskoval je rod *Sesleria*, opisal je novo vrsto netreska - *Sempervivum juvenii* in se ukvarjal z vzgojo endemičnih in ogroženih vrst. Po njegovi smrti je začasno vodstvo prevzel prof. dr. Tone Wraber, od leta 1995 pa vrt vodi avtor teksta.

Novейše obdobje botaničnega vrta Univerze v Ljubljani označuje boj za preživetje. Gradnja Biološkega središča ob Večni poti, je zanesljivo največje delo pokojnega vodje vrta dr. Strgarja. Oddelek za biologijo je z njim prvič v zgodovini dobil svoj skupni prostor. Za Botanični vrt je gradnja pomenila velik udarec, ker je s tem vrt stagniral. Strgarjeva smrt je prekinila prizadevanja za izgradnjo novega vrta. Po končani gradnji biološkega središča za vrt ni bilo več posluha. Ko je bil vhodni objekt v vrt dograjen, se je vrtu namenjene prostore začelo dajati za druge potrebe. Rastlinjak je ostal nedokončan. Kljub številnim predlogom vodstva vrta, je bil zaradi nezainteresiranosti oddelka za biologijo projekt že vnaprej obsojen na propad. S sredstvi MOL smo zato obnovili stari vrt. Leta 2000 smo posadili nasad japonskih češenj kot protokolarno darilo države Japonske Sloveniji na vhodu v novo lokacijo. Leta 2000 smo za *in-situ* varovanja rastlinskih vrst najeli suhi travnik v Rojah s katerim upravljamo še danes. Z lastnimi sredstvi smo leta 2004 dokončali rastlinjak za prezimovanje sredozemskih rastlin. Od mesta Ljubljana smo leta 2009 prevzeli tivolski rastlinjak. Ustvarjali smo prepoznavnost vrta v tujini in doma. Posvečali smo se raziskavam avtohtone flore in njeni uporabi v hortikulture namene. Naše delo je bilo prepoznano v tujini. Leta 2003 smo organizirali slovensko mrežo botaničnih vrtov in arboretumov Slovenije. Z vstopom v Eu je vrt postal redni član evropskega konzorcija botaničnih vrtov in predstavnik Slovenije v njem. Leta 2007 je bil v Londonu izmed 2700 vrtov na svetu uvrščen med 278 zgodovinsko pomembnih botaničnih vrtov, leta 2013 med 90 pomembnih v Evropi, katerih je bilo tedaj 900. Leta 2008 je botanični vrt zaslovel po prepoznavni zbirki posebnosti vrste *Galanthus nivalis* in nato vrste *Cyclamen purpurascens* in drugih.

Izbrane reference

- Bavcon, J., 2008. Navadni mali zvonček (*Galanthus nivalis* L.) in njegova raznolikost v Sloveniji = Common snowdrop (*Galanthus nivalis* L.) and its diversity in Slovenia. Biotehniška fakulteta, Ljubljana, 94 str.
- Bavcon, J., 2010. 200 let botaničnega vrta v Ljubljani. Biotehniška fakulteta, Ljubljana, str. 7-71.
- Bavcon, J., Praprotnik, N., Ravnjak, B., 2017. Franc Hladnik und seine Zusammenarbeit mit Nicolaus Thomas Host. V: Seidl, J. (ur.): Deutsche und österreichische Forschungsreisen auf den Balkan und nach Nahost, Europäische Wissenschaftsbeziehungen, str. 323-344.

Po dolgoletnih prošnjah in štirih poslanskih vprašanjih je Ministrstvo za šolstvo leta 2010 le dalo Univerzi v Ljubljani sredstva za izgradnjo tropskega rastlinjaka na stari lokaciji. Načrt njegove zasaditev je plod lastnega znanja. Rastlinjak je postal referenčni objekt v regiji. Svojo mednarodno dejavnost je vrt udeležil z gostovanjem Evropskega konzorcija botaničnih vrtov v letih 2010 in 2016. Leta 2015 je prejel nagrado Marsh za varovanje rastlinskih vrst. Leta 2018 pa je prejel dva certifikata Botanic Gardens Conservation International (BGCI) in sicer za Accredited Botanic Garden in Conservation Practitioner.

V tem času je bil izmed 3500 registriranih botaničnih vrtov na svetu uvrščen v šesterico izbrancev, ki je imela oba certifikata. Vrt je s strani BGCI predstavljen kot izredno proaktiven, ki ustvarja novo prihodnost - politike vrtov. Botanični vrt deluje izven svoje ograje, sodeluje pri načrtovanjih zelenih površin v MOL in drugod po Sloveniji. Leta 2016 se je vrt razširil z mestnim zemljiščem v velikosti 0,75 ha, kjer je bil leta 2017 odprt učni čebelnjak, seminarsko delo študentov arhitekture. Ob čebelnjaku pa smo uredili vrt cvetočih preprog z medovitimi rastlinami.

Kljub 210-letni bogati zgodovini, se še vedno bori za preživetje, kar ni v ponos Oddelku za biologijo. Še manj pa mu je v ponos, da je pozabil na svojo najstarejšo ustanovo in ji ni omogočil širitve na novi lokaciji, kar je v svojem zapisu že zelo preroško zapisal vodja gradnje biološkega središča dr. Strgar (1990): »da ne bo kakšen organ hipertrofiran na račun drugega ali pa bi katerega od njih morda celo zanemarili - kot se v enostranskem in včasih zaletavem (ne)uravnavanju našega razvoja vse prerado dogaja.«

Biologija je na svoj dolg do botaničnega vrta pozabila!

- Bavcon, J., Ravnjak, B., Makše, J., Dakskobler, I., 2018. Globalna strategija ohranjanja rastlinskih vrst (točka 8). Biotehniška fakulteta, Ljubljana, str. 4-72.
- Bavcon, J., Ravnjak, B., Praprotnik, N., 2019. Senožeti, rovti - strme in pisane površine = Meadows - steep and colourful grasslands. Biotehniška fakulteta, Ljubljana, 235 str.
- Strgar, V., 1990. Biološko središče v Ljubljani, Botanični vrt, Želje možnosti in iskanja. Biološki vestnik, 38, 83-92.

Nacionalni inštitut za biologijo - Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo

Maja Ravnikar, Kristina Gruden, Jana Žel

Oddelek za biotehnologijo in sistemsko biologijo (FITO) ustvarja vrhunsko znanje o interakcijah med biološkimi sistemi in razvija nove tehnologije na področju ved o življenju. Oddelek združuje temeljne raziskave z močno mednarodno vpetostjo in prenos znanj in visoko specializiranega razvoja in storitev tako za vladne službe doma in v tujini, kakor tudi za slovenska in mednarodna podjetja s področja biotehnologije, farmacije, kmetijstva in živilske industrije.

Izobraževanje mladih kadrov ter predajanje znanja sta pomembni nalogi FITO, zato deset habilitiranih sodelavcev sodeluje pri pedagoških procesih Univerze v Ljubljani, Univerze v Novi Gorici, Univerze na Primorskem in Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana. FITO organizira tudi izobraževanja za druge laboratorije ter mednarodne specializirane praktične delavnice s področja visokotehnoloških in kvantitativnih metod molekularne biologije, na katerih se je do sedaj izobraževalo več kot 300 udeležencev iz vsega sveta.

Zametek delovanja FITO, sprva imenovan Oddelek za fiziologijo rastlin, sega v šestdeseta leta delovanja Katedre za fiziologijo rastlin Oddelka za biologijo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani, kjer sta prof. dr. Miran Vardjan in njegova naslednica prof. dr. Nada Gogala skupaj s prof. dr. Francijem Pohlevnom uveljavila in mednarodno vpela področje fiziologije rastlin v Sloveniji. Bila sta mentorja vsem dosedanjim vodjem FITO, prof. dr. Maji Kovač, izr. prof. dr. Jani Žel in prof. dr. Maji Ravnikar, ki so oddelek uspešno vodile v zadnjih 30 letih.

Raziskave mikropropagacije rastlin so se začele s še danes težavnimi lesnimi rastlinami ter nadaljevale z vzgojo zdravih rastlin s termoterapijo in meristemskimi kulturami krompirja, praproti,

česna, fižola, surfinij, vse s prenosom v uporabo za slovenska podjetja. Sledile so raziskave tkivnih kultur celic, protoplastov in korenin za pridobivanje sekundarnih metabolitov ter njihova biokemijska analitika, kar je prav tako potekalo v sodelovanju s slovenskim podjetjem KRKA.

Pred prelomom tisočletja so se v laboratorij uvedle molekularne metode in genska transformacija rastlin, ki se je najprej usmerila v preučevanje razvoja odpornosti krompirja na virus PVY, nadalje tudi na halotoleranco in odpornost proti žuželkam. Istočasno se je razvijala tudi mikrobiologija in napredna diagnostika virusov in bakterij, vključno s fitoplazmami. V tem času se je skupini pridružila prof.dr. Kristina Gruden, ki sedaj vodi enoto omike. Takrat so se raziskave usmerile tudi v natančno kvantifikacijo nukleinskih kislin z uporabo PCR v realnem času in v novejšem obdobju z digitalnim PCR, kar je omogočilo razvoj diagnostičnih metod za določanje gensko spremenjenih organizmov. V tem času so se pospešeno uvajale tehnologije sistemske biologije, zlasti genomike in biotehnološki pristopi z uporabo virusov.

FITO od svojega nastanka sodeluje s številnimi sorodnimi inštitucijami v Sloveniji in tujini. Intenzivno poteka tudi sodelovanje z državnimi organi ter podjetji doma in v tujini s področja biotehnologije, farmacije in živilske industrije.

Raziskave in razvojno aplikativno delo FITO je interdisciplinarno in združuje znanje biologije, molekulske biologije, mikrobiologije, biokemije, biotehnologije, matematike, biostatistike in računskih znanosti. Z ustvarjanjem novega znanja, intelektualne lastnine in visoko tehnološkimi storitvami prispevajo k razvoju družbe, reševanju aktualnih problemov na področju biotehnologije, kmetijstva, farmacije, zdravja, okolja in varne hrane. Njihove prednosti so visoko usposobljeni

in motivirani sodelavci, ki prihajajo tudi iz mednarodnega okolja, uporaba najmodernejše opreme in vpeljan sistem kakovosti. Dobra organiziranost in fleksibilnost jim omogočata uspešno povezavo med znanjem in njegovo uporabo. Poznani so po uporabi kvantitativne molekularne biologije in razvijanju pristopov sistemske biologije, vključno z bioinformatiko in biostatistiko.

Odderek zaposluje v letu 2020 več kot 60 sodelavcev in je organiziran v štiri raziskovalne enote in sicer Gensko spremenjeni organizmi s terapevtskimi virusi, Omski pristopi, Mikroorganizmi ter Bakteriologija z meroslovjem, kar so tudi glavne usmeritve Oddelka.

Glavne raziskovalne usmeritve FITO so:

- pridobivanje mehanističnega znanja za razumevanje rastlinskih odgovorov na stres - s pristopi sistemske biologije;
- povečevanje znanja o biologiji mikrobov v različnih okoljih, kot so zrak in voda in tla, da bi bolje razumeli njihovo raznolikost, patogenost in epidemiologijo ter njihovo vlogo v rastlinskih gostiteljih ter pomembnost za zdravje ljudi vključno z raziskavami COVID-19;
- na osnovi pridobljenih rezultatov razvijati učinkovite in trajnostne metode za biotehnoški in biološki nadzor mikrobov;
- celostni pristop h karakterizaciji virusov z molekularnega do morfološkega vidika in izboljšanje kritičnih točk karakterizacije virusov v proizvodnem procesu v biomedicinskih aplikacijah, kot so cepiva in virusni vektorji za gensko terapijo
- razvijati nove strategije za zaščito rastlin in za varno hrano in vodo;
- izgraditi tehnološko platformo, ki podpira raziskave sistemske biologije rastlin;
- razvijati bioinformatika orodja, ki olajšajo interpretacijo masivnih podatkov ('big data') v rastlinski biologiji
- vzdrževanje in razvoj meroslovno naravnane tehnološke podpore ter učinkovitejših identifikacijskih in detekcijskih metod za mikrobe in gensko spremenjene organizme, ki so uporabna tudi na področjih farmacije, zdravja ljudi in varovanja okolja.



Slika 8: Na FITO se raziskave opravljajo tudi v rastlinjaku, ki omogoča delo s karantenskimi mikroorganizmi povzročitelji bolezni rastlin.

Figure 8: At FITO, research is also carried out in a greenhouse, which enables work with quarantene microorganisms that cause plant diseases.

V okviru oddelka deluje tudi infrastrukturni center Planta (leta 1992 ustanovljen skupaj s podjetji), ki razpolaga z vrhunsko raziskovalno opremo za področje kvantitativne molekularne biologije, komore za gojenja biokultur in karantenski rastlinjak, laboratorijem drugega varnostnega razreda GSO, celični laboratorij, elektronsko in konfokalno mikroskopijo. FITO je aktiven član več infrastrukturnih centrov, kjer združuje opremo. Je tudi član Evropskih infrastruktur, za področje bioinformatike (ELIXIR, <https://elixir-europe.org/>), na področju sistemske biologije (ISBE, <https://project.isbe.eu/>) ter v infrastrukturi Meroslovje v hrani in prehrani (METROFOOD, <https://www.metrofood.eu/>).

FITO ima akreditirano dejavnost po ISO 17025 od 2003 za določanje gensko spremenjenih organizmov in diagnostiko mikroorganizmov, ki povzročajo bolezni rastlin ter več kot 60 akreditiranih metod. FITO je od 2019 imenovan v dva Evropska referenčna laboratorija v konzorciju za škodljive organizme rastlin (za bakterije in za viruse ter fitoplazme) (<https://www.gov.si teme/laboratoriji-za-skodljive-organizme-rastlin/>). V okviru FITO delujeta dva nacionalna in uradna referenčna laboratorija (za bakterije in za viruse ter fitoplazme), sodelavci FITO so imenovani državni predstavniki v Evropski organizaciji za varstvo rastlin (EPPO) <https://www.eppo.int/>. FITO je imenovan kot Nacionalni referenčni laboratorij ter uradni laboratorij za določanje GSO v hrani

in krmi. So člani Evropske mreže laboratorijev za določanje GSO (<https://gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/ENGL/ENGL.html>). Urad za meroslovje je imenoval NIB, FITO za Nacionalni etalon za področje množina snovi/bioanalize nukleinskih kislin na področju GSO in mikroorganizmov.

Iz Oddelka izhaja tudi visokotehnološko podjetje Biosistemika, ki je bilo ustanovljeno leta 2010 (<https://biosistemika.com/>).

Opomba: Z dovoljenjem založnika je ta prispevek povzetek objave, v kateri je širše opisana zgodovina FITO, njeno delovanje in sodelovanje s podjetji ter drugimi naročniki (Ravnikar et al. Od tkivnih kultur do Oddelka za biotehnologijo in sistemsko biologijo. V: RASPOR, Peter (ur.). BIA, vztrajanje na biotehnološki poti. Posvetovanje ob obeležitvi „30 letnice podjetja BIA d. o. o.“, 16. januar 2020, Ljubljana. Ljubljana: BIA, 2020. Str. 97-108).

Izbrane reference

- Bačnik, K., Kutnjak, D., Pecman, A., Mehle, N., Tušek-Žnidarič, M., Gutiérrez-Aguirre, I., Ravnikar, M., 2020. Viromics and infectivity analysis reveal the release of infective plant viruses from wastewater into the environment. *Water Research*, 41 str., v tisku.
- Bar-Dror, T., Dermastia, M., Kladnik, A., Tušek-Žnidarič, M., Pompe Novak, M., Meir, S., Burd, S., Philosoph-Hadas, S., Ori, N., Sonogo, L., Dickman, M. B., Lers, A., 2011. Programmed cell death occurs asymmetrically during abscission in tomato. *The Plant Cell*, 23 (11), 4146-4163.
- Dular, M., Griessler Bulc, T., Gutiérrez-Aguirre, I., Heath, E., Kosjek, T., Krivograd-Klemenčič, A., Oer, M., Petkovšek, M., Rački, N., Ravnikar, M., Šarc, A., Širok, B., Zupanc, M., Žitnik, M., Kompare, B., 2016. Use of hydrodynamic cavitation in (waste) water treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 577-588.
- Kežar, A., Kavčič, L., Polák, M., Nováček, J., Gutiérrez-Aguirre, I., Žnidarič, M.T., Coll, A., Stare, K., Gruden, K., Ravnikar, M., Pahovnik, D., Žagar, E., Merzel, F., Anderluh, G., Podobnik, M., 2019. Structural basis for the multitasking nature of the potato virus Y coat protein. *Science Advances*, 5(7), eaaw3808.
- Morisset, D., Demšar, T., Gruden, K., Vojvoda, J., Štebih, D., Žel, J., 2009. Detection of genetically modified organisms-closing the gaps : to the editor. *Nature Biotechnology*, 27 (8), 700-701.
- Ramšak, Ž., Baebler, Š., Rotter, A., Korbar, M., Mozetič, I., Usadel, B., Gruden, K., 2014. GoMapMan: integration, consolidation and visualization of plant gene annotations within the MapMan ontology. *Nucleic Acids Research*, 42 (D1), 167-175.
- Ramšak, Ž., Coll Rius, A., Stare, T., Tzfadia, O., Baebler, Špela, Van de Peer, Y., Gruden, K., 2018. Network modelling unravels mechanisms of crosstalk between ethylene and salicylate signalling in potato. *Plant Physiology*, 178 (1), 488-499.
- Schwacke, R., Ponce-Soto, G.Y., Krause, K., Bolger, A.M., Arsova, B., Hallab, A., Gruden, K., Stitt, M., Bolger, M.E., Usadel, B., 2019. MapMan4: a refined protein classification and annotation framework applicable to multi-omics data analysis. *Molecular Plant*, 12, 879-892.
- Whale, A.S., Jones, G. M., Pavšič, J., Dreo, T., Redshaw, N., Akyürek, S., Akgöz, M., Divieto, C., Sassi, M.P., He, H.J., Cole, K.D., Bae, Y.K., Park, S.R., Deprez, L., Corbisier, P., Ggarrigou, S., Taly, V., Larios, R., Cowen, S., O'sullivan, D.M., Bushell, C., Goenaga-Infante, H., Ffoy, C.A., Woolford, A.J., Parkes, H.C., Huggett, J.F., Devonshire, A.S., 2018. Assessment of digital PCR as a primary reference measurement procedure to support advances in precision medicine. *Clinical Chemistry*, 64 (9), 1296-1307.
- Žel, J., Milavec, M., Morisset, D., Plan, D., van den Eede, G., Gruden, K., 2012. How to reliably test for GMOs. V: Springer briefs in food, health, and nutrition, Springer, New York, 100 str.

Nacionalni inštitut za biologijo - Oddelek za raziskave organizmov in ekosistemov

Meta Virant-Doberlet, Danilo Bevk, Nataša Mori, Al Vrezec, Anamarija Žagar,
Alenka Žunič Kosi

Oddelek za raziskave organizmov in ekosistemov (EKOS) na Nacionalnem inštitutu za biologijo, je nastal leta 2016 z združitvijo Oddelka za raziskave kopenskih in sladkovodnih ekosistemov in Oddelka za entomologijo.

Oddelek za raziskave kopenskih in sladkovodnih ekosistemov je bil poznan po svojih interdisciplinarnih raziskavah ekosistemov, npr. gorskih jezer, ki jih je izvajal v okviru evropskih projektov in jih je v sklopu Nacionalnega inštituta vodil prof. dr. Anton Brancelj. Prav tako je bil Oddelek zelo aktiven tudi pri prenosu znanja v prakso, kjer je pomembno vlogo igrala zdaj že pokojna dr. Olga Urbanc Berčič.

Raziskave Oddelka za entomologijo so bile predvsem posvečene vibracijski komunikaciji žuželk, kar je tematika, ki jo je že v 70. letih prejšnjega stoletja vpeljal akademik prof. dr. Matija Gogala in jo je zatem nadaljeval prof. dr. Andrej Čokl. Drugo področje, po katerem je bil Oddelek poznan pa so bile raziskave boleznih čebel, ki jih je na oddelku vpeljala zdaj že pokojna dr. Jasna Kralj.

Po združitvi in reorganizaciji smo se na Oddelku bolj koordinirano usmerili v kompleksne interdisciplinarne raziskave mehanizmov, ki določajo strukturo in funkcijo naravnih in antropogenih ekosistemov.

Konec leta 2019 je bilo na oddelku zaposlenih 17 raziskovalcev z doktoratom, 5 mladih raziskovalcev in 6 strokovnih sodelavcev (slika 9). V šolskem letu 2019/2020 so bili raziskovalci na Univerzi v Ljubljani, Univerzi v Mariboru, Univerzi v Novi Gorici, Univerzi na Primorskem, Visoki šoli za upravljanje podeželja GRM Novo mesto in na Mednarodni podiplomski šoli Jožef Stefan nosilci ali sodelavci pri 18 predmetih povezanih z vsebinami s področij ekologije kopenskih in sladkovodnih ekosistemov, zoologije, evolucije, vedenja in fiziologije živali, varstva okolja, ekosistemskih storitev in statistike. V letih 2016 in 2018 sta bila člana Oddelka med peterico finalistov za naslov Mentor leta, ki ga podeljuje društvo Mlada akademija.

Dejavnost oddelka je trdno umeščena v vse tri stebre trajnostnega razvoja (ekonomski in socialni razvoj ter varstvo okolja). Z integrativnim, interdisciplinarnim pristopom na Oddelku ustvarjamo temeljno znanje potrebno za celostno razumevanje organizmov in njihove vloge v okolju. V sklopu oddelka na primer deluje eden od vodilnih svetovnih centrov za raziskave vibracijske komunikacije. Naša prednost je, da združujemo tako terenske delo, kot je na primer analiza vibracijske krajine, kot tudi vedenjske, neurofiziološke, ekofiziološke, biofizikalne in morfološke raziskave v laboratoriju. Z aplikativnimi raziskavami na področju prekinjanja parjenja z vibracijskimi signali pa razvijamo nov, okolju prijazen pristop za nadzor žuželčjih škodljivcev.

Skupaj s Prirodoslovnim muzejem Slovenije izvajamo raziskovalni program »Združbe, interakcije in komunikacije v ekosistemih«, ki ga na Oddelku tudi vodimo. Raziskave potekajo v dveh funkcionalnih sklopih, ki pa sta med seboj povezana in se med seboj tudi dopolnjujeta (slika 2). V prvem sklopu 'Biotska pestrost: procesi in vzorci', ki ga sestavljajo področja integrativna taksonomija, evlucijska zoologija, reproduktivna izolacija, komunikacijska omrežja in medvrstne interakcije, se posvečamo vzorcem genetske, morfološke, fiziološke, vedenjske in ekološke pestrosti in raziskujemo ključne evlucijske in ekološke mehanizme, ki oblikujejo vzorce biotske pestrosti ekosistemov. Z rezultati pridobljenimi na področjih ekosistemske storitve, podnebne spremembe, invazivne vrste, varstvena biologija in trajnostna raba naravnih virov, ki sestavljajo drugi sklop 'Upravljanje z ekosistemi' pa določamo smernice za trajnostni razvoj, ki bo ohranjal biotsko pestrost na vseh nivojih in zagotavljal trajnostno rabo obnovljivih naravnih virov.

Ker je raziskovalna dejavnost Oddelka izjemno pestra in razvejana, v nadaljevanju izpostavljamo samo nekatere izbrane publikacije v zadnjih petih letih.

Dolgo spregledana temeljna značilnost komunikacije je, da se v naravi vsako sporazumevanje odvija v komunikacijskem omrežju, to je v skupini



Slika 9: Sodelavci Oddelka za raziskave organizmov in ekosistemov. (foto Davorin Tome)

Figure 9: Employees of the Department of Organisms and Ecosystems Research.

osebkov, ki so te signale sposobni zaznati in ki se nahajajo v dosegu oddanih signalov in ne-le v dvojici oddajnik-sprejemnik. V sklopu naših raziskav na področju vibracijske komunikacije, smo pokazali, da čeprav ljudje mehanskih signalov, ki se prenašajo preko podlage, ne zaznamo, so živali, ki te signale zaznavajo, del kompleksnih vibracijskih komunikacijskih omrežij, v katerih sta prisluškovanje in izkoriščanje signalov s strani tekmecev in sovražnikov pogosta (Virant-Doberlet et al. 2019).

Čeprav so plenilci pri izboru plena dokaj plastični, kljub temu plenilec ohranja samosvoje preference do plena, četudi pleni v zelo različnih okoljih (Vrezec et al. 2018). Nedavno smo pokazali, da ti vzorci naprej krojijo ključne interakcijske povezave v ekosistemih tako na znotraj trofičnih nivojih, kjer zaradi interakcijskega izključevanja

ali sobivanja prihaja do širjenja ali izumiranja vrst plenilcev ob ekosistemskih spremembah (Brambilla et al. 2020).

Z vnosi tujerodnih vrst se spreminjajo evlucijske razmere v ekosistemih, ki tako domorodne kot tujerodne vrste zaradi novo nastalih selekcijskih pritiskov usmerjajo v doslej neobstoječe smeri razvoja. Z vnosi tujerodnih vrst potočnih rakov so v evropske vode zanesli tudi zajedavca, oomiceto *Aphanomyces astaci*, povzročitelja račje kuge, ki se je pri različnih vrstah rakov koevoluirala v različne seve. Za domorodne vrste rakov je račja kuga pogubna, vendar pa smo v Sloveniji pokazali, da so se nekatere populacije rakov koevoluirale s samosvojim sevom račje kuge, ki lahko prizadene druge tako domorodne kot tujerodne vrste (Jussila et al. 2017).

Podnebne spremembe imajo močan vpliv na zmanjševanje biodiverzitete. Hladnokrvni organizmi imajo zaradi svoje povezave s temperaturami iz okolja bistveno drugačen odziv na globalno segrevanje ozračja. Nedavno smo v okviru mednarodnega sodelovanja ugotovili, da bodo najbolj ogrožene vrste kuščaric v zmernem podnebnju tiste iz gorskih in mokriščnih ekosistemov (Garcia-Porta et al. 2019).

Samoočiščevalni procesi, ki se v celinskih vodah odvijajo v veliki meri v sedimentih, so ključni za vzdrževanje dobrega ekološkega stanja voda. Stresorji, ki ogrožajo ekosistemske procese običajno delujejo v interakcijah. Z uporabo strojnega učenja smo identificirali predhodno nedokazane povezave med stresorji in merjenimi okoljskimi dejavniki ter določili pragove pri katerih prihaja do sprememb v biološkem odzivu (Mori et al. 2019). Uspeli smo pokazati, da so odnosi med stresorji in okoljskimi dejavniki ter biološkimi odzivom odvisni predvsem od tega v katerem temperaturnem rangu jih opazujemo.

Ena najpomembnejših ekosistemskih storitev je opravevanje. Ocenjujemo, da je vrednost opravevanja žuželk za slovensko kmetijstvo okoli 120 milijonov EUR letno, pomemben del tega pa opravijo divji opravevalci, še zlasti divje čebele. Kljub pomembnosti divjih čebel, pa je stanje njihovih populacij slabo raziskano, zato smo na oddelku začeli z razvojem monitoringa čebeljih populacij s pomočjo pasti (Bevk et al. 2019).

Žuželke so najbolj raznolika a tudi ena najbolj ogroženih skupin živali in za njihovo ohranjanje potrebujemo učinkovite metode ugotavljanja prisotnosti in spremljanja stanja populacij. Kljub temu, da monitoring s pomočjo semiokemikalij močno izboljša oceno razširjenosti in stanja populacij žuželk, so bile feromonske pasti redko uporabljene v naravovarstvenih študijah. Identificirali smo vrstno specifični feromon alpskega kozlička (*Rosalia alpina*) (Žunič Kosi et al. 2017), ki je eden najbolj ogroženih saproksilnih hroščev v Sloveniji in EU. Komponenta, ki jo oddajajo samci, predstavlja novo strukturo med feromoni kozličkov in kaže velik potencial pri upravljanju ter ohranjanju te varstveno prioritete vrste.

Izbrane reference

- Bevk, D., Koderman, B., Virant-Doberlet, M., Vrezec, A., 2019. Uporabnost različnih pasti za monitoring divjih čebel. *Acta Entomologica Slovenica*, 27, 43-50.
- Brambilla, M., et al., 2020. Species interactions and climate change: how the disruption of species co-occurrence will impact on an avian forest guild. *Global Change Biology*, 26, 1212-1224.
- Garcia-Porta, J., et al. 2019. Environmental temperatures shape thermal physiology as well as diversification and genome-wide substitution rates in lizards. *Nature Communications* 10 (1), 1-12.
- Jussila, J., Vrezec, A., Jaklič, M., Kukkonena, H., Makkonen, J., Kokko, H., 2017. *Aphanomyces astaci* isolate from latently infected stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) population is virulent. *Journal of Invertebrate Pathology*, 149, 15-20.
- Mori, N., Debeljak, B., Škerjanc, M., Simčič, T., Kanduč, T., Brancelj, T., 2019. Modelling the effects of multiple stressors on respiration and microbial biomass in the hyporheic zone using decision trees. *Water Research*, 149, 9-20.
- Virant-Doberlet, M., Kuhelj, A., Polajnar, J., Šturm, R., 2019. Predator-prey interactions and eavesdropping in vibrational communication networks. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 203.
- Vrezec, A., Saurola, P., Avotins, A., Kocijančič, S., Sulkava, S., 2018. A comparative study of Ural Owl *Strix uralensis* breeding season diet within its European breeding range, derived from nest box monitoring schemes. *Bird Study*, 65, S85-S95.
- Žunič Kosi, A., Zou, Y., Hoskovec, M., Vrezec, A., Stritih, N., Millar, J. G., 2017. Novel, male-produced aggregation pheromone of the cerambycid beetle *Rosalia alpina*, a priority species of European conservation concern. *PLoS ONE*, 12(8), e0183279.

Nacionalni inštitut za biologijo - Morska biološka postaja Piran

Martina Orlando-Bonaca, Janja Francé, Tjaša Kogovšek, Alenka Malej, Borut Mavrič,
Lovrenc Lipelj, Patricija Mozetič, Valentina Turk

Morska biološka postaja Piran Nacionalnega inštituta za biologijo (NIB-MBP) je v letu 2019 praznovala 50 let delovanja. Zasluge za njeno ustanovitev imata prof. Franc Sušnik in prof. Jože Štirn, čeprav se je že l. 1969 med nadobudnimi slovenskimi potapljači in biologi kazala potreba po postavitvi morske raziskovalne postaje na slovenski obali. Danes je MBP druga največja enota NIB, katere poslanstvo je ustvarjanje znanja za razumevanje procesov in sprememb v morju, nudenje strokovne podpore za trajnostni razvoj morskega in obalnega prostora ter širjenje znanja o morju za večanje morske pismenosti.

Že od vsega začetka so raziskave morske biodiverzitete osrednji steber dejavnosti MBP, ki se povezujejo z drugimi biološkimi področji oz. naravoslovnimi vedami v multi- in interdisciplinarni pristop za razumevanje strukture in delovanja obalnega ekosistema. Tako so najpomembnejša raziskovalna področja MBP biologija in ekologija morja in obalnega pasu, biogeokemično kroženje snovi, fizikalna oceanografija, podnebne spremembe, onesnaževanje morja, varstvo narave in okolja ter morska biotehnologija.

Spremembe v okolju, bodisi kot odraz naravne variabilnosti obalnega ekosistema bodisi kot odgovor na antropogene vplive, so skozi desetletja ponujale različne raziskovalne izzive. Če je bilo

v preteklosti težišče raziskav na problemih eutrofikacije – tako vzrokih kot posledicah, onesnaževanju s komunalnimi in industrijskimi odplakami ter občasnimi ekološkimi krizami v severnem Jadranu (npr. kopičenje želatinastih agregatov), so recentne raziskave MBP usmerjene v proučevanje globalnih oceanskih problemov in njihovih posledic, ki pa so na regionalnem ali lokalnem nivoju lahko še bolj silovite. Sredozemsko morje, in z njim severni Jadran, ni znano le kot vroča točka biodiverzitete, ampak tudi kot eno najhitreje segrevajočih se območij in najbolj onesnaženih s plastiko, kar predstavlja veliko grožnjo biodiverziteti. Nekaj izsledkov teh raziskav, ki potekajo na MBP, predstavljamo v nadaljevanju.

V zadnjih desetletjih se Sredozemsko morje z Jadranskim vred sooča z različnimi procesi, ki vplivajo na spremembe biotske raznovrstnosti. Taka procesa sta npr. tropikalizacija, pri kateri gre za širjenje toploljubnih (termofilnih) vrst proti severu, in bioinvazija, pri kateri prihajajo v Sredozemsko morje tujerodne vrste iz drugih biogeografskih provinc. Tudi v slovenskem morju vsako leto odkrivamo nove tujerodne vrste; večina teh sicer ne povzroča škode, nekaj pa je invazivnih. Med slednjimi strokovnjaki MBP-NIB raziskujemo populacijsko dinamiko in prehranjevanje tujerodne rebrače (*Mnemiopsis leidyi*), ki se že nekaj let masovno pojavlja tudi v slovenskih vodah (Malej et al. 2017). Rebrača spada v želatinozni plankton, kamor sodijo tudi meduze, ki so prav sezonsko zelo številčne v našem morju. V življenjskem krogu klobučnjaških meduz se izmenjujeta pritrjena polipna oblika, ki se nespolno razmnožuje, in prosto plavajoča meduza, ki se razmnožuje spolno. Na podlagi številnih raziskav lahko povzamemo, da višje temperature morja, predvsem v toplejšem delu leta, spodbujajo nespolno razmnoževanje polipov (Kogovšek et al. 2018). Poleg tega številne umetne podvodne strukture (pristanišča, marine, valobrani, vrtnalnice) nudijo dodaten habitat polipom, ki v vodni stolpec sprostitjo več efir, iz katerih se razvijejo nove meduze. Visoke gostote meduz



Slika 10: Raziskovalno plovilo Sagita in oceanografska boja Vida, dve milj severno od piranskega Rta Madona. (foto: Vladimir Bernetič)

Figure 10: Research boat Sagita and oceanographic buoy Vida, 2 miles north of Cape Madonna, Piran.

negativno vplivajo tudi na stalez malih pelagičnih rib (inčun, sardela), saj vsi plenijo zooplankton (Schnedler-Meyer et al. 2016).

Fitoplankton ima pomembno vlogo pri kroženju organske snovi v vodnem stolpcu in je dober indikator ekoloških sprememb. Značilnosti fitoplanktonske združbe v slovenskem morju zato kontinuirano spremljamo že več kot tri desetletja. Z analizami časovne vrste smo, tako v Tržaškem zalivu kot v celotnem severnem Jadranu, zabeležili pomembne spremembe (Mozetič et al. 2010). Tako so problemi povezani z eutrofikacijo, ki so bili pred 20–30 leti pogosti (npr. cvetenje morja in pomanjkanje kisika pri dnu), postali redkejši. Biomasa fitoplanktona se je značilno znižala, poleg tega pa prevladujejo manjše vrste kot nekoč. Spremembe smo zabeležili tudi na višjih trofičnih nivojih, saj se je zaradi spremenjene trofične kontrole ob manjšem vnosu hranilnih snovi v morje in množičnejšem pojavljanju meduz znižala tudi biomasa zooplanktona (Mozetič et al. 2012). Gonilo teh sprememb so predvsem spremembe regionalne klime, ki vpliva na zmanjšane rečne pretoke, in boljše upravljanje z odpadnimi vodami. Ekonomsko pomemben vidik dinamike fitoplanktona je tudi pojavljanje vrst, ki so lahko škodljive. Slovenske gojitelje školjk skrbijo predvsem cvetenja toksičnih vrst mikroalg, katerih strupeni produkti presnove se kopičijo v školjkah in lahko povzročajo zastrupitve pri ljudeh, ki se z njimi prehranjujejo. Tudi te vrste spremljamo že dolgo (od leta 1994), analize pa so poleg precej predvidljivega sezonskega pojavljanja (Francé in Mozetič 2006) pokazale na precejšnjo medletno spremenljivost obsega namnožitve toksičnih vrst in pojavljanja toksinov v školjkah, zabeležili pa smo tudi nekatere nove vrste.

Velika prostorska in časovna variabilnost (sezonska, medletna) je značilna tudi za biomaso in vrstno sestavo bakterij (Tinta et al. 2015). Razlike so predvsem med površinskim in pridnenem sloju. Na spremenljivost vpliva predvsem temperatura, razpoložljivost in kakovost organskih hranil, oceanografski pogoji, ki so pod močnim vplivom antropogenih in podnebnih spremenljivk. Nenačnadi dogodki, kot so fitoplanktonska cvetenja, masovno pojavljanje meduz ali drugih organsko bogatih substratov (Vojvoda et al. 2014) sprožijo spremembe v biomas, taksonomski sestavi bakterij in arhej. Želatinozni zooplankton predstavlja

organsko bogata mikrookolja, ki omogočajo hitro rast in spremembe v strukturi funkcionalnih skupin bakterij, kar vpliva na procese kroženja ogljika in drugih elementov, ter trofičnih povezav (Kos-Kramar et al. 2019, Turk et al. 2008).

Spremembe so bile opažene tudi pri bentoških nevretenčarjih. Sredozemska kamena koral (*Cladocora caespitosa*) je dober indikator podnebnih sprememb. Pri nadpovprečnih poletnih temperaturah morja, še posej pa tedaj, ko se obdobje s temperaturo morja nad 25 °C zavleče za nekaj tednov v september, simbiotske alge zooksantele zapustijo koralo in pride do t.i. bledenja koral. Ta pojav v zadnjem desetletju redno beležimo na različnih območjih slovenskega morja. V kolikor temperatura v krajšem času pade, potem zooksantele rekolonizirajo tkivo koral.

Makroalge so prav tako dober indikator sprememb na kamnitem morskem dnu. Med njimi imajo rjave alge iz rodu *Cystoseira* (cistozire) pomembno vlogo kot gradniki habitatov, saj njihova tridimenzionalna struktura zagotavlja hrano in zatočišče za mnoge manjše alge, ribe in nevretenčarje. Različni antropogeni dejavniki, skupaj s podnebnimi spremembami, so odgovorni za zmanjšanje t.i. gozdičev rjavih alg v obalnem Sredozemskem morju, kjer so nekatere vrste cistozir regionalno že izumrle. Tudi v slovenskem morju smo v zadnjem desetletju ugotovili prostorske in sezonske spremembe v pokrovnosti cistozir (Orlando-Bonaca in Rotter 2018). V infralitoralnem pasu še vedno najdemo dve vrsti, *Cystoseira barbata* in *C. compressa*, medtem ko so druge vrste iz tega rodu že redke. Zaradi tega si s pomočjo ARRS sredstev (raziskovalni projekt J1-1702) prizadevamo, da bi natančneje ocenili stanje in porazdelitev gozdičev rjavih alg, prepoznali vzroke za njihovo regresijo, in predlagali ter testirali ohranitvene in obnovitvene ukrepe. Od leta 2016 smo priča tudi trendu krčenja morskih travnikov kolenčaste cimodoceje (*Cymodocea nodosa*) na sedimentnem dnu (Lipej et al. 2018). Izkazalo se je, da je do tega prišlo zaradi antropogenih vplivov s kopnega, kot so gradbena dela, ki vodijo v zasipavanje travnikov.

Izbrane reference

- Francé, J., Mozetič, P., 2006. Ecological characterization of toxic phytoplankton species (*Dinophysis* spp., Dinophyceae) in Slovenian mariculture areas (Gulf of Trieste, Adriatic Sea) and the implications for monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 52 (11), 1504-1516.
- Kogovšek, T., Vodopivec, M., Raicich, F., Uye, S.-I., Malej, A., 2018. Comparative analysis of the ecosystems in the northern Adriatic Sea and the Inland Sea of Japan: Can anthropogenic pressures disclose jellyfish outbreaks? *Science of the Total Environment*, 626, 982-994.
- Kos Kramar, M., Tinta, T., Lučić, D., Malej, A., Turk, V., 2019. Bacteria associated with moon jellyfish during bloom and post-bloom periods in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *PloS one*, 14(1), 1/21.
- Lipej, L., Ivajnsič, D., Makovec, T., Mavrič, B., Šiško, M., Trkov, D., Orlando-Bonaca, M., 2018. Raziskava z oceno stanja morskih travnikov v Krajinskem parku Strunjan. Zaključno poročilo, november 2018. Poročila 174. Morska Biološka Postaja, Nacionalni Inštitut za Biologijo, Piran, 37 str.
- Malej, A., Tirelli, V., Lučić, D., Paliaga, P., Vodopivec, M., Goruppi, A., Ancona, S., Benzi, M., Bettoso, N., Camatti, E., Ercolessi, M., Ferrari, C.R., 2017. *Mnemiopsis leidyi* in the northern Adriatic: Here to stay? *Journal of Sea Research*, 124, 10-16.
- Mozetič, P., Solidoro, C., Cossarini, G., Socal, G., Precali, R., France, J., Bianchi, F., De Vittor, C., Smodlaka, N., Fonda Umani, S., 2010. Recent trends towards oligotrophication of the northern Adriatic: evidence from chlorophyll a time series. *Estuaries and Coasts*, 33, 362-375.
- Mozetič, P., France, J., Kogovšek, T., Talaber, I., Malej, A., 2012. Plankton trends and community changes in a coastal sea (northern Adriatic): Bottom-up vs. top-down control in relation to environmental drivers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115, 138-148.
- Orlando-Bonaca, M., Rotter, A., 2018. Any signs of replacement of canopy-forming algae by turf-forming algae in the northern Adriatic Sea? *Ecological Indicators*, 87, 272-284.
- Schnedler-Meyer, N.A., Mariani, P., Kirrboe, T., 2016. The global susceptibility of coastal forage fish to competition by large jellyfish. *Proceedings of the Royal Society B*, 283, 20161931.
- Tinta, T., Vojvoda, J., Mozetič, P., Talaber, I., Vodopives, M., Malfatti, F., Turk, V., 2015. Bacterial community shift is induced by dynamic environmental parameters in a changing coastal ecosystem (northern Adriatic, northeastern Mediterranean Sea) - a 2-year time-series study. *Environmental Microbiology*, 17 (10), 3581-3596.
- Turk, V., Lučić, D., Flander-Putrlje, V., Malej, A., 2008. Feeding of *Aurelia* sp. (Scyphozoa) and links to the microbial foodweb. *Marine Ecology*, 29 (4), 495-505.
- Vojvoda, J., Lamy, D., Sintes, E., Garcia, J.A.L., Turk, V., Herndl, G.J., 2014. Seasonal variation in marine-snow-associated and ambient-water prokaryotic communities in the northern Adriatic Sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 73, 211-224.

Zahvala

Prof. Sket se zahvaljuje Mateji Grašič za odločujoči zadnji pregled rokopisa.