

# Uzroci i posljedice širenja invazivnih rakušaca u rijeci Dravi na području sjeverozapadne Hrvatske

---

Prevedan, Franka

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:437107>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-24**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno - matematički fakultet

Biološki odsjek

Franka Prevedan

**UZROCI I POSLJEDICE ŠIRENJA INVAZIVNIH RAKUŠACA U RIJECI DRAVI NA  
PODRUČJU SJEVEROZAPADNE HRVATSKE**

Diplomski rad

Zagreb, 2018.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno - matematičkog fakulteta pod stručnim vodstvom izv. prof. dr. sc. Sanje Gottstein. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra Znanosti o okolišu.

## ZAHVALA

*Ovim putem htjela bi se zahvaliti mentorici izv.prof.dr.sc. Sanji Gottstein na ukazanoj stručnoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada.*

*Također bi se htjela zahvaliti svojim roditeljima koji su uvijek bili uz mene, pružajući mi ljubav i potporu u svakoj situaciji.*

*Veliko hvala i svim mojim prijateljima, te kolegama sa fakulteta koji su mi uljepšali studentske dane.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno - matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

Uzroci i posljedice širenja invazivnih rakušaca u rijeci Dravi na području sjeverozapadne  
Hrvatske

Franka Prevedan

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

Širenje invazivnih vrsta u rijeci Dravi predstavlja izravnu prijetnju za autohtone vrste i sveukupnu bioraznolikost ekosustava rijeke Drave. Ciljevi ovog istraživanja bili su utvrditi sastav i bogatstvo autohtonih i invazivnih vrsta u različitim tipovima staništa tri hidroenergetska sustava rijeke Drave, utvrditi osnovne fizikalno-kemijske parametre vode koji uvjetuju naseljavanje istraživanih vrsta rakušaca te podrijetlo i puteve širenja invazivnih vrsta. Tijekom ovog istraživanja od 2009. do 2012. godine te od 2016. do 2017. godine pronađene su tri invazivne vrste: *Dikerogammarus vilosus*, *D. haemobaphes* i *D. bispinosus* podrijetlom iz Ponto-kaspijskog bazena. Odvodni kanali i stari tok rijeke (biološki minimum) predstavljaju tip staništa s najvećom brojnošću invazivnih vrsta, dok su autohtone vrste najviše brojne u drenažnim jarcima. Rasprostranjenost vrste *D. vilosus* ukazuje na trend uzvodnog širenja kroz HE sustave rijeke Drave, kojem osobito pogoduje šljunkoviti supstrat protočnih odvodnih kanala. Ova vrsta je svojom zastupljenošću i gustoćom populacija istisnula populacije invazivnih vrsta *D. haemobaphes* i *D. bispinosus*, a na nekim istraživanim postajama uzrokovala potpuni nestanak autohtone faune.

(75 stranice, 35 slika, 11 tablica, 44 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: invazivne vrste, Drava, drenažni jarci, uzvodno širenje, nestanak autohtonih vrsta

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Ocjenitelji: Izv. prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Izv. prof. dr. sc. Sandra Radić-Brkanac

Prof. dr. sc. Jasenka Sremac

Izv. prof. dr. sc. Nenad Buzjak

Zamjena: Izv. prof. dr. sc. Neven Bočić

Rad je prihvaćen: 7. lipnja 2018.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Division of Biology

Graduation Thesis

Causes and consequences of spreading invasive shrimps in the Drava River, NW Croatia

Franka Prevedan

The spread of invasive species in the Drava River represents the direct threat to native species and the overall ecosystem biodiversity. The major goals of this study were to determine structure and richness of native and invasive species in all habitat types of the three hydropower systems of the Drava River, as well as their origin, spreading routes and dependence on physicochemical properties causing colonisation of different types of habitats. During this study (2009, 2010, 2011, 2012, 2016, 2017) three invasive species of Ponto-Caspian origin were recorded: *Dikerogammarus vilosus*, *D. haemobaphes* and *D. bispinosus*. Tailrace canals and old river channels (biological minimum) represent the habitat type with the highest abundance of invasive species, while native species were the most abundant in drainage ditches. Distribution of *D. vilosus* shows its upstream spreading through the HEPP of the Drava River, which particularly prefers stony substrate in flow conditions of tailrace canals. High frequency and abundance of invasive species *D. vilosus* has squeezed out populations of other invasive species such as *D. haemobaphes* and *D. bispinosus*, whereas on some study sites this species caused complete disappearance of native species.

(75 pages, 35 figures, 11 tables, 44 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Key words: invasive species, river Drava, drain trenches, upstream spreading, disappearance of native species

Supervisor: Dr. Sanja Gottstein, Assoc. Prof.

Reviewers: Dr. Sanja Gottstein, Assoc. Prof.

Dr., Sandra Radić-Brkanac Assoc. Prof.

Dr., Jasenka Sremac Prof.

Dr. Nenad Buzjak, Assoc. Prof.

Replacement: Dr., Neven Bočić Assoc. Prof.

Thesis accepted: 2018

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. Podrijetlo i sastav invazivnih vrsta rakušaca u Europi.....	1
1.2. Mehanizmi, uspješnost i posljedice širenja invazivnih vrsta rakušaca u Europi .....	2
1.3. Sastav vrsta i putevi širenja invazivnih rakušaca u slatkim vodama Hrvatske .....	5
1.4. Invazivne vrste rakušaca u rijeci Dravi.....	7
1.5. Ciljevi rada.....	10
<b>2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>11</b>
2.1. Krajobrazne značajke rijeke Drave.....	13
2.2. Geografske značajke slijeva rijeke Drave .....	16
2.3. Hidromorfološke značajke slijeva rijeke Drave .....	17
2.4. Klima, hidrologija i hidrografija slijeva rijeke Drave .....	20
2.4.1. Klima.....	20
2.4.2. Hidrologija.....	20
2.4.3. Hidrografija.....	20
2.5. Tipologija površinskih voda slijeva rijeke Drave.....	21
2.6. Hydroakumulacije na rijeci Dravi .....	22
2.6.1. HE Varaždin .....	23
2.6.2. HE Čakovec .....	23
2.6.3. HE Dubrava.....	24
2.7. Opis istraživanih postaja .....	24
<b>3. MATERIJALI I METODE.....</b>	<b>30</b>
3.1. Terenska istraživanja.....	30
3.2. Laboratorijska istraživanja .....	31
3.3. Analiza podataka .....	32
3.3.1. Fizikalno-kemijski parametri vode .....	32
3.3.2. Analiza zajednica rakušaca .....	32
<b>4. REZULTATI .....</b>	<b>35</b>
4.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode .....	35
4.1.1. Temperatura.....	35
4.1.2. Količina otopljenog kisika .....	36
4.1.4. pH .....	38
4.1.5. Električna provodnost.....	40
4.1.6. Ostali parametri.....	41
4.1.7. Protoci i vodostaji rijeke Drave na mjernoj postaji Donja Dubrava .....	44
4.2. Faunistički sastav rakušaca.....	46
4.3. Raznolikost faune rakušaca .....	47
4.3.1. HE Varaždin .....	47
4.3.2. HE Čakovec .....	48
4.3.3. HE Dubrava.....	50
4.4. Zastupljenost autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca .....	51
4.5. Gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca .....	58
4.6. Sličnost zajednica rakušaca istraživanog hidroenergetskog sustava rijeke Drave.....	63

<b>5. RASPRAVA.....</b>	<b>66</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>69</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>70</b>
<b>8. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>75</b>



## 1. UVOD

Važnost kopnenih voda za ljudsku populaciju je neizmjenjerna, pa samim time promjene u dobrima i uslugama koje nam pružaju ovi ekosustavi imaju snažan utjecaj na čovječanstvo (Žilić 2013). Nažalost, danas su tekućice najugroženiji ekosustavi na planeti zbog gradnje naselja i iskorištavanja vode za ljudske potrebe, proizvodnju električne energije i ispusta otpadnih voda. Tekućice su također u izravnom kontaktu s vodonosnicima, pa bilo kakva promjena utječe direktno i na njih (Malquist i Rundle 2002). Slatke vode su sve više zagađene i zbog štetnog antropogenog djelovanja koji utječe na smanjenje kvalitete vode, degradaciju i fragmentaciju staništa, intenzivno iskorištavanje okoliša (dobra) te unošenje invazivnih vrsta (Gherardi 2007).

Invazivne vrste predstavljaju veliku prijetnju bioraznolikosti u slatkovodnim ekosustavima te veliki izazov za očuvanje ekosustava na kontinentalnoj i globalnoj razini (Bacela-Spychalska i sur. 2013). Tijekom posljednji nekoliko desetljeća povećao se broj istraživanja invazivnih vrsta radi povećanja njihove brojnosti i utjecaja na brojne ekosustave. Dok neke invazivne vrste mogu imati pozitivan utjecaj, većina stranih vrsta istiskuje autohtone vrste te se ponašaju kao predatori i prenose brojne bolesti, a njihovo širenje ima dugotrajne posljedice za ekosustav. Uspješnost invazivnih vrsta često se tumači kroz hipotezu „enemy release hypothesis“ koja govori da nove vrste u ekosustavu nemaju toliko prirodnih neprijatelja (patogeni, predatori i paraziti) kao što je to slučaj s autohtonim vrstama (Wies 2010).

Vrste iz reda Amphipoda, koji pripada nadporodici Gammaroidea, su najrasprostranjeniji stanovnici slatkih i braktičkih voda u Europi te čine važnu funkcionalnu skupinu životinja. S obzirom na gustoću populacija, ove vrste su dominantne ili subdominantne u litoralu rijeka i jezera. U tom staništu vrste iz reda Amphipoda pridonose kruženju tvari i energije u sustavu jer konzumiraju mrtvu tvar, a ujedno predstavljaju i hranu za mnoge vrste riba. Pojava stranih vrsta u Europi predstavlja veliku prijetnju za autohtonu faunu rakušaca, zato što strane vrste stvaraju stabilne zajednice u rijekama pa čak i u njihovim estuarijima (Grabowski i sur. 2007).

### 1.1. Podrijetlo i sastav invazivnih vrsta rakušaca u Europi

U ekosustavima slatkih i boćatih voda Europe prisutan je iznimno veliki broj vrsta rakušaca reda Amphipoda, koji se kontinuirano povećava pronalaskom novih vrsta za znanost te širenjem invazivnih vrsta, koje slučajnim ili namjernim unošenjem te prirodnim mehanizmima širenja uzvodnim kretanjima mijenjaju prirodni areal i ulaze u kopnene vode u sve većem broju

zemalja Europe. Ove vrste u novom okruženju naseljavaju morski okoliš i estuarije rijeka. Najveći broj invazivnih vrsta iz reda Amphipoda koji naseljava kopnene vode Europe podrijetlom je iz Ponto-kaspijskog bazena (porječja i priobalne vode Crnog mora i Kaspijskog jezera), dok je znatno manji broj vrsta iz Sjeverne Amerike, Australije i Azije, a najmanji je broj onih vrsta koje su se proširile iz jedne europske regije u drugu (Holdich i Pöckl 2007, Žilić 2013).

Kopnene vode središnje Europe predstavljaju stanište i za autohtone i invazivne vrste rakušaca. Autohtone vrste *Gammarus fossarum* Koch, 1836, *G. pulex*, *G. lacustris*, *G. varsoviensis*, *G. balcanicus*, *G. leopoliensis* i *G. roeselii* tipični su stanovnici nizinskih i poluplaninskih tokova kao što su izvori, potoci, velike rijeke i jezera. Od invazivnih vrsta, vrsta *Gammarus tigrinus* podrijetlom je iz Sjeverne Amerike, dok su novopridošle vrste *Echinogammarus ischnus*, *Pontogammarus robustoides*, *Obesogammarus crassus*, *Dikerogammarus haemobaphes* i *D. villosus* podrijetlom iz Ponto-kaspijskog slijeva (Grabowski i sur. 2007). Najvažnije odlike njihovog ponašanja i ekologije, zbog kojih su tako uspješne, su relativno kratak životni vijek, brz rast, rano spolno sazrijevanje, povećan fekunditet, zaštita juvenilnih oblika, neopredijeljenost na određeni način prehrane, eurivalentnost i eurihalinost (Žganec i sur. 2009). Također, ukoliko su invazivne vrste zaražene parazitima, one na različite načine negativno utječu na izvorne vrste. Kada potisnu i zamjene autohtonu faunu, invazivne vrste mijenjaju staništa te ubrzavaju sve procese u ekosustavu (prijenos energije i tvari), što uzrokuje niz ekoloških problema i poteškoća u okolišu te velike ekonomske gubitke (Emde i sur., 2012).

## 1.2. Mehanizmi, uspješnost i posljedice širenja invazivnih vrsta rakušaca u Europi

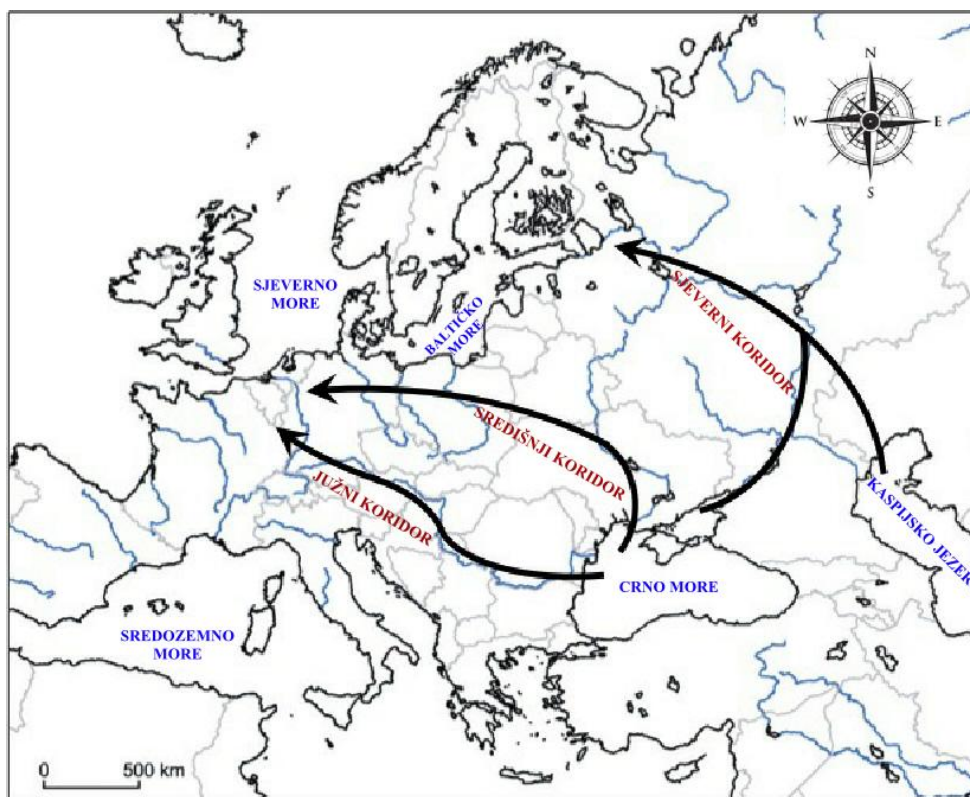
Intenzivan i sveprisutan antropogeni utjecaj na okoliš uvjetuje velike strukturne i ekološke promjene koje pogoduju migracijama invazivnih vrsta. Pojava invazivnih vrsta u velikim europskim rijekama predstavlja ozbiljnu prijetnju autohtonim vrstama i drugim ekosustavima uz vodotoke, uzrokujući ireverzibilne promjene u strukturi zajednica, u ponašanju pojedinih vrsta, kompetitivni i predatorski pritisak te unos bolesti i parazita. Najvažniji vektori širenja invazivnih vrsta izvan njihove primarne geografske regije su izgradnja riječnih kanala, transport prekooceanskim brodovima, širenje putem balastnih voda te namjeran unos vrsta (Platvoet i sur. 2009, Žganec i sur. 2018). Primjer je vrsta *Dikerogammarus villosus*, čiji su najvažniji vektori širenja na globalnoj razini transport balastnim vodama, obraštajem te komercijalnim brodovima.

Širenje ove vrste u mnogim prirodnim i umjetnim jezerima u Europi uvjetovano je drugim vektorima od kojih je najvažniji kopneni transport u manjim brodicama i čamcima za rekreaciju te transport vrsta tijekom ronilačkih aktivnosti. Vrsta *D. vilosus* često obitava u zajednicama sa školjkašem *Dreissena bugensis*, u čijim ljušturama može preživjeti nepovoljna sušna razdoblja te na taj način biti transportirana u novo područje (Bacela-Spychalska i sur. 2013, Wies 2010) (Slika 2).

Unos vodenih organizama izvan njihovog prirodnog područja može biti namjeran ili slučajan, a događa se povezivanjem riječnih sljevova ili namjernim unošenjem željenih vrsta zajedno s neželjenim vrstama. Namjeran unos vodenih vrsta u slatkim vodama je važan zbog akvakulture, obnavljanja zajednica divljih životinja te kontrole nad neželjenim vrstama, što je osobito izraženo kod riba. Najvažniji pokazatelj nenamjernog internacionalnog unosa vrsta je transport velikih količina vode u balastnim spremnicima brodova iz jedne biogeografske regije u drugu. Nedavno je utvrđeno kako svjetski teretni brodovi prenose 8-10 milijardi tona balastne vode na godinu i s njome transportiraju oko 3000-4000 vrsta svaki dan. Uz transport invazivnih vrsta teretnim brodovima, izgradnja kanala je također jedan od čimbenika koji utječe na njihovo širenje, zato što se njihovom izgradnjom povezuju prethodno odvojene biogeografske regije (Bij de Vaate i sur. 2002). Najpogodniji sustavi za širenje invazivnih vrsta su riječni tokovi, osobito ako su izmijenjeni antropogenim djelovanjem. Devastacijom prirodnih barijera između različitih sljevova u Europi tijekom 19. i 20. stoljeća došlo je do širenja mnogih stranih vrsta (Berezina i Duriš 2008). Postepeno širenje invazivnih vrsta započelo je povezivanjem riječnih sljevova već u 17. stoljeću, a najvažnija faza u izgradnji kanala odvijala se u 18. stoljeću, kada su povezane rijeke Bug i Pripyat, rijeke Vistula i Volga te rijeke Elba i Odra. Rijeke Volga i Don, zajedno sa svojim pritocima, su povezane plovnim kanalom Volga-Don 1952. godine, što je omogućilo povezivanje Kaspijskog i Crnog mora (Bij de Vaate i sur. 2002). Zajednice autohtonih rakušaca u Europi bile su stabilne do sredine 1960-ih godina, sve do izgradnje kanala između rijeke Majne (slijev rijeke Rajne) i Dunava 1992. godine, koji je omogućio velike migracije ponto-kaspijskih vrsta rakušaca iz gornjih tokova Dunava u rijeku Majnu te daljnje širenje vrsta u različitim smjerovima (Berezina i Duriš 2008).

Općenito, širenje vrsta iz Ponto-kaspijskog slijeva odvija se preko tri migracijska koridora, a to su sjeverni, središnji i južni koridor (Slika 1). Sjeverni koridor obuhvaća rijeku Volgu, jezera Beloye, Onega i Ladoga te rijeku Nevu i Baltičko more. Pretpostavlja se da je ovaj

koridor bio važan za širenje školjkaša u 18. stoljeću . Središnji koridor obuhvaća rijeke Dnjepar, Vistulu, Odru, Elbu i Rajnu. Putem ovog koridora invazivnim vrstama je omogućeno širenje prema Baltičkom moru i zapadnoj Europi. Zapravo, sjeverni i središnji koridor čine najvažniji put širenja Ponto-kaspijskih makroskopskih beskralješnjaka u Baltičke morske lagune. Južni koridor obuhvaća rijeke Dunav i Rajnu. Stalna razina vode u gornjem dijelu kanala Majna-Dunav i zaliha vode iz dunavskog slijeva pogodne su za migracije iz rijeke Dunava u rijeku Rajnu. Ovim koridorom proširili su se rakušci vrsta *Dikerogammarus haemobaphes*, *D. villosus* i *Echinogammarus trichiatus*, te predstavnici reda Isopoda, razreda Polychaeta te koljena Planaria (Bij de Vaate i sur. 2002).



Slika 1. Koridori migracija ponto-kaspijskih vrsta u Europi (Izvor karte: [www.hist-geo.com](http://www.hist-geo.com); prema Bij de Vaate i sur. 2002, preuredeno i prilagođeno).



Slika 2. Invazivna vrsta školjkaša *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) u zajednici s rakušcem ubojicom *Dikerogammarus villosus* (foto. U. Messner).

### 1.3. Sastav vrsta i putevi širenja invazivnih rakušaca u slatkim vodama Hrvatske

Invazivne vrste podrijetlom iz Ponto-kaspijskog slijeva šire se europskim slatkim vodama najviše preko kanala Majna-Dunav i ulaze u hrvatske slatke vode, u rijeku Dunav na istočnoj granici Republike Hrvatske s Republikom Srbijom te u najveće pritoke dunavskog slijeva u Hrvatskoj, rijeku Dravu i rijeku Savu i njihove pritoke (Žganec i sur. 2015).

U velikim hrvatskim rijekama, Savi, Dravi i Dunavu, pronađeno je sedam invazivnih vrsta iz reda Amphipoda, a to su *Chelicorophium curvispinum* (G.O. Sars, 1895), *Ch. sowinskyi* (Martynov, 1924), *Dikerogammarus bispinosus* Martynov, 1925, *D. haemobaphes* (Eichwald, 1841), *D. vilosus* (Sowinsky, 1894), *Obesogammarus obesus* (Sars G.O., 1894) i *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1899) (Tablica 1) (Žganec i sur. 2009, 2015, 2018).

Vrsta *Chelicorophium curvispinum* je najraširenija invazivna vrsta u Europi koja izvorno pripada velikim rijekama koje utječu u Crno more i Kaspijsko more, a raširila se u europske rijeke riječnim kanalima pričvršćena na brodske trupove te u balastnim vodama tijekom plovidbe i transporta dobara (Bij de Vaate i sur. 2002). Prvi puta je zabilježena u gornjem toku Dunava na početku 20. stoljeća, dok danas ova vrsta naseljava rijeku Dunav duž cijelog njenog toka uz istočnu granicu Hrvatske, te se proširila u rijeku Dravu, Savu i Kupu (Žganec i sur. 2009).

Putevi migracije vrste *Chelicorophium sowinkyi* prilično su nepoznati zato što je ovu vrstu teško razlikovati od vrste *Ch. curvispinum*. Njezino izvorno stanište su rijeke Dunav, Dnjepar, Volga i Don, a u Hrvatskoj naseljava donji tok rijeke Save. Za ovu vrstu se smatra da je otpornija od *Ch. Curvispinum* radi velike raširenosti i brojnosti u rijeci Savi. To ukazuje na mogućnost da je vrsta *Chelicorophium sowinkyi* prva kolonizirala rijeku Savu, a nakon nje vrsta *Ch. Curvispinum*, dok je druga mogućnost da vrsta *Ch. Curvispinum* ima manju sposobnost adaptacije te je slabiji kompetitor (Bij de Vaate i sur. 2012, Žganec i sur. 2018).

Izvorno stanište vrste *Dikerogammarus bispinosus* je rijeka Dnjepar koju karakterizira manja gustoća zajednica, dok se brojnost zajednica povećava migracijom jedinki u gornje tokove ostalih rijeka Ponto-kaspijskog slijeva. U prošlosti se za ovu vrstu smatralo da je podvrsta vrste *D. vilosus*, ali danas ima status vrste. Zajedno s vrstom *D. haemobaphes*, vrsta *D. bispinosus* je migrirala u jezero Balaton u Mađarskoj u ranim 1950-im godinama, gdje su potisnule autohtonu faunu, preciznije vrstu *Gammarus roeselii* (Bij de Vaate i sur. 2002). U Hrvatskoj je vrsta *D. bispinosus* pronađena samo u Dunavu (Žganec i sur. 2009).

Vrsta *Dikerogammarus haemobaphes*, hrvatskog imena rakušac demon (eng. demon shrimp), podrijetlom je iz Ponto-kaspijskog slijeva, a u drugoj polovici 20. stoljeća migrirala je u gornje tokove velikih rijeka Dunav, Dnjepar i Volga (Wawrzyniak-Wydrowska i Gruszka 2005). Prvi podaci o pronalasku vrste *D. haemobaphes* u Dunavu datiraju iz 1976. godine, a prema njima se ova invazivna vrsta rasprostranila u gornje tokove Dunava putem južnog koridora (Bij de Vaate i sur. 2002). U Hrvatskoj je vrsta *D. haemobaphes* pronađena u rijeci Savi, gdje dijeli stanište s vrstom *Chelicorophium curvispinum* te u rijeci Dravi gdje predstavlja završetak kontinuirane uzvodne distribucije invazivnih vrsta (Žganec i sur. 2009).

Vrsta *Dikerogammarus vilosus*, hrvatskog imena rakušac ubojica (eng. killer schrimp), je izvorni stanovnik donjih tokova velikih rijeka crnomorskog, kaspijskog i azorskog slijeva. To je vrsta rakušca koja je široko rasprostranjena u dunavskom slijevu i jezeru Balaton, a proširila se putem centralnog i južnog migracijskog koridora u zapadnu Europu. Prvi puta je pronađena u Dunavu 1992. godine, što je posljedica izgradnje kanala Majna-Dunav (Ruffo i sur. 2006, Berezina i Duris 2008). U Hrvatskoj, vrsta *D. vilosus* pronađena je u rijekama Dunavu i Dravi, gdje su zajednice jednoliko raspoređene i dominiraju duž velikog dijela toka (Žganec i sur. 2009).

Vrsta Ponto-kaspijskog podrijetla je vrsta *Obesogammarus obesus* koja pripada zajednicama makroskopskih beskralješnjaka srednjih i donjih tokova rijeke Dunava, ali se prvi

puta 1995. godine pojavljuju i u gornjim tokovima Dunava (Bij de Vaate i sur. 2002). U Hrvatskoj je ova vrsta pronađena samo u Dunavu zajedno u zajednicama s vrstama *D. vilosus* i *C. curvispinum* (Žganec i sur. 2009).

Vrsta *Echinogammarus ischnus* izvorno potječe iz rijeka Ponto-kaspijskog slijeva to jest donjeg toka rijeke Volge i delte Dunava, a migrirala je u zapadnu Europu preko centralnog i južnog europskog koridora. Prvi puta je zabilježena u srpskom dijelu rijeke Dunav 1961. i 1962. godine, dok je u novijim istraživanjima pronađena i u hrvatskom dijelu Dunava te u donjim tokovima rijeke Drave (Žganec i sur. 2015).

Tablica 1. Popis invazivnih vrsta (Amphipoda) dosada pronađenih u hrvatskim rijekama, te godina kada su prvi puta zabilježene.

Nadporodica	Porodica	Rod	Vrsta	Rijeka*	Prvi nalaz	Literatura
Gammaroidea	Gammaridae	<i>Dikerogammarus</i>	<i>bispinosus</i>	Dunav (Zlatna Greda)	2007	Žganec i sur. 2009
			<i>haemobaphes</i> (Eichwald, 1841)	Drava (Ferdinandovac) Sava (Stara Gradiška)	2007 2007	Žganec i sur. 2009
			<i>villosus</i> (Sovinsky, 1894)	Drava (Legrad)	2007 2007	Žganec i sur. 2009
		<i>Echinogammarus</i>	<i>ischnus</i> Stebbing, 1899	Drava (Donji Miholjac) Dunav (Batina)	2015 2015	Žganec i sur. 2015
	Pontogammaridae	<i>Obesogammarus</i>	<i>obesus</i> (Sars G.O., 1894)	Dunav (Batina)	2007	Žganec i sur. 2009
Corophioidea	<i>Corophiidae</i>	<i>Chelicorophium</i>	<i>curvispinum</i> (G.O. Sars, 1895)	Drava (Molve) Sava (Bosanska Gradiška)	2007 1975	Žganec i sur. 2009 Matoničkin i sur. 1975
			<i>sowinskyi</i> (Martynov, 1924)	Sava (Lukavec Posavski)	2012	Žganec i sur. 2018

\*najuzvodnija lokacija

#### 1.4. Invazivne vrste rakušaca u rijeci Dravi

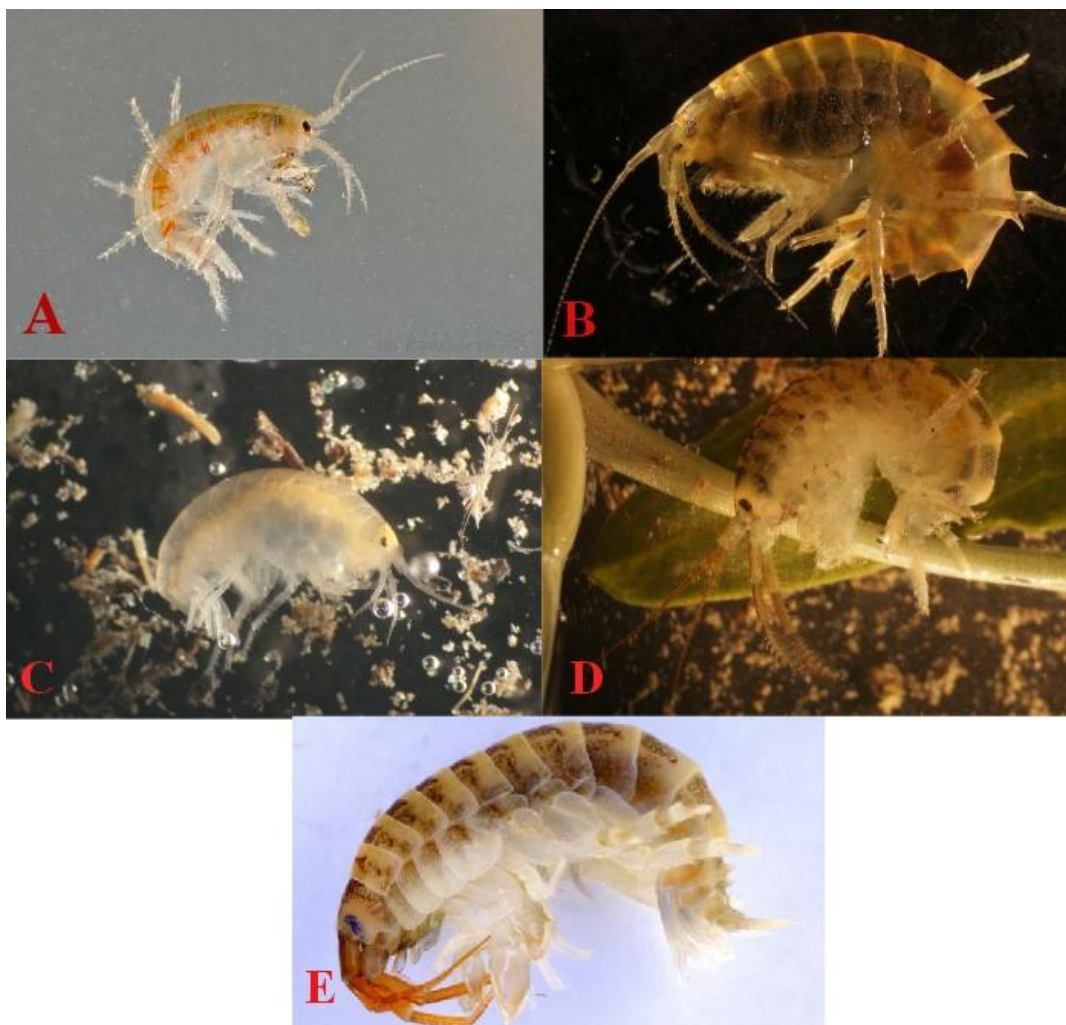
U dosadašnjim istraživanjima utvrđene su četiri invazivne vrste rakušaca *Chelicorophium curvispinum*, *Dikerogammarus haemobaphes*, *D. vilosus* i *Echinogammarus ischnus*, koje se pojavljuju u rijeci Dravi unutar granica Republike Hrvatske (Slika 3). Smatra se da je uzvodno širenje invazivnih vrsta u Dravi posljedica nenamjernog transporta vrsta u malim ribarskim brodovima ili aktivnog širenja rakušaca uzvodno i nizvodno od prvobitnog mjesta ulaska (Žganec i sur., 2009, 2015). U slatkovodnim ekosustavima brojnost invazivnih vrsta se naglo povećava, što dovodi do progresivne eliminacije autohtonih vrsta u kratkom vremenskom razdoblju (Ruffo i sur. 2006). Najčešće autohtone vrste rakušaca u rijeci Dravi su vrste *Gammarus fossarum*, *G. roeselii* i *Synurella ambulans* (Slika 3). Vrste roda *Gammarus* se pojavljuju u istoj geografskoj

regiji, ali se razlikuju u rasprostranjenosti, pri čemu vrsta *G. fossarum* nastanjuje gornje tokove rijeka i izvore, a vrsta *G. roeselii* donje tokove velikih rijeka (Pöckl i sur. 2003).

Vrsta *Chelicorophium curvispinum* je najraširenija ponto-kaspijska invazivna vrsta u hrvatskim rijekama, a u rijeci Dravi zajednice ove vrste jednoliko naseljavaju veći dio toka rijeke (Žganec i sur. 2009). Ova vrsta najčešće obitava na čvrstom supstratu, gdje gradi cjevaste kućice od slijepljenih suspendiranih čestica u vodi te u njima provodi svoj životni vijek. Zbog sklonosti da stvaraju guste zajednice na supstratu, ova vrsta može posve izmijeniti supstrat te tako negativno utjecati na zajednice litorala (Bij de Vaate i sur. 2002). U zajednicama s vrstom *Ch. curvispinum* često obitavaju vrste *D. haemobaphes* i *D. vilosus* (Žganec i sur., 2009). Vrsta *D. haemobaphes* je eurivalentna vrsta koja preferira čvrst supstrat, makrofite i alge rijeka i jezera. Jedinke ove vrste su tolerantne na promjene saliniteta do 8 ‰ te na velika kolebanja temperature između 6-30°C (Bij de Vaate i sur. 2002). Vrstu *D. haemobaphes* karakterizira visok potencijal produkcije, koji je izražen s velikim fekunditetom, ranim spolnim sazrijevanjem i učestalom reprodukcijom (do tri generacije) svake godine (Grabowski i sur. 2007). Jedna od najuspješnijih invazivnih vrsta u rijeci Dravi je vrsta *D. vilosus* koja negativno utječe na raznolikost autohtonih vrsta i na cijeli ekosustav. Ova vrsta je opasan predator koji se hrani drugim rakušcima, juvenilnim jedinkama rakova i ribama. Na razini ekosustava, vrsta *D. vilosus* može uvelike promijeniti hranidbenu mrežu, uključujući hranidbene navike ribljih vrsta, dekompoziciju otpadnih tvari te kruženje energije. Bitno obilježje ove vrste je visoka ekofiziološka tolerancija koja omogućava preživljavanje u teškim uvjetima i prilagođavanje u novom okolišu uključujući i prilagođavanje na velike oscilacije temperature, nisku koncentraciju kisika i povišen salinitet (Bacela-Spychalska i sur. 2013). Distribucija ove vrste u rijeci Dravi je jednolika duž donjeg dijela njenog toka. U nekim dijelovima rijeke vrsta *D. vilosus* obitava zajedno s vrstama *D. haemobaphes* i *Gammarus roeselii* najvjerojatnije zbog različitog odabira mikrostaništa, gdje vrsta *D. vilosus* preferira kameniti supstrat a ostale vrste preferiraju makrofite. Recentniji stanovnik rijeke Drave je invazivna vrsta *Echinogammarus ischnus*, a pronađena je u donjim tokovima rijeke, gdje na nekim mjestima obitava zajedno s vrstama *D. vilosus* i *Ch. curvispinum*. Brojnost zajednica ove vrste u rijeci Dravi je mala zbog muljevitog supstrata koji ne pogoduje njenom naseljavanju. U svom izvornom staništu, vrsta *E. ischnus* naseljava čiste slatke i braktične vode velikih pritoka te područja litorala Kaspijskog jezera i Crnog mora. Slatkovodna populacija ove vrste je primarno riječna vrsta koja tolerira promjene saliniteta vode, a preferira



spore tekućice s kamenitim supstratom. Vrsta *E. ischnus* najčešće obitava na kamenju i šljunku uz plitke rubne dijelove rijeka i jezera (Žganec i sur. 2015).



Slika 3. Autohtone i invazivne vrste rakušaca u rijeci Dravi; A- *Gammarus fossarum* (foto. Jan Hamrsky); B- *Gammarus roeselii* (foto. S. Gottstein); C- *Synurella ambulans* (foto. S. Gottstein); D- *Dikerogammarus vilosus* (foto. S. Gottstein); E- *Dikerogammarus haemobaphes* (izvor: <https://envirotecmagazine.com/2017/01/24/demon-shrimp-threatens-uk-river-life/>).

## 1.5. Ciljevi rada

Ovaj diplomski rad temelji se na dugogodišnjem monitoringu rijeke Drave u okviru praćenja sastava zajednica makroskopskih beskralješnjaka za potrebe izrade ribarske osnove u staništima hidroenergetskog sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava, a imala je tri osnovna cilja:

- 1) Faunistička istraživanja su provedena s ciljem utvrđivanja sastava i bogatstva vrsta, indeksa raznolikosti, zastupljenosti i gustoće populacija prirodnih i invazivnih vrsta rakušaca u različitim tipovima staništa akumulacija Čakovec, Dubrava i Varaždin na rijeci Dravi.
- 2) Ekološkim istraživanjima nastojali su se utvrditi osnovni fizikalno-kemijski parametri vode u istraživanim dijelovima toka rijeke Drave koji su pod antropogenim utjecajem, kao pokazatelji uvjeta staništa na kojima istraživane vrste rakušaca obitavaju.
- 3) Biogeografskom analizom utvrđenih vrsta cilj rada bio je usmjeren na utvrđivanje prisutnosti, podrijetla, putova, brzine i fronti širenja invazivnih vrsta rakušaca u istraživanim dijelovima toka rijeke Drave.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Područje istraživanja nalazi se na sjeverozapadu Republike Hrvatske uz rijeku Dravu od naselja Donja Dubrava u Međimurskoj županiji rkm 241+850 (Hidrografski atlas rijeke Drave, 2009) do naselja Otok Virje u Varaždinskoj županiji rkm 312+600 (Hidrografski atlas rijeke Drave, 2007) te obuhvaća hidroenergetske sustave na rijeci Dravi (HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava) kao i stara korita rijeke Drave (Slika 4).

Slijev rijeke Drave u Hrvatskoj podijeljen je na 4 dijela sukladno prirodnim osobinama, a temeljem analize koju je izradio Zavod za ornitologiju HAZU, a vrednovan je kao područje važno za ptice Europske Unije. Ti dijelovi su Dravske akumulacije, Gornji tok Drave (od Donje Dubrave do Terezinog Polja), Srednji tok Drave (od Terezinog Polja do Donjeg Miholjca) i donje Podravlje (od Donjeg Miholjca do ušća) (Trenc i sur. 2009). Prema navedenoj podjeli područje istraživanja nalazi se u dijelu slijeva "Dravske akumulacije", a koji je najuzvodniji dio slijeva rijeke Drave u Republici Hrvatskoj.



Slika 4. Prikaz istraživanog segmenta toka rijeke Drave: Donja Dubrava rkm 241+850 – Otok Virje rkm 312+600 (DOF, izvor: <https://geoportal.dgu.hr/>; obrađeno i prilagođeno).

## 2.1. Krajobrazne značajke rijeke Drave

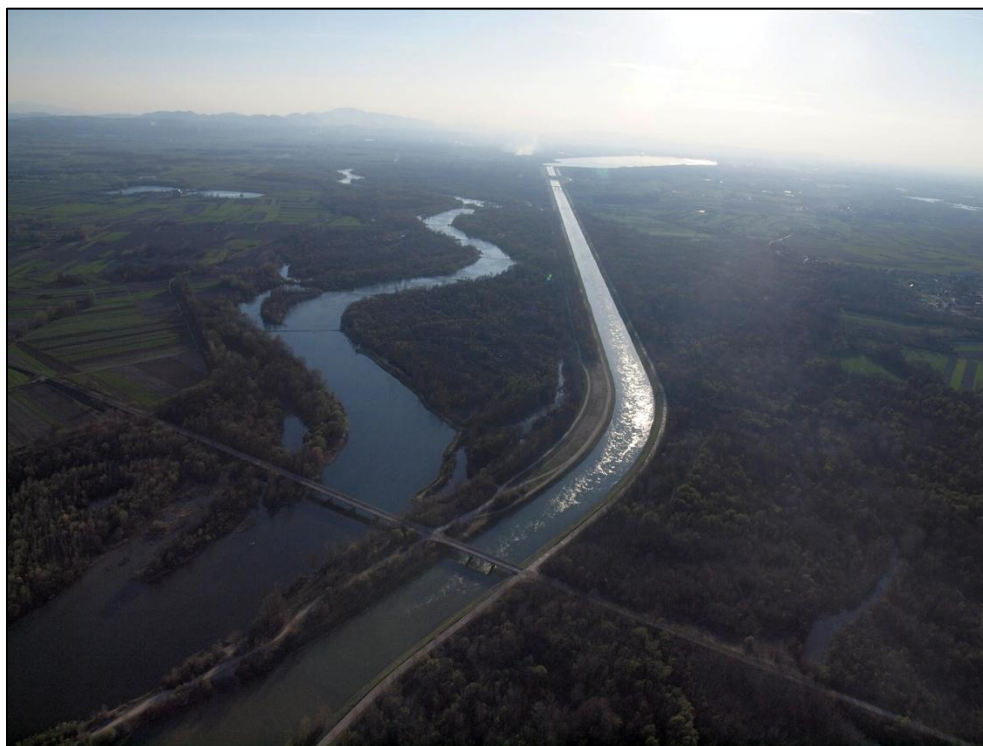
Tok rijeke Drave u Hrvatskoj obilježava iznimna prirodna vrijednost te je zbog toga zaštićen i pripada UNESCO-ovom Prekograničnom rezervatu biosfere Mura-Drava-Dunav, Regionalnom parku Mura-Drava, te je dio ekološke mreže Europske Unije Natura 2000 (WWF ADRIA. 2018). Rijeka Drava je proglašena dijelom Regionalnog parka Drava- Mura 10.02.2011. godine od strane Vlade Republike Hrvatske, na temelju Uredbe o proglašenju regionalnog parka Drava-Mura (NN 22/2011) zbog svoje krajobrazne raznolikosti i obilježja riječnog krajobraza. Park obuhvaća poplavno područje formirano duž riječnih tokova, a uključuje i prijelazno područje s poljoprivrednim površinama i manjim naseljima uz rijeke sve do ušća Drave u Dunav kod Aljmaša (Trenc i sur. 2009).

Općenito, značajke krajobraza čine prirodni elementi (reljef, tlo, voda i vegetacija) ili kombinacija prirodnih i antropogenih elemenata (naselja, poljoprivredno zemljište i infrastruktura) koji pridonose posebnosti određenog područja (Marić i Grgurević 2007). U Hrvatskoj rijeku Dravu obilježava velika razvedenost obala duž njenog cijelog toka te pojavljivanje brojnih šljunčanih sprudova i rukavaca, a njeno poplavno područje okružuju pašnjaci i poljoprivredne površine. S obzirom na specifična obilježja krajobraza uz rijeku Dravu, ističu se tri krajobrazna područja koja se pojavljuju duž njenog toka, a nastala su prirodnim ili antropogenim djelovanjem. U krajoliku uz samu rijeku pojavljuju se tipični morfološki oblici kao što su strme obale, sprudovi i meandri te je dobro razvijen vegetacijski pokrov. Nedaleko od riječne obale prostor je djelomično izmijenjen u male poljoprivredne površine koje alterniraju s livadama i zajednicama visokih stabala. Daljnjim udaljavanjem od rijeke, vidljiv je sve veći antropogeni utjecaj na krajobraz s intenziviranjem poljoprivredne proizvodnje, pa se u vidu vegetacije javljaju samo poneki šumarci i tršćaci (Trenc i sur. 2009).

Kao što je naprijed navedeno, slijev rijeke Drave u Hrvatskoj podijeljen je na 4 dijela, Dravske akumulacije, Gornji tok Drave, Srednji tok Drave i donje Podravlje. Dravske akumulacije broje tri akumulacije hidroelektrana na Dravi, HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava, a predstavljaju zaseban krajolik gdje je prekinut riječni kontinuitet (Slika 5). Naglašeni krajobrazni elementi ovog područja su nasipi derivacijskih kanala i akumulacija te velike vodne površine. Kod ušća rijeke Mure u Dravu, na razmeđu Dravskih akumulacija i Gornjeg toka Drave nalazi se Posebni ornitološki rezervat Veliki Pažut (Slika 6). Gornji tok Drave je ekološki najvrjedniji dio rijeke Drave zbog očuvanog prirodnog riječnog toka. Za ovaj dio toka

karakteristična je velika energija vode koja oblikuje mnogobrojne sprudove i rukavce, a uz njezin tok pružaju se poplavne šume, mrtvice, livade, poljoprivredne površine i manja naselja (Slika 7). Srednji tok Drave je jače reguliran pa ne dolazi do stvaranja novih meandara i rukavaca, a zbog regulacijskih radova dolazi do stvaranja voda stajaćica iza vodnih građevina (Trenc i sur. 2009). Jedna od svrha regulacijskih radova je i plovnost rijeka (Projekt FRISCO 1 2018), tako da je rijeka Drava međunarodni vodni put od rkm 0+000 (ušća) do rkm 70+000 (Donji Miholjac), a međudržavni od rkm 70+000 do rkm 198+600 (ušće potoka Ždalica) (NN 109/07, 132/07).

Vegetacija ovog krajobraza obuhvaća područja poplavnih šuma, manjih šumaraka, močvara i livada. Donje Podravlje ističe se razvijenom hidrografijom, gdje u krajobrazu dominira mnoštvo meandara čije su obale prekrivene šumskom vegetacijom. U ovom dijelu slijeva rijeke Drave nalaze se mnogobrojni dravsko-baranjski ritovi, od kojih se ističe Park prirode Kopački rit (Slika 8). U krajobrazu dominira bujna šuma i široka rijeka, a zbog netaknute prirode zadržan je autentični izgled ritsko-šumskog krajobraza (Trenc i sur. 2009).



Slika 5. Krajobraz rijeke Drave u području dravskih akumulacija, odvodni kanal i staro korito Drave, restitucija HE Čakovec, rkm 268, (foto. Z. Kereša).





Slika 6. Ušće Mure u Dravu, rkm 236+700 (foto. Z. Kereša).



Slika 7. Krajobraz rijeke Drave na području gornje Drave kod naselja Gotalovo, rkm 221 (foto. Z. Kereša)



Slika 8. Kopački rit. (foto. G. Šafarek, [www.croatia.hr](http://www.croatia.hr)).

## 2.2. Geografske značajke slijeva rijeke Drave

Rijeka Drava pripada crnomorskom slijevu, pritok je Dunava i teče kroz pet država Srednje Europe (Italiju, Austriju, Sloveniju, Mađarsku i Hrvatsku) te svojim tokom povezuje alpsko i panonsko biogeografsko područje (Projekt FRISCO 1 2018). Izvire u Toblaškom polju u južnom Tirolu u Republici Italiji, a ulijeva se u rijeku Dunav kod mjesta Aljmaš u Osječko-baranjskoj županiji. Dužina toka joj je 749 km, a površina slijeva 41.238 km<sup>2</sup> (Strategija upravljanja vodama 2008).

Rijeka Drava u Republiku Hrvatsku ulazi kod naselja Dubrava Križovljanska na rkm 322+800 (Hidrografski atlas rijeke Drave 2007) u Varaždinskoj županiji i prolazi kroz pet županija: Varaždinsku, Međimursku, Koprivničko-križevačku, Virovitičko-podravsku i Osječko-baranjsku. Dužina rijeke Drave u Republici Hrvatskoj iznosi 322,8 km (43 % ukupne dužine) s površinom slijeva od 7.015 km<sup>2</sup>, što iznosi oko 16,5 % ukupne površine slijeva Drave. Njezin tok tvori manjim dijelom hrvatsko-slovensku državnu granicu, a većim dijelom, u dužini od 136 km, hrvatsko-mađarsku državnu granicu. Drava se kod Donjeg Miholjca odvaja od hrvatsko-mađarske državne granice i skreće dublje u teritorij Republike Hrvatske prema svom ušću u Dunav. Slijev Drave u Hrvatskoj ima izduženi oblik koji se do Legrada pruža u pravcu od zapada prema istoku, a dalje nizvodno do ušća u Dunav, od sjeverozapada prema jugoistoku (Bognar



1996). Najveći dio slijeva čine ravnice (ispod 200 m.n.m), ali ima brdskih i planinskih predjela. Od zapada prema istoku to su Maceljska gora, Ivanščica s najvišom točkom u slijevu (1061 m.n.m.), Kalničko gorje, Bilogora, Papuk i Krndija (Strategija upravljanja vodama 2008).

### 2.3. Hidromorfološke značajke slijeva rijeke Drave

Općenito, hidromorfološke značajke rijeke odnose se na geometriju korita, brzinu toka, razinu podzemne vode, protok površinske vode, broj i vrste pregrada, strukturu i podlogu korita, eroziju, strukturu obala, vrstu i strukturu vegetacije na obalama i okolnom zemljištu te korištenje zemljišta (Vodič za hidromorfološki monitoring i ocjenu stanja rijeka u Hrvatskoj 2013). Na hidromorfološke značajke rijeke utječu razni čimbenici (klima, geološka građa, čovjek...), ali najviše reljef.

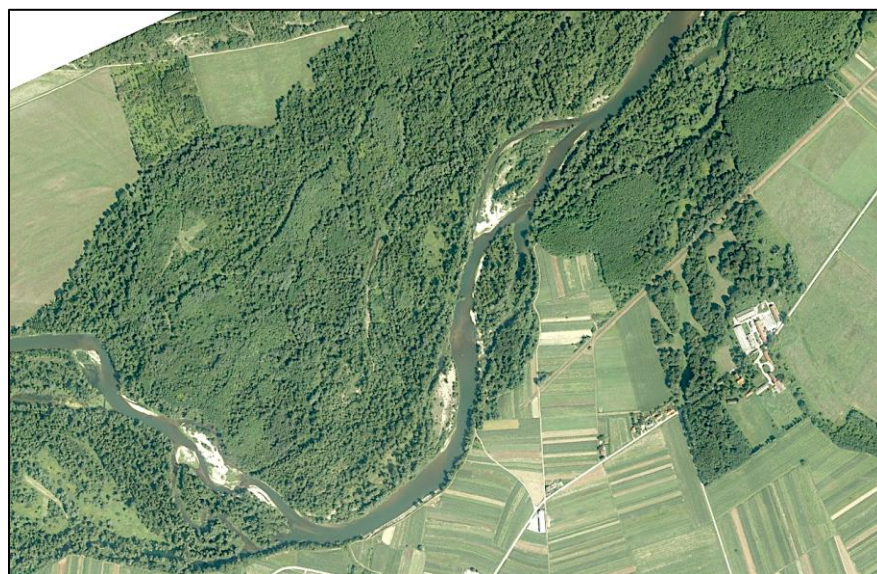
Reljef slijeva Drave u Hrvatskoj nastao je tektonskim promjenama početkom neogena kada su se formirale prve konture Bilogorskog gorja i Dravske potoline, lokalne depresije na jugozapadnom dijelu Panonskog bazena, dok nizina rijeke Drave nastaje njezinom erozijsko-akumulacijskom aktivnošću u srednjem pleistocenu (prije  $781.000 \pm 5.000$  godina) i proteže se duž sjeveroistočne granice Dravske potoline (Trenc i sur. 2009). Geološka građa slijeva sastoji se od stijena širokog raspona propusnosti, od dobro propusnih šljunaka i pijesaka do slabo propusnih i relativno nepropusnih prašinasto-glinovitih taložina (u ravničarskim krajevima) te od karbonatnih, eruptivnih i metamorfnih stijena (u brdovitim predjelima) (Strategija upravljanja vodama 2008).

Četiri osnovna morfofenetska tipa daju obilježja prostoru Drave, a to su nizina naplavne ravni ili poloji, terasne nizine, riječno - močvarne nizine i riječno - eolske nizine. Najrasprostranjenije su naplavne ravni ili poloji. Naplavne ravni su najniži dijelovi uz rijeku koje su nastale akumulacijsko - erozijskim djelovanjem riječnog toka. To su stalno ili povremeno plavljena područja. Ovisno o akumulacijsko - erozijskom djelovanju visokog ili srednje visokog vodostaja razlikuje se viši ili niži nivo naplavne ravni. Terasne nizine su povišeni dijelovi uz rijeke, a nastale su usijecanjem korita u naplavnu ravan. One se sastoje od više riječnih terasa od kojih su mlađe građene od pijeska i močvarnih glina, a starije od šljunka. Budući da mogu biti više u odnosu na naplavne ravni od 30 do 40 m, rijeka ih nikada ne plavi te imaju veliku društveno-gospodarsku vrijednost. Fluvijalno - močvarne nizine su prostori intenzivne kombinirane fluvijalne i riječno - močvarne akumulacije. Tipičan predstavnik takve nizine uz

Dravu je Kopački rit. Fluvijalno - eolske nizine nastale su djelovanjem riječnih procesa i vjetrova koji je za vrijeme ledenih doba taložio sitni materijal, prapor ili les. To su najviši i najplodniji dijelovi nizina. Nizina takvog nastanka u slijevu Drave su Đurđevački pijesci (Bognar 1996).

Prema Rosgenovoj geomorfološkoj klasifikaciji riječnih korita postoje pet osnovnih tipova riječnih korita (tokova): linearni, zavojiti, meandrirajući, prepleteni i anastomozirajući (Rosgen 1994).

Na području slijeva Drave u Hrvatskoj zastupljeni su prepleteni tip rijeke i meandrirajući tip rijeke te prijelazni tip od prepletenog u meandrirajući (Trenc i sur. 2009). Na dijelu slijeva Drave od Otoka Virje (rkm 312+600) do ušća rijeke Mure (rkm 236+700) (Hidrografski atlas rijeke Drave 2007,2009) tok Drave je pretežno prepletenog tipa s mnogo manjih korita. Najveća širina glavnog kanala iznosi 850 metara, a prosječni nagib terena je 0,88‰ (Trenc i sur. 2009). Prepleteni tip rijeke su plitke, široke rijeke od kojih se pri niskom vodostaju formira veći broj manjih korita i kanala koji su odvojeni šljunčanim sprudovima (Slika 9). Obilježava ih veći pad i veća energija vode. Prosječna brzina Drave kod Varaždina iznosi 1,7 m/s, uz prosječni pad od 66 cm na 1000 metara (Strategija upravljanja vodama 2008). Na ovom području sagrađene su hidroelektrane HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava sa svojim akumulacijskim jezerima. Najveći desni pritok je rijeka Bednja. Prema riječnom tipu Drava je na ovoj dionici velika nizinska rijeka sa šljunkovitim supstratom (Trenc i sur. 2009).



Slika 9. Prepleteni tip korita rijeke Drave na području od Otoka Virje do Lovrečana, rkm 315-319 (Hidrografski atlas rijeke Drave 299+200 – 323+000) (Izvor: <https://geoportal.dgu.hr/>).

Od ušća rijeke Mure (rkm 236+700) (Hidrografski atlas rijeke Drave 2009) pa do Podravske Sesvete (rkm 185) tok Drave je prijelaznog tipa od prepletenog u meandrirajuću. Osnovno obilježje prijelaznog tipa je mjestimična razgranatost korita. Na toj dionici su najveće širine korita, maksimalno oko 1500 metara s nagibom terena 0,47‰. Prema riječnom tipu Drava je na ovoj dionici velika nizinska rijeka s šljunkovitim i krupnopjeskovitim supstratom, a najveći desni pritok je rijeka Bistra (Trenc i sur. 2009).

Od Podravske Sesvete (rkm 185) pa do ušća, Drava je tipična meandrirajuća rijeka s prostranom poplavnom ravnicom, brojnim mrtvicama, s širinom korita od 200 do 400 metara i s nagibom terena 0,17‰. Meandrirajuće rijeke su rijeke s vijugavim koritom, manjim padom i premještanjem korita (Slika 10). Uslijed razlike u brzini toka dolazi do erozije u konkavi korita, a taloženja u konveksi korita i posljedično do stvaranja sprudova. Na taj način dolazi do horizontalnog pomicanja korita i stvaranja meandra. Općenito, to pomicanje je najčešće nekoliko metara godišnje. Daljnjom erozijom dolazi do povećanja meandra, meandar se izdužuje, a s vremenom glavni tok presiječe meandar i stvori mrtvi rukavac (mrtvicu). Prema riječnom tipu Drava je na ovoj dionici velika nizinska rijeka s pjeskovitim i muljevitim sedimentom, a najveći desni pritoci su Brežnica i Karašica (Trenc i sur. 2009).

Gledajući cijeli tok Drave u Hrvatskoj, vidljivo je da se smanjivanjem nagiba terena (od 0,88 do 0,17‰) smanjuje i energija njenog toka, povećava njena vijugavost te rijeka sve teže transportira teški materijal (Trenc i sur. 2009).



Slika 10. Meandrirajući tip korita rijeke Drave kod Valpova, rkm 45-55 (izvor: Hidrografski atlas rijeke Drave 0+00 – 70+00).

## 2.4. Klima, hidrologija i hidrografija slijeva rijeke Drave

### 2.4.1. Klima

Klima je prosječno stanje svih klimatskih elemenata (temperature zraka, oborina, relativne vlažnosti, vjetra, ...) na nekom području u određenom razdoblju (najčešće 30 godina) (Trenc i sur. 2009).

Klima slijeva rijeke Drave u Hrvatskoj je kontinentalna, što je u skladu s geografskim položajem slijeva. Najtopliji mjeseci su srpanj i kolovoz, kada je i najveća osunčanost, a najhladniji je mjesec siječanj, kada je najmanja osunčanost. Srednja godišnja temperatura zraka je u rasponu od 10,2° C u gornjem dijelu slijeva do 11,2° C u donjem dijelu. Godišnja količina oborina varira od 660 do 1530 mm, s većom količinom oborina u gornjem dijelu slijeva. Maksimalne mjesečne oborine pojavljuju se u mjesecu lipnju, a minimalne u siječnju i veljači, dok se snijeg može pojaviti u razdoblju od listopada do travnja. Srednja godišnja relativna vlažnost na području slijeva je između 77% i 80%, dok je srednja godišnja brzina vjetra od 1,7 m/s do 2,3 m/s, s najučestalijim južnim vjetrom u najjužnijem dijelu slijeva, a u najjužnijem dijelu je to zapadni vjetar (Strategija upravljanja vodama 2008; Trenc i sur. 2009).

### 2.4.2. Hidrologija

Drava ima pluvijalno-glacijalni (kišno-ledenjački) vodni režim kojeg karakterizira mali vodostaj zimi, a veliki krajem proljeća i početkom ljeta uslijed otapanja snijega i leda. Tako se najmanji protoci Drave javljaju u mjesecu siječnju i veljači, a veliki u svibnju, lipnju i srpnju. Srednji protok Drave kreće se od 326 m<sup>3</sup>/s na ulasku u Hrvatsku pa do 561 m<sup>3</sup>/s kod ušća u Dunav (Projekt FRISCO 1 2018). Središnja godišnja temperatura vode neznatno je viša od temperature zraka (Trenc i sur., 2009) tako da se u zimskim mjesecima pojavljuje ledohod i ledostaj.

### 2.4.3. Hidrografija

Za Dravu je karakteristično, gledajući cijeli njezin tok, da joj je gornji tok (do Maribora) i srednji tok (do ušća Mure) izmijenjen gradnjom niza hidroelektrana, dok su dijelovi donjeg toka skoro prirodni (Tomas i sur. 2013), iako su na dionici Drave od ušća Mure do ušća u Dunav

izgrađena 62 velika prokopa (Projekt FRISCO 1 2018). Može se reći da je Drava u svom gornjem toku tipična alpska rijeka, a u donjem toku nizinska s puno meandara mrtvica i sprudova (Provedbeni plan obrane od poplava 2014).

U slijevu rijeke Drave u Hrvatskoj hidrografska mreža je gusta s relativno pravilnim rasporedom prirodnih vodotoka, ima oko 15 srednjih sljevova, a izgrađeno je i dosta kanala. Manji vodotoci u slijevu su kratki i malih slivnih površina te imaju izražene osobine brdsko-planinskih i ravničarskih tokova, ovisno o karakteristikama reljefa prostora na kojem su se formirali (Trenc i sur. 2009, Strategija upravljanja vodama 2008).

Dravski slijev je bogat vodom, a glavni pritoci uglavnom su s hrvatske strane, dok s mađarske strane gotovo da ih niti nema. Najznačajniji pritok Drave u Hrvatskoj je rijeka Mura, dok su ostali manji pritoci Plitvica, Bednja, Gliboki potok, Bistra, Ždala, Rogstrug, Lendava, Odenica, Županijski kanal, Čađavica, Vučica i Karašica (Strategija upravljanja vodama 2008).

## 2.5. Tipologija površinskih voda slijeva rijeke Drave

Prema Okvirnoj direktivi o vodama članice Europske Unije obvezne su razvrstati cjeline površinskih voda u tipove (Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, 2001). Direktiva dozvoljava dva sustava tipologije:

- 1) Sustav A – prvo razvrstava površinske vode po ekoregijama, a zatim ih prema nadmorskoj visini, veličini slijeva i geologiji razvrstava u tipove.
- 2) Sustav B – daje mogućnost uporabe izbornih čimbenika, ali mora zadovoljiti isti ili veći stupanj razlikovanja između tipova od sustava A.

U Hrvatskoj je odabran sustav B, jer daje objektivniju i vjerodostojniju klasifikaciju (Šlehta i Miholić 2009). Tipologiju površinskih voda slijeva rijeke Drave izradile su Hrvatske vode koristeći vlastite podatke, podatke iz projekta "Definiranje tipova površinskih voda", "Izrada nacrtu tipologije površinskih kopnenih voda Hrvatske" (Habdija i Tvrtković 2005.) i projekta "Definiranje tipova površinskih voda, geološko-litološke podloge (Velić 2004.).

Kod izrade tipologije kao obvezni čimbenici korišteni su površina slijeva, nadmorska visina i litološka podloga, a od izbornih čimbenika korišteni su pojedini abiotički čimbenici (protok, granulometrijska struktura korita, hidrološki režim, stalnost toka i maksimalna temperatura vode) i biotički čimbenici (biocenotička struktura faune makrozoobentosa,

saprobioološka obilježja bentoskih zajednica određena PB indeksom saprobnosti na temelju analize faune makroskopskih beskralješnjaka) (Šlehta i Miholić 2009).

Kao rezultat takvog načina tipologije definiran je popis od 10 ekoloških tipova tekućica u slijevu rijeke Drave koji je revidiran Uredbom o standardu kakvoće vode (NN 73/13, 151/14, 78/15 i 61/16) (Tablica 2).

Tablica 2. Ekološki tipovi tekućica u Panonskoj ekoregiji (Izvor: Prilog 12. Uredbe o standardu kakvoće vode. 2013)

Naziv tipa	Oznaka tipa
PANONSKA EKOREGIJA (11. MAĐARSKA NIZINA)	
1. GORSKE I PRIGORSKE MALE TEKUĆICE	HR-R_1
2. NIZINSKE MALE TEKUĆICE	
2. a. Nizinske male tekućice s glinovito-pjeskovitom podlogom	HR-R_2A
2. b. Nizinske male tekućice s šljunkovito-valutičastom podlogom	HR-R_2B
3. NIZINSKE ALUVIJALNE TEKUĆICE	
3. a. Nizinske male aluvijalne tekućice sa šljunkovito-valutičastom podlogom	HR-R_3A
3. b. Nizinske male, srednje velike i velike aluvijalne tekućice s glinovito pjeskovitom podlogom	HR-R_3B
4. NIZINSKE SREDNJE VELIKE I VELIKE TEKUĆICE	HR-R_4
5. NIZINSKE VRLO VELIKE TEKUĆICE	
5. a. Nizinske vrlo velike tekućice s izvorištem lociranim u Dinaridskoj ekoregiji	HR-R_5A
5. b. Nizinske vrlo velike tekućice u silikatnoj i vapnenakoj podlozi - Donji tok Mure i srednji tok Drave i Save	HR-R_5B
5. c. Nizinske vrlo velike tekućice u silikatnoj podlozi - Donji tok Drave i Save	HR-R_5C
5. d. Nizinske vrlo velike tekućice u silikatnoj podlozi - Dunav	HR-R_5D

Prema Prilogu 12. Uredbe na području HE Varaždin akumulacija, odvodni kanal i stari tok Drave svrstani su prema ekoregijama i tipovima u Panonsku regiju, ekološki tip nizinskih vrlo velikih tekućica u silikatnoj i vapnenačkoj podlozi (oznaka tipa HR-R\_5B). Na području HE Čakovec i HE Dubrava stari tokovi Drave, akumulacije i odvodni kanali svrstani su u Panonsku regiju, ekološki tip nizinskih vrlo velikih tekućica u silikatnoj i vapnenačkoj podlozi (oznaka tipa HR-R\_5B), a drenažni jarci u Panonsku regiju, ekološki tip nizinskih aluvijalnih tekućica sa šljunkovito – valutičastom podlogom (oznaka tipa HR-R\_3A) (Bioinstitut. 2017).

## 2.6. Hidroakumulacije na rijeci Dravi

Raspoložive vodne količine rijeke Drave i relativno veliki uzdužni padovi pogodovali su intenzivnoj izgradnji hidroenergetskih objekata (Provedbeni plan obrane od poplava 2014). U

Austriji je izgrađeno 11, u Sloveniji 8, a u Hrvatskoj do sada 3 hidroelektrane (Režek, 2003). U Hrvatskoj su to hidroelektrane HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava. Sve tri hidroelektrane su prema načinu korištenja vode akumulacijske, a prema namjeni višenamjenske, jer uz proizvodnju električne energije imaju i druge namjene: opskrbu vodom, obranu od poplava i zaštitu zemljišta od erozije, navodnjavanje, odvodnju, rasonodu, izletnički turizam i sport (Režek, 2003.).

Hidroelektranu, osim postrojenja za proizvodnju električne energije, čini i sustav hidroenergetskih objekata (akumulacijsko jezero, dovodni i odvodni kanal, brana, nasipi akumulacije, drenažni jarci...) i staro korito (dio prirodnog korita od brane do restitucije).

Princip rada kod sve tri hidroelektrane je isti. Veći dio srednjih i malih protoka dovodi se betoniranim dovodnim kanalom do strojarnice te nakon prolaska preko turbine odvodnim kanalom ponovo u korito Drave, dok se u staro korito stalno ispušta tek propisani minimalni protok od  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  (Trenc i sur. 2009).

#### 2.6.1. HE Varaždin

Hidroelektrana Varaždin je prva izgrađena hidroelektrana na rijeci Dravi u Hrvatskoj. Puštena je u rad 1975. godine (Režek, 2003). Nalazi se na području Varaždinske županije, na dionici Varaždin - Otok Virje od rkm 288+035 do rkm 312+600 (Hidrografski atlas rijeke Drave 2007). Akumulacijsko jezero ima površinu od  $3 \text{ km}^2$  i svojim manjim dijelom se nalazi u Republici Sloveniji, s ukupnim volumenom pri srednjem protoku od  $8 \text{ hm}^3$  i srednjim godišnjim protokom od  $315 \text{ m}^3/\text{s}$  (Režek, 2003.). Dužina obodnih nasipa akumulacijskog jezera iznosi 6,6 km, dužina dovodnog kanala je 7,4 km, a odvodnog kanala 7,2 km, dok je dužina starog korita 20,1 km. Instalirani protok turbine je  $450 \text{ m}^3/\text{s}$ , a instalirana snaga generatora 86 MW (Režek 2003).

#### 2.6.2. HE Čakovec

Hidroelektrana Čakovec je druga u nizu izgrađenih hidroelektrana na rijeci Dravi u Hrvatskoj. Puštena je u rad 1982. godine (Režek, 2003.). Nalazi se na području Varaždinske i Međimurske županije, na dionici Hrženica – Varaždin od rkm 268+015 do rkm 288+035 (Hidrografski atlas rijeke Drave 2009). Akumulacijsko jezero ima površinu od  $10,5 \text{ km}^2$ , ukupni volumen pri srednjem protoku od  $51 \text{ hm}^3$  i srednji godišnji protok od  $325 \text{ m}^3/\text{s}$  (Režek, 2003.).



Dužina obodnih nasipa akumulacijskog jezera iznosi 17,76 km, dužina dovodnog kanala 2,0 km, a odvodnog kanala 6,5 km, dok je dužina starog korita 10,9 km. Instalirani protok turbina je 500 m<sup>3</sup>/s, a instalirana snaga generatora 75,9 MW (Režek 2003).

### 2.6.3. HE Dubrava

Hidroelektrana Dubrava je treća u nizu i zasada posljednja izgrađena hidroelektrana na rijeci Dravi u Hrvatskoj. Puštena je u rad 1990. godine (Režek, 2003.). Nalazi se na području Koprivničko-križevačke, Međimurske i Varaždinske županije, na dionici Donja Dubrava – Hrženica od rkm 241+850 do rkm 268+015 (Hidrografski atlas rijeke Drave 2009). Akumulacijsko jezero ima površinu od 16,6 km<sup>2</sup>, ukupni volumen pri srednjem protoku od 93,5 hm<sup>3</sup> i srednji godišnji protok od 335 m<sup>3</sup>/s (Režek, 2003.). Dužina obodnih nasipa akumulacijskog jezera iznosi 22,8 km, dužina dovodnog kanala 2 km, a odvodnog kanala 4,8 km, dok je dužina starog korita 12,1 km. Instalirani protok turbina je 500 m<sup>3</sup>/s, a instalirana snaga generatora 75,0 MW (Režek 2003).

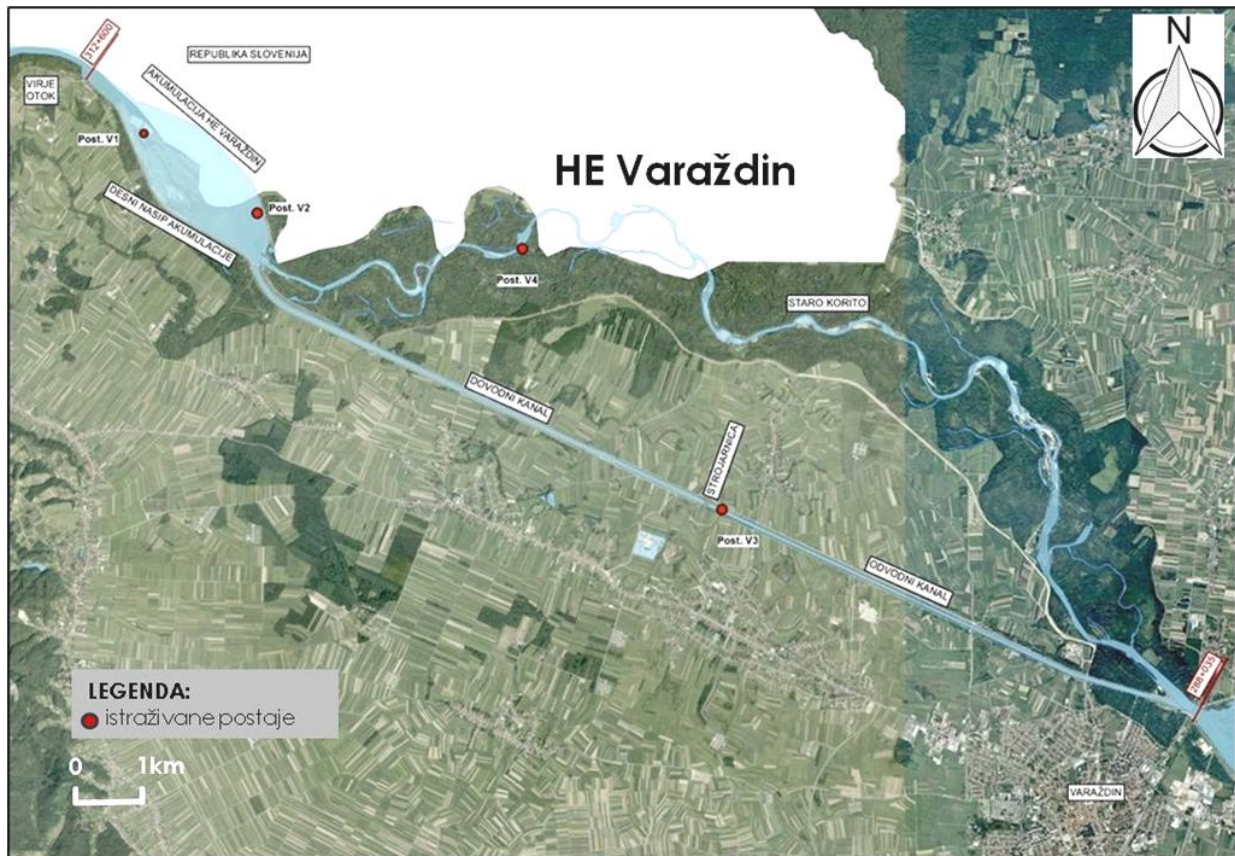
## 2.7. Opis istraživanih postaja

U svrhu ovog istraživanja odabrano je 17 istraživanih postaja na kojima su uzimani uzorci.

U sustavu HE Varaždin odabrano ih je 4, označene su prvim slovom naziva hidroelektrane "V" i rednim brojem. Istraživane postaje i njihov položaj (izraženo u HTRS96/TM sustavu) prikazan je na Slici 11a:

1. Postaja V1: Rep akumulacijskog jezera HE Varaždin,  
X = 474179, Y = 5139513
2. Postaja V2: Akumulacijsko jezero HE Varaždin – uzvodno od brane – dno,  
X = 475792, Y = 5138390
3. Postaja V3: Odvodni kanal – između strojarnice i prvog mosta,  
X = 482394, Y = 5134199
4. Postaja V4: Biološki minimum HE Varaždin, staro korito Drave nakon utoka  
otpadnih voda bivše šećerane Ormož  
X = 479557, Y = 5137888 (Mustafić i sur., 2017)





Slika 11a. Položaj istražnih postaja na HE Varaždin (DOF, izvor: <https://geoportal.dgu.hr/>, obrađeno i prilagođeno).



Slika 11b. Tipovi staništa na pojedinim postajama HE Varaždin (foto. V1,V3-Perica Mustafić; V4-osobna fotografija).

U sustavu HE Čakovec odabrano ih je 7, a označene su prvim slovom naziva hidroelektrane "Č" i rednim brojem. Istraživane postaje i njihov položaj (izraženo u HTRS96/TM sustavu) prikazan je na Slici 12a:

1. Postaja Č1: Rep akumulacijskog jezera HE Čakovec – kod željezničkog mosta,  
X = 489553, Y = 5131045
2. Postaja Č1A: Akumulacijsko jezero – kod rekreacijskog centra,  
X = 489870, Y = 5131520
3. Postaja Č2: Akumulacijsko jezero – uzvodno od brane na profilu i-7-dno,  
X = 497196, Y = 5130176
4. Postaja Č3: Lijevi drenažni jarak na stacionaži 1+260 LNA,  
X = 497442, Y = 5130292
5. Postaja Č4: Desni drenažni jarak na stacionaži 7+500 DNA,  
X = 489938, Y = 5130291



6. Postaja Č5: Odvodni kanal – između strojarnice i utoka vodotoka Jezerčica, X = 501403, Y = 5130554
7. Postaja Č6: Biološki minimum Drave HE Čakovec – neposredno ispod pregrade, X = 505516, Y = 5131032 (Mustafić i sur., 2017)



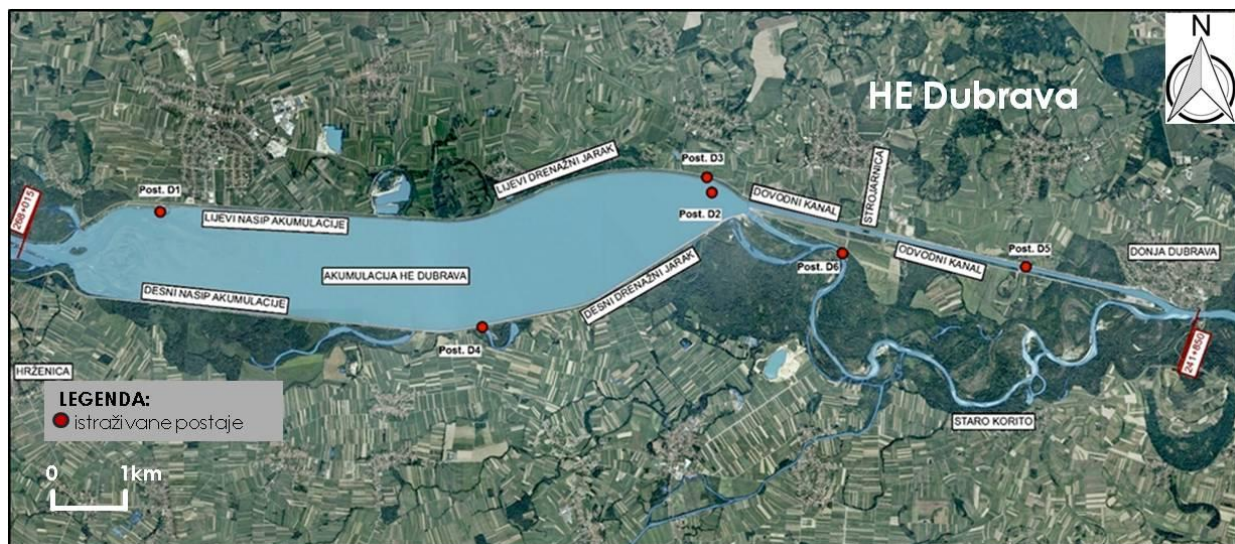
Slika 12a. Položaj istražnih postaja na HE Čakovec (DOF, izvor: <https://geoportal.dgu.hr/>, obrađeno i prilagođeno).



Slika 12b. Tipovi staništa na pojedinim postajama HE Čakovec (foto. Č1a, Č6-Perica Mustafić; Č3, Č5-osobna fotografija).

U sustavu HE Dubrava odabrano je 6 postaja koje označene prvim slovom naziva hidroelektrane "D" i rednim brojem. Istraživane postaje i njihovi položaj (izraženo u HTRS96/TM sustavu) prikazane su na Slici 13a:

1. Postaja D1: Akumulacijsko jezero – u blizini marine,  
X = 508033, Y = 5131536
2. Postaja D2: Akumulacijsko jezero – na sredini kod stacionaže 0+600-dno,  
X = 516727, Y = 5131840
3. Postaja D3: Lijevi drenažni jarak na stacionaži 3+100 LNA,  
X = 516651, Y = 5132081
4. Postaja D4: Desni drenažni jarak na stacionaži 5+000 DNA,  
X = 513110, Y = 5129720
5. Postaja D5: Odvodni kanal – između strojarnice i 200 m nakon utoka lijevog drenažnog jarka, X = 521677, Y = 5130671
6. Postaja D6: Biološki minimum HE Dubrava – neposredno ispod pregrade,  
X = 518785, Y = 5130888 (Mustafić i sur., 2017)



Slika 13a. Položaj istražnih postaja na HE Dubrava (DOF, izvor:<https://geoportal.dgu.hr/>, obrađeno i prilagođeno).





Slika 13b. Tipovi staništa na pojedinim postajama HE Dubrava (foto. Perica Mustafić).

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Terenska istraživanja

Istraživanje na terenu provedeno je sezonski u mjesecima lipnju, srpnju, rujnu i studenom na 17 stalnih postaja na području triju hidroenergetskih sustava HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava. Kvantitativni uzorci faune dna na postajama V1, V2, Č1, Č1A i D2 prikupljeni su grabilom tipa Eckman zahvatne površine 225 cm<sup>2</sup>, a zatim su odvojeni od sedimenta prosijavanjem kroz bentos mrežu promjera oka 475µm. Na postajama D1, V3, V4, Č3-Č6 te D3-D6 uzorci su prikupljeni pomoću ručne bentos mreže (kracera) s donjim ravnim metalnim dijelom (širine 25×25 cm) za struganje sedimenta i mrežom veličine oka 300 µm, a zahvaćen je sediment do dubine 3-4 cm. Prikupljeni uzorak prebačen je u kante uz pregledavanje kamenja i odvajanje životinja. Ostatak životinja se odvajao od sedimenta metodom ispiranja i dekantiranja kroz mrežu promjera oka 475µm, sve dok u mreži više nije bilo životinja. Ovako izolirani uzorci prebačeni su u boce sa širokim grlom te su konzervirani u 96% etanolu, a daljnji rad na uzorcima nastavio se u laboratoriju Zoologijskog zavoda Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu (Mrakovčić i sur. 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014; Mustafić i sur. 2015, 2016, 2017).



Slika 14. Prikupljanje uzoraka makrozoobentosa pomoću kracera u rijeci Dravi na postaji V4 (biološki minimum) (izvor: osobna fotografija).

### 3.2. Laboratorijska istraživanja

Prikupljeni uzorci makrozoobentosa razvrstani su u laboratoriju po skupinama te su prebrojani i ponovo konzervirani 96% etanolom u plastičnim epruветama u okviru standardnog postupka analiziranja uzoraka za potrebe monitoringa pojedinih HE sustava rijeke Drave u okviru spomenutih studija (Mrakovčić i sur. 2009, 2010, 2011, 2012, Mustafić i sur. 2016, 2017). Za potrebe ovog diplomskog rada rakušci reda Amphipoda su determinirani do razine vrste u Petrijevoj zdjelici pomoću lupe XTL\_3400D (Slika 14), uz brojanje i odvajanje jedinki iste vrste u različite plastične epruветe s 96 % etanolom. Plastičnim epruветama je pridružena oznaka s imenom vrste te datumom i postajom uzorkovanja.



Slika 15. Uzorak jedinki reda Amphipoda tijekom determinacije do razine vrste pod lupom XTL\_3400D (izvor: osobna fotografija).

### 3.3. Analiza podataka

#### 3.3.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

Fizikalno-kemijski parametri vode su za potrebe ovog diplomskog rada preuzeti iz studija monitoringa HE sustava rijeke Drave (Mrakovčić i sur. 2009, 2010, 2011) te iz zasebnih studija o kvaliteti vode koje je za potrebe monitoringa provodio Bioinstitut d.o.o., Laboratorijska djelatnost, Čakovec (Bioinstitut 2012, 2016, 2017). Vrijednosti pojedinih fizikalno-kemijskih parametara za sve istraživane postaje i datume uzorkovanja, koji su u skladu s datumima uzorkovanja makrozoobesa, su prekopirane iz navedenih studija te organizirane u Excel tablici po pojedinim postajama i datumima te su na temelju tih podataka izrađeni grafovi u obliku tzv. „box-whiskers“ tipa za osnovne fizikalno-kemijske parametre vode: temperatura (°C), količina otopljenog kisika (mg/l), zasićenje vode kisikom (%), pH i električnu provodnost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Vrijednosti ostalih fizikalno-kemijskih parametara, kao što su amonijak, nitrati, nitriti, klorofil *a*, ukupni fosfati te ukupni krom analizirane su u Excelu alatom za opisnu statistiku (min-minimalna vrijednost, maks-maksimalna vrijednost, SV-srednja vrijednost, SD-standardna devijacija, SP-standardna pogreška i KV-koeficijent varijabilnosti) te su u rezultatima prikazane u obliku tablice. Podaci za protoke i vodostaje rijeke Drave na mjernoj postaji Donja Dubrava preuzeti su s mrežne stranice Državnog hidrometeorološkog zavoda, Sektora za hidrologiju i ručno očitani na javno dostupnim grafovima za datume kada je uzorkovan makrozoobentos (<http://hidro.dhz.hr/>). Podaci su preneseni u Excel te analizirani alatom za opisnu statistiku i grafički prikazani linijskim grafom.

#### 3.3.2. Kvalitativna i kvantitativna analiza zajednica rakušaca

Kvalitativna i kvantitativna analiza zajednica rakušaca je provedena u računalnim programima Microsoft Excel 16 i Primer v.6.1 (Clarke i Gorley, 2006). Podaci o brojnosti jedinki pojedinih vrsta rakušaca na pojedinim lokalitetima i tijekom istraživanih godina uneseni su u Microsoft Excel 16 gdje je izračunata gustoća jedinki po  $1 \text{ m}^2$ . Rezultati su prikazani pomoću stupčastih grafova kako bi se usporedila brojnost jedinki i relativni udjeli vrsta u pojedinim hidroenergetskim sustavima, na pojedinim lokalitetima i unutar pojedinih tipova staništa. Relativna zastupljenost pojedinih vrsta rakušaca ocijenjena je prema Reissu i sur. (2016) (Tablica 3).



Tablica 3. Kategorizacija relativne zastupljenosti pojedinih vrsta rakušaca provedena je prema Reissu i sur. (2016).

KLASIFIKACIJA		RELATIVNA ZASTUPLJENOST
1	izrazito zastupljeni	> 75 %
2	zastupljeni	50 - 75 %
3	česti	25 - 49 %
4	rijetki	< 25 %

Za utvrđivanje raznolikosti zajednica rakušaca u pojedinim hidroenergetskim sustavima, na pojedinim lokalitetima i unutar pojedinih tipova staništa rijeke Drave izračunati su sljedeći indeksi: Margalefov indeks bogatstva vrsta ( $d$ ), Shannon-Wienerov ( $H'$ ) i Simpsonov indeks raznolikosti ( $\lambda$ ) te Pielouov indeks ujednačenosti ( $J'$ ), koristeći se programskim paketom Primer v.6.1 (Clarke i Gorley, 2006).

- Margalefov indeks bogatstva vrsta ( $d$ )  
 $d = (S-1) / \ln N$ , gdje je:  $S$  – ukupni broj vrsta na uzorkovanom mikrostaništu  
 $N$  – ukupan broj jedinki svih vrsta na uzorkovanom mikrostaništu.
- Shannon-Wienerov indeks raznolikosti ( $H'$ ) služi za uspoređivanje zajednice unutar različitih sezona ili za uspoređivanje raznolikosti dviju ili više zajednica prema formuli:  
 $H' = -\sum p_i \ln(p_i)$ , gdje je:  $p_i$  - udio jedinki vrste  $i$  u zajednici.
- Simpsonov indeks raznolikosti ( $\lambda$ ) izražava vjerojatnost da dvije slučajno odabrane jedinke iz zajednice pripadaju različitim kategorijama (vrstama), prema formuli:  
 $\lambda = \sum (n_i / N)^2$ , gdje je:  $n_i$  - ukupni broj jedinki vrste  $i$  i  $N$ -ukupan broj jedinki svih vrsta.

Ovi indeksi određuju raznolikost kao vjerojatnost da će dvije jedinke nasumično odabrane iz zajednice biti različite vrste, a razlikuju se po tome što je prvi osjetljiviji na brojnost rijetkih vrsta, a drugi na brojnost dominantnih vrsta. Pielouov index ili indeks ujednačenosti zajednice ( $J'$ ) predstavlja omjer izračunate raznolikosti zajednice i maksimalne moguće raznolikosti zajednice (zastupljenost svih vrsta u zajednici u jednakim udjelima), prema formuli:  $J' = H' / \log(S)$ , gdje je:  $H'$  - Shannon-Wienerov indeks raznolikosti, a  $S$  - ukupni broj vrsta u zajednici.

Koristeći se programskim paketom Primer v.6.1 provedena je analiza multidimenzionalnog skaliranja (MDS - engl. „multidimensional scaling analysis) temeljena na Bray-Curtis-ovom indeksu sličnosti, kako bi se utvrdila sličnost zajednica rakušaca između pojedinih hidroenergetskih sustava, lokaliteta te tipova staništa istraživanog dijela toka rijeke Drave na logaritamski transformiranim podacima ( $\log(x+1)$ ) o brojnosti pojedinih vrsta na istraživanim postajama tijekom istraživanog razdoblja (Clarke i Gorley, 2006). Korišteni su transformirani podaci kako bi se dobio vizualni prikaz razlika između zajednica pojedinih HE sustava te pripadajućih staništa.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode

Tijekom istraživanih razdoblja od 2009. do 2012. godine te 2016. do 2017. godine djelatnici Laboratorijske djelatnosti Bioinstituta d.o.o. iz Čakovca proveli su sezonsko uzorkovanje vode radi utvrđivanja fizikalno-kemijskih parametara na 17 postaja hidroenergetskih sustava HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava. Od svih analiziranih parametara vode električna provodnost je zabilježena samo tijekom 2012., 2016. i 2017. godine.

#### 4.1.1. Temperatura

Na istraživanim postajama tijekom navedenih godina zabilježeni su veliki rasponi temperature na svim postajama, a najveće oscilacije temperature zabilježene su u akumulacijama te nešto manje oscilacije u derivacijskim kanalima i u starom koritu rijeke Drave. U drenažnim jarcima HE Čakovec na postajama Č3 i Č4 te u drenažnim jarcima HE Dubrava na postajama D3 i D4 zabilježen je vrlo mali raspon godišnjih oscilacija temperature vode, s iznimkom u 2010. godini, kada je na postaji D3 zabilježen najveći raspon temperature vode s vrijednostima od 6 do 24,8 °C, s obzirom na zabilježene vrijednosti na ostalim postajama u toj godini. U HE Varaždin utvrđen je raspon temperature vode od 9 do 24,1 °C, u HE Čakovec raspon temperature vode iznosi od 2,7 do 24,5 °C, a u HE Dubrava raspon temperature vode za cijelo istraživano razdoblje iznosi od 3,5 do 26,9 °C. Najveći rasponi vrijednosti temperature vode zabilježeni su tijekom 2011. godine, kada su na većini istraživanih tipova staništa, koja uključuju akumulacije, stara korita i derivacijske kanale, utvrđene iznimno niske temperature vode tijekom zimskih mjeseci s minimalnim vrijednostima od 2,6 do 9,4 °C, dok su tijekom ljetnih mjeseci utvrđene maksimalne vrijednosti temperature vode u iznosu od 14,1 do 26,2°C (Slika 16).

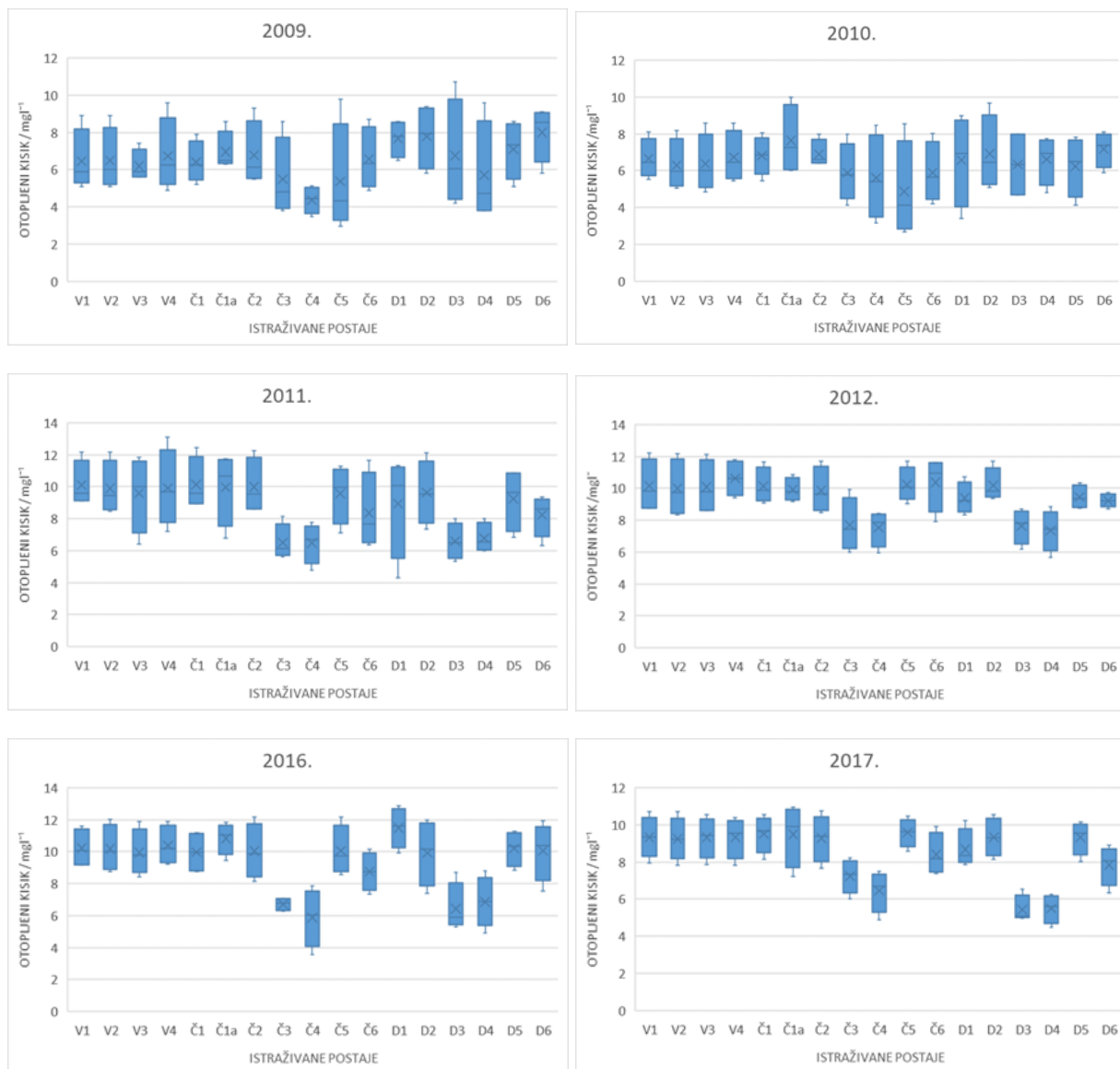


Slika 16. Rasponi i srednja vrijednost temperature vode za razdoblje od 2009.-2012. godine te od 2016.-2017.godine na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava.

#### 4.1.2. Količina otopljenog kisika

Na istraživanim postajama zabilježeni su veliki rasponi otopljenog kisika u vodi tijekom 2009. i 2010. godine. U 2009. godini najveći raspon količine otopljenog kisika u vodi zabilježen je u derivacijskom kanalu na postaji Č5 te u drenažnim jarcima na postajama D3 i D4, a najviše vrijednosti količine otopljenog kisika u vodi zabilježene su u akumulacijama. Tijekom 2010. godine rasponi količine otopljenog kisika u vodi kreću se od 3,17 do 10 mg/l, osim na postajama Č4, Č5, D1 i D2, gdje su izmjereni najveći rasponi vrijednosti količine otopljenog kisika u vodi u iznosu od 3,17 do 9,66 mg/l. U 2011., 2012., 2016. i 2017. godini zabilježene su vrlo male

oscilacije od najviše mg/l u rasponu količine otopljenog kisika na svim postajama, osim u drenažnim jarcima na postajama Č3 i Č4, te na postajama D3 i D4, gdje je raspon količine otopljenog kisika i srednja vrijednost količine otopljenog kisika najmanja tijekom navedenih četiri godine istraživanja, a iznosi u prosjeku 2,5 mg/l (Slika 17).



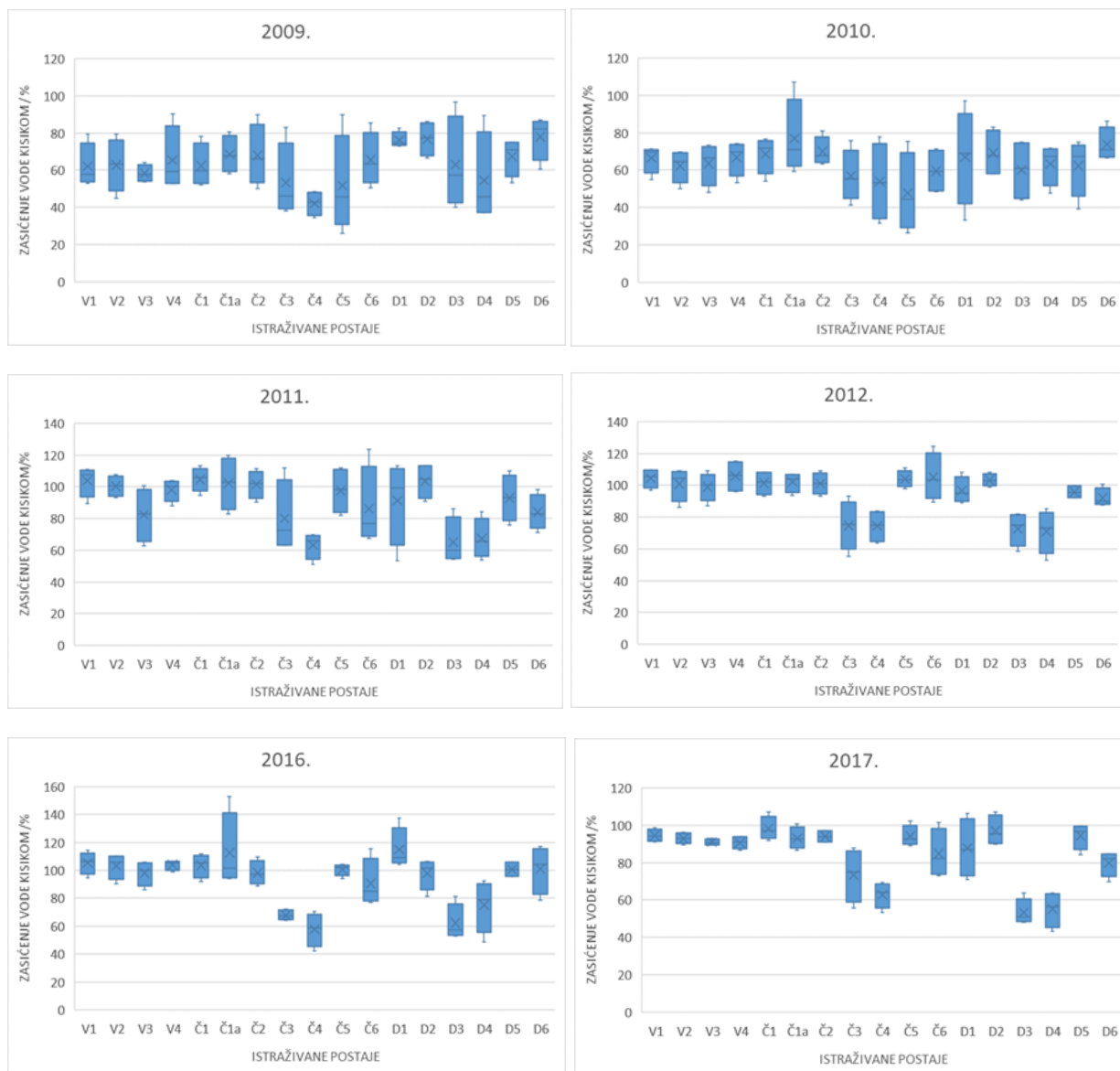
Slika 17. Rasponi i srednja vrijednost količine otopljenog kisika u vodi za razdoblje od 2009.-2012. godine te od 2016.-2017. godine na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava.

#### 4.1.3. Zasićenje vode kisikom

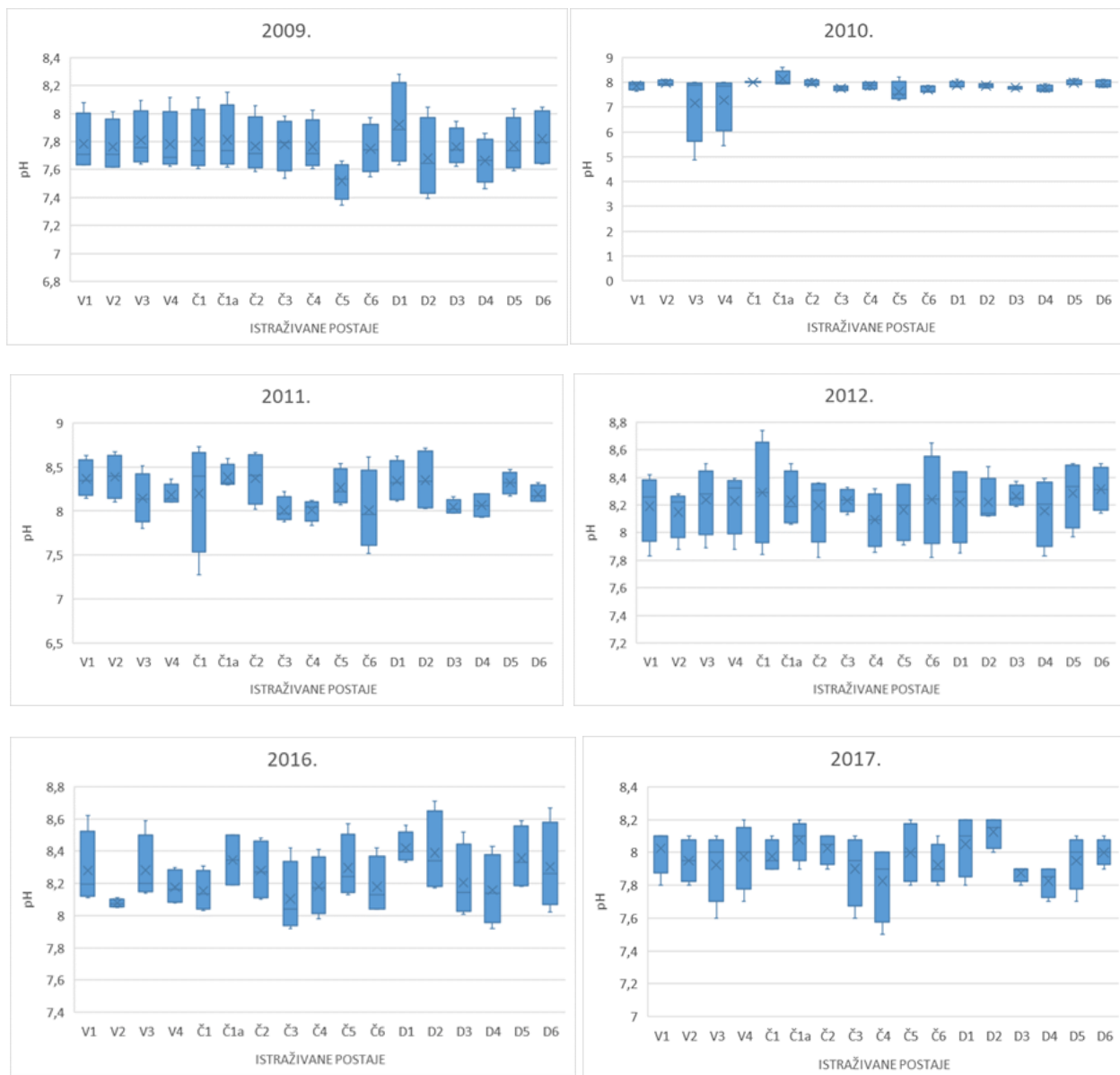
Tijekom istraživanih godina rasponi zasićenja vode kisikom su različiti kroz godine. U 2009. godini najmanji raspon zasićenja vode kisikom zabilježen je na postajama V3, Č4 i D1, s time da je na postaji Č4 u drenažnom jarku zabilježena najmanja vrijednost zasićenja vode kisikom te godine u iznosu od 34,48 %. U 2010. godini najveće vrijednosti zasićenja vode kisikom zabilježene su na postajama Č1A, Č4, Č5 i D1 s iznosom od 31,67 do 106,95 %, dok su na ostalim postajama vrijednosti zasićenja vode kisikom pretežno jednake. Tijekom 2011., 2012., 2016. i 2017. godine najmanji rasponi zasićenja vode kisikom zabilježeni su u drenažnim jarcima na postajama Č3, Č4 s iznosom od 42,2 do 111, 84%, te D3 i D4 s iznosom od 48,1 do 92,7% (Slika 18).

#### 4.1.4. pH

Na istraživanim postajama u 2009. godini zabilježene vrijednosti pH vode iznose od 7,4 do 8,2 na svim postajama, a izdvaja se derivacijski kanal s postajom Č5, gdje je najmanji raspon vrijednosti pH vode u iznosu od 7,35 do 7,67. U 2010. godini rasponi vrijednosti pH vode na istraživanim postajama su oko 8, osim u derivacijskom kanalu na postaji V3 te starom koritu na postaji V4 u iznosu od 4,86 do 8,01, gdje je zabilježen najveći raspon vrijednosti pH vode. U 2011. godini najveći raspon vrijednosti pH vode zabilježen je u akumulacijama na postajama V1, V2, Č1, D1 i D2 te u starom koritu na postaji Č6 u iznosu 7,28 do 8,71. Tijekom 2012. godine raspon pH vrijednosti vode je pretežno jednak na svim postajama oko 8, a manji raspon pH vrijednosti zabilježen je na postajama Č3 i D3 u drenažnim jarcima te na postaji D2 u akumulaciji u iznosu od 8,12 do 8,48. U 2016. godini najmanji raspon vrijednosti pH vode zabilježen je u akumulacijama na postajama V2 i D1 u iznosu od 8,05 do 8,56, a u 2017. godini u drenažnom jarku na postajama D3 i D4 te starom koritu na postaji D6 u iznosu od 7,7 do 8,1 (Slika 19).



Slika 18. Rasponi i srednja vrijednost zasićenja vode kisikom za razdoblje od 2009.-2012. godine te od 2016.-2017. godine na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava.

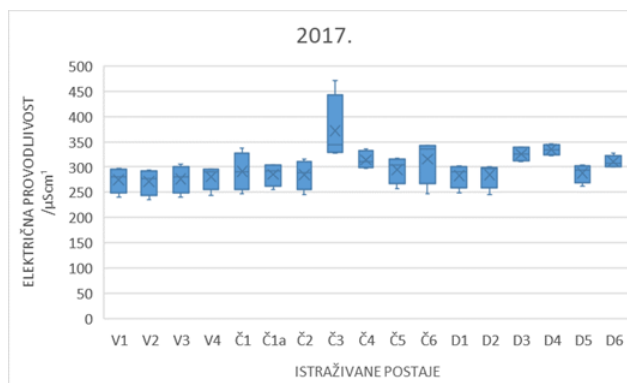
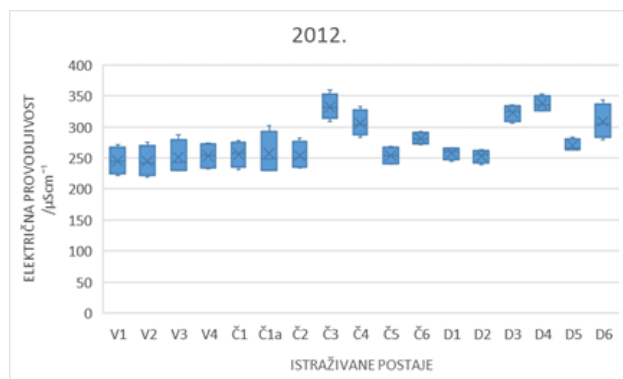


Slika 19. Rasponi i srednje pH vrijednosti vode za razdoblje od 2009.-2012. godine te od 2016.-2017. godine na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava.

#### 4.1.5. Električna provodnost

Vrijednosti električne provodnosti vode tijekom 2012., 2016. i 2017. godine na svim istraživanim postajama bile su niske u iznosu od 223 do 386  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , osim u drenažnim jarcima na postajama Č3, Č4, D3 i D4 te u starom koritu na postaji Č6 gdje su zabilježene najviše vrijednosti električne provodnosti u rasponu od 247 do 490  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Slika 20).





Slika 20. Rasponi električne provodnosti za razdoblje istraživanja rakušaca od 2009.-2012. godine te 2016.-2017. godine na istraživanim postajama.

#### 4.1.6. Ostali parametri

Od ostalih fizikalno-kemijskih parametara utvrđena je prosječna koncentracija amonijaka, nitrita i nitrata te prosječni ukupni fosfati i ukupni krom za sve istraživane godine.

Vrijednosti klorofila *a* mjerene su od 2009. do 2011. godine na sva tri hidroenergetska sustava, tako da rezultati u tablicama odgovaraju samo tom razdoblju.

Tijekom istraživanog razdoblja na različitim staništima HE sustava Varaždin minimalna zabilježena koncentracija amonijaka iznosi <0,025 mg/l, dok maksimalna zabilježena koncentracija amonijaka iznosi 0,234 mg/l. Najmanji raspon vrijednosti utvrđen je za koncentraciju nitrita, a najveći za koncentraciju nitrata, ukupnu količinu fosfata i ukupnu količinu kroma. Minimalna vrijednost klorofila *a* iznosi 0,610, dok maksimalna vrijednost iznosi 15,030 µg/l (Tablica 4).

Tablica 4. Vrijednosti ostalih fizikalno-kemijskih parametara vode za istraživano razdoblje na HE Varaždin.

HE VARAŽDIN						
RAZDOBLJE ISTRAŽIVANJA OD 2009. DO 2012.GODINE TE OD 2016. DO 2017.GODINE						
PARAMETRI	MIN	MAX	SV	SD	SP	KV %
AMONIJAČ (mgN/l)	<0,025	0,234	-	-	-	-
NITRITI (mgN/l)	<0,003	0,004	-	-	-	-
NITRATI (mgN/l)	<0,5	1,780	-	-	-	-
KLOROFIL A (µg/l)	0,610	15,030	4,217	2,999	0,306	71,1
UKUPNI FOSFATI (mgP/l)	<0,01	0,180	-	-	-	-
UKUPNI KROM (µg/l)	<0,001	5,694	-	-	-	-

Na različitim staništima HE sustava Čakovec vidljivi su veći rasponi vrijednosti izmjerenih parametara. Vrijednost klorofila *a* i koncentracija ukupnog kroma imaju najveće raspone vrijednosti. Prosječna vrijednost klorofila *a* iznosi 7,564 µg/l s varijabilnošću od čak 136 % (Tablica 5).

Tablica 5. Vrijednosti ostalih fizikalno-kemijskih parametara vode za istraživano razdoblje na HE Čakovec.

HE ČAKOVEC						
RAZDOBLJE ISTRAŽIVANJA OD 2009. DO 2012.GODINE TE OD 2016. DO 2017.GODINE						
PARAMETRI	MIN	MAX	SV	SD	SP	KV %
AMONIЈAK (mgN/l)	<0,025	1,120	-	-	-	-
NITRITI (mgN/l)	<0,02	0,140	-	-	-	-
NITRATI (mgN/l)	<0,05	1,920	-	-	-	-
KLOROFIL A (µg/l)	0,106	48,480	7,564	10,345	1,128	136,7
UKUPNI FOSFATI (mgP/l)	<0,01	0,370	-	-	-	-
UKUPNI KROM (µg/l)	<0,001	10,290	-	-	-	-

U istraživanom razdoblju na različitim staništima HE sustava Dubrava za koncentracije amonijaka i nitrita izračunate su najmanji rasponi vrijednosti. Veći rasponi vrijednosti zabilježeni su za koncentracije nitrata i fosfata. Vrijednost klorofila *a* i koncentracija ukupnog kroma imaju najveće raspone vrijednosti (Tablica 6).

Tablica 6. Vrijednosti ostalih fizikalno-kemijskih parametara vode za istraživano razdoblje na HE Dubrava.

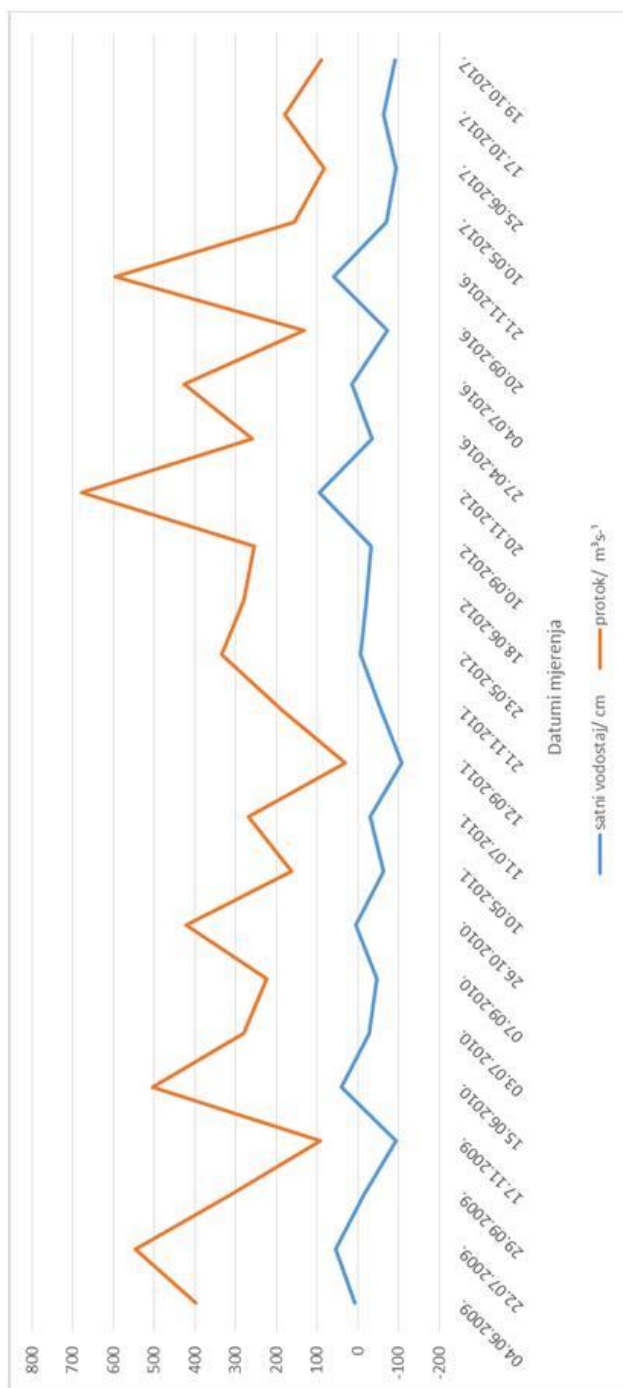
HE DUBRAVA						
RAZDOBLJE ISTRAŽIVANJA OD 2009. DO 2012.GODINE TE OD 2016. DO 2017.GODINE						
PARAMETRI	MIN	MAX	SV	SD	SP	KV %
AMONIЈAK (mgN/l)	<0,025	0,320	-	-	-	-
NITRITI (mgN/l)	<0,003	0,120	-	-	-	-
NITRATI (mgN/l)	<0,5	4,850	-	-	-	-
KLOROFIL A (µg/l)	0,530	31,83	7,741	8,788	1,036	113,5
UKUPNI FOSFATI (mgP/l)	<0,01	0,370	-	-	-	-
UKUPNI KROM (µg/l)	<0,001	10,290	-	-	-	-

#### 4.1.7. Protoci i vodostaji rijeke Drave na mjernoj postaji Donja Dubrava

U istraživanom razdoblju visine vodostaja su proporcionalne protocima za sve datume mjerenja. Maksimalne vrijednosti protoka primjećuju se u proljetnim mjesecima u maksimalnom iznosu od 490,5 m<sup>3</sup>/s, te u zimskim mjesecima u iznosu od 585.4 m<sup>3</sup>/s, dok je najmanji protok u jesen 2009. godine u iznosu od 140 m<sup>3</sup>/s. Maksimalne visina vodostaja za istraživano razdoblje iznosi 100 cm u 2012. godini, a minimalna vrijednost -100 cm u 2009. godini (Tablica 7, Slika 21).

Tablica 7. Prosječne visine vodostaja i protoke za istraživano razdoblje na mjernoj postaji Donja Dubrava.

DONJA DUBRAVA							
RAZDOBLJE ISTRAŽIVANJA OD 2009. DO 2012.GODINE TE OD 2016. DO 2017.GODINE							
	SEZONE	MIN	MAX	SV	SD	SP	KV %
PROTOKE/ m <sup>3</sup> s	P	225,80	463,30	323,00	93,60	38,20	28,98
	LJ	177,60	490,50	332,00	107,90	44,00	32,55
	J	140,00	329,30	245,00	66,40	27,10	27,03
	Z	180,60	585,40	358,00	179,30	73,20	50,07
VODOSTAJI/ cm	P	- 70	42	37,20	26,86	10,96	72,26
	LJ	- 94	55	40,20	29,81	12,17	74,21
	J	- 108	-14	55,70	33,07	13,50	59,41
	Z	-91	94	66,33	34,37	14,03	51,82



Slika 21. Protoke i vodostaji u istraživanom razdoblju od 2009. do 2012. godine te od 2016. do 2017. godine na mjernejoj postaji Donja Dubrava.

#### 4.2. Faunistički sastav rakušaca

U različitim tipovima staništa triju hidroenergetskih sustava rijeke Drave (Varaždin, Čakovec i Dubrava) u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske tijekom istraživanog razdoblja utvrđena je jedna vrsta rakušca koja pripada porodici Crangonyctidae i pet vrsta rakušaca koje pripadaju porodici Gammaridae (Tablica 8).

Tablica 8. Faunistički sastav rakušaca na pojedinim postajama i staništima hidroenergetskog sustava rijeke Drave.

PORODICA	ROD	VRSTA I AUTOR	HE Varaždin				HE Čakovec						HE Dubrava						Tip staništa*	
			V	V	V	V	Č	Č	Č	Č	Č	Č	D	D	D	D	D	D		
			1	2	3	4	1	1 A	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5		6
Crangonyctidae	<i>Synurella</i>	<i>ambulans</i> (F. Müller, 1846)	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	A, B, C, D
Gammaridae	<i>Gammarus</i>	<i>fossarum</i> Koch, 1836	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A, B, C, D
		<i>roeselii</i> Gervais, 1835	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	A, B, C, D
	<i>Dikerogammarus</i>	<i>vilosus</i> (Sowinsky, 1894)	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	A, B, C, D
		<i>haemobaphes</i> (Eicwald, 1841)	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	A, C
		<i>bispinosus</i> Martynov 1925	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A

\*tip staništa: A-akumulacija, B-derivacijski kanal, C-drenažni jarak, D-staro korito (biološki minimum).

Iz porodice Crangonyctidae pronađena je vrsta *Synurella ambulans* koja predstavlja autohtonu vrstu za područje rijeke Drave. Ova vrsta se pojavljuje na svim postajama i tipovima staništa, osim u akumulaciji HE Čakovec (postaja Č1A) i akumulaciji HE Dubrava (postaja D2).

Iz porodice Gammaridae pronađene su autohtone vrste *Gammarus fossarum* i *G. roeselii* te tri invazivne vrste *Dikerogammarus vilosus*, *D. haemobaphes* i *D. bispinosus*. Vrsta *G. fossarum* pojavljuje se na svim postajama u svim tipovima staništa u istraživanom razdoblju kao i vrsta *G. roeselii*, koja nije zabilježena jedino u akumulaciji HE Čakovec (postaja Č2) i akumulaciji Dubrava (postaja D2). Vrsta *D. vilosus* je najbrojnija invazivna vrsta koja se pojavljuje na gotovo svim postajama osim u akumulacijama HE Varaždin i Čakovec (postaje

V1, V2, Č1A i Č2), dok se vrsta *D. haemobaphes* pojavljuje samo u akumulaciji HE Čakovec na postaji Č1 i u drenažnom jarku na postaji Č4. Vrsta *D. bispinosus* zabilježena je u akumulaciji HE Čakovec samo na jednoj postaji (postaja Č1) u istraživanom razdoblju.

#### 4.3. Raznolikost faune rakušaca

##### 4.3.1. HE Varaždin

Tijekom istraživanog razdoblja na postaji V1 zabilježena je velika raznolikost rakušaca u 2009. godini. Zatim slijedi značajno smanjenje u raznolikosti rakušaca od 2010. do 2012. godine, da bi se nakon tog razdoblja raznolikost rakušaca ponovno povećala u 2016. i 2017. godini. Na postaji V2 je tijekom 2010. i 2011. godini raznolikost bila mala, dok u 2012. godini nema raznolikosti rakušaca unutar zajednice koja je prisutna na toj postaji. U 2009., 2016., i 2017. godini primjećuje se najveća raznolikost rakušaca na postaji V1, dok je na postaji V2 najveća raznolikost u 2016. i 2017. godini. Na postaji V2 u 2009. godini abundacije vrsta rakušaca su ujednačene. Na postaji V3 najveća je raznolikost rakušaca u razdoblju od 2009. do 2012. godine te u 2016. godini, dok su u 2017. abundacije vrsta ujednačene. Na postaji V4 u 2009. godini nema raznolikosti rakušaca unutar zajednice, a povećava se u 2010., 2011. i 2017. godini. U 2016. godini abundacija vrsta je ujednačena (Tablica 9).

Tablica 9. Prikaz broja svojiti (S), broja jedinki po m<sup>2</sup> (N), Pielouovog indeksa ujednačenosti (J'), Shannon-Wienerov indeksa raznolikosti (H') i Simpsonov indeksa raznolikosti ( $\lambda$ ) na istraživanim tipovima staništa HE Varaždin tijekom istraživanog razdoblja.

POSTAJE	GODINE	S	N	d	J'	H'(lodge)	$\lambda$
V1	2009	3	399,96	0,33	0,31	0,34	<b>0,84</b>
	2010	0	0	-	-	0	-
	2011	1	66,66	0	-	0	1
	2012	1	77,77	0	-	0	1
	2016	3	344,41	0,34	0,61	<b>0,67</b>	0,60
	2017	3	466,62	0,32	0,72	<b>0,79</b>	0,48
	2009	2	33,33	0,29	<b>0,92</b>	0,64	0,56
V2	2010	1	11,11	0	-	0	1
	2011	1	55,55	0	-	0	1
	2012	0	0	-	-	0	-
	2016	3	255,53	0,36	0,80	<b>0,88</b>	0,49

POSTAJE	GODINE	S	N	d	J'	H'(lodge)	$\lambda$
	2017	2	122,21	0,21	0,68	0,47	<b>0,70</b>
V3	2009	3	116	0,42	0,44	0,48	<b>0,76</b>
	2010	1	20	0	-	0	<b>1</b>
	2011	3	44	0,53	0,83	<b>0,92</b>	0,44
	2012	2	48	0,26	0,41	0,29	<b>0,85</b>
	2016	2	91,6	0,22	0,41	0,29	<b>0,85</b>
	2017	3	10,8	<b>0,84</b>	0,38	0,42	0,80
V4	2009	-	-	-	-	-	-
	2010	3	452	0,33	0,49	0,54	<b>0,70</b>
	2011	3	712	0,30	0,88	<b>0,96</b>	0,42
	2012	0	0			0	
	2016	2	40,8	0,27	<b>0,89</b>	0,61	0,58
	2017	3	191,2	0,38	0,30	0,32	<b>0,83</b>

#### 4.3.2. HE Čakovec

Tijekom istraživnog razdoblja na HE Čakovec primjećuje se velika raznolikost rakušaca na postaji Č1 u 2009. godini. Nakon te godine dolazi do izmjeničnog pada i povećanja raznolikosti rakušaca. Na postaji Č1A u 2010., 2011 i 2012. godini nije zabilježena nijedna vrsta, dok se u 2009., 2016. i 2017. godini pojavljuje jedna svojta. Na postaji Č2 do 2011. godine nema zabilježenih svojti, dok se u 2012., 2016. i 2017. primjećuje linearan porast raznolikosti unutar zajednica. (Tablica 10). U 2009. na postaji Č3 je nalaze se iste svojte unutar zajednice, dok se u ostatku istraživnog razdoblja primjećuje povećanje raznolikosti tijekom godina. Na postaji Č4 u svim godina raznolikost vrsta je velika uz pad ili porast prisutnih svojti unutar zajednice. Na postaji Č5 velika je raznolikost vrsta tokom svih godina, dok je na postaji Č6 situacija tokom godina mijenja. U 2009. godini pojavljuje se samo jedna svojta, dok je veća raznolikost vrsta u 2010., 2012. i 2017. godini. U 2011. i 2016. godini raznolikost je manja radi prisutstva istih svojti (Tablica 10).



Tablica 10. Prikaz broja svojiti (S), broja jedinki po m2 (N), Pielouovog indeksa ujednačenosti (J'), Shannon-Wienerov indeksa raznolikosti (H') i Simpsonov indeksa raznolikosti ( $\lambda$ ) na istraživanim tipovima staništa HE Čakovec tijekom istraživanog razdoblja.

POSTAJE	GODINE	S	N	d	J'	H'(lodge)	Lambda
Č1	2009	4	1166,55	0,42	0,79	<b>1,09</b>	0,38
	2010	1	44,44	0	-	0	<b>1</b>
	2011	2	55,55	0,25	<b>0,97</b>	0,67	0,52
	2012	1	22,22	0		0	<b>1</b>
	2016	2	66,66	0,24	<b>0,92</b>	0,64	0,56
	2017	2	155,54	0,20	<b>0,94</b>	0,65	0,54
Č1A	2009	1	22,22	0	-	0	<b>1</b>
	2010	0	0	-	-	0	-
	2011	0	0	-	-	0	-
	2012	0	0	-	-	0	-
	2016	1	22,22	0	-	0	<b>1</b>
	2017	1	66,66	0	-	0	<b>1</b>
Č2	2009	0	0	-	-	0	-
	2010	0	0	-	-	0	-
	2011	0	0	-	-	0	-
	2012	1	11,11	0	-	0	<b>1</b>
	2016	2	199,98	0,19	0,92	0,64	0,56
	2017	3	377,74	0,33	0,73	<b>0,80</b>	0,48
Č3	2009	2	2124	0,13	<b>0,71</b>	0,49	0,69
	2010	3	1892	0,27	0,25	0,28	<b>0,87</b>
	2011	3	2964	0,25	0,37	0,41	<b>0,80</b>
	2012	3	4912	0,24	0,42	0,46	<b>0,77</b>
	2016	3	475,6	0,32	0,26	0,29	<b>0,87</b>
	2017	4	378,8	0,51	0,13	0,18	<b>0,93</b>
Č4	2009	2	1800	0,13	0,39	0,27	<b>0,86</b>
	2010	2	1040	0,14	0,50	0,35	<b>0,80</b>
	2011	4	6344	0,34	0,12	0,16	<b>0,93</b>
	2012	3	6476	0,23	0,68	<b>0,74</b>	0,57
	2016	4	912,4	0,44	0,43	0,59	0,65
	2017	3	557,6	0,32	0,56	<b>0,61</b>	0,60
Č5	2009	4	1928	0,39	0,23	0,32	<b>0,87</b>
	2010	3	1172	0,28	0,72	<b>0,79</b>	0,56
	2011	3	1180	0,28	0,04	0,05	<b>0,99</b>
	2012	3	336	0,34	0,56	0,61	0,62
	2016	4	46	0,78	0,68	<b>0,95</b>	0,46
	2017	4	134,8	0,61	0,65	<b>0,91</b>	0,49

POSTAJE	GODINE	S	N	d	J'	H'(lodge)	Lambda
Č6	2009	1	56	0		0	1
	2010	3	972	0,29	0,24	0,26	<b>0,89</b>
	2011	2	148	0,20	<b>0,84</b>	0,58	0,60
	2012	2	28	0,30	0,59	0,41	<b>0,76</b>
	2016	2	1,6	2,13	<b>0,81</b>	0,56	0,63
	2017	3	4,4	1,35	0,91	<b>0,99</b>	0,40

#### 4.3.3. HE Dubrava

Tijekom istraživanog razdoblja na HE Dubrava na postaji D1 vidljivo je da se raznolikost rakušaca smanjuje od 2009. do 2012. godine, s time da se zajednici u 2011. i 2012. godini nalazi samo jedna svojta. Na postaji D2 nije pronađena nijedna svojta osim u 2010. i 2017. godini, kada je zabilježena jedna svojta u 2010. godini, odnosno veća raznolikost rakušaca u zajednici u 2017. godini. Najveća raznolikost između svojti je na postaji D3 u 2016. i 2017. godini, zatim od 2009. do 2011. godine, a u 2012. godini raznolikost je manja radi ujednačenosti svojti. Na postaji D5 raznolikost vrsta unutar zajednice je većinom jednaka tijekom godina osim u 2011. godini kada je zabilježena jedna svojta. Na postaji D6 najveća raznolikost vrsta unutar zajednice primjećuje se u 2011., 2016. i 2017. godini, a nešto manja raznolikost 2009., 2010. i 2012. godine (Tablica 11).

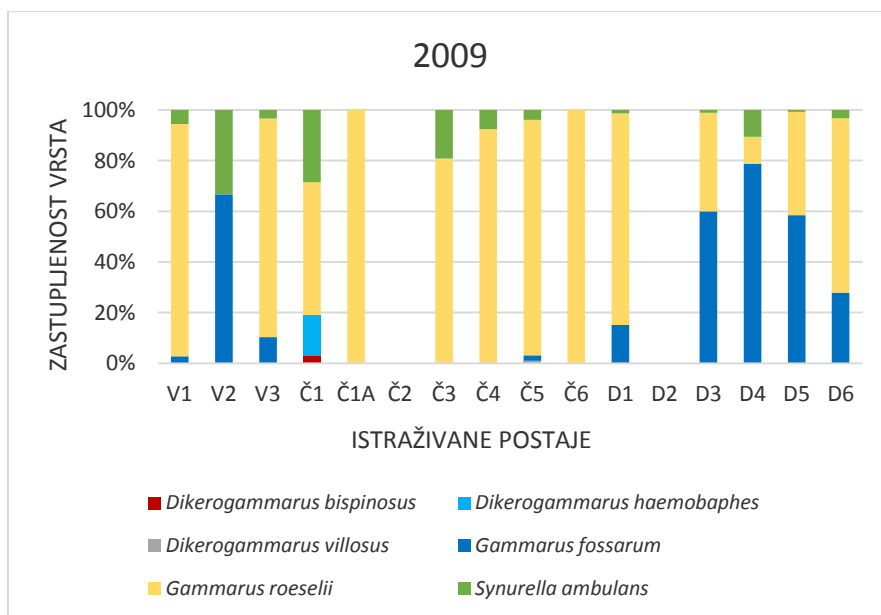
Tablica 11. Prikaz broja svojti (S), broja jedinki po m<sup>2</sup> (N), Pielouov indeksa ujednačenosti (J'), Shannon-Wienerov indeksa raznolikosti (H') i Simpsonov indeksa raznolikosti ( $\lambda$ ). na istraživanim tipovima staništa HE Dubrava tijekom istraživanog razdoblja.

POSTAJE	GODINE	S	N	d	J'	H'(lodge)	Lambda
D1	2009	3	292	0,35	0,45	0,49	<b>0,72</b>
	2010	3	308	0,35	0,29	0,32	<b>0,85</b>
	2011	1	152	0		0	<b>1</b>
	2012	1	64	0		0	<b>1</b>
	2016	3	174,4	0,39	0,64	<b>0,71</b>	0,56
	2017	3	188,8	0,38	0,75	<b>0,82</b>	0,48
D2	2009	0	0	-	-	0	-
	2010	1	11,11	0	-	0	<b>1</b>

POSTAJE	GODINE	S	N	d	J'	H'(lodge)	Lambda
	2011	0	0	-	-	0	-
	2012	0	0	-	-	0	-
	2016	0	0	-	-	0	-
	2017	3	122,21	0,42	0,78	0,86	0,49
D3	2009	3	1408	0,28	0,66	<b>0,72</b>	0,51
	2010	3	1608	0,27	0,32	0,35	<b>0,81</b>
	2011	3	5240	0,23	0,19	0,21	<b>0,91</b>
	2012	2	960	0,15	<b>0,77</b>	0,53	0,65
	2016	4	122	0,62	0,80	<b>1,12</b>	0,35
	2017	4	95,2	0,66	0,84	<b>1,18</b>	0,33
D4	2009	3	528	0,32	0,60	<b>0,66</b>	0,64
	2010	4	1640	0,41	0,44	0,61	<b>0,68</b>
	2011	3	2300	0,25	0,91	<b>1,00</b>	0,39
	2012	3	1492	0,27	0,77	<b>0,84</b>	0,52
	2016	4	547,2	0,48	0,57	<b>0,79</b>	0,57
	2017	3	546,4	0,32	0,89	<b>0,98</b>	0,41
D5	2009	3	992	0,29	0,65	<b>0,72</b>	0,51
	2010	3	620	0,31	0,61	<b>0,67</b>	0,62
	2011	1	976	0		0	<b>1</b>
	2012	3	228	0,37	0,71	<b>0,79</b>	0,56
	2016	3	106	0,43	0,55	<b>0,60</b>	0,60
	2017	3	58	0,49	0,64	<b>0,70</b>	0,52
D6	2009	3	2608	0,25	0,66	<b>0,72</b>	0,55
	2010	3	7080	0,23	0,76	<b>0,84</b>	0,48
	2011	3	260	0,36	0,98	<b>1,08</b>	0,35
	2012	3	1384	0,28	0,54	0,60	<b>0,68</b>
	2016	4	50,4	0,77	0,75	<b>1,036</b>	0,44
	2017	4	184,4	0,57	0,88	<b>1,22</b>	0,33

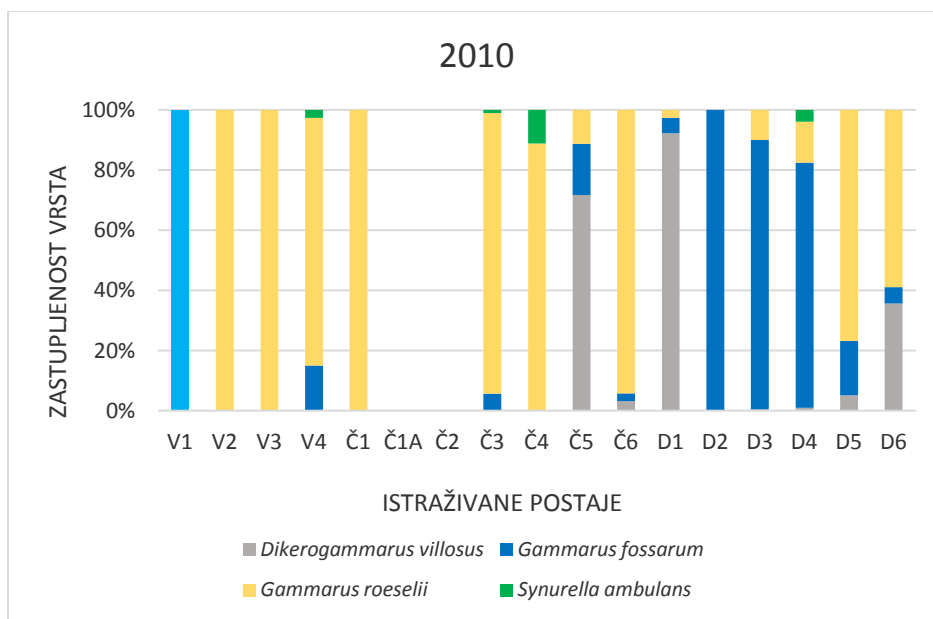
#### 4.4. Zastupljenost autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca

U 2009. godini na svim postajama najviše je zastupljena vrsta *Gammarus roeselii*, zatim nešto manje je zastupljena vrsta *G. fossarum*, a najmanje vrsta *Synurella ambulans*. Invazivne vrste su zastupljene s malom brojnošću, te se pojavljuju na postajama Č1 i Č5. Na postaji Č1 pojavljuje se vrsta *Dikerogammarus haemobaphes* te vrsta *D. bispinosus* za koju je značajno da se pojavljuje samo jednom na ovoj postaji u istraživanom razdoblju. Na postaji Č5 zabilježena je vrsta *D. vilosus*. Iznimka su postaje Č2 i D2, gdje nije zabilježena niti jedna vrsta (Slika 22).



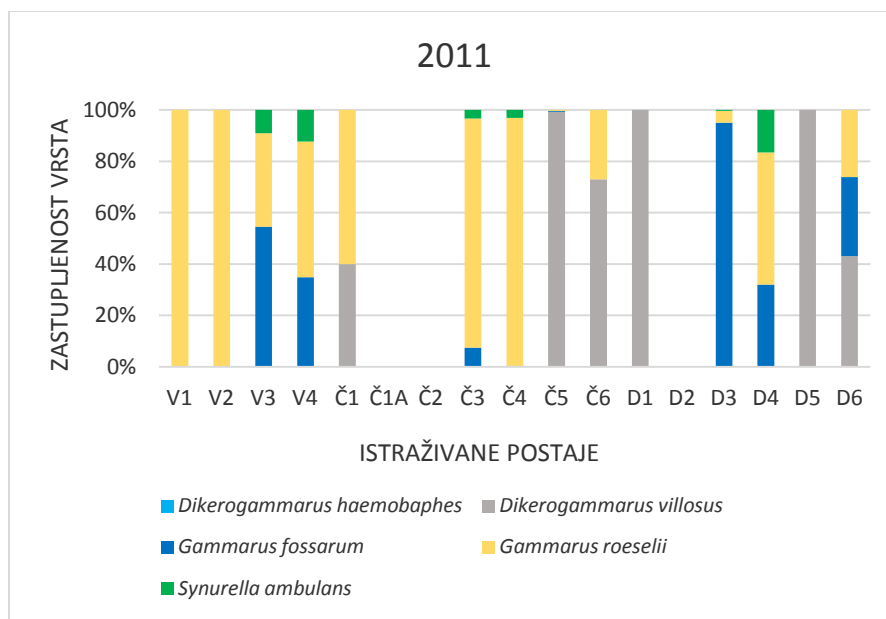
Slika 22. Zastupljenost vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2009. godine.

U 2010. godini najzastupljenija je vrsta *G. roeselii*, a slijede ju vrste *G. fossarum* i *D. vilosus*. Na postajama V2, V3 i Č1 vrsta *G. roeselii* je jedina zabilježena vrsta, dok je na postaji D2 najdominantnija vrsta *G. fossarum*. Velika zastupljenost invazivne vrste *D. vilosus* zabilježena je na postajama Č5 i D1, a nešto manja na postajama D5 i D6. Najmanje zastupljena autohtona vrsta je vrsta *Synurella ambulans* koja je zabilježena na postajama V4, Č3, Č4 i D4. Na postajama V1, Č1A i Č2 nije pronađena niti jedna vrsta (Slika 23).



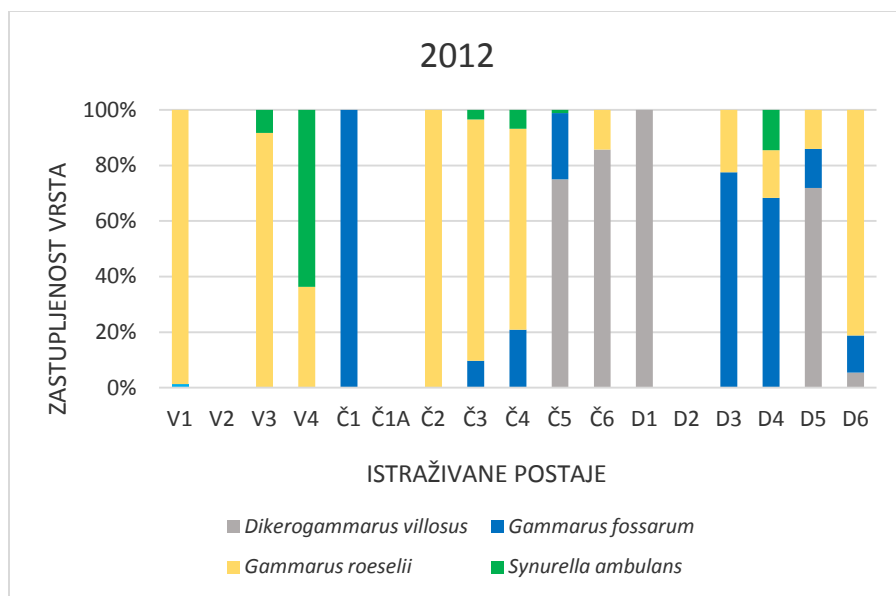
Slika 23. Zastupljenost vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2010. godine.

U 2011. godini zastupljenost autohtonih i invazivnih vrsta prilično se izjednačila, pa tako vrsta *G. roeselii* dominira na postajama V1 i V2, dok invazivna vrsta *D. vilosus* dominira na postajama Č5, Č6, D1 i D5. Vrsta *G. fossarum* zabilježena je na postajama V3, V4, D4 i D6 u gotovo jednakim omjerima u odnosu na ostale vrste pronađene na tim postajama, dok na postaji D3 je najviše zastupljena s obzirom na ostale autohtone vrste, kojih ima manje. Na postajama Č1a, Č2 i D2 nije pronađena niti jedna vrsta (Slika 24).



Slika 24. Zastupljenost vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2011. godine.

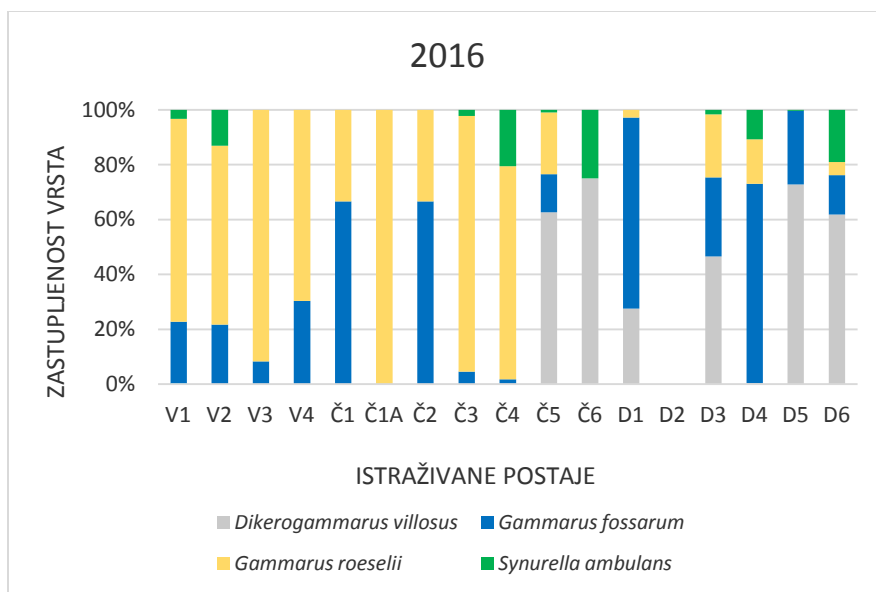
U 2012. godini najviše su zastupljene autohtone vrste rakušaca. Vrsta *G. roeselii* zabilježena je kao jedina vrsta na postajama V1 i Č2, dok je na postajama V3, V4, Č3, Č4 D4 u zajednici s vrstama *Synurella ambulans* i *G. fossarum*. Vrsta *D. vilosus* zabilježena je kao jedina vrsta na postaji D1, dok na postajama Č5, Č6, D5 i D6 je zabilježena zajedno s autohtonim vrstama. Na postajama V2, Č1A i D2 nije pronađena niti jedna vrsta (Slika 25).



Slika 25. Zastupljenost vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2012. godine.

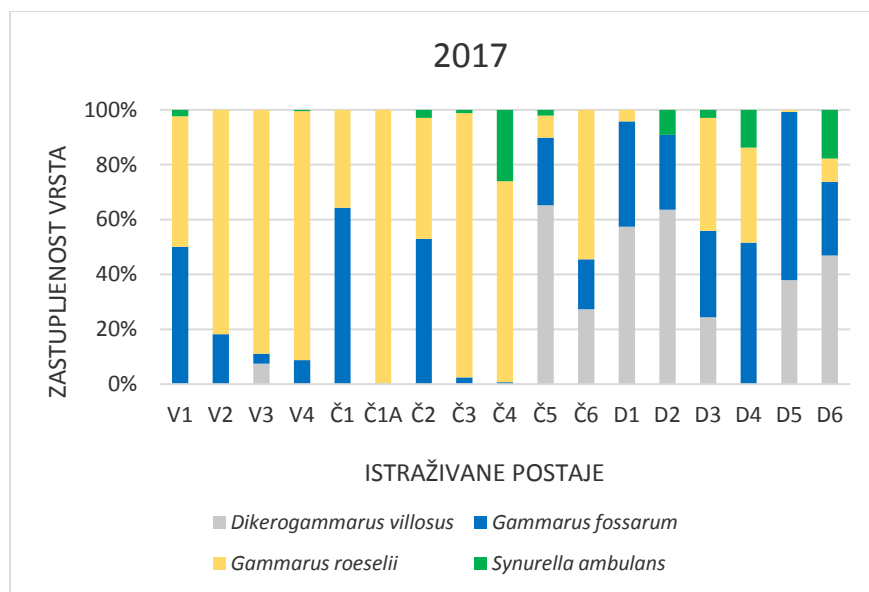
U 2016. godini najviše su zastupljene autohtone vrste koje nalazimo na postajama od V1 do Č4. Najviše je zastupljena vrsta *G. roeselii*, zatim vrsta *G. fossarum*, a vrsta *Synurella ambulans* je najmanje zastupljena vrsta. Na postajama Č5, Č6, D1, D3, D5 i D6 pronađena je invazivna vrsta *D. vilosus* koja na ovi postajama dijeli stanište s autohtonim vrstama te je na većini postaja zastupljenija od autohtonih vrsta. Na postaji D2 nije pronađena niti jedna vrsta (Slika 26).





Slika 26. Zastupljenost vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2016. godine.

U 2017. godini prvi puta je zabilježena invazivna vrsta *D. vilosus* na postaji V3, a njena zastupljenost je vrlo mala u odnosu na zastupljenost autohtonih vrsta na istoj postaji. Duž postaja najviše je zastupljena vrsta *G. roeselii*, slijedi ju vrsta *G. fossarum* i vrsta *Synurella ambulans*. Na postajama Č5, D1, D2 i D6 vrsta *D. vilosus* zastupljenija je od autohtonih vrsta, dok je na postajama D3 i D5 gotovo jednako zastupljena kao i autohtone vrste (Slika 27).



Slika 27. Zastupljenost vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2017. godine.

U Tablici 11. prikazana je relativna zastupljenost autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca za cjelokupno istraživano razdoblje od 2009. do 2012. godine, te od 2016. do 2017. godine. Vrsta *Gammarus roeselii* je zastupljena vrsta dok je vrsta *Gammarus fossarum* česta vrsta. Rijetke vrste su vrste *Synurella ambulans*, *Dikerogammarus villosus*, *D. haemobaphes* i *D. bispinosus*.

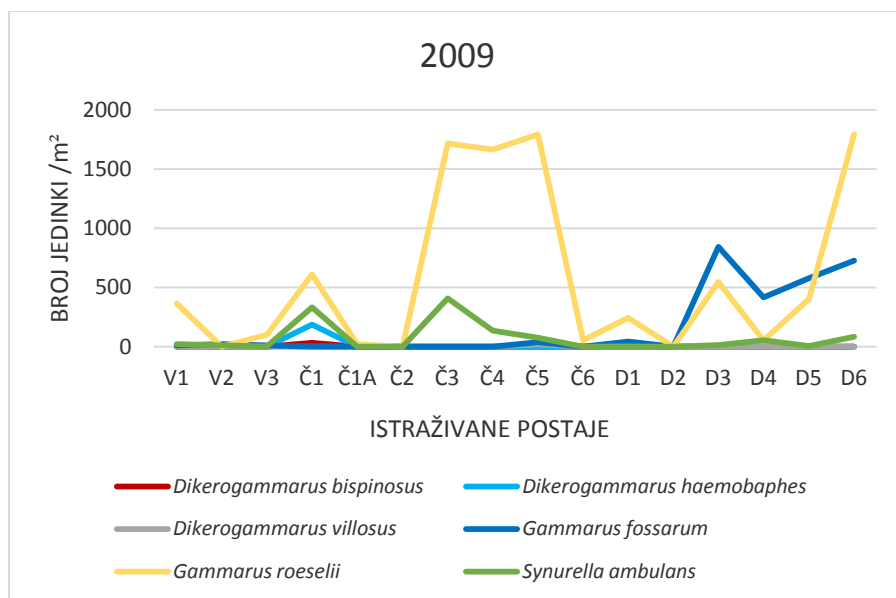
Tablica 11. Kategorizacija relativne zastupljenosti pojedinih vrsta rakušaca provedena je prema Reissu i sur. (2016).

VRSTE	GODINA	HE VARAŽDIN	HE ČAKOVEC	HE DUBRAVA	Relativna zastupljenost	
		%	%	%	%	
<i>Gammarus roeselii</i>	2009.	84,95	82,59	52,30	60,28	2
	2010.	83,44	73,83	44,70		
	2011.	58,55	82,77	16,76		
	2012.	81,15	76,12	39,44		
	2016.	73,00	73,92	12,36		
	2017.	63,91	64,22	21,12		
<i>Gammarus fossarum</i>	2009.	8,25	0,56	44,82	25,33	3
	2010.	14,08	6,48	29,32		
	2011.	30,97	2,24	64,92		
	2012.	0,00	16,38	47,97		
	2016.	20,94	12,77	59,04		
	2017.	34,49	20,67	42,09		

VRSTE	GODINA	HE VARAŽDIN	HE ČAKOVEC	HE DUBRAVA	Relativna zastupljenost	
		%	%	%	%	
<i>Synurella ambulans</i>	2009.	6,80	13,43	2,88	6,77	4
	2010.	2,48	2,66	0,57		
	2011.	10,48	2,77	4,44		
	2012.	18,85	5,16	5,23		
	2016.	6,07	11,51	7,08		
	2017.	1,51	9,76	10,20		
<i>Dikerogammarus vilosus</i>	2009.	0,00	0,28	0,00	7,44	4
	2010.	0,00	17,03	25,42		
	2011.	0,00	12,18	13,89		
	2012.	0,00	2,34	7,36		
	2016.	0,00	1,81	21,52		
	2017.	0,10	5,35	26,59		
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	2009.	0,00	2,66	0,00	0,15	4
	2010.	0,00	0,00	0,00		
	2011.	0,00	0,04	0,00		
	2012.	0,00	0,00	7,36		
	2016.	0,00	0,00	0,00		
	2017.	0,00	0,00	0,00		
<i>Dikerogammarus bispinosus</i>	2009.	0,00	0,47	0,00	0,03	4
	2010.	0,00	0,00	0,00		
	2011.	0,00	0,00	0,00		
	2012.	0,00	0,00	0,00		
	2016.	0,00	0,00	0,00		
	2017.	0,00	0,00	0,00		

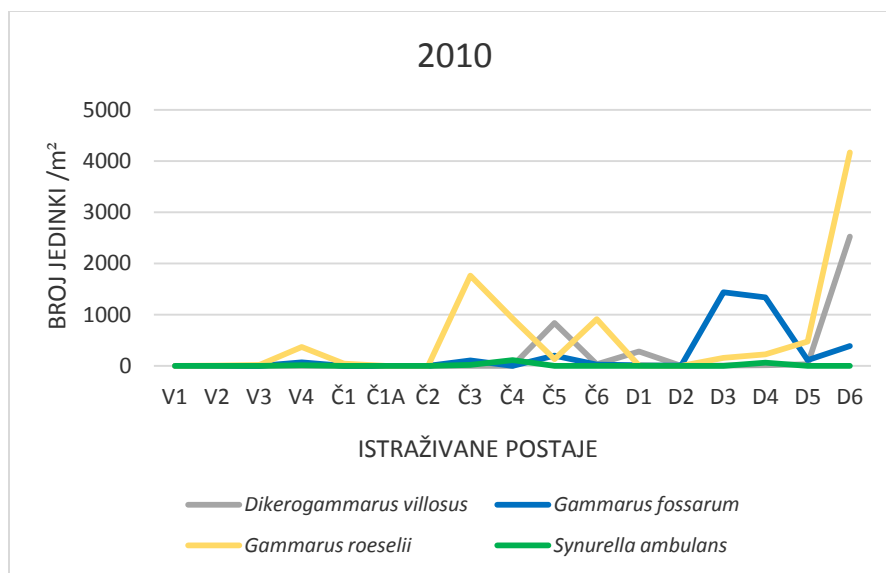
#### 4.5. Gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca

Najveća gustoća populacija u 2009. godini zabilježena je na postaji Č1 gdje su pronađene zajednice autohtonih i invazivnih rakušaca. Zatim slijede postaje od Č2 do Č6 gdje su zabilježene populacije autohtonih vrsta s time da je najveća gustoća populacije vrste *G. roeselii*. Na postaji Č5 pronađena je vrlo mala gustoća populacije vrste *D. vilosus*. Također je mala gustoća populacije vrste *D. bispinosus*. Nizvodnije na postajama od D4 do D6 gustoća populacije autohtonih vrsta raste s ponovnom dominacijom vrste *G. roeselii* (Slika 28).



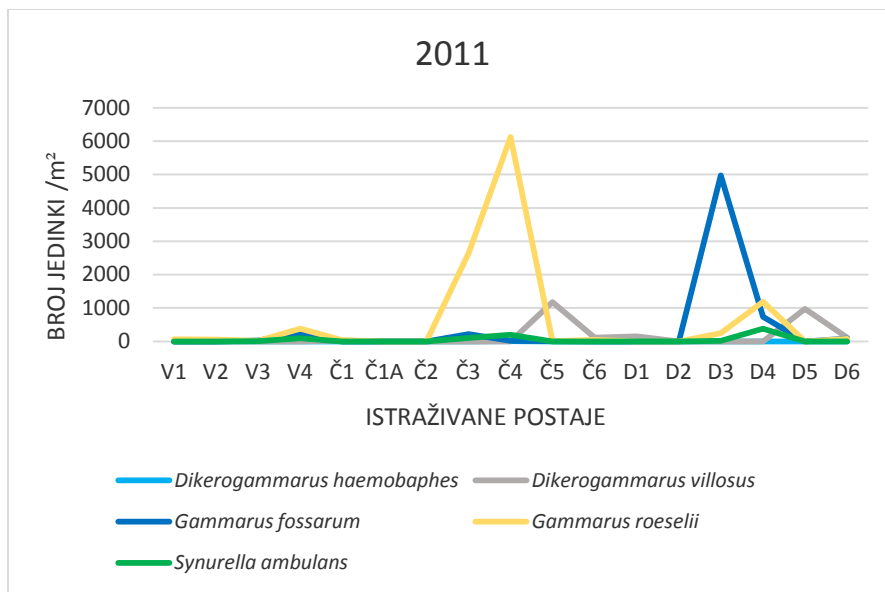
Slika 28. Gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2009. godine.

U 2010. godini gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta je vrlo mala na svim postajama do postaje Č2 gdje se broj jedinki postepeno povećava prema nizvodnijim postajama. Na postajama od Č2 do Č4 zabilježene su male gustoće populacija autohtonih vrsta, a po broju jedinki najbrojnija je populacija vrste *G. roeselii*. Na postaji Č5 i D1 pronađene su populacije invazivne vrste *D. villosus*, koje su na tim postajama veće od populacija autohtonih vrsta. Na postajama od D2 do D4 zabilježene su samo populacije autohtonih vrsta, s najvećom brojnošću populacija vrste *G. fossarum*, dok se na postajama D5 i D6 ponovno pojavljuju populacije vrste *D. villosus* koje obitavaju zajedno s populacijama autohtonih vrsta (Slika 29).



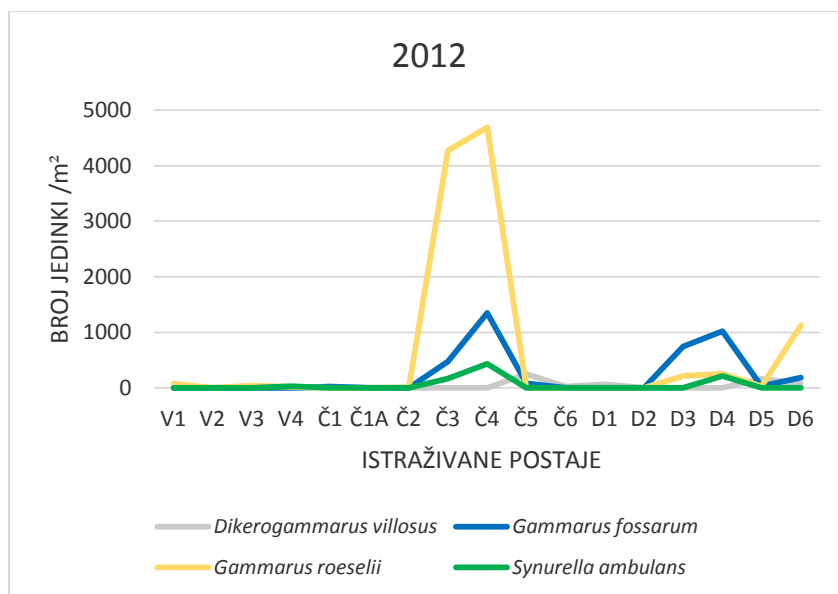
Slika 29. Gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2010. godine.

U 2011. godini zabilježena je mala gustoća populacija autohtonih vrsta na postajama od V1 do Č1A, a povećava se na postajama Č2 i Č3 gdje je najbrojnija populacija vrste *G. roeselii*. Na postajama Č5, D1 i D5 najveća je gustoća populacije invazivne vrste *D. vilosus*, koja je ujedno i jedina vrsta na ovim postajama. Na postaji Č4 javlja se malobrojna populacija vrste *D. haemobaphes*. Veća gustoća populacija autohtonih vrsta je zabilježena na postajama od D2 do D4, gdje je najbrojnija populacija vrste *G. fossarum* (Slika 30).



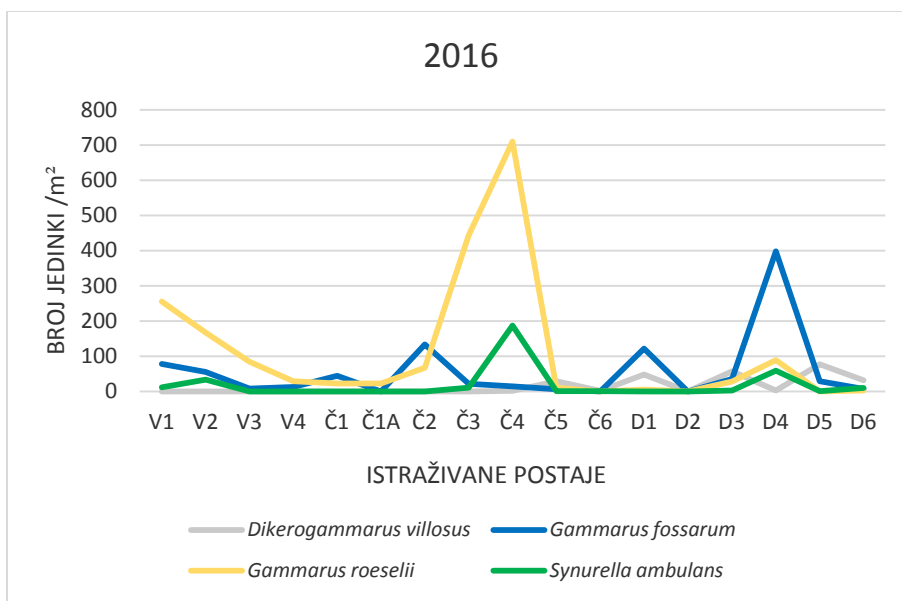
Slika 30. Gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2011. godine.

U 2012. godini je najveća gustoća populacija zabilježena na postajama Č2, Č4, D4 i D6. Na tim postajama veća je gustoća populacija autohtonih vrsta od gustoće populacija invazivnih vrsta (Slika 31).



Slika 31. Gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava 2012. godine.

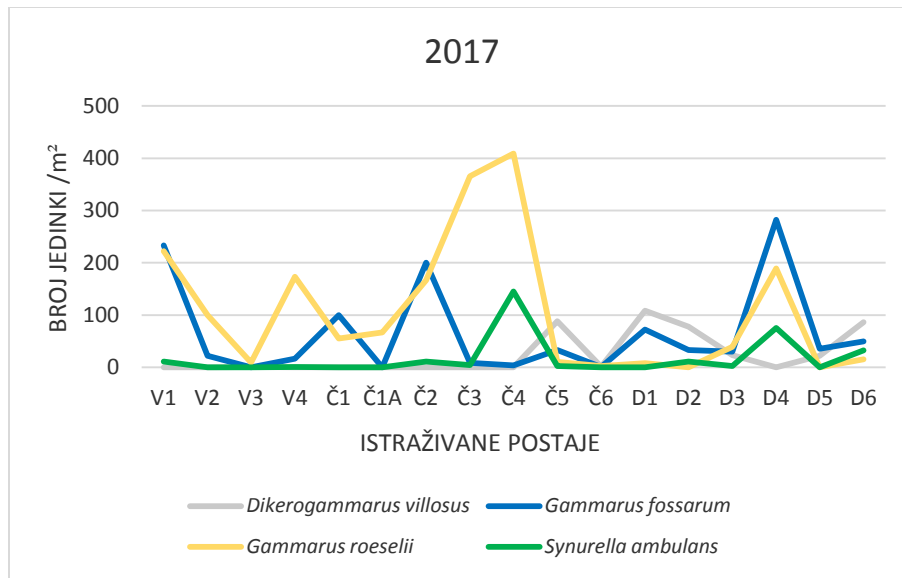
U 2016. godini gustoća populacija autohtonih i invazivnih je veća u odnosu na prethodne godine. Gustoća populacija autohtonih vrsta smanjuje se od postaje V1 do Č1A, a povećava se od postaje Č3. Na postaji Č4 zabilježena je najveća gustoća populacija autohtonih vrsta u 2016. godini, s najvećom brojnošću vrste *G. roeselii*. Na postajama od D3 do D6 zabilježene su autohtone i invazivne vrste, gdje su autohtone vrste brojnije na postajama D3 i D4, a invazivne vrste prevladavaju na postajama D5 i D6 (Slika 32).



Slika 32. Gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava u 2016. godini.

U 2017. godini primjećuje se relativno velika gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta na svim postajama. Na postajama od V1 do Č2 najveća je gustoća populacija vrsta *G. roeselii* i *G. fossarum*, dok je gustoća populacije vrste *Synurella ambulans* najveća na postajama Č4 i D4 u odnosu na ostale postaje. Najveća gustoća populacija autohtonih vrsta zabilježena je na postajama Č3 i Č4, s najvećom brojnošću populacija vrste *G. roeselii*. Na postajama Č5, D1, D2 i D6 gustoća populacije invazivne vrste *D. villosus* je veća od gustoće populacija autohtonih vrsta. Na postaji D4 je najveća gustoća autohtonih vrsta, a na postajama D5 i D6 dolazi do povećanja gustoće populacije invazivne vrste *D. villosus* (Slika 33).



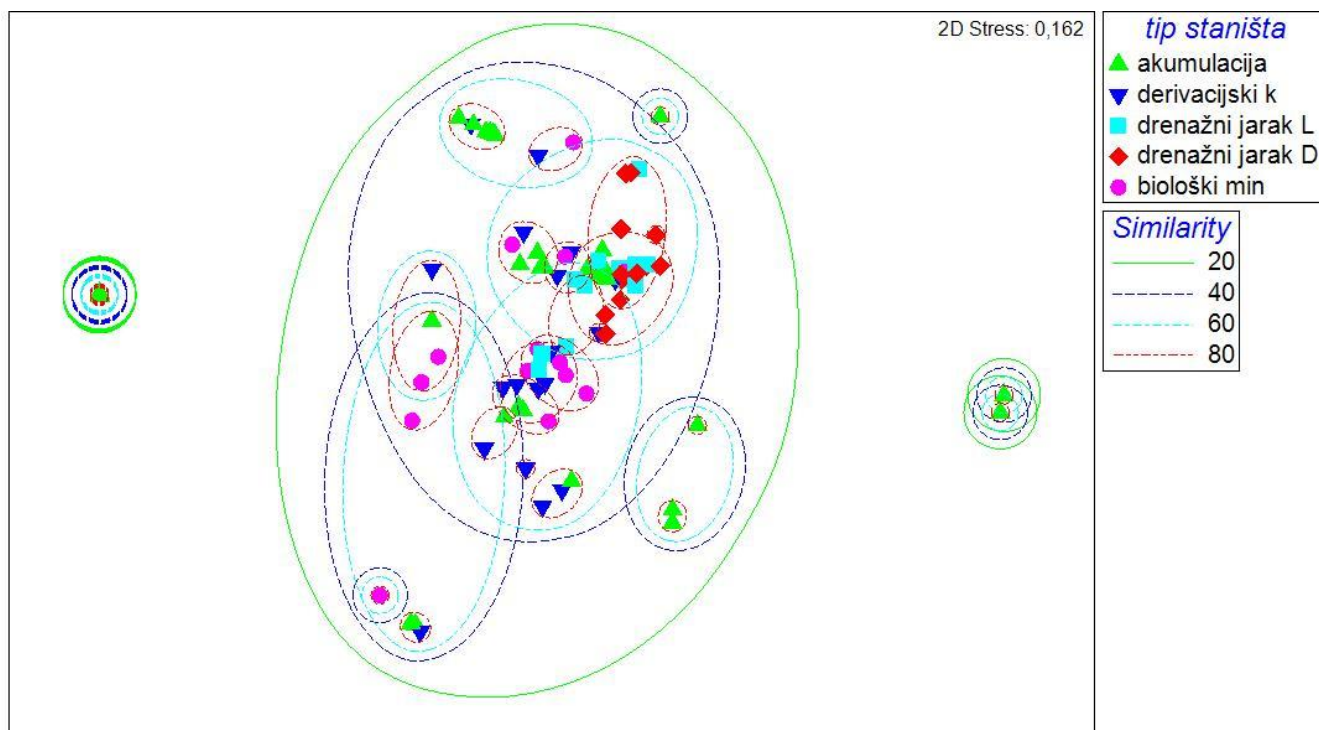


Slika 33. Gustoća populacija autohtonih i invazivnih vrsta rakušaca na istraživanim postajama HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava u 2017. godini.

#### 4.6. Sličnost zajednica rakušaca istraživanih hidroenergetskih sustava rijeke Drave

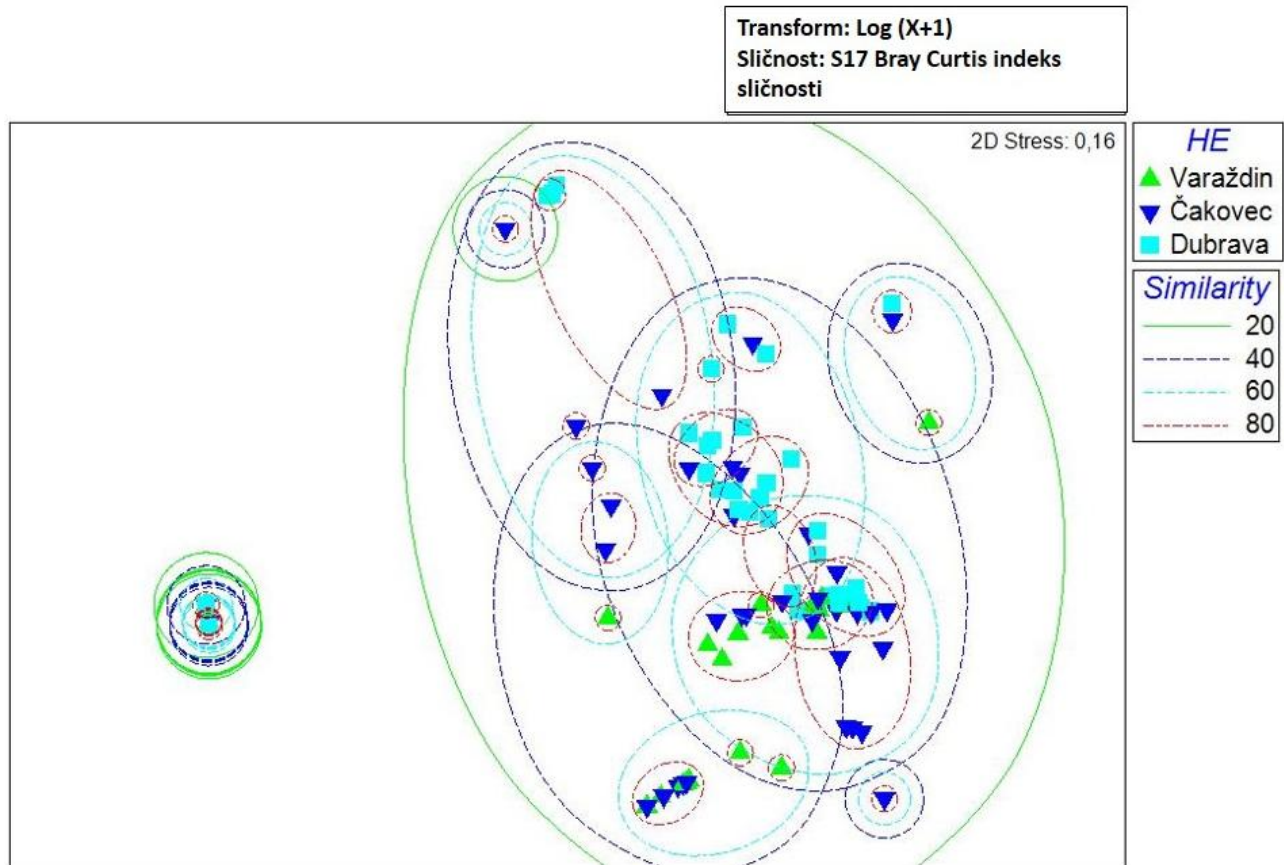
Na temelju Bray-Curtisovog indeksa sličnosti i primjenjene metode prosječnog povezivanja (eng. group average linkage) utvrđena je sličnost zajednica rakušaca između tipova staništa i HE sustava.

Na Slici 34. vidljivo je grupiranje vrsta prema određenim staništima na temelju njihove sličnosti. Najveća sličnost vrsta je utvrđena između lijevih i desnih drenažnih jaraka s postotkom sličnosti od 80%. Akumulacije se uglavnom potpuno odvajaju od ostalih tipova staništa. Radi velike sličnosti u sastavu vrsta, biološki minimumi svih triju hidroenergetskih sustava se također zajedno grupiraju. Derivacijski kanali se grupiraju zajedno s akumulacijama i biološkim minimumom, dok su se svi desni drenažni jarci grupirali zajedno s 80 % sličnosti, a lijevi i desni drenažni jarci su grupirani zajedno sa 60 % sličnosti (Slika 34).



Slika 34. Rezultati analize multidimenzionalnog skaliranja (MDS) bazirana na Brey-Curtis indeksu sličnosti zajednica rakušaca na logaritamski transformiranim podacima ( $\log(x+1)$ ) između istraživanih tipova staništa HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava tijekom provedenog razdoblja istraživanja.

Slika 35. prikazuje grupiranje hidroenergetskih sustava rijeke Drave na temelju zastupljenosti i sličnosti u sastavu vrsta. Najveća sličnost vrsta primjećuje se između HE sustava Čakovec i Dubrava, s postotkom sličnosti od 80 %. Pojedina staništa HE Varaždin nemaju sličnih zajednica s ostalim hidroenergetskim sustavima, pa se izdvaja u zasebne grupe. Iznimno se HE sustav Varaždina grupira s HE sustavom Čakovec, s postotkom sličnosti od 80 %.



Slika 35. Rezultati analize multidimenzionalnog skaliranja (MDS) bazirana na Bray-Curtis indeksu sličnosti zajednica rakušaca na logaritamski transformiranim podacima ( $\log(x+1)$ ) između istraživanih HE sustava Varaždin, Čakovec i Dubrava tijekom provedenog razdoblja istraživanja.

## 5. RASPRAVA

Tijekom razdoblja istraživanja od 2009. do 2012. godine te od 2016. do 2017. godine provedeno je uzorkovanje vode u svrhu monitoringa hidroenergetskih sustava rijeke Drave. Sukladno s time, uzorkovanje vode se provodilo između ostalog za određivanje fizikalno-kemijskih uvjeta vode na mjestu uzorkovanja zajednica makrozoobentosa. Osnovni fizikalno-kemijski parametri zabilježeni su sezonski na svim postajama triju hidroenergetskih sustava HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava, a to su temperatura (°C), količina otopljenog kisika (mg/l), zasićenje vode kisikom (%), pH i električna provodnost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Temperatura vode na svim postajama analiziranih godina je približno u jednakim rasponima. U drenažnim jarcima primjećuje se vrlo mali raspon s niskim vrijednostima temperature tijekom svih sezona, što je posljedica miješanja i utjecaja podzemne vode s vodom iz drenažnih jaraka, za razliku od akumulacija, gdje je najveći raspon temperature. S utjecajem podzemnih voda i otpadnih voda povezana je i količina otopljenog kisika, što se očituje u niskim vrijednostima količine otopljenog kisika u drenažnim jarcima i derivacijskim kanalima. Velike količine otopljenog kisika zabilježene su u akumulacijama, osim u akumulaciji na postaji D1 u 2010. i 2011. godini, gdje je količina otopljenog kisika vrlo niska radi zaraštavanja makrofita i slabijeg protoka vode. Raspon vrijednosti zasićenja vode kisikom analogan je rasponu vrijednosti količine otopljenog kisika, a uvjetovan je hidrološkim uvjetima, to jest topljenjem snijega i leda te podzemnim vodama. Vrijednosti pH vode povezane su s količinom otopljenih karbonata i bikarbonata u vodi, koje se na primjeru drenažnih jaraka očituju kao niske vrijednosti pH radi povećanog utroška karbonatnih iona. Vrijednost električne provodnosti je vrlo niska na svim postajama radi geološke podloge gdje dominiraju silikati, osim u drenažnim jarcima gdje dolazi do miješanja vode s podzemnim vodama u kojima su vrijednosti električne provodnosti povišene zbog veće količine otopljenih iona. Od ostalih parametara zabilježena je koncentracija amonijaka, nitrata, nitrita, klorofila *a* te ukupni fosfati i ukupni krom. Koncentracija svih parametara povećava se nizvodno prema HE Dubrava, gdje su zabilježene najveće razlike između minimalnih i maksimalnih vrijednosti svih parametara u istraživanom razdoblju. Koncentracija amonijaka, nitrata i nitrita najviše ovisi o koncentracijama dušika u atmosferi, fiksaciji dušika te o koncentraciji dušika u podzemnoj vodi. Razlike između minimalnih i maksimalnih vrijednosti ovih parametara najvjerojatnije su posljedica poljoprivrednih aktivnosti, dok su manje razlike između minimalnih i maksimalnih vrijednosti na HE Čakovec i HE Varaždin u područjima gdje

voda brže otječe te tijekom vegetacijskog perioda zbog prisutnih biljnih vrsta. Tijekom analiziranih godina primjećuju se velike razlike u minimalnim i maksimalnim vrijednosti klorofila *a*, čija vrijednost koncentracija upućuje na manju ili veću razinu primarne produkcije (Mrakovčić i sur. 2009, 2010, 2011). Glavni spremnici fosfata u vodi su stijene i sediment, a oslobađaju se trošenjem istih. U rijeci Dravi u istraživanom razdoblju, razlike u minimalnim i maksimalnim koncentracija ukupnih fosfata su male zbog geološke podloge, gdje dominiraju silikati te pohrana organskog fosfora pomoću biljaka. S obzirom na sve veće naseljavanje uz tok rijeke Drave, industriju i zagađenje, maksimalne koncentracije ukupnog kroma ovise o industrijskim ispuštima i otpadnim vodama. Općenito, protoci i vodostaji na netaknutim vodotocima prvenstveno ovise o klimatskim i hidrološkim uvjetima, dok na vodotocima s izgrađenim hidroenergetskim sustavima ovise još i o radu tih sustava. Sukladno s time, očekuje se manja zastupljenost i gustoća populacija rakušaca tijekom visokih vodostaja i brzih protoka koje se primjećuju u proljetnim i zimskim mjesecima (Allan i Castillo 2007).

Tijekom istraživanog razdoblja struktura zajednica je raznolika, a čine ju autohtone i invazivne vrste rakušaca iz reda Amphipoda. Invazivne vrste podrijetlom iz Ponto-kaspijskog bazena, *Dikerogammarus vilosus*, *D. haemobaphes* i *D. bispinosus*, predstavljaju veliku opasnost za autohtonu faunu te mogu negativno utjecati na čitave zajednice makroskopskih beskralješnjaka. Ove vrste su se proširile u rijeku Dravu riječnim putem preko Dunava. Uzvodno širenje invazivnih vrsta u rijeci Dravi odvija se sporije, a unesene su najvjerojatnije nenamjernim transportom vrsta u malim ribičkim čamcima. Također, razlog njihovog sporijeg širenja može biti aktivno uzvodno ili nizvodno kretanje od mjesta ulaska u rijeku Dravu (Žganec i sur. 2007). U ovom istraživanju ove vrste su najprisutnije u drenažnim jarcima, derivacijskim kanalima i starim koritima (biološki minimum). Predstavnici autohtone faune u rijeci Dravi su vrste *Gammarus fossarum*, *G. roeselii* i *Synurella ambulans*. Najzastupljenija i najbrojnija autohtona vrsta je vrsta *G. roeselii* koja se pojavljuje na svim postajama istraživanog toka rijeke Drave. Ova vrsta je dominantnija od vrste *G. fossarum* tijekom cijelog istraživanog razdoblja najvjerojatnije radi veće sposobnosti adaptacije na novostvorena antropogena staništa povezana s pojedinim HE sustavima, kao i na iznenadna onečišćenja vode (Mauchart i sur. 2017). Vrsta *G. fossarum* je na početku istraživanog razdoblja zastupljenija na postajama HE Dubrava, a tijekom istraživanih godina pojavljuje se u sva tri hidroenergetska sustava rijeke Drave. Ova vrsta najčešće živi u zajednicama s drugim autohtonim vrstama, ali pronađena je i u zajednicama s

invazivnim vrstama, primjerice na postajama Č5, D1, D5 i D6 u 2010. godini. Najmanje zastupljena autohtona vrsta tijekom istraživanih godina je vrsta *Synurella ambulans*, koja se pretežno nalazi u zajednicama s vrstama *G. fossarum* i *G. roeselii*, osim 2016. i 2017. godine kada je pronađena i u zajednicama s invazivnom vrstom *D. vilosus*. Vrsta *D. vilosus* je jedna od najopasnijih slatkovodnih vrsta rakušaca koja dolaskom u novo stanište remeti cjelokupan ekosustav (Hellmann i sur. 2017). U rijeci Dravi je ova vrsta prvi puta pronađena 2007. godine u zajednicama s vrstama *D. haemobaphes* i *G. roeselii* (Žganec i sur. 2009). U istraživanom razdoblju vrsta *D. vilosus* je najzastupljenija i najbrojnija invazivna vrsta u rijeci Dravi. Razlog tome je najvjerojatnije šljunkovit supstrat koji pogoduje naseljavanje zajednica ove vrste (Žganec i sur. 2009). Suprotno tome, vrsta *D. haemobaphes* preferira muljeviti supstrat (Žganec i sur. 2009) pa je zbog toga vrlo malo zastupljena u istraživanom toku, a pronađena je u akumulaciji na postaji Č1 u 2009. godini i u drenažnom jarku na postaji Č4 u 2011. godini. Za ovu vrstu smatra se da je prva ponto-kaspijska vrsta koja se proširila u europske rijeke 1994. godine, a za njom je uslijedila vrsta *D. vilosus* godinu kasnije (Chen i sur. 2012). Prema Žganec i sur. (2009) kasnija invazija vrste *D. vilosus* je uvjetovala smanjenje populacija i nestanak vrste *D. haemobaphes* u rijeci Dravi. Zbog mogućnosti adaptacije na različita mikrostaništa (Bacela-Spychalska i sur. 2013), vrsta *D. vilosus* naseljava sve tipove staništa hidroenergetskih sustava rijeke Drave, te je ova karakteristika vrste vidljiva u svim istraživanim godinama. Njezin suživot s autohtonom faunom na pojedinim istraživanim postajama je moguć zbog različitog odabira staništa, gdje autohtona fauna preferira makrofite. U akumulacijama ova vrsta svojom predacijom potiskuje autohtone vrste, pa tako primjerice u 2011. i 2012. godini na postaji D1 nije pronađena niti jedna jedinka autohtone faune. Najveće populacije vrste *D. vilosus* pronađene su u drenažnim jarcima i starim koritima (biološki minimum), gdje povoljniji i stabilniji uvjeti uvjetuju njeno naseljavanje. Vrsta *D. bispinosus*, također podrijetlom iz Ponto-kaspijskog bazena (Bij de Vaate i sur. 2002) pronađena je u akumulaciji na postaji Č1 u 2009. godini te predstavlja jedinu postaju pojavljivanja u istraživanom razdoblju. Prema sveukupnim rezultatima ovog rada, vidljivo je da je najveća bioraznolikost na postajama u drenažnim jarcima zbog utjecaja podzemnih voda koje uvjetuju stabilne uvjete života, dok je najmanja bioraznolikost vrsta u derivacijskim kanalima radi većeg strujanja vode. U akumulacijama su zabilježene pretežno zajednice autohtonih vrsta.

## 6. ZAKLJUČAK

Usporedbom dobivenih rezultata u istraživanom razdoblju od 2009. do 2012. godine, te od 2016. do 2017. godine na trima hidroenergetskim sustavima rijeke Drave može se zaključiti slijedeće:

- U rijeci Dravi pronađene su tri vrste autohtonih rakušaca *Gammarus fossarum*, *Gammarus roeselii* i *Synurella ambulans*, te tri invazivne vrste *Dikerogammarus vilosus*, *Dikerogammarus haemobaphes* i *Dikerogammarus bispinosus*.
- Od autohtonih vrsta najbrojnija je vrsta *Gammarus roeselii* zbog uspješnije adaptacije na novonastale uvjete u izmijenjenim staništima HE sustava od ostalih autohtonih vrsta.
- Invazivne vrste u rijeci Dravi na području sjeverozapadne Hrvatske potječu iz Ponto-kaspijskog bazena, a proširile su se tzv. „južnim koridorom“ iz rijeke Dunav te uzvodnim kretanjem rijekom Dravom.
- Rasprostranjenost invazivnih vrsta rakušaca duž slijeva rijeke Drave u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske je longitudinalna, s najuzvodnijim nalazom nizvodno od akumulacije HE Varaždin. Tipovi staništa koji omogućuju prodor invazivnih vrsta te ujedno doprinose uspješnoj invazivnosti su drenažni jarci u kojima su uvjeti života najstabilniji.
- Vrsta *Dikerogammarus vilosus* je najzastupljenija invazivna vrsta koja se proširila rijekom Dravom do odvodnog kanala HE Varaždin nizvodno od strojarnice. Ova vrsta zbog svoje uspješne adaptacije na novo stanište i predacije ugrožava autohtonu faunu, a na pojedinim postajama dovodi do potpunog nestanka autohtonih vrsta.
- Gotovo potpuni nestanak invazivne vrste *Dikerogammarus haemobaphes* uvjetovan je prisutnošću velike gustoće populacija vrste *Dikerogammarus vilosus*.
- Gustoća populacija vrste *Dikerogammarus vilosus* dosegla je maksimalne vrijednosti na početku osvajanja HE sustava Dubrava u dovodnom kanalu i biološkom minimumu te potom značajno stagnira brojnošću.
- Zbog nedostatnog broja podataka o lateralnom trendu širenja invazivnih rakušaca i njihovom učinku na autohtone vrste u pritokama rijeke Drave, potrebno je provoditi intenzivnija istraživanja te redoviti monitoring kako bi se dobio bolji uvid u sastav i rasprostranjenost invazivnih vrsta.



## 7. LITERATURA

Allan J.D., Castillo M.M. 2007. Stream ecology. Structure and function of running waters. Springer, 57-65, 256-265.

Bacela Spychalska K., Grabowski M., Rewicz T., Konopacka A., Wattier R., 2013. The "killer schrimp" *Dikerogammarus vilosus* (Crustacea, Amphipoda) invading Alpine lakes: overland transport by recreational boats and scuba-diving gear as potential entry vectors?. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, Wiley Online Library, DOI:10.1002/aqc.2329.

Berezina N. A., Duriš Z., 2008. First record of the invasive species *Dikerogammarus vilosus* (Crustacea: Amphipoda) in the Vltava River (Czech Republic). Aquatic Invasions, 9, 4, 455-460.

Bij de Vaate A., Jazdzewski K., Ketelaars H. A. M., Gollasch S., Van der Velde G. 2002. Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59, 1159 – 1174.

Bioinstitut d.o.o. 2017. Izvješće o fizikalno-kemijskim i mikrobiološkim ispitivanjima površinskih i podzemnih voda Hidroelektrane Dubrava u 2017. godini.

Bioinstitut d.o.o. 2017. Izvješće o fizikalno-kemijskim i mikrobiološkim ispitivanjima površinskih i podzemnih voda Hidroelektrane Čakovec u 2017. godini.

Bioinstitut d.o.o. 2017. Izvješće o fizikalno-kemijskim i mikrobiološkim ispitivanjima površinskih i podzemnih voda Hidroelektrane Varaždin u 2017. godini.

Bognar A. 1996. Geomorfološke značajke bazena porječja Drave. Geografski horizont, 42, 1, 21-27.

Casellato S., La Piana G., Latella L., Ruffo S. 2003. *Dikerogammarus vilosus* (Sowinsky, 1894) (Crustacea, Amphipoda; Gammaridae) for the first time in Italy. Italian Journal of Zoology. 73, 1, 97–104.

Chen W., Lipkowski K., Jourdan J., Plath M., Streit B., Klaus S. 2012. *Dikerogammarus*

*haemobaphes* in the river Lahn, Germany with notes on the dynamics of Amphipoda assemblages. *Lauterbornia*, 75, 7-93.

Emde S., Rueckert S., Palm H.W., Klimpel S. 2012. Invasive Ponto-Caspian Amphipods and Fish Increase the Distribution Range of the Acanthocephalan *Pomphorhynchus tereticollis* in the River Rhine. *Plos One*, 7, 12, e53218.

Geoportal, dostupno na <https://geoportal.dgu.hr/>) (pristupljeno 07.04.2018.)

Grabowski M., Bacela K., Konopocka A. 2007. How to be an invasive gammarid (Amphipoda: Gammaroidea) – comparison of life history traits. *Hydrobiologia*, 590, 75-84.

Gherardi F. 2007. Biological invasions in inland waters: an overview. U: Gherardi F. (2007): *Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution and threats*. Springer, 2, Dordrecht.

Grlica I. 2008. Studija biološke raznolikosti rijeke Drave, Dravske mrtvice i odvojeni rukavci II dio, Prirodoslovno društvo «Drava», II dio, str. 79.

Hellmann C., Schöll F., Worischka S., Becker J., Winkelmann C. 2017. River-specific effects of the invasive amphipod *Dikerogammarus villosus* (Crustacea: Amphipoda) on benthic communities. *Biological Invasions*, 19, 381–398.

Holdich D.M., Pöckl M. 2007. Invasive crustaceans in European inland waters. U: Gherardi F. 2007. *Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution and threats*. Springer, 2, Dordrecht.

Hrvatske vode 2014. Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja 33, dostupno na [http://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp\\_33\\_-\\_provedbeni\\_plan\\_obrane\\_od\\_poplava.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp_33_-_provedbeni_plan_obrane_od_poplava.pdf), (pristupljeno 08.04.2018.).

Hrvatske vode, Zavod za fotogrametriju d.d. Zagreb. 2007. Hidrografski atlas rijeke Drave rkm 299+200 – 323+000.

Hrvatske vode, Zavod za fotogrametriju d.d. Zagreb. 2009. Hidrografski atlas rijeke Drave rkm 236+700 – 299+200.

Hrvatske vode. 2013. Vodič za hidromorfološki monitoring i ocjenu stanja rijeka u Hrvatskoj, dostupno na <http://www.voda.hr/sites/default/files/projekti/2014/meander.pdf> (pristupljeno 29.04.2018.).

Malmqvist B., Rundle S. 2002. Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation*, 29, 2, 134-153.

Marić M., Grgurević O. 2007. Krajobraz-suvremena Europska kretanja, Slovenski model i iskustva, stanje u Hrvatskoj. *Prostor* 2/34/15, 272-281.

Mrakovčić M., Mustafić P., Mišetić S., Plenković-Moraj A., Mihaljević Z., Kerovec M., Razlog-Grlica J., Zanella D., Čaleta M., Buj I., Brigić A., Marčić Z., Kralj Borojević K. 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014. Biološka ispitivanja nadzemnih voda na HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava u 2008., 2009., 2010., 2011., 2012., 2013. i 2014. godini. Prirodoslovno-matematički fakultet. Biološki odsjek. Zoologijski zavod. Zagreb.

Mauchart P., Czirok A., Horvai V., Herczeg R., Mora A., Czabai Z. 2017. Effects of meso- and microhabitat characteristics on the coexistence of two native gammaride species (Crustacea, Gammaridae). *Hydrobiology*, DOI: 10.1002/iroh.201601855.

Mustafić P., Mrakovčić M., Plenković-Moraj A., Mihaljević Z., Kerovec M., Zanella D., Marčić Z., Čaleta M., Udović M. G., Žutinić P., Horvatić S., Vajdić S. 2015, 2016, 2017. Biološka ispitivanja nadzemnih voda na HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava u 2015., 2016. i 2017. godini. Prirodoslovno-matematički fakultet. Biološki odsjek. Zoologijski zavod. Zagreb.

Platvoet D., Jaimie D.T.A., MacNeil C., Van Riel M., Van der Velde G. 2009. Invader–invader interactions in relation to environmental heterogeneity leads to zonation of two invasive amphipods, *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky) and *Gammarus tigrinus*; Sexton: amphipod pilot species project (AMPIS) report 6. *Biological Invasions*, 11, 2085-2093.

Pöckl M., Webb B.M., Sutcliffe D.W., 2003. Life history and reproductive capacity of *Gammarus fossarum* and *Gammarus roeselii* (Crustacea:Amphipoda) under naturally fluctuating water temperatures: a simulation study. *Freshwater Biology*, 48, 53-66.

Projekt FRISCO1 „Prekogranično usklađeno slovensko-hrvatsko smanjenje rizika od poplava – strateški projekt 1 – negrađevinske mjere“ s akronimom FRISCO1 (Flood Risk Slovenia-Croatia Operations 1) u okviru programa prekogranične suradnje INTERREG VA Slovenija – Hrvatska za razdoblje 2014-2020., dostupno na <https://frisco-project.eu/hr/slivna-podrucja-rijeka/drava/> (pristupljeno 30.03.2018.).

Režek, D. 2003. Hidroelektrane na Dravi. *Građevinar* 55 11. 647-653.

Rosgen D.L. 1994. A classification of natural rivers. *An Interdisciplinary Journal of Soil Science, Catena*, 22, 169-199.

Strategija upravljanja vodama. NN 91/08.

Šlehta T., Mihalić T., 2009. Tipologija površinskih voda sliva rijeke Drave. *Hrvatske vode*, 67, 3-18.

Tomas, D., Čuk, R., Marić S., Mijatović, I., 2013. Assessment of the Drava river (Croatia) by Water Quality Index Method. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22, 3a, 904 – 913.

Trenc N., Ivičić B., Palada D., Rodić Baranović P., Duplić A., Jeremić J., Kopjar S., Grlica I., Vukelić J., Trinić D, Karoglan Todorović S. , Mrakovčić M., Marčić Z., Mađerić B. 2009. Stručna podloga za proglašenje područja Mura – Drava u Republici Hrvatskoj regionalnim parkom. Državni zavod za zaštitu prirode. Zagreb.

Uredba o standardu kakvoće vode. (NN 73/13, 151/14, 78/15 i 61/16).

Wawezyniak B., Gruszka P., 2005. Population dynamics of alien gammarid species in River Odra estuary. *Hydrobiologia*, 539, 13-25.

Uredba o proglašenju regionalnog parka Mura – Drava. (NN 22/2011.).

Wies J.S., 2010. The role of behavior in the success of invasive crustaceans. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 43, 83-98.

WWF ADRIA. 2018. Dostupno na [croatia.panda.org](http://croatia.panda.org) (pristupljeno 08.05.2018.).

Zakon o plovidbi i lukama unutarnjih voda. NN 109/07, 132/07.

Žganec K., Gottstein S., Hudina S., 2009. Ponto-Caspian amphipods in Croatian large rivers. *Aquatic Invasions*, 4, 2, 327-335.

Žganec K., Ćuk R., Dekić S. 2015. New records of the invasive amphipod *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1899) in Croatia. *Natura Croatica*, 24, 2, 247-254.

Žganec K., Ćuk R., Tomović J., Lajtner J., Gottstein S., Kovačević S., Hudina S., Lucić A., Mirt M., Simić V., Simčić T., Paunović M. 2018. The longitudinal pattern of crustacean (Peracarida, Malacostraca) assemblages in a large south European river: bank reinforcement structures as stepping stones of invasion. *Limnology Journal*, 54, DOI: : 10.1051/limn/2018008

Žilić I., 2013. Utjecaj hidromorfoloških promjena srednjeg i donjeg toka rijeke Save na invazivne vrste rakušaca (Crustacea, Amphipoda). Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.

## 8. ŽIVOTOPIS

Franka Prevedan rođena je 21.09.1989. u Čakovcu. U Varaždinu pohađa Prvu osnovnu školu Varaždin kao i Prvu gimnaziju Varaždin gdje i maturira 2008. godine. Preddiplomski studij Znanosti o okolišu na Fakultetu prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti Sveučilišta u Mostaru upisuje 2012. godine te sveučilišni prvostupnik postaje 26.02.2016. godine. Iste godine upisuje diplomski studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Od 01.10.2015. do 01.10.2016. radi u tvrtci GEO3D d.o.o. u Varaždinu. Sudjeluje na manifestaciji Noć biologije 2018. godine. Služi se računalnim vještinama (poznavanje rada u Microsoft Office - Word, Excel, Powerpoint, Outlook, internet te poznavanje rada u AutoCad-u) kao i engleskim jezikom (razumijevanje C1, govor B2, pisanje B2 - prema zajedničkom europskom referentnom okviru za jezike). Završila napredni tečaj engleskog jezika u Elizabeth Johnson Organisation (EJO) u Bristolu (Engleska) 2006. godine.