# Biološko onečišćenje industrijske infrastrukture s invazivnom vrstom školjke - osvrt

**Rimay, Tena**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Metallurgy / Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:115:513175

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF METALLURGY
SISAK

*Repository / Repozitorij:*

Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

METALURŠKI FAKULTET

PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ METALURGIJE

SMJER INDUSTRIJSKA EKOLOGIJA

Tena Rimay

# ZAVRŠNI RAD

Sisak, lipanj 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

METALURŠKI FAKULTET

PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ METALURGIJE

SMJER INDUSTRIJSKA EKOLOGIJA

Tena Rimay

# Biološko onečišćenje industrijske infrastrukture invazivnom vrstom školjke - osvrt

ZAVRŠNI RAD

Voditelj: Doc. dr. sc. Ivan Brnardić

Članovi ispitnog povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ankica Rađenović – predsjednik

Doc. dr. sc. Tahir Sofilić – član

Doc. dr. sc. Ivan Brnardić – član

Doc. dr. sc. Tamara Holjevac – Grgurić – zamjenski član

Sisak, lipanj 2015.

**ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Ivanu Brnardiću na vođenju i pomoći oko pisanja rada, doc dr. sc. Tahiru Sofiliću na sugestijama te doc dr. sc. Jasni Lajtner sa Prirodoslovno matematičkog fakulteta na informacijama o invazivnim vrstama školjaka u Republici Hrvatskoj koje je pružila.

**SADRŽAJ**


Popis slika....2
Sažetak....3
Abstract....4
1. Uvod....5
2. Raznolika trokutnjača (lat. *Dreissena polymorpha*)....7
2.1. Općenito o vrsti....7
2.2. Stanište raznolike trokutnjače....7
2.3. Prirodna i okupirana staništa raznolike trokutnjače....8
2.4. Reprodukcija i rast raznolike trokutnjače....8
2.5. Ishrana raznolike trokutnjače....8
2.6. Predatori raznolike trokutnjače....9
2.7. Uloga raznolike trokutnjače u ekosustavu....9
2.8. Sposobnost bioakumulacije teških metala u raznolikoj trokutnjači....9
3. Invazija slatkovodnih staništa raznolikom trokutnjačom....10
3.1. Sjeverna Amerika - SAD....11
3.2. Europa....12
3.3. Hrvatska....12
3.3.1. Stanje legislative u Republici Hrvatskoj....12
3.3.2. Rasprostranjenost raznolike trokutnjače u Republici Hrvatskoj....12
4. Onečišćenje industrijske infrastrukture raznolikom trokutnjačom....14
5. Utjecaji različitih faktora na reprodukciju i rast raznolike trokutnjače....15
5.1. Metode kontrole raznolike trokutnjače kombinacijom topline i oksidacijskih sredstava....16
5.2. Pobakrivanje cjevovoda kao način kontrole raznolike trokutnjače....19
5.3. Uporaba nonilfenola za kontrolu raznolike trokutnjače....21
5.4. Hipoksija kao metoda kontrole raznolike trokutnjače....23
5.5. Nove metode za suzbijanje pojave raznolike trokutnjače....24
6. Zaključak....26
7. Literatura....27
Životopis....29

**Popis slika**

Slika 1. Izgled raznolike trokutnjače.....7

Slika 2. Raznolika trokutnjača pričvršćena na brodsko dno.....10

Slika 3. Lokacije okupirane raznolikom trokutnjačom u SAD-u 1988. godine.....11

Slika 4. Lokacije okupirane raznolikom trokutnjačom u SAD-u 2013. godine.....11

Slika 5. Raširenost raznolike trokutnjače u Europi 2008. godine.....12

Slika 6. Rasprostranjenost raznolike trokutnjače u Hrvatskoj.....13

Slika 7. Rast raznolike trokutnjače oko cijevi.....14

Slika 8. Začepljenje vodovodne cijevi uzrokovano raznolikom trokutnjačom.....15

Slika 9. Ovisnost kumulativne smrtnosti o vremenu izloženosti različitim koncentracijama zaostalog klora.....17

Slika 10. Ovisnost smrtnosti o temperaturi, bez i s dodatkom oksidacijskog sredstva.....18

Slika 11. Vrijeme potrebno za postizanje 95%-tne smrtnosti u ovisnosti o temperaturi vode.19

Slika 12. Bakar-nikal legura na koju se jedinke raznolike trokutnjače ne pričvršćuju.....20

Slika 13. Velik broj jedinki raznolike trokutnjače pričvršćenih na čelične konstrukcije.....20

Slika 14. Konstrukcija premazana premazom na bazi bakra.....21

Slika 15. Postotak nepričvršćenih školjaka za površinu spremnika pri različitim koncentracijama nonilfenola u različitim vremenima izloženosti.....22

Slika 16. Ovisnost smrtnosti o vremenu izloženosti različitim koncentracijama nonilfenola..22

Slika 17. Ovisnost potrošnje kisika o testnoj temperaturi za školjke aklimatizirane na različitim temperaturama.....23

Slika 18. Postotak neoštećenih veliger ličinki u ovisnosti o vremenu; bez $TiO_2$ - ×, 0,1 g/L $TiO_2$ - ♦, 0,2 g/L - ■ i 0,5 g/L - ▲.....24

Slika 19. Postotak neoštećenih veliger ličinki u ovisnosti o vremenu.....25

## SAŽETAK

Onečišćenje okoliša može biti prirodnog ili antropogenog porijekla, a unutar navedenog postoji i biološko. Uzročnici biološkog onečišćenja su invazivne vrste koje svojim razmnožavanjem i rastom negativno djeluju na prirodni ekosustav. U ovu skupinu se ubraja i školjka raznolika trokutnjača (lat. *Dreissena polymorpha*). Otkrivena je 1796. godine u rijekama Uralu, Volgi i Dnjepru. Prirodno stanište su joj područja središnje i istočne Europe, te neke države u Aziji. S tih lokacija proširila se (plovnim prometom, pražnjenjem balastnih voda) u ostatak Europe te do Sjeverne Amerike. Osim štetnog djelovanja po prirodni ekosustav, uočeno je i štetno djelovanje na industrijsku infrastrukturu.

U radu je opisana školjka te je dan pregled raznih studija kroz koja su ispitana djelovanja različitih kemijskih spojeva na raznoliku trokutnjaču (u vidu sprječavanja reprodukcije te smrtnosti). Pokazalo se kako su školjke veoma otporne te kako se brzo mogu prilagoditi i steći imunost. Najučinkovitiji načini u suzbijanju uzrokovanja ekonomske štete u industrijskim postrojenjima su kloriranje vode, zagrijavanje vode uz istovremeno korištenje oksidansa te korištenje bakrenih cijevi ili pobakrivanje čeličnih cijevi. Dan je i osvrt na istraživanje provedeno s ciljem utvrđivanja utjecaja nonilfenola i hipoksije na reprodukciju i smrtnost te na nove metode koje su još uvijek u razvoju.



**Ključne riječi:** biološko onečišćenje, raznolika trokutnjača, *Dreissena polymorpha*, invazivne vrste

**The biological pollution of industrial infrastructure with invasive mussel – review**

## ABSTRACT

Environmental pollution can be of natural or anthropogenic origin, and within the specified there is also biological pollution. The causes of biological pollution are invasive species that with the propagation and growth affect the natural ecosystem. This includes Zebra mussel (lat. *Dreissena polymorpha*). Zebra mussel was discovered in 1796 in the rivers of the Urals, the Volga and the Dnieper. Natural habitat are areas of Central and Eastern Europe, and some Asian countries. From these locations, Zebra mussel has spread (waterway transport, discharge of ballast water) through the rest of the Europe and to the North America. In addition to its harmful effects on the natural ecosystem adverse effect on the industrial infrastructure have also been observed.

In this paper Zebra mussel was described and an overview of the several studies about the effects of various chemical compounds on the inhibition of reproduction as well as their mortality was given. The mussels are durable and can quickly adapt and acquire immunity. The most effective ways to suppress economic damage in industrial plants are chlorination of water, heating the water in a presence of the oxidant and the use of copper pipes or coppering of steel pipes. The survey conducted in order to explore the impact of nonylphenol and hypoxia on reproduction and mortality, and the new methods that are still in development are given.

**Key words:** biological pollution, Zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, invasive species

# 1. Uvod

Onečišćenje okoliša može biti prirodnog ili antropogenog porijekla. Kada se govori o onečišćenju prirodnog porijekla misli se na ono uzrokovano poplavama, potresima, šumskim požarima, erupcijama vulkana i sl. Onečišćenja antropogenog porijekla su sva onečišćenja uzrokovana djelovanjem čovjeka: onečišćenja uzrokovana prometom, obrađivanjem zemljišta (korištenje umjetnih gnojiva, pesticida, herbicida...), industrijom, ratovima.

Uz navedeno, onečišćenje može biti biološkog porijekla. Uzročnici biološkog onečišćenja su invazivne vrste koje svojim razmnožavanjem i rastom negativno djeluju na prirodni ekosustav.

Uzročnici biološkog onečišćenja mogu biti i biljne i životinjske vrste, što često dovodi do šteta koje u zemljama Europske Unije mogu iznositi i desetke milijardi eura[1].

Kako niti jedno životno stanište na svijetu nije zaštićeno od pojave invazivnih vrsta, bilo da se radi o fitocenozi ili zoocenozi, tako se te vrste mogu naći i kod nas.

U Republici Hrvatskoj, jedna od najpoznatijih invazivnih biljnih vrsta je ambrozija (lat. *Ambrosia artemisiifolia*). U Europu stiže kontaminiranim pošiljkama sjemena oko 1860. godine iz Sjeverne Amerike. Poznato je kako je njena pelud jedan od najjačih alergena te kako često raste na neobrađenim zemljištima. Biljka pajasen (lat. *Ailanthus altissima*), porijeklom iz Kine, u Europu dolazi kao ukrasna biljka početkom 18. st. Danas je jedna od najopasnijih invazivnih drvenastih biljaka u Hrvatskoj koja lučenjem otrova zaustavlja rast biljaka u svojoj blizini. Kanadska hudoljetnica (lat. *Conyza canadensis*) jedna je od biljaka izrazito invazivnog karaktera, kao i široke rasprostranjenosti. Pripada najbrojnijoj porodici glavočika, a njezino širenje je omogućeno velikim brojem sitnih sjemenki koje se lako prenose vjetrom na velike udaljenosti. Srebrnolisna pomoćnica (lat. *Solanum elaeagnifolium Cav.*) je jedna od najinvazivnijih kopnenih biljaka Mediterana. Posebno je opasna jer može prenijeti niz bolesti na poljoprivredne kulture. Svi dijelovi ove biljke su otrovni, osobito njeni plodovi, koji mogu biti smrtonosni za ljude ukoliko ih se pojede[2].

Poznato je kako u Hrvatskoj postoje i životinjske invazivne vrste. Javanski mungos (lat. *Herpestes javanicus auropunctatus*) je na Mljetu naseljen 1909. godine kako bi riješio problem velikog broja zmija, no kasnije, u nedostatku zmija, počinje se hraniti glodavcima i pticama te čini štetu seoskim gospodarstvima. Kukac pod imenom Harlekinska božja ovčica (lat. *Harmonia axyridis*) u Europu je unesen šezdesetih godina prošlog stoljeća sa ciljem suzbijanja biljnih uši na nasadima. Međutim, naglo se širi diljem svijeta i počinje stvarati probleme za ekosustave i za gospodarstvo[3]. Gambuzija (lat. *Gambusia affinis*) je vrsta slatkovodne ribe koja je u Hrvatsku došla 1924. godine, a cilj uvoza bio je biokontrola komaraca. Do problema dolazi spoznajom da se hrani ribljim jajima i mlađi te ličinkama kukaca i vodozemaca, kao i da ima negativan utjecaj u smislu eliminacije zavičajnih vrsta riba te nestanak nekih vrsta vodozemaca[4].

Među invazivnim vrstama u slatkovodnim ekosustavima Republike Hrvatske, svakako vrlo značajno mjesto zauzimaju školjkaši.

Ovaj rad predstavlja osvrt na jednu od invazivnih vrsta školjaka pod imenom raznolika trokutnjača (lat. *Dreissena polymorpha*). Uz nju, u Hrvatskoj je zabilježena pojava još četiri vrste invazivnih školjaka – krupnorebrasta kotarica (lat. *Corbicula fluminea*) i istočnoazijska bezupka (lat. *Sinanodonta woodiana*) te *Dreissena bugensis*[5] i *Ferrissia fragilis*[6] koje za sada nemaju hrvatsko ime.

Raznolika trokutnjača vrsta je školjke koju je 1796. godine otkrio njemački zoolog Peter Simon Pallas u rijekama Uralu, Volgi i Dnjepru[7]. Prirodno stanište su joj područja središnje i istočne Europe te neke države u Aziji. S tih lokacija proširila se u ostatak Europe te do Sjeverne Amerike, a s obzirom na nepostojanje prirodnih neprijatelja na tim lokacijama (ili na mali broj predatora koji se njima hrane) vrlo brzo su preuzele teritorij autohtonim vrstama

školjaka. Zabilježeni su slučajevi pričvršćivanja raznolike trokutnjače na postojeće kolonije školjaka čime im je onemogućeno hranjenje što naposljetku dovodi do izumiranja.

Raznolika trokutnjača poznata je kao bioakumulator, a uslijed akumulacije visokih koncentracija teških metala dolazi do prijenosa istih kroz hranidbeni lanac.

Širenje raznolike trokutnjače uzrokovano je plovnim prometom, tj. prijenosom njenih kolonija na vanjskim stijenkama plovila te pražnjenjem balastnih voda u pristaništima brodova. Nakon što se školjka nastani u jednom dijelu jezera ili rijeke, rekreativnim veslanjem se, na isti način kao i brodovima (pričvršćivanjem ili zaplitanjem u vegetaciju), proširi i na ostatak jezera ili riječnog toka.

Osim štetnog djelovanja po prirodni ekosustav, uočeno je i štetno djelovanje na industrijsku infrastrukturu. Naime, školjke se nastanjuju unutar cjevovoda u kojima uzrokuju začepljenje. Također, dugotrajna prekrivenost školjkama dovodi do degradacije drveta, betona i čelika.

U ovom radu je načinjen pregled dostupnih literaturnih izvora u kojima su istraživani načini širenja ove invazivne vrste i metode njihove kontrole, odnosno smanjivanja njenog utjecaja na zavičajne vrste.

Biti će prikazani literaturni rezultati istraživanja utjecaja nekih sredstava (nonilfenol) i fizikalnih metoda (hipoksija) u kontroli raznolike trokutnjače u industrijskoj infrastrukturi.

# 2. Raznolika trokutnjača (lat. *Dreissena polymorpha*)

Raznoliku trokutnjaču otkrio je njemački zoolog Peter Simon Pallas 1769. godine u rijekama Dnjepru, Volgi i Uralu[7].

## 2.1. Općenito o vrsti

Odrasle školjke imaju dvije trokutne ljuske, najčešće smeđe boje prošarane prugama (slika 1). Upravo te pruge razlog su da se ova školjka naziva *Zebra mussel* na engleskom jeziku. Trbušna ljuska je spljoštena da bi se školjka mogla pričvrstiti na podlogu (pijesak, mulj, kamenje)[8]. Raznolika trokutnjača je heterotermna vrsta što znači da se njena tjelesna temperatura mijenja s promjenom temperature okoline[9].



Slika 1. Izgled raznolike trokutnjače[10]

Na slici 1., prikazana je raznolika trokutnjača te moguće varijacije u izgledu njenih pruga i boje.

## 2.2. Stanište raznolike trokutnjače

Staništa raznolike trokutnjače su slatkovodne stajaćice ili spore tekućice u kojima se pričvrste na prirodne materijale ili predmete napravljene od strane čovjeka (brodovi, cijevi, dokovi, itd.). Uz to, česta je pojava da se pričvrste na druge školjke te im tako onemoguće kretanje i ishranu što dovodi do njihovog izumiranja[9].

Najčešće žive na dubinama od 2 do 12 metara, no nađene su i na dubinama od 60 metara. Plitka voda te led otežavaju im preživljavanje. Potrebna im je voda s mnogo otopljenog kalcija te vrlo male kiselosti. Na temperaturama vode od oko 3 °C prestaju s rastom. Kod temperatura vode između 25 i 30 °C dolazi do bržeg rasta, nakon čega ponovno dolazi do usporavanja rasta i konačno do smrti na temperaturi vode od 36 °C[8].

## 2.3. Prirodna i okupirana staništa raznolike trokutnjače

Prirodna staništa raznolike trokutnjače sljevovi su Crnog, Kaspijskog i Aralskog mora. Vrlo je invazivna vrsta i proširila se cijelom Europom; na sjeveru do Velike Britanije i Skandinavije, na istoku do Azije, na jugu do Turske. Migracija se nije dogodila prirodnim putem već posredovanjem čovjeka. Iz tog razloga, raznolika trokutnjača na područjima koja okupira uopće nema prirodnih predatora ili je njihov broj vrlo mali, što omogućuje njeno nesmetano razmnožavanje. Širenje raznolike trokutnjače nije zabilježeno samo na europskom kontinentu, već i na onom Sjeverne Amerike.

Države u kojima je ova vrsta autohtona su Bugarska, Gruzija, Kazahstan, Rumunjska, Rusija, Turkmenistan, Ukrajina, Uzbekistan.

Države u koje je ova vrsta uvedena su Afganistan, Albanija, Austrija, Bosna i Hercegovina, Danska, Francuska, Hrvatska, Njemačka, Indija, Italija, Kanada, Kina, Nizozemska, Pakistan, SAD, Slovačka, Španjolska, Švedska, Turska, Ujedinjeno Kraljevstvo i mnoge druge[14].

## 2.4. Reprodukcija i rast raznolike trokutnjače

Raznolika trokutnjača postaje spolno zrela s godinom dana (kada dosegne duljinu 8-9 mm). Razmnožavanje počinje u proljeće, kada su temperature vode oko 12 °C. U staništima sa stalno toplim vodama, mogu se razmnožavati konstantno. Ženke u vodu ispuštaju jajašca, a mužjaci spermu te tako dolazi do oplodnje. Svake godine, ženka može ispustiti i do milijun jajašaca.

Tri do pet dana nakon oplodnje, iz jajašca izlazi ličinka (taj stadij naziva se veliger). Ona pliva u smjeru vodene struje te ima ljusku koja tek započinje s rastom. Nakon što se kroz stadij veliger ličinki razviju unutarnji organi (uključujući stopalo) te ljušture srastu, započinje stadij postveliger. Kroz postveliger stadij nastavlja se rast te se nakon mjesec dana postveliger ličinka pričvrsti za podlogu gdje ostaje do kraja života. Nakon pričvršćivanja, dolazi do metamorfoze u odrasli stadij[8]. Životni vijek raznolike trokutnjače može biti od 3 do 9 godina, naravno, uz iznimke[11].

## 2.5. Ishrana raznolike trokutnjače

Raznolika trokutnjača filtracijom vode dolazi do hranjivih tvari potrebnih za život. Odrasla školjka dnevno preradi (profiltrira) jednu litru vode. Hrane se jednostaničnim organizmima (bakterije, zelene alge, praživotinje) te vrlo finim česticama smrvljenog krša[11] čiji se ostaci nakon prerade u organizmu talože na dno jezera i rijeka u obliku fekalija. Čestice koje nisu hranjive, talože se na dno jezera i rijeka zajedno sa sluzi u obliku pseudofekalija[9].

## 2.6. Predatori raznolike trokutnjače

Ličinke raznolike trokutnjače nemaju obranu protiv predatora, one su dio zooplanktona u vodi. Njima se hrane brojne male ribe (uključujući mlade ribe velikih vrsta riba), veslonošci, slatkovodne hidre, čak i slatkovodne spužve.

Većina riba ne može se hraniti odraslim jedinkama raznolike trokutnjače zbog nemogućnosti probijanja ljuske, no neke vrste razvile su čeljust i zube dovoljno jake za svladavanje ove prepreke.

U Europi, glavni predatori ove školjke su ribe žutoperka (lat. *Rutilus rutilus*), djeverika (lat. *Abramis brama*) i crni amur (lat. *Mylopharyngodon piceus*) koji se proširio iz Azije te je predator na oba kontinenta.

U Sjevernoj Americi, neki od predatora raznolike trokutnjače su ribe sunčanica (lat. *Lepomis gibbosus*), koja je iz Sjeverne Amerike stigla i u Europu, glavočić okrugljak (lat. *Neogobius melanostomus*) i šaran (lat. *Cyprinus carpio*), čije su prirodno stanište euroazijski prostori.

Predatori ove školjke mogu biti i ptice (najčešće patke), a neke od njih su patka crnika (lat. *Aythya marila*), mala crnika (lat. *Aythya affinis*), krunasta patka (lat. *Aythya fuligula*) te galebovi[12].

## 2.7. Uloga raznolike trokutnjače u ekosustavu

Raznolika trokutnjača ima važnu ulogu u ekosustavu. Ukoliko je određena lokacija stanište velikom broju jedinki, iste mogu profiltrirati velike količine planktona iz vode, čime na toj lokaciji ostaje manje hrane za ribe koje se njima hrane. Uloga ove školjke na lokaciji koja je postala njeno stanište je višestruka.

Filtracijom dolazi do pročišćavanja i razbistravanja vode te sunčeve zrake prodiru do većih dubina što pogoduje rastu akvatičnog bilja pa tako raznolika trokutnjača „narušava“ ekološku ravnotežu lokacije što ima šire posljedice koje mogu biti pozitivne, a i negativne. Naime, akvatično bilje predstavlja hranu i sklonište ribama i beskralježnjacima. Uslijed pojačanog rasta akvatičnog bilja, dolazi i do izraženije pojave truljenja istog. Nanošenje trulog bilja na obalu uzrokuje smanjenje kvalitete vode[12].

## 2.8. Sposobnost bioakumulacije teških metala u raznolikoj trokutnjači

Zbog sposobnosti akumulacije velikih količina toksičnih teških metala, raznolika trokutnjača se često koristi za biomonitoring, tj. kao bioindikator.

Uz mogućnost uporabe kao bioindikatora, važno je istaknuti kako ova naglašena sposobnost bioakumulacije teških metala ima i neželjene posljedice. Naime, zbog visokih koncentracija teških metala koje možemo pronaći u školjkama, moguć je i njihov prijenos kroz hranidbeni lanac.

Provedenim istraživanjem[13], utvrđeno je kako se u najvećim koncentracijama akumuliraju bakar i cink, a slijede olovo i kadmij. Kadmij se u najvećim koncentracijama akumulira u utrobi, a olovo, bakar i cink u bisusnim nitima (organ za vezanje na podlogu).

# 3. Invazija slatkovodnih staništa raznolikom trokutnjačom

Do sredine devedesetih godina prošlog stoljeća malo se znalo o važnosti ljudskog faktora u širenju ove invazivne vrste. Studije su kasnije pokazale kako je upravo ljudski faktor odigrao najveću ulogu te kako je rekreativno veslanje najznačajniji način širenja.

Odrasle jedinke raznolike trokutnjače mogu se pričvrstiti na površine plovila (slika 2.) ili se zaplesti u vegetaciju na sidrima te brodskim motorima, dok ličinke mogu ostati zatočene u brodskom dnu i rashladnoj vodi te u kantama s mamcima.



Slika 2. Raznolika trokutnjača pričvršćena na brodsko dno[15]

Na slici 2., prikazano je brodsko dno prekriveno raznolikom trokutnjačom – način transporta do staništa koja postaju okupirana.

Ukoliko se dogodi da se odrasle školjke ili ličinke nađu na jednom od navedenih mjesta u brodu koji često putuje na nove lokacije, postoji rizik od invazije. Studije su pokazale kako u prosjeku 8% (u iznimnim slučajevima i do 30%) plovila transportira odrasle školjke zapletene u vegetaciju do područja koja kasnije bivaju okupirana. Odrasle jedinke mogu preživjeti tri do pet dana u suhom okruženju te nekoliko tjedana u mokrim ribarskim mrežama. Studijama je također utvrđeno kako je rekreativno veslanje uzrok širenja kroz već okupirano područje[16].

Problem invazije putem ispuštanja balastnih voda, prema istraživanjima, mogao bi biti riješen deoksigenacijom balastnih voda pomoću dušika, čime ne samo da dolazi do velike stope smrtnosti organizama koje ne želimo transportirati, već i do smanjenja korozije brodova[1].

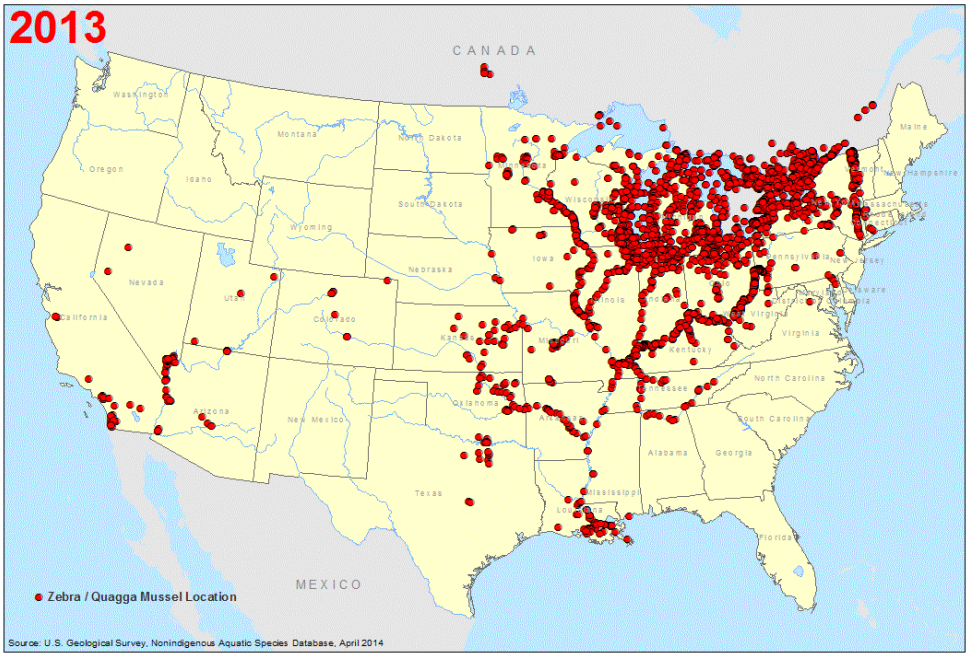
## 3.1. Sjeverna Amerika - SAD

Raznolika trokutnjača, kao prirodna vrsta središnje i istočne Europe, u Sjevernoj Americi prvi put je uočena u jezeru St. Clair 1988. godine. Smatra se kako je do njene pojave u tom području došlo ispuštanjem balastnih voda iz brodova koji su doplovili iz slatkih voda europskog područja. Nekoliko godina kasnije, uočeno je širenje Mississippijem. Isprva, širenje je bilo rapidno, a s vremenom se usporilo.

Stanje 1988. godine te stanje 2013. godine, prikazani su na slikama 3 i 4.




Slika 3. Lokacije okupirane raznolikom trokutnjačom u SAD-u 1988. godine[18]

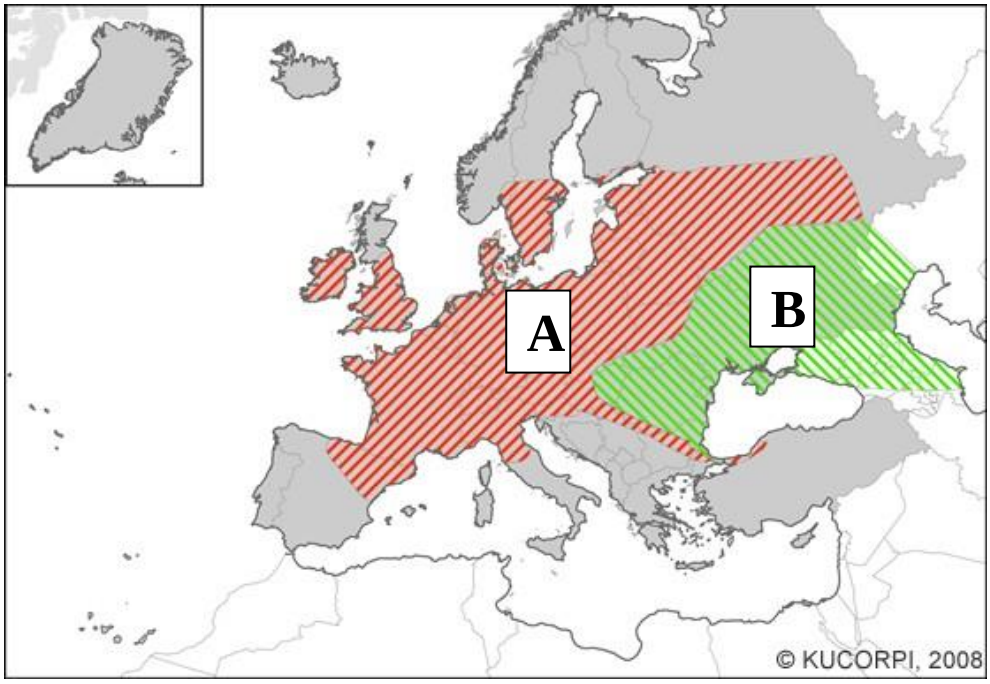



Slika 4. Lokacije okupirane raznolikom trokutnjačom u SAD-u 2013. godine[19]

## 3.2.Europa

Širenje raznolike trokutnjače Europom intenzivira se u ranom 19. stoljeću. Raznolika trokutnjača uočena je najprije u Rotterdamu 1826. godine, zatim u Hamburgu 1830. te u Kopenhagenu 1840[20].

U Velikoj Britaniji, u okrugu Surrey, 1824. godine ova školjka je korištena kao ribolovni mamac, a tokom 1830-ih se proširila. U Irskoj, u rijeci Shannon, primijećena je 1997. godine, a u Španjolskoj, u rijeci Ebro 2001. godine[20]. Invazija raznolike trokutnjače nastavlja se i u drugim dijelovima Europe, koju je većim dijelom „osvojila" u proteklih desetak godina, a što se može vidjeti i na slici 5.




Slika 5. Raširenost raznolike trokutnjače u Europi 2008. godine[21]

Na slici 5. je prikazano stanje raširenosti raznolike trokutnjače u Europi, pri tome su prirodna staništa raznolike trokutnjače označena slovom B, a slovom A su označena ona staništa u kojima je zabilježena kao invazivna vrsta.

## 3.3.Hrvatska

### 3.3.1. Stanje legislative u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj je unos stranih vrsta u prirodu reguliran *Zakonom o zaštiti prirode*[22]. Tim zakonom zabranjuje se unos stranih vrsta u prirodu, osim u iznimnim slučajevima koje odobrava Uprava za zaštitu prirode Republike Hrvatske. Provedbeni ili podzakonski akti kojima je regulirano pitanje unosa stranih primjeraka živih vrsta su:

1. *Pravilnik i prekograničnom prometu i trgovini zaštićenim vrstama*[23]
2. *Pravilnik o načinu izrade i provođenju studije o procjeni rizika uvođenja, ponovnog uvođenja i uzgoja divljih svojti* [24]

Osim strateških dokumenata zaštite prirode u RH, pitanje i problematika stranih vrsta regulirani su unutar specifičnih sektorskih pravnih propisa[6] kojima se štite hrvatski ekosustavi i u njima prisutne vrste.

Usprkos brojnim propisima, u Republici Hrvatskoj još uvijek ne postoje specifični dokumenti niti nacionalna strategija sprječavanja i kontrole utjecaja invazivnih vrsta, kao niti popis invazivnih vrsta i njihova klasifikacija te distribucija, veličina i dinamika populacija.

Unaprjeđenjem legislative i propisa ustanovili bi se prioriteti u upravljanju invazivnim vrstama, izradile procjene njihovog utjecaja na promatrane ekosustave te predvidjeli njihovi utjecaji u budućnosti i izvodile mjere za sprječavanje tih utjecaja.

### 3.3.2. Rasprostranjenost raznolike trokutnjače u Republici Hrvatskoj

Pojava raznolike trokutnjače zabilježena je i u Hrvatskoj iako je jedna od rijetkih zemalja sa još uvijek relativno dobro očuvanom autohtonom florom i faunom[6]. Uz raznoliku trokutnjaču, u Hrvatskoj postoje još četiri vrste invazivnih školjaka – krupnorebrasta kotarica (lat. *Corbicula fluminea*) i istočnoazijska bezupka (lat. *Sinanodonta woodiana*) te *Dreissena bugensis*[5] i *Ferrissia fragilis*[6] koje za sada nemaju hrvatsko ime.

Raznolika trokutnjača se nalazi na popisu sto najgorih svjetskih invazivnih vrsta, a u Hrvatskoj je najzastupljenija invazivna vrsta mekušaca (prema broju zabilježenih nalaza i gustoći populacije).

Na slici 6., prikazana je rasprostranjenost raznolike trokutnjače u Hrvatskoj.



Slika 6. Rasprostranjenost raznolike trokutnjače u Hrvatskoj[5]

1980. godine zabilježeno je širenje raznolike trokutnjače iz Dunava u vodotok rijeke Drave, kojim se proširila uzvodno sve do Čakovca. Prisutna je u čitavom toku rijeke Drave – od granice sa Slovenijom do utoka u Dunav. Također, nađena je u rijeci Savi, jezeru Jarun u Zagrebu te Vranskom jezeru (sjeveroistočno od Pakoštana)[6].

Raznolika trokutnjača proširila se zahvaljujući svojim bisusnim nitima pomoću kojih se može pričvrstiti i obrasti bilo koju čvrstu podlogu, razvoju slobodno plivajuće veliger ličinke te vrlo velikoj plodnosti. Zbog vrlo velike plodnosti istiskuje autohtone vrste školjkaša, a uz to im pričvršćivanjem na ljušture onemogućuje ishranu. Filtracijom planktona kojima se hrani, ova školjka smanjuje količinu dostupne hrane drugim vrstama te svojom aktivnošću mijenja strukturu i sastav zajednica riječnog dna.

Zbog sposobnosti raznolike trokutnjače da u vrlo kratkom roku prekrije i začepi velike površine raznih struktura, zabilježeni su problemi vezani uz začepljenja i druga oštećenja u cijevima elektrana, komunalnih vodovodnih sustava te vodovoda industrijskih postrojenja. Neke hidroelektrane su zbog iznimno negativnog utjecaja među prvima zatražile stručnu pomoć u pronalaženju načina za uklanjanje raznolike trokutnjače iz postrojenja[6], a danas se s ovim problemom susreće sve više industrijskih pogona koji se snabdijevaju vodama iz naših rijeka.

# 4. Onečišćenje industrijske infrastrukture raznolikom trokutnjačom

Raznolika trokutnjača može se pričvrstiti na bilo koji čvrsti supstrat što uzrokuje direktne ekonomske gubitke. Može doći do začepljenja cijevi za dovod vode u hidroelektranama, postrojenjima za obradu pitke vode, čeličanama, itd.

Rast raznolike trokutnjače oko cijevi dovodi do problema u održavanju, (slika 7), a rast unutar cijevi dovodi do začepljenja (slika 8).



Slika 7. Rast raznolike trokutnjače oko cijevi[25]



Slika 8. Začepljenje vodovodne cijevi uzrokovano raznolikom trokutnjačom[26]

Dugoročna kolonizacija ovom školjkom uzrokuje oštećenje drveta, čelika i betona. Istraživanja su pokazala kako su ekonomski gubitci uzrokovani kolonizacijom ove školjke u razdoblju od 2000. do 2010. godine na području „Velikih jezera“, Sjeverna Amerika, iznosili oko 5 milijardi dolara. Isto tako, jednogodišnji troškovi kontrole i suzbijanja širenja raznolike trokutnjače u 337 industrijskih postrojenja u SAD-u su iznosili preko 17.7 milijuna dolara[16].

# 5. Utjecaji različitih faktora na reprodukciju i rast raznolike trokutnjače

Proveden je velik broj istraživanja, s velikim brojem različitih kemijskih spojeva, kojima je cilj bio istražiti smrtnost i utjecaj na inhibiciju reprodukcije. Često je smrtnost iznosila tek nekoliko postotaka, a utjecaj na reprodukciju nije bio značajan.

U radu je napravljen osvrt na najučinkovitije metode te na primjere dobre prakse u nekim poduzećima.

Najučinkovitije metode su kombinirano korištenje topline i oksidacijskih sredstava, kloriranje vode te korištenje bakrenih cijevi umjesto čeličnih cijevi ili korištenje premaza na bazi bakra (kako bi se izbjegla izmjena cijele cjevovodne infrastrukture i smanjili troškovi). Uz te provode se istraživanja mogućnosti uporabe i drugih sredstava za sprječavanje štetnih učinaka ove vrste (npr. uporaba nonilfenola).

## 5.1. Metode kontrole raznolike trokutnjače kombinacijom topline i oksidacijskih sredstava

Alternativna metoda kontrole školjaka u nekim elektranama i velikim industrijama je uporaba topline, odnosno, zagrijavanje vode, što se sa strane zaštite okoliša smatra puno sigurnijim načinom kontrole od uporabe kemijskih sredstava.

Tokom povijesti proveden je velik broj istraživanja odnosa smrtnosti i povišene temperature.

Prema rezultatima najvažnijih istraživanja[27] iz šezdesetih godina prošlog stoljeća, temperatura vode potrebna za induciranje smrtnosti je minimalno 40°C, a smrtnost školjaka izloženih 5 sati temperaturi vode od 55 °C iznosi 70%.

Prema rezultatima istraživanja iz istog razdoblja[28], temperatura vode od 32,5 °C nakon 5 sati ubija 100% izloženih školjaka, koje su prethodno aklimatizirane na temperaturi od 9,1 °C.

Prema istraživanjima[29] iz osamdesetih godina prošlog stoljeća, pH vrijednost vode ima mali utjecaj na učinkovitost kloramina ($NH_2Cl$) kao biocida za raznoliku trokutnjaču, ali se smrtnost značajno povećava porastom temperature.

Prema rezultatima istraživanja[30] iz devedesetih godina prošlog stoljeća, kod školjaka aklimatiziranih na 10°C, a izloženih temperaturi od 37°C, 100%-tna smrtnost postignuta je za 50 minuta, dok je za 100%-tnu smrtnost školjaka koje su bile aklimatizirane na 20°C, a izložene temperaturi od 34°C bilo potrebno 11,5 sati.

Prema ostalim rezultatima iz istog razdoblja[31], najučinkovitija oksidacijska sredstva za suzbijanje rasta raznolike trokutnjače su klor i ozon (približno jednako djelovanje), a za njima slijedi kalijev permanganat. Kasnijim istraživanjima[32] ustanovljeno je kako smrtnost školjaka ne ovisi samo o vrsti oksidacijskog sredstva, već i o njegovoj koncentraciji, vremenu izloženosti i temperaturi.

Također, devedesetih godina ustanovljeno je[33] kako je za postizanje 100%-tne smrtnosti pri temperaturi vode od 36°C potrebno je približno 10 minuta, dok je na 33°C to vrijeme približno 90 minuta.

Iako učinkovita, termalna kontrola ima određene nedostatke[34]:

- Metoda je ograničena na industrije koje imaju višak topline.
- U određenim dijelovima postrojenja ne može se postići temperatura vode potrebna za postizanje smrtnosti školjaka.
- Moguće su komplikacije zbog pretjeranog zagrijavanja ili naglog toplinskog širenja opreme.
- Postoji mogućnost da zbog visokih temperatura vode dođe do izumiranja riba ili drugih vodenih organizama.
- Učinkovitost proizvodnje električne energije opada sa porastom temperature.

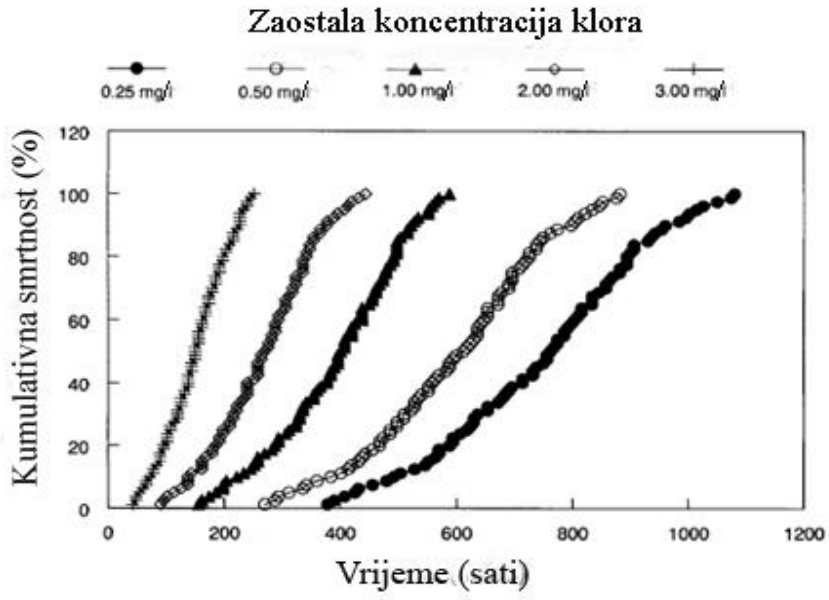
Na temelju dobivenih rezultata istraživanja primjene klora, ozona i topline za kontrolu raznolike trokutnjače, kao i velikog utjecaja temperature vode na učinkovitost oksidacijskog sredstva, zaključeno je kako bi kombinacija topline i oksidacijskih sredstava mogla biti vrlo učinkovita. No, kada je riječ o temperaturama većim od 30 °C, porastom temperature, opada prednost kombiniranog korištenje topline i oksidacijskog sredstva te se tada, ukoliko je izvedivo postizanje temperature vode od 36 °C pri kojoj se postiže 95%-tna smrtnost za približno 30 minuta, smatra se da je upotreba topline bez oksidacijskog sredstva zadovoljavajuća za učinkovitu kontrolu raznolike trokutnjače[34].

Istraživane su i aklimatizacijske temperature koje se nisu pokazale značajnima prilikom kombinirane uporabe topline i oksidacijskog sredstva ili prilikom uporabe same topline za školjke aklimatizirane na temperaturama višim od 10 °C do 15 °C. Školjke koje su bile aklimatizirane na temperaturama od 0 °C do 5 °C pokazale su se osjetljivijima na više temperature nego one aklimatizirane na temperaturama od 10 °C do 25 °C u odsutnosti oksidacijskog sredstva[34].

Kloriranje je vrlo učinkovita i često korištena metoda za kontrolu raznolike trokutnjače u Europi, Aziji i Sjevernoj Americi. U usporedbi s drugim oksidacijskim biocidima, klor je učinkovit i pri niskim koncentracijama i efektivan za različite vrste. Problem se javlja prilikom ispuštanja klorirane vode (koja sadrži i trihalometane) u okoliš zbog mogućeg ugrožavanja akvatičnog života. Briga za akvatični život rezultirala je strogim odredbama i regulacijom vezanom za otpadne vode[35].

Prema nekim istraživanjima[36,37], nepotrebno ispuštanje klora u akvatični okoliš može se u velikoj količini izbjeći uz dobro osmišljene rasporede kloriranja. Tome u prilog ide i činjenica da čak i niske koncentracije klora imaju značajan utjecaj na raznoliku trokutnjaču.

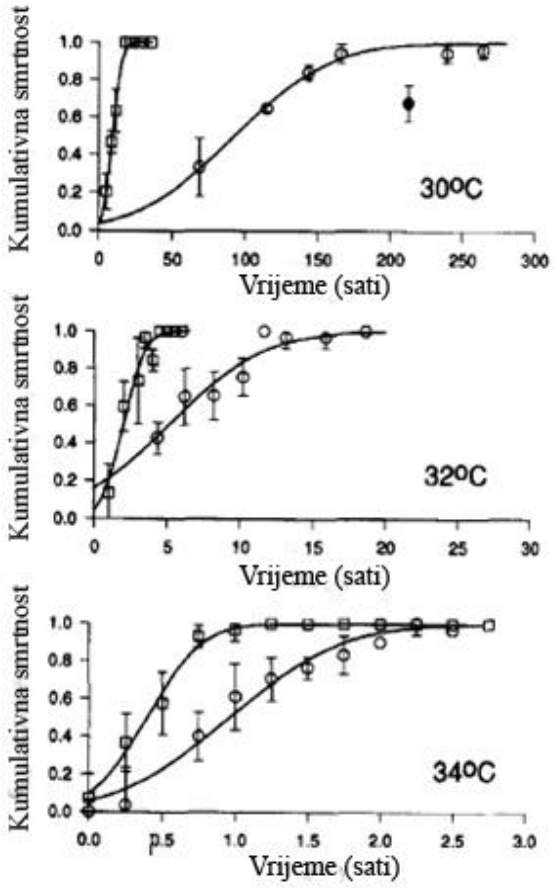
Utjecaj natrijevog hipoklorita (NaOCl) te sličnih klorovih spojeva na populacije raznolike trokutnjače u Sjevernoj Americi dobro je proučen i dokumentiran, što nije slučaj i u Europi. Usporedbom rezultata dobivenih za populacije Europe i Sjeverne Amerike, ustanovljeno je kako su školjke iz europskog podneblja manje tolerantne na prisutnost klora od onih sjevernoameričkih[35]. Na slici 9., prikazana je ovisnost kumulativne smrtnosti o vremenu izloženosti pri različitim koncentracijama zaostalog klora.




Slika 9. Ovisnost kumulativne smrtnosti o vremenu izloženosti različitim koncentracijama zaostalog klora[35]

Eksperiment je proveden na 80 školjaka za svaku dozu klora. Smrtnost je praćena u intervalima od 6 sati. Došlo je do pojave različitih rezultata u studijama provedenim na školjkama iz rijeke Rajne (Nizozemska) te onima iz Niagare (SAD) pri temperaturama višim od 10 °C. Mogući uzroci pojave različitih rezultata jesu korištenje različitih metoda ispitivanja, godišnje doba, starost jedinki, hormonalno stanje, ishrana, salinitet, fotoperiod, koncentracija otopljenog kisika itd. Pri temperaturama vode višim od 34 °C do smrti je došlo zbog utjecaja topline više negoli utjecaja klora[35].

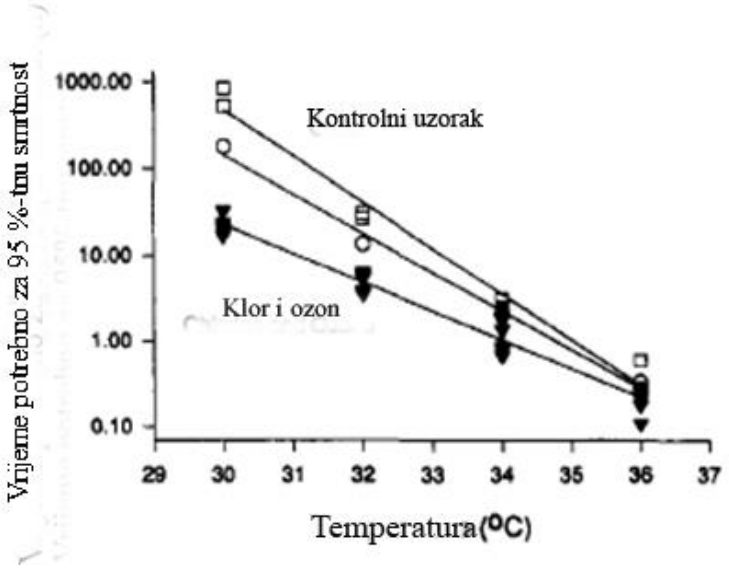
Na slici 10., prikazana je ovisnost smrtnosti raznolike trokutnjače o temperaturi vode, bez dodatka oksidacijskog sredstva te uz dodatak klora u količini od 0,5 mg/l.




Slika 10. Ovisnost smrtnosti o temperaturi, bez i s dodatkom oksidacijskog sredstva[34]

Prikazana je stopa smrtnosti za eksperimente provedene na temperaturama vode 30 °C, 32 °C i 34 °C. Ukupno je provedeno 48 eksperimenata, a samo u 4 eksperimenta nije dosegnuta smrtnost od 95 %. Kumulativna smrtnost zbroj je dnevnih stopa smrtnosti (broj uginulih jedinki u jednom danu podijeljen s ukupnim brojem jedinki i pomnožen sa sto). Krugovima su označeni kontrolni eksperimenti (bez oksidacijskog sredstva), a kvadratima oni uz dodatak klora u količini od 0,5 mg/l. Vrijeme predstavlja izloženost ispitivanih vrsta temperaturi vode na danim temperaturama.

Na slici 11., prikazana je ovisnost vremena potrebnog za postizanje 95%-tne smrtnosti o temperaturi vode (sa i bez dodatka oksidacijskog sredstva- klora i ozona).




Slika 11. Vrijeme potrebno za postizanje 95%-tne smrtnosti u ovisnosti o temperaturi vode[34]

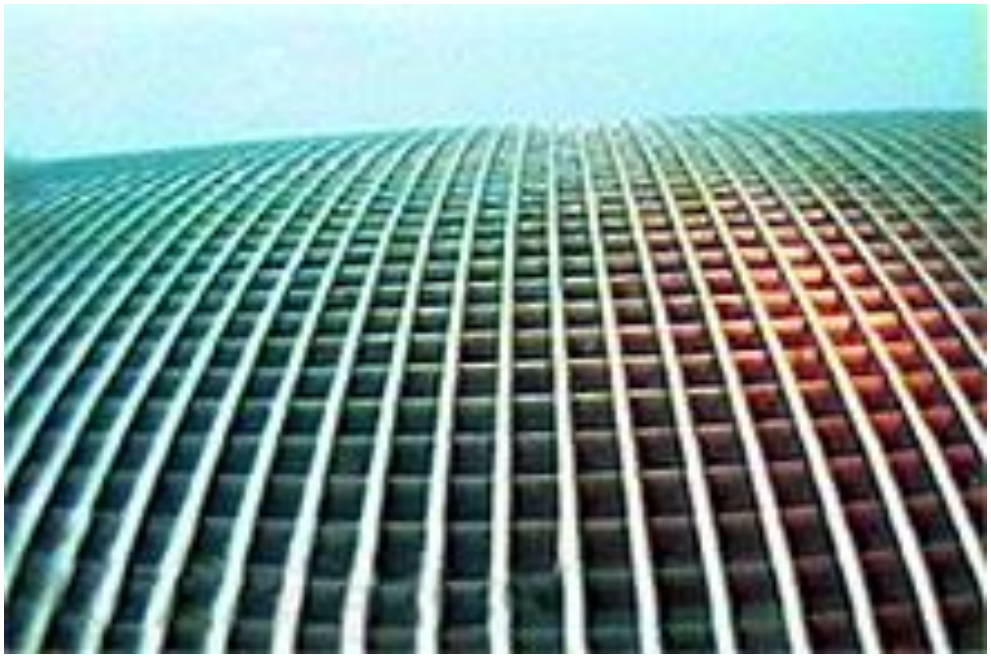
Neispunjenim simbolima označene su vrijednosti za eksperimente provedene bez dodatka oksidacijskog sredstva, a ispunjenim simbolima za one uz dodatak oksidacijskog sredstva. Kvadratima su prikazane aklimatizacijske temperature od 10 °C do 15°C i od 20 °C do 25 °C, krugovima aklimatizacijske temperature od 0 °C do 5 °C, a trokutima sve aklimatizacijske temperature. Može se primijetiti kako se 95%-tna smrtnost najbrže postiže pri temperaturi vode od 36 °C uz dodatak oksidacijskog sredstva.

## 5.2. Pobakrivanje cjevovoda kao način kontrole raznolike trokutnjače

Jedan od učinkovitijih načina u suzbijanju rasta raznolike trokutnjače unutar industrijskih infrastruktura (s ciljem sprječavanja začepljenja uslijed rasta školjaka unutar cijevi za dovod vode te mogućeg pregrijavanja u slučaju rasta unutar rashladnih sustava motora) je korištenje bakrenih cijevi (učinkovite su i cijevi od mjedi te galvaniziranog metala) na koje se školjke ne pričvršćuju. S obzirom na velik trošak zamjene cijele infrastrukture bakrenim cijevima, osmišljeni su premazi na bazi bakra ili boje na bazi silikona koje imaju isti učinak kao i upotreba bakrenih cijevi. Također, mogu se koristiti fini filtri na ulazu u infrastrukturu kako bi se spriječio ulazak ličinki[38].

Jedna američka hidroelektrana koja vodu crpi iz jezera Michigan, pomoću bakrenih mreža spriječila je ulazak raznolike trokutnjače u rashladne sustave. Mreže su napravljene od legure bakra s niklom, tzv. Z-legure.

Postavljene su 24 mreže (slika 12.) načinjene od Z-legure na dubini od 13,7 metara i približno 2,4 kilometra od obale. Mreže su širine 2,4 m, dužine 10,7 m te su postavljene na 1,5 metara od morskog dna. To je projekt u kojem je korišten najveći broj mreža od Z-legure u SAD-u. Procjenjuje se da je time postignuta godišnja ušteda od 50 000 dolara (što bi se inače uložilo u čišćenje infrastrukture)[39].



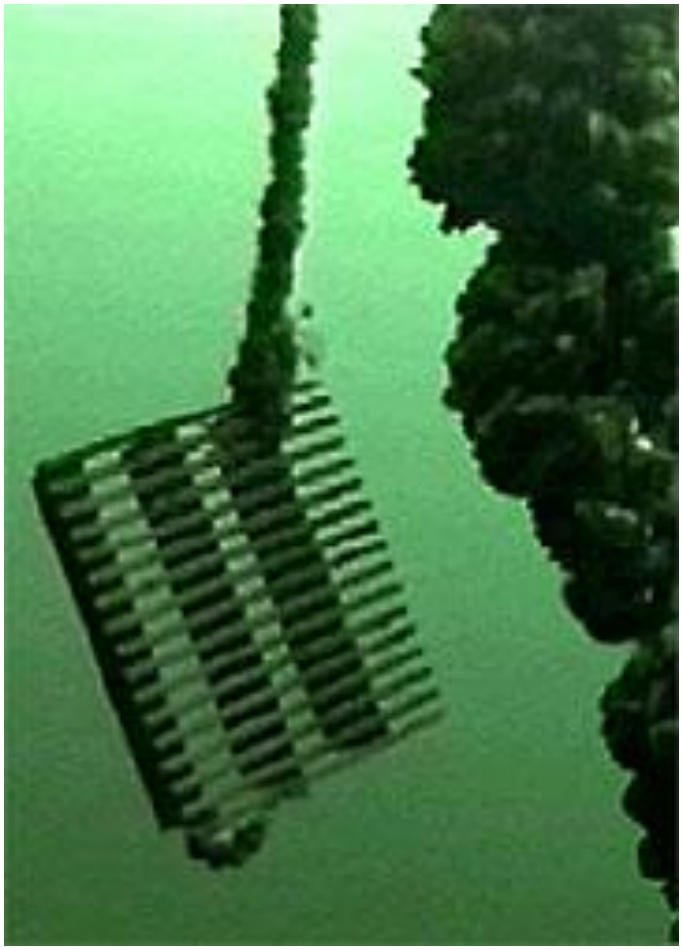
Slika 12. Bakar-nikal legura na koju se jedinke raznolike trokutnjače ne pričvršćuju[39]



Slika 13. Velik broj jedinki raznolike trokutnjače pričvršćenih na čelične konstrukcije[39]

Slika 13. prikazuje velik broj jedinki raznolike trokutnjače pričvršćenih na čelične konstrukcije, što može dovesti do njihova oštećenja.

Kako bi se spriječilo pričvršćivanje raznolike trokutnjače na pojedine infrastrukturne dijelove, mnogi proizvođači su razvili različite vrste premaza na bazi bakra koji se koriste u proizvodnji mreža, cijevi i pumpi. Korištenjem premaza eliminirana je mogućnost pojave raznolike trokutnjače[39].



Slika 14. Konstrukcija premazana premazom na bazi bakra[39]

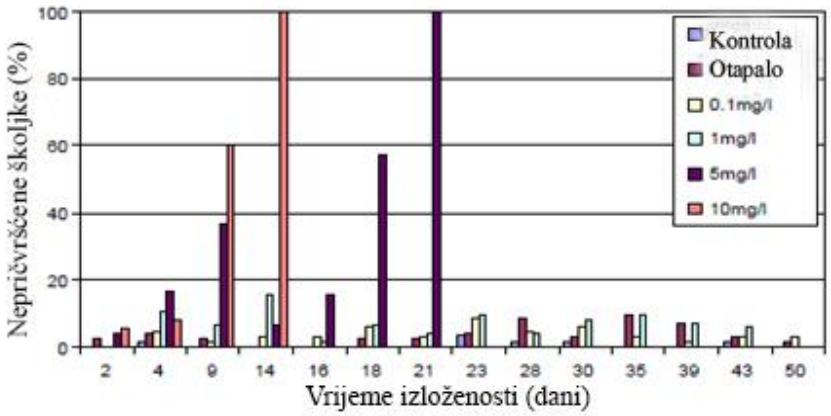
Na slici 14. prikazana je konstrukcija na koju je nanesen premaz na bazi bakra iz koje je vidljiv isti učinak kao i kod uporabe mreže od prethodno spomenutih bakar-nikal legura.

## 5.3. Uporaba nonilfenola za kontrolu raznolike trokutnjače

Nonilfenol, prema IUPAC-u 4-(2,4-dimetilheptan-3-il) fenol, jedan je od kemijskih spojeva iz grupe ksenoestrogena, spojeva koji oponašaju djelovanje estrogena. Nonilfenol nastaje razgradnjom alkilfenolnih etoksilata, neionskih površinski aktivnih tvari korištenih u proizvodnji detergenata, pesticida i boja. U okoliš se najčešće ispušta kanalizacijskim otpadnim vodama.

Provedenom studijom o utjecaju nonilfenola na raznoliku trokutnjaču, ustanovljeno da iako nije akutno toksičan za raznoliku trokutnjaču, može izazvati smrtne učinke te umanjiti njenu populaciju u divljini te se stoga primjenjuje kao biocidno sredstvo za raznoliku trokutnjaču[40].

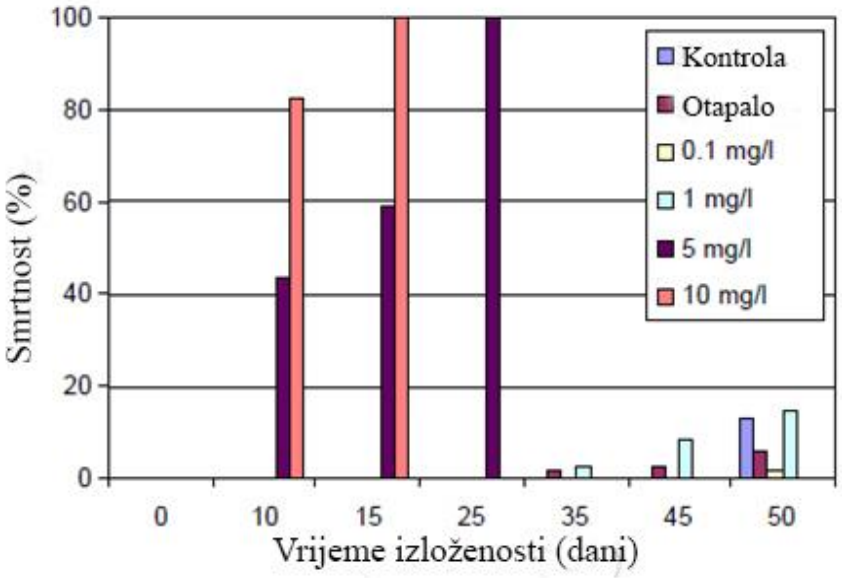
Na slici 15., prikazana je ovisnost postotka pričvršćenih jedinki za površinu spremnika o broju dana provedenih u izloženosti različitim koncentracijama nonilefenola.




Slika 15. Postotak nepričvršćenih školjaka za površinu spremnika pri različitim koncentracijama nonilfenola u različitim vremenima izloženosti[40]

Sa slike 15. je razvidno kako je najmanji postotak pričvršćenih školjaka bio pri koncentraciji nonilfenola od 10 mg/l nakon 14 dana izloženosti te pri koncentraciji nonilfenola od 5 mg/l nakon 21 dana izloženosti.

Na slici 16. prikazana je ovisnost smrtnosti o vremenu izloženosti različitim koncentracijama nonilfenola.




Slika 16. Ovisnost smrtnosti o vremenu izloženosti različitim koncentracijama nonilfenola[40]

Iz podataka na slici 16. može se zaključiti da se 100%-tna smrtnost postiže nakon 15 dana izloženosti koncentraciji nonilfenola od 10 mg/l te nakon 25 dana izloženosti koncentraciji nonilfenola od 5 mg/l.

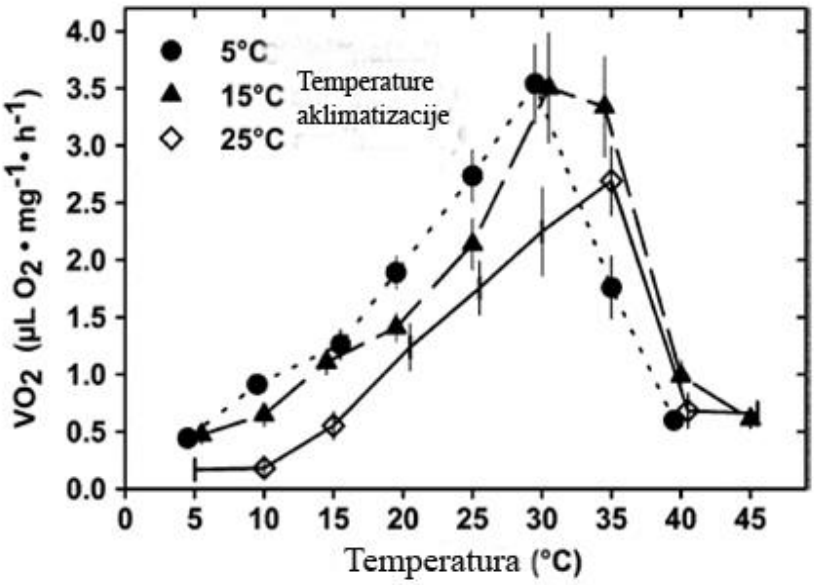
## 5.4. Hipoksija kao metoda kontrole raznolike trokutnjače

Hipoksija je stanje smanjene količine kisika u stanicama i tkivu, što za posljedicu ima poremećaj u funkcioniranju stanica, organa i sustava.

Raznolika trokutnjača ima niske sposobnosti regulacije kisika i zbog toga je slabo prilagodljiva hipoksičnim uvjetima u usporedbi s nekim drugim vrstama školjaka koje mogu preživjeti u ekstremno hipoksičnim uvjetima i do nekoliko tjedana. Zbog navedenoga, raznolika trokutnjača je ograničena na staništa s mnogo kisika.

U jednoj studiji je utvrđeno da raznolika trokutnjača aklimatizirana na višim temperaturama ima manje sposobnosti regulacije kisika od one aklimatizirane na nižim temperaturama. Moguće je da do te pojave dolazi zbog adaptacije hipoksičnim uvjetima za vrijeme postojanja ledenog pokrova kada bakterije uzimaju kisik iz vode, zbog čega ga ostaje manje za ostale vrste. Povećana sposobnost regulacije kisika u tom razdoblju omogućuje raznolikoj trokutnjači da preživi zimu[41].

Na slici 17., prikazana je ovisnost potrošnje kisika o testnoj temperaturi. Uključene su školjke aklimatizirane pri temperaturama od 5 °C, 15 °C i 25 °C.



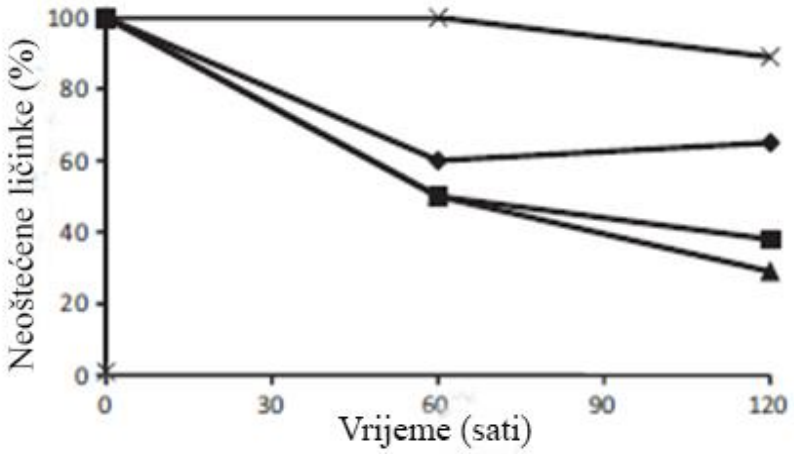

Slika 17. Ovisnost potrošnje kisika o testnoj temperaturi za školjke aklimatizirane na različitim temperaturama[41]

Sa slike 17. vidljivo je kako potrošnja kisika ovisi o temperaturi pri kojoj su školjke aklimatizirane te kako je najviša na temperaturama vode od 25 °C do 30 °C.

## 5.5. Nove metode za suzbijanje pojave raznolike trokutnjače

Iako postoje učinkoviti načini suzbijanja pojave raznolike trokutnjače u industrijskim infrastrukturama, istražuje se postojanje po okoliš pogodnijeg i ekonomski isplativijeg rješenja od korištenja oksidacijskih sredstava i topline. Neka od područja koja se istražuju su rad na inovativnim strategijama primjene i metodama isporuke postojećih biocida (inkapsulacija, kombinacija toksina), kemijsko proizvodno inženjerstvo, biološke metode (mikrobni toksini), električna polja, nisko frekventni elektromagnetizam ili UV svjetlosni oblak.

Nove metode su i one fotokatalitičke; uporaba sunčeve svjetlosti uz titanov (IV) oksid - $TiO_2$ te foto-Fenton proces[42]. U istraživanju vezanom uz upotrebu $TiO_2$, ispitani su učinci pri tri različite koncentracije $TiO_2$ (0,1 g/l, 0,2 g/l i 0,5 g/l). Postotak oštećenih veliger ličinki utvrđen je mikroskopskom analizom nakon sat vremena i dva sata solarne iradijacije. Rezultati dobiveni ovim eksperimentom prikazani su na slici 18., izraženi kroz udio neoštećenih veliger ličinki u ovisnosti o vremenu iradijacije.

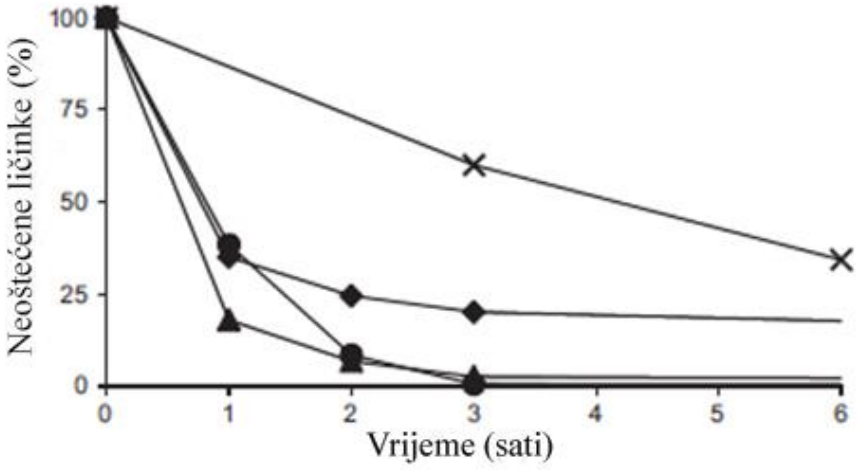



Slika 18. Postotak neoštećenih veliger ličinki u ovisnosti o vremenu; bez $TiO_2$ - ×, 0,1 g/L $TiO_2$ - ♦, 0,2 g/L - ■ i 0,5 g/L - ▲[42]

Vidljivo je kako je došlo do značajnog povećanja broja oštećenih veliger ličinki kada se koncentracija $TiO_2$ povećala sa 0,1 g/l na 0,2 g/l te 0,5 g/l. Do problema dolazi prilikom korištenja $TiO_2$ u suspenziji što se može izbjeći nošenjem istog na podlogu uz osvrt na hidrodinamiku.

Kako bi se prevladao problem ispitana je mogućnost primjene heterogene katalize temeljena na $TiO_2$ pomoću sunca. U tu svrhu, u uzorak vode s raznolikom trokutnjačom dodano je 5 mg/l željeza (II), uz koncentraciju vodikovog peroksida 5 mg/l, nakon čega je samo 20 % ličinki ostalo neoštećeno nakon 3 sata izloženosti te 10 % nakon 6 sati, uz neutralan pH. Foto-Fenton proces je dodatno poboljšao rezultate.

Povećanje koncentracije vodikovog peroksida nije imalo velikog utjecaja na smrtnost, no smanjenje pH vrijednosti na 5,5 sa prethodnih 6,7 se pokazalo učinkovitim[42]. Naime, uz taj pH, 80 % ličinki bilo je oštećeno nakon samo sat vremena, a nakon 3 sata vrijednost je narasla na 100 %, što je prikazano slikom 19.




Slika 19. Postotak neoštećenih veliger ličinki u ovisnosti o vremenu[42]

Na slici 19. sa ▲ je označen foto-Fenton (5 mg/l željeza i 10 mg/l $H_2O_2$, sunčeva svjetlost), sa ● Fenton (5 mg/l željeza i 10 mg/l $H_2O_2$), sa ■ 10 mg/l $H_2O_2$, a sa × iradijacija u odsutnosti Fentonovog reagensa. Početna koncentracija veliger ličinki bila je između 150 i 250 ličinki/ml.

# 6. Zaključak

Raznolika trokutnjača (lat. *Dreissena polymorpha*) vrsta je školjke koju je 1796. godine otkrio njemački zoolog Peter Simon Pallas u rijekama Uralu, Volgi i Dnjepru. Prirodno stanište su joj područja središnje i istočne Europe te neke države u Aziji. S tih lokacija proširila se (plovnim prometom, pražnjenjem balastnih voda) diljem Europe i Sjeverne Amerike. Uzrok širenja su plovidbe brodovima, što u svrhu prijevoza robe, što u rekreativnu svrhu. Školjke se pričvrste za dno ili neki drugi dio plovila, zapletu u vegetaciju i tako se s mjesta gdje su autohtona vrsta prenesu do mjesta koje zatim okupiraju.

Problem širenja rješiv je postrožavanjem postojeće zakonske regulative i pregledavanjem brodova prije samog isplovljavanja iz luke te tretiranjem balastnih voda dušikom s ciljem uklanjanja ličinki.

U industrijskoj infrastrukturi, raznolika trokutnjača se nastanjuje u cjevovodima čime uzrokuje začepljenje te u rashladnim sustavima uslijed čega dolazi do pregrijavanja. Moguće je i obrastanje oko cijevi što otežava održavanje. Ulaganje u suzbijanje pojave raznolike trokutnjače te sanaciju već nastale štete u industrijskoj infrastrukturi dovodi do velikih ekonomskih gubitaka.

Vrlo učinkovit i često korišten način suzbijanja pojave raznolike trokutnjače je kloriranje vode ili kombinacija oksidacijskih sredstava (klor, ozon) i topline, koja dovodi do 100%-tne smrtnosti.

Nonilfenol se pokazao kao sredstvo koje ovisno o koncentracijama i vremenu izloženosti dovodi do 100%-tne smrtnosti. Neprilagođenost raznolike trokutnjače hipoksičnim uvjetima također se može iskoristiti za njeno suzbijanje.

Pobakrivanje čeličnih cijevi i ostalih dijelova postrojenja razvijenim premazima (što je jeftinije od zamjene cijele čelične infrastrukture bakrenom) se pokazalo kao vrlo učinkovito rješenje s obzirom na to da se na takve cijevi školjke ne pričvršćuju.

Bez obzira na već postojeće učinkovite načine suzbijanja pojave raznolike trokutnjače u industrijskim infrastrukturama, provode se studije s ciljem pronalaženja po okoliš pogodnijeg i ekonomski isplativijeg rješenja od korištenja oksidacijskih sredstava i topline. Neke od novih metoda koje su još u razvoju su: inovativne strategije primjene i metode isporuke postojećih biocida (inkapsulacija, kombinacija toksina), biološke metode (mikrobni toksini), električna polja, nisko frekventni elektromagnetizam ili korištenjem UV svjetlosti.

# 7. Literatura


1. http://www.invazivnevrste.hr/?page_id=74 (10.02.2015.).
2. http://www.undp.hr/upload/file/214/107295/FILENAME/brosura__tisak.pdf (10.02.2014.).
3. http://www.invazivnevrste.hr/?p=58 (10.02.2015.).
4. http://www.invazivnevrste.hr/?p=124 (10.02.2015.).
5. Lajtner J., Invazivne vrste školjkaša u slatkovodnim ekosustavima Hrvatske, Zoologijski zavod, Biološki odsjek PMF-a (http://www.husek.hr/wp-content/uploads/2014/10/Lajtner.pdf ) (10.02.2015.)
6. Beran L., Aquatic molluscan fauna (mollusca) of the Korana river (Croatia), Nat Croat., **22** (2013) 223-224
7. Lisický M.J., Mollusca Slovenska, VEDA vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 1991., 344.
8. Nalepa T.F., Schloesser Don W., Zebra Mussels: Biology, Impact, and Control, Boca Raton, Florida, USA: Lewis Publishers, 1993.
9. Schloesser Don W., Nalepa T.F., Dramatic decline of unionid bivalves in offshore waters of western Lake Erie after infestation by the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, USGS Great Lakes Science Center, 1994.
10. http://nas.er.usgs.gov/taxgroup/mollusks/images/zebra4b.jpg (01.04.2015.).
11. http://fl.biology.usgs.gov/Nonindigenous_Species/Zebra_mussel_FAQs/zebra_mussel_faqs.html(01.04.2015.).
12. http://www.biokids.umich.edu/critters/Dreissena_polymorpha (01.04.2015.).
13. Gundacker C., Tissue-specific heavy metal (Cd, Pb, Cu, Zn) deposition in a natural population of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, pallas, Chemosphere, **38** (1999) 3339-3356.
14. http://www.iucnredlist.org/details/155495/0 (01.04.2015.).
15. http://threesheetsnw.com/files/2009/06/zebra-mussels-2.jpg (01.04.2015.).
16. Timar L., Phaneuf D.J., Modeling the human-induced spread of an aquatic invasive: The case of the zebra mussel, Ecological Economics **68** (2009) 3060–3071.
17. Tamburri M.N., Wasson K., Matsuda M., Ballast water deoxygenation can prevent aquatic introductions while reducing ship corrosion, Biological Conservation, **103** (2002) 331-341.
18. http://nas.er.usgs.gov/taxgroup/mollusks/zebramussel/maps/1988.gif(05.04.2015.).
19. http://nas.er.usgs.gov/taxgroup/mollusks/zebramussel/maps/2013.gif (05.04.2015.).
20. Aldridge D.C., Elliott P., Moggridge G.D., The recent and rapid spread of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in Great Britain, Biological Conservation **119** (2004) 253–261.
21. http://www.europe-aliens.org/speciesFactsheet.do?speciesId=50169# (05.04.2015.).
22. Zakon o zaštiti prirode (NN 70/05, 139/08, 57/11)
23. Pravilnik i prekograničnom prometu i trgovini zaštićenim vrstama (NN 72/09, 143/10),
24. Pravilnik o načinu izrade i provođenju studije o procjeni rizika uvođenja, ponovnog uvođenja i uzgoja divljih svojti (NN 35/08)
25. http://animal-kid.com/zebra-mussels-pipe.html (05.04.2015.).
26. http://www.waterpowermagazine.com/uploads/newsarticle/1034701/images/204772/large/l%20img_0966.jpg (05.04.2015.).
27. Mikheev V. P, Experiments on destroying *Dreissena polymorpha* by heating the water, Bjul. Inst. Biol. Vodochr. **11** (1961) 10-12.

28. Lukanin V. S., Survival of adult dreissena in copper sulfate solutions of different concentrations and temperature, Biology and Control of *Dreissena*, Tr. Inst. Biol. Vnut. Vod. Akad. Nauk , 1964., 69-70.
29. Cameron G. N., Symons J. M., Bushek D. and Kulkarni R., Effect of temperature and pH on the toxicity of monochloramine to the asiatic clam, Journal American Water Works Association **81** (1985) 62-71.
30. Griffiths J. S., Control of Zebra Mussels by Thermal Shock. Ontario Hydro Research Division. ReportNo. 92-65-K, 1992.
31. Van Benschoten J. E., Jensen J. N., Lewis D., Brady T., Chemical oxidants for controlling zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): a synthesis of recent laboratory and field studies, Lewis, Boca Raton, 1993., 599-619.
32. Van Benschoten J. E., Jensen J. N., Harrington D. K. , DeGirolamo D., Zebra mussel mortality with chlorine, Journal American Water Works Association**87** (1995) 101-108.
33. Jenner H. A., Janssen-Mommen J. P. M., Monitoring and control of *Dreissena polymorpha* and other macrofouling bivalves in the Netherlands, Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control, Lewis, Boca Raton 1993., 537-554.
34. Harrington D. K., Van Benschoten J. E., Jensen J. N., Lewis D. P., Neuhauser E. F., Combined use of heat and oxidants for controlling adult zebra mussels, Water Research **31** (1997) 2783-2791
35. Rajagopal S., Van der Velde G., Jenner H.A., Effects of low-level chlorination on zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, Water Research **36** (2002) 3029–3034.
36. Claudi R., Mackie G.L., Practical manual for zebra mussel monitoring and control, Lewis Publishers, London 1994.
37. Jenner H.A., Whitehouse J.W., Taylor C.J.L., Khalanski M., Cooling water management in European power stations: biology and control, Hydroécologie Appliquée **1-2** (1998) 1–225.
38. http://fl.biology.usgs.gov/Nonindigenous_Species/Zebra_mussel_FAQs/Student_Interviews/student_interviews.html (05.04.2015.).
39. http://www.copper.org/about/pressreleases/2009/pr2009_July_30.html (05.04.2015.).
40. Quinn B., Gagné F., Blaise C., Costello M.J., Wilson J.G., Mothersill C., Evaluation of the lethal and sub-lethal toxicity and potential endocrine disrupting effect of nonylphenol on the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), Comparative Biochemistry and Physiology **142** (2006) 118–127.
41. Alexander J.E.Jr, McMahon R.F., Respiratory response to temperature and hypoxia in the zebra mussel *Dreissena polymorpha*, Comparative Biochemistry and Physiology **137** (2004) 425–434.
42. Bernabeu A., Vicente R., Peribanez M.A., Arques A., Amat A.M., Exploring the applicability of solar driven photocatalytic processes to control infestation by zebra mussel, Chemical Engineering Journal **171** (2011), 490-494.

# ŽIVOTOPIS

## OSOBNI PODACI:

Ime i prezime: Tena Rimay

Datum i mjesto rođenja: 10. prosinca 1993., Sisak

Adresa: Ulica Braće Bobetka 5, 44010 Sisak - Caprag

Telefon: 044/532-185, 098/95-95-035

E-mail: tena_sk@hotmail.com

## OBRAZOVANJE:

2000.-2008. – Osnovna škola „Braća Bobetko“ Sisak

2008.-2012. –Tehnička škola Sisak, ekološki tehničar

2012.-2015. – Metalurški fakultet Sisak, preddiplomski sveučilišni studij Metalurgija, smjer Industrijska ekologija

## VJEŠTINE:

Rad na računalu

Strani jezik: Engleski

Vozački ispit – B kategorija