

# Novije spoznaje o tehnologiji uzgoja tune (Thunnus Thynnus) - mogućnost umjetnog mrijesta

---

Ćurić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:178:605999>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Veterinary Medicine -  
Repository of PHD, master's thesis](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**VETERINARSKI FAKULTET**

Ivan Ćurić

**NOVIJE SPOZNAJE O TEHNOLOGIJI UZGOJA TUNE**  
**(*THUNNUS THYNNUS*) – MOGUĆNOST UMJETNOG**  
**MRIJESTA**

Diplomski rad

Zagreb, 2019.

**Zavod za biologiju i patologiju riba i pčela**  
**Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu**

O. d. Predstojnika: izv. prof. dr. sc. Emil Gjurčević

Mentor: doc. dr. sc. Krešimir Matanović

Članovi povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. izv. prof. dr. sc. Emil Gjurčević
2. izv. prof. dr. sc. Snježana Kužir
3. doc. dr. sc. Krešimir Matanović
4. prof. dr. sc. Ivana Tlak Gajger (zamjena)

*Veliku zahvalnost, u prvom redu, dugujem mentoru doc. dr. sc. Krešimiru Matanoviću koji mi je omogućio izradu ovog diplomskog rada. Svojim znanstvenim i stručnim savjetima oblikovao je ideju rada i pružio neprocjenjivu pomoć.*

*Posebno se želim zahvaliti mr. sc. Rinu Staniću, upravitelju uzgajališta tune tvrtke Sardina d.o.o. na Braču, koji me proveo kroz uzgajalište, upoznao s terenskim uvjetima i ustupio svoju stručnu literaturu.*

*Također, veliko hvala dr. sc. Leonu Grubišiću s Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu koji me uputio i savjetovao kako pristupiti problematici umjetnoga mrijesta i pomogao svojim znanstvenim radom.*

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....	2
2.1. Sistematika .....	2
2.2. Biologija.....	3
2.3. Prirodni mrijest.....	6
2.4. Uzgoj zasnovan na izlovu .....	8
2.4.1. Izlov mlađi .....	9
2.4.2. Uzgoj i tov.....	11
2.4.3. Izlov tuna iz uzgojnih kaveza i klanje.....	16
2.5. Umjetni mrijest, uzgoj ličinki i mlađi .....	17
2.5.1. Utjecaj kaveznog držanja na gametogenezu i endokrini status.....	18
2.5.2. Inducirani mrijest .....	19
2.5.3. Spontani mrijest u kavezu.....	21
2.5.4. Uzgoj ličinki i mlađi .....	22
2.6. Dostignuća u razvoju peletirane hrane .....	25
3. RASPRAVA .....	27
4. ZAKLJUČCI .....	32
5. LITERATURA .....	33
6. SAŽETAK .....	43
7. SUMMARY.....	44
8. ŽIVOTOPIS.....	45

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b> Količina izlovljene i uzgojene tune ( <i>Thunnus thynnus</i> ) u tonama za RH od 2010. do 2018. godine prema podacima Državnog zavoda za statistiku (ANON, 2019d.) .....	8
<b>Tablica 2.</b> Izlovne kvote (u tonama) za područje EU u 2018. i 2019. godini (Prilagođeno iz ANON, 2018a.; 2019a.) .....	10

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Rasprostranjenost tune i migracijski putevi (VAN BEIJNEN, 2017.).....	5
<b>Slika 2.</b> Shematski prikaz uzgojnog kaveza sa svim konstrukcijskim elementima. B = uzgonska bova, DC = dvostruka cijev, M = mrežni uteg, Pk = privezni konop, ČP = čelična ploča, L = pocinčani lanac, U = betonski utezi mase 30 kg, Bu = betonski utezi mase 200 kg. Prilagođeno iz: STANIĆ i ZANKI, (2014.).....	12
<b>Slika 3.</b> Svježa sitna plava riba pripremljena za hranjenje .....	13
<b>Slika 4.</b> Masnoća nastala tijekom hranjenja tune haringama.....	14
<b>Slika 5.</b> Prijenos hrane na plutajuću platformu uz pomoć dizalice .....	15
<b>Slika 6.</b> Prijenos hrane na plutajuću platformu usipnom cijevi.....	15
<b>Slika 7.</b> Hranjenje tuna s plutajuće platforme.....	16
<b>Slika 8.</b> Implantacija GnRHa. (A) = GnRHa implantati, (B) = GnRHa implantat postavljen na podvodnu pušku, (C) = priprema ronioca za postavljanje GnRHa implantata, (D) = tuna s postavljenim GnRHa implantatom (BENETTI i sur., 2016.) .....	20

# 1. UVOD

Tuna, tunj, atlantska tuna ili atlantska plavoperajna tuna (*Thunnus thynnus*) najveći je pripadnik porodice Scombridae, a ujedno je i vrsta tune s najvećim tržišnim interesom. Može doseći masu veću od 700 kg. Izuzetno je dobar plivač i može plivati brzinom i do 90 km/h. Obitava na zapadu i istoku Atlantskoga oceana, a mrijesti se u Meksičkom zaljevu i Sredozemnom moru. Zbog neposredne blizine Jadranskog mora i u njemu povoljnih životnih uvjeta ima značajan udio u marikulturi u Hrvatskoj i u stalnom je porastu. Izlovne kvote za tunu glavni su ograničavajući čimbenik povećanja proizvodnje, a regulirane su od strane Međunarodne komisije za očuvanje atlantskih tuna (ICCAT). Uz to, zadaća je komisije i donositi preporuke za očuvanje populacija tune, odrediti minimalnu ulovnu veličinu te razdoblja zabrane ribolova. Hrvatskoj je dozvoljen izlov mlađi tune tjelesne mase od najmanje 8 kg s uzgojnim procesom koji traje do dvije godine, dok je drugim državama dozvoljen izlov jedinki tjelesne mase veće od 30 kg u svrhu tova, s uzgojnim procesom u trajanju od šest do sedam mjeseci. Tehnologija kaveznog uzgoja tune zasniva se na tovu izlovljene mlađi tune podrijetlom iz divlje populacije. Najčešća i najsigurnija metoda lova je mrežama plivaricama tunolovkama. Uzgoj tune zahtijeva stalnu opskrbu sitnom plavom ribom kojom se tuna hrani. Ona se mora izloviti ili uvesti te skladištiti u prikladnim uvjetima do trenutka upotrebe. Ovakav je način uzgoja za sada održiv zahvaljujući visokoj cijeni koju tuna postiže na tržištu, no treba voditi računa o broju jedinki u prirodnim populacijama (stokovima) te izlovnim kvotama. Umjetnim mrijestom, uzgojem ličinki i odgojem mlađi tune mogla bi se smanjiti ovisnost uzgoja tune o izlovu iz prirodnih populacija. Da bi takav način uzgoja mogao davati potrebnu tržišnu količinu potrebno je u zatočeništvu zaokružiti uzgojni ciklus tune koji bi osiguravao potreban broj mlađi za nasad. Za uspješnost tog procesa potrebna su velika ulaganja, stručan znanstveni kadar i određeni uvjeti. Nakon dugog niza godina uspješno je zaokružen uzgojni ciklus pacifičke tune (*Thunnus orientalis*) što je dalo temelje za daljnja istraživanja i eksperimentiranja u svrhu zaokruživanja uzgojnog ciklusa za atlantsku tunu. Cilj ovoga rada je dati pregled literaturnih podataka i napraviti kritički osvrt na novija istraživanja iz područja biologije, fiziologije reprodukcije i tehnologije uzgoja tune s naglaskom na postupke indukcije umjetnog mrijesta, uzgoja ličinki i mlađi za nasad.



## 2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Sistematika

Carstvo: Animalia

Koljeno: Chordata

Potkoljeno: Vertebrata

Infrakoljeno: Osteichthyes

Razred: Actinopterygii

Red: Perciformes

Porodica: Scombridae

Rod: *Thunnus*

Vrsta: *thynnus*

Naziv „tuna“ uglavnom se odnosi na više vrsta riba iz roda *Thunnus* unutar porodice Scombridae. Sam naziv vuče podrijetlo iz starogrčkog naziva *θύννος*, veoma je star i vjerojatno su ga Grci preuzeli od naroda koji su zatekli u Grčkoj (ŽUPANOVIĆ, 1997.). Prijevod na hrvatskom glasi „brza lotalica“. Tuna pripada skupini koštunjača (Osteichthyes).

Rod *Thunnus* sadrži osam vrsta, unutar kojeg razlikujemo dvije grupe: plavorepe i žutorepe tune (COLLETTE, 1999.; COLLETTE i sur., 2001.).

#### Plavorepe tune (podrod *Thunnus*)

*Thunnus alalunga* (Bonnaterre, 1788.) dugoperajna tuna (tunj dugokrilac)

*Thunnus maccoyii* (Castlenau, 1872.) južna plavoperajna tuna

*Thunnus obesus* (Lowe, 1839.) velikooka tuna

*Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758.) atlantska plavoperajna tuna

*Thunnus orientalis* (Temminck i Schlegel, 1844.) pacifička plavoperajna tuna

#### Žutorepe tune (podrod *Neothunnus*)

*Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788.) žutoperajna tuna

*Thunnus atlanticus* (Lesson, 1831.) crnoperajna tuna

*Thunnus tonggol* (Bleeker, 1851.) dugorepa tuna

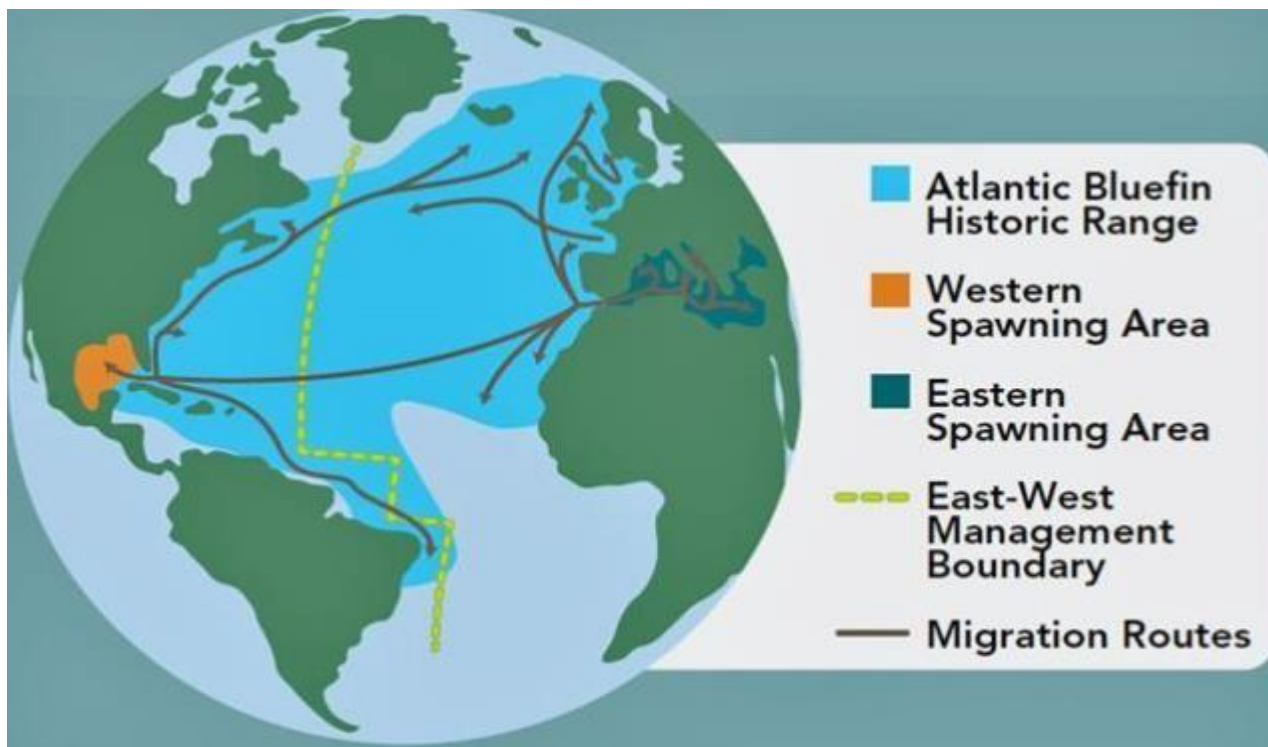
U Republici Hrvatskoj je zbog uzgoja i mjesta obitavanja najzanimljivija, te ujedno i najvažnija vrsta, *Thunnus thynnus*, te će se u daljnjem tekstu pod nazivom tuna tekst odnositi isključivo na nju. Često se u literaturi naziva i drugim imenima poput tunj, atlantska tuna, plavorepa tuna, plavoperajna tuna te atlantska plavoperajna ili plavorepa tuna. Slična situacija je i u engleskom jeziku gdje ju nalazimo pod imenima *bluefin tuna*, *Atlantic bluefin tuna*, *northern bluefin tuna*, *tunny*.

## 2.2. Biologija

Tuna (*Thunnus thynnus*) je najveći pripadnik porodice Scombridae. Može doseći masu veću od 700 kg i duljinu veću od 3 m. Zapisani rekord za najveći uhvaćeni primjerak potječe iz 1979. godine u Novoj Škotskoj, a težio je 679 kg s dužinom od 3,7 m. Izuzetno je dobar plivač, te zbog svog hidrodinamičnog, vretenastog oblika i snažnog tijela može razviti brzine do 90 km/h te zahvaljujući tomu migrirati od umjereno hladnog mora, gdje se hrani, do toplih mora gdje se mrijesti (BENETTI i sur., 2016.; KITAGAWA i KIMURA, 2016.). Zbog ovakvih upečatljivih obilježja tuna stoljećima fascinira znanstvenike i filozofe, a osim što je poznata po svojoj veličini, jedna je i od najtraženijih te najcjenjenijih riba na tržištu (FROMENTIN i POWERS, 2005.). Tuna je među koštunjačama jedinstvena i zbog toga što ju, zajedno s ostalim pripadnicima grupe plavoperajnih tuna, ubrajamo u toplokrvne, odnosno endotermne organizme jer je sposobna povisiti tjelesnu temperaturu i do 20°C iznad temperature okolne vode. U potrazi za plijenom, tuna može zaroniti i do 1000 m dubine gdje je temperatura mora znatno niža nego pri površini. Pritom se njezina tjelesna temperatura ne mijenja, ali temperatura srca može se smanjiti i za 20°C u roku od samo nekoliko minuta. Kako nagle promjene temperature ne bi dovele do zastoja rada srca, u organizmu tune razvile su se posebne fiziološke prilagodbe koje omogućavaju održavanje ujednačenih ciklusa kontrakcije i relaksacije srčanog mišića (SHIELS i sur., 2015.). Migracija atlantske tune jedna je od najbolje opisanih kad se govori o visoko migratornim životinjskim vrstama. Tuna migrira iz dva razloga: kako bi se mrijestila i radi potrage za hranom. Migracija je sezonskog karaktera, pri čemu tune prelaze velike udaljenosti između područja za hranjenje u Atlantskom oceanu i staništa gdje se mrijeste (slika 1). Međunarodna komisija za očuvanje atlantskih tuna (ICCAT) dijeli cjelokupnu populaciju tune na zapadnu, koja se mrijesti u Meksičkom zaljevu, i na istočnu populaciju, koja se mrijesti u Sredozemnom moru (RICHARDSON i sur., 2016.).

U potrazi za hranom obje populacije migriraju u Atlantski ocean, točnije, u njegovo središte. Tuna je grabežljivac, a glavni plijen mijenja se ovisno o području i godišnjem dobu. Prehrana tune sastoji se uglavnom od glavnožaca, rakova te najčešće raznih vrsta riba. Istraživanjima provedenim uz obale Sjedinjenih Američkih Država, dokazano je da se tune iz zapadne populacije najčešće hrane ribama poput srebrnog oslića (*Merluccius bilinearis*), atlantske haringe (*Clupea harengus*), atlantskog menhadena (*Brevoortia tyrannus*), hujke (*Ammodytes* spp.), skuše (*Scomber scombrus*) te strijelke skakuše (*Pomatomus saltatrix*) (KITAGAWA i KIMURA, 2016.). U istočnoj populaciji važnu ulogu u prehrani ima sitna plava riba, a najčešći nalaz u želucima tuna su vrste poput papaline (*Clupea sprattus*), incuna (*Engraulis encrasicolus*) i srdele (*Sardina pilchardus*) (ROOKER i sur., 2007.). Prehrana ličinki i mlađi sastoji se primarno od zooplanktona i veslonožaca, ali i ličinaka drugih vrsta riba (MIYASHITA i sur., 2001.; MUHLING i sur., 2017.).

Spolna zrelost tune vezana je uz veličinu, a procjenjuje se prema dužini ženki tuna ulovljenih na mjestima prirodnog mrijesta i na temelju histološke pretrage gonada (BENETTI i sur., 2016.). Dosadašnja istraživanja ukazivala su da tune zapadne populacije, koje se mrijeste u Meksičkom zaljevu, spolno sazrijevaju pri veličini od 190 do 282 cm, što odgovara starosnoj dobi od otprilike devet godina (RESTREPO i sur., 2010.). S druge strane, na osnovi analize odnosa duljine tijela i histološkog stadija gonada, smatra se da tune istočne populacije, kako u divljini tako i u zatočeništvu, spolno sazrijevaju u dobi od tri do pet godina i duljini od 105 do 140 cm (CORRIERO i sur., 2005.; MYLONAS i sur., 2007.; ROSENFELD i sur., 2012.). Novija istraživanja, zasnovana na analizi međusobnog odnosa i razine folikulostimulirajućeg i luteinizirajućeg hormona u krvi tune, upućuju da tune zapadne populacije spolno sazrijevaju u mlađoj dobi, pri duljini od 134 cm, što je usporedivo s tunama iz istočne populacije (HEINISCH i sur., 2014.). ICCAT će i dalje provoditi istraživanja s ciljem što preciznijeg određivanja vremena nastupa spolne zrelosti jer je razumijevanje fiziologije reprodukcije ključno za ovladavanje tehnologijom umjetnog mrijesta.



Slika 1. Rasprostranjenost tune i migracijski putevi (VAN BEIJNEN, 2017.).

Za procjenu brzine rasta i dobi tune koriste se metode temeljene na ispitivanjima kalcificiranih tkiva, modalna analiza dužina te metode označavanja i praćenja jedinki konvencionalnim ili elektroničkim oznakama. Prve dvije metode uspješne su u određivanju dobi kod mladih i starih jedinki dok sporiji rast u kasnijoj dobi predstavlja poteškoću u određivanju starosti pomoću kalcificiranih tkiva, a analiza dužina vjerodostojna je jedino kada je pojedine dobne skupine moguće jasno razlučiti. Metoda označavanja i ponovnog ulova jedinki vrlo je pouzdana, iako se nekad pojavljuje problem kod određivanja točne starosti prilikom prvog ulova i označavanja. Zbog poteškoća koje se javljaju prilikom provođenja jedne od spomenutih metoda, uobičajeno je koristiti nekoliko njih istovremeno ili, ako se koristi samo jedna metoda, tada se njome analizira više različitih kalcificiranih tkiva (ROOKER i sur., 2007.).

Kod određivanja dobi putem analize kalcificiranih tkiva, najčešće se promatraju otoliti, tvrdo uzglobljene žbice peraja i kralješci. Analiza otolita prikladna je za procjenu rasta kod ličinki, mlađi i odraslih jedinki. Prednost ove metode je to što otoliti imaju središnju jezgru koja se sa starošću ne resorbira i ne gubi jasnoću. Kod određivanja starosti analizom žbica leđne peraje, treba imati na umu da se nakon treće godine života pojavljuje resorpcija medularne šupljine.

Procjena starosti analizom kralježaka pouzdana je do otprilike devete godine života, nakon čega postaje otežana zbog približavanja linija rasta. U praksi se često koristi i metoda procjene starosti po ljuskama, ali njezina upotreba ograničena je na mlađu dob, do četvrte ili pete godine života (ROOKER i sur., 2007.). U obje populacije tune duljina i starost relativno su slične u prvih pet godina života. Istraživanjem se utvrdilo da su tune iz istočne populacije u dobi od 1, 2, 3, 4 i 5 godina dugačke 54, 77, 103, 118 i 135 cm. Zapadna populacija u dobi od 1, 2, 3, 4 i 5 godina dostiže dužinu od 53, 72, 91, 118 i 139 cm. Nakon pete godine života jedinke zapadne populacije dulje su od istočnih, što se najbolje vidi nakon desete godine kada zapadna dostiže prosječnu duljinu od 212 cm, a istočna 200 cm (CORT, 1991.; TURNER i RESTREPO, 1994.). Ipak, treba uzeti u obzir i to da se ta prihvaćena krivulja rasta temelji na različitim načinima mjerenja dobi u pojedinoj populaciji. Kod istočne populacije češće se koriste metode ispitivanja kalcificiranih struktura i analiza modalnih duljina dok se kod zapadne dob procjenjuje metodom označavanja i praćenja tuna (ROOKER i sur., 2007.). Novija istraživanja potvrđuju da je brzina rasta tuna zapadne populacije vrlo slična onoj kod istočne populacije (RESTREPO i sur., 2010.).

### **2.3. Prirodni mrijest**

Prirodni mrijest tune predmet je brojnih istraživanja znanstvenika širom svijeta. Razlog tomu je što se tuna ubraja u najcjenjenije ribe i ima značajnu ulogu u ribarstvu i ekonomiji mnogih država. Unatoč velikoj količini prikupljenih podataka, i danas su prisutne brojne nepoznanice. Dodatan razlog za provedbu intenzivnih istraživanja je i potreba za detaljnim razumijevanjem prirodnog mrijesta s ciljem razvoja tehnologija umjetnog mrijesta.

Spoznaje o mjestu i vremenu mrijesta tune temelje se prvenstveno na pronalascima ličinki i rezultatima histoloških pretraga gonada. Dva opće poznata regionalna mrijestilišta su Meksički zaljev na zapadu te Sredozemno more na istoku. Da su to dva glavna područja mrijesta potvrdila su istraživanja provedena praćenjem jedinki tuna označenih elektroničkim oznakama (STOKESBURY i sur., 2004.; BLOCK i sur., 2005.; TEO i sur., 2007.). Vrijeme mrijesta i na istoku i na zapadu povezano je s temperaturom. U Meksičkom zaljevu temperatura mora pri površini u vrijeme mrijesta iznosi 22,6 do 27,5°C, a u Sredozemnom moru 22,5 do 25,5°C. S obzirom da su temperature u Meksičkom zaljevu početkom proljeća više nego u Sredozemnom moru, ne iznenađuje činjenica da mrijest na tom području počinje ranije (KARAKULAK i sur., 2004.; TEO i sur., 2007.; HEINISCH i sur., 2008.).

Na području mrijesta istočne populacije, ličinke tune lovljene su širom Sredozemnog mora s iznimkom u Ligurskom moru, sjevernom dijelu Jadrana i Alboranskom moru. Primarna mrijestilišta u Sredozemnom moru nalaze se na području juga Italije (Sicilija) i kod Balearskih otoka, istočno od obale Španjolske. Tuna se mrijesti još i u Mersinskom zaljevu na obali Turske, sjeverno od Cipra. Postoje naznake da tune koje obitavaju u Mesinskom tjesnacu u Sredozemnom moru, čine genetski izdvojenu populaciju, koja ne migrira, no analize mitohondrijske DNA i mikrosatelita to nisu potvrdile (LIVI i sur., 2018.). Na osnovi rezultata histoloških pretraga gonada, može se zaključiti da mrijest tune u istočnom Sredozemlju počinje sredinom svibnja, početkom lipnja u središnjem, a sredinom lipnja u zapadnom dijelu, što se poklapa s porastom temperature mora pri površini iznad 23°C. Vrhunac mrijesta u istočnom Sredozemlju (Levantinsko more) događa se u svibnju, dok se u središnjem (Malta) i zapadnom (Balearski otoci) dijelu proteže kroz lipanj i srpanj. Mrijest u području Balearskih otoka počinje krajem svibnja ili početkom lipnja, pri temperaturi mora od 19 do 20°C, vrhunac je u vrijeme ljetnog solsticija, a mrijest završava u drugom tjednu srpnja. U svakom području mrijest traje otprilike 30 do 45 dana (CORRIERO i sur., 2003.; KARAKULAK i sur., 2004.; HEINISCH i sur., 2008.; GORDOA i CARRERAS, 2014.).

U području mrijesta zapadne populacije, najveća koncentracija ličinki pronađena je na sjeveru Meksičkog zaljeva. Na tim se mjestima ujedno i naveliko provodi elektroničko označavanje jedinki. Nadalje, ličinke tune lovljene su i u južnim dijelovima Meksičkog zaljeva do Jukatanskog prolaza te od Floridskog prolaza prema Bahamima (ROOKER i sur. 2007.). Histološkim analizama gonada ustanovljeno je da se mriještenje na ovom području odvija od travnja do lipnja, s vrhuncem u svibnju (BAGLIN, 1982.), odnosno ranije nego u Sredozemlju zahvaljujući ranijem porastu temperature mora iznad granice od 24°C, pri kojoj počinje intenzivan mrijest (BLOCK i sur., 2001.).

Ženke tune vrlo su plodne i mogu ispustiti i do 10 milijuna komada ikre. Tijekom sezone mrijeste se višekratno, a ikru istiskuju u obrocima. Histološkom analizom ovarija utvrđeno je da oocite ne sazrijevaju istovremeno. Tako se tijekom cijelog razdoblja mrijesta u ovarijima mogu naći svi stadiji razvoja oocita (HEINISCH i sur., 2008.), što dovodi do njihovog postupnog sazrijevanja i višekratnog istiskivanja zrele ikre u manjim obrocima (BENETTI i sur., 2016.). MEDINA i sur. (2002.) procijenili su da tuna tijekom pojedinog akta istiskivanja ikre izbaci otprilike 93.000 komada ikre po kilogramu tjelesne mase, što znači da ženka tjelesne mase od 100

kg može proizvesti oko 9 milijuna komada ikre. Razmaci između pojedinih istiskivanja ikre iznose prosječno 1,2 dana (MEDINA i sur., 2007.; ARANDA i sur., 2013.). Nedavna istraživanja pokazala su da se neke ženke ne mrijeste svake godine. U prilog tomu govore pronalasci odraslih spolno zrelih tuna izvan poznatih mrijestilišta u sezoni mrijesta, kao i prisutnost ženki u nereproduktivnom stanju na mrijestilištima za vrijeme sezone mrijesta (KITAGAWA i KIMURA, 2016.).

Sam čin mrijesta tune, slično kao i kod mnogih drugih pelagijskih riba, događa se noću, odnosno rano ujutro. Podaci dobiveni promatranjem tuna u transportnom kavezu ukazuju da se tuna mrijesti između 3:00 i 5:00 sati ujutro (GORDOA i sur., 2009.). U području Baleara tune se mrijeste između 2:00 i 5:00 sati ujutro, s tim da se starije jedinke mrijeste ranije nego mlađe (GORDOA i CARRERAS, 2014.). U Jadranu se kavezno držane tune mrijeste oko 3:00 ujutro sredinom lipnja, a u 5:00 ujutro krajem sezone mrijesta (CINOTI i sur., 2017.).

## 2.4. Uzgoj zasnovan na izlovu

Uzgoj tuna započeo je u Sredozemnom moru u Španjolskoj 1985. godine. Kasnije se širi na druge države. Godine 1996. počinje uzgoj u Hrvatskoj, 2000. na Malti, a 2001. u Italiji. Od 2007. godine uzgojem se bave još Cipar, Turska, Libija, Tunis, Grčka, Maroko i Portugal (OTTOLENGHI, 2008.). Na zapadu uzgoj tune predstavlja relativno novu gospodarsku djelatnost visoke vrijednosti (MAYER, 2019.). Prema podacima ICCAT-a, u godini 2017. bile su registrirane 54 tvrtke (sa 62 farme ukupnog kapaciteta 54.000 metričkih tona) koje se bave uzgojem tune: u Cipru (3), Grčkoj (2), Hrvatskoj (5), Italiji (14), Libiji (1), Malti (7), Maroku (1), Portugalu (1), Španjolskoj (9), Tunisu (5) i Turskoj (6) (VAN BEIJINEN, 2017.). U tablici 1. prikazana je količina izlovljene i uzgojene tune u Hrvatskoj od 2010. do 2018. godine.

Tablica 1. Količina izlovljene i uzgojene tune (*Thunnus thynnus*) u tonama za RH od 2010. do 2018. godine prema podacima Državnog zavoda za statistiku (ANON, 2019d.).

<b>Godina</b>	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.
<b>Izlovljena količina (t)</b>	388	372	374	389	385	456	511	635	679
<b>Uzgojena količina (t)</b>	3592	2312	1907	2616	2224	2603	2934	2162	3227

### 2.4.1. Izlov mladi

Tune se love na otvorenom moru u periodu od svibnja do srpnja uz pomoć posebno opremljenih brodova tzv. tunolovaca. Pri tom najčešće se koriste okružujuće mreže plivarice - tunolovke koje osiguravaju visoku stopu preživljavanja izlovljenih primjeraka. Uspjeh u tunolovu ovisi o vremenskim prilikama jer se tuna lovi u doba lijepog vremena, odnosno mirnoga mora. Tada je lov olakšan zbog toga što se tuna diže na površinu mora i odmara, najčešće nakon hranjenja. Uz ribolov mrežama tunolovkama, postoje i druge tehnike, ali one nisu prikladne za ribolov mladi tune koja se stavlja u uzgoj jer ne mogu osigurati ulov zdravih i neozlijeđenih jedinki. Tu ubrajamo lov različitim udičarskim alatima kao što su odmet, panula i plutajući parangal.

Kod ribolova plivariicom tunolovkom, nakon što se tune zgrade mrežom premještaju se u transportne mrežne kaveze za daljnje tegljenje do uzgojnih kaveza. Transport može potrajati i tjednima, ovisno o lokaciji lovišta i udaljenosti od koncesijske površine za uzgoj te je tijekom transporta potrebno osigurati optimalne uvjete da bi se mortalitet smanjio na najmanju moguću mjeru (BENETTI i sur., 2016.). Poboljšavanjem transportnih tehnika mortalitet se smanjuje. Primjerice, u Španjolskoj se od 1995. do 2000. godine mortalitet smanjio s 21% na približno 4% (MYLONAS i sur., 2010a.), dok u nekim državama napredak nije toliko osjetan. U Turskoj mortalitet iznosi oko 10% (ORAY i KARAKULAK, 2003.), a u Hrvatskoj 10-15% (KATAVIĆ i sur., 2003.). Transportni kavezi promjera su od 30 do 36 m, a duboki 20 m te ih pridržavaju betonski utezi mase 30 kg. Pomoću brodova tegljača tzv. remorkera kavezi se tegle do koncesijske površine gdje će se tune prebacivati u uzgojne stacionarne mrežne kaveze. Da bi se utvrdio broj i veličina ulovljenih jedinki tuna prebacivanje se snima podvodnom stereoskopskom kamerom (STANIĆ i ZANKI, 2014.), a cijeli postupak prate regionalni promatrači ICCAT-a (ANON, 2019c.).

Radi zaštite prirodnih stokova atlantske tune, godine 1966. je u Rio de Janeiru, na Konferenciji „Plenipotentiaries“, osnovana Međunarodna komisija za očuvanje atlantskih tuna (ICCAT). Formalno stupa na snagu 1969. godine nakon ratifikacije. Glavno sjedište nalazi se u Madridu. Njeno djelovanje obuhvaća širok raspon, od prikupljanja statističkih podataka do koordinacije znanstvenih istraživanja. Nadalje, ICCAT je jedina ribarska organizacija koja smije obavljati različite vrste poslova vezane uz istraživanje i upravljanje tunom u Atlantskom oceanu. Na temelju podataka dobivenih putem istraživanja te podataka od država članica, ICCAT donosi preporuke za očuvanje stokova tune te regulira izlov postavljajući određene izlovne kvote,



minimalnu ulovnu veličinu te razdoblja zabrane ribolova (MIŠLOV, 2019.). ICCAT svake godine državama članicama dodjeljuje određenu izlovnu kvotu za tunu, čime se sprečava prekomjerni izlov. U tablici 2. usporedno su prikazane izlovne kvote za 2018. i 2019. godinu za države članice Europske Unije.

Tablica 2. Izlovne kvote (u tonama) za područje EU u 2018. i 2019. godini (Prilagođeno iz ANON, 2018a.; 2019a.).

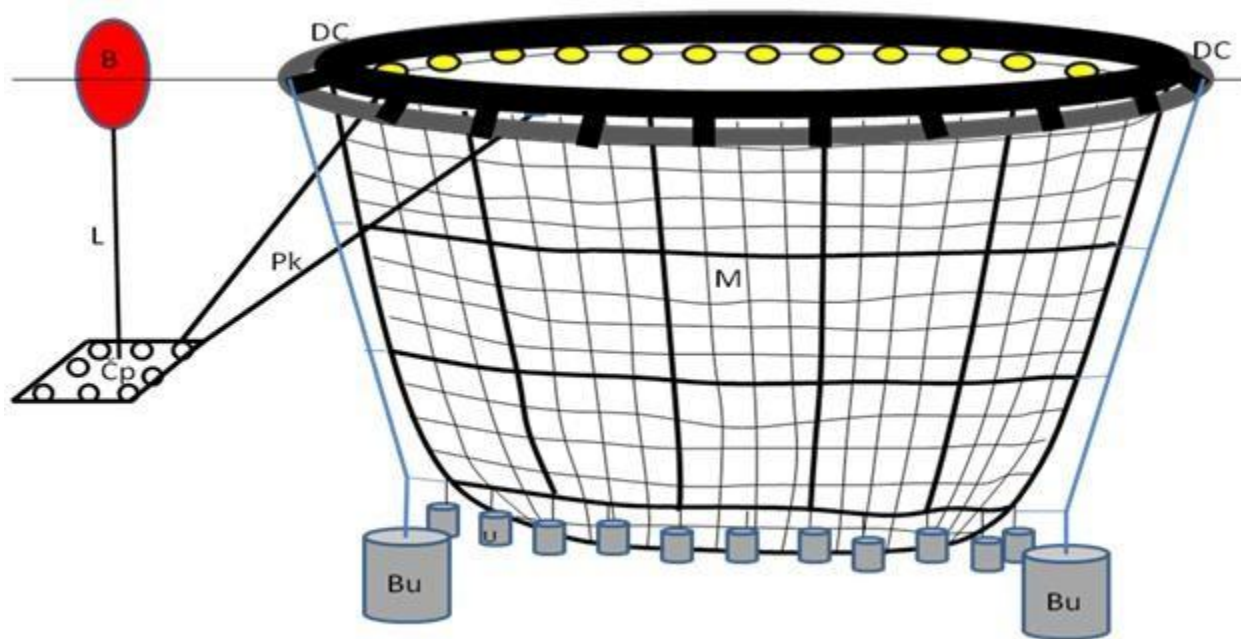
<b>Država</b>	<b>Izlovne kvote za 2018. (t)</b>	<b>Izlovne kvote za 2019. (t)</b>
Cipar	138,65	153,40
Grčka	257,70	285,11
Španjolska	5.000,28	5.532,16
Francuska	4.993,97	5.458,80
Hrvatska	779,84	862,79
Italija	3.894,13	4.308,36
Malta	319,49	353,48
Portugal	470,19	520,21
Ostale države članice	55,76	61,69

Republici Hrvatskoj je za 2019. godinu dodijeljena izlovna kvota za tunu (*Thunnus thynnus*) u iznosu od 862,79 tona. Sukladno Pravilniku o ribolovnim mogućnostima i raspodjeli državne kvote u 2019. godini za ribolov plavoperajne tune (*Thunnus thynnus*) dodijeljena kvota raspodijeljena je na različite oblike ribolova pa je gospodarskom ribolovu dodijeljeno 750 tona za plivarice tunolovke, 80 tona za udičarske alate te 12,29 tona za prilov. Ostatak kvote raspodijeljen je za negospodarski ribolov: 5 tona za sportski ribolov, 12,5 tona za rekreacijski ribolov trofejnih primjeraka i 3 tone za ribolov u znanstvene svrhe (ANON, 2019b.). Navedenim Pravilnikom propisana su i vremenska ograničenja korištenja pojedinih ribolovnih alata. Ribolov tune plivaricama tunolovkama u 2019. godini bio je dozvoljen u razdoblju od 26. svibnja do 1. srpnja 2019. ili do iskorištenja dodijeljene izlovne kvote unutar tog razdoblja. Za potrebe stavljanja u uzgoj, ribolov je bio dozvoljen do 15. srpnja ili do iskorištenja izlovne kvote unutar tog razdoblja. Gospodarski ribolov udičarskim alatima dozvoljen je od 25. veljače do 31. prosinca ili do iskorištenja dodijeljene izlovne kvote unutar tog razdoblja. Sportski i rekreacijski ribolov tune

dozvoljen je u razdoblju od 16. lipnja do 1. studenog 2019. godine. Pravilnik propisuje i minimalnu veličinu tune u prilovu koja iznosi 30 kg za ribu koja se stavlja na tržište (uz preduvjet da masa tune u prilovu ne smije prelaziti 5% mase ukupnog ulova). Propisana minimalna ulovna veličina tune za potrebe uzgoja iznosi 8 kg, s tim de se ne smije stavlјati na tržište prije nego dostigne 30 kg (ANON, 2019b.).

#### **2.4.2. Uzgoj i tov**

Ciklus uzgoja tune započinje dovozom ulovljenih tuna na koncesijske površine pomoću transportnih kaveza i prebacivanjem u uzgojne kaveze. Da bi se izbjegao nepovoljni utjecaj uzgajališta na okoliš potrebno je planiranjem odrediti zone koncesijskih površina za kavezni uzgoj tuna. Pravilnik o kriterijima za utvrđivanje područja za akvakulturu na pomorskom dobru propisuje kriterije za određivanje najpovoljnijih područja za akvakulturu u odnosu na njihov prihvatni kapacitet. Navedeni kriteriji moraju se uzeti u obzir prilikom izrade prostornih planova (ANON, 2018b.). Svaki transportni kavez ima posebno napravljena vrata koja se mogu otvoriti i spojiti na uzgojni stacionarni kavez. Riječ je o otvorima na mrežnim kavezima koji se mogu otvoriti ili zatvoriti uz pomoć škopaca. Nakon spajanja transportnog kaveza sa stacionarnim, promjera 50-60 m i dubine 25 m, ta se vrata otvaraju i međusobno spajaju formirajući tunel dužine 4 m, visine 8 m i širine 8 m. Nakon toga skidaju se betonski utezi s transportnog kaveza te se on uz pomoć brodice podiže prema morskoj površini čime se smanjuje volumen morske vode. Podizanje kaveza uzrokuje prelazak tuna u uzgojni kavez te se po završenom prijelazu tuna zatvaraju vrata i transportni se kavez odvlači natrag u more. Prelazak mlađi tuna snima se podvodnom stereoskopskom kamerom te vodi zapis o broju i veličini riba kako bi se zadovoljila količina potrebna za nasad koju stacionarni kavez može zaprimiti. Time se postižu optimalni uvjeti za uzgoj tuna (STANIĆ i ZANKI, 2014.; ANON, 2017a.). Kavezno držanje varira ovisno o samoj regiji i namjeni uzgoja. U većini država provodi se kratki postupak uzgoja (tov) u trajanju od šest do sedam mjeseci pri čemu se nasadena mlađ tune, minimalne tjelesne mase od 30 kg, tovi do konzumne veličine povećavajući tjelesnu masu i udio masti. Tehnologija uzgoja tune u Hrvatskoj podrazumijeva nasađivanje mlađi tune u rasponu od 8 do 30 kg, a period uzgoja traje do dvije godine. Razlog tomu je što se u Jadranskom moru, koje predstavlja prirodno hranilište za mlađe jedinke tune, dozvoljava izlov manjih jedinki minimalne težine od 8 kg, ali isključivo radi stavljanja u uzgoj (MILATOU i MEGALOFONOU, 2014.; BENETTI i sur., 2016.).



Slika 2. Shematski prikaz uzgojnog kaveza sa svim konstrukcijskim elementima.  
 B = uzgonska bova, DC = dvostruka cijev, M = mrežni uteg, Pk = privezni konop, ČP = čelična ploča, L = pocinčani lanac, U = betonski utezi mase 30 kg, Bu = betonski utezi mase 200 kg.  
 Prilagođeno iz: STANIĆ i ZANKI, (2014.).

Preporučljivo je da uzgojni kavezi budu smješteni najmanje 300 m od obale, gdje je dubina mora između 80 i 90 m. Uzgojni kavezi su plutajućeg tipa, kružnog oblika, promjera 50 do 60 m i dubine oko 25 m, usidreni betonskim utezima (slika 2). Veličina oka mreže iznosi 80 do 200 mm. Mreže su izrađene od UV stabiliziranog poliamida. Uzgojne kaveze potrebno je periodično čistiti radi osiguravanja protoka vode i održavanja potrebne koncentracije kisika jer se na njih nakuplja obraštaj koji čine školjkaši poput dagnji, različite vrste algi i mahovnjaci. Sam proces čišćenja može se obavljati ručno i strojno u moru ili na kopnu. Mreže se također mogu dodatno zaštititi antivegetativnim premazima, no u tom slučaju dolazi do smanjenja kvalitete uzgojene ribe (STANIĆ i ZANKI, 2014.). Tovni period uobičajeno traje od srpnja do prosinca, ali po potrebi može biti produžen do veljače (BELMONTE i sur., 2007.). Način hranjenja varira ovisno o državi ili farmi. Tuna se obično hrane jedan do tri puta na dan, no mogu se hraniti i do šest puta. Količina hrane određena je veličinom tune, temperaturom mora i reakcijom tuna na hranu, a konverzija iznosi 15-20 kg hrane za kilogram prirasta (OTTOLENGHI, 2008.). Za normalan rast i razvoj

potrebne su hranjive tvari poput bjelančevina, ugljikohidrata, masti, vitamina i minerala. Na hrvatskim uzgajalištima, tune se hrane svježom i smrznutom plavom ribom (slika 3) kao što su inćun (*Engraulis encrasicolus*), srdela (*Sardina pilchardus*), lokarda (*Scomber japonicus*) i skuša (*Scomber scombrus*), a zbog svojih nutritivnih vrijednosti uvozi se i atlantska haringa (*Clupea harengus*).



Slika 3. Svježa sitna plava riba pripremljena za hranjenje.

Kod hranjenja haringom, bitno je pravilno odmrzavanje radi smanjenja rasipanja masnoće koja se morskim strujama može proširiti do obale (slika 4). Uz rasipanje masnoće, problem predstavljaju i nepojedeni ostaci hrane te feces. Oni mogu znatno povećati razinu dušika i fosfora ispod i u neposrednoj blizini kaveza, što može imati utjecaj na bentosku zajednicu koji se očituje u smanjenju raznolikosti vrsta.



Slika 4. Masnoća nastala tijekom hranjenja tune haringama.

Hrana se na platformu prenosi uz pomoć dizalice (slika 5) ili putem cijevi s usipnim košem (slika 6) te ju je potrebno nabacivati što bliže sredini kaveza (STANIĆ i ZANKI, 2014.). Tune se na uzgajalištima hrane ručno, uz pomoć plastičnih lopata, na dva načina: s plutajuće platforme smještene na kavezu (slika 7) ili izravno s broda. Platforme se koriste u slučaju hranjenja tek pristigle tune s otvorenog mora iz razloga što se nalaze u novim životnim uvjetima na koje nisu navikle te je njihovo ponašanje konfuzno i često dovodi do međusobnog ozljeđivanja jedinki ili uplitanja u mrežni uteg. Potrebno je oko mjesec dana da se tuna navikne na novi način hranjenja.





Slika 5. Prijenos hrane na plutajuću platformu uz pomoć dizalice.



Slika 6. Prijenos hrane na plutajuću platformu usipnom cijevi.



Slika 7. Hranjenje tuna s plutajuće platforme.

#### **2.4.3. Izlov tuna iz uzgojnih kaveza i klanje**

Iz uzgojnih kaveza tune se love izlovnom mrežom tzv. šabakunom. Njome se ograđuje dio jedinki koje se planira izloviti. Vrećni dio mreže, koji ima šest do sedam puta manju površinu od ostatka izlovnne mreže, posebno je odvojen. U njega se odvaja određeni broj jedinki dok ostatak slobodno pliva u izlovnnoj mreži. Uхваćene se tune vade nehrđajućim kukama i prebacuju na stolove od nehrđajućeg čelika. Tunama se presijecaju lateralne arterije, neposredno iza prsnih peraja, a zatim im se trepanira čeona kost. Tim postupkom oslobodi se prolaz kroz kralježnični kanal nakon čega se u njega uvlači sonda od nehrđajućeg čelika kojom se potpuno uništava središnji živčani sustav što rezultira trenutnim uginućem. Tuna se potom ispire morskom vodom te se potopi u hipertoničnu mješavinu mora i leda kako bi se održavala temperatura u rasponu od 0 do 2°C. Trupovi se dalje brodovima transportiraju na preradu gdje će se eviscerirati i ukloniti repna, prsne i trbušne peraje te škržni poklopci. Tako očišćene tune smrzavaju se u hladnjačama (STANIĆ i ZANKI, 2014.). Kvaliteta mesa tune umnogome ovisi o samom načinu rukovanja ribom prilikom klanja. Da bi se smanjio stres potrebno je klanje obaviti u što kraćem vremenu. Kod nekih jedinki,

stres izazvan za vrijeme klanja pogoduje ubrzanom stvaranju mliječne kiseline i njenom nakupljanju u mišićima. Oštećenje mišića nastalo zbog nakupljanja mliječne kiseline, a uslijed nedostatka kisika uzrokovanog anaerobnim metabolizmom, naziva se na japanskom *yake niku* što se na engleskom prevodi kao *burnt flesh*. U takvom stanju mišićje tune poprima gorak okus te gubi tržišnu vrijednost (BUENTELLO i sur., 2008.).

## **2.5. Umjetni mrijest, uzgoj ličinki i mladi**

Dok se tehnologija uzgoja atlantske tune (*Thunnus thynnus*) bazira se na tovu izlovljenih divljih jedinki, znanstvenici na japanskom sveučilištu Kindai, prethodno znanom kao Kinki, uspjeli su potpuno zaokružiti uzgojni ciklus pacifičke tune (*Thunnus orientalis*) u kontroliranim uvjetima umjetnog mrijesta. To podrazumijeva držanje odraslih jedinki u mrežnim kavezima na moru gdje se nakon inducirano mrijesta sakuplja ikra. Iz njih se u posebno kontroliranim uvjetima razvijaju ličinke koje se uzgajaju do određene veličine kada se transportiraju u uzgojne kaveze u moru gdje će se toviti do konzumne veličine za tržište. Nakon uspjeha japanskih znanstvenika, započinje proces zaokruživanja uzgojnog ciklusa atlantske tune.

U posljednja dva desetljeća EU je financirala brojne važne projekte koji su pripremili put uspješnim eksperimentima za uzgoj atlantske tune, uključujući projekte DOTT (2001.-2002.), REPRODOTT (2003.-2005.), SELFDOTT (2008.-2011.) i TRANSDOTT (2012.-2014.). Prvi projekt o udomaćivanju atlantske tune (DOTT) imao je za cilj razviti strategije zaokruživanja uzgojnog ciklusa tune, nakon čega se započelo s procjenama o mogućnosti reprodukcije u kontroliranim uvjetima (REPRODOTT). Uslijedio je projekt za razvoj osnovnog protokola uzgoja ličinki i razvoja zamjenske hrane (SELFDOTT) i konačno projekt (TRANSDOTT) kojem je cilj koristiti rezultate prethodnih istraživanja te ih primijeniti u inovativnu i tržišnu marikulturu (ZOHAR i sur., 2016.). Kao rezultat navedenih projekata, uspostavljeno je više privatnih mrijestilišta i istraživačkih centara u Španjolskoj, Malti, Grčkoj, Hrvatskoj, Egiptu i Turskoj. Većina njih uspješno je proizvela male količine mladi u posljednjih nekoliko godina, ali unatoč tim uspjesima, brojni su izazovi i dalje problem da bi se uzgojila tržišno održiva količina (BENETTI i sur., 2016.; ORTEGA i sur., 2014.).



### 2.5.1. Utjecaj kaveznog držanja na gametogenezu i endokrini status

Istraživanja provedena na odraslim jedinkama izlovljenima u području Balearskih otoka i držanima u kavezu ukazala su na razvoj spolnog ciklusa, pojavu i napredovanje gametogeneze praćene promjenom razine hormona koji njome upravljaju (DE LA GÁNDARA i sur., 2010.). Promatranjem izlovljenih jedinki koje su držane najmanje godinu dana u kavezu utvrdila se gametogeneza tijekom sezone mrijesta, od svibnja do srpnja. Endokrini pokazatelji, uključujući gonadotropin-oslobađajući hormon (GnRH1) i luteinizirajući hormon (LH), dostižu vrhunac u lipnju, kada su zabilježene i najveće vrijednosti gonadosomatskog indeksa (GSI). Nadalje, razine GnRH1 i LH nisu se značajno razlikovale kod jedinki držanih u kavezu od onih u divljini. Zaključeno je da je endokrini sustav jedinki u uzgoju funkcionalan i da fiziološke promjene ukazuju na pripremu organizma za nadolazeću sezonu mrijesta. No, iako se gametogeneza odvijala, GSI jedinki u kavezima bio je relativno nizak u usporedbi s onim izmjerenim kod jedinki u divljini. Niz daljnjih istraživanja pokazao je kako su procesi spermatogeneze i oogeneze donekle narušeni u uvjetima kaveznog uzgoja (CORRIERO i sur., 2007.; CORRIERO i sur., 2009.; CORRIERO i sur., 2011.; ZUPA i sur., 2013.; BENETTI i sur., 2016.). U istraživanju ŠEGVIĆ-BUBIĆ i sur. (2018.), provedenom na kavezno držanoj tuni u Jadranskom moru, najveće vrijednosti GSI utvrđene su tijekom svibnja. Vrijednosti su se postupno smanjivale prema lipnju, što ukazuje na početak sezone mrijesta i suprotno je podacima koji se odnose na uzgajane i divlje jedinke tune podrijetlom iz istočnog (HEINISCH i sur., 2008.) i zapadnog Sredozemlja (ARANDA i sur., 2011.).

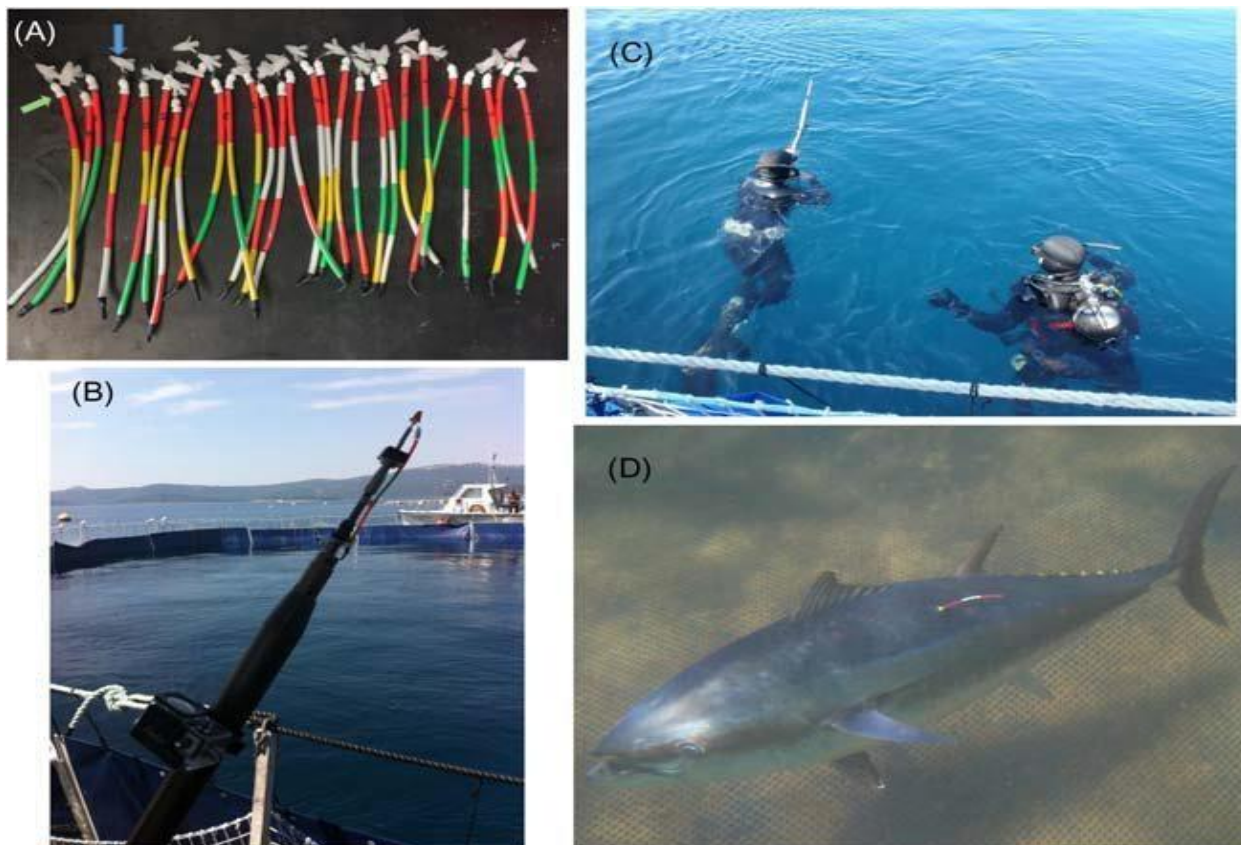
ZUPA i sur. (2013) utvrdili su da je tijekom svibnja stopa proliferacije spermatogonija kod tuna držanih u kavezu viša nego u divljih jedinki. Također, udio spermatogonija i spermatocita u proliferaciji tijekom lipnja je bio viši kod uzgajanih jedinki pa su autori zaključili da je uzgoj u zatočeništvu doveo do vremenskog pomaka u procesu spermatogeneze. Tako je kod tuna držanih u kavezu tijekom svibnja zabilježeno intenzivno dijeljenje (mitoza) spermatogonija, dok je u lipnju prevladavala mejoza. U istom razdoblju, divlje jedinke već su bile u završnoj fazi spermatogeneze, a u testisima su prevladavale spermatide i spermiji. Kod jedinki držanih u kavezu zabilježen je i veći udio germinativnih stanica koje su bile u apoptozi što se dovodi u vezu sa smanjenom razinom muških spolnih hormona, osobito 11-ketotestosterona, glavnog hormona koji potiče spermatogenezu u riba (ZUPA i sur., 2013.). Niska razina muških spolnih hormona kod uzgajanih

mužjaka vjerojatno je posljedica smanjene sekrecije gonadotropnog hormona, kao što je opisano i kod drugih vrsta riba držanih u zatočeništvu (ZOHAR, 1989.).

Držanje u zatočeništvu još značajniji utjecaj ima na oogenezu. U usporedbi s divljim jedinkama, kod ženki tuna iz kaveznog uzgoja zabilježena je manja masa gonada, poremećaj u sazrijevanju oocita i narušena vitelogeneza. Navedeno se dovodi u vezu sa stresom kojim su izložene jedinke u kavezu, što je i eksperimentalno potvrđeno izazivanjem akutnog stresa podizanjem dna kaveza nakon čega dolazi do paničnog bijega i sabijanja jedinki (CORRIERO i sur., 2011.). Podizanje dna kaveza rutinski je postupak koji omogućuje lakšu manipulaciju ribama. Primjerice, ovim načinom roniocu se olakšava aplikacija implantata GnRH.

### **2.5.2. Inducirani mrijest**

Podaci navedeni u prethodnom poglavlju upućuju da držanje u zatočeništvu kod uzgajanih tuna dovodi do poremećaja u reprodukciji. Dok se kod pojedinih mužjaka tune još i može očekivati stvaranje kvalitetne mliječi (SUQUET i sur., 2010.), kod ženki je sazrijevanje oocita narušeno, a time i ovulacija i mrijest. Takva reproduktivna disfunkcija uobičajena je kod riba držanih u zatočeništvu (ZOHAR, 1989.; MYLONAS i sur., 2011.), a u tuna se može prevladati egzogenom primjenom GnRH agonista (GnRHa) (MYLONAS i sur., 2010b.). Stoga je ciljano, u svrhu poticanja spolnog sazrijevanja i indukcije mrijesta tuna, razvijen sustav za aplikaciju implantata s kontroliranim otpuštanjem GnRHa (MYLONAS i sur., 2007.). Implantat, zajedno s vidljivom oznakom, aplicira ronioc podvodnom puškom s harpunom (slika 8). Implantati su dizajnirani tako da otpuštaju GnRHa u razdoblju od dva do tri tjedna, u ukupnoj dozi 50-75 µg hormona po kg tjelesne mase (MYLONAS i sur., 2007.).



Slika 8. Implantacija GnRHa. (A) = GnRHa implantati, (B) = GnRHa implantat postavljen na podvodnu pušku, (C) = priprema ronioca za postavljanje GnRHa implantata, (D) = tuna s postavljenim GnRHa implantatom (BENETTI i sur., 2016.).

Da se putem aplikacije GnRHa može prevladati reproduktivna disfunkcija dokazano je u eksperimentima gdje su tune žrtvovane nakon aplikacije implantata, a histološki su analizirane gonade pokusnih i kontrolnih jedinki. Pritom je utvrđeno da aplikacija implantata GnRHa učinkovito inducira završno sazrijevanje oocita i ovulaciju (CORRIERO i sur., 2007.). Sličan pokus proveden je na divljim tunama oba spola koje su prethodno dvije do tri godine držane u kavezu, a zatim su im u vrijeme kad se inače prirodno mrijeste, aplicirani implantati GnRHa. Potom su mužjaci i ženke žrtvovani u više navrata (2-3, 5-6 i 8 dana nakon aplikacije) kako bi se nadzirao učinak implantata, a radi usporedbe potrebno je bilo žrtvovati i neimplantirane jedinke. Histološkim pretragama gonada praćeni su učinci implantata na završno sazrijevanje oocita i spermatoocita. Prisutnost potpuno zrele mliječi i ikre, spremne za istiskivanje i ovulaciju, potvrđena je nalazom mliječi ili ikre koji su izlazili iz spolnog otvora pritiskom na područje

abdomena, ili su se na blagi pritisak cijedili iz presječenih gonada. Iako nije utvrđena razlika u histološkoj građi testisa između pokusne i kontrolne skupine, u skupini implantiranih jedinki zabilježen je veći postotak mužjaka koji su otpuštali mliječ. Znatno jači učinak zabilježen je kod ženki. U 63% ženki, žrtvovanih dva do osam dana nakon aplikacije implantata, došlo je do indukcije završnog sazrijevanja oocita (za razliku od 0% u kontrolnoj skupini), dok je kod čak 88% utvrđena prisutnost postovulatornih folikula, za razliku od samo 21% u kontrolnoj skupini. U tim eksperimentima sakupljena je i oplodena ikra iz eksperimentalnih kaveza (MYLONAS i sur., 2007.). Prikupljena oplodena ikra dalje je korištena u prvim pokusima uzgoja ličinki i mladunaca tune, koji su 60 dana poslije valjenja postigli duljinu od 8 cm. U Španjolskoj je 2009. godine pomoću implantata GnRHa induciran mrijest tune koji je trajao 17 dana (mrijest u više obroka) te je prikupljeno ukupno 140 milijuna komada oplodene ikre (BENETTI i sur., 2016.). Ikra je raspodijeljena mrijestilištima širom Sredozemnog mora koje su uzgojile manju količinu ličinki. Implantati GnRHa korišteni su i kako bi se produljila sezona mrijesta kod kavezno držanih tuna u Jadranskom moru. Nakon višekratne aplikacije implantata u razmacima od nekoliko tjedana, zabilježeno je više od 30 pojava intenzivnog mrijesta u sezoni, koja je trajala sve do kraja kolovoza. Dnevno je bilo prikupljeno prosječno 600.000 komada ikre s postotkom oplodnje od 95%, a nekoliko milijuna oplodene ikre transportirano je u SAD i Grčku gdje su u mrijestilištima uspješno uzgojene ličinke i mladunci (CINOTI i sur., 2017.; VAN BEIJNEN, 2017.).

### **2.5.3. Spontani mrijest u kavezu**

U nekim slučajevima, nakon godina aklimatizacije na uvjete u kavezu, neke jedinke spontano dovršavaju svoje reproduktivno sazrijevanje te mogu dati veliku količinu visokokvalitetne ikre bez upotrebe egzogenih hormona (GORDOA i sur., 2009.). Tako je godine 2011. u uzgajalištu smještenom u Jadranskom moru prikupljeno oko 20.000 komada ikre koja je zatim prenesena u recirkulacijske sustave izgrađene na kopnu. Procijenjena stopa uspješnosti oplodnje iznosila je oko 80%. U uzgojnom se procesu pratio morfološki razvoj, a iz uginulih ličinki izdvojena je DNA. Upotrebom kontrolne regije mitohondrijske DNA za identifikaciju vrste *Thunnus thynnus* nisu pronađena nikakva odudaranja. Time je dokazano da se zaista radi o ličinkama tune te je potvrđeno da je u kavezima došlo do spontanog mrijesta. Ujedno je ovo i prvi put da je identifikacija ličinki tune istodobno provedena dvjema metodama, morfološki i genetski (GRUBIŠIĆ i sur., 2013.). Međutim, u većini slučajeva spontani mrijest traje kratko (3-4 tjedna), ne pojavljuje se redovito, a

broj ikre koja se može prikupiti uglavnom je nedostatan jer se mrijesti samo mali udio ženskih jedinki (BENETTI i sur., 2016.).

#### **2.5.4. Uzgoj ličinki i mlađi**

Da bi se osigurala proizvodnja mlađi u količini potrebnoj za tržište, važno je imati stabilnu proizvodnju ikre visoke kvalitete. Štoviše, zbog niske stope preživljavanja ličinki tune potreban je razmjerno velik broj ikre da bi se omogućila tržišno zadovoljavajuća proizvodnja (BENETTI i sur., 2016.). U 2013. godini, u okviru TRANSDOTT projekta prikupljeno je 40 milijuna komada oplođene ikre od kojih se samo nekoliko tisuća uspjelo razviti u mlađ. Povećana stopa preživljavanja donekle bi umanjila potrebnu količinu ikre, ali određene urođene karakteristike ličinki i mladunaca tune, poput kanibalizma i visoke osjetljivosti na uzgojne uvjete, potvrđuju buduću ovisnost o velikim količinama oplođene ikre. Kontrolom okolišnih čimbenika koji reguliraju sazrijevanje ikre i mrijest, poput temperature, jačine svjetlosti i duljine dana, može se osigurati kontinuitet proizvodnje i adekvatna količina ikre. U kavezima na moru vrlo je teško kontrolirati te čimbenike, dok se uzgojem u recirkulacijskim sustavima na kopnu može postići veća kontrola. Osim toga, skupljanje ikre bilo bi olakšano kao i sprječavanje kontaminacije ikrom drugih vrsta riba. Unatoč brojnim prednostima takvoga uzgoja, većina mrijestilišta nikada se neće oslanjati samo na takvu tehnologiju zbog toga što izgradnja recirkulacijskih sustava zahtijeva znatna ulaganja. Također, tune nakon duljeg držanja u bazenu postanu slabije produktivne pa se uzgajivači radije odlučuju za držanje u velikim plutajućim kavezima, koji pružaju prirodnije okruženje. Preporuča se i kombinirani uzgoj, držanje jedne ili dvije skupine matica u bazenima, dok je ostatak u kavezu. Nakon što skupina u bazenu postane manje produktivna, svježe matice iz kaveza mogu ju zamijeniti, dok se ona revitalizira u kavezu. Mrijestilišta koja se oslanjaju isključivo na držanje matica u plutajućim kavezima moraju poduzeti niz mjera za poboljšanje proizvodnje i načina sakupljanja ikre, počevši od odabira lokacije kaveza, kako bi se zadovoljili uvjeti s obzirom na temperaturu, morske struje i vrijeme skupljanja. Preporuča se sterilizacija ikre odmah nakon prikupljanja radi suzbijanja patogenih mikroorganizama i parazita (VAN BEIJNEN, 2017.).

Inkubacija ikre obavlja se u malim cilindričnim inkubatorima s protokom, pri optimalnoj temperaturi od 22°C, uz najmanje 100% otopljenog kisika i pH 7,7. Veći gubici ličinki zabilježeni su pri slanosti od 30‰, a manji pri 40‰ (BRIDGES i SHARMAN, 2016.). Pri odgovarajućim

uvjetima ličinke se izvale unutar 24 do 36 sati od oplodnje. Čini se da je utjecaj temperature na duljinu inkubacije veći nego kod drugih vrsta tuna, pa tako valjenje pri temperaturi od 26°C nastupa za 23 sata, a pri 19,5°C za 49 sati (GORDOA i CARRERAS, 2014.).

Pokusi provedeni na ličinkama tune baziraju se na spoznajama prikupljenima pri istraživanju rasta i razvoja ličinki pacifičke tune. Visoka stopa smrtnosti ličinki pacifičke tune u prva četiri dana nakon izlijevanja vezana je uz poremećaje u punjenju ribljeg mjehura zrakom (BENETTI i sur, 2016.). U to vrijeme ličinke tune okupljaju se na površini kako bi progutale zrak i napuhale riblji mjehur. Čimbenici kao što su visoka površinska napetost, nakupljanje masnoće na površini vode ili prebrzo strujanje vode, mogu otežati punjenje ribljeg mjehura zrakom. Također, zbog velike površinske napetosti, ličinke prilikom uzimanja zraka mogu ostati zarobljene na dodirnoj površini vode i zraka što dovodi do njihovog ugibanja. Nemogućnost punjenja ribljeg mjehura onemogućava kontrolu plovnosti i održavanja položaja u vodenom stupcu. Taj se problem može umanjiti korištenjem uljnih emulzija koje smanjuju površinsku napetost ili ugradnjom filtracijskih uređaja kojima se uklanja nečistoća s površine (PAPANDROULAKIS i sur., 2010.).

Druga mogućnost za smanjenje površinske napetosti je upotreba tzv. *green water* tehnologija, kod kojih se u spremnicima za uzgoj ličinki istovremeno uzgajaju i određene vrste zelenih algi (fitoplankton). Tim načinom može se značajno poboljšati kvaliteta vode. Pritom alge služe i kao hrana za zooplankton (veslonošci i kolnjaci) kojim se ličinke hrane što rezultira poboljšanim rastom ličinki (DE LA GÁNDARA i sur., 2010.). Za smanjenje površinske napetosti koristi se i metoda pojačane aeracije, no ona može uzrokovati uginuće ličinki noću, dok se odmaraju. Eksperimentalno je dokazano da ličinke tune noću ne uzimaju hranu, a nagon za hranjenjem najjače je izražen u popodnevnim satima (BETANCOR i sur., 2019b.).

Između petog i desetog dana nakon valjenja nastupa druga kritična faza koja se očituje povećanom smrtnošću u vrijeme noćnog mirovanja ličinki (eng. *sinking death*). Uginuća se javljaju noću kad su zbog nedostatka svjetla ličinke manje aktivne pa tonu na dno jer im je specifična gustoća veća od gustoće morske vode. Isti problem može se javiti i kod ličinki koje nisu pravodobno napunile riblji mjehur zrakom. U prirodi se ovaj problem ne pojavljuje zahvaljujući dubini mora gdje se ličinke razvijaju. U uzgojnim bazenima, koji su znatno plići, kad ličinke potonu one udaraju u dno i pritom si oštećuju peraje i kostur. Nadalje, one dolaze u kontakt sa sedimentom koji sadrži velik broj bakterija što rezultira znatnom smrtnošću. Ovaj se problem može

riješiti povećanim prozračivanjem u noćnim satima i uporabom inkubatora s uzlaznim protokom (CAGGIANO i sur., 2009.).

Analiza želuca ličinki tune ulovljenih u prirodi upućuje da se one hrane ličinkama drugih riba (LAIZ-CARRIÓN, i sur., 2015.). U uvjetima umjetnog uzgoja, zbog nedostatka ličinki drugih riba, javlja se kanibalizam kod ličinki i mlađi tune (BRIDGES i SHARMAN, 2016.). Kod tunase taj problem, za razliku od ostalih vrsta riba, javlja već u vrlo ranoj fazi, oko 10 dana nakon izlijevanja, a koliko je ozbiljan govori podatak da se populacija u spremnicima smanji za 50% u samo nekoliko dana (VAN BEIJNEN, 2017.). Budući da ličinke tuna imaju visoku razinu hormona rasta, a samim time i odgovarajuću visoku stopu rasta, koja iznosi 30-50% dnevno, one trebaju konzumirati velike količine hrane bogate bjelančevinama (PARTRIDGE, 2013.). Jedno od rješenja kojim se može smanjiti kanibalizam je hranjenje veslonošcima (LLOPIZ i sur., 2015.), odnosno ličinkama drugih riba koje još imaju žumanjčanu vrećicu (tzv. stadij predličinke), primjerice predličinkama komarče (*Sparus aurata*). Nedostatak je potreba za stalnom opskrbom, odnosno uzgojem takvih ličinki. Pokušaji zamjene prirodne hrane peletiranom za sada nisu polučili zadovoljavajuće rezultate kao ni hranidba smrznutom ikrom komarče, smrznutim ličinkama hame, nauplijama i odraslim artemijama, mnogočetinašima (*Glycera* spp.) te živim ličinkama srdele (BRIDGES i SHARMAN, 2016.).

Nakon što su ličinke tune prošle metamorfozu, oko 30 dana nakon valjenja, glavni je uzrok smrtnosti zalijetanje u stijenke bazena. Takvi sudari često dovode do dislokacije kralježaka i frakture parasfenoidne kosti, što često rezultira trenutnim uginućem. Jedinke koje prežive imaju oštećenja na koži pa su podložne bakterijskim infekcijama od kojih ugibaju u kasnijoj fazi. Smatra se da uzrok udaranja u stijenke bazena leži u nepotpunom razvoju živčanog sustava i mrežnice, a može biti i posljedica ubrzanog i nekontroliranog plivanja uzrokovanog stresom (PARTRIDGE, 2013.). Smatra se da je nedostatak taurina jedan od mogućih razloga za nepotpuni razvoj mrežnice te da bi se taj problem mogao riješiti dodatkom taurina u hrani. U pokusima provedenima u okviru projekta REPRODOTT, SELFDOTT i TRANSDOTT, ličinke tune stare 2 do 14 dana hranjene su kolnjacima prethodno obogaćenima dokozahexaenskom kiselinom (DHA) i taurinom, što je poboljšalo sintezu opsina u mrežnici i sposobnost vida. Posljedično, zbog boljeg vida, ličinke su bile uspješnije u hvatanju žive hrane što je u konačnici povećalo stopu preživljavanja i ukupnu biomasu (BRIDGES i SHARMAN, 2016.; KOVEN i sur., 2018.), a sličan učinak ima i hranidba veslonošcima, koji sadrže visoke koncentracije taurina (VAN BEIJNEN, 2017.).

U kasnijoj fazi uzgoja mlađi, glavni razlog zalijetanja u stijenke bazena je stres. Stres uzrokuje paniku, iznenadno nekontrolirano plivanje i udaranje u stijenke. Nastanak stresa dovodi su u vezu s različitim čimbenicima, primjerice naglom promjenom intenziteta svjetla, bukom i prisutnošću grabežljivih ličinki drugih riba (MASUMA i sur., 2011.; HONRYO i sur., 2013.). Da bi se smanjio stres potrebno je stabilno okruženje. To podrazumijeva ugradnju sigurnosnog sustava napajanja koji će osigurati da ne dolazi do naglih prestanka rada rasvjete, ograničen pristup osoblja te bojenje stijenki bazena prugastim uzorkom ili točkicama kako bi ih ličinke i mladunci lakše uočili (MASUMA i sur., 2011.; PARTRIDGE, 2013.; BRIDGES i SHARMAN, 2016.).

Nakon uzgoja ličinki i mlađi, posljednji, ali ne manje važan korak u proizvodnji je transport i nasađivanje u uzgojne kaveze. Smrtnost prilikom prebacivanja mlađi i dalje ograničava proizvodnju u tržišnim količinama. U prvim pokušajima je smrtnost tijekom prvih mjesec dana od prebacivanja u kavez dosegala preko 80%, a i danas tijekom prvog tjedna gubici mogu iznositi do 40% (HONRYO i sur., 2013.; BENETTI i sur., 2016.). Jedan od glavnih razloga smrtnosti je novo i nepoznato okruženje zbog čega se tune namjerno ili slučajno zaletu u stijenku transportnog spremnika ili u mreže uzgojnih kaveza prilikom čega se teško ozlijede. Ostali uzroci koji dovode do stresa su dugo vrijeme transporta, prisutnost grabežljivih riba, ptica i morskih sisavaca u blizini kaveza, kao i vožnja motornim plovilima u blizini kaveza. Da bi se smanjio mortalitet, potrebno je unaprijed napraviti plan, odrediti najpovoljniju lokaciju uzgajališta na kopnu i u moru, transportne spremnike za tunu obložiti plastikom ili pjenom i pružiti im odgovarajuću rasvjetu. Podaci iz mrijestilišta uključenih u projekt smještenih na Malti, u Izraelu, Španjolskoj i Turskoj govore da je mlađ najbolje prebaciti u kaveze odmah čim se navikne na suhu peletiranu hranu. Mlađ tune koja je uspješno nasađena u kavez u Španjolskoj postigla je masu od 2,5 kg u roku od 160 dana nakon valjenja (BRIDGES i SHARMAN, 2016.; VAN BEIJNEN, 2017.).

## **2.6. Dostignuća u razvoju peletirane hrane**

Tuna se u današnjem sustavu uzgoja većinom hrani izlovljenom svježom ribom. Omjer konverzije hrane prilikom hranjenja svježom ribom iznosi otprilike 15-20 kg ribe za kilogram prirasta tune. Nedostaci takvog načina hranidbe su i potreba za izlovom i uvozom sitne plave ribe, transportiranje i skladištenje, zagađivanje mora u kavezima i oko njih, te mogućnost prijenosa bolesti. S druge strane, peletirana hrana ima mnoge prednosti koje bi rezultirale učinkovitijom i ekonomičnijom proizvodnjom. Za razliku od svježe ribe, održiva je te se njenim sastojcima može upravljati i



obogatiti potrebnim hranjivim tvarima rezultirajući poboljšanjem omjera konverzije. Osim toga, upotreba peletirane hrane smanjila bi prekomjerni izlov drugih vrsta riba, te olakšala manipulaciju prilikom transporta, skladištenja i hranjenja. Nekoliko europskih tvrtki radi na razvoju takve održive hrane, uključujući Skretting ARC, Norveška i TunaTech GmbH, Njemačka. Iako su ove tvrtke u posljednjih nekoliko godina postigle značajan napredak, njihovi proizvodi još nisu dostupni za tržištu ili nisu u širokoj uporabi (VAN BEIJNEN, 2017.). Norveška tvrtka Skretting ARC u travnju 2019. godine objavila je da je uspješno proizvela odgovarajuću peletiranu hranu koju tune rado uzimaju, a vrijeme će pokazati koliko je takva hrana učinkovita i financijski isplativa (ANON, 2019f.).

### 3. RASPRAVA

Današnji uzgoj tune (*Thunnus thynnus*) zasniva se na izlovu divljih jedinki iz prirodnih populacija te daljnjem tovu u uzgojnim mrežnim kavezima. Budući da Jadransko more predstavlja prirodno hranilište mladim jedinkama tune, Hrvatskoj je dozvoljen izlov mlađi tune tjelesne mase iznad 8 kg, dok druge države smiju loviti tune minimalne težine 30 kg. U Hrvatskoj, uzgojni proces traje do dvije godine za razliku od ostalih država gdje se tune tove u prosjeku šest do sedam mjeseci (BENETTI i sur., 2016.). Tuna se uzgaja u stacionarnim plutajućim kavezima promjera 50-60 m i dubine 25 m na unaprijed određenim koncesijskim površinama, a hrani se svježom ili smrznutom plavom ribom. Podaci ICCAT-a ukazivali su da je u 2007. godini izlovljeno više od 80% biomase istočne populacije tune (TAYLOR i sur., 2011.). Kao rezultat toga, uvedene su izlovne kvote za tunu, kojih se moraju pridržavati sve zemlje članice. Kvote se određuju detaljnim istraživanjem, praćenjem podataka o izlovu, proučavanjem modela mrijesta, uzgoja i migracije tune. Uredbama Vijeća Europske unije (EU) o utvrđivanju ribolovnih mogućnosti za 2018. i 2019. godinu, a na osnovi preporuke ICCAT-a i unatoč protivljenju Svjetske organizacije za zaštitu prirode (WWF), državama članicama povećane su kvote za izlov tune (ANON, 2017b.). I u 2019. godini ukupna izlovna kvota za tunu je povećana za 4040 t odnosu na 2018. godinu, što se u Hrvatskoj odrazilo kao porast od 82,95 t, a ICCAT kvote i dalje namjerava povećavati. Navedeno se opravdava podacima koji ukazuju na oporavak prirodnog stoka tune, iako WWF smatra da je još prerano za donositi takav zaključak te da do daljnjega ne treba povećavati izlovne kvote. U slučaju smanjenja stoka tune i izlovnih kvota, uzgoj tune bio bi doveden u pitanje, a time i opstanak značajne gospodarske grane Hrvatske. Tuna uzgojena na području Hrvatske vrlo je cijenjena te gotovo sva završi na japanskom tržištu. Prema podacima Državnog zavoda za statistiku, u 2017. godini prodano je 2.207 t tune. Prosječna cijena po kilogramu iznosila je 79,48 kn što je rezultiralo zaradom od 174.937.000 kn. Koliko je značajan uzgoj tune govore podaci iz 2018. godine kada su te brojke još porasle. Prodano je 3.278 t s cijenom od 84,69 kn po kg što je donijelo profit od 277.599.000 kn (ANON, 2019d.). Osim izravnih prihoda od prodaje tune, značajni su i neizravni od izlova i prodaje srdele i druge plave ribe za tov. Tržište tuna može očekivati stalno rastuću vrijednost što se najbolje može vidjeti na japanskom tržištu gdje, prema podacima s japanske burze Chou Gyorui Co., Ltd., kilogram tune uzgojene u Japanskom moru stoji vrtoglavih 627,34 kn po kg (ANON, 2019e.). Umjetnim bi se mrijestom pružila prilika za održivi uzgoj koji nije ograničen

kvotama. Opsežna istraživanja fiziologije reprodukcije tune, uključujući razumijevanje procesa razvoja testisa i ovarija, utjecaja spolnih hormona na spolno sazrijevanje te okolišnih uvjeta koji potiču tune na mrijest, dala su odgovore i pružila mogućnost provedbe indukcije mrijesta. Kao rezultat toga, primjenom egzogenih gonadotropin-oslobađajućih hormona uspješno je induciran mrijest tune u uzgojnim kavezima i prikupljene su velike količine oplođene ikre (BENETTI i sur., 2016.; BRIDGES i SHARMAN, 2016.). Navedeno je postignuto u okviru nekoliko velikih projekata financiranih sredstvima Europske Unije. Unatoč značajnim uspjesima, nakon prestanka financiranja preostale privatne tvrtke teško mogu same financijski, tehnološki i kadrovski osigurati dovoljan broj oplođene ikre i mlađi za daljni razvoj tehnologije.

Za daljnje unapređenje tehnologije potrebno je uzgoj preseliti u recirkulacijske sustave na kopnu gdje bi se ličinke uzgajale u mrijestilištima pod kontroliranim i optimalnim okolišnim uvjetima. S obzirom da matice držane u bazenima s recirkulacijskim sustavom s vremenom postaju manje produktivne, idealno rješenje je kombinirani uzgoj, to jest držanje jedne skupine u bazenu, a druge u kavezu dok se ne oporave (VAN BEIJNEN, 2017.). Rezultati SELFDOTT projekta ukazuju da se dodatkom do 50% lignje u hranu matica tune može ubrzati razvoj gonada i sazrijevanje oocita odnosno smanjiti pojavu atrezije vitelogenih oocita (BRIDGES i SHARMAN, 2016.).

Sadašnja tehnologija podrazumijeva skupljanje oplođene ikre nakon što se tune izmrijeste u kavezu, bilo prirodno ili nakon indukcije mrijesta. Ikra se skuplja rano ujutro povlačnim planktonskim mrežama, a na uspjeh značajno utječe brzina morske struje u vrijeme njihovog prikupljanja. Velik problem u uzgoju ličinki predstavlja kontaminacija ikre tune ikrama drugih vrsta riba, primjerice palamide (*Sarda sarda*) i trupa (*Auxis rochei*). Ličinke tih vrsta riba rastu brže od ličinki tune pa se počnu njima hraniti. Takve gubitke može se smanjiti sortiranjem prikupljene ikre na osnovi morfoloških obilježja ili uklanjanjem ličinki neželjenih vrsta nakon izlijeganja (BRIDGES i SHARMAN, 2016.), no budućnost leži u poboljšanju kolektora koje će omogućiti prikupljanje čiste ikre sa što manje primjesa ili držanju matica u bazenu za vrijeme istiskivanja ikre i mliječi.

Velika smrtnost ličinki i mlađi glavni je problem zbog kojeg takav način uzgoja još uvijek nije u potpunosti tržišno održiv. Smrtnosti povezane s nemogućnošću punjenja ribljeg mjehura zrakom i tonjenjem ličinki mogu se smanjiti kombinirajući tehnike kojima se smanjuje površinska napetost ili poboljšavaju parametri kakvoće vode, poput upotrebe uljnih emulzija,

tzv. *green water* tehnologijom, aeracijom, pravilnim osvjetljenjem i uporabom inkubatora s uzlaznim protokom vode (CAGGIANO i sur., 2009.).

Veliki problem u uzgoju ličinki predstavlja kanibalizam. On se može smanjiti hranidbom koja sadrži predličinke drugih riba, veslonošce ili taurinom obogaćene kolnjake. Dosadašnja istraživanja govore da između 15 i 30 dana poslije valjenja hranidba suhom, peletiranom hranom (Skretting Tuna Starter, SKRETTING ARC, Norveška, granulacija 300-500 µm) nije dovoljna za odvikavanje ličinki od žive hrane. Razlog može biti nedostatna nutritivna vrijednost, izostanak poticanja hranidbenog refleksa u usporedbi sa živom hranom ili neodgovarajućih uvjeta za uzgoj ličinki (BRIDGES i SHARMAN, 2016.). U tom stadiju života ličinki tune za sada je zadovoljavajući uspjeh polučila jedino hranidba predličinkama komarče. Opskrba dovoljnom količinom takve hrane ograničavajući je čimbenik i predstavlja velik financijski izdatak jer je za 1000 ličinki tune potrebno dnevno osigurati oko 500.000 predličinki komarče. YÚFERA i sur. (2014.) istraživali su razvoj probavnog sustava u tune te su analizom sadržaja želuca utvrdili da ličinke u dobi od 16 dana uzimaju suhu peletiranu hranu, ali da bi uspješno rasle i prošle kritičnu fazu ipak je nužna dodatna hranidba predličinkama. Ipak, ovi su rezultati ohrabrujući, jer govore da se ličinke mogu naviknuti na peletiranu hranu, što potvrđuju novija istraživanja. Prema BETANCOR i sur. (2019a.), ličinke se u dobi od 27 dana poslije valjenja mogu početi odvikavati od hranidbe predličinkama komarče i početi hraniti komercijalnom peletiranom hranom granulacije 0,6 do 0,9 mm (Magokoro®, MGK, Marubeni Nisshin Feed Co., Japan), namijenjenoj hranidbi pacifičke plavoperajne tune. Potpuni prelazak na gotovu hranu ostvaren je u starosti od 32 dana poslije valjenja. Pojava kanibalizma može se smanjiti i redovitim i pažljivim sortiranjem, podešavanjem intenziteta rasvjete i odgovarajućom gustoćom nasada (BRIDGES i SHARMAN, 2016.; VAN BEIJNEN, 2017.).

Uzrok zalijetanja mlađi tune u stijenke bazena ili mrežu uzgojnog kaveza nije u potpunosti razjašnjen. Smatra se da je povezan s nepotpunim razvojem živčanog sustava i mrežnice te stresom zbog naglih promjena intenziteta svjetla i zvuka. Da bi se smanjio stres potrebno je stabilno okruženje što podrazumijeva ugradnju sustava koji će osigurati da ne dolazi do nestanka električne energije, a potrebno je i obojiti stijenke bazena tako da bi ih ličinke i mlađ mogli lakše uočiti. Osiguravanje noćnog svjetla u mrijestilištima može značajno smanjiti gubitke uzrokovane zalijetanjem ličinki i mlađi u stijenke bazena (PARTRIDGE, 2013.), dok bojenje stijenki

prugastim ili točkastim uzorkom i oblaganje plastičnom folijom ili gustom mrežom može smanjiti zalijetanje tijekom dana i noći (BRIDGES i SHARMAN, 2016.).

Nadalje, radi smanjenja gubitaka koji nastaju prije i nakon prebacivanja u uzgojne kaveze u moru, potrebno je osigurati optimalne uvjete prilikom transporta i nakon nasađivanja mladi. Radi smanjenja gubitaka, preporučuje se mlađ uzgajati u bazenima do veće težine i tek je onda nasađivati u kaveze (VAN BEIJNEN, 2017.), dok prema drugim iskustvima mlađ treba nasaditi čim se navikne na peletiranu hranu.

Kompletan uzgojni ciklus tune uspješno je zaokružen u istraživanjima provedenima u okviru projekta SELFDOTT. Pokus je počeo u Mazarronu u Španjolskoj 2011. godine gdje je prikupljena ikra nakon spontanog mrijesta tune u kavezu. Ličinke su dalje uzgajane u mrijestilištu u bazenima volumena 40 m<sup>3</sup> koristeći tzv. tehniku pseudozelene vode (eng. *pseudogreen water*), uz prosječnu stopu preživljavanja od 0,46% do 40. dana poslije valjenja. Nakon hranidbe živom hranom (kolnjaci, obogaćena artemija, predličinke komarče) ličinke su postupno privikavane na umjetnu hranu i/ili mljevenu sirovu ribu te je mlađ pri tjelesnoj masi od 3-5 g (36 do 40 dana nakon valjenja) nasađena u kaveze. Kod uzgoja mladi do veće tjelesne mase povećani su gubici zbog udaranja u stijenke bazena i za vrijeme transporta do uzgojnih kaveza. Nakon nasađivanja mlađ je hranjena mljevenom odmrznutom ribom do sitosti. U početku je hrana davana osam puta dnevno, a s porastom mladi broj obroka je smanjivan. Mlađ je zimi slabo uzimala hranu pa je hranjena jedanput dnevno. Ukupni mortalitet mladi od nasađivanja do postizanja tjelesne mase od pola kilograma iznosio je 60 do 90%, da bi se nakon petog mjeseca uzgoja smanjio na manje od 2% mjesečno. Pokusi s uzgojem ličinki i odgojem mladi ponovljeni su idućih godina, uz smanjen mortalitet ličinki zahvaljujući dodatku obogaćenih kolnjaka i veslonožaca u hranu, a mlađ je nasađena u kaveze i dalje uzgajana na isti način kao i prethodna. Nakon dvije do četiri godine uzgoja, mlađ (2+ do 4+) je dosegla masu od 12 do 60 kg te je prebačena u uzgojne kaveze smještene u jugoistočnoj Španjolskoj. Sredinom lipnja iduće godine kavez je obložen platnom od PVC-a, a u srpnju je prikupljeno 60.000 komada ikre koja je otpremljena u mrijestilište na daljnju inkubaciju. Postotak oplodnje iznosio je 70%, uz promjer ikre od 1,08 mm. Valivost je iznosila 85%, a prosječna standardna duljina ličinki nakon valjenja bila je 2,75 mm. Tako je prvi put u povijesti zaokružen uzgojni ciklus atlantske tune u zatočeništvu (ORTEGA i DE LA GÁNDARA, 2017.).

Daljnja istraživanja bit će vjerojatno usmjerena u dva pravca: na proizvodnju mladunaca tjelesne mase 2-5 g i starosti 35 dana za daljnji uzgoj mlađi ili na proizvodnju veće mlađi mase 1,5 kg koja bi dosegla konzumnu veličinu za 130 dana uzgoja i mogla bi zamijeniti sadašnji način opskrbe živom ribom iz izlova.

Zaokružen proizvodni ciklus uzgoja tune zahtijeva znatno veća ulaganja, a samim time i veću tržišnu cijenu krajnjeg proizvoda. Uz umjetni mrijest, drugo područje na kojem se provode istraživanja je razvoj peletirane hrane što je temelj za održivost takvog načina uzgoja i zamjena dosadašnjeg načina hranjenja sitnom plavom ribom. Prednosti hranjenja peletiranom hranom su poboljšavanje omjera konverzije i lakše manipuliranje njenim nutritivnim vrijednostima, transportom i skladištenjem kao i smanjenje rizika od unosa bolesti. Iako postoje različiti proizvođači peletirane hrane, zbog velike izbirljivosti tuna prilikom hranjenja potrebna su daljnja usavršavanja i istraživanja da bi takav način hranjenja potpuno zaživio.

## 4. ZAKLJUČCI

Na temelju pregleda literature i analize rezultata dosadašnjih istraživanja može se zaključiti:

- Životni ciklus tune (*Thunnus thynnus*) u uzgoju uspješno je zaokružen, no tehnologija još uvijek nije dovoljno razvijena da bi mogla osigurati potrebnu količinu mlađi za tržište.
- Razvijen je sustav za primjenu implantata s kontroliranim otpuštanjem agonista gonadotropin-oslobađajućeg hormona kojim se može inducirati spolno sazrijevanje i mrijest tune.
- Najveći problem u uzgoju mlađi za nasad predstavlja visoka smrtnost ličinki tune.
- Uporabom žive hrane odgovarajuće hranidbene vrijednosti može se smanjiti učestalost kanibalizma, povećati brzina rasta i stopa preživljavanja ličinki.
- Uporabom odgovarajućih tehnika kojima se smanjuje površinska napetost ili poboljšavaju parametri kakvoće vode mogu se smanjiti gubici vezani uz poremećaje u punjenju ribljeg mjehura zrakom.
- Osiguravanjem stabilnog okruženja u uzgojnim bazenima, za vrijeme transporta i nakon nasađivanja u uzgojne kaveze smanjuje se smrtnost uzrokovana stresom.
- S obzirom da umjetni mrijest zahtijeva znatno veća financijska sredstva od uzgoja zasnovanog na izlovu, čija kvota, zbog obnavljanja divljih populacija, raste iz godine u godinu, uzgajališta nemaju potrebe za daljnja financijska ulaganja u umjetni mrijest.

## 5. LITERATURA

ANON (2017a): Pravilnik o ulovu, uzgoju i prometu plavoperajne tune (*Thunnus thynnus*). Narodne novine 4/2017.

ANON (2017b): Unacceptable rise in catch quota for bluefin tuna! WWF protests <http://www.wwf.eu/?uNewsID=317090> Pristupljeno 14. rujna 2019.

ANON (2018a): COUNCIL REGULATION (EU) 2018/120 of 23 January 2018 fixing for 2018 the fishing opportunities for certain fish stocks and groups of fish stocks, applicable in Union waters and, for Union fishing vessels, in certain non-Union waters, and amending Regulation (EU) 2017/127.

ANON (2018b): Pravilnik o kriterijima za utvrđivanje područja za akvakulturu na pomorskom dobru. Narodne novine 106/2018.

ANON (2019a): COUNCIL REGULATION (EU) 2019/124 of 30 January 2019 fixing for 2019 the fishing opportunities for certain fish stocks and groups of fish stocks, applicable in Union waters and, for Union fishing vessels, in certain non-Union waters.

ANON (2019b): Pravilnik o ribolovnim mogućnostima i raspodjeli državne kvote u 2019. godini za ribolov plavoperajne tune (*Thunnus thynnus*). Narodne novine 13/2019.

ANON (2019c): Pravilnik o ribolovu plavoperajne tune (*Thunnus thynnus*) plivaricom tunolovkom, njenom uzgoju te uvjetima i kriterijima za ostvarivanje prava na dodjelu individualne plivaričarske kvote. Narodne novine 46/2019.

ANON (2019d): Statistički izvještaji za godine 2010.-2018: Morsko ribarstvo. Državni Zavod za statistiku. <https://www.dzs.hr/>. Pristupljeno 14. rujna 2019.

ANON (2019e): Market prices – tuna. CHUO GYORUI CO., LTD. <http://www.marunaka-net.co.jp/en/market/maguro/>. Pristupljeno 14. rujna 2019.

ANON (2019f): 20 years in the making: Skretting launches breakthrough tuna diet. SKRETTING ARC. <https://www.skretting.com/en/settings/news/general-news/20-years-in-the-making-skretting-launches-breakthrough-tuna-diet/>. Pristupljeno 9. rujna 2019.



- ARANDA, G., L. ARAGÓN, A. CORRIERO, C. C. MYLONAS, F. DE LA GÁNDARA, A. BELMONTE, A. MEDINA (2011): GnRH $\alpha$ -induced spawning in cage-reared Atlantic bluefin tuna: an evaluation using stereological quantification of ovarian postovulatory follicles. *Aquaculture* 317, 255–259.
- ARANDA, G., A. MEDINA, A. SANTOS, F. J. ABASCAL, T. GALAZ (2013): Evaluation of Atlantic bluefin tuna reproductive potential in the western Mediterranean Sea. *J. Sea Res.* 76, 154-160.
- BELMONTE, A., A. ORTEGA., F. DE LA GÁNDARA (2007): Cultivo de túnidos. Actas del XI Congreso Nacional de Acuicultura, 24-28 de Septiembre, Vigo, España.
- BENETTI, D. D., G. J. PARTRIDGE, A. BUENTELLO (2016): *Advances in tuna aquaculture: from hatchery to market.* Elsevier, Amsterdam.
- BETANCOR, M. B., A. ORTEGA, F. DE LA GÁNDARA, D. R. TOCHER, G. MOURENTE (2019a): Performance, feed utilization, and hepatic metabolic response of weaned juvenile Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*): effects of dietary lipid level and source. *Fish Physiol. Biochem.* 45, 697–718.
- BETANCOR, M. B., A. ORTEGA, F. DE LA GÁNDARA, J. L. VARELA, D. R. TOCHER, G. MOURENTE (2019b): Evaluation of different feeding protocols for larvae of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Aquaculture* 505, 523-538.
- BLOCK, B. A., H. DEWAR, S. B. BLACKWELL, T. D. WILLIAMS, E. D. PRINCE, C. J. FARWELL, A. BOUSTANY, S. L. H. TEO, A. SEITZ, A. WALLI, D. FUDGE (2001): Migratory Movements, Depth Preferences, and Thermal Biology of Atlantic Bluefin Tuna. *Science* 293, 1310-1314.
- BLOCK, B. A., S. L. H. TEO, A. WALLI, A. BOUSTANY, M. J. W. STOKESBURY, C. J. FARWELL, K. C. WENG, H. DEWAR, T. D. WILLIAMS (2005): Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. *Nature* 434, 1121–1127.

BRIDGES, C., A. SHARMAN (2016): Translation of domestication of *Thunnus thynnus* into an innovative commercial application. Bluefin Future: The status and Future of Bluefin Tunas in our Global Oceans. 18-20 January, Monterey Bay, USA.

BUENTELLO, A., C. POHLENZ, W. NEILL, D. GATLIN III, F. ASCENCIO (2008): Physiological indicators for tuna cultured in sea cages: a preliminary approach to prevention of the burnt flesh syndrome. Proceedings of the WAS. 19-23 May, Busan, South Korea.

CAGGIANO, M., M. CAMPANA, M. MOSCATO, A. CORREIRO, M. DEFLORIO, G. GRILLI, A. INTINI, M. A. VALENZA, G. DE METRIO (2009): Recent developments in larval and juvenile rearing of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). U: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Global COE Program Symposium of Kinki University. "Sustainable aquaculture of the bluefin and yellowfin tuna – closing the life cycle for commercial production". 30 November-2 December, Osaka, Japan. pp. 25-30.

CINOTI, N., V. KATAČIĆ, J. GOMEZJURADO, Y. ZOHAR (2017): Overview of Atlantic bluefin tuna *Thunnus thynnus* spawning programme in Kali tuna group. Aquaculture Europe. 17-20 October, Dubrovnik, Croatia.

COLLETTE, B. B. (1999): Mackerels, molecules, and morphology. Proc. 5th Indo-Pacific Fish Conference. 3-8 November, Nouméa, New Caledonia. pp. 149-164.

COLLETTE, B. B., C. REEB, B. A. BLOCK (2001): Systematics of the tunas and mackerels (Scombridae). U: Tuna: Physiology, Ecology, and Evolution. (Block B. A., E. D. Stevens, Ur.). Academic Press, San Diego. 1-33.

CORRIERO, A., S. DESANTIS, M. DEFLORIO, F. ACONE, C. R. BRIDGES, J. M. DE LA SERNA, P. MEGALOFONOU, G. DE METRIO (2003): Histological investigation on the ovarian cycle of the bluefin tuna in the western and central Mediterranean. J. Fish Biol. 63, 108-119.

CORRIERO, A., S. KARAKULAK, N. SANTAMARIA, M. DEFLORIO, D. SPEDICATO, P. ADDIS, S. DESANTIS, F. CIRILLO, A. FENECH-FARRUGIA, R. VASSALLO-AGIUS, J. MDE LA SERNA, Y. ORAY, A. CAU, P. MEGALOFONOU, G. DE METRIO (2005): Size and

age at sexual maturity of female bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from the Mediterranean Sea. J. Appl. Ichthyol 21, 483-486.

CORRIERO, A., A. MEDINA, C. C. MYLONAS, F. J. ABASCAL, M. DEFLORIO, L. ARAGÓN, C. R. BRIDGES, N. SANTAMARIA, G. HEINISCH, R. VASSALLO-AGIUS, A. BELMONTE, C. FAUVEL, A. GARCIA, H. GORDIN, G. DE METRIO (2007): Histological study of the effects of treatment with gonadotropin-releasing hormone agonist (GnRH<sub>a</sub>) on the reproductive maturation of captive-reared Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Aquaculture 272, 675–686.

CORRIERO, A., A. MEDINA, C. C. MYLONAS, C. R. BRIDGES, N. SANTAMARIA, M. DEFLORIO, M. LOSURDO, R. ZUPA, H. GORDIN, F. DE LA GÁNDARA, A. BELMONTE RÌOS, C. POUSIS, G. DE METRIO (2009): Proliferation and apoptosis of male germ cells in captive Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) treated with gonadotropin-releasing hormone agonist (GnRH<sub>a</sub>). Anim. Reprod. Sci. 116, 346–357.

CORRIERO, A., R. ZUPA, G. BELLO, C. C. MYLONAS, M. DEFLORIO, S. GENOVESE, G. BASILONE, G. BUSCAINO, G. BUFFA, C. POUSIS, G. DE METRIO, N. SANTAMARIA (2011): Evidence that severe acute stress and starvation induce rapid atresia of ovarian vitellogenic follicles in Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) (Osteichthyes: Scombridae). J. Fish Dis. 34, 853-860.

CORT, J. L. (1991): Age and growth of the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) of the northeast Atlantic. ICCAT Col. Vol. Sci. Pap. 35, 213-230.

DE LA GÁNDARA, F., C. C. MYLONAS, D. COVES, A. ORTEGA, C. BRIDGES, A. BELMONTE, R. VASSALLO-AGIUS, N. PAPANDROULAKIS, H. ROSENFELD, A. TANDLER, A. MEDINA, G. DE METRIO, A. CORRIERO, C. FAUVEL, J. FALCON, K. SVEINSVOLL, A. GHYSEN, S. DEGUARA, H. GORDIN (2010): Seedling production of Atlantic bluefin tuna (ABFT) *Thunnus thynnus*. THE SELFDOTT PROJECT. Joint International symposium of Kinki University and Setouchi town on the 40th anniversary of Pacific bluefin tuna aquaculture, Towards the sustainable aquaculture of bluefin tuna. 15-16 October, Amami, Japan. pp. 45-52.

- FROMENTIN, J., J. POWERS (2005): Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish. Fish.* 6, 281-306.
- GORDOA, A., M. P. OLIVAR, R. AREVALO, J. VIÑAS, B. MOLI, X. ILLAS (2009): Determination of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) spawning time within a transport cage in the western Mediterranean. *ICES J. Mar. Sci.* 66, 2205-2210.
- GORDOA, A., G. CARRERAS (2014): Determination of Temporal Spawning Patterns and Hatching Time in Response to Temperature of Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*) in the Western Mediterranean. *PLoS One* 9, e90691.
- GRUBIŠIĆ, L., T. ŠEGVIĆ-BUBIĆ, I. LEPEN PLEIĆ, K. MIŠLOV-JELAVIĆ, V. TIČINA, I. KATAVIĆ, I. MLADINEO (2013): Morphological and Genetic Identification of Spontaneously Spawned Larvae of Captive Bluefin Tuna in the Adriatic Sea. *Fisheries* 38, 410-417.
- HEINISCH, G., A. CORRIERO, A. MEDINA, F. J. ABASCAL, J. DE LA SERNA, R. VASSALLO-AGIUS, A. BELMONTE RÍOS, A. GARCÍA, F. DE LA GÁNDARA, C. FAUVEL, C. R. BRIDGES, C. C. MYLONAS, S. F. KARAKULAK, I. ORAY, G. DE METRIO, H. ROSENFELD, H. GORDIN (2008): Spatial-temporal pattern of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) gonad maturation across the Mediterranean Sea. *Mar. Biol.* 154, 623-630.
- HEINISCH, G., H. ROSENFELD, J. M. KNAPP, H. GORDIN, M. E. LUTCAVAGE (2014): Sexual maturity in western Atlantic bluefin tuna. *Sci. Rep.* 4, 7205.
- HONRYO, T., M. KURATA, T. OKADA, Y. ISHIBASHI (2013): Effects of night-time light intensity on the survival rate and stress responses in juvenile Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) (Temminck and Schlegel). *Aquac. Res.* 44, 1058-1065.
- KARAKULAK, S., I. ORAY, A. CORRIERO, M. DEFJORIO, N. SANTAMARIA, S. DESANTIS, G. DE METRIO (2004): Evidence of a spawning area for the bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the eastern Mediterranean. *J. Appl. Ichthyol.* 20, 318-320.
- KATAVIĆ, I., V. TIČINA, V. FRANIČEVIĆ (2003): Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) farming on the Croatian coast of the Adriatic Sea: Present stage and future plans. *Cah. Options Méditerran.* 60, 101-106.

KITAGAWA, T., S. KIMURA (2016): Biology and ecology of bluefin tuna. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton.

KOVEN, W., O. NIXON, G. ALLON, A. GAONA, S. EL SADIN, J. FALCON, L. BESSEAU, M. ESCANDE, R. VASSALLO-AGIUS, H. GORDIN, A. TANDLER (2018): The effect of dietary DHA and taurine on rotifer capture success, growth, survival and vision in the larvae of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Aquaculture* 482, 137-145.

LAIZ-CARRIÓN, R., T. GERARD, A. URIARTE, E. MALCA, J. M. QUINTANILLA, B. MUHLING, F. ALEMANY, S. PRIVOZNIK, A. SHIROZA, J. LAMKIN, A. GARCÍA (2015): Trophic ecology of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) larvae from the Gulf of Mexico and NW Mediterranean spawning grounds: a comparative stable isotope study. *PLoS One* 10, e0138638.

LIVI, S., T. ROMEO, S. DE INNOCENTIS, C. GRECO, P. BATTAGLIA, G. MARINO, F. ANDALORO (2019): The genetic population structure of *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) in the Mediterranean Sea, a controversial issue. *J. Appl. Ichthyol.* 35, 436-443.

LLOPIZ, J. K., B. A. MUHLING, J. T. LAMKIN (2015): Feeding Dynamics of Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus Thynnus*) larvae in the Gulf of Mexico. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 71, 1710-1715.

MASUMA, S., T. TAKEBE, Y. SAKAKURA (2011): A review of the broodstock management and larviculture of the Pacific northern bluefin tuna in Japan. *Aquaculture* 315, 2-8.

MAYER, L. (2019): Tuna farming in US waters moves closer to reality <https://www.aquaculturenorthamerica.com/tuna-farming-in-us-waters-moves-closer-to-reality-2283/> Pristupljeno 1. rujna 2019.

MEDINA, A., F. J. ABASCAL, C. MEGINA, A. GARCÍA (2002): Stereological assessment of the reproductive status of female Atlantic northern bluefin tuna during migration to Mediterranean spawning grounds through the Strait of Gibraltar. *J. Fish Biol.* 60, 203-217.

MEDINA, A., F. J. ABASCAL, L. ARAGÓN, G. MOURENTE, G. ARANDA, T. GALAZ, A. BELMONTE, J. M. DE LA SERNA, S. GARCÍA (2007): Influence of sampling gear in

assessment of reproductive parameters for bluefin tuna in the western Mediterranean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 337, 221-230.

MILATOU, N., P. MEGALOFONOOU (2014): Age structure and growth of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the capture-based aquaculture in the Mediterranean Sea. Aquaculture 424-425, 35-44.

MIŠLOV, K. (2019): ICCAT – Međunarodna komisija za očuvanje atlantskih tuna.

<http://www.fishfromcroatia.com/hr/iccat----medunarodna-komisija-za-ocuvanje-atlantskih-tuna>

Pristupljeno 1. rujna 2019.

MUHLING, B. A., J. T. LAMKIN, F. ALEMANY, A. GARCÍA, J. FARLEY, G. WALTER INGRAM JR., D. ALVAREZ BERAESTEGUI, P. REGLERO, R. LAIZ-CARRIÓN (2017): Reproduction and larval biology in tunas, and the importance of restricted area spawning grounds. Rev. Fish Biol. Fisher. 27, 697-732.

MIYASHITA, S., Y. SAWADA, T. OKADA, O. MURATA, H. KUMAI (2001): Morphological development and growth of laboratory-reared larval and juvenile *Thunnus thynnus* (Pisces: Scombridae). Fish. Bull. 99, 601-616.

MYLONAS, C. C., C. BRIDGES, H. GORDIN, A. B. RÍOS, A. GARCÍA, F. DE LA GÁNDARA, C. FAUVEL, M. SUQUET, A. MEDINA, M. PAPADAKI, G. HEINSCH, G. DE METRIO, A. CORRIERO, R. VASSALLO-AGIUS, J.-M. GUZMÁN, E. MAÑANOS, Y. ZOHAR (2007): Preparation and administration of gonadotropin-releasing hormone agonist (GnRH<sub>a</sub>) implants for the artificial control of reproductive maturation in captive-reared Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Rev. Fish. Sci. 15, 183-210.

MYLONAS, C. C., F. DE LA GÁNDARA, A. CORRIERO, A. BELMONTE (2010a): Atlantic bluefin tuna (*Thunnus Thynnus*) farming and fattening in the Mediterranean Sea. Rev. Fish. Sci. 18, 266-280.

MYLONAS, C. C., A. FOSTIER, S. ZANUY (2010b): Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. Gen. Comp. Endocrinol. 165, 516-534.

ORAY, I. K., F. S. KARAKULAK (2003): Possibilities for the domestication of Bluefin tuna in the Eastern Mediterranean Sea. Cah. Options Mediterr. 60, 157-158.

ORTEGA, A., F. DE LA GÁNDARA (2017): Closing the life cycle of the atlantic bluefin tuna *Thunnus thynnus* in captivity. Aquaculture Europe 17. 17-20 October, Dubrovnik, Croatia.

ORTEGA, A., J. VIGURI, J. R. PRIETO, A. BELMONTE, D. MARTÍNEZ, M. VELÁZQUEZ, F. DE LA GÁNDARA, M. SEOKA (2014): First results on ongrowing of hatchery reared Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) kept in sea cages. Aquaculture Europe 14. 15-17 October, Donostia, San Sebastián, Spain. pp. 931-932.

OTTOLENGHI, F. (2008): Capture-based aquaculture of bluefin tuna. U: Capture-Based Aquaculture. (Lovatelli, A., P. F. Holthius, Ur.) Global Overview. FAO Fish. Technical Pap. Rome. 169-182.

PAPANDROULAKIS, N., A. ORTEGA, D. COVÈS, R. VASSALLO-AGIUS, A. TANDLER, S. STEFANAKIS, J. VIGURI, M. O. VIDAL, I. PAPADAKIS, F. DE LA GÁNDARA, F. RUELLE, P. ANASTASIADIS, C. C. MYLONAS, P. DIVANACH (2010): First results of the Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) larval rearing in Europe in the frame of the SELF-DOTT project U: Proceedings of the European Aquaculture Society. 5-8 October, Porto, Portugal. pp. 968-969.

PARTRIDGE, G. J. (2013): Closed-cycle hatchery production of tuna. U: Advances in Aquaculture Hatchery Technology. (Allan, G., G. Burnell, Ur.). Woodhead Publishing Limited, Cambridge. 457-497.

RESTREPO, V. R., G. A. DÍAZ, J. F. WALTER, J. D. NEILSON, S. E. CAMPANA, D. SECOR, R. L. WINGATE (2010): Updated estimate of the growth curve of Western Atlantic bluefin tuna. Aquat. Living Resour. 23, 335–342.

RICHARDSON, D., K. MARANCIK, J. GUYO, M. LUTCAVAGE, B. GALUARDI, C. H. LAM, WALSH, S. WILDES, D. YATES, J. HARE (2016): Discovery of a spawning ground reveals diverse migration strategies in Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Proc Natl Acad Sci USA 113, 3299-3304.

ROOKER, J., J. ALVARADO BREMER, B. A. BLOCK, H. DEWAR, G. DE METRIO, A. CORRIERO, R. KRAUS, E. PRINCE, E. RODRÍGUEZ-MARÍN, D. SECOR (2007): Life History and Stock Structure of Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*). Rev. Fish. Sci. 15, 265-310.

ROSENFELD, H., C. C. MYLONAS, C. R. BRIDGES, G. HEINISCH, A. CORRIERO, R. VASSALLO-AGUIS, A. MEDINA, A. BELMONTE, A. GARCÍA, F. DE LA GÁNDARA, C. FAUVEL, G. DE METRIO, I. MEIRI-ASHKENAZI, H. GORDIN, Y. ZOHAR (2012): GnRH $\alpha$ -mediated stimulation of the reproductive endocrine axis in captive Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Gen. Comp. Endocrinol. 175, 55-64.

SHIELS, H. A., G. L. J. GALLI, B. A. BLOCK (2015): Cardiac function in an endothermic fish: cellular mechanisms for overcoming acute thermal challenges during diving. P. Roy. Soc. B-Biol. Sci. 282: 20141989.

STANIĆ, R., K. ZANKI (2014): Idejno tehnološki projekt uzgoja tuna na koncesiji između uvala Grška Vela i Grška Mala. Sardina d.o.o., Postira.

STOKESBURY, M., S. TEO, A. SEITZ, R. K. O'DOR, B. A. BLOCK (2004): Movement of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) as determined by satellite tagging experiments initiated off New England. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61, 1976–1987.

SUQUET, M., J. COSSON, F. DE LA GÁNDARA, C. C. MYLONAS, M. PAPADAKI, S. LALLEMANT, C. FAVUEL (2010): Sperm features of captive Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). J. Appl. Ichthyol. 26, 775-778.

ŠEGVIĆ-BUBIĆ, T., L. GRUBIŠIĆ, I. ŽUŽUL, I. LEPEN-PLEIĆ, I. TALIJANČIĆ, V. TIČINA, KATAVIĆ (2018): Linking tuna recruitment with spontaneous spawning activities of sea-cage farmed bluefin tuna in the Adriatic sea. 13th International Aquaculture Conference. 29-30 November, Vukovar, Croatia.

TAYLOR, N. G., M. K. MCALLISTER, G. L. LAWSON, T. CARRUTHERS, B. A. BLOCK (2011): Atlantic bluefin tuna: A novel multistock spatial model for assessing population biomass. PLoS ONE 6, e27693.

TEO, S. L. H., A. BOUSTANY, H. DEWAR, M. J. W. STOKESBURY, K. C. WENG, S. BEEMER, A. C. SEITZ, C. J. FARWELL, E. D. PRINCE, B. A. BLOCK (2007): Annual migrations, diving behavior and thermal biology of Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, to breeding grounds in the Gulf of Mexico. Mar. Biol. 151, 1-18.



TURNER, S. C., V. R. RESTREPO (1994): A review of the growth rate of West Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) estimated from marked and recaptured fish. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 42, 170-172.

VAN BEIJNEN, J. (2017): The closed cycle aquaculture of atlantic bluefin tuna in Europe. Current status, market perceptions and future perspectives. Technical Report. Netherlands.

YÚFERA, M., J. B. ORTIZ-DELGADO, T. HOFFMAN, I. SIGUERO, B. URUP, C. SARASQUETE (2014): Organogenesis of digestive system, visual system and other structures in Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) larvae reared with copepods in mesocosm system. Aquaculture 426-427, 126-137.

ZOHAR, Y. (1989): Fish reproduction: its physiology and artificial manipulation. U: Fish Culture in Warm Water Systems: Problems and Trends. (Shilo, M., S. Sarig, Ur.). CRC Press, Florida. 65-119.

ZUPA, P., C. FAUVEL, C. C. MYLONAS, N. SANTAMARIA, L. VALENTINI, C. POUSIS, M. PAPADAKI, M. SUQUET, F. DE LA GÁNDARA, G. BELLO, G. DE METRIO, A. CORRIERO (2013): Comparative analysis of male germ cell proliferation and apoptosis in wild and captive Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). J. Appl. Ichthyol. 29, 71-81.

ŽUPANOVIĆ, Š. (1997): Podrijetlo hrvatske ribarske terminologije. „Čakavska rič“ 25, 97-138.

## 6. SAŽETAK

### NOVIJE SPOZNAJE O TEHNOLOGIJI UZGOJA TUNE (THUNNUS THYNNUS) – MOGUĆNOST UMJETNOG MRIJESTA

Tuna (*Thunnus thynnus*) najveći je pripadnik porodice Scombridae. Može doseći masu veću od 700 kg i duljinu veću od 3 m. Izuzetno je dobar plivač i može plivati brzinom i do 90 km/h. Obitava u Atlantskom oceanu, a Međunarodna komisija za očuvanje atlantskih tuna (ICCAT) populaciju dijeli na zapadnu, koja se mrijesti u Meksičkom zaljevu, i na istočnu, koja se mrijesti u Sredozemnom moru. Zbog velikog tržišnog interesa lovi se i uzgaja u posebno dizajniranim mrežnim kavezima na određenim koncesijskim površinama. Hrvatskoj je dozvoljen izlov manjih jedinki težine najmanje 8 kg s uzgojnim procesom koji traje do 2 godine, dok je drugim državama dozvoljen izlov jedinki težih od 30 kg u svrhu tova, s uzgojnim procesom do 7 mjeseci. Izlovne kvote regulira ICCAT. Tehnologija uzgoja zasniva se na tovu izlovljene mlađi podrijetlom iz prirodnih populacija. Najčešća i najsigurnija metoda lova je mrežama tunolovkama. Takav način uzgoja zahtijeva opskrbu stinom plavom ribom kojom se tuna hrani. Umjetnim mrijestom i uzgojem ličinki i mlađi tune mogla bi se smanjiti ovisnost o prirodnim populacijama. Da bi takav način uzgoja mogao davati potrebnu tržišnu količinu potrebno je u potpunosti zaokružiti životni ciklus tune u zatočeništvu, što podrazumijeva uzgoj matica, indukciju mrijesta, prikupljanje i inkubaciju oplodene ikre, uzgoj ličinki i mlađi te uzgoj do konzumne veličine. Uz umjetni mrijest, znanstvenici također rade i na razvoju zamjenske, odnosno gotove peletirane hrani koja bi zamijenila sadašnji način hranjenja tuna u uzgoju.

*Ključne riječi:* tuna, ICCAT, izlov, uzgoj tuna, umjetni mrijest

## **7. SUMMARY**

### **NEW INSIGHTS INTO THE TECHNOLOGY OF ATLANTIC TUNA (*THUNNUS THYNNUS*) FARMING – ARTIFICIAL SPAWNING**

Atlantic tuna (*Thunnus thynnus*) is the largest member of the Scombridae family. It can reach over 700 kg in weight and over 3 m in length. It lives in the Atlantic Ocean and it is divided by International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT) on the western stock spawning in the Gulf of Mexico and on the eastern stock spawning in the Mediterranean Sea. Due to the high market interest, it is harvested and grown in specially designed net cages on certain concession areas. Croatia is allowed to fish for smaller individuals weighing at least 8 kg with a breeding process lasting up to 2 years, while other countries are allowed to catch larger individuals over 30 kg for fattening purposes, with a breeding process of up to 7 months. Fishing quotas are regulated by ICCAT. The breeding technology is based on the fattening of juveniles originating from natural populations. The most common method of fishing is using purse seine nets. Capture based aquaculture requires the supply of smaller oily fish for tuna feeding. Artificial spawning and rearing of larvae and fingerlings could reduce dependence on natural populations. In order for this type of farming to provide the necessary market quantity, it is necessary to completely close the life cycle of the tuna and maintain the required number of individuals. In addition to artificial spawning, scientists are also working on alternative or pelleted feed that could replace the current way of feeding of farmed tuna.

*Keywords:* Atlantic tuna, ICCAT, fishing, tuna farming, artificial spawning

## 8. ŽIVOTOPIS

Ivan Ćurić rođen je 2. studenog 1992. u Splitu, RH. Od 1999. do 2007. godine pohađa osnovnu školu Strožanac u Podstrani. 2007. godine upisuje I. gimnaziju u Splitu, a po završetku, 2011. godine upisuje integrirani preddiplomski i diplomski studij veterinarske medicine na Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Stručnu praksu obavlja u veterinarskoj ambulanti „Veterinarska praksa Delonga“ u Splitu. Posljednja tri semestra fakultetske nastave odabrao je smjer „Higijena i tehnologija animalnih namirnica i veterinarsko javno zdravstvo“. Uz hrvatski, služi se engleskim i talijanskim jezikom.