

2015

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

ZAKLJUČNA NALOGA

ZAKLJUČNA NALOGA
UMETNI PODVODNI GREBENI KOT VARSTVENO
ORODJE

CERNICH

SARA CERNICH

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Zaključna naloga

Umetni podvodni grebeni kot varstveno orodje
(Artificial reefs as a conservation tool)

Ime in priimek: Sara Cernich
Študijski program: Biodiverziteteta
Mentor: doc. dr. Bojan Lazar
Somentor: asist. Peter Glasnović

Koper, avgust 2015

Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Sara CERNICH

Naslov zaključne naloge: Umetni podvodni grebeni kot varstveno orodje

Kraj: Koper

Leto: 2015

Število listov: 36

Število slik: 5

Število preglednic: 2

Število referenc: 85

Mentor: doc. dr. Bojan Lazar

Somentor: asist. Peter Glasnović

Ključne besede: Umetni podvodni grebeni, degradacija morskega okolja, ekološka obnova, varstvena biologija

Izvleček:

Umetni podvodni grebeni so strukture, ki se ciljno nameščajo na morsko dno z različnimi nameni. Cilj naloge je raziskovanje možnosti uporabe umetnih podvodnih grebenov kot orodje varstva okolja v času, ko je vpliv človeka na morske ekosisteme velik. Na podlagi pregleda obstoječe literature na temo o umetnih podvodnih grebenov sem ugotovila, da se je zanimanje za umetne podvodne grebene v zadnjih dvajsetih letih znatno povečalo. Do hitrega večanja zanimanja na temo umetnih podvodnih grebenov v svetu je prišlo tudi zaradi degradacije morskega okolja in potrebe po iskanju novih orodij varstva narave in okolja. Podatki iz pregledane literature kažejo na to, da je ocena učinkovitosti umetnih podvodnih grebenov nujno povezana z razumevanjem mehanizmov, ki na teh delujejo in prevladujejo. Umetni podvodni grebeni, uporabljeni kot orodje ekološke obnove, na podlagi pregledane literature, so se izkazali za učinkovite pri obnovi koralnih grebenov, sanaciji morskih travnikov vrste *Posidonia oceanica* in sanaciji obalnih ekosistemov preko okrevanja vodnega okolja ter pri povečanju populacij ekonomsko pomembnih vrst. Umetni podvodni grebeni pa niso bili učinkoviti v vseh raziskavah. Neučinkovitost le teh se kaže v negativnem vplivu, ki ga lahko ti imajo na okolje. Negativni vpliv umetnih podvodnih grebenov se lahko izraža v spremembi fizičnih in bioloških značilnosti okolja, povečanem pritisku plenilcev, izginjanju nekaterih vrst, vnosu invazivnih vrst in zmanjšanju populacij morskih organizmov na bližnjih naravnih grebenih. Rezultati raziskave so pokazali, da je poznavanje in upoštevanje razmer posameznega okolja nujno za doseganje pozitivnih rezultatov postavljanja umetnih podvodnih grebenov.

Key words information

Name and SURNAME: Sara CERNICH

Title of the final project paper: Artificial reefs as a conservation tool

Place: Koper

Year: 2015

Number of pages: 36 Number of figures: 5 Number of tables: 2

Number of references: 85

Mentor: Assist. Prof. Bojan Lazar, PhD

Co-Mentor: Assist. Peter Glasnović

Keywords: Artificial reefs, degradation of marine ecosystems, ecological restoration, conservation biology.

Abstract:

Artificial reefs are underwater structures that are installed on the seabed with different intentions. The objective of this review was to explore the possibility of using artificial reefs as a tool of nature and environment protection, at the time when the impact of humans on marine ecosystems is significant. This survey, carried out on the basis of reviewing the existing literature within the topic, showed how the interest for artificial reefs strongly increased during the past twenty years. This increasing interest is also associated with the problem of degradation of marine environment, which has led to the search of new tools for nature protection. The results of the review show that the assessment of the effectiveness of artificial reefs is necessarily linked to the understanding of the mechanisms acting on artificial reefs. The review has shown that artificial reefs can be effective in rebuilding coral reefs, restoring grassland of *Posidonia oceanica*, rehabilitating of coastal ecosystems through the recovery of the aquatic environment and enhancing the localized fishery resources. However, not all artificial reefs proved to be effective in all studies. In some studies, the negative impact of the artificial reefs on the environment was evident and included: the modification of biological and physical environmental characteristics, increased predator pressure, local extinction of some species, the introduction of invasive species and the reducing of populations of marine organisms of the nearby natural reefs. The results of this survey have shown the importance of taking into account the specific environmental conditions of the sites in order to achieve success of artificial reefs.

Kazalo vsebine

1	UVOD	1
1.1	Umetni podvodni grebeni: definicija in tipologija.....	1
1.2	Ogroženost morskih ekosistemov	3
1.3	Cilji naloge.....	4
2	UMETNI PODVODNI GREBENI KOT VARSTVENO ORODJE	5
2.1	Zgodovina uporabe umetnih podvodnih grebenov	5
2.2	Ekologija umetnih podvodnih grebenov	6
2.3	Materiali, oblike in načini postavljanja.....	10
2.4	Umetni podvodni grebeni za varstvo okolja	13
2.5	Učinkovitost umetnih podvodnih grebenov	17
2.6	Umetni podvodni grebeni v Tržaškem zalivu.....	21
3	ZAKLJUČEK	23
4	LITERATURA IN VIRI	24

Kazalo preglednic

Preglednica 1 Tipologije umetnih podvodnih grebenov glede na namen namestitve.	2
Preglednica 2. Pozitivni in negativni vplivi umetnih podvodnih grebenov	19

Kazalo slik

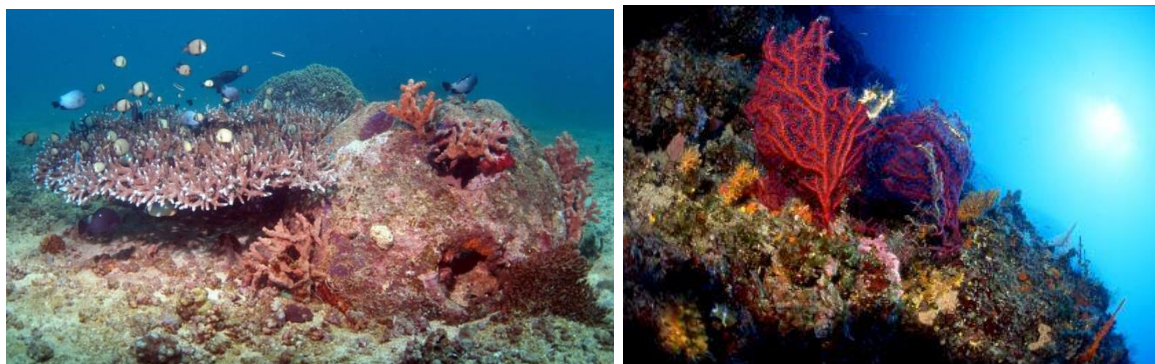
Slika 1 Umetni podvodni greben in naravni greben.	1
Slika 2. Število objavljenih člankov na temo umetnih podvodnih grebenov.	6
Slika 3. Model dinamičnega ravnotežja po teoriji otoške biogeografije.	7
Slika 4. Postopki ekološke obnove.	14
Slika 5. Umetni podvodni grebeni v Tržaškem zalivu.	22

1 UVOD

1.1 Umetni podvodni grebeni: definicija in tipologija

Umetni podvodni grebeni so po definiciji »podvodne, umetne strukture, ki so bile ciljno nameščene na morsko dno in ki oponašajo značilnosti naravnih grebenov« (UNEP MAP 2005). Umetne strukture, ki so nastale kot rezultat človekovega dela in ne narave same (Madžarevič 2000), lahko človek namešča v morsko okolje ciljno ali ne ciljno. Čeprav se definicije umetnih podvodnih grebenov pri različnih avtorjih nekoliko razlikujejo, je pri vseh skupno dejstvo, da so le-ti strukture, ki jih človek namešča v morsko okolje z določenim ciljem. Pod definicijo umetnih podvodnih grebenov v to skupino ne spadajo strukture, kot so umetni otoki, kabli, cevovodi, platforme, privezi in valobrani, ki so bili postavljeni v vodno okolje z drugačnimi nameni.

Najbolj uporabljen izraz v pregledani literaturi za označevanje umetnih podvodnih grebenov je angleški izraz »artificial reef«. Večkrat se zasledi tudi angleške izraze, kot so »artificial substrate« ali »artificial habitat«, vendar v manjši meri. Drugi izrazi za označevanje umetnih podvodnih grebenov so tudi »man-made reef«, »human-made reef« in »constructed reef«. Med temi se najbolj pogosto zasledi izraz »man-made reef«, ter »constructed reef« ali »human-made reef«. V slovenski literaturi se izraz umetni podvodni grebeni prvič uporabi v delu Uga Fonde (1996). V svoji zaključni nalogi bom v nadaljevanju zato uporabljala slovenski izraz umetni podvodni grebeni.



Slika 1 Umetni podvodni greben (vir: Reef Ball Foundation <http://www.lovethepictures.com/2013/10/eerily-beautiful-underwater-sculptures-art-transformed-into-artificial-reefs-pics/>) in naravni greben (vir: <http://www.padi.com/scuba/scuba-diving-trips/scuba-diving-resort-vacations/croatia/>).

Glede na namen namestitve umetnih podvodnih grebenov ločimo štiri tipologije grebenov: umetni podvodni grebeni za upravljanje z ribolovnimi viri, umetni podvodni grebeni za rekreacijo, umetni podvodni grebeni za raziskovanje in umetni podvodni grebeni za varstvo okolja (Relini in sod. 2007). Umetni podvodni grebeni za upravljanje z ribolovnimi viri imajo kot cilj repopulacijo izkoriščene ribje populacije (Ambrose in Swarbrick 1989)

in lahko privedejo do povečanega ribolovnega uspeha (Bombace in sod. 1994; Ramos-Espla in sod. 2000). Umetni podvodni grebeni lahko danes predstavljajo tudi inovativno ponudbo za razvoj ekoturizma. Prednost umetnih podvodnih grebenov, ki se gradijo s ciljem ustvarjanja nove turistične atrakcije je v tem, da se ti lahko gradijo v že spremenjenih ali degradiranih okoljih. V takih območjih lahko na novo zgrajen umetni podvodni greben preusmeri pritisk turizma iz naravnega na umetni greben in s tem pozitivno vpliva na naravno okolje v bližini (Brock 1994). Umetni podvodni grebeni imajo tudi veliko uporabnost v raziskovalnih programih, saj omogočajo razumevanje procesov in delovanja obalnih ekosistemov (Relini in sod. 2007). Umetne podvodne grebene danes gradijo tudi s ciljem varstva morskih ekosistemov pred številnimi dejavniki, ki predstavljajo grožnjo morskim ekosistemom. S postavitvijo umetnih podvodnih grebenov so v različnih delih sveta skušali kljubovati izgubi habitatov in upadu biodiverzitete, ki sta se pojavila kot rezultat človeške dejavnosti v morskem okolju (Richmond 2005; Roff in Zacharias, 2011).

Preglednica 1 Tipologije umetnih podvodnih grebenov (povzeto po Relini in sod. 2007) glede na namen namestitve.

Tipologija umetnega podvodnega grebena	Namen namestitve	Avtor
Umetni podvodni greben za upravljanje z ribolovnimi viri	Repopulacija izkoriščene ribje populacije	Ambrose in Swarbrick 1989
	Povečanje ribolovnega uspeha	Bombace in sod. 1994; Ramos-Espla in sod. 2000
Umetni podvodni greben za rekreacijo	Razvoj ekoturizma	Brock 1994
	Preusmeritev pritiska turizma iz naravnega na umetni greben	Brock 1994
Umetni podvodni greben za raziskovanje	Razumevanje procesov in delovanja obalnih ekosistemov	Relini in sod. 2007
Umetni podvodni greben za varstvo okolja	Varstvo morskih ekosistemov pred dejavniki, ki predstavljajo grožnjo morskim ekosistemom	Richmond 2005; Roff in Zacharias, 2011

Za večino današnjih umetnih podvodnih grebenov velja, da so ti večnamenski (Jackson in Miller 2009). V Sredozemskem morju na primer številne umetne podvodne grebene gradi s ciljem obnove izkoriščenih ribjih populacij, kot tudi s ciljem varstva degradiranih habitatov. Te sestavljajo moduli različnih velikosti in oblik, ki tako na morskem dnu ustvarjajo kompleks umetnih podvodnih grebenov. Take komplekse so na primer namestili v naravnem rezervatu Tabaraca v Španiji (Bayle-Sempere in sod. 1994) in v Cote Bleue v Franciji (Charbonnel in sod. 2000) ter na peščeni plitvini Križa v Italiji (Bressan 2001; 2006).

1.2 Ogroženost morskih ekosistemov

Dolga stoletja je človek mislil, da so oceani nespremenljivi in da človekovo delovanje nima nobenega vpliva na morske ekosisteme (Roff in Zacharias 2011). Človeška populacija je z izboljšanjem higienskih razmer, z napredkom medicine in z razvojem modernih kmetijskih tehnologij doživela hiter vzpon (Castro in Huber 2013). Panoge kot so kmetijstvo, ribolov in industrija spreminjajo izgled zemeljskega površja s tem, da vnašajo ali izločajo vrste iz ekosistemov ter spreminjajo genetsko sestavo ločenih populacij v večini ekosistemov na svetu (Vitousek in sod. 1997). Človekovo delovanje je tako s povečanim povpraševanjem po ribjih jedeh privedlo do upada ribolovnih virov (Roff in Zacharias 2011) in do izčrpanja številnih ribjih populacij vrst, ki so ekonomsko pomembne (Castro in Huber 2013). Netrajnostno izkoriščanje prostoživečih populacij morskih organizmov je tako verjetno največja grožnja morskim ekosistemom (Roff in Zacharias 2011).

Poleg prekomernega izkoriščanja ribolovnih virov, človek ogroža morske ekosisteme tudi z onesnaževanjem okolja, z degradacijo habitatov in z vnosom tujerodnih vrst (Richmond 2005; Roff in Zacharias, 2011).

Onesnaževanje in povečan vnos hranil v morskno okolje lahko privedeta do pojava cvetenja morja, ki je lahko škodljiv tako za morske organizme, kot za človekovo zdravje (Rabalais 2005). Različna onesnažila, ki se izlivajo v morje privedejo do večanja motnosti vode, ki vpliva na zmanjšano primarno produkcijo, na pomor organizmov, na spremembe strukture substrata in na povečano toksičnost. Onesnaževanje okolja lahko s tem posredno vpliva na izgubo habitata (GESAMP 1990).

Človekovo delovanje ima tudi neposreden vpliv na degradacijo habitatov, ko pride do spreminjanja in ureditve obalnih prostorov v namen ustvarjanja turističnih atrakcij, logističnih infrastruktur in mest ter z izvajanjem ribogojnih dejavnosti (GESAMP 1990). Degradacija ogromnih površin morskega dna se pojavi tudi zaradi uporabe vlečnih mrež pri ribolovu (GESAMP 1990; Vitousek in sod. 1997).

Eden izmed načinov degradacije in spreminjanja habitatov je tudi invazija tujerodnih vrst (Ruiz in sod. 1997). Z vnosom vrst v različne dele sveta, vpliva človek na vse večjo homogenizacijo bioloških združb (Vitousek in sod. 1997). Vnos tujerodnih vrst ima lahko številne posledice na prvotne biološke sisteme: invazivne vrste lahko izrinejo avtohtone vrste, spremenijo strukturo in delovanje prehranjevalnih spletov, spremenijo dinamiko hranil v okolju, privedejo do sprememb v sedimentaciji, lahko tudi privedejo do ekonomskih posledic in do posledic za zdravje človeka (Ruiz in sod. 1997).

Upad biodiverzitete je eden izmed najbolj očitnih znakov delovanja prej naštetih dejavnikov na morske ekosisteme. Preživetje maloštevilnih vrst v najbolj ogroženih habitatih večkrat ne zagotavlja nadaljnega ustreznega delovanja ekosistema (Vitousek in

sod. 1997; Snelgrove 1999). Obalni ekosistemi so med vsemi tisti, kjer je vpliv človeka najbolj zaznaven (GESAMP 1990; Roff in Zacharias 2011). To so obenem tudi tisti ekosistemi, ki prispevajo največji delež globalne produkcije morskih ekosistemov in ki predstavljajo pomembna življenjska okolja za številne organizme (FAO 2001). Zlasti v takih obalnih območjih je zato bistveno zagotavljati učinkovito upravljanje in varstvo pred antropogenimi motnjami (Roff in Zacharias 2011).

1.3 Cilji naloge

Cilj naloge je razumeti vlogo, ki jo imajo umetni podvodni grebeni v procesih varstva narave in okolja, na podlagi pregleda znanstvene in strokovne literature na to temo. Naloga se osredotoča na pomen, ki ga imajo umetni podvodni grebeni za varstvo narave in okolja.

Za doseg cilja sem preverila znanstveno in strokovno literaturo, ki jo ponuja spletni iskalnik »Web of science«. Članke na temo umetni podvodni grebeni sem iskala preko ključnih besed: »artificial reef«, »constructed reef«, »human-made reef« in »man made reef«. Članke, ki sem na tak način dobila sem vključila v analizo, v katero nisem vključila tistih člankov, ki so umetne podvodne grebene le omenjali in tistih, ki so obravnavali strukture, ki po zgornji definiciji ne spadajo v skupino umetnih podvodnih grebenov. Pregledala sem članke, ki so bili izdani od leta 1973. Pri izdelavi naloge sem upoštevala tudi članke iz slovenskih in italijanskih revij, ki obravnavajo tematiko na območju Tržaškega zaliva in severnega Jadrana.

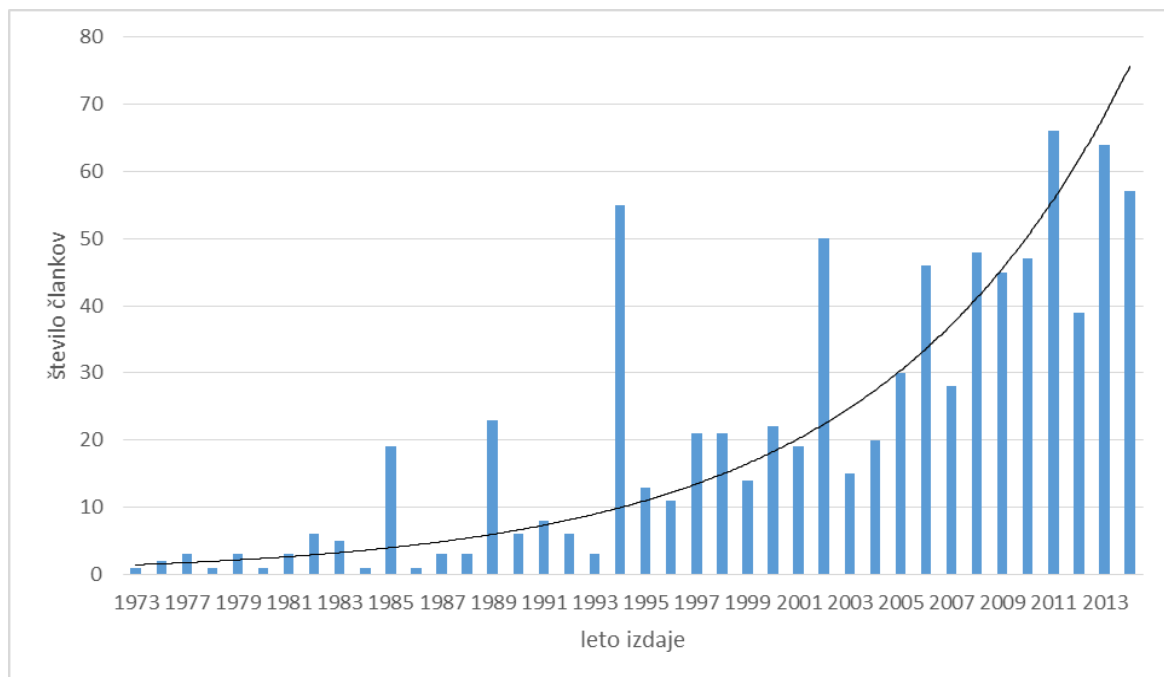
2 UMETNI PODVODNI GREBENI KOT VARSTVENO ORODJE

2.1 Zgodovina uporabe umetnih podvodnih grebenov

Začetek uporabe umetnih podvodnih grebenov sega vsaj v 16. stoletje (Ambrose in Swarbrick 1989). Vendar je človek že pred tem začel iskati nove načine ribolova, s katerimi bi si lahko zagotavljal večji ulov (Bombace 1989). Eno uporabljenih orodij v ta namen so bile lebdeče strukture za združevanje rib, ki so jim na Malti pravili »kannizzati«. Te strukture so uporabljali v Sredozemskem morju za tako imenovan »ribolov v senci«. Združevanje rib pod takimi strukturami je zagotavljalo večji in lažji ulov v obdobju od začetka poletja do konca jeseni, ko so se nekatere vrste rib zatekale v senco teh plavajočih objektov (Bombace 1989).

Upravljanje, izboljšanje in povečanje ribolovnih virov je najstarejši in sploh glavni vzrok, ki je vodil v nastanek umetnih podvodnih grebenov (Miller 2002). Zanimanje za umetne podvodne grebene se je s časom porodilo tudi pri rekreativnih ribičih in potapljačih, kar je vodilo do postavitve umetnih podvodnih grebenov v rekreativne namene (Seaman 2007). Umetne podvodne grebene so nato začeli uporabljati za varstvo obrežnih in občutljivih habitatov pred nezakonitim lovom z vlečnimi mrežami (Fabi in sod. 2011). Šele v zadnjem času so začeli nameščati umetne podvodne grebene z namenom obnove degradiranih habitatov (Miller 2002; Seaman 2007) in izboljšanja kvalitete vode (Miller 2002).

Na podlagi pregleda znanstvenih publikacij, sem ugotovila, da se je v zadnjih dvajsetih letih zanimanje za umetne podvodne grebene znatno povečalo (slika 2). Skupno sem v analizo, ki prikazuje število člankov na podlagi leta izdaje vključila 829 člankov, ki so bili izdani od leta 1973 dalje. Večje število člankov v letih 1985, 1989, 1994, 2002, 2006 in 2011 je povezano z objavo prispevkov, ki so bili predstavljeni na svetovnih konferencah CARAH (International Conference on Artificial Reefs and Related Aquatic Habitats). Zlasti v osemdesetih in devetdesetih letih so članki iz svetovnih konferenc predstavljali veliko večino letnih publikaciji.



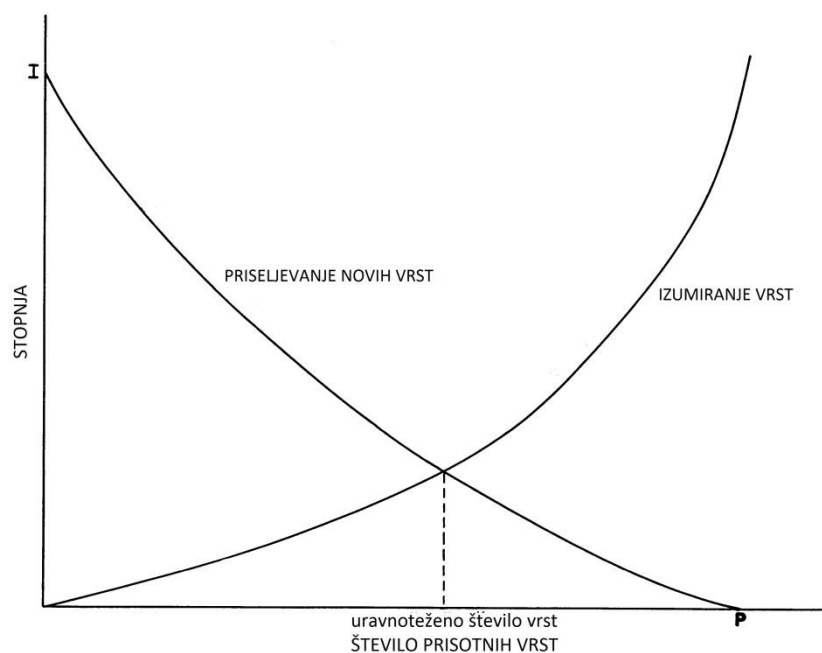
Slika 2. Število objavljenih člankov na temo umetnih podvodnih grebenov v svetu od leta 1973 do leta 2014.

2.2 Ekologija umetnih podvodnih grebenov

Naseljevanje in sukcesija umetnih podvodnih grebenov

Teorija otoške biogeografije (MacArthur in Wilson 1967) predstavlja dobro osnovo za razumevanje dinamike združb v številnih izoliranih sistemih (Cox in Moore 2010) in s tem tudi za razumevanje dinamike združb na umetnih podvodnih grebenih (Bohnsack in Sutherland 1985). Morsko dno sestavljata trdno in mehko dno. Na obalnem morskem pasu prevladuje mehki, mobilni substrat, medtem ko se trdno dno pojavlja redkeje, na posameznih lokacijah (Dobson in Frid 2009). Po definiciji otoške biogeografije lahko torej morske grebene obravnavamo kot »otoke« trdnega substrata, ki se bistveno razlikujejo od mehkega substrata, ki v obalnem morskem pasu prevladuje.

Model dinamičnega ravnotežja po teoriji otoške biogeografije (MacArthur in Wilson 1967) razlaga potek naseljevanja in sukcesije novega izoliranega ekosistema (slika 3). Po teoriji otoške biogeografije je hitrost priseljevanja največja na začetku, ko ni na novem »otoku« prisotne še nobene vrste. To je tudi obdobje, v katerem je hitrost izumiranja najmanjša. Rezultat prve faze naseljevanja je hitra rast populacij na »otoku«. Vzponu populacij v prvi fazi naseljevanja sledi nato obdobje vse manjše hitrosti priseljevanja in vse večje hitrosti izumiranja. Tak trend poteka vse dokler se ne vzpostavi »uravnoreženo število vrst«. Ko se na »otoku« vzpostavi tako ravnovesje bo število vrst ostalo nespremenjeno, vendar bo nastopal konstantni obrat vrst (MacArthur in Wilson 1963; MacArthur in Wilson 1967).



Slika 3. Model dinamičnega ravnotežja po teoriji otoške biogeografije (povzeto in prirejeno po: MacArthur in Wilson 1963).

V morskem okolju je katerikoli trden substrat podvržen nizu fizikalnih, kemičnih in bioloških procesov, katerih rezultat je nastanek kompleksne plasti organizmov, ki ji pravimo biofilm (Abarzua in Jakubowski 1995). Nastanek biofilma je prva faza naseljevanja, ki se začne takoj po namestitvi umetnega podvodnega grebena z adhezijo organske snovi in se zaključi v roku nekaj tednov s pojavom spor makroalg in larvalnih stadijev nevretenčarjev (Abarzua in Jakubowski 1995). Nastanku take kompleksne plasti organizmov sledi naseljevanje rib, ki se pojavijo že zelo zgodaj po namestitvi umetnih grebenov (Turner in sod. 1969; Davis in sod. 1982, Matthews 1985; Wilson in sod. 2002; Pondella in sod. 2006; Koeck in sod. 2014). Pri številnih raziskavah opravljenih na umetnih podvodnih grebenih so ugotovili, da je hitrost naseljevanja novega substrata izjemno hitra (Turner in sod. 1969; Davis in sod. 1982; Bohnsack in Sutherland 1985; Walsh 1985; Clark in Edward 1994; Bayle-Sempere in sod. 1994; Bombace in sod. 1994; Jensen in sod. 1994; Ramos-Espla in sod. 2000; Wilson in sod. 2002; Pondella in sod. 2006).

Naseljevanje morskih organizmov lahko poteka na dva različna načina: z naseljevanjem ličink ali z naseljevanjem odraslih osebkov iz bližnjega okolja. Naseljevanje ličink je zlasti razširjeno pri nevretenčarjih. Tak proces poteka v dveh fazah (Turner in sod. 1969): prvo fazo naseljevanja predstavlja pojav planktonskih ličink, ki se nahajajo v vodnem stolpcu in ki za nadaljnji razvoj potrebujejo trden substrat, drugo fazo pa predstavlja sukcesija. Ko organizmi, ki za nadaljnji razvoj potrebujejo trden substrat srečajo primerno okolje, se nanj pritrdijo in s tem omogočajo začetek naseljevanja umetne strukture (Turner in sod. 1969). Vrste, ki prve naselijo substrat so maloštevilne, oportunistične vrste (Jensen in sod. 1994).

za katere je značilno, da v prvem obdobju doživijo hiter porast v številčnosti in s tem postanejo dominantni organizmi na strukturah (Turner in sod. 1969, Specchi in sod. 2001). Prvi fazi naseljevanja ličink, ki je v veliki meri naključna, sledi sukcesija, potek katere je odvisen od prisotnosti prvo naseljenih organizmov in afinitete, ki jo do teh imajo drugi organizmi (Turner in sod. 1969). V drugi fazi naseljevanja pride do porušanja dominantnega položaja prvih kolonizatorjev struktur. Pride do preobrata, ki se kaže v zmanjšanju številčnosti prvih kolonizatorjev in v povečanju številčnosti drugih vrst, ki zamenjajo prvotne (Turner in sod. 1969; Ardizzone in sod. 1989; Specchi in sod. 2001). V drugi fazi nov substrat naselijo tisti organizmi, ki so bolj kompetitivni glede prostora na umetnem podvodnem grebenu (Jensen in sod. 1994). Naseljevanje ribjih združb lahko prav tako poteka tudi s prihodom juvenilnih stadijev ali osebkov, ki še niso popolnoma odrasli (Randall 1963; Talbot in sod. 1978; Alevizon in Gorham 1989). Tudi v tem primeru pride najprej do hitrega povečanja populacij, ki se s časom upočasnijo in stabilizirajo (Alevizon in Gorham 1989). Kljub temu je večina rib, ki prve naselijo umetne podvodne grebene odraslih (Turner in sod. 1969; Matthews 1985; Walsh 1985; Alevizon in Gorham 1989; Clark in Edwards 1994; Koeck in sod. 2014). Ribe, ki se približajo in ki naselijo umetni podvodni greben, so pripadnice vrst, ki tipično naseljujejo grebene. Te se lahko na območje umetnega podvodnega grebena preselijo z bližnjega naravnega grebena ali pa iz peščenega okolja, ker na naravnih grebenih neuspešno vzpostavijo teritorij (Matthews 1985). Ti organizmi se približujejo umetnim podvodnim grebenom zato, ker ti predstavljajo zavetišče in primerno okolje za razmnoževanje morskih organizmov. Ta pojav je znan tudi z izrazom »tigmotropični efekt« in razlaga približanje in usmerjanje ter naselitev ali vsaj začasni stik z umetno strukturo iz strani morskih organizmov v okolici kot rezultat nove ponudbe skrivališč in primernih okolij za razmnoževanje (Orel in sod. 2006).

Naseljevanje odraslih osebkov poteka prav tako kot naseljevanje ličink v dveh fazah: prva faza je faza redistribucije, kateri sledi faza ravnotežja. V fazi redistribucije pride do hitrega priseljevanja z bližnjim grebenom podobnih habitatov (Matthews 1985; Alevizon in Gorham 1989; Ramos-Espla in sod. 2000) ali morskih travnikov v bližini (Randall 1963; Ramos-Espla in sod. 2000). Rezultat prve faze naseljevanja odraslih osebkov je hitro povečanje populacij na novih strukturah, ki sovпада z upadom populacij na bližnjih, starejših grebenih (Alevizon in Gorham 1989). Druga faza naseljevanja je tako imenovana faza ravnotežja. V tej fazi pride do postopne upočasnitve v rasti populacij na novih grebenih, ki se ustali na določeni vrednosti (Alevizon in Gorham 1989; Clark in Edwards 1994). Faza ravnotežja nastopa zaradi delovanja od gostote populacije odvisnih interakcij, ki potekajo tako na intra kot na interspecifičnem nivoju (Alevizon in Gorham 1989). Hitrost doseganja stabilnosti ribje populacije na umetnih podvodnih grebenih je lahko zelo različna. Razlikuje se lahko glede na različna geografska območja (Walsh 1985) in glede na velikost ter kompleksnost struktur (Charbonnel in sod. 2000).

Podobnost in različnost bioloških združb umetnih podvodnih in naravnih grebenov

Nekatere raziskave, ki so primerjale sestavo bioloških združb med umetnimi podvodnimi in naravnimi grebeni so pokazale, da so lahko združbe umetnih podvodnih in naravnih grebenov zelo podobne (Matthews 1985; Ambrose in Swarbrick 1989; Jensen in sod. 1994; Perkol-Finkel in sod. 2006; Pondella in sod. 2006; Barber in sod. 2009). Pascaline in sod. (2011) so ugotovili, da je tudi razvoj vrstne pestrosti naravnih in umetnih podvodnih grebenov zelo podobna. Najbolj pogoste vrste na umetnih podvodnih grebenih Sredozemskega morja so predstavniki družin šparov (Sparidae) (Bayle-Sempere in sod. 1994; Charbonnel in sod. 2000; Pascaline in sod. 2011), ustnač (Labridae) (Bayle-Sempere in sod. 1994; Pascaline in sod. 2011), ostrižev (Serranidae) (Bayle-Sempere in sod. 1994), glavačev (Gobiidae) (Pascaline in sod. 2011) in edine predstavnice družine koralnic (Pomacentridae) v Sredozemlju (Charbonnel in sod. 2000). Dominanca šparov in ustnač je značilna tudi za naravne grebene v Sredozemskem morju (Ruitton in sod. 2000). Večja podobnost ribjih združb umetnih podvodnih in naravnih grebenov istega geografskega območja se pojavi takrat, ko je zagotovljena podobnost fizikalnih dejavnikov kot so globina (Simon in sod. 2013), habitatna kompleksnost in pritisk ribolovnih dejavnosti na lokaciji umetnega in naravnega grebena (Simon in sod. 2013; Koeck in sod. 2014). Zaradi razlik enega ali več navedenih fizikalnih dejavnikov med umetnimi podvodnimi in naravnimi grebeni so številni avtorji zasledili razlike v strukturi združb umetnih in naravnih grebenov (Randall 1963; Clark in Edwards 1994; Rilov in Benayahu 2000; Badalamenti in sod. 2002; Perkol-Finkel in sod. 2006; Simon in sod. 2013; Koeck in sod. 2014). Združbe naravnih in umetnih podvodnih grebenov so se v sklopu teh raziskav razlikovale v trofični strukturi (Simon in sod. 2013), v njihovem delovanju (Koeck in sod. 2014) ali v sestavi združb (Clark in Edwards 1994). Različna struktura ribje združbe umetnih in naravnih grebenov izhaja iz dveh razlik: iz manjše gostote nekaterih vrst na naravnih grebenih v primerjavi z gostoto teh na umetnih podvodnih grebenih ter iz prisotnosti nekaterih vrst izključno na umetnih podvodnih grebenih (Koeck in sod. 2014). Pri umetnih podvodnih grebenih, ki ne oponašajo oblik naravnih grebenov je tudi trofična struktura različna. Razlika je zlasti v večji biomasii planktivorov na območju umetnih podvodnih grebenov v primerjavi z biomaso teh na območju naravnih grebenov (Rilov in Benayahu 2000; Simon in sod. 2013). Večja biomasa planktivorov v bližini umetnih struktur predstavlja obenem večjo ponudbo hrane za organizme na višjih slojih trofične verige, v primerjavi z naravnimi grebeni (Simon in sod. 2013). Trofična struktura umetnih podvodnih grebenov se razlikuje tudi v veliko večji biomasii mobilnih nevretenčarjev na območju umetnih podvodnih grebenov (Simon in sod. 2013).

2.3 Materiali, oblike in načini postavljanja

Načrtovanje oblik, materialov in načinov postavljanja umetnih podvodnih grebenov ima velik vpliv na združbo, ki se bo na umetnih podvodnih grebenih vzpostavila in s tem vpliva tudi na sam uspeh celotnega projekta (Charbonnel in sod. 2000; Perkol-Finkel in sod. 2006; Al-Horani in Khalaf 2013). Načrtovanje oblik, materialov in načinov postavljanja umetnih podvodnih grebenov je v veliki meri odvisno od namenov in ciljev, katere želimo doseči s postavitvijo umetnih struktur v morsko okolje (Seaman 1996). Oblike in materiali uporabljeni pri gradnji umetnih podvodnih grebenov so zelo različni. Ti so lahko enostavne strukture iz naravnih materialov, ki jih uporabljajo lokalne skupnosti ali tudi izredno kompleksne, velike in specializirane strukture, ki so v uporabi pri komercialnem ribolovu ali pri obnovi habitatov (Seaman 1996). Pri izbiri materialov, oblike in načinov postavljanja umetnega podvodnega grebena je potrebno upoštevati tako ekonomske, kot družbene in biološke faktorje (Bohnsack in Sutherland 1985). Zadnji faktor je med vsemi tisti, ki je najbolj variabilen (Seaman 1996).

Izbira lokacije umetnega podvodnega grebena ima velik vpliv na sestavo združbe, ki se bo na umetnem podvodnem grebenu vzpostavila (Randall 1963; Walsh 1985), saj je uspeh umetnega podvodnega grebena večkrat odvisen od produktivnosti in razpoložljivosti hrane v bližnjem okolju (Randall 1963). Primerno lokacijo jo zaznamujejo različni dejavniki. Umetne podvodne grebene navadno gradijo na peščenih plitvinah, kjer v bližini ni naravnih grebenov ali drugih kamnitih predelov (Turner in sod. 1969; Matthews 1985; Ambrose in Swarbrick 1989). Najbolj primeren sediment za nameščanje umetnih podvodnih grebenov je pesek na katerem je usedanje objektov minimalno (Turner in sod. 1969). Že majhna stopnja izolacije od naravnih ali drugih podvodnih grebenov lahko vpliva na povečano število ribjih vrst na umetnem podvodnem grebenu (Walsh 1985; Herrera in sod. 2002). Učinek umetnih podvodnih grebenov na povečanje ribjih populacij je na takih lokacijah najbolj izrazit (Bombace in sod. 1994), saj predstavljajo v takih okoljih vir dodatne hrane in zavetišče pred plenilci (Fabi in Fiorentini 1994).

Jakost in smer tokov sta tudi pomembna dejavnika, ki ju je potrebno upoštevati pri izbiri lokacije (Randall 1963). Zmerni tok ima številne ugodne učinke, saj poveča oskrbo s hranili, kisikom in ogljikovim dioksidom, poveča stopnjo odstranjevanja odpadnih snovi ter vpliva na manjšo sedimentacijo (Baynes in Szmant 1989). Zaradi pozitivnih učinkov toka je potrebno izbrati lokacijo namenjeno umetnemu podvodnemu grebenu, kjer so prisotni zmerni tokovi (Nakamura 1989, cit po. Bohnsack in Sutherland 1985). Potrebno se je izogibati lokacijam, kjer je sedimentacija velika, ker ima ta številne negativne vplive na bentoške organizme (Baynes in Szmant 1989). Izogibati se je tudi potrebno tistim lokacijam, kjer sta abundanca in raznolikost organizmov veliki, saj lahko z aktivnim posegom v prostor povzročimo spremembe v produktivnosti (Barber in sod. 2009). Pri izbiri lokacije je potrebno upoštevati tudi prisotnost plovnih poti in območij varstva narave

(Kennish in sod. 2002). Umetne podvodne grebene lahko postavimo tudi v zavarovana območja, ki spadajo v kategorijo: »območja upravljanja habitatov ali vrst« (kategorija IV po IUCN), kjer je za doseganje ciljev varstva določene vrste ali habitata mogoče izvajati aktivne posege v prostor (Dudley 2008). Pri podanih kriterijih za izbiro lokacije je potrebno pripisati, da je izbira lokacije odvisna tudi od geografske regije v kateri se umetni podvodni grebeni postavljajo. Procesi združb na umetnih podvodnih grebenih se zelo razlikujejo v različnih geografskih regijah ne glede na obliko le teh. Na razliko v procesih združb imajo verjetno vpliv razlika v produktivnosti, oceanskih tokovih, temperaturi, sezonskih variacijah in vrstne sestave v različnih geografskih regijah (Walsh 1985).

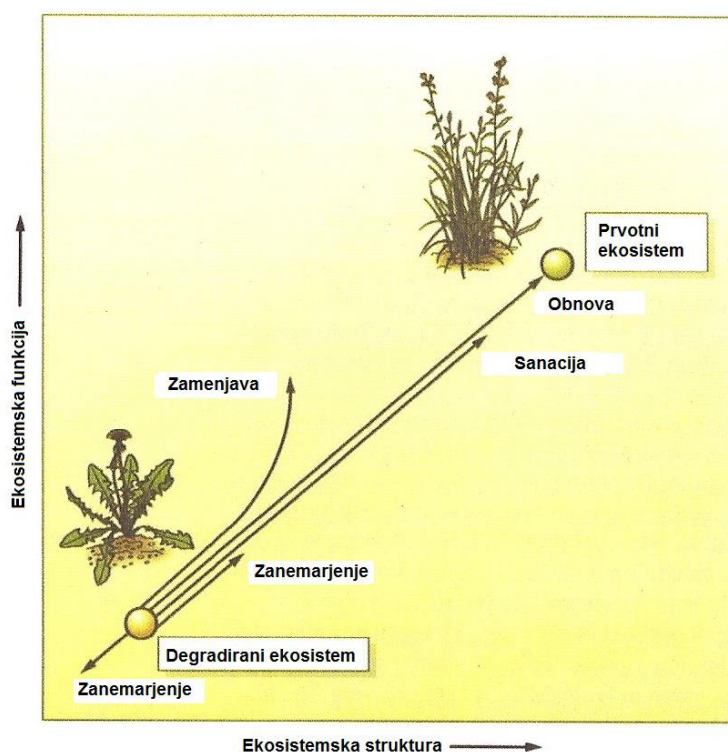
Pri izbiri primerne oblike umetnega podvodnega grebena je potrebno skrbno načrtovati tako velikost (Turner in sod. 1969; Ambrose in Swarbrick 1989; Bombace in sod. 1994), kot orientacijo v prostoru in kompleksnost strukture (Ambrose in Swarbrick 1989). Pri manjših umetnih podvodnih grebenih navadno popišejo večjo gostoto ribjih vrst v primerjavi z večjimi strukturami. To je rezultat večjega vplivnega območja, ki ga imajo manjše strukture. Le te privabljajo ribe iz večje oddaljenosti v primerjavi s sorazmerno večjimi umetnimi podvodnimi grebeni (Ambrose in Swarbrick 1989). Vendar imajo premajhne strukture lahko tudi negativne posledice na okolje. Pri nameščanju premajhnih umetnih podvodnih grebenov začetni fazi hitrega kopičenja vrst večkrat sledi prav tako hiter ulov organizmov s strani ribičev. Kot posledica tega združba na umetnem podvodnem grebenu nikdar ne doseže ravnovesja. Samo tisti umetni podvodni grebeni zadostne velikosti lahko torej omogočajo doseganje ravnovesja in omogočajo razmnoževanje vrst na njem (Turner in sod. 1969). Orientacija v prostoru in kompleksnost strukture imata velik vpliv na biološko združbo, ki se bo na umetnem podvodnem grebenu ustalila. Ta dva dejavnika imata včasih večji pomen kot ga imajo velikost strukture, stopnja izolacije (Rilov in Benayahu 2000) in narava grebena (Perkol-Finkel in sod. 2006). Nekatere študije so dokazale, da so navpični umetni podvodni grebeni bolj uspešni od vodoravnih (Randall 1963; Baynes in Szmant 1989; Clark in Edwards 1994; Rilov in Benayahu 2000). Navpične strukture vplivajo na združbe umetnih grebenov tako, da ustvarijo močan vodni tok. Tako nastal vodni tok vpliva na: povečan tok planktona, ki vpliva na povečano gostoto planktivorov (Rilov in Benayahu 2000) in na manjšo stopnjo sedimentacije, ki vpliva na večjo gostoto sesilnih organizmov (Baynes in Szmant 1989). Praviloma se umetne podvodne grebene v prostoru namesti tako, da je čim večja površina teh izpostavljena toku (Baynes in Szmant 1989). Uspeh umetnega podvodnega grebena in tipologija združbe, ki se bo na njem naselila, sta odvisni tudi od kompleksnosti same strukture (Charbonnel in sod. 2000). Povečanje kompleksnosti privede v številnih primerih do večje gostote (Charbonnel in sod. 2000; Charbonnel in sod. 2002; Sherman in sod. 2002; Pascaline in sod. 2011), večjega števila vrst in biomase (Charbonnel in sod. 2000; 2002; Sherman in sod. 2002).

Tekstura in kompozicija sestavnih delov umetnih podvodnih grebenov lahko vplivata na kompozicijo končne združbe (Herrera in sod. 2002) in na abundanco bentoških organizmov (Bohnsack in Sutherland 1985). Izbira materiala, ki se v te namene uporablja, je večkrat vezana na razpoložljivost in obstojnost snovi (Bohnsack in Sutherland 1985). Prve strukture, ki so bile uporabljene kot sredstvo za privabljanje rib, so bila ogrodja odsluženih avtomobilov, pnevmatike in drugi odpadni materiali, ki so bili cenovno ugodni in vsem na razpolago (Bombace 1989). Okoli devetdesetih let prejšnjega stoletja so začeli pretežno uporabljati betonske konstrukcije (Bombace 1989), čeprav je bila uporaba nekaterih odpadnih materialov še vedno v rabi (Collins in sod. 1994). Dokazano je, da je vpliv večine odpadnih snovi na abundanco in raznolikost favne negativen (Collins in sod. 1994). Ker pa je povečana produkcija odpadkov v našem stoletju vedno večji problem, se je leta 1976 začel program z imenom »Coal-waste artificial reef program«, katerega cilj je raziskovanje možnosti uporabe odpadnih produktov, ki nastanejo pri izgorevanju premoga, pri gradnji umetnih podvodnih grebenov (Woodhead in sod. 1982). Po postopku predelave takih odpadnih snovi postanejo odpadki stabilni in jih je mogoče oblikovati v trdne kocke, ki jih lahko uporabljajo kot umetne podvodne grebene. Preliminarni rezultati teh raziskav so dokazali, da je uporaba takih stabilnih produktov izgorevanja premoga skladna z morskim okoljem in je kot taka lahko uporabljena brez očitnih negativnih posledic na okolje (Woodhead in sod. 1982). Primerni material za gradnjo umetnih podvodnih grebenov mora zadoščati trem osnovnim lastnostim: kemična in fizična stabilnost, dolgotrajnost in nizka stopnja kemične dekompozicije (UNEP MAP 2005; London Convention and Protocol/UNEP 2009). Na podlagi teh treh lastnosti so v seznam dovoljenih materialov za gradnjo umetnih podvodnih grebenov v Londonski konvenciji vključili železo, jeklo in beton. Za razliko od teh materialov so nekatere raziskave dokazale, da je les neprimeren za gradnjo umetnih podvodnih grebenov, saj lesene strukture v morskem okolju propadejo v roku nekaj let (Randall 1963; Turner in sod. 1969).

2.4 Umetni podvodni grebeni za varstvo okolja

Umetni podvodni grebeni so lahko v kontekstu varstva okolja orodje tako imenovane ekološke obnove (»ecological restoration«). Ekološka obnova je definirana kot »proces upravljanja ekosistemov, ki ima kot cilj obnovo poškodovanega, degradiranega ali popolnoma uničenega habitata« (SER 2004). Pri ekološki obnovi degradiranih habitatov lahko uporabljamo štiri različne ukrepe (slika 4), ki jih lahko razdelimo v skupino tako imenovanih pasivnih in aktivnih posegov. Postopek pasivne obnove je na sliki 4 označen s pojmom zanemarjanje. Pasivna obnova vključuje samo-obnovo, ki se doseže na tak način, da se odstrani ali vsaj zmanjša vpliv motečega dejavnika, ki je privedel do degradacije (Hunter in Gibbs 2007). Tak rezultat se lahko doseže z zavarovanjem določenih območij pred škodljivimi človekovimi dejavnostmi, z zmanjšanjem vpliva onesnaževanja, s fizičnim odstranjevanjem invazivnih vrst iz okolja, s čistilnimi akcijami in z izvajanjem ozaveščevalnih akcij (Richmond 2005). Ko se uvede postopek pasivne obnove degradiranega ekosistema, lahko nastopa obdobje nadaljnje degradacije ekosistema, kateremu se bo sledilo obdobje okrevanja. V daljšem časovnem obdobju se bo tako degradirani ekosistem vrnil v prvotno stanje (Hunter in Gibbs 2007). Odpornim ekosistemom lahko omogočimo učinkovito okrevanje že samo z ukrepi pasivne obnove (Richmond 2005). Nekateri ekosistemi pa niso zmožni samo-okrevanja po hudem antropogenem stresu. Za obnovo in rehabilitacijo takih ekosistemov je zato potrebno aktivno upravljanje, ki večkrat pomeni manipulacijo obstoječega poškodovanega ekosistema (Pratt 1994).

V skupino aktivnih posegov za obnovo habitatov spadajo vsi ostali postopki ekološke obnove in sicer: obnova (»restoration«), sanacija (»rehabilitation«) in zamenjava (»replacement«). Izmed teh je samo postopek obnove tisti, ki ima kot cilj aktivno vračanje degradiranega ekosistema na stanje pred motnjo (Hunter in Gibbs 2007). Postopek sanacije, skuša vračati le nekatere ekološke funkcije na stanje pred motnjo (Pratt 1994). Včasih je cilj postopka ekološke obnove zamenjava degradiranega ekosistema z novim, popolnoma drugačnim ekosistemom (Hunter in Gibbs 2007).



Slika 4. Postopki ekološke obnove (povzeto in prirejeno po: Hunter in Gibbs 2007).

Orodja, s katerimi lahko izvedemo ukrepe aktivne ekološke obnove, so različna. Aktivno ekološko obnovo lahko izvedemo s ponovno naselitvijo ali re-introdukcijo osebkov, s postavitvijo umetnih podvodnih grebenov ali s kombinirano uporabo različnih orodij obnove morskih ekosistemov.

Umetne podvodne grebene, ki so uporabljeni kot orodje ekološke obnove, lahko uvrstimo v tri glavne skupine: umetni podvodni grebeni za obnovo, umetni podvodni grebeni za sanacijo in umetni podvodni grebeni za izboljšanje.

Umetni podvodni grebeni za obnovo

Z izrazom obnova označujemo ukrepe, ki imajo kot cilj vračanje ekosistema na stanje pred antropogeno motnjo (Pratt 1994; Hunter in Gibbs 2007). Primer takega ukrepa je poskus obnove koralnih grebenov. Zaradi antropogene dejavnosti je prišlo do izgube vsaj četrtnine vseh koralnih grebenov na svetu (Castro in Huber 2013). Največje grožnje koralnim grebenom predstavljajo eutrofikacija, uporaba eksplozivov, odnašanje delov koralnih grebenov, fizične poškodbe zaradi potapljačev in sidranja ter proces zakisanja oceanov (Castro in Huber 2013). Okrevanje koralnih grebenov po uničujoči antropogeni dejavnosti je zelo težaven in dolgotrajen proces. Zaradi tega so začeli uporabljati nova orodja, ki bi omogočala obnovo teh habitatov, med katerimi je tudi postavljanje umetnih podvodnih grebenov v morsko okolje. Rezultati postavitve umetnih podvodnih grebenov s ciljem

obnove degradiranih koralnih grebenov na Maldivih (Clark in Edwards 1994) in v Rdečem morju (Al-Horani in Khalaf 2013) so pokazali, da se naravno naseljevanje koral na umetnih strukturah začne že po sedmih mesecih namestitve umetnih struktur (Clark in Edwards 1994; Al-Horani in Khalaf 2013). Umetni podvodni grebeni, ki jih uporabljajo kot orodje za obnovo koralnih grebenov lahko tudi ustvarjajo povezave med oddaljenimi koralnimi grebeni in na tak način povečajo možnost naseljevanja naravnih grebenov (Abelson 2006).

Umetni podvodni grebeni za sanacijo

Izraz sanacija definiramo kot ukrep pri katerem pride do obnove nekaterih ekoloških lastnosti do prvotnega stanja. V ukrepu sanacije ne pride do popolne obnove celotnega ekosistema (Pratt 1994). Primer poskusa sanacije je ustvarjanje umetnih podvodnih grebenov, ki imajo kot cilj varstvo morskih travnikov pozejdonke (*Posidonia oceanica*). Pozejdonka velja za pogosto vrsto, ki je endemična v Sredozemskem morju. Populacije te vrste so danes v zahodnem delu Sredozemskega morja podvržene številnim motečim dejavnikom, ki vplivajo na upad njihove številčnosti. Največje grožnje morskim travnikom pozejdonke so lov z vlečnimi mrežami, sidranje, motnost vode in eutrofikacija. Pozejdonka je ključna vrsta, ki ustvarja ugoden habitat za številne organizme v različnih življenjskih obdobjih. Vrsta je zavarovana na podlagi Habitatne direktive EU, Bernske in Barcelonske Konvencije in zakonodaj na državnih ravneh. Varstvo morskih travnikov pozejdonke poteka z vključevanjem le teh v zavarovana območja ali pa s postavljanjem umetnih podvodnih grebenov na rob travnikov, ki onemogočajo izvajanje nezakonitega lova z vlečnimi mrežami (Pergent in sod. 2010). Raziskave v Španiji so dokazale, da so umetni podvodni grebeni za varstvo travnikov pozejdonke učinkoviti. Izkazalo se je, da aktivno preprečevanje motenj s postavitvijo umetnih podvodnih grebenov omogoča travnikom obnovo, čeprav je ta izjemno počasna, zlasti v primeru močne degradacije travnikov. Prav zaradi tako počasnega okrevanja je potrebno upravljanje ohranjenih travnikov pozejdonke usmeriti v preprečevanje izgube in degradacije le teh (Gonzalez-Correa in sod. 2005).

Drugi primer sanacije obalnih ekosistemov z uporabo umetnih podvodnih grebenov je izboljšanje kvalitete vodnega okolja s postavitvijo umetnih podvodnih grebenov, ki delujejo kot »biološke precejevalne postaje« (Stachowitsch 1998; Miller 2002; Al-Horani in Khalaf 2013). Filtratorski organizmi, ki se na umetni substrat naselijo, odstranjujejo velike količine organske snovi iz morskega okolja (Stachowitsch 1998), rezultat njihove dejavnosti je zato izboljšanje kvalitete morskega okolja (Miller 2002; Al-Horani in Khalaf 2013).

Umetni podvodni grebeni za izboljšanje

Ena izmed možnosti izboljšanja ekosistemov je zamenjava poškodovanega ekosistema z novim, ki se razlikuje od izvornega (Pratt 1994). V to skupino spadajo tisti umetni podvodni grebeni, ki jih postavijo na morsko dno, kjer v preteklosti ni bilo prisotnih naravnih grebenov. Umetni podvodni grebeni v Kaliforniji, zgrajeni v bližini na novo ustvarjenega morskega travnika prave morske trave (*Zostera marina*) so primer takega ukrepa (Pondella in sod. 2006). V južni Kaliforniji je že prišlo do izgube velike večine obmorskih mokrišč (Zedler in sod. 2001). Eden izmed poskusov ekološke obnove obalnih ekosistemov v bližini degradiranega mokrišča je ustvarjanje novega travnika prave morske trave in umetnih podvodnih grebenov. Rezultati raziskave so pokazali, da je na območju umetnih podvodnih grebenov prišlo do povečanja gostote juvenilnih osebkov ribe *Paralabrax nebulifer*. Povečani gostoti juvenilnih osebkov je sledilo tudi večanje gostote odraslih, kar nakazuje na to, da so umetni grebeni povečanju populacij ekonomsko pomembnih vrst (Pondella in sod. 2006).

Ekološka obnova je v večini primerov zelo težaven proces zaradi omejenega poznavanja tehnik obnove in nepredvidljivosti okoljskih razmer v prihodnosti. Prav zaradi tega je pomembno, da pred začetkom ekološke obnove najprej določimo moteče dejavnike, ki so privedli do degradacije ekosistema, nato pa izberemo najbolj primerno orodje za obnovo, ki bo v danem območju omogočalo doseganje zastavljenih ciljev (Abelson 2006). Potrebno je tudi upoštevati biološke, fizikalne in kemične dejavnike poškodovanega in novega habitata. Pri obnovi ekosistema je nujno upoštevati tudi vse ekosisteme s katerimi je degradiran ekosistem povezan. Samo z razumevanjem teh dejavnikov lahko zagotavljamo razmere, ki bodo omogočale uspešnost takih projektov (Pratt 1994).

2.5 Učinkovitost umetnih podvodnih grebenov

Kljub pozitivnim rezultatom nekaterih raziskav je negotovost o učinkovitosti umetnih podvodnih grebenov še vedno velika (Wilson in sod. 2001; Osenberg in sod. 2002). Negotovost o učinkovitosti umetnih podvodnih grebenov je rezultat dejstva, da so morski ekosistemi variabilni in da je dinamika populacij morskih organizmov pod vplivom številnih dejavnikov, ki niso dobro poznani. Obenem izhaja tudi iz pomanjkanja raziskav o vplivu nekaterih umetnih podvodnih grebenov na okolico ter iz postavljanja takih umetnih podvodnih grebenov, ki niso bili predmet znanstvenih programov (Osenberg in sod. 2002).

Po mnenju nekaterih avtorjev (npr. Davis in sod. 1982) velja mnenje, da je postavljanje umetnih podvodnih grebenov na morsko dno način izboljšanja navidezne »puščave« mehkega morskega dna s postavljanjem primernega habitata za ciljne vrste organizmov. Vendar postavljanje takih objektov ne vpliva samo na neposredno lokacijo postavitve, temveč lahko povzroča tudi številne posledice za mehko dno v okolici umetne strukture. Postavitev umetnih podvodnih grebenov na morsko dno ima lahko številne posledice za okolje in morske organizme, saj lahko povzroči smrt organizmov morskega dna na lokaciji postavitve (Ambrose in Anderson 1990), spremembo fizičnih in bioloških značilnosti okolja (Davis in sod. 1982; Turner in sod. 1969; Ambrose in Anderson 1990), spremembo vsebnosti organskih snovi v sedimentu (Ambrose in Anderson 1990; Davis in sod. 1982), povečan pritisk plenilcev (Randall 1963; Davis in sod. 1982) in vnos ter širjenje invazivnih vrst (Bulleri in Airoidi 2005). Vsi ti negativni vplivi umetnih podvodnih grebenov lahko privedejo do poškodb habitatov, zlasti takih, ki jih zaznamuje visoka stopnja produktivnosti (Barber in sod. 2009). Vpliv umetnih podvodnih grebenov na bentoške organizme v bližini teh je bil v nekaterih raziskavah potrjen (Davis in sod. 1982; Ambrose in Anderson 1990; Fabi in sod. 2002). Vpliv rezidentnih vrst rib na ribje vrste mehkega dna se v nekaterih primerih kaže s povečanim pritiskom plenilcev in kompeticije (Randall 1963; Davis in sod. 1982; Bohnsack in Sutherland 1985). V Kaliforniji je najbolj očiten vpliv postavitve umetnega podvodnega grebena izginjanje morskega peresa vrste *Stylatula elongata* zaradi plenjenja s strani tistih vrst, ki jih umetna struktura privlači (Davis in sod. 1982). Rezultati drugih raziskav pa kažejo na to, da na infauno mehkega dna bolj vplivajo fizični dejavniki kot povečan plenilski pritisk po postavitvi umetnega podvodnega grebena (Ambrose in Anderson 1990; Jensen in sod. 1994; Fabi in sod. 2002). Zmanjšana gostota mnogoščetinca *Prionospio pygmaeus* v Kaliforniji po postavitvi umetnega podvodnega grebena je rezultat spremenjenih razmer okolja, ki jih je povzročala postavitev (Ambrose in Anderson 1990). Še ena negativna posledica postavitve umetnih podvodnih grebenov je razširjanje invazivnih vrst v morskem okolju. Tveganje se pojavi zlasti v okoljih, kjer je prisotnost naravnih grebenov redka. Raziskave v Jadranskem morju so namreč razkrile uspešno naselitev vrste *Codium fragile* ssp. *tomentosoide* na valobranih, ki je vodila v hitro razširjanje te invazivne vrste proti severu (Bulleri in Airoidi 2005).

Včasih pa vpliv, ki ga imajo umetni podvodni grebeni na favno v bližini struktur ni nujno negativen. V Kaliforniji so tako ob zmanjšani gostoti mnogoščetinca *P. pygmaeus* v bližini umetne strukture ugotovili tudi povečano gostoto predstavnikov iz rodu *Spiophanes* (Ambrose in Anderson 1990). Pozitivni vpliv umetnih struktur so se izkazali tudi v povečani gostoti mnogoščetinca vrste *Diopatra ornata*. Povečanje gostote te vrste je nato vplivala na splošno povečanje gostote predstavnikov infavne (živali, ki kopajo rove v podlago in ki živijo zakopane v morskem dnu). Dokazali so, da je gostota infavne večja na območjih, kjer je vrsta *D. ornata* prisotna (Davis in sod. 1982; Ambrose in Anderson 1990).

Številni avtorji poročajo o povečani gostoti ribjih populacij na območju umetnih podvodnih grebenov (Randall 1963; Matthews 1985; Ambrose in Swarbrick 1989; Clark in Edwards 1994; Charbonnel in sod. 2000; Ramos-Espla in sod. 2000; Rilov in Benayahu 2000; Koeck in sod. 2014). Vendar ta podatek ne omogoča sklepanja o učinkovitosti samega umetnega podvodnega grebena, saj ne omogoča razumevanja mehanizmov, ki so do takega rezultata privedli. Dva mehanizma lahko vplivata na povečano gostoto morskih organizmov na umetnih podvodnih grebenih in sicer: privabljanje in produkcija (Bohnsack 1989). Prvi mehanizem privablja organizme na območje umetnega substrata iz bližnjega okolja (Matthews 1985; Wilson in sod. 2001) in vpliva na povečanje populacij na umetnem podvodnem grebenu ter posledično zmanjšanje populacij na naravnem grebenu (Wilson in sod. 2001; Osenberg in sod. 2002). Za okolja, ki organizme privabljajo je značilno, da celokupna produkcija in biomasa umetnega in naravnega grebena ostaneta po postavitvi nespremenjena (Matthews 1985; Wilson in sod. 2001). Privabljanje ni vedno tako enostaven proces, saj je odvisen tudi od gostotno-odvisnih procesov, ki urejajo dinamiko določene populacije (Wilson in sod. 2001; Osenberg in sod. 2002). Privabljanje se največkrat odraža na območjih, kjer so v bližini prisotni naravni grebeni in kjer je stopnja izkoriščanja populacij velika. Mehanizem privabljanja deluje zlasti na vrste, ki so mobilne ali le delno odvisne od grebena ter na oportunistične vrste (Bohnsack 1989). Nasprotje privabljanju predstavlja produkcija, ki nima nobenega vpliva na ekosistem v bližini (Osenberg in sod. 2002). Umetni podvodni greben v tem smislu vnaša v ekosistem nov vir hrane, poveča učinkovitost hranjenja, omogoča večjo varnost pred plenilci in omogoča naseljevanje tistih organizmov, ki potrebujejo trden substrat za njihov nadaljnji razvoj. Vse to lahko v ekosistemu vpliva na povečanje celokupne biomase (Bohnsack 1989). Mehanizem produkcije vpliva na povečanje produkcije na umetnem podvodnem grebenu, vendar pri tem ne vpliva na zmanjšanje produkcije na naravnem grebenu. Končni rezultat je torej povečana celokupna produkcija umetnega in naravnega grebena (Osenberg in sod. 2002). Produkcija se lahko odraža na umetnih podvodnih grebenih, ki jih zaznamuje večja izolacija od naravnih grebenov in za vrste, ki so teritorialne, popolnoma odvisne od grebena ter za vrste, ki so habitatno omejene (Bohnsack, 1989). Določitev mehanizmov, ki delujejo na povečano gostoto populacij na umetnih podvodnih grebenih ni vedno

enostavno, zlasti zato, ker verjetno večina realnih sistemov deluje nekje vmes med privabljanjem in produkcijo (Bohnsack 1989; Wilson in sod. 2001; Osenberg in sod. 2002). Ocena učinkovitosti umetnega grebena je zato nujno povezana z razumevanjem obsega delovanja privabljanja in produkcije na določenem umetnem podvodnem grebenu (Bohnsack 1989).

Preglednica 2. Pozitivni in negativni vplivi umetnih podvodnih grebenov

Pozitivni vplivi	Avtor
Vnašanje novega vira hrane v ekosistem	Bohnsack 1989
Povečanje učinkovitosti hranjenja	Bohnsack 1989
Omogočanje večje varnosti pred plenilci	Bohnsack 1989
Omogočanje naseljevanja organizmov, ki potrebujejo trdni substrat za njihov nadaljnji razvoj	Bohnsack 1989
Povečanje celokupne biomase	Bohnsack 1989
Povečanje gostote nekaterih organizmov v bližini le teh	Davis in sod. 1982; Ambrose in Anderson 1990
Negativni vplivi	Avtor
Pomor organizmov morskega dna na lokaciji postavitve	Ambrose in Anderson 1990
Sprememba fizičnih in bioloških značilnosti okolja	Davis in sod. 1982; Turner in sod. 1969; Ambrose in Anderson 1990
Sprememba vsebnosti organskih snovi v sedimentu	Ambrose in Anderson 1990; Davis in sod. 1982
Povečan pritisk plenilcev	Randall 1963; Davis in sod. 1982
Vnos in širjenje invazivnih vrst	Bulleri in Airoidi 2005
Zmanjšanje gostote nekaterih organizmov v bližini le teh	Davis in sod. 1982; Ambrose in Anderson 1990; Fabi in sod. 2002
Zmanjšanje populacij morskih organizmov na naravnem grebenu	Wilson in sod. 2001; Osenberg in sod. 2002
Poškodovanje habitatov, ki jih zaznamuje visoka stopnja produktivnosti	Barber in sod. 2009

Učinkovitost umetnega podvodnega grebena lahko ocenimo na podlagi rezultatov monitoringov opravljenih po postavitvi (Bohnsack in Sutherland 1985; Seaman 1996; Bressan 2001). Primerjava med umetnimi in naravnimi grebeni ali drugimi kontrolnimi območji je najbolj uporabljen način za določanje učinkovitosti umetnih podvodnih

grebenov (Bohnsack in Sutherland 1985). Rezultati takih raziskav so večkrat pokazali, da poleg gostote tudi abundanca (Rilov in Benayahu 2000), vrstna pestrost (Ambrose in Swarbrick 1989; Rilov in Benayahu 2000; Koeck in sod. 2014;) in biomasa (Randall 1963; Ambrose in Swarbrick 1989; Simon in sod. 2013) ribjih vrst na umetnih podvodnih grebenih dosegajo višje vrednosti v primerjavi z naravnimi grebeni v bližini. Niso pa vse raziskave pokazale tako pozitivnih rezultatov. Dve raziskavi izvedeni v Sredozemskem morju sta dokazali, da so abundanca rib (Bayle-Sempere in sod. 1994), srednja vrstna pestrost in gostota ribjih vrst na umetnih podvodnih grebenih manjša od naravnih grebenov (Pascaline in sod. 2011). Matthews (1985) je obravnaval umetni podvodni greben v Kaliforniji in ga ocenil kot neučinkovitega, ker je privabljal ribe iz bolj varnega naravnega grebena na območje umetnega podvodnega grebena, kjer je pritisk ribolova večji (Matthews 1985). Nekatere raziskave so obravnavale združbe mehkužcev umetnih in naravnih grebenov in so dokazale, da so gostota osebkov, biomasa in produkcija umetnih podvodnih grebenov primerljive z naravnimi grebeni, čeprav se združbe mehkužcev med seboj zelo razlikujejo (Bombace in sod. 1994; Badalamenti in sod. 2002). Razlike v bioloških združbah naravnih in umetnih podvodnih grebenov so opazili še številni drugi raziskovalci, ki pa so se ukvarjali z ribjimi združbami (Randall 1963; Clark in Edwards 1994; Rilov in Benayahu 2000; Badalamenti in sod. 2002; Perkol-Finkel in sod. 2006; Simon in sod. 2013; Koeck in sod. 2014). Združbe naravnih in umetnih podvodnih grebenov so se v sklopu teh raziskav razlikovale v trofični strukturi (Simon in sod. 2013), v njihovem delovanju (Koeck in sod. 2014) ali v sestavi združb (Clark in Edwards 1994). Zaključimo lahko, da so na podlagi primerjave umetnih in naravnih morskih grebenov raziskovalci zabeležili tako uspeh kot neuspeh tovrstnih projektov. Neuspeh so beležile zlasti tiste raziskave, ki so uporabile neprimerne oblike, materiale ali načine postavljanja umetnih struktur (Bayle-Sempere in sod. 1994; Simon in sod. 2013) in tiste, ki niso zagotovile ustreznega varstvenega režima po postavitvi umetnih podvodnih grebenov (Matthews 1985; Pascaline in sod. 2011).

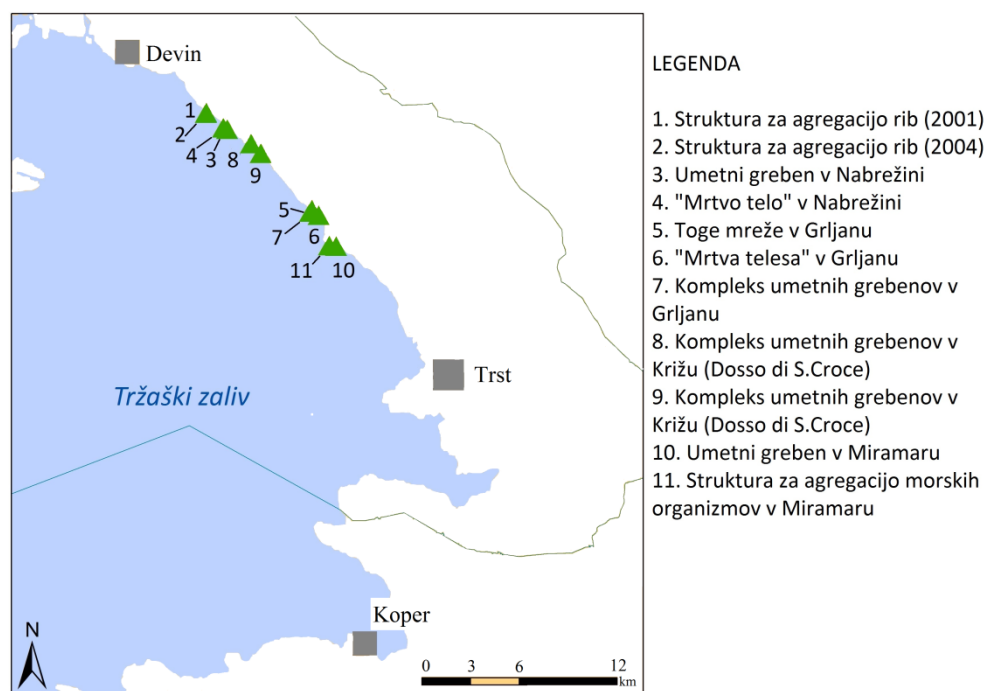
Drugi način ugotavljanja učinkovitosti umetnih podvodnih grebenov je primerjava bioloških združb na istem območju pred in po postavitvi umetnega podvodnega grebena. Rezultati takih raziskav so pokazali, da se je biološka združba na območju umetnega podvodnega grebena popolnoma spremenila (Bombace in sod. 1994; Herrera in sod. 2002). Bombace in sodelavci (1994) so ugotovili, da se sprememba biološke združbe pojavi tako pri ribjih združbah kot pri mehkužcih in rakah v Jadranskem morju. Vrstna pestrost na območju novega umetnega podvodnega grebena je večja zlasti na tistih lokacijah, ki imajo določeno stopnjo izolacije od naravnih ali drugih umetnih struktur (Walsh 1985; Bombace in sod. 1994; Herrera in sod. 2002).

2.6 Umetni podvodni grebeni v Tržaškem zalivu

Tržaški zaliv je najsevernejši del Jadranskega morja. Posebna topografija dna, sladkovodni dotoki, atmosferski vplivi in izmenjava vodnih mas vplivajo na veliko spremenljivost razmer v morskem okolju tekom leta na tem delu Jadranskega morja (Bonaca in sod. 2011). Taka velika spremenljivost, pojav občasnih hipoksij in večja izpostavljenost sedimentaciji ustvarja razmere, ki niso ugodne za življenje mnogih vrst (Fonda 1996). Kljub temu je Tržaški zaliv okolje, ki ga zaznamuje visoka produktivnost. Ta je zlasti posledica dotoka s hranilnimi snovmi bogatih voda rek Severnega Jadrana (Bonaca in sod. 2011). Tega zaznamuje muljasto in peščeno dno, ki pa ga prekinja razpršena prisotnost trdnega dna. Apnenčaste tvorbe na plitvem morskem dnu so dobile italijansko ime »trezze« in se raztezajo od Tržaškega zaliva do Ancone (Borme in sod. 2011). Dno slovenskega morja v večini prekriva sedimentna podlaga, medtem ko je trdnega, kamnitega dna zelo malo. Ta se pojavlja v obliki osamelcev, ki so večinoma potopljene umetne strukture, prisotnih pa je tudi nekaj biogenih struktur (Bonaca in sod. 2011). Raziskave na biogenih strukturah na italijanskem ozemlju so dokazale, da predstavljajo kamniti osamelci prave »otoke biodiverzitete« (Borme in sod. 2011).

Ideja o postavitvi umetnih podvodnih grebenov v Tržaškem zalivu se je porodila tudi pri slovenskih in italijanskih biologih. Načrt modela umetnega podvodnega grebena v Piranu je predstavil biolog Ugo Fonda (1996), ki je izrazil potrebo po postavitvi umetnih podvodnih grebenov zaradi negativnih vplivov delovanja človeka na morski ekosistem, ki naj bi vplivale na izginjanje nekaterih vrst kot so: morska mačka (*Scyliorhinus canicula*), velika škarpna (*Scorpaena scrofa*), romb (*Bothus maximus*), zobatec (*Dentex dentex*) in veliki morski pajek (*Maja squinado*) iz slovenskega morja. Poleg antropogenih motenj so bili vzrok, ki je vodil biologa k izdelavi modela za umetne podvodne grebene tudi nekateri dejavniki, kot so plitvina morja, majhna razgibanost dna, večja izpostavljenost nalaganju sedimenta, velika temperaturna nihanja ter občasne hipoksije, ki predstavljajo v Tržaškem zalivu manj ugodne življenjske razmere za mnoge vrste (Fonda 1996). V italijanskih vodah Tržaškega zaliva so konec sedemdesetih let začeli graditi pilotne umetne podvodne grebene v študijske namene (Orel in sod. 2006). V Tržaškem zalivu je danes enajst umetnih podvodnih grebenov (slika 5), ki so bili ciljno postavljeni v morsko okolje. Eden izmed teh leži v zavarovanem območju Miramar (Odorico in sod. 2008). Skupina umetnih podvodnih grebenov v bližini peščene plitvine pri Križu (»Dosso di Santa Croce«) pa je bila zavarovana po postavitvi kompleksa na morsko dno. Italijanske izkušnje postavljanja umetnih podvodnih grebenov v Tržaškem zalivu so pokazale, da številne izmed teh struktur privabljajo organizme, medtem ko nekatere predstavljajo tudi pomembna območja za razmnoževanje lignjev (*Loligo* sp.), sip (*Sepia* sp.) in predstavnikov polžev zaškrigarjev (Opisthobranchia) (Odorico in sod. 2008). Podrobne raziskave glede naseljevanja in vpliva, ki ga imajo umetni podvodni grebeni v Tržaškem zalivu so bile opravljene v sklopu projekta INTERREG II (2001) in INTERREG III (2006), kjer so se osredotočili na skupino

umetnih morskih struktur na peščeni plitvini pri Križu. Rezultati preliminarnih raziskav, ki so bile izvedene v obdobju med drugim in tretjim letom starosti umetnih struktur, so pokazali, da je prišlo po tako kratkem času od postavitve umetnih grebenov do povečane biodivezite na območju umetnih podvodnih grebenov (Specchi in sod. 2001; Miletić in sod. 2001). Prišlo je tudi do povišanja abundance larvalnih stadijev rib, ki so značilne za morske grebene, kar nakazuje na to, da lahko umetni podvodni grebeni omogočijo nastanek nove ribje združbe (Miletić in sod. 2001). V Tržaškem zalivu je prišlo tudi do poskusa postavitve umetnih podvodnih grebenov s ciljem izboljšanja kvalitete morske vode (Stachowitsch 1998). Taki umetni podvodni grebeni delujejo na principu izrabljanja naravnih sposobnosti čiščenja vode filtratorskih organizmov, katerih larvalni stadiji so že naravno prisotni v planktonu. Rezultati raziskave so pokazali, da lahko gosto naseljena obrast prečrpa več kot 1000 litrov vode na dan. S postavitvijo majhnih »bioloških precejevalnih postaj« so znanstveniki dosegli močno obrast struktur s filtratorskimi organizmi, ki so nato potonili na dno, kjer so vplivali tudi k obnavljanju izvorne bentoške skupnosti (Stachowitsch 1998).



Slika 5. Umetni podvodni grebeni v Tržaškem zalivu.

3 ZAKLJUČEK

Na podlagi pregledane literature je razvidno, da so umetni podvodni grebeni veliko več kot zgolj orodja za upravljanje z ribolovnimi viri. Raziskave so pokazale, da ima uporaba le teh lahko številne pozitivne in tudi negativne učinke na morske ekosisteme. Uporaba umetnih podvodnih grebenov kot varstveno orodje se je v nekaterih primerih izkazala kot učinkovito. Umetni podvodni grebeni v obravnavanih raziskavah so predstavljali učinkovite fizične pregrade pred lovom z vlečnimi mrežami in učinkovita orodja za obnovo nekaterih degradiranih ekosistemov, pri katerih je bil proces samo-obnove še posebno težaven. Kljub temu so vplivi, ki jih lahko imajo umetni podvodni grebeni na okolje lahko tudi negativni. O neuspehu so poročali zlasti v tistih raziskavah, kjer so uporabili neprimerne oblike, materiale ali načine postavljanja struktur in tiste v katerih niso zagotovili ustreznega varstvenega režima po postavitvi. Potrebno je poudariti, da je negotovost o učinkovitosti umetnih podvodnih grebenov še vedno velika. Razlog temu ni samo variabilnost morskih ekosistemov in številnih nepoznanih dejavnikov, ki vplivajo na dinamiko populacij, ampak tudi pomanjkanje kvalitetnih raziskav, ki imajo ustrezno znanstveno osnovo. Tu je treba omeniti tudi pomanjkanje protokolov za izvajanje monitoringov, ki bi omogočali pridobivanje primerljivih rezultatov. Zaključimo lahko, da je za doseganje uspeha ukrepov varstva narave z uporabo umetnih podvodnih grebenov potrebno nujno upoštevati posamezne razmere v določenem okolju. Zlasti zaradi omejenega poznavanja vplivov umetnih podvodnih grebenov na določeno okolje in nepredvidljivosti okoljskih razmer v prihodnosti lahko nepoznavanje in neupoštevanje razmer v okolju privede do neuspeha postopka obnove, poleg tega pa ima lahko tudi negativne posledice na morski ekosistem.

4 LITERATURA IN VIRI

- Abarzua S., Jakubowski S. 1995. Biotechnological investigation for the prevention of biofouling. I. Biological and biochemical principles for the prevention of biofouling. *Marine Ecological Progress Series* 123: 301-312.
- Abelson A. 2006. Artificial Reefs VS Coral Transplantation as restoration tools for mitigating coral reef deterioration: benefits, concerns and proposed guidelines. *Bulletin of Marine Science* 78 (1): 151-159.
- Alevizon W. S., Gorham J. C. 1989. Effects of artificial reef deployment on nearby resident fishes. *Bulletin of Marine Science* 44 (2): 646-661.
- Ambrose R. F., Anderson T. W. 1990. Influence of an artificial reef on the surrounding infaunal community. *Marine Biology* 107: 41-52.
- Ambrose R. F., Swarbrick S. L. 1989. Comparison of fish assemblages on artificial and natural reefs off the coast of Southern California. *Bulletin of marine science* 44 (2): 718-733.
- Al-Horani F. A., Khalaf M. A. 2013. Developing artificial reefs for the mitigation of man-made coral reef damages in the Gulf of Aqaba, Red Sea: coral recruitment after 3,5 years of deployment. *Marine Biology Research* 9 (8): 749-757.
- Ardizzone G. D., Gravina M. F. in Belluscio A. 1989. Temporal development of epibenthic communities on artificial reefs in the central Mediterranean sea. *Bulletin of marine science* 44 (2): 592-608.
- Badalamenti F., Chemello R., D'Anna G., Ramos P. H., Riggio S. 2002. Are artificial reefs comparable to neighbouring natural rocky areas? A mollusc case study in the Gulf of Castellammare (NW Sicily). *ICES Journal of Marine Science* 59: 127-131.
- Barber J. S., Chosid D. M., Glenn R. P., Whitmore K. A. 2009. A systematic model for artificial reef site selection. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 43: 283-297.
- Bayle-Sempere J., Ramos-Esplà A. A., Charton J. A. G. 1994. Intra-annual variability of an artificial reef fish assemblage in the marine reserve of Tabarca (Alicante, Spain, SW Mediterranean). *Bulletin of Marine Science* 55 (2-3): 824-835.
- Baynes W. T., Szmant A. M. 1989. Effect of current on the sessile benthic community structure of an artificial reef. *Bulletin of Marine Science* 44 (2): 545-566.
- Bohnsack J. A., Sutherland D. L. 1985. Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities. *Bulletin of marine science* 37(1): 11-39.
- Bohnsack J. A. 1989. Are high densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preference? *Bulletin of Marine Science* 44 (2): 631-645.
- Bombace G. 1989. Artificial reefs in Mediterranean sea. *Bulletin of marine science* 44(2): 1023-1032.
- Bombace G., Fabi G., Fiorentini L., Speranza S., 1994. Analysis of the efficacy of artificial reefs located in five different areas of the Adriatic sea. *Bulletin of marine science* 55 (2-3): 559-580.

Bonaca O., Bonaca M., Lipej L., Malej A., France J., Čermelj B., Bajt O., Kovač N., Mavrič B., Turk V., Mozetič P., Ramšak A., Kogovšek T., Šiško M., Flander Putrle V., Grego M., Tinta T., Petelin B., Vodopivec M., Jeromel M., Martinčič U., Malačič V. 2011. Opredelitev okoljskega stanja morja in analiza prevladujočih pritiskov in vplivov v skladu z Okvirno direktivo o morski strategiji (Marine Strategy Framework Directive) -2. Faza. Zaključno poročilo za leto 2011. Piran, Morska Biološka Postaja, Nacionalni Inštitut za Biologijo.

Borme D., Cibic T., Ciriaco S., Falace A., Faresi L., Gordini E., Kaleb S., Odorico R., Poloniato P., Tempesta M. 2011. Le trezze dell'alto adriatico: studio preliminare degli Affioramenti rocciosi denominati s. Pietro e Bardelli - Trezze in northern Adriatic sea: a preliminary study of S. Pietro and bardelli rocky outcrops. 42° Congresso della Società Italiana di Biologia Marina Olbia (OT): 216-217.

Bressan G. 2001. Studio della produttività primaria e della produzione secondaria delle strutture artificiali sommerse poste in prossimità del dosso di S.Croce (Golfo di Trieste, Alto Adriatico). Trst, Edizioni Università di Trieste.

Bressan G. 2006. Studio della produttività primaria e della produttività secondaria delle strutture artificiali sommerse poste in prossimità del dosso di S.Croce (Golfo di Trieste, Alto Adriatico). Trst, Edizioni Università di Trieste.

Brock R. E. 1994. Beyond fisheries enhancement: Artificial Reefs and ecotourism. *Bulletin of Marine Science* 55 (2-3): 1181-1188.

Bulleri F., Airoidi L. 2005. Artificial marine structures facilitate the spread of a non-indigenous green alga, *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in the North Adriatic Sea. *Journal of Applied Ecology* 42: 1063-1072.

Castro P., Huber M. E. 2013. *Marine biology*. New York, McGraw-Hill Companies.

Charbonnel E., Francour P., Harmelin J. G., Ody D., Bachet F. 2000. Effects of Artificial Reef Design on Associated Fish Assemblages in Cote Bleue Marine Park (Mediterranean Sea, France). V: Jensen A. C. in sod. (ur). *Artificial Reefs in European Seas*. Kluwer Academic Publishers: 365-377.

Charbonnel E., Serre C., Ruitton S., Harmelin J. G., Jensen A. 2002. Effects of increased habitat complexity on fish assemblages associated with large artificial reef units (French Mediterranean coast). *ICES Journal of Marine Science* 59: 208-213.

Clark S., Edwards A. J. 1994. Use of artificial reef structures to rehabilitate reef flats degraded by coral mining in the Maldives. *Bulletin of Marine Science* 55 (2-3): 724-744.

Collins K. J., Jensen A. C., Lockwood A. P. M., Lockwood S. J. 1994. Coastal structures, waste materials and Fishery enhancement. *Bulletin of Marine Science* 55 (2-3): 1240-1250.

Cox C. B, Moore P. D. 2010. *Biogeography: an ecological and evolutionary approach*. United States of America, John Willey and Sons Inc.

Davis N., VanBlaricom G. R. in Dayton P. K. 1982. Man-Made Structures on Marine Sediments: Effects on Adjacent Benthic Communities. *Marine Biology* 70: 295-303.

Dobson M., Frid C. 2009. *Ecology of Aquatic Systems*. New York, Oxford University Press Inc.

- Dudley N. 2008. Guidelines for applying protected area management categories. IUCN. Gland, Switzerland.
- Fabi G., Fiorentini L. 1994. Comparison between an artificial reef and a control site in the Adriatic sea: analysis of four years of monitoring. *Bulletin of Marine Science* 55 (2-3): 538-558.
- Fabi G., Luccarini F., Panfili M., Solustri C., Spagnolo A. 2002. Effects of an artificial reef on the surrounding soft-bottom community (central Adriatic Sea). *ICES Journal of Marine Science* 59: 343–349.
- Fabi G., Spagnolo A., Santini D. B., Charbonnel E., Çiçek B. A., García J. J. G., Jensen A. C., Kallianiotis A., Santos M. N. 2011. Overview on Artificial Reefs in Europe. *Brazilian journal of oceanography* 59 (special issue CARAH): 155-166.
- FAO 2001. Fisheries and Aquaculture topics. Impacts on the ecosystem. Topics Fact Sheets. <http://www.fao.org/fishery/topic/2889/en> (datum dostopa 20.02.2015)
- Fonda U. 1996. Umetni podvodni grebeni ena izmed možnosti za vzdrževanje biotske raznovrstnosti v slovenskem morju. *Annales* 9: 231-234.
- GESAMP 1990. The State of the Marine Environment. UNEP Regional Seas. Rep. Stud. 39: 1-104.
- Gonzalez-Correa J. M., Baylea J. T., Sanchez-Lizaso J. L., Vallea C., Sanchez-Jereza P., Ruiz J. M. 2005. Recovery of deep *Posidonia oceanica* meadows degraded by trawling. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 320: 65–76.
- Herrera R., Espino F., Garrido M., Haroun R. J. 2002. Observations on fish colonization and predation on two artificial reefs in the Canary Island. *ICES Journal of Marine Science* 59: 69-73.
- Hunter M. L., Gibbs J. P. 2007. *Fundamentals of Conservation Biology*. Australia, Blackwell Publishing.
- Jackson L. F., Miller J. L. B. 2009. Assessment of construction of placement of artificial reefs. OSPAR commission.
- Jensen A. C., Collins K. J., Lockwood A. P. M., Mallinson J. J., Turpenny W. H. 1994. Colonization and fishery potential of a coal-ash artificial reef, Pool Bay, United Kingdom. *Bulletin of Marine Science* 55 (2-3): 1263-1276.
- Jensen A. 2002. Artificial reefs in Europe: perspective and future. *ICES Journal of Marine Science* 59: 3-13.
- Kennish R., Wilson K. D. P., Lo J., Clarke S. C., Laister S. 2002. Selecting sites for large-scale deployment of artificial reefs in Hong Kong: constraint mapping and prioritization techniques. *ICES Journal of Marine Science* 59: 164–170.
- Koeck B., Tessier A., Brind'Amour A., Pastor J., Bijaouri B., Dalias N., Astruch P., Saragoni G., Lenfant P. 2014. Functional differences between fish communities on artificial and natural reefs: a case study along the French Catalan coast. *Aquatic Biology* 20: 219-234.
- MacArthur R. H., Wilson E. O. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17: 373-387.

MacArthur R. H., Wilson E. O. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Madžarevič B. 2000. *Slovar slovenskega knjižnega jezika*. Ljubljana, Mladinska knjiga.

Matthews K. R. 1985. Species similarity and movement of fishes on natural and artificial reefs in Monterey Bay, California. *Bulletin of Marine Science* 37 (1): 252-270.

Miletić M., Bottos P., Sciolis D., Capon R., Vanzo S., Pizzul E., Specchi M. 2001. First observations at the artificial reef submerged on the sandbank off Santa Croce (Trieste, Italy). *Annales Ser. hist. nat.* 11, 2(25): 159-168.

Miller M. W. 2002. Using ecological processes to advance artificial reef goals. *ICES Journal of Marine Science* 59: 27-31.

Odorico R., Piron M., Ciriaco S., Franci C., Poloniato D., Vinzi E., De Waldestein W. 2008. Studio sulla "Mappatura e caratterizzazione delle strutture artificiali del Golfo di Trieste" di cui alle linee d'azione 5.4 del progetto "ARIES Pesca 2004-2006 – 3° annualità".

Orel G., Valente R., Zamboni R., De Walderstein W. 2006. Popolamenti ittici. V: Bressan G. (ur). Studio della produttività primaria e della produttività secondaria delle strutture artificiali sommerse poste in prossimità del dosso di S.Croce (Golfo di Trieste, Alto Adriatico). Edizioni Università di Trieste: 87-106.

Osenberg C. W., St. Mary C. M., Wilson J. A., Lindberg W. J. 2002. A quantitative framework to evaluate the attraction–production controversy *ICES Journal of Marine Science* 59: 1-8.

Pascaline B., Catherine S., Charbonnel E., Patrice F. 2011. Monitoring of the artificial reef fish assemblages of Golfe Juan Marine Protected Area (France, North-Western Mediterranean). *Brasilian Journal of Oceanography* 59 (special issue CARAH): 167-176.

Pergent G., Semroud R., Djellouli A., Langar H., Duarte, C. 2010. *Posidonia oceanica*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. www.iucnredlist.org (Datum dostopa: 10.03.2015).

Perkol-Finkel S., Shashar N., Benayahu Y. 2006. Can artificial reefs mimic natural reef communities? The roles of structural features and age. *Marine Environmental Research* 61: 121-135.

Pondella D. J., Allen L. G., Craig M. T., Gintert B. 2006. Evaluation of eelgrass mitigation and fishery enhancement structures in San Diego bay, California. *Bulletin of Marine Science* 78 (1): 115-131.

Pratt J. R. 1994. Artificial habitats and ecosystem restoration: managing for the future. *Bulletin of marine science* 55 (2-3): 268-275.

Rabalais N. N. 2005. The potential for Nutrient Overenrichment to Diminish Marine Biodiversity. V: Norse E. A., Crowder L. B. (ur). *Marine Conservation Biology (the science of maintaining the sea's biodiversity)*. Island Press: 109- 122.

Ramos-Espla A. A., Guillen J. E., Bayle J. T., Sanchez-Jerez P. 2000. Artificial Anti-trawling Reefs off Alicante, South Eastern Iberian Peninsula: Evolution of Reef Block and

Set Designs. V: Jensen A. C. in sod. (ur). *Artificial Reefs in Europaean Seas*. Kluwer Academic Publishers: 195-128.

Randall J. E. 1963. An analysis of the fish populations on the artificial and natural reefs in the Virgin Islands. *Carib. J. Sci.* 3(1): 31-47.

Relini G., Fabi G., Santos M. N., Moreno I., Charbonnel E. 2007. Fisheries and their Management Using Artificial Reefs in the Northwestern Mediterranean Sea and Southern Portugal. *Americal Fisheries Society Symposium*: 587-594.

Richmond R. H. 2005. Recovering Populations and Restoring Ecosystems: Restoration of Coral Reefs and Related Marine Communities. V: Norse E. A., Crowder L. B. (ur). *Marine Conservation Biology (the science of maintaining the sea's biodiversity)*. Island Press: 393-409.

Rilov G., Benayahu Y. 2000. Fish assamblage on natural versus vertical artificial reefs: the rehabilitation perspective. *Marine Biology* 136: 931-942.

Roff J., Zacharias M. 2011. *Marine Conservation Ecology*. London, Earthscan.

Ruitton S., Francour P., Boudouresque C. F. 2000. Relationship between Algae, Benthic Herbivorous Invertebrates and Fishes on Rocky Sublittoral Communities of a Temperate Sea (Mediterranean Sea). *Estaurine, Costal and Shelf Science* 50: 217-230.

Ruiz G. M., Carlton J. T., Grosholz E. D., Hines A. H. 1997. Global Invasions of Marine and Estuarine Habitats by Non-Indigenous Species: Mechanisms, Extent and Consequences. *Amer. Zool.* 37: 621-632.

Seaman W. 1996. Does the level of design influence the success of an artificial reef? *Proceedings of the 1st Conference of the European Artificial Reefs Research Network*, 13.

Seaman W. 2007. Artificial habitats and the restoration of degraded marine ecosystems and fisheries. *Hydrobiologia* 580: 143-155.

SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group). 2004. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. http://www.ser.org/docs/default-document-library/ser_primer.pdf?sfvrsn=2 (Datum dostopa: 12.02.2015).

Sherman R. L., Gilliam D. S., Spieler R. E. 2002. Artificial reef design: void space, complexity and attractants. *ICES Journal of Marine Science* 59: 196-200.

Simon T., Joyeux J. C., Pinheiro H. T. 2013. Fish assemblages on shipwrecks and natural rocky reefs strongly differ in trophic structure. *Marine Environmental Research* 90: 55-65.

Snelgrove P. V. R. 1999. Getting to the Bottom of Marine Biodiversity: Sedimentary Habitats. *Bio Science* 49(2): 129-138.

Specchi M., Pizzul E., Miletich M., Bottos P. 2001. Approccio zoologico. V: Bressan G. (ur). *Studio della produttività primaria e della prduzione secondaria delle strutture artificiali sommerse poste in prossimità del dosso di S.Croce (Golfo di Trieste, Alto Adriatico)*. Edizioni Università di Trieste: 37-62.

Stachowitsch M. 1998. Biological filter stations: a new artificial reef concept to combat the effects of eutrophication in coastal seas. *Annales* 13: 7-14.

Talbot F. H., Russel B. C., Anderson G. R. 1978. Coral Reef fish communities: unstable, high-diversity systems? *Ecological Monographs* 48 (4): 425-440.

Turner C. H., Ebert E. E. in Given R. R. 1969. Man-Made Reef Ecology. *Fish bulletin* 46. file:///C:/Users/Sara%20Cernich/Desktop/Man-Made%20Reef%20Ecology.html (datum dostopa 11.11.2014).

UNEP MAP, 2005. Guidelines for the placement at sea of matter for purpose other than the mere disposal (construction of artificial reefs). Athens: UNEP(DEC)/MED WG. 270/10.

London Convention and Protocol/UNEP 2009. London Convention and Protocol/UNEP Guidelines for the Placement of Artificial Reefs. London, UK.

Vitousek P. M., Mooney H. A., Lubchenco J., Melillo J. M. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277: 494-499.

Walsh W. J. 1985. Reef fish community dynamics on small artificial reefs: the influence of isolation, habitat structure and biogeography. *Bulletin of Marine Science* 36 (2): 357-376.

Wilson J., Osenberg C. W., St. Mary C. M., Watson C. A., Lindberg W. J. 2001. Artificial reefs, the attraction-production issue, and density dependence in marine ornamental fishes. *Aquarium Sciences and Conservation* 3: 95-105.

Wilson K. D. P., Leung A. W. Y., Kennish R. 2002. Restoration of Hong Kong fisheries through deployment of artificial reefs in marine protected areas. *ICES Journal of Marine Science* 59: 157-163.

Woodhead P. M. J., Parker J. H., Duedall I. W. 1982. The Coal-Waste Artificial Reef Program (C-WARP): A New Resource for Fishing Reef Construction. *Marine Fisheries Review* 44 (6-7): 16-23.

Zedler J. B., Callaway J. C., Sullivan G. 2001. Declining Biodiversity: Why Species Matter and How Their Functions Might Be Restored in Californian Tidal Marshes. *Bio Science* 51 (12): 1005-1017.