

## SUVREMENE BESPILOTNE RONILICE (PODVODNA VOZILA)

Dario Matika<sup>1</sup>, Ivan Liović

<sup>1</sup>MORH - Institut za istraživanje i razvoj obrambenih sustava

### Sažetak

U članak se daje pregled suvremenih bespilotnih ronilica (podvodnih vozila) koje se koriste u komercijalne svrhe za potrebe pretraživanja, inspekcije i nadzora kao i podvodne radove u podmorju, morskom dnu, na podvodnim objektima i infrastrukturi, branama, cjevovodima, platformama i sl. građevinama gospodarske namjene, ali istraživanja morske flore i faune, ekoloških zagađenja i onečišćenja, kao i migracije riba i drugih podvodnih životinja. Prezentiraju se konkretni primjeri dviju temeljnih kategorije ronilica i to: daljinski upravljivih ronilica i autonomnih ronilica, te navodi se njihov povjesni razvoj i sadašnje stanje, kao i njihove mogućnosti u neposrednoj operativnoj primjeni. U završnom djelu članka prezentiraju se konkretni rezultati istraživanja na primjeru mapiranja sumnjivih objekata na morskom dnu, njihove detekcije i identifikacije, mapiranja stanja na morskom dnu, kao i određivanja fizičkih i bioloških karakteristika akvatorija primjenom odgovarajućih specijaliziranih senzora. U teorijskom smislu članak predstavlja doprinosi istraživanju i daljnjem razvoju podvodne mobilne robotike.

**Ključne riječi:** ronilica, podvodno vozilo, daljinski upravljana ronilica, autonomna ronilica

### 1. Uvod

Nova tehnologija i sve veća potreba za istraživanjem podmorja i morskog dna, uvjetovala je i potrebu za razvojem tehničkog sustava koji će moći izvoditi podvodne zadaće i istraživati podmorje odnosno morske dubine koje su nedostupne čovjeku iz fizičkih i sigurnosnih razloga. Tako na primjer u drugoj polovici dvadesetog stoljeća, razvojem elektronike, računarstva i telekomunikacija nastaju prve bespilotne ronilice koje se mogu samostalno kretati kroz vodu uz pomoć vlastitog pogona i upravljačkih sastavnica. Zahvaljujući upravo novoj tehnologiji i razvoju bespilotnih ronilica, danas se

provode razna oceanografska mjerenja na širokim prostorima, nadziru se morske površine i podmorja, obavljaju se istraživanja nad potonulim plovilima na velikim dubinama, izvode se ispitivanja postojećih, kao i analize za postavljanje novih podvodnih kablova odnosno naftnih i plinskih cjevovoda, i druga istraživanja podvodne flore i faune, kao i slična komercijalna istraživanja.

Čovjekova sklonost istraživanju vodenih površina stara je vjerojatno koliko i povijest ljudskog društva. Razlozi tome su uglavnom bili znatiželja, potraga za hranom i raznim sirovinama, te namjera da se iznenadi neprijatelj. To dokazuju i biseri nađeni u nekim egipatskim piramidama, starim preko 6500 godina, do kojih se moglo doći isključivo roneći. Osim fizičkog prisustva u podmorju, čovjek koristi i razne alate poput mreža, udica, vrša, te raznih konopa kojima mjeri dubinu i sakuplja hranu iz podmorja. Razvojem tehnologije razvijaju se i novi podvodni instrumenti i alati, a uređaji koji ih koriste postaju sve manji i imaju višestruku namjenu. Rezultat prije spomenutih nastojanja za osvajanje morskih dubina bila je prva podmornica, uvrštena u mornaricu SAD-a 1900. godine. Pojavom sonara i sličnih detekcijskih uređaja povećava se brzina i točnost mjerenja dubine, udaljenosti i prepoznavanja podvodnih objekata. Osim toga napreduje i razvoj elektroničkih komponenata, elektromotornih pogona, telekomunikacija, te automatskog upravljanja. Počinju se primjenjivati prva digitalna računala u stvarnom vremenu i umjetna inteligencija, što je uvelike pogodovalo razvoju suvremenih bespilotnih ronilica (podvodnih vozila bez posade) kao mobilnih podvodnih robota.

Prvu daljinski upravljivu ronilicu bez posade, naziva *Poodle*, izumio je Dimitri Rebikoff 1953. godine i služila je uglavnom kao pomoć pri arheološkim istraživanjima. Već 1960. godine američka mornarica razvija ronilicu pod nazivom *CURV* (engl. *Cable-Controlled Underwater Recovery Vehicle*). Pomoću nje 1966.

godine izvlače izgublenu nuklearnu bombu iz Mediteranskog mora s 869 metara dubine. Upotrebu ronilica prepoznaje i bogata naftna industrija, koja ih koristi na dubinama nedostižnim ljudskoj posadi. Prva komercijalna daljinski upravljana ronilica bila je ronilica *RCV-225* (engl. *Remotely Controlled Vehicle*) proizvođača *Hydro Products*. Projektirana je '70-tih godina prošlog stoljeća, a prvi prototip ronilice isporučen je 1974. godine tvrtki *Stolt-Nielsen Seaway Diving*, nakon čega počinje sve češća izgradnja i primjena istih za potrebe civilne industrije raznih namjena. Osim daljinski upravljivih podvodnih ronilica (vozila) bez posade, razvijaju se i ona autonomna. Prethodnik takvih ronilica bio je torpedo, koji je 1864. godine osmislio Giovanni Biagio Luppis von Rammer i proizvedeno je u Rijeci. U laboratoriju sveučilišta u Washingtonu 1957. godine nastaje prvo autonomno podvodno vozilo naziva *SPURV* (engl. *Special Purpose Underwater Research Vehicle*). Mogao je postići dubinu od 3000 metara i brzinu do 5 čvorova, a 70-ih godina prošlog stoljeća seriju sličnih ronilica razvija američko sveučilište MIT, te Sovjetski Savez. Šira primjena i serijska proizvodnja javlja se tek 90-ih godina prošlog stoljeća.

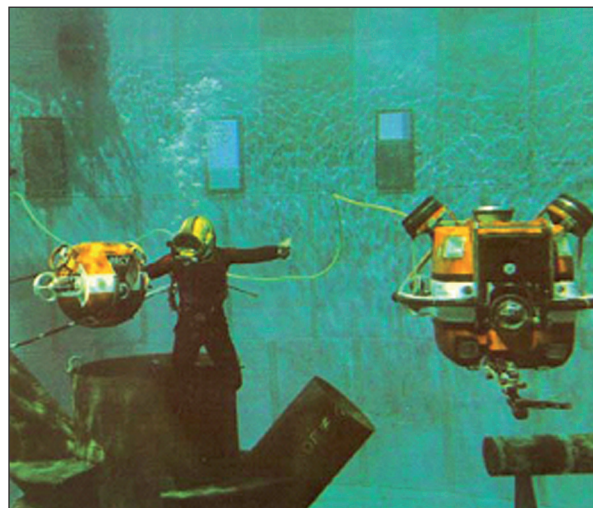
Slijedom dosad navedenog, podvodne bespilotne ronilice odnosno podvodna bespilotna vozila (engl. *Unmanned Underwater Vehicles, UUV*), u osnovi se mogu podijeliti na dvije klase: daljinski upravljane ronilice (engl. *Remotely Operated Vehicles, ROV*) i autonomne ronilice (engl. *Autonomous Underwater Vehicles, AUV*). U ovom će se članku dati osnovi pregled suvremenih bespilotnih ronilica i osvrt na njihovu primjenu u komercijalne svrhe, prije svega za pretraživanje, inspekciju i nadzor podmorja i morskog dna, kao i radove u takvoj sredini, kao i konkretni istraživački rezultati.

## 2. Glavni tipovi bespilotnih daljinski upravljivih ronilica

Kako je u uvodu naglašeno, prvu daljinski upravljivu ronilicu bez posade, naziva *Poodle*, izumio je Dimitri Rebikoff 1953. godine i služila je uglavnom kao pomoć pri arheološkim istraživanjima, dok je 1960. godine američka mornarica razvija ronilicu pod nazivom *CURV* (engl. *Cable-Controlled Underwater Recovery*



SI.2.1 –Ronilica *CURV II* (Izvor: [www.fas.org/irp/program/collect/curv2.jpg](http://www.fas.org/irp/program/collect/curv2.jpg)); (Izvor: [www.fas.org/irp/program/collect/curv2.jpg](http://www.fas.org/irp/program/collect/curv2.jpg))



SI.2.2 – Ronilice *RCV 225* i *RCV 150* [4]

*Vehicle*). Sestrinska ronilica *CURVII* prikazana je na slici 2.1.

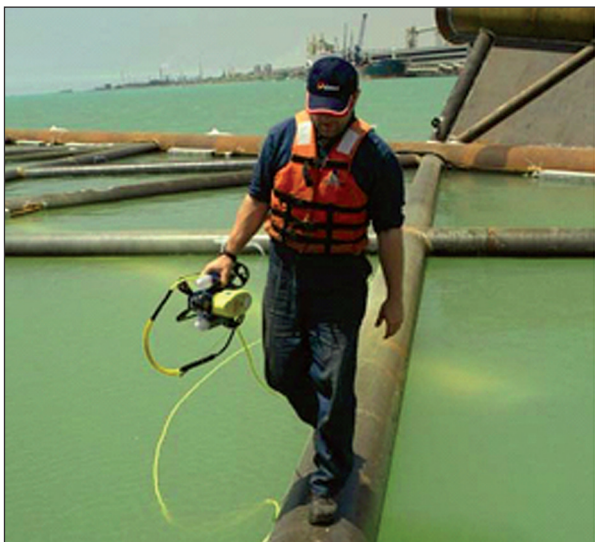
Na slici 2.2 prikazana je prva komercijalna daljinski upravljana ronilica tipa *RCV 225* i *RCV 150* proizvođača *Hydro Products*.

Daljinski upravljive ronilice *ROV* (engl. *Remotely Operated Underwater Vehicle*) u komercijalnoj su uporabi, kako je naglašeno i u uvodu, još od 70-tih godina prošlog stoljeća. [1]

Ronilica je povezana veznim kablom, takozvanom pupkovinom (engl. *Umbilical*), s matičnim brodom na kojem se nalazi uređaj za upravljanje ronilicom. Putem spomenutog veznog kabla (pupkovine) priključeno je na napajanje za potrebe kretanja (rada propulzora) i rada alata koje ronilica koristi, te prima instrukcije



sl. 2.3 – Tipične OCROV ronilice [4]



Sl. 2.4 – Mini ronilica VidoRay [4]

(upravljačke naredbe) od strane operatera. Istim se kablom šalje i povratna informacija na mjesto upravljanja, poput slike s video kamere ili očitavanja raznih senzora. Kod pojedinih ronilica, najčešće onih u vojne svrhe, vezni kabel sačinjava samo tanki optički kabel. Takava ronilica ima vlastito napajanje, stoga je i trajanje rada ronilice (autonomija) ograničeno. Još jedan od nedostataka spomenutih ronilice je ograničenost manevarskog prostora zbog dužine samog veznog kabla i opterećanja koje ono proizvodi prilikom gibanja ronilice. Deblji kablovi stvaraju veliki otpor pri kretanju i zatežu ronilicu prilikom ljuštenja matičnog broda, a u izuzetnim slučajevima mogu biti dugi i preko 3 km. U takvim slučajevima nužno je imati poseban uređaj koji drži kabel zategnutim i sprječava njegovo zaplitanje. Kod fizičkog prekida kabla, dolazi do gubitka prijenosa signala i gubi se upravljačka sposobnost nad ronilicom, što može rezultirati gubitkom ronilice. Veza između upravljačkog pulta i ronilice i dalje nije moguća odnosno nije pouzdana bez veznog kabla (pupkovine) zbog fizičkih osobina vode kao medija kroz koji se upravljački (akustički) signal širiti.

Sve do početka 80-tih godina prošlog stoljeća daljinski upravljane ronilice bile su relativno masivne, a tek se poslije 80-tih godina, zbog napretka podvodne tehnologije, pojavljuju male jeftine daljinski upravljane komercijalne ronilice. Kako bi zadovoljile kriterij *Low-Cost ROVs* (LCROV) njihova je nabavna cijena morao biti ispod 50.000 \$.

Danas je podvodnatehnologija toliko razvijena da su takve ronilice postale ne samo još jeftinije, već pouzdane i sposobne za misije pretraživanja, inspekcije i nadzora (npr. brana, cjevovoda, podvodnih parkova i sl.). Takav tip malih ronilica nazivaju se [4] motrilačke ronilice (engl. *Observation Class ROVs* - OCROVs), a tipični primjeri ovih ronilica prikazani su na slici 2.3.

Tvrtka *VideoRay* lansirao je na tržište 1999. godine novu mini ronilicu [4] istoimenog naziva prikazanu na slici 2.4

Ronilica je imala težinu svega 5 kg i mogla je dostići dubinu od 305 m, a prodajna cijena ronilice bila je ispod 6.000\$. To je bila najprodavanija komercijalna ronilica tipa OCROV u svijetu.

## 2.1. Motrilački ROV

Daljinski upravljive ronilice mogu se podijeliti na više tipova, ovisno o namjeni i svrsi njihove uporabe. Jedan od tipova su svakako prije spomenute motrilačke ronilice (engl. *Observation ROVs*), koje su i najmnogobrojnije i najrasprostranjenije usvojoj operativnoj uporabi. Njima se, osim morskih dubina, često pregledavaju različiti rezervoari i cjevovodi, brane i podvodni tuneli, i sl. građevine ispod razine mora, stoga su najčešće manjih dimenzija i mase: dužine oko 0,5m i težine svega 10-ak kg poradi lakšeg pristupa i kretanja u skućenim prostorima. Zbog svoje veličine, od raspoloživih alata, većinom su opremljeni video kamerom i podvodnom svjetlom, a primjer takve ronilice prikazan na slici 2.5.



sl. 2.5 –Mini motrilačka ronilica  
(Izvor: [www.benmarine.fr/photos/produits/ROV-Observer.jpg](http://www.benmarine.fr/photos/produits/ROV-Observer.jpg))

## 2.2. Radni ROV

Drugi tip daljinski upravljivih ronilica jesu radne ronilice (engl. *Work ROVs*). One su puno većih dimenzija i mase od motrilačkih, prosječno su teške više od 3 tone i imaju preko 2 metra gabarita. Velike dimenzije potrebne su kako bi na ronilicu mogao biti montiran veći broj alata potrebnih za izvršenje raznih zadataka. Dodatni se alat relativno jednostavno montira s donje strane ronilice, ispod tzv. saonica, koje su isto tako zamjenjive. Osim dodatne opreme ovakve mobilne robote (ronilice) odlikuju električni i hidraulički podsustavi, propulzori, razni senzori i čvrsta mehanička konstrukcija. Hidraulički sustavi za kretanje i manevriranje u novije se vrijeme zamjenjuju električnim, radi lakšeg održavanja, veće energetske učinkovitosti i preciznijeg upravljanja.

Radne ronilice imaju i veliku nosivost, kako bi njima bilo moguće izvršavati i veće podvodne radove, te obavljati ispitivanja i inspekcije u najtežim uvjetima pri dubinama i od nekoliko tisuća metara. Također, ove ronilice imaju i veliku gospodarsku vrijednost, jer su najzastupljenije u komercijalnoj upotrebi, a njihova je cijena između 2.000.000 i 5.000.000\$. Primjer jedna takve radne ronilice čija je težina veća od 3 tone i može dostići dubinu od 3.000 m prikazana je na slici 2.6.



Sl. 2.6 - Radni ROV  
(Izvor: [www.hellopro.co.uk/images/produit-2/2/1/4/duty-work-class-rov-triton-mrv-52412.jpg](http://www.hellopro.co.uk/images/produit-2/2/1/4/duty-work-class-rov-triton-mrv-52412.jpg))

## 2.3. Vučni ROV

Još jedan od tipova ronilica (vozila) su vučne ronilice (engl. *Towed Vehicles*). Kao što sam naziv govori, ovakve ronilice (vozila) za sobom povlače plovila različitih namjena. Najčešće se koriste za razna mjerenja i pretraživanja morskog



Sl. 2.7 – Vučni ROV (Izvor: [www.sustainableguernsey.info/blog/wp-content/uploads/2011/12/2011-M12-towed-underwater-Marine-Institute-Plymouth-University-ROV-SGB-em.jpg](http://www.sustainableguernsey.info/blog/wp-content/uploads/2011/12/2011-M12-towed-underwater-Marine-Institute-Plymouth-University-ROV-SGB-em.jpg))

akvatorija, primjer takve ronilice (vozila) prikazan je na slici 2.7

Relativna jednostavnost ovakvih ronilica (vozila) značajno smanjuje njihovu cijenu u odnosu na prije prikazane radne ronilice.

## 2.4. Pridneni ROV

Fizički najveće daljinski upravljive ronilice su pridnena vozila ili kopači kanala (engl. *Trencher Vehicles*), koja služe za postavljanje podvodnih kablova i cjevovoda. Pridneni ROV se najčešće kreće pomoću gusjenica ili pomoćnih kotača. S prednje ili stražnje strane imaju postavljene dvije poluge pomoću kojih otkapaju, odnosno zakapaju pijesak, nakon što cijev ili kabel biva položen. Dubina rova prosječno iznosi 3 m. Masivnost jedne takve ronilice i njezinih "plugova" prikazana je na slici 2.8.



Sl. 2.8 – Pridneni ROV  
(Izvor: <http://oceanos-engineers.com/images/3m%20Pipeline%20Jetter%20Conversion.jpg>)

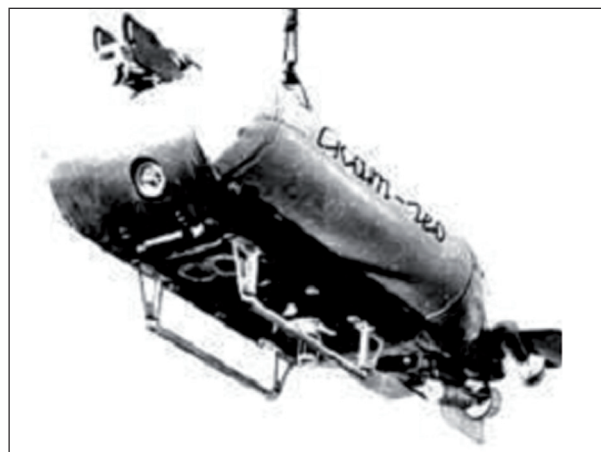
## 3. Glavni tipovi autonomnih ronilica

Kako je u uvodu naglašeno, u laboratoriju sveučilišta u Washingtonu 1957. godine nastaje prva autonomna ronilica odnosno prvo autonomno podvodno vozilo naziva *SPURV* (engl. *Special Purpose Underwater Research Vehicle*), a moglo je dostići dubinu od 3000

metara i brzinu do 5 čvorova. Tada je i Sovjetski Savez razvijao autonomne podvodne ronilice, te je na slici 3.1 prikazano sovjetsko vozilo tipa *Skat-Gea* iz 1976. godine.

Za razliku od prethodne skupine ronilica, autonomne ronilice, skraćeno AUV (engl. *Autonomous Underwater Vehicle*), nemaju vezni kabel između same ronilice i upravljačke jedinice. Iz tog razloga ova vrsta podvodnog mobilnog robota mora imati vlastiti izvor energije i tehnologiju koja uključuje *umjetnu inteligenciju*. Za sada, njihova primjena je isključivo orijentirana na pretraživanje terena, sakupljanje podataka prilikom različitih mjerenja i eventualno sakupljanje uzoraka.

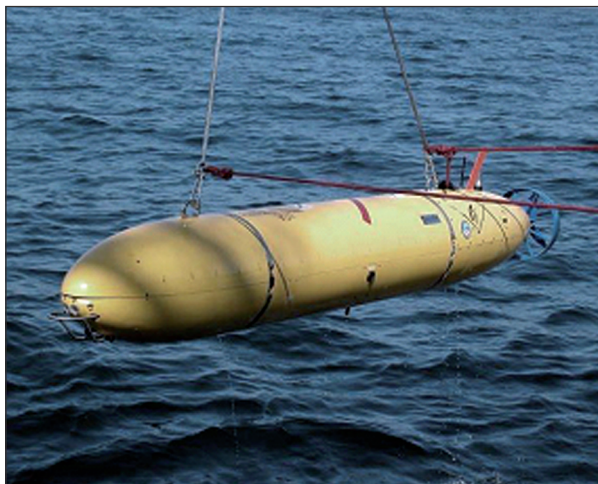
Njihov značajniji razvoj započeo je 90-ih godina prošlog stoljeća i to većinom u vojne ili znanstvene svrhe (bez komercijalne vrijednosti), a ozbiljnu komercijalnu vrijednost dobivaju tek početkom ovog stoljeća.



Sl. 3.1 – Autonomno vozilo Skat-Gea  
(Izvor: [www.imtp.febras.ru/images/stories/anpa-skat-geo.jpg](http://www.imtp.febras.ru/images/stories/anpa-skat-geo.jpg))

## 3.1. Krstareće autonomne ronilice

Prvu skupinu autonomnih ronilica čine krstareće ronilice (engl. *Cruising Vehicles*). Glavna namjena ovih ronilica je pretraživanje podmorja i sakupljanje podataka od raznih mjerenja putem senzora koji su ugrađeni na ronilicu. Operativno manevriranje ovih ronilica najčešće je svedeno na minimum odnosno njihove putanje su većinom pravocrtne te su predviđene za plovilnje po kursu bez promjene smjera i brzine. Tijelo im je najčešće torpednog oblikazbog što manjeg otpora prilikom podvodne plovidbe, a primjer takve ronilice prikazana je na slici 3.3.



Sl. 3.2 – Krstareća AUV  
(Izvor: <http://ekamar.com/images/static/auv.jpg>)

### 3.2. Lebdeće ronilice

Nešto složenija i skuplja izvedba autonomnih ronilica su lebdeće ronilice (engl. *Hovering Vehicles*). One su predviđene za preciznije poslove podvodne inspekcije i nadzore, te odgovarajuće vrste podvodnih radova. Lebdeće ronilice obično nisu konstruirane za prelazak većih udaljenosti, ali zato moraju imati precizne manevarske sposobnosti i mogućnost sidrenja. Također, na njih se mogu dodatno ugrađivati posebni alati ovisno o namjeni i potrebama. Jedna takva ronilica prikazana je na slici 3.3, ali je bitno ukazati da su takve ronilice još u fazi razvoja i njihov je broj u operativnoj uporabi vrlo mali.



Sl. 3.3 - Lebdeći AUV  
(Izvor: [www.perronerobotics.se/Images/Alive1.jpg](http://www.perronerobotics.se/Images/Alive1.jpg))

#### 3.2.1. Univerzalne i specijalizirane autonomne ronilice

Autonomne ronilice mogu se svrstati u dvije kategorije i to: univerzalne i specijalizirane. Univerzalne ronilice projektirane su tako da se alati i instrumenti mogu relativno jednostavno mijenjati, kako bi se ronilica prilagodila misiji koju je potrebno izvršiti. Za razliku od njih, specijalizirane ronilice projektirane su za unaprijed određeni zadatak koji je najčešće jasno definiran i često se ponavlja. Takve autonomne ronilice izrađuju se po narudžbi i mogu biti jeftiniji zbog unaprijed poznatih alata i instrumenata potrebnih u misiji. Primjer jedne specijalizirane autonomne ronilice za mapiranje morskog dna prikazan je na slici 3.4.

Autonomne ronilice mogu biti različitih dimenzija. Male ronilice najčešće su dužine od 1.5 do 3 metra i imaju masu do 200 kilograma. Cijena takvih ronilica najčešće ne prelazi iznos od 100.000\$. S obzirom na dimenzije, za njihovo korištenje i održavanje, najčešće nije potreban velik broj poslužitelja niti specijalizirana oprema. Mana takvih ronilica je ta što zbog malih dimenzija mogu nositi samo ograničeni broj alata i instrumenata, te tako izvršiti manji broj zadataka.

Veće autonomne ronilice najčešće imaju dužinu od 4 do 7 metara. Zbog većih dimenzija samo rukovanje ronilicom je izuzetno složeno i najčešće zahtjeva dodatnu opremu poput dizalice. Zato ukupna cijena takvih autonomnih ronilica može prijeći i 10 milijuna američkih dolara. Prednost im je veći domet, robusnost i veliki broj senzora koji se mogu montirati za obavljanje različitih misija.



Sl. 3.4 – Specijalizirani AUV  
(Izvor: [www.mbari.org/news/homepage/2005/mapping%20auv%20at%20sea\\_350.jpg](http://www.mbari.org/news/homepage/2005/mapping%20auv%20at%20sea_350.jpg))

Najčešće se grade za ostvarivanje vojnih ciljeva, ali isto tako i za komercijalne svrhe, za naftne kompanije i razna oceanografska istraživanja. Jedna takva autonomna ronilica (*Echo Ranger*) dužine 5.5 metara, težine 5.308 kg, maksimalno dozvoljene dubine zarona od 3.050 metara i autonomije 28 sati, prikazan je na slici 3.5.



Sl. 3.5 *Echo Ranger AUV*  
(Izvor: <http://blogs.scientificamerican.com/expeditions/files/2012/04/BoeingER3.jpg>)

Određeni broj suvremenih tipova autonomnih ronilica zajedno s pripadajućim parametrima, a koje se mogu koristiti u komercijalne svrhe u Jadranskom moru, prikazan je u nastavku. Na slici 3.6 prikazana je AUV ronilica *SeaCat* proizvođača *Atlas Electronic*

Na slici 3.7 prikazana je AUV ronilica *Alister 3000* proizvođača

Na slici 3.8 prikazana je AUV ronilica *Marlin* proizvođača *Loched Martin*

Na slici 3.9 prikazana je ronilica *Iver 2* proizvođača *Ocean server*.

Na slici 3.10 prikazana je ronilica *HAUV* proizvođača *Bluefin robotics*

Danas je najčešća upotreba električnih ronilica koje kao izvor energije imaju standardne akumulatore. Ovaj način napajanja je i dalje najjeftiniji i najjednostavniji, a omogućava rad od nekoliko sati do jednog dana za veće ronilice. Bolje rješenje dobiva se korištenjem alkalnih baterija, pomoću kojih veće ronilice mogu prijeći i do 250 km. Kako se danas stavlja veliki naglasak na obnovljive izvore energije, solarno napajanje se i ovdje pojavljuje kao jedan od mogućih izbora. U ovom slučaju,



Sl. 3.6 – *SeaCat AUV*

Proizvođač: *Atlas Electronic*  
Zemlja porijekla: *Danska*  
Namjena: *nadzor i pretraživanje*  
Dužina: *2.4 m*  
Širina: *0.3 m*  
Masa: *160 kg*  
Maksimalna dubina: *600 m*  
Brzina: *3-4 čvora*  
Maksimalna brzina: *6 čvorova*  
Pogon: *istosmjerni motor*  
Trajanje baterija: *do 10 sati*  
Osnovna oprema: *side-scan sonar, sektor scanning sonar*



Sl. 3.7 - *Alistar 3000*

Proizvođač: *Eca Robotics*  
Zemlja porijekla: *Francuska*  
Namjena: *nadzor i pretraživanje*  
Dužina: *5 m*  
Širina: *1.45 m*  
Visina: *1.68 m*  
Masa: *2300 kg*  
Nosivost: *150 kg*  
Maksimalna dubina: *3000 m*  
Brzina: *0-4 čvora*  
Maksimalna brzina: *4 čvora*  
Propulzori: *4 vodoravna, 2 okomita i 2 lateralna*  
Trajanje baterija: *do 20 sati*  
Osnovna oprema: *side scan sonar, multibeam sonar, sub-bottom profiler, kamera, lampa*



**Sl. 3.8 – Marlin**

Proizvođač: Lockheed Martin  
 Zemlja porijekla: SAD  
 Namjena: nadzor podvodnih infrastruktura  
 Duljina: 3.05 m  
 Širina: 1.52 m  
 Visina: 1.22 m  
 Masa: 954 kg  
 Nosivost: 114 kg  
 Maksimalna dubina: 300 m  
 Maksimalna brzina: 4 čvora  
 Propulzori: 2 vodoravna i 2 okomita  
 Trajanje baterija: 12-24 sati  
 Osnovna oprema: 3D imaging sonar, HD video kamera, lampe, forward looking sonar



**Sl. 3.9 – Iver 2**

Proizvođač: Ocean server  
 Zemlja porijekla: SAD  
 Namjena: snimanje i nadzor  
 Dužina: 1.25-1.80 m  
 Širina: 0.147 m  
 Masa: 20-27 kg  
 Maksimalna dubina: 100 m  
 Brzina: 1-4 čvora  
 Trajanje baterija: 8-14 sati

ronilica bi preko dana morala plutati po površini i puniti baterije, dok bi tijekom noći obavljala namjenjenu zadaću. Primjer takve ronilice prikazan je na slici 3.11.

Autonomne ronilice svakodnevno se razvijaju zadnjih godina, a njihov napredak uvjetovan je daljnim razvojem umjetne inteligencije i novih rješenja u energetskej elektronici.



**Sl. 3.10 – HAUV**

Proizvođač: Bluefin robotics  
 Zemlja porijekla: SAD  
 Namjena: inspekcija trupa broda  
 Duljina: 1.07 m  
 Širina: 1 m  
 Visina: 0.41 m  
 Masa: 79 kg  
 Maksimalna dubina: 30-60 m  
 Brzina: 0-1.5 čvora  
 Propulzori: 5 propulzora za potisak i upravljanje  
 Osnovna oprema: imaging sonar



**Sl. 3.11 – Solarno napajani AUV**  
 (Izvor: [www.botjunkie.com/wp-content/uploads/2007/09/sensor-platform-jj-001.jpg](http://www.botjunkie.com/wp-content/uploads/2007/09/sensor-platform-jj-001.jpg))

### 3.3. Podvodna slika morskog dna

Skenirajući sonari koriste se za stvaranje slike morskog dna. Oni neprestano odašiljaju zvučne impulse i mjere vrijeme povratka reflektiranog signala od morskog dna, te dobivenu vrijednost pohranjuju. Na temelju spremljenih vrijednosti može se izraditi podvodna karta morskog dna. Tipični primjeri sonara koji se koriste na ronilicama jesu:

- *Side scan sonar* - to je sonar s bočnim pretraživanjem, daje pogled na područje ispod i bočno od pravca gibanja ronilice. Frekvencija



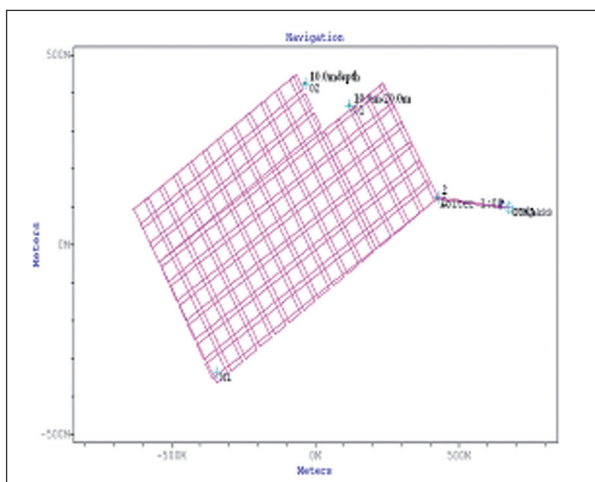
akustičnog signala kreće se između 100 i 500 kHz. Važno je napomenuti da više frekvencije daju bolju rezoluciju, ali ima kraći domet. Ova vrsta sonara obično se koristi za kartografiju morskog dna ili za traženje određenih objekata na morskome dnu;

- *Forward scanning sonar* – to je pramčani sonar, služi za pretraživanje terena ispred ronilice i koristi ponajprije u navigaciji. Postavljaju se na prednji dio ronilice, a domet mu je do 100 metara;

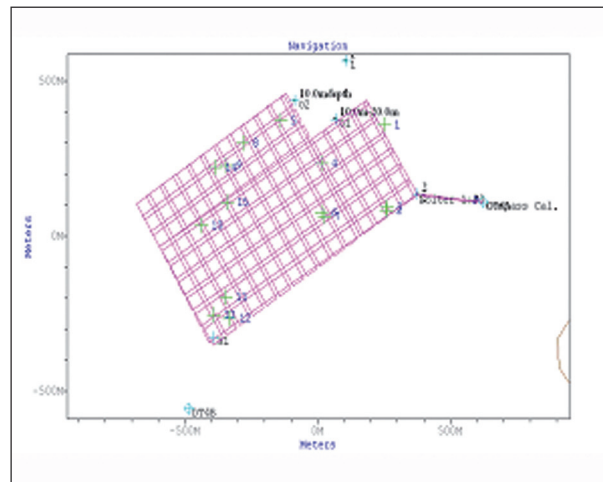
- *Multibeam sonar* – to je više zrakasti sonar i veoma precizan način skeniranja morskog dna koji se krositi za hidrografska i geodetska mjerenja, i može odrediti prirodu morskog dna odnosno dubinu ispod plovila.

Kako bi se snimila precizna slika morskog dna potrebna je i precizna navigacija.

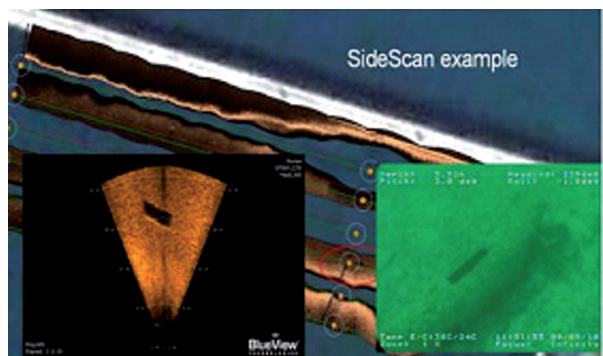
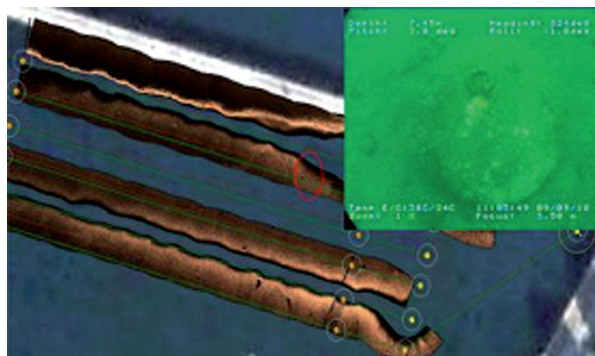
Navigacijske metode autonomnih ronilica mogu se podijeliti na: koračnu navigaciju, akustičku navigaciju i geofizikalnu navigaciju. Osim toga, autonomne ronilice opremaju se



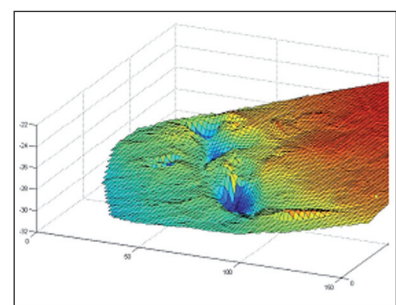
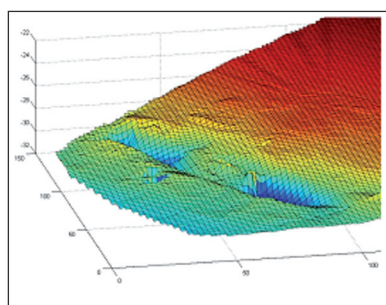
SI. 3.12a – Planiranje trajektorije



SI. 3.12b – Rezultati skeniranja



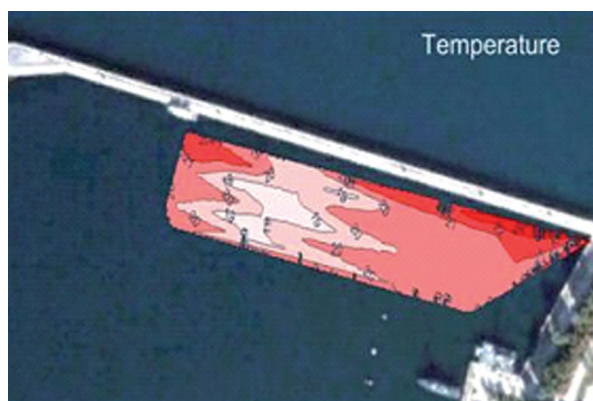
SI. 3.13 – Detekcija i identifikacija sumnjivog objekta na morskome dnu



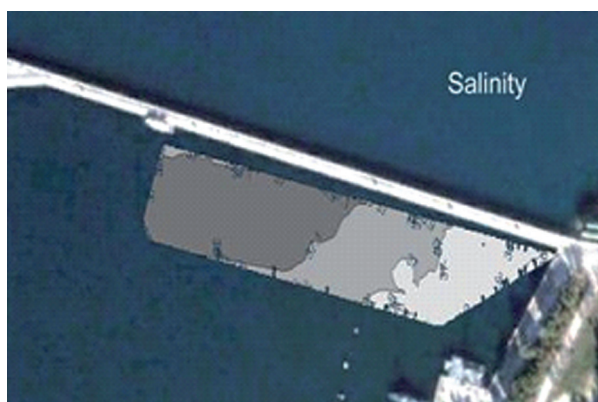
SI. 3.14 – Podvodni otisak bojnog broda „Viribus Unitis“ u Pulskoj luci



sl. 3.15a – Barimetrija



sl. 3.15b – Temperatura



sl. 3.15c – Slanost mora



sl. 3.15 d – Klorofil

GPS-om (engl. *Global Positioning System*) i Iridium modulima za navigaciju na površini. Detaljnije informacije o navigacijskim metodama autonomnih ronilica mogu se pronaći u literaturi. [2], [3]

Na slici 3.12a prikazano je planiranje putanje gibanja autonomne ronilice koja zadani prostor skenira u dva međusobno okomita smjera, dok je na su na slici 3.12b prikazani rezultati skeniranja s upisanim točkama na kojima se nalaze nepoznati (sumnjivi) objekti. Istraživanje je provedeno u okviru djelovanja Laboratorija za podvodne sustave i tehnologije (LAPOST) čiji je voditelj prof.dr.sc. Zoran Vukić

Prema slici 3.12b uočava se kako je autonomna ronilica u području pretraživanja otkrila ukupno 15 sumnjivih točaka koje su označene zelenom bojom. Sljedeći korak je detaljno proučiti svaku pojedinu točku i utvrditi o kojem se objektu radi.

Na slici 3.13 prikazan je konkretan primjer detekcija i identifikacije sumnjivog objekta na

morskom dnu. Radi se o zaostaloj morskoj mini nakon II. svjetskog rata

Na slici 3.14 prikazana je obrađena slika morskog dna. Konkretno radilo se o poziciji potonuća austro-ugarskog bojnog broda „Viribus Unitis“ u Pulskoj luci. Na slici se jasno vidi otisak bojnog broda koji ostao na morskom dnu nakon njegovog vađenja.

Na slikama 3.15a,b,c i d prikazani su rezultati mjeranja fizičkih i bioloških karakteristika morske sredine kad se na autonomnu ronilicu ugrađuju dodatni senzori.

Istraživanje su jednako tako provedena u okviru djelovanja Laboratorija za podvodne sustave i tehnologije (LAPOST) čiji je voditelj prof.dr.sc. Zoran Vukić

#### 4. Zaključak

U posljednjih se dvadeset godina podvodnoj robotici pridaje sve veća važnost. Razvojem podvodne tehnologije i sve većom potrebom za projektiranjem i razvojem komercijalnih

ronilica, postignut je veliki napredak u izgradnji bespilotnih ronilica (podvodnih vozila) raličite namjene i svrhe, s vrlo prilagodljivim alatima, instrumentima i senzorima što pokazuju rezultati prikazani u ovom članku.

Trenutno je fokus komercijalnog tržišta najvećoj mjeri usmjeren na daljinski upravljane ronilice pomoću kojih operator može izvoditi razne podvodne radove koje prije nije mogao izvoditi jer su bili neprovedivi zbog rizika i teških podvodnih uvjeta u kojima su morali biti izvođeni. Autonomne komercijalne ronilice uglavnom se proizvode za potrebe pretraživanja, inspekcije i nadzora, manje u radne svrhe ili za izvođenje podvodnih radova. No kako u članku naglašeno, razvoj autonomnih ronilica napreduje

usporedo s razvojem umjetne inteligencije i novih rješenja u energetskej elektronici.

Zbog sve većeg pomicanja granica istraživanja oceana i mora, eksploatacije prirodnog bogastva s dana mora na velikim dubinama, ali isto tako zbog onečišćenja voda, uništavanja života u njima i zagađenja, ronilice će kao podvodni mobilni roboti imati sve veću ulogu i značaj u modernoj komercijalnoj primjeni. Pomoću njih moći će se nadzirati klimatske promjene, migracije ribe i podvodni svijet biljaka, što će pomoći u njihovoj zaštiti i održavanju biološke raznolikosti. Ovim člankom željelo se ukazati na važnost prikupljanja znanja, vještina i spoznaja o podvodnim tehnologijama ronilicama koje će zauzeti važno mjesto u stoljeću koje je pred nama.

## 5.1. Reference

- [1] Christ D. R., Wernli L.R., *The ROV Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles*, Elsevier Ltd., 2007., Oxford
- [2] Fossen I. Thor, *Guidance and control of ocean vehicle*, John Wiley&Sons, 1994.
- [3] Koroman V., *Sustav upravljanja malog podvodnog vozila*, Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, 1997.
- [4] Wernli L. R., Christ D.R. *Oseravtion Class ROCs Come Age, sixt International Symposium on Underwater Tchnology*, UT2009, Wuxi,China

## 5.2. Preporučena literatura

- [http://www.hrvatski-vojn timer.hr/hrvatski-vojn timer/149-1502007/bpictures/Plunger\\_1.jpg](http://www.hrvatski-vojn timer.hr/hrvatski-vojn timer/149-1502007/bpictures/Plunger_1.jpg)
- [www.hrbi.hr/\\_images/files/izdavastvo\\_40.doc](http://www.hrbi.hr/_images/files/izdavastvo_40.doc)
- <http://www.fas.org/irp/program/collect/curv2.jpg>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous\\_underwater\\_vehicle](http://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_underwater_vehicle)
- <http://www.imtp.febras.ru/images/stories/anpa-skat-geo.jpg>
- [www.hrbi.hr/\\_images/files/izdavastvo\\_38.doc](http://www.hrbi.hr/_images/files/izdavastvo_38.doc)
- <http://pawaterrescue.org/newequip/rov.JPG>
- <http://www.benmarine.fr/photos/produits/ROV-Observer.jpg>
- <http://www.hellopro.co.uk/images/produit-2/2/1/4/duty-work-class-rov-triton-mrv-52412.jpg>
- <http://www.sustainableguernsey.info/blog/wp-content/uploads/2011/12/2011-M12-towed-underwater-Marine-Institute-Plymouth-University-ROV-SGB-em.jpg>
- <http://oceanos-engineers.com/images/3m%20Pipeline%20Jetter%20Conversion.jpg>
- [www.hrbi.hr/\\_images/files/izdavastvo\\_40.doc](http://www.hrbi.hr/_images/files/izdavastvo_40.doc)
- [http://www.mbari.org/news/homepage/2005/mapping%20auv%20at%20sea\\_350.jpg](http://www.mbari.org/news/homepage/2005/mapping%20auv%20at%20sea_350.jpg)
- <http://blogs.scientificamerican.com/expeditions/files/2012/04/BoeingER3.jpg>
- <http://ekamar.com/images/static/auv.jpg>
- <http://www.perronerobotics.se/Images/Alive1.jpg>
- <http://www.hazu.hr/jzavod/2006-Radi-onovR.ppt>
- [http://www.whoi.edu/cms/images/RE-MUS100\\_700\\_137233.jpg](http://www.whoi.edu/cms/images/RE-MUS100_700_137233.jpg)

- <http://proj.ncku.edu.tw/research/articles/e/20110624/images/110620020219qI8VfF.png>
- [http://www.olds.com.au/marine/thruster\\_pics/300\\_olds\\_Propulsion%20System-07.jpg](http://www.olds.com.au/marine/thruster_pics/300_olds_Propulsion%20System-07.jpg)
- [http://www.seabotix.com/products/images/btd150/btd150\\_iso\\_lrg.jpg](http://www.seabotix.com/products/images/btd150/btd150_iso_lrg.jpg)
- <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a436027.pdf>
- <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a436027.pdf>
- [http://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/Elesus\\_02\\_ES\\_istosmjerni\\_12-13%5B2%5D.pdf](http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Elesus_02_ES_istosmjerni_12-13%5B2%5D.pdf)
- [http://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user\\_upload/documents/products/Unmanned\\_Vehicles/241\\_SeaCat.pdf](http://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/documents/products/Unmanned_Vehicles/241_SeaCat.pdf)
- <http://subseaworldnews.com/wp-content/uploads/2012/03/Germany-SeaCat-AUVs-Successfull-Mission-in-Germany.jpg>
- [http://www.eca-robotics.com/ftp/ecatalogue/60/ALISTAR\\_3000\\_GB.pdf](http://www.eca-robotics.com/ftp/ecatalogue/60/ALISTAR_3000_GB.pdf)
- <http://filemaker2-server.cbl.umces.edu/sensorimages/11586-alistar3000.gif>

## AUTORI

**Dario Matika** - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 2, No. 1, 2014.



### Ivan Liović

Ivan Liović rođen je u Puli 26.8.1989. Nakon srednjoškolskog obrazovanja u Tehničkoj školi u Puli, 2008. godine upisuje Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, smjer

elektrotehnika. Nakon diplome prvostupnika inženjera, 2011. godine nastavlja studij upisom na diplomski studij elektrotehnike (automatike)

na istom fakultetu. 2014. godine stječe zvanje magistar inženjer elektrotehnike. U slobodno vrijeme bavi se autonomnim ronjenjem, a sezonski je radio kao voditelj ronjenja u ronilačkom centru u Puli. Diplomski rad „UPRAVLJANJE KRETANJEM AUTONOMNE RONILICE“ rezultat je iscrpnog istraživanja, konzultacija s mentorom prof.dr.sc. Dariom Matikom i produkt dugogodišnjeg zanimanja prema moru i ronjenju.