

*Prof.dr.sc. Slobodan Kralj, FSB, I. Lučića 1, 10000 Zagreb*  
*Ivica Garašić, dipl.ing.*  
*Doc.dr.sc. Zoran Kožuh*

## **POD VodNO MOKRO ZAVARIVANJE I PODvodNO ISpITIVANJE U ODRŽAVANJU POMORSKIH OBJEKATA**

### **Sažetak**

Globalni trendovi na području pomorskog transporta podižu standarde s obzirom na kvalitetu i stanje pomorskih objekata. S druge strane, korisnici tih objekata traže načine da smanje troškove održavanja i kontrole, a da istovremeno zadovolje sve ekonomske, tehničke i ekološke zahtjeve. Tehnike mokrog podvodnog zavarivanja i podvodnog nerazornog ispitivanja dosegle su određeni nivo razvoja koji omogućuje njihovu primjenu u praksi, što značajno smanjuje troškove i povećava fleksibilnost radova. U radu su prikazane mogućnosti podvodnog zavarivanja i ispitivanja kod održavanja, kontrole i sanacije plovila i «off-shore» objekata, kao i presjek aktivnosti na projektu «Razvoj podvodnog zavarivanja i ispitivanja» Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Također, ukratko je opisana provedba certifikacije FSB-a za obavljanje aktivnosti podvodnog zavarivanja i ispitivanja prema preporukama API, propisima ANSI/AWS D3.6M 1999 i regulativi HRB-a.

*Ključne riječi: podvodno zavarivanje i ispitivanje, održavanje, certifikacija*

## **UNDERWATER WET WELDING AND UNDERWATER INSPECTION IN MAINTENANCE OF OBJECTS IN MARITIME ENGINEERING**

### **Summary**

Global trends on area of naval transport are increasing the quality level and condition of naval objects. On the other side, users of mentioned objects are seeking for ways to cut the maintenance and control expenses, but simultaneously, to satisfy all economic, technical and ecological aspects. Techniques of underwater welding and underwater inspection have reached certain level of development which insure their practical applications. In this paper, possibilities of underwater welding and inspection on the field of maintenance of floating and off-shore objects, are presented. Also, brief scope of activities on the project «Development of underwater welding and inspection» which is carried out on FAMENA is given, as well as CRS certification of FAMENA for underwater welding and inspection activities according API and ANSI/AWS D3.6M 1999 guidelines.

*Key words: underwater welding and inspection, maintenance, certification*

## 1. Uvod

Važnost pomorskih objekata u gospodarstvu jedne regije danas ima nemjerljiv značaj. Bilo da se radi o transportu morskim putem ili eksploataciji podmorja, svjedoci smo ogromnih ulaganja u postojeću infrastrukturu, kao i realizaciju novih projekata. Pomorski transport i intenzivna eksploatacija podmorja podrazumijevaju korištenje objekata, plovila i postrojenja kod kojih je dio konstrukcije ispod vodene linije. Izgradnja i održavanje takvih objekata zahtijeva primjenu posebno razvijenih tehnika, koje osiguravaju dugovječnost i ekonomičnost pri uporabi. Nažalost, iz prakse je poznato da havarije plovila ili postrojenja mogu u potpunosti ili djelomično uništiti floru i faunu prirodnog staništa te smanjiti kvalitetu života na određenom području. Trendovi u svjetskom gospodarstvu ukazuju na porast opsega pomorskog transporta dok stanje u proizvodnji i potrošnji energenata upućuje na sve veći opseg istraživanja i eksploatacije podmorja. U svijetu se ulažu ogromna sredstva kako bi se osigurala dovoljne količine energenata, a vrlo velik broj nalazišta nalazi se ispod površine mora i oceana. Tijekom godina, posebice zadnjih nekoliko desetljeća, primjetan je dinamičan razvoj na području održavanja i ispitivanja podmorskih konstrukcija. Pravovremeno održavanje i otkrivanje eventualnih nedostataka nužno je potrebno kako bi se osigurala kontinuirana proizvodnja bez ekoloških incidenata. Podvodni radovi koje izvode ronionici u cilju održavanja brodova, podmornica, platformi, cjevovoda itd. vrlo su složene i skupe aktivnosti, te su zbog poznatih fizikalnih ograničenja ljudskog tijela ronionici izloženi visokom riziku. Organizacija takvih poslova zahtijeva veliki broj visokostručnih ljudi i mobilizaciju ogromne količine opreme. Nezamjenjivu ulogu u održavanju podvodnih konstrukcija imaju nerazorna ispitivanja i postupak mokrog podvodnog zavarivanja kojim se vrlo brzo i efikasno mogu izvesti sanacije lomova konstrukcijskih elemenata na licu mjesta, a u slučaju dobre pripreme i organizacije moguća je izvedba montažnih zavora. Na Katedri za zavarene konstrukcije Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu već se nekoliko godina radi na projektima vezanim za podvodno zavarivanje i ispitivanje. Rezultati laboratorijskih istraživanja dobili su praktičnu potvrdu certifikacijom od strane HRB-a, prema HRB regulativi, API i AWS normama. Osim kvalificiranih ronilaca- zavarivača i ispitivača, u upotrebu se uvodi i daljinski upravljana ronilica koja će u znatnoj mjeri unaprijediti podvodne aktivnosti, te kvalitetu i sigurnost istraživanja i radova podići na višu razinu.

## 2. Mokro podvodno zavarivanje i podvodno rezanje

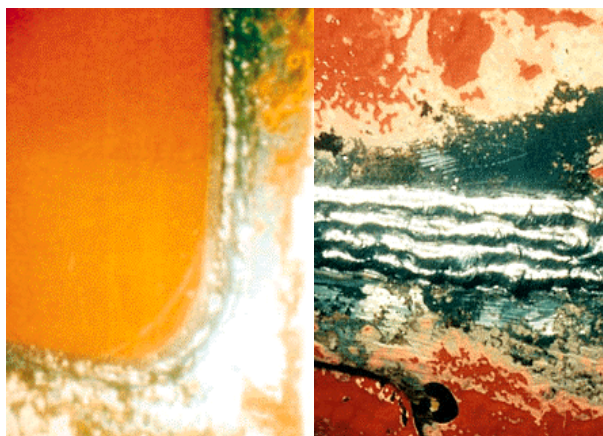
Mokro podvodno zavarivanje je tehnika koja se najčešće koristi za izvođenje podvodnih zavarivačkih radova. Karakteristično je da se mjesto na kome se izvodi zavarivanje ne odvaja od vode, nego se zavaruje u vodenoj atmosferi tako da je i sam zavarivač izložen vodenom okruženju, slika 1. Koristi se REL postupak zavarivanja obloženom elektrodom, koja je posebno pripremljena za specifične uvjete rada. Iako se mokro podvodno zavarivanje najviše koristi na dubinama do 50m, napravljeni su pokusi i na dubinama većim od 100m, ali je zbog visokog hidrostatskog tlaka održavanje električnog luka otežano, a kvaliteta spoja je upitna. Potrebno je obratiti pozornost na sigurnost zavarivača, posebno na većim dubinama, gdje se moraju osigurati dodatne mjere opreza. Prednosti tehnike mokrog podvodnog zavarivanja su višestruke u odnosu na suho podvodno zavarivanje. Osim velike ekonomičnosti i fleksibilnosti, što podrazumijeva mobilnost i brzo izvođenje radova što znatno snižava cijenu operacije, zavarivač može vrlo brzo promijeniti poziciju na kojoj radi te doseći teško pristupne dijelove konstrukcije. Cijena opreme za mokro podvodno zavarivanje je višestruko niža u odnosu na opremu za suho podvodno zavarivanje. Na taj način lakše se postižu preduvjeti za istraživanje, razvoj kao i edukaciju usko specijaliziranih kadrova.



**Slika 1.** Podvodno mokro zavarivanje /1/

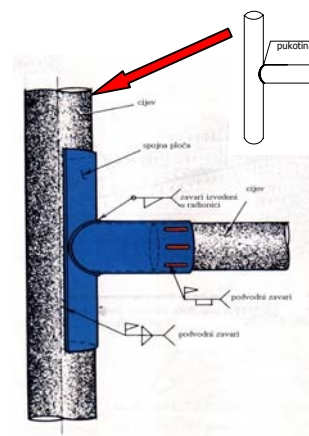
**Fig. 1** Underwater wet welding /1/

Nedostaci tehnike se prvenstveno odnose na posljedice direktne izloženosti mjesta zavarivanja i električnog luka vodi. Kontakt vode i zavarenog spoja uzrokuje visoki gradijent hlađenja što rezultira lošim mehaničkim svojstvima. Zbog uključaka i poroziteta postoji veći broj koncentracija naprezanja. Ako se koristi adekvatna oprema, uz odgovarajuću tehniku rada i specijalno školovane zavarivače-ronioce, moguće je izbjeći sve navedene nedostatke do te mjere da se podvodni zavareni spojevi načinjeni mokrom tehnikom mogu svojom kvalitetom uspoređivati s onima načinjenima na zraku ( A klasa zavara prema AWS D3.6 M :1999). Primjena mokrog podvodnog zavarivanja je izrazita kod reparatura oštećenja ili rekonstrukcija podvodnih postrojenja. Moguće je vrlo brzo reagirati s obzirom na relativno malu količinu opreme i broj ljudi. Dosad je zabilježeno više stotina sanacija pukotina ili rekonstrukcija kod kojih je korištena tehnika mokrog podvodnog zavarivanja. Slika 2. prikazuje zakrpu oplata broda zavarenu višeprolaznom tehnikom mokrog podvodnog zavarivanja, dok je na slici 3. prikazan način sanacije pukotine na konstrukciji platforme primjenom noseće ploče. U proteklih 10-ak godina, status tehnike mokrog podvodnog zavarivanja u svijetu se znatno poboljšao. Tehnika mokrog podvodnog zavarivanja je općeprihvaćena i višestruko upotrebljavana pri održavanju plovnih objekata i “off-shore” postrojenja. Također, zamjetan je pozitivan trend osnivanja obučnih centara za podvodno zavarivanje širom svijeta. Bilježi se i intenzivan istraživački rad na području dodatnih materijala i izvora struje za zavarivanje, kao i usavršavanju adekvatne opreme i tehnike rada ronilaca-zavarivača.



**Slika 2.** Zakrpa na brodskom trupu/2/

**Fig.2** Patch on the ship hull/2/



**Slika 3.** Sanacija pukotine na platformi/3/

**Fig.3** Repair on the platform /3/

## 2.1. Oprema za mokro podvodno zavarivanje

Oprema koja se koristi za podvodno mokro zavarivanje objedinjena je s određenim prilagodbama, od opreme za ronjenje i opreme za zavarivanje. Ronilačka oprema uključuje suho ronilačko odijelo, masku za suho odijelo ( «Full face» ), crijevo za vanjsku dobavu – što podrazumijeva žičanu vezu za komunikaciju i crijevo za dobavu zraka te spremnik zraka na površini s regulacijskim manometrom. Zavarivačka oprema se sastoji od istosmjernog izvora struje s obvezno sniženim naponom praznog hoda, specijalnih kabela s pojačanom izolacijom, pištolja za zavarivanje ( držač elektrode ) te elektroda za mokro podvodno zavarivanje. Potrebno je naglasiti da uz zavarivača-ronioca u vodi, na površini postoji pomoćni tim koji je s roniocem u stalnoj komunikaciji. Pomoćni tim se brine za opskrbu zrakom, dobavu alata i elektroda, regulaciju parametara zavarivanja (na zahtjev zavarivača) kao i ostalih sigurnosnih elemenata (npr. prekidanje strujnog kruga posebnom sklopkom ). Organizacija rada ima veliku ulogu pri izvršavanju radnih aktivnosti, te se sve provodi po unaprijed dogovorenom planu i protokolu. U slučaju prekida veze ili nepredviđenih okolnosti ronioac izlazi iz vode kako bi se izbjegle eventualne incidentne situacije. Oprema za podvodno mokro zavarivanje mora zadovoljiti sve sigurnosne aspekte, a istovremeno se ronio-cu-zavarivaču moraju pružiti zadovoljavajući radni uvjeti radi ograničenog vremena boravka pod vodom i ekonomičnosti samog procesa. Oprema se mora redovno održavati prema određenom planu kako bi se produljio njen vijek trajanja i osigurala njena ispravnost u realnim uvjetima. Ovisno o zahtjevima radnog zadatka moguća je upotreba i dodatne opreme poput sistema za stabilizaciju zavarivača (platforma ili košara, prihvatni magneti), posebnih naprava za pridržavanje i centriranje radnih komada ili npr. grijanih odjela ako se radi u hladnijim podnebljima. Uređaji koji se koriste kao izvor struje za mokro podvodno zavarivanje razlikuju se od onih koji se koriste na suhom. Uređaji za mokro podvodno zavarivanje moraju kompenzirati karakteristične pojave koje se javljaju kod podvodnog zavarivanja koje se odnose na pad napona na dugim kabelima, problem nestabilnosti luka uslijed visokog hidrostatskog pritiska, otežani prijenos rastaljenog dodatnog metala, promjenu parametara s promjenom dubine, te na visoke zahtjeve za sigurnost ronioca-zavarivača. Da bi se osigurali pogodni uvjeti za sve vrste podvodnih zavarivačkih radova nužno je imati istosmjerni izvor koji može minimalno osigurati 300A. Sa slabijim strojevima povećava se vrijeme rada koje je jedan od vrlo važnih faktora u podvodnom zavarivanju zbog uvjeta u kojima boravi zavarivač ( hladna voda od koje prijeto pothlađivanje tijela i ograničenje s obzirom na količinu zraka u ronilačkim bocama i mogućnost boravka na većim dubinama).

## 2.2. Podvodno rezanje

Primjena “oxy-arc” tehnike rezanja šupljom elektrodom se najčešće bilježi pri realizaciji podvodnih radova. Potrebna toplina se generira električnim lukom, dok materijal izgara u struji kisika koji pod određenim radnim tlakom prolazi kroz šuplju elektrodu. Koristi se istosmjerni izvor struje. Za optimalne rezultate rezanja potrebno je prilagoditi parametre, a to su tlak kisika, jačina struje i brzina rezanja. S povećanjem dubine potrebno je povećati tlak kisika kako bi se anulirao porast hidrostatskog tlaka. Podvodno “oxy-arc” rezanje se prvenstveno koristi kod demontaže konstrukcije.

## 2.3. Razvoj podvodnog mokrog zavarivanja na FSB-u

U sklopu aktivnosti na projektu »Podvodno zavarivanje i osiguravanje kvalitete« na području mokrog podvodnog zavarivanja postignuti su slijedeći rezultati:

- Izvedena je i certificirana B klasa zavara prema zahtjevima AWS D3.6-99 na konstrukcijskom čeliku
- Razvijene su specijalne elektrode za podvodno zavarivanje FSB EZ Navy 1 i 2

- Postignut je operativni nivo obuke ronilaca-zavarivača i pratećeg tima
- Ostvareno je proširenje spektra ispitivanja na područje korozijski postojanih čelika i aluminija
- Zabilježena je višestruka primjena u rješavanju praktičnih problema

Na slici 4. prikazan je makroizbrusak kutnog zavarenog spoja na konstrukcijskom čeliku kojim je atestirana B klasa zavara prema AWS D3.6-99. Zavarivanje je izvršeno u tri prolaza, a korištena je elektroda FSB EZ Navy 2. Vidljivo je da nema uključaka ni poroziteta. Višeprolazna tehnika umanjuje posljedice brzog hlađenja te su čvrstoća i žilavost na zadovoljavajućoj razini. Slika 5. prikazuje posebno razvijene elektrode FSB Navy 1 i 2 s dvostrukim zaštitnim premazom koji omogućuje laganu uspostavu i vođenje električnog luka, te sprječava raspad obloge. Jedna od značajnih karakteristika novorazvijenih elektroda je omogućeno olakšano uspostavljanje električnog luka bez mehaničkog skidanja zaštitnog sloja, što je slučaj kod velikog broja komercijalno dostupnih elektroda. Na taj način se povećava operativnost ronioca zavarivača, kao i stupanj iskorištenja vremena boravka pod vodom. Primjena dvostrukog zaštitnog premaza osigurava niz prednosti. Uz vrlo dobre operativne karakteristike i visok stupanj otpornosti vanjskog zaštitnog premaza na djelovanje kemijski agresivne okoline (slana ili kontaminirana voda), moguće je korištenje elektrode u svim radnim uvjetima i položajima zavarivanja.



**Slika 4.** Kutni podvodni zavar  
**Fig. 4** Underwater fillet weld



**Slika 5.** Elektrode FSB Navy 1 i 2  
**Fig. 5** Electrodes FSB Navy 1 i 2

### 3. Podvodno ispitivanje

Redovni ili izvanredni pregledi podmorskih konstrukcija ili plovila su nezamislivi bez metoda podvodnih nerazornih ispitivanja. U kombinaciji s podvodnim zavarivanjem, moguća je brza intervencija pri sanaciji i reparaturi pukotina i oštećenja. Prilagodba tehnika nerazornog ispitivanja za rad u podvodnom okruženju je složena te se zahtijeva korištenje specijalne opreme kako bi se dobili kvalitetni i upotrebljivi rezultati. Također, potrebno je da ronjoci-ispitivači imaju odgovarajuće certifikate i veliko iskustvo pri radu s odgovarajućom opremom. U otežanim radnim uvjetima detekcija greške je otežana, a problemi poput pravilnog pozicioniranja ultrazvučne sonde postaju na većim dubinama i pri slabijoj vidljivosti, uz prisutnost morske struje, pravi pothvat. Slično kao i kod podvodnog zavarivanja, edukacija i obuka kadrova predstavlja nužan preduvjet pri realizaciji podvodnih ispitivanja. Samo uz odgovarajuću podršku pomoćnog tima na površini, adekvatnu opremu i osposobljene ronioce-ispitivače, moguća je izvedba nerazornih podvodnih ispitivanja. Prilikom podvodnih radova najčešće se koriste ultrazvučno ispitivanje, ispitivanje magnetskim česticama te vizualna kontrola.

Kod ultrazvučnog ispitivanja ronjoc-ispitivač pozicionira sondu na ispitno mjesto. Potrebno je napomenuti da mjesto ispitivanja mora biti na određeni način pripremljeno, tj.

moraju se odstraniti produkti korozije, morskog raslinja i sl. Signal se prenosi do uređaja na površini pored kojeg kvalificirana osoba detektira nepravilnosti i pohranjuje podatke. Stalna telefonska veza između ronioca-ispitivača i operatera na površini omogućava da se ispituju točno određena mjesta. Kamerom se snima rad ronioca-ispitivača te je moguće jednoznačno odrediti mjesto ispitivanja i analizirati rezultate. Kod rada na platformi ili bilo kojoj drugoj podvodnoj konstrukciji, mora se ronioncu-ispitivaču osigurati stabilan oslonac kako bi se vremenski optimizirao boravak ronioca pod vodom, te psiho-fizička usredotočenost na samo ispitivanje. Na slici 6. i 7. prikazano je ultrazvučno ispitivanje u bazenu Laboratorija Katedre za zavarene konstrukcije, FSB i na čvoru platforme Ivana A na 8m dubine.



**Slika 6.** Ultrazvučno ispitivanje u laboratoriju /2/

**Fig. 6** Ultrasonic inspection in the laboratory /2/



**Slika 7.** Ultrazvučno ispitivanje na platformi

**Fig. 7** Ultrasonic inspection on the platform

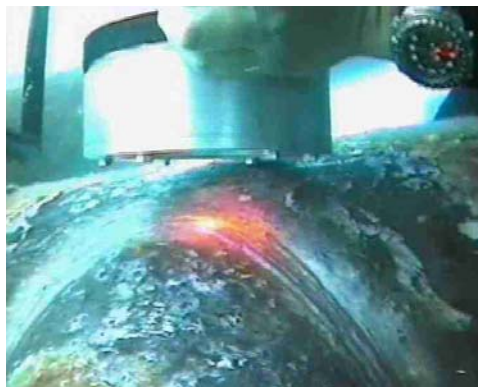
Kod podvodnog ispitivanja magnetskim česticama potrebna su tri ronioca koja postupajući po unaprijed dogovorenom protokolu provode ispitivanje. Uz njih, pored monitora na površini, nalazi se kvalificirana osoba koja analizira rezultat ispitivanja. Cjelokupna procedura se snima, tako da je moguće i naknadno pomnije razmotriti tijek i rezultate ispitivanja. Moraju se koristiti posebne magnetske čestice koje imaju negativnu plovnost, tj. talože se na radnom komadu. U slučaju kada postoje jake struje, vrlo je teško deponirati čestice na željenu poziciju. Ronioc koji upravlja magnetom nanosi čestice na radni komad pomoću posebne tlačne posude. Nakon što se postigne željena koncentracija čestica na radnoj poziciji, aktivira se magnetsko polje pomoću elektromagneta. Kada se magnetizirano mjesto osvjetli UV spektrom, vidi se indikacija eventualne pukotine. Rukovanje lampom je zadaća drugog ronioca, dok treći član podvodne ekipe sve snima kamerom, čiji se signal prenosi na monitor na površini. Uz ovo je potrebno napomenuti da svaki ronioc ima svog asistenta na površini. Uz asistente svakog od pojedinih ronioca, na površini se još nalaze i koordinator ronjenja, osoba za komunikaciju i snimanje podataka, te osoba kvalificirana za NDT ispitivanja. Iz ovog je vidljivo da je organizacija ovakvog posla vrlo zahtijevna. Na slici 8. i 9. vidi se ispitivanje magnetskim česticama u bazenu Laboratorija Katedre za zavarene konstrukcije, FSB i na čvoru platforme Ivana A na 8m dubine. Vizualna kontrola se provodi pomoću kamere kojom upravlja ronioc ili je priključena na daljinski upravljano autonomnu ronilicu (Remote Operated Vehicle - ROV). ROV sistemi dolaze više kod izražaja kod kontrole cjevovoda, dok se ronionci s kamerama više koriste kod platformi ili kod kompliciranih konstrukcija gdje bi upravljanje ROV-om bilo otežano. Signal sa kamere se prenosi na monitor na površini, gdje osoba kvalificirana za vizualno NDT ispitivanje analizira stanje konstrukcije. Postoji stalna telefonska veza između ronioca i površine, tako da se po potrebi određene kritične lokacije mogu pobliže i detaljnije analizirati. Signal s kamere se snima, tako da je omogućen višestruki pregled snimke. Trenutno se u projekt podvodnog zavarivanja i ispitivanja na FSB-u uključuje daljinski upravljana ronilica prilagođena i

konfigurirana za podvodno ispitivanje. Očekuje se proširenje spektra istraživanja, uvođenje novih metoda ispitivanja i povećanje sigurnosti ronilaca kod realnih situacija.



**Slika 8.** Ispitivanje mag. česticama u laboratoriju /2/

**Fig. 8** MPI inspection in the laboratory /2/



**Slika 9.** Ispitivanje mag. česticama na platformi

**Fig. 9** MPI inspection on the platform structure

#### **4. Certifikacija FSB-a prema regulativi HRB-a**

Niz provedenih istraživanja u laboratorijskim uvjetima rezultirao je cjelovitom i definiranom tehnologijom podvodnog zavarivanja i ispitivanja. Praktična primjenjivost razvijene tehnologije te sposobnost FSB da može u stvarnim uvjetima izvoditi radove takve vrste dokazana je uspješnom certifikacijom provedenoj od strane HRB-a. Certifikacija je održana u listopadu 2002. u uvali Grmošćica kraj Umaga. Kao baza za smještaj opreme i ronilaca korištena je barža tvrtke SUB-MAR. Podvodno zavarivanje i ispitivanje provodili su atestirani zavarivači i NDT ispitivači s adekvatnim certifikatima. Za mokro podvodno zavarivanje je izrađen atest postupka prema AWS D 3.6M: 1999, dok su za podvodno nerazorno ispitivanje ultrazvukom i ispitivanje magnetskim česticama pripremljene adekvatne procedure prema API normama. Atestiranje zavarivača provedeno je prema AWS D3.6 M, dok je za kvalifikaciju osoblja za podvodno nerazorno ispitivanje primjenjivana HRN EN 473 norma. Podvodni zavarivači su završili školovanje prema EN ISO 15618-1 i smjericama EWF-a Doc. EWF-570-01. Nakon što je inspektor HRB-a pregledom ustanovio da je mobilizirana potrebna oprema u funkciji i pripravna za uporabu detaljno je provjerena dokumentacija. Kako su ostvareni preduvjeti za certifikaciju, pristupilo se izvođenju planiranih podvodnih aktivnosti. Pomoću monitora koji je bio smješten na barži na kontrolnom stolu inspektor HRB-a je pratio cijeli tijek podvodnih operacija, slika 11. Sve radne operacije su snimane podvodnom kamerom. Organizacija ronjenja je provedena prema standardima tehničkog ronjenja, te je za planiranje vremenskog rasporeda urona kao i sigurnost ronilaca bio zadužen voditelj ronjenja. Svaka operacija je na površini prije urona detaljno isplanirana, te je određeno trajanje svake aktivnosti kako bi se ronionci što manje zamarali i doveli u opasnost uslijed povećanih psihofizičkih napora. Pomoćni tim na površini je zadužen za audio i video komunikaciju, dobavu zraka, pripremanje i dobavu alata i opreme ta asistenciju i osiguranje ronilaca. Osim neophodne ronilačke i tehničke opreme, za potpunu sigurnost radova osigurana je i barokomora s pripadajućim medicinskim priborom. Na taj način se rizik prilikom ronjenja smanjuje na najmanju moguću mjeru. Stručna ekipa FSB-a je provela pokazno ispitivanje prema predviđenim tehničkim standardima, te je kao rezultat od Hrvatskog registra brodova dobivena Potvrda o odobrenju ispitne institucije za radove na podvodnim konstrukcijama.



Slika 10. Iskravanje opreme iz kamiona na baržu

Fig. 10 Transfer of equipment from truck to the barge

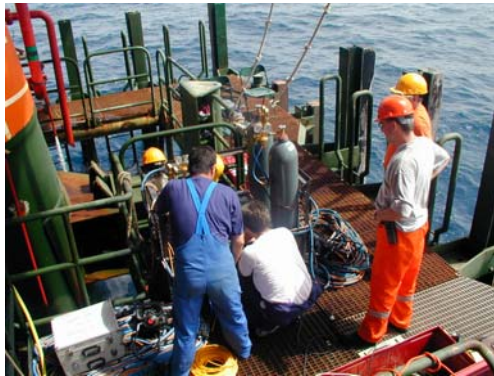


Slika 11. Kontrolni stol na barži

Fig. 11 Control desk on the barge

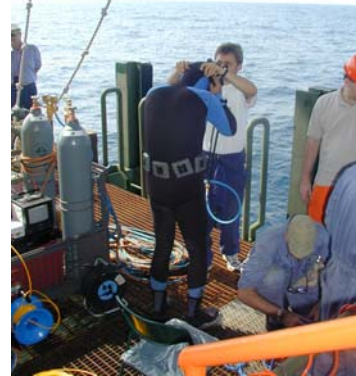
## 5. Zaključak

Prisutni trendovi u svjetskom gospodarstvu diktiraju sve veća ulaganja u pomorski transport i eksploataciju podmorskih resursa. Veliki broj plovni objekata i «off-shore» postrojenja povećava rizik od mogućih kvarova i problema koji mogu prouzročiti ekološke havarije. Takve kvarove i situacije se mogu na vrijeme detektirati tehnikama nerazornih podvodnih ispitivanja, a sanacija i popravak istih je vrlo često moguć pomoću tehnike mokrog podvodnog zavarivanja. Rezultati istraživanja dobiveni na Katedri za zavarane konstrukcije, Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, na projektima vezanim za problematiku podvodnog zavarivanja i ispitivanja naposljetku su primijenjeni u praksi prilikom sanacije i ispitivanja podvodnog dijela konstrukcije platforme IVANA A u Jadranskom moru, slika 12 i 13. Pravodobno otkrivanje i detekcija grešaka na podvodnom dijelu konstrukcije-trupa te mogućnost «on-site» popravaka i reparature osigurava visoku operativnost platforme ili plovila, smanjenje sveprisutnog ekološkog rizika uz maksimalan ekonomski učinak.



Slika 12. Priprema opreme za podvodno ispitivanje

Fig. 12 Equipment assembly for underwater NDT



Slika 13. Pripremanje ronioaca

Fig. 13. Preparation of divers

## LITERATURA

- [1] »Wet Welding Offshore Thailand«, Underwater Contractor, Nov/Dec 2003, pp. 16-17.
- [2] S.Kralj, Z.Kožuh, Z. Belinić, I. Garašić: «Podvodni radovi u održavanju pomorskih objekata», Zbornik radova Međunarodnog znanstvenog-stručnog skupa o naftnom rudarstvu, Zadar, 2003.
- [3] S.Kralj, Z.Kožuh, I.Garašić, L.Dorn: « Influence of the environment on the parameters in underwater wet welding«, Welding and Cutting, 2/2003., S.Kralj, Z.Kožuh, I.Garašić: « Electrodes for underwater wet welding«, Proceedings of International Conference Welding&Joining 2000, pp 161-168., Tel Aviv, Israel, 2000.