

**IZVJEŠĆE O MJERENJIMA I  
NADZORU RADIOAKTIVNOSTI  
NA PODRUČJU JADRANSKOG PRIOBALJA  
U BLIZINI PODMORNICE NA NUKLEARNI POGON –  
Nuclear submarine Class Rubis**



Zagreb, prosinac 2016.

INSTITUT ZA MEDICINSKA ISTRAŽIVANJA I MEDICINU RADA  
ZAGREB

*Jedinica za zaštitu od zračenja*

**IMI-P-385**

Klasa: 07-75/16-00/1  
Ur.Broj: 100-15/16-32

**IZVJEŠĆE O MJERENJIMA I NADZORU RADIOAKTIVNOSTI NA  
PODRUČJU JADRANSKOG PRIOBALJA U BLIZINI  
PODMORNICE NA NUKLEARNI POGON –  
Nuclear submarine Class Rubis**



Predstojnica Jedinice: dr. sc. Gordana Marović, dipl.ing. biotehn.

Voditelj poslova: doc. dr. sc. Branko Petrinc, prof. fiz.

Suradnik: Marko Šoštarić, dipl.ing.fiz.

Zagreb, prosinac 2016.

## UVOD

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada iz Zagreba (IMI), ovlaštena je ustanova za obavljanje stručnih poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja temeljem *Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti* (NN 141/13; NN39/15), a sukladno odredbi članka 8. stavka 1. *Pravilnika o ovlašćivanju stručnih tehničkih servisa za obavljanje stručnih poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja* (NN 72/11). IMI je akreditiran prema Normi HRN EN ISO/IEC 17025, (HAA br.1288), u području određivanja radioaktivnosti te ispitivanja u području zaštite od ionizirajućeg zračenja (Određivanje radionuklida visokorezolucijskom gama spektrometrijom u energijskom rasponu 40 -2000 keV i Određivanje brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze,  $H^*(10)/t$ ).

Jedinica za zaštitu od zračenja IMI provodi program mjerenja radioaktivnosti životne sredine na cijelom teritoriju Republike Hrvatske od 1959. godine, a prema *Zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti* (NN 141/13; NN39/15) i *Pravilniku o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu* (NN 121/13).

Suradnici Jedinice za zaštitu od zračenja IMI-a proveli su mjerenja radioaktivnosti na području Jadranskog priobalja tijekom boravka podmornice na nuklearni pogon klase Rubis u Ratnoj luci Lora.

Ovo izvješće obuhvaća rezultate terenskih uzorkovanja i mjerenja kao i laboratorijskih gamaspektrometrijskih mjerenja uzoraka skupljenih prema međunarodno propisanoj metodologiji.

Cilj mjerenja prema dogovorenom programu jest utvrditi postoji li statistički značajna razlika između rezultata mjerenja prije, za vrijeme i nakon odlaska broda.

## POPIS OPREME

### AUTOMOBIL: OPEL MOVANO REG.OZN. ZG-8475-FO

1. ORTEC Detective-EX Portable Neutron and Gamma Nuclide Identifier s kovčegom i sustavom za hlađenje
2. Prijenosno računalo Panasonic s punjačem i torbom za nošenje
3. Prijenosno računalo Dell s punjačem i torbom za nošenje
4. Canberra InSpector 1000 NaI/LaBr Spectrometer sa sondom za detektiranje neutrona
5. Berthold LB 124 scintilacijski detektor površinske kontaminacije
6. Berthold UMo LB 123 detektor neutrona
7. Mirion RDS-31 S/R Multi-purpose Survey Meter (3x)
8. Mirion GMP-12SD Gamma Probe for RDS-31
9. Thermo Eberline FH 40G-L10
10. Alara (2x)
11. Uređaji za mjerenje meteoroloških parametara
12. Produžni kabel 50m
13. Produžni kabel 10m
14. Plastični spremnici za uzimanje uzoraka morske vode
15. GPS
16. Osobna zaštitna oprema

PROGRAM MJERENJA I NADZOR RADIOAKTIVNOSTI NA PODRUČJU  
JADRANSKOG PRIOBALJA U BLIZINI PODMORNICE NA NUKLEARNI  
POGON – Nuclear submarine Class Rubis

**1. Određivanje nultog stanja - prije sidrenja podmornice u za to određenom dijelu priobalja**

- Površinski sloj mora na pretpostavljenom mjestu sidrišta podmornice;
  - *In-situ* VR gamaspektrometrija
  - Uzorkovanje i laboratorijska obrada uzoraka i radiokemijsko određivanje radionuklida (u slučaju potrebe)
- Na obali (pogodna točka u najbližoj mogućoj zračnoj udaljenosti od podmornice)
  - mjerenje brzine prostornog/ambijentalnog ekvivalenta doze – terenski mjerači brzine doze, Thermo, elektronički dozimetri ALARA i ionizacijska komora
  - *In-situ* VR gamaspektrometrija
  - Određivanje ukupne alfa, beta, gama aktivnosti/kontaminacije
  - Mjerenje meteoroloških parametara
  - Uzorkovanje i laboratorijska obrada uzoraka i radiokemijsko određivanje radionuklida (u slučaju potrebe)

**2. Tijekom boravka podmornice na sidrištu – dnevno provođenje mjerenja**

- Površinski sloj mora na mjestu sidrišta podmornice;
  - *In-situ* VR gamaspektrometrija
  - Uzorkovanje i laboratorijska obrada uzoraka i radiokemijsko određivanje radionuklida (u slučaju potrebe)
- Na obali (pogodna točka u najbližoj mogućoj zračnoj udaljenosti od podmornice)
  - Mjerenje brzine prostornog/ambijentalnog ekvivalenta doze – terenski mjerači brzine doze, Thermo, elektronički dozimetri ALARA i ionizacijska komora
  - *In-situ* VR gamaspektrometrija
  - Određivanje ukupne alfa, beta, gama aktivnosti/kontaminacije
  - Mjerenje meteoroloških parametara
  - Uzorkovanje i laboratorijska obrada uzoraka i radiokemijsko određivanje radionuklida (u slučaju potrebe)

### 3. Neposredno nakon odlaska podmornice

- Površinski sloj mora na mjestu sidrišta podmornice;
  - *In-situ* VR gamaspektrometrija
  - Uzorkovanje i laboratorijska obrada uzoraka i radiokemijsko određivanje radionuklida (u slučaju potrebe)
  
- Na obali (pogodna točka u najbližoj mogućoj zračnoj udaljenosti od podmornice)
  - Mjerenje brzine prostornog/ambijentalnog ekvivalenta doze – terenski mjerači brzine doze, Thermo, elektronički dozimetri ALARA i ionizacijska komora
  - *In-situ* VR gamaspektrometrija
  - Određivanje ukupne alfa, beta, gama aktivnosti/kontaminacije
  - Mjerenje meteoroloških parametara
  - Uzorkovanje i laboratorijska obrada uzoraka i radiokemijsko određivanje radionuklida (u slučaju potrebe)

Na svim lokacijama na kojima su provedena uzorkovanja ili terenska mjerenja ili postavljanje detektora, pomoću GPS sustava izmjerene su geografske koordinate i nadmorske visine. Ti podaci prikazani su u tablici 1.

**Tablica 1.** Geografske koordinate lokacija mjerenja i skupljanja uzoraka

Lokacija	N	E
Lora – vez 3	43° 31' 39"	16° 25' 29"

Terenska mjerenja uključila su određivanje brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze,  $H^*(10)/t$  uređajem Thermo Eberline i Mirion RDS-31, neprekidna mjerenja brzine ekspozicijske doze gama zračenja uređajima ALARA, određivanje ukupne alfa, beta i gama kontaminacije uređajem Berthold LB 124, detekciju neutrona uređajem Berthold UMo LB 123 i visokorezolucijska gamaspektrometrijska mjerenja uređajem ORTEC Detective-EX.

Neprekidna 24-satna mjerenja za vrijeme sidrenja podmornice provedena su s dva uređaja za određivanje brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze,  $H^*(10)/t$  (Mirion RDS-31) na kojima su namješteni alarmi. Jedan je postavljen u ophodno vozilo vojne policije koje je provodilo ophodnje oko podmornice, a drugi na kontrolnu točku vojne policije u neposrednoj blizini podmornice. Također, neprekidna mjerenja provedena su i uređajem za mjerenja brzine ekspozicijske doze gama zračenja elektroničkim dozimetrom (ALARA).

Uzorci morske vode za laboratorijska određivanja skupljeni su na lokaciji mjerenja i na lokaciji sidrenja broda.

Sva mjerenja i uzorkovanja su obavljena u prisutnosti inspektorice za radiološku i nuklearnu sigurnost.

Uzorci morske vode mjereni su u nepropusnim plastičnim Marinelli posudama volumena jedne litre u laboratoriju. Uzorci su određivani visokorezolucijskom gamaspektrometrijom GAMMA-X HPGe detektorom ORTEC rezolucije 2,2 keV na 1,33 MeV  $^{60}\text{Co}$ , te relativne efikasnosti od 74% na 1,33 MeV  $^{60}\text{Co}$ , povezanim s elektroničkim sustavom i osobnim računalom. Kalibracija energije i efikasnosti gamaspektrometara učinjena je uz pomoć kalibracijskih izvora Češkog metrološkog instituta koji pokrivaju energiju između 40 i 2000 keV. Ostali uređaji kalibrirani su od strane proizvođača.

## **REZULTATI MJERENJA I RASPRAVA**

### **1. Mjerenje meteoroloških parametara**

Praćenje meteoroloških parametara nužno je za kvalitetnu interpretaciju postupaka kao i rezultata mjerenja, kako bi se izbjegle moguće nelogičnosti. Vrijeme se može okarakterizirati relativnom stabilnošću. Rezultati su prikazani u tablici 2.

**Tablica 2.** Meteorološki parametri (prosječne vrijednosti)

<b>13.-20. 11. 2016.</b>	<b>13.11.</b>	<b>14.11.</b>	<b>15.11.</b>	<b>16.11.</b>	<b>17.11.</b>	<b>18.11.</b>	<b>19.11.</b>	<b>20.11.</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>Relativna vlaga (%)</b>	<b>55</b>	<b>49</b>	<b>33</b>	<b>39</b>	<b>43</b>	<b>63</b>	<b>75</b>	<b>81</b>
<b>Tlak (hPa)</b>	<b>1022</b>	<b>1024</b>	<b>1027</b>	<b>1028</b>	<b>1025</b>	<b>1022</b>	<b>1020</b>	<b>1017</b>
<b>Vjetar - brzina (kmh<sup>-1</sup>)</b>	<b>10</b>	<b>11,2</b>	<b>17,2</b>	<b>7,6</b>	<b>4,9</b>	<b>8</b>	<b>24,4</b>	<b>24,8</b>
<b>Vjetar - smjer</b>	<b>NNE</b>	<b>ENE</b>	<b>ENE</b>	<b>ENE</b>	<b>ENE</b>	<b>E</b>	<b>SE</b>	<b>SSE</b>
<b>Naoblaka (X/10)</b>	<b>3/10</b>	<b>6/10</b>	<b>2/10</b>	<b>1/10</b>	<b>4/10</b>	<b>5/10</b>	<b>7/10</b>	<b>6/10</b>

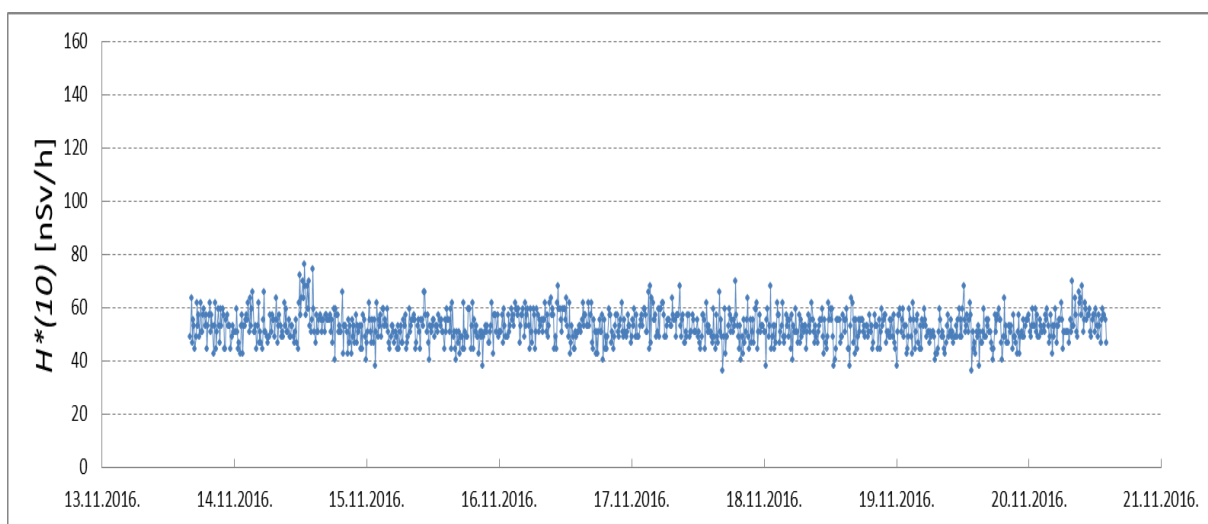
### **2. Neprekidna mjerenja 24-satna mjerenja (ALARA-AED) i Mirion RDS-31**

Neprekidno mjerenje brzine ekspozicijske doze provedeno je mjernim uređajima Alara AED (Active Electronic Dosimeter). Jedan je uređaj bio postavljen na lokaciji vez 3 nasuprot podmornice (slika 1.). Drugi uređaj bio je postavljen na lokaciji mjerenja tj. na lokaciji na kojoj je bio smješten kombi. Uređaji su mjerili neprekidno od 13. - 20. studenoga 2016. godine. Pohranjeni desetminutni podaci iščitani su računalnim programom, dobiveni su kako pisani tako i grafički zapisi iz kojih je određena brzina prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze, H\*(10)/t. Na slikama 2. i 3. prikazane su vrijednosti brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze.

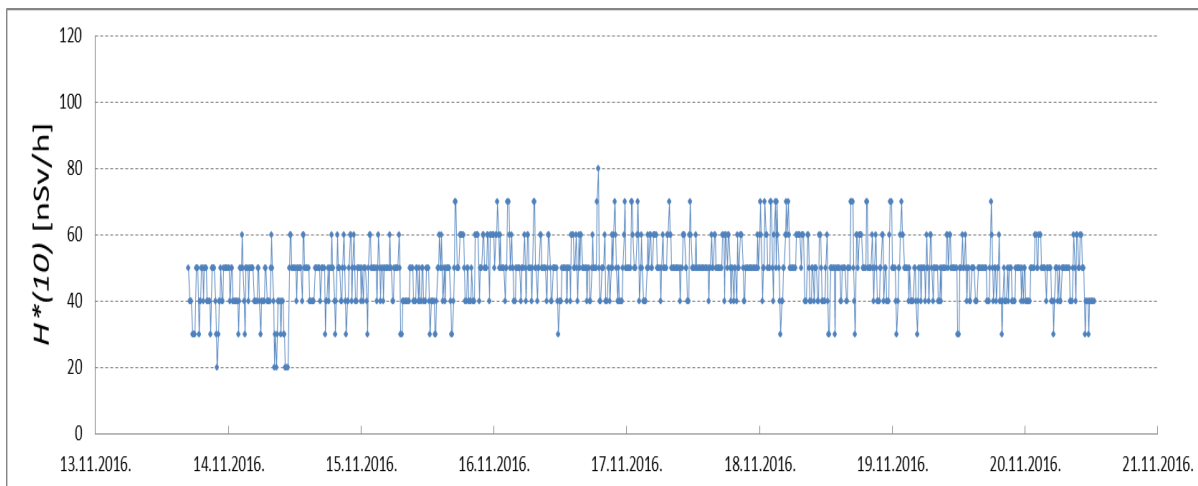




**Slika 1.** Postavljeni elektronički dozimetar ALARA za određivanje brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze,  $H^*(10)/t$ , nasuprot podmornice



**Slika 2.** Brzina prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze,  $H^*(10)/t$ , na lokaciji veza podmornice (uređaj ALARA)



**Slika 3.** Brzina prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze,  $H^*(10)/t$  na lokaciji kontrolne točke vojne policije (uređaj Mirion RDS-31)

Prosječna vrijednost brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze za cijelo razdoblje izloženosti dozimetra na lokacijama nije pokazala značajna odstupanja prije, za vrijeme i nakon odlaska broda.

Prosječna vrijednost brzine prostornog (ambijentalnog) ekvivalenta doze,  $H^*(10)/t$ , izmjerena uređajima ALARA i Mirion RDS-31, za period od 13. do 20. studenoga 2016. godine iznosila je 50,64 nSv/h i ne prelazi prosječnu vrijednost za Republiku Hrvatsku za 2015. godinu, niti za grad Zagreb na lokaciji IMI za 2015. godinu.

### 3. Određivanje ukupne alfa, beta, gama aktivnosti/kontaminacije

Ukupna alfa, beta, gama aktivnost/kontaminacija mjerena je scintilacijskim detektorom površinske kontaminacije tj. uređajem Berthold LB 124.

Nije detektirana kontaminacija tla na lokacijama mjerenja.



**Slika 4.** Određivanje ukupne alfa, beta, gama aktivnosti/kontaminacije

#### **4. Detekcija neutrona**

Detekcija neutrona provedena je pomoću tri uređaja:

1. ORTEC Detective-EX Portable Neutron and Gamma Nuclide Identifier
2. Canberra InSpector 1000 NaI/LaBr Spectrometer sa sondom za detektiranje neutrona
3. Berthold UMo LB 123 detektor neutrona



**Slika 5.** Detekcija neutrona uređajem Berthold UMo LB 123

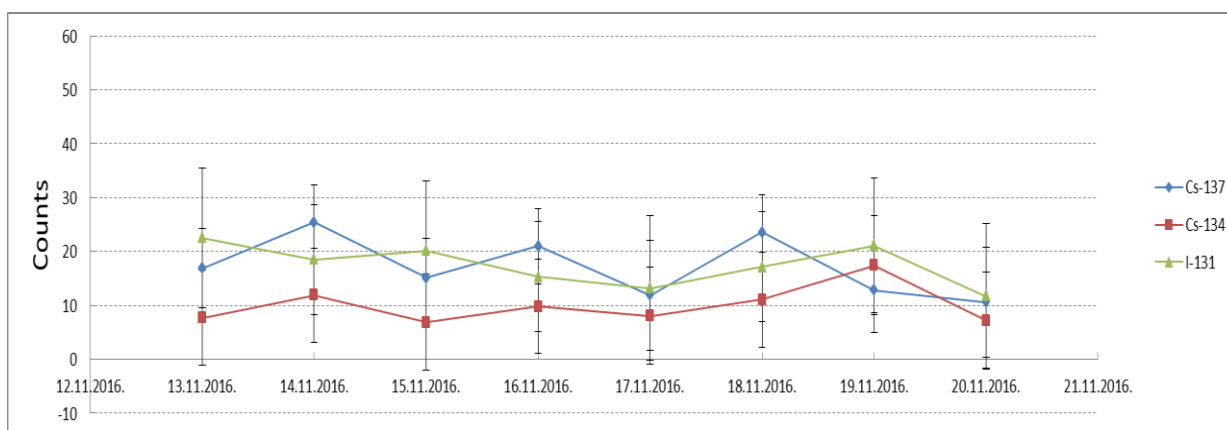
Niti jedan od navedenih uređaja nije detektirao neutrone.

## **5. *In-situ* VR gamaspektrometrijska mjerenja**

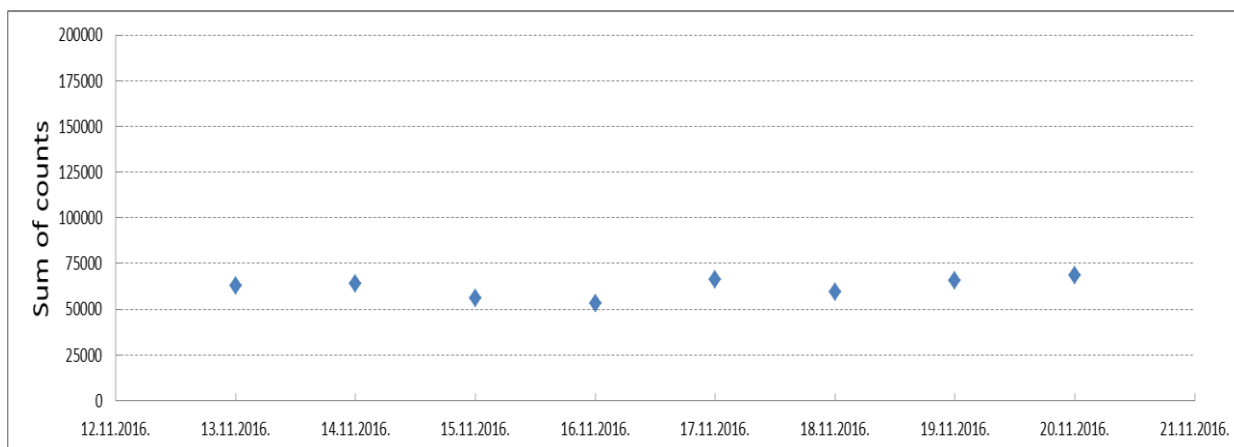
Prije dolaska podmornice uređajem ORTEC Detective-EX utvrđeno je pozadinsko zračenje (*background*) na energijama u rasponu od 20 – 3000 keV. Mjerenja su provođena svakodnevno za vrijeme sidrenja podmornice (slika 6.) Za vrijeme boravka i nakon odlaska podmornice kontinuirano su u provođenim mjerenjima uspoređivani impulsi (counti) vrhova spektra koji pripadaju radionuklidima od interesa kao i ukupni broj impulsa kroz cijeli energijski spektar u rasponu od 20 do 3000 keV. Na slici 7. prikazani su rezultati mjerenja za radionuklide od interesa, dok su na slici 8. prikazani sumarni integrali svakog pojedinog mjerenja.



**Slika 6.** In-situ gamaspektrometrijska mjerenja za vrijeme sidrenja podmornice



**Slika 7.** In-situ gamaspektrometrijska mjerenja radionuklida od interesa



**Slika 8.** *In-situ* gamaspektrometrijska mjerenja u energijskom rasponu od 20 – 3000 keV

Rezultati *in-situ* gamaspektrometrijskih mjerenja radionuklida od interesa ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  i  $^{131}\text{I}$ ) prije, za vrijeme i nakon odlaska podmornice nisu pokazali značajne razlike. Također, na slijedećem grafu (slika 8.), prikazana suma counta za sve radionuklide na energijama od 20 do 3000 keV ne pokazuje značajne razlike. Vidljiva odstupanja u mjerenjima prije dolaska, za vrijeme sidrenja i nakon odlaska podmornice, unutar su pogreške mjerenja.

## 6. Gamaspektrometrijske analize vode u laboratoriju

Prije sidrenja broda uzorkovano je more na lokaciji Vez 3 kako bismo odredili početno stanje (*background*). More je uzorkovano svaki dan neposredno uz podmornicu.

Nakon odlaska podmornice uzorak je uzet na mjestu sidrenja.

Laboratorijskom gamaspektrometrijskom analizom u svim uzorcima morske vode utvrđene su koncentracije aktivnosti radionuklida i inače prisutnih u moru. Rezultati su prikazani u izvješćima koja su u prilogu.

## **ZAKLJUČAK**

Sve izmjerene vrijednosti brzine doze tijekom boravka u Splitu i u splitskom akvatoriju, kao i koncentracije aktivnosti mora (primijenimo li kriterij koncentracije aktivnosti u vodi za piće) nisu ni približne definiranim akcijskim razinama koje su navedene u Pravilniku o granicama ozračenja (NN 59/13).

Boravak podmornice na nuklearni pogon "RUBIS" u splitskom akvatoriju nije narušio ni povećao količinu radioaktivnosti i inače prisutnu u okolišu, a nije svojim aktivnostima ni dodatno ozračio šire splitsko područje.

Boravak podmornice na nuklearni pogon „RUBIS“ u splitskom akvatoriju nije povećao opterećenost pojedinca u splitskoj populaciji ionizirajućim zračenjem.