

**DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
SRBIJE I CRNE GORE**

ZBORNİK RADOVA

**XXIV SIMPOZIJUM DZZSCG
Zlatibor 2007,
3 – 5. oktobar**

**Beograd
2007**

ZBORNİK RADOVA
XXIV SIMPOZIJUM DZZSCG
3-5 oktobar 2007

Izdavači:

Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore

Za izvršnog izdavača:

Dr Jovan Nedeljković

Urednik:

Mr Miloško Kovačević

ISBN 978-86-7306-089-7

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Tehnička obrada: Sesartić Gorijan

Štampa: Štamparija Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd

Tiraž: 120 primeraka

Štampa završena septembra 2007.

XXIV SIMPOZIJUM DRUŠTVA
ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA
SRBIJE I CRNE GORE
Zlatibor, 3 – 5 oktobar 2007

Organizatori:

DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA SRBIJE I CRNE GORE

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „VINČA“

Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine „Zaštita“

Organizacioni odbor:

Predsednik: Milojko Kovačević

Članovi:

Ranko Kljajić
Perko Vukotić
Milan Pavlović
Ištvan Bikit
Olivera Marinković
Tomislav Anđelić
Gordana Pantelić
Dragoslav Nikezić
Snežana Milačić
Snežana Dragović

Redakcioni odbor:

Dr Gordana Joksić
Dr Olivera Ciraj
Dr Marko Ninković

Organizaciju su pomogli:

Ministarstvo za nauku Republike Srbije
Ministarstvo za zaštitu životne sredine
VIP mobile
AMETEK-AMT, ORTEC
Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Ovaj Zbornik je zbirka radova saopštenih na XXIV Simpozijumu Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore koji je održan od 3 - 5. oktobra 2007. godine na Zlatiboru. Radovi su razvrstani po sekcijama. Mada su svi radovi u Zborniku recenzirani od strane Redakcionog odbora za sve iznesene tvrdnje i rezultate odgovorni su sami autori.

Organizacioni odbor se zahvaljuje svim autorima radova na uloženom trudu. Posebno se zahvaljujemo sponzorima koji su pomogli održavanje Simpozijuma i štampanje Zbornika.

Organizacioni odbor

**PRIMENA VIRTUELNOG VOKSELA PRI UPOTREBI CT
PODATAKA U MODELOVANJU TRAJEKTORIJE ČESTICE
TEHNIKAMA MONTE KARLO**

**Radovan ILIĆ¹, Predrag MARINKOVIĆ², Srbojub STANKOVIĆ¹ i Jelica
KALJEVIĆ¹**

¹Institut za nuklearne nauke „Vinča“, PP 522, 11001 Beograd, Srbija
²Elektrotehnički fakultet, Bul. Kralja Aleksandra 73, 11001 Beograd, Srbija

SADRŽAJ

U simulaciji prolaza čestica tehnikama Monte Karlo aktuelni geometrijski moduli upotrebljavaju površine prvog i drugog reda (FOTELP, PENELOPE, SHIELD, GEANT), a nekad i četvrtog reda (MCNP5), da opišu složene geometrijske forme. Sve veća primena tehnika Monte Karlo u medicini oslanja se na vokselizovane geometrijske forme koje se dobijaju vokselizacijom fantoma ili iz CT podataka. Ogroman broj tela (voxela) u tom slučaju otežava primenu konstruktivne geometrije. Efikasniji pristup tom problemu zasniiva se na primeni virtuelnog vokseli. Ovde se saopštavaju rezultati upotrebe virtuelnog vokseli na anatomiju tela i organa upotrebom CT podataka.

1. Uvod

Geometrijski problemi u modelovanju transporta čestica tehnikama Monte Karlo u složenim geometrijskim formama uzimaju i do 80% ukupnog vremena trajanja simulacije. Svi vodeći Monte Karlo programi, kao što su MCNP (1), GEANT (2), PENELOPE (3), FOTELP (4) i drugi, u svim verzijama, upotrebljavaju konstruktivnu kvadratnu geometriju da opišu takve geometrijske forme. Većina ovih programa ima svoje geometrijske module u kojima se određuje indeks zone i računa optičko rastojanje od startne tačke čestice do njenog prodora kroz najbližu granicu. Neki od njih slede modele u kojima se zahteva poznavanje tih veličina na svim granicama do preseka sa spoljnom površinom geometrijske forme.

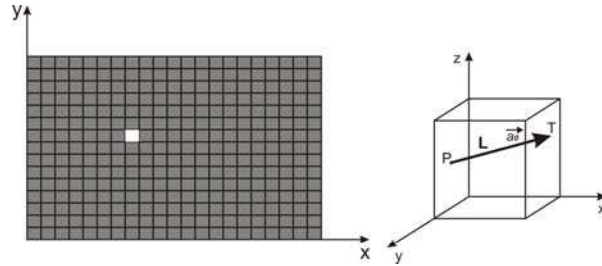
Nastojanja u medicinskoj fizici, a naročito u radioterapiji, da se u kliničku praksu uvedu tehnike Monte Karlo, ograničava trajanje simulacije zbog pomenutih geometrijskih problema. Čak ni primena geometrijskog modela čoveka sa manje od 50 geometrijskih oblika nije dala zapaženije rezultate. Pokušaji da se predje na vokselizovanu geometriju konverzijom modela čoveka u geometriju sa vokselima, ili direktnom primenom CT podataka, naišli su na isti tip problema, samo mnogostruko uvećan, što je sve posledica primene kombinovane geometrije i u tim slučajevima. Izvesno skraćanje trajanja simulacije postignuto je upotrebom 40 procesora, brzine 2.2 GHz (5).

Upotreba virtuelnog vokseli, pre svega u planiranju terapije fotonima, elektronima i protonima sa vokselizovanom geometrijom u paketima FOTLEKS i FOTART (6) i ISTAR (7), dovela je do drastičnog smanjenja trajanja simulacije pri istoj statističkoj neodređenosti.

Klasične skenere sve više zamenjuju helikoidalni koji omogućavaju da se dobiju CT podaci sa dimenzijama vokseli i manjim od 1 mm. Zato je iskrsla potreba da se ranije upotrebljeni model virtuelnog vokseli upotrebom za različite dimenzije vokseli, a rezultati takvih testova prezentiraju se i upoređuju sa analitičkim rezultatima preseka prave sa pravouglim vokselima.

2. Virtuelni voksel

Primena virtuelnog vokselu pretpostavlja da je bilo koja geometrijska forma prevedena u vokselizovanu geometriju u kojoj su strane vokselu 6 ravni, paralelne koordinatnim ravnima. Svi skeneri daju CT podatke baš u takvom obliku.



Sl. 1 Vokselizovana geometrija sa izdvojenim virtuelnim vokselom

Na Sl. 1 prikazana je takva forma iz koje je izdvojen jedan voksel. On u simulaciji igra ulogu virtuelnog vokselu, jer može da zauzme mesto bilo kojeg od vokselu date geometrijske forme.

U modelovanju transporta čestica, simulacioni program ima definisane samo granične ravni geometrijske forme i dimenzije vokselu. Na Sl.1. dimenzije geometrijske forme su Dfx , Dfy i Dfz , duž x , y i z ose. Dimenzije Dvx , Dvy i Dvz po x , y i z osi pripadaju virtuelnom vokselu. U toku simulacije takav voksel zauzima mesto stvarnog vokselu u zavisnosti od toga gde se čestica nalazi. Kad se čestica iz tačke $P(x,y,z)$ kreće u smeru orta \mathbf{a} , ona ima adresu i položaj 6 ravni u xyz koordinatnom sistemu:

$$i = 1 + x * Dfx / Dvx; \quad j = 1 + y * Dfy / Dvy; \quad k = 1 + z * Dfz / Dvz.$$

$$P_1 = (i - 1) * Dvx; \quad P_3 = (j - 1) * Dvy; \quad P_5 = (k - 1) * Dvz;$$

$$P_2 = i * Dvx; \quad P_4 = j * Dvy; \quad P_6 = k * Dvz.$$

Stavkom simulacionom modelu neophodno je da ima optičko rastojanje od tačke $P(x, y, z)$ do tačke $T(x_T, y_T, z_T)$ u kojoj čestica seče ravan vokselu i , što je naročito važno, u kom se vokselu on kreće.

Pokazani algoritam (9) je opšti i primenjiv na svaki voksel, ma na koji način on bio dobijen. Odabrane dimenzije vokselu Dvx , Dvy i Dvz ne favorizuju oblik vokselu, već, naprotiv, važe za svaki paraleloiped.

3. Primena virtuelnog vokselu

Opisane dobre osobine virtuelnog vokselu upotrebljene su u verzijama programa FOTELP (6) u okviru dva paketa FOTART i FOTLEKS, i programa SRNA u paketu ISTAR (7). Paket FOTART simulirao je na instalaciji ART 6000 (www.radiosurgery.net) 3D dozu u glavi pacijenta sa izdvojenom raspodelom doze u tumoru mozga.. Paket FOTLEKS simulirao je na instalaciji Leksel Gama Knife Type C (www.elekt.com) 3D dozu u glavi pacijenta takodje sa izdvojenom raspodelom doze u tumoru mozga. U oba slučaja ukupna aktivnost ^{60}Co izvora bila je oko $6000 \text{ Ci} = 8,22 * 10^{16} \text{ Bq}$. U trećem slučaju reč je o ozračivanju tumora snopom protona na terapijskim akceleratorima (7). Stečeno

iskustvo sa vokselizovanom geometrijom i CT podacima (8) iz paketa ISTAR preneto je u pomenuta dva paketa.

4. Rezultati testiranja

Navika gledaoca da najčešće slike gleda u ravni, razlog je sto su primeri za testiranje odabrani prvenstveno u ravni.. Zbog odsecanja i zaokrugljivanja brojeva pri računanju preseka modelima sa kombinovanom geometrijom, narocito u mikro ili nano geometrijskim formama, presek prave i granične površine nije uvek jednoznačan pa identifikacija tela u koje prava ulaze posle preseka nije pouzdana. Ovaj fenomen postoji i kod vokselizovane geometrije i zato naš model ima jednostavan postupak za eliminaciju takvih greški. Primeri koji slede ilustruju preseke više pravih sa vokselima 20 x 20 x 16.

Preseci prave sa vokselima u ravni (X,0,Z)

Indeksi polaznog voxela	X, Y, Z koordinate	Azimutalni i polarni ugao
1 1 1	0.0 0.0 0.0	45.0 0.0
Indeksi Voxela	Koordinate preseka prave sa vokselima	Optičko rastojanje izmedju tacki P i T

I	J	K	x	y	z	EL
2	1	2	.10000E+01	.10000E-11	.10000E+01	.14142E+01
3	1	3	.20000E+01	.20000E-11	.20000E+01	.14142E+01
4	1	4	.30000E+01	.30000E-11	.30000E+01	.14142E+01
5	1	5	.40000E+01	.40000E-11	.40000E+01	.14142E+01
6	1	6	.50000E+01	.50000E-11	.50000E+01	.14142E+01
7	1	7	.60000E+01	.60000E-11	.60000E+01	.14142E+01
8	1	8	.70000E+01	.70000E-11	.70000E+01	.14142E+01
9	1	9	.80000E+01	.80000E-11	.80000E+01	.14142E+01
10	1	10	.90000E+01	.90000E-11	.90000E+01	.14142E+01
11	1	11	.10000E+02	.10000E-10	.10000E+02	.14142E+01
12	1	12	.11000E+02	.11000E-10	.11000E+02	.14142E+01
13	1	13	.12000E+02	.12000E-10	.12000E+02	.14142E+01
14	1	14	.13000E+02	.13000E-10	.13000E+02	.14142E+01
15	1	15	.14000E+02	.14000E-10	.14000E+02	.14142E+01
16	1	16	.15000E+02	.15000E-10	.15000E+02	.14142E+01

Prostorni preseci prave sa vokselima (X,Y,Z)

Indeksi polaznog voxela	X, Y, Z koordinate	Azimutalni i polarni ugao
1 1 1	0.0 0.0 0.0	$\arccos(1.0/\sqrt{3})$ 45.0 0.0
Indeksi Voxela	Koordinate preseka prave sa vokselima	Optičko rastojanje izmedju tacki P i T

I	J	K	x	y	z	EL
1	1	2	.99999999998589E+00	.99999999998589E+00	.10000000000027E+01	.173205080756567E+01
2	2	2	.10000000000200E+01	.10000000000200E+01	.10000000000368E+01	.417575178942021E-11
2	2	3	.19999999999691E+01	.19999999999691E+01	.20000000000027E+01	.173205080755930E+01
3	3	3	.20000000000200E+01	.20000000000200E+01	.20000000000536E+01	.708404055630331E-11
3	3	4	.29999999999523E+01	.29999999999523E+01	.30000000000027E+01	.173205080755639E+01
4	4	4	.30000000000200E+01	.30000000000200E+01	.30000000000704E+01	.999309850826095E-11
4	4	5	.39999999999355E+01	.39999999999355E+01	.40000000000027E+01	.173205080755348E+01

5	5	5	.40000000000200E+01	.40000000000200E+01	.40000000000872E+01	.129006180900695E-10
5	5	6	.49999999999187E+01	.49999999999187E+01	.50000000000027E+01	.173205080755057E+01
6	6	6	.50000000000200E+01	.50000000000200E+01	.50000000001040E+01	.158096760420271E-10
6	6	7	.59999999999019E+01	.59999999999019E+01	.60000000000027E+01	.173205080754766E+01
7	7	7	.60000000000200E+01	.60000000000200E+01	.60000000001208E+01	.187187339939848E-10
7	7	8	.699999999998851E+01	.699999999998851E+01	.70000000000027E+01	.173205080754475E+01
8	8	8	.70000000000200E+01	.70000000000200E+01	.70000000001376E+01	.216277919459424E-10
8	8	9	.799999999998683E+01	.799999999998683E+01	.80000000000027E+01	.173205080754185E+01
9	9	9	.80000000000200E+01	.80000000000200E+01	.80000000001543E+01	.245368498979001E-10
9	9	10	.899999999998516E+01	.899999999998515E+01	.90000000000027E+01	.173205080753894E+01
10	10	10	.90000000000200E+01	.90000000000200E+01	.90000000001711E+01	.274443694797086E-10
10	10	11	.999999999998348E+01	.999999999998347E+01	.10000000000003E+02	.173205080753603E+01
11	11	11	.10000000000020E+02	.10000000000020E+02	.10000000000188E+02	.303518890615172E-10
11	11	12	.109999999999818E+02	.109999999999818E+02	.11000000000003E+02	.173205080753312E+01
12	12	12	.11000000000020E+02	.11000000000020E+02	.11000000000205E+02	.332594086433257E-10
12	12	13	.119999999999801E+02	.119999999999801E+02	.12000000000003E+02	.173205080753021E+01
13	13	13	.12000000000020E+02	.12000000000020E+02	.12000000000221E+02	.361669282251342E-10
13	13	14	.129999999999784E+02	.129999999999784E+02	.13000000000003E+02	.173205080752731E+01
14	14	14	.13000000000020E+02	.13000000000020E+02	.13000000000238E+02	.390744478069428E-10
14	14	15	.139999999999768E+02	.139999999999768E+02	.14000000000003E+02	.173205080752440E+01
15	15	15	.14000000000020E+02	.14000000000020E+02	.14000000000255E+02	.419819673887513E-10
15	15	16	.149999999999751E+02	.149999999999751E+02	.15000000000003E+02	.173205080752149E+01

Prvi primer ilustruje preseke prave sa ravnima voksela u ravni (X,0,Z). Analitičko rešenje daje preseke u desnom gornjem uglu kvadrata (I, K), a optičko rastojanje između tački P i T je $\sqrt{2}$. U poslednjoj koloni sve vrednosti EL su 0.14142E+01 što nije identično sa analitičkim rešenjem zbog formata za prikaz. Ako se prate tri leve kolone za indekse voksela I,J,K vidi se da svaki presek prati njihova promena.

U drugom primeru malo je teže pratiti sukcesivne preseke prave sa vokselima u prostoru. Prve tri kolone pokazuju logične prelaze kroz rogljeve voksela. Druge tri kolone takodje daju logične tačke T preseka, ovde pokazane u maksimalnom formatu 32 bitnog PC. Medjutim, poslednja kolona pokazuje da izračunato optičko rastojanje ima odgovarajuće vrednosti u odnosu na analitičko rešenje, ali sa skokovima oko roglja voksela $d < 1.0E-10$. Takav rezultat zadovoljava postavku modela sa virtuelnim vokselom, ali ima uvek još jedan mali skok d što u konačnom rezultatu pri simulaciji zahteva dva puta veći broj poziva geometrijske rutine. Standardni skeneri daju CT podatke sa 512 x 512 piksela u svakom slajsu, a broj slajsova je barem 50 što odgovara matrici sa $13.1E7$, odnosno tolikom broju tela (zona) kad se primenjuje koncepcija kombinovane geometrije. Zato se u takvima simulacijama primenjuju modeli povećanja dimenzija voksela da se smanji broj tela. Medjutim, tada opada prostorna rezolucija 3D doze što izaziva dopunske probleme. Ne ulazeći ovde u njih, može se istaći da model sa virtuelnim vokselom superiornije njih prevazilazi.

5. Zaključak

Jednostavna struktura vokselizovane geometrije oslobadja korisnike programa za simulaciju potrebe da se bave predstavljanjem geometrijskih formi logikom kombinovane geometrije. Virtuelni voksel eliminiše neophodnost da se svaki realan voksel date geometrijske forme tretira kao odvojeno geometrijsko telo – zona; u programu funkcioniše samo 3D matrica indeksa materijala. Upotreba virtuelnog voksela u modelovanju transporta čestica u medicinskoj fizici, a posebno upotreba u planiranju terapije zračenjem, značajno skraćuje vreme trajanja simulacije u odnosu na vreme trajanja kad se upotrebljavaju geometrijski moduli kombinovane geometrije.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiralo je Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije u okviru projekta broj 141041G.

6. Literatura

- [1] MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B, Briesmeister J.F., Editor, Transport Methods Group, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, USA 1997.
 - [2] Agostinelli S. et al., “GEANT4 - A simulation toolkit“, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* 506, 250 – 303, 2003.
 - [3] Salvat F. et al., “PENELOPE-2006: A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport“, *Workshop Proceedings*, Barcelona, Spain, 4th – 7th July 2006 OECD NEA Data Bank, NEA 6222.
 - [4] Radovan Ilić, FOTELP-2K6: Photon, Electron and Positron Monte Carlo transport simulation IAEA 1388 OECD NEA Data Bank; <http://www.nea.fr/>
 - [5] Paganetti H. et al., “Accurate Monte Carlo simulations for nozzle design, commissioning and quality assurance for a proton radiation therapy facility“, *Medical Physics*, Vol. 31, No. 7, July 2004
 - [6] <http://www.vin.bg.ac.yu/~rasa/hopa.htm>
 - [7] Radovan Ilić et al., “The Monte Carlo SRNA-VOX code for 3D proton dose distribution in voxelized geometry using CT data“, *Phys. Med. Biol.* 50 (2005) 1011-1017.
 - [8] Schneider W., Bortfeld T. and Schlegel W., “Correlation between CT numbers and tissue parameters needed for Monte Carlo simulation of clinical dose distribution“, *Phys. Med. Biol.* 45 (2000) 459-78
- Radovan Ilić, Predrag Marinković, Milijana Steljić and Jelica Kaljević Virtuelni voksel u modelovanju trajektorije cestice tehnikama Monte Karlo, ETRAN 2007, Igalo.

ABSTRACT

USAGE OF VIRTUAL VOXEL WITH CT DATA IN PARTICLES TRAJECTORY MODELING BY MONTE CARLO TECHNIQUES

**Radovan D. ILIĆ, Predrag MARINKOVIĆ,
Srboljub J. STANKOVIĆ and Jelica KALJEVIĆ**

Geometry modules in particle transport simulation codes with Monte Carlo techniques use surfaces of first and second order, sometimes even a fourth order surfaces, to be able to describe complex geometrical shapes. Constructive quadric geometry dominates in all leading software packages. Increasing application of Monte Carlo techniques in medicine is associated with voxelized geometry forms. Huge number of bodies present in this case makes the use of constructive geometry more difficult. The paper describes an efficient approach to this problem by virtual voxel application, where optical distance to the boundary is obtained, and 3D voxel indices give information about the materials present in voxel.

SADRŽAJ

RADIOEKOLOGIJA	7
MEASUREMENTS OF RADIOACTIVITY AND QUALITY ASSURANCE.....	9
UTICAJ DUGOGODIŠNJEG ĐUBRENJA NA RADIOAKTIVNOST ZEMLJIŠTA ...	17
ПРАЋЕЊЕ АКТИВНОСТИ ¹³⁷ CS И ⁹⁰ SR У ЗЕМЉИШТУ НА ТЕРИТОРИЈИ БЕОГРАДА ОД 2003. ДО 2006. ГОДИНЕ	23
RADIOAKTIVNOST ZEMLJIŠTA SEVEROZAPADNOG DELA STARE PLANINE.....	29
PROCENA RADIJACIONOG OPTEREĆENJA MAHOVINA BEOGRADA I OKOLINE	33
ODREĐIVANJE RADIOAKTIVNIH ELEMENATA U VODI ZA PIĆE METODOM INDIRECTNE ANALIZE NA OSNOVU ISPITIVANJA SASTAVA KAMENCA.....	37
DUGOROČNE POSLEDICE RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE U ŽIVOTNOJ SREDINI	43
УКУПНА БЕТА АКТИВНОСТ УЗОРАКА ИЗ ДУНАВА У 2006. ГОДИНИ.....	49
ISPITIVANJE SADRŽAJA RADIONUKLIDA U ZEMLJIŠTU I SADRŽAJA ²¹⁰ Pb U LIŠĆU NOVOSADSKIH PARKOVA.....	53
REMIJACIJA ZEMLJIŠTA SRBIJE KONTAMINIRANIH URANIJUMOM.....	59
RADIJACIONI RIZIK USLED TERESTRIČKOG IZLAGANJA ZA STANOVNIŠTVO GRADOVA SRBIJE	63
АКТИВНОСТ Cs ¹³⁷ У ЉУДСКОЈ И СТОЧНОЈ ХРАНИ У РЕГИОНУ ВОЈВОДИНЕ У ПЕРИОДУ ОД 2001 ДО 2005. ГОД.	69
MAHOVINE KAO INDIKATORI ZAGADJENJA VAZDUHA U URBANIM SREDINAMA	73
VARIJACIJA KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI RADONA U NISKOFONSKOJ PODZEMNOJ LABORATORIJI U BEOGRADU	77
RADIOAKTIVNE KARAKTERISTIKE UVOZNIH GRANITA I MERMERA.....	83
SIMULACIJA RASPODELE KONCENTRACIJE TORONA I RADONA UNUTAR ZATVORENE PROSTORIJE	87
OPTIMIZACIJA MERENJA POVEĆANE KONCENTRACIJE RADONA METODOM ELEKTRONEMIJSKOG RAZVIJANJA TRAG DETEKTORA.....	93
МЕРЕЊЕ БРЗИНЕ ЕКСХАЛАЦИЈЕ РАДОНА ИЗ ГРАЂЕВИНСКИХ МАТЕРИЈАЛА МЕТОДОМ ЗАТВОРЕНЕ КОМОРЕ	99
SADRŽAJ TRITIUMA U VAZDUHU HALE REAKTORA RA U INSTITUTU "VINČA"	105
KORELACIJA KONCENTRACIJE ATMOSFERSKIH BRZIH JONA I AKTIVNOSTI RADONA U ZATVORENIM PROSTORIJAMA.....	109
RADIONUKLIDI U KAFI, KAKAU I ČOKOLADI U SRBIJI U TOKU 2006-2007. GODINE.....	115

RADIOTOKSIKOLOGIJA	119
KANCEROGENEZA I PATOFIZIOLOGIJA PROFESIONALNIH BOLESTI	121
EFIKASNOST AFCF POSLE VIŠEKRAATNE KONTAMINACIJE FAZANA ¹³⁷ CS. 129	
UTICAJ CITOSTATIKA NA BIOLOŠKO PONAŠANJE 99MTC- RADIOFARMACEUTIKA – ASPEKT ZAŠTITE	135
ZAŠTITA OD ZRAČENJA U MEDICINI	141
ZAŠTITA OD ZRAČENJA U ODJELJENJU NUKLEARNE MEDICINE U KLINIČKOM CENTRU CRNE GORE	143
ANALOGNI I DIGITALNI RADIOGRAFSKI SISTEMI: EVALUACIJA PACIJENTNIH DOZA U RADIOGRAFIJI	147
MOGUĆNOSTI SMANJENJA PACIJENTNE DOZE KOD KOMPJUTERIZOVANE TOMOGRAFIJE	153
PROIZVODNJA I PRIMENA RADIONUKLIDA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA	159
PROCJENA IZLOŽENOSTI PACIJENATA PRI RADIOGRAFSKIM PROCEDURAMA U DIJAGNOSTIČKOJ RADIOLOGIJI	165
PRIKAZ REŠAVANJA VANREDNOG DOGAĐAJA U ODELJENJU BRAHITERAPIJE U JEDNOM CENTRU ZA ONKOLOGIJU I RADIOLOGIJU U SRBIJI	169
UČESTALOST HROMOZOMSKIH ABERACIJA KOD RADNIKA PRI RADU SA RAZLIČITIM IZVORIMA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA	177
MESTO I ULOGA HRONIČNOG STRESA U PROCENI RIZIKA RADNOG MESTA I RADNE SREDINE KOD LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH JONIZUJUĆIM ZRAČENJIMA	183
PROCENA IZLAGANJA PROFESIONALNO IZLOŽENIH LICA U RENDGEN DIJAGNOSTICI I KORELACIJA SA ZAKLJUČCIMA PERIODIČNIH ZDRAVSTVENIH PREGLEDA	189
PROCJENA INTERNIH DOZA ZRAČENJA U PRVIM DINAMIČKIM STUDIJAMA BUBREGA POMOĆU GAMA KAMERE U KLINIČKOM CENTRU CRNE GORE – PODGORICA	195
ANTIOKSIDATIVNA AKTIVNOST FLAVONOIDA (PROCIJANIDOLA, KVERCETINA, KEMFEROLA I LUTEOLINA) U HUMANIM LIMFOCITIMA OZRAČENIM <i>IN VITRO</i>	201
DOZIMETRIJA	207
ABSORBOVANA FRAKCIJA ELEKTRONA U LJUDSKOM RESPIRATORNOM TRAKTU	209
PRORAČUN EFEKTIVNE DOZE ORNL FANTOMA U ZATVORENOJ PROSTORIJI OD PRIRODNIH RADIONUKLIDA U GRADJEVINSKIM MATERIJALIMA	215
INCIDENT SA IZGUBLJENIM IZVOROM JONIZUJUĆEH ZRAČENJA U VOZILU ZA PREVOZ OPREME I FILMSKE EKIPE: STUDIJA SLUČAJA	221
KEMPELOV MSV METOD MERENJA U MEŠOVITOM POLJU ²⁵² CF MODERIRANOG TEŠKOM VODOM	227

PRIMENA VIRTUELNG VOKSELA PRI UPOTREBI CT PODATAKA U MODELOVANJU TRAJEKTORIJE ČESTICE TEHNIKAMA MNTE KARLO	233
TEORIJA REFLEKSIJE RENDGENSKIH ZRAKA KORIŠĆENIH U INDUSTRIJI I MEDICINI.....	239
TOTALNI BROJNI ALBEDO NISKOENERGETSKIH FOTONA	245
NISKOENERGETSKA APROKSIMACIJA K-N-T FORMULE	249
O SREDNJEM KOSINUSU POLARNOG UGLA FOTONA REFLEKTOVANIH OD VODE	253
RADIOBIOLOGIJA	259
BIODOZIMETRIJSKI TEST U RUTINSKOJ PRAKSI PERIODIČNIH PREGLEDA	261
PREVREMENA CENTROMERNA SEGREGACIJA U LICA IZLOŽENIH JONIZUJUĆEM ZRAČENJU	267
EFEKAT JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA MODULACIJU PURINERGIČKE SIGNALIZACIJE U NERVNIM ČELIJAMA MOZGA PACOVA.....	273
KINETIKA REPERA DVOLANČANIH PREKIDA DNK U HUMNAIM FIBROBLASTIMA MERENA Γ -H2AX ANTITELOM	277
RADIOAKTIVNI OTPAD	281
UPRAVLJANJE RADIOAKTIVNIM OTPADOM U CENTRU ZA NUKLEARNE TEHNOLOGIJE I ISTRAŽIVANJA INSTITUTA VINČA	283
ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI UPOTREBE SORBENTA KOŠTANOG POREKLA U IMOBILIZACIJI SR^{2+} JONA IZ VODENIH RASTVORA.....	289
DESORPCIJA JONA STRONCIJUMA SA HIDROKSIAPATITA: UTICAJ pH I KONCENTRACIJE KOMPETITIVNOG KATJONA.....	295
PRIPREMNE AKTIVNOSTI ZA UKLANJANJE ISLUŽENOG GORIVA I ZA DEKOMISIJU REAKTORA RA	299
MERNA INSTRUMENTACIJA	307
MEĐUNARODNE INTERKOMPARACIJE MERENJA IZOTOPSKOG SASTAVA URANA, PLUTONIJUMA I CEZIJUMA U RASTVORU AZOTNE KISELINE	309
МОГУЋНОСТИ И НЕСАВРШЕНОСТИ УПОТРЕБЕ ДОЗИМЕТРИЈСКЕ И КАЛИБРАЦИОНЕ ОПРЕМЕ У КЛАСИЧНОЈ РЕНДГЕН ДИЈАГНОСТИЦИ.....	313
MINIMALNA DETEKTIBILNA AKTIVNOST TORIJUMA U REŽIMU DVOSTRUKIH KOINCIDENCIJA NA SPEKTROMETRU PRIPJAT-2M.....	319
НЕКЕ МОГУЋНОСТИ УПОТРЕБЕ X-ФЛУОРЕСЦЕНЦИЈЕ У РУТИНСКОЈ КОНТРОЛИ КВАЛИТЕТА РЕНДГЕНСКИХ ДИЈАГНОСТИЧКИХ УРЕЂАЈА	325
PROŠIRENA MERNA NESIGURNOST GEIGER – MUELLER-OVOG BROJAČA	331
KARAKTERISTIKE STABILIZATORA NAPONA SA SERIJSKIM NPN TRANZISTOROM U POLJIMA FOTONA SREDNJE I VISOKE ENERGIJE	337
MEĐULABORATORIJSKO POREĐENJE ODREĐIVANJA AKTIVNOSTI GAMAEMITERA U FILTERU ZA VAZDUH.....	345
LIMITI DETEKCIJE RADIOAKTIVNIH IZVORA U OTPADNOM GVOŽĐU	351
KOMENTARI U VEZI IAEA-CU-2006-11 TESTA KOMPETENTNOSTI ODREĐIVANJA GAMA EMITERA U FILTER PAPIRU	357

UTICAJ GAMA I X ZRAČENJA NA IMPULSNU KARAKTERISTIKU NEKIH KOMERCIJALNIH GASNIH ODVODNIKA PRENAPONA.....	363
МОГУЋНОСТИ МЕРЕЊА РУЧНИМ МОНИТОРОМ ЗА МЕРЕЊЕ РАДИОАКТИВНОСТИ МКЦ-А03	367
REGULATIVA, EDUKACIJA I JAVNO INFORMISANJE.....	373
ZNAČAJ REFORME ORGANIZACIJE I RADA RADIOLOŠKIH KABINETA U NADLEŽNOSTI GRADA BEOGRADA SA ASPEKTA ZAŠTITE OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA.....	375
MESTO I ULOGA MEDICINSKE SESTRE-TEHNIČARA U VANREDNIM MEDICINSKIM PREGLEDIMA NAKON RADIOLOŠKIH INCIDENATA	385
ULOGA I NADLEŽNOST REGULATORNOG TELA PREMA NACRTU NOVOG ZAKONA O ZAŠTITI OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA I NUKLEARNOJ SIGURNOSTI	387
NEJONIZUJUĆA ZRAČENJA.....	391
NIVOI RF ZRAČENJA U OKOLINI GSM BAZNIH STANICA JAVNE MOBILNE TELEFONIJE U SRBIJI	393
SLOBODNE TEME	397
SPECIFIČNE SFERE PRIMENE IZVORA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA I NEKE OD REALIZOVANIH METODA OD INTERESA ZA SLUŽBE CARINE I POLICIJE	399
СИСТЕМСКИ ПРИЛАЗ ПРОЦЕНИ ПРЕТЊИ И ПРИПРЕМА НАЦИОНАЛНОГ СИСТЕМА БОРБЕ СА ИЛЕГАЛНИМ ПРОМЕТОМ НУКЛЕАРНИХ И/ИЛИ РАДИОАКТИВНИХ МАТЕРИЈАЛА (НУКЛЕАРНИ ОБЈЕКАТ – ТЕРИТОРИЈА – ГРАНИЦА).....	405
ISPITIVANJE KAMENCA DOBIJENOG IZ VODE ZA RIČE RENDGENSKOM DIFRAKCIONOM ANALIZOM PRAHA	409
JONIZUJUĆE ZRAČENJE I ZDRAVLJE ZAPOSLENIH	415
INDEX AUTORA.....	421
SADRŽAJ.....	427