

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

**Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală**

Admis la susținere

**Șef interimar departament:
conf. univ., dr. Serghei RAILEAN**

„_____” _____ **2022**

**SMART DOZIMETRU PENTRU
MONITORIZAREA ÎNCĂPERILOR DE
TERAPIE INTENSIVĂ**

Teză de master

Student:

**Modval Grigori,
IBM-201**

Conducător:

**Buzdugan Artur,
dr. hab., prof. univ.**

Chișinău, 2022

ADNOTARE

a tezei de masterat ”SMART DOZIMETRU PENTRU MONITORIZAREA ÎNCĂPERILOR DE TERAPIE INTENSIVĂ”, program de studii de master:

Inginerie biomedicală, prezentată de MODVAL Grigori,

Chișinău, 2021.

Structura tezei: Teza constă din introducere, 3 capitole, concluzii, bibliografia din 65 surse, 15 figuri, 3 tabele.

Cuvinte-cheie: radiații ionizante, dozimetrie, radioprotecție

Scopul lucrării constă în realizarea unui SMART DOZIMETRU pentru monitorizarea încăperilor de terapie intensivă din considerentele amplificării factorilor externi impuși de intensitatea crescută a volumului de lucru, precum și de mobilitatea amplasării echipamentelor de diagnostic în perioada pandemică.

Obiectivele lucrării

- de a analiza limitele dozelor admisibile de expunere la radiații ionizante a lucrătorilor expuși profesional și a populației;
- de a estima impactul frecvenței mărite a instalațiilor mobile de radiodiagnostic în cazul pacienților covid-19;
- de a elabora un instrument care permite monitorizarea nivelului de radiații ionizante.

Metodologia cercetării s-a bazat pe:

- Identificarea problemei necesare de studiat;
- Decizia asupra procedurii prin raționament deductiv;
- Colectarea și analiza datelor din surse bibliografice;
- Formularea concluziilor privind modul de realizare;
- Modul de realizare;
- Testarea dispozitivului;
- Concluzii asupra lucrării.

Rezultatele obținute: A fost elaborat un SMART DOZIMETRU, care permite monitorizarea nivelului de radiații ionizante din încăperile de terapie intensivă, la care sunt expuși pacienții, dar și lucrătorii medicali, în condițiile pandemiei de COVID-19, care este asociată cu o frecvență mărită a instalațiilor mobile de radiodiagnostic.

ANNOTATION

of the master's thesis "**SMART DOSIMETER FOR INTENSIVE CARE MONITORING UNITS**", master's degree program: Biomedical Engineering, presented by MODVAL Grigori, Chisinau, 2021.

Thesis structure: The thesis consists of introduction, 3 chapters, conclusions, bibliography from 65 sources, 15 figures, 3 tables.

Keywords: ionizing radiation, dosimetry, radiation protection

The **aim** is to create a SMART DOSIMETER for monitoring intensive care units due to the amplification of external factors imposed by the increased intensity of workload, as well as the mobility of the location of diagnostic equipment during the pandemic.

The **objectives:**

- to analyze the limits of the permissible doses of exposure to ionizing radiation of professionally exposed workers and the population;
- to estimate the impact of the increased frequency of mobile radiodiagnostic facilities on covid-19 patients;
- to develop a tool to monitor the level of ionizing radiation.

The **research methodology** was based on:

- Identify the problem to be studied;
- Decision on the procedure by deductive reasoning;
- Data collection and analysis from bibliographic sources;
- Formulation of conclusions on how to achieve;
- The way of realization;
- Testing the device.
- Conclusions on the work.

Results obtained: A SMART DOSIMETER has been developed, which allows monitoring the level of ionizing radiation in intensive care units, to which patients and medical workers are exposed, in the conditions of the COVID-19 pandemic, which is associated with an increased frequency of mobile radiodiagnostic installations.

АННОТАЦИЯ

магистерская диссертации «SMART ДОЗИМЕТР ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ», магистерская программа: Биомедицинская инженерия, представленная MODVAL Grigori, Кишинев, 2021.

Структура диссертации: Диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов, библиографии из 65 источников, 15 рисунков, 3 таблиц.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, дозиметрия, радиационная защита.

Цель состоит в том, чтобы создать УМНЫЙ ДОЗИМЕТР для мониторинга отделений интенсивной терапии из-за усиления внешних факторов, вызванных повышенной интенсивностью рабочей нагрузки, а также мобильностью расположения диагностического оборудования во время пандемии.

Задачи работы

- проанализировать пределы допустимых доз облучения ионизирующим излучением профессионально облученных работников и населения;
- оценить влияние увеличения частоты использования мобильных радиодиагностических средств на пациентов с COVID-19;
- разработать инструмент для контроля уровня ионизирующего излучения.

Методология исследования основывалась на:

- Определите проблему, которую необходимо изучить;
- Решение о процедуре дедуктивным рассуждением;
- Сбор и анализ данных из библиографических источников;
- Формулирование выводов о том, как достичь;
- Способ реализации;
- Тестирование устройства.
- Выводы по работе.

Полученные результаты: Разработан УМНЫЙ ДОЗИМЕТР, позволяющий контролировать уровень ионизирующего излучения в отделениях интенсивной терапии, воздействию которых подвергаются пациенты и медицинские работники, в условиях пандемии COVID-19, что связано с повышенной частотой мобильные радиодиагностические установки.

CUPRINS

INTRODUCERE	8
1. RETROSPECTIVA RADIAȚIILOR IONIZANTE. DOZIMETRIE	10
1.1. Radiația ionizantă	10
1.2. Interacția radiației ionizante cu materia	13
1.3. Principii dozimetrice. Mărimi și unități	22
2. CONCEPTE DE RADIOPROTECȚIE	29
2.1. Principiile fundamentale ale radioprotecției	29
2.2. Sisteme de monitorizare radiologică a zonelor de lucru	34
3. DISPOZITIVE DE MONITORIZARE A FONDULUI RADIOACTIV	38
3.1. Alegerea modelului și principiului dispozitivului	38
3.2. Asamblarea și testarea	46
3.3. Măsurători practice	48
CONCLUZII	52
BIBLIOGRAFIA	53

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța temei abordate. Este cunoscut faptul că utilizarea radiațiilor ionizante reprezintă o inovație în medicina contemporană [1, 2]. Utilizarea radiațiilor în medicină, spre exemplu, în radiologia de diagnostic, proceduri intervenționale și în radioterapie, constituie o importantă sursă artificială de expunere la radiații atât a pacienților cât și a personalului medical [3, 4]. Se cunoaște faptul că, odată cu gradul de iradiere crescând și probabilitatea apariției unor efecte negative asupra organismului. Dacă procedura este necesară din punct de vedere medical, riscul expunerii la radiații este depășit de beneficii. Medicul evită expunerea inutilă a pacientului sau ține seama de intervalul de timp trecut între diferite tipuri de investigații radiologice, evitând investigații radiologice la intervale scurte de timp. Ca regula generală, se aplica "*cat mai rar si numai după ce au fost epuizate tipurile de investigații neiradiante*"

În Republica Moldova, activitățile de desfășurarea în siguranță a activităților nucleare și radiologice sunt reglementate prin acte normative aprobate și corelate cu Directiva Consiliului Uniunii Europene 96/29/EURATOM din 13 mai 1996 de stabilire a normelor de securitate de bază privind protecția sănătății lucrătorilor și a populației împotriva pericolelor prezentate de radiațiile ionizante (Jurnalul Oficial al Uniunii Europene nr. L 159) [5], precum și recomandările *Agenciei Internaționale pentru Energie Atomică din Seria Normelor de Securitate GSR* părțile 1, 2 [6, 7].

Probabilitatea ca o persoană să experimenteze aceste efecte adverse în urma metodelor radiografice este foarte mică. Dacă procedura este necesară din punct de vedere medical, riscul expunerii la radiații este depășit de beneficii. Pentru a minimiza acest risc, aceste proceduri medicale trebuie întotdeauna realizată cu cea mai mică expunere acceptabilă, pentru cel mai scurt timp [8].

Însă, în contextul perioadei pandemice, a crescut numărul de pacienți internați în încăperile de terapie intensivă, respectiv s-a majorat și frecvența instalațiilor mobile de radiodiagnostic. Din cauza imposibilității transportării în saloanele radiologice special amenajate, pacienții au fost supuși investigațiilor radiologice repetate, chiar în saloane, pentru stabilirea exactă a evoluției bolii. În consecință, pacienții, dar și lucrătorii medicali sunt expuși la doze efective mai mari de radiații. Monitoringul în cazul unor practici aparte poate fi suplimentat cu măsurători de doză prin intermediul dispozitivelor (dozimetrelor) de tipul celor utilizate pentru monitoringul dozimetric individual [9, 10]. Dispozitivele vor fi plasate în punctele cu debitul maxim de doză, sau în locurile cele mai des frecventate din zonele controlate sau supravegheate. Cercetarea în dinamică a nivelului

de radiații ionizante este necesar în contextul desfășurării practicilor medicale în condiții de radioprotecție și securitate radiologică [11].

Astfel, pentru soluționarea problemelor specifice din domeniu, este important de a elabora instrumente tehnologice eficiente, care ar permite monitorizarea radiologică prin măsurarea debitelor de doză ambientale gama rezultate din expunerile externe, în încăperile de terapie intensivă, cu posibilitatea de a fi utilizate și pentru alte tipuri de încăperi. În acest context, **scopul lucrării** constă în realizarea unui SMART DOZIMETRU pentru monitorizarea încăperilor de terapie intensivă din considerentele amplificării factorilor externi impuși de intensitatea crescută a volumului de lucru, precum și de mobilitatea amplasării echipamentelor de diagnostic în perioada pandemică.

Obiectivele lucrării

- de a analiza limitele dozelor admisibile de expunere la radiații ionizante a lucrătorilor expuși profesional și a populației;
- de a estima impactul frecvenței mărite a instalațiilor mobile de radiodiagnostic în cazul pacienților covid-19;
- de a elabora un instrument care permite monitorizarea nivelului de radiații ionizante

Metodologia cercetării s-a bazat pe:

- Identificarea problemei necesare de studiat;
- Decizia asupra procedurii prin raționament deductiv;
- Colectarea și analiza datelor din surse bibliografice;
- Formularea concluziilor privind modul de realizare;
- Modul de realizare;
- Testarea dispozitivului;
- Concluzii asupra lucrării;

Rezultatele obținute. A fost elaborat un SMART DOZIMETRU, care permite monitorizarea nivelului de radiații ionizante din încăperile de terapie intensivă, la care sunt expuși pacienții, dar și lucrătorii medicali, în condițiile pandemiei de COVID-19, care este asociată cu o frecvență mărită a instalațiilor mobile de radiodiagnostic.

BIBLIOGRAFIE

1. MELIDIS, C., et al. Radiation therapy quality assurance in clinical trials—Global harmonisation group. In: *Radiother Oncol* [online]. 2014, nr. 111, pp. 327-329 [citat 19.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radonc.2014.03.023
2. MELIDIS, C., et al. Global harmonization of quality assurance naming conventions in radiation therapy clinical trials. In: *Int J Radiat Oncol Biol Phys* [online]. 2014, nr. 90, pp. 1242-1249 [citat 14.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.ijrobp.2014.08.348
3. BUZDUGAN, A., RĂILEAN, S. *Securitatea radiologică și nucleară*. Compendiu cu lucrări practice, Chișinău, Pontos, 2021.
4. BUZDUGAN, A. *Securitatea radiologică și nucleară*, Chișinău, Pontos, 2019. – 337 p.
5. Directiva 96/29/EURATOM a Consiliului Uniunii Europene din 13 mai 1996 de stabilire a normelor de securitate de bază privind protecția sănătății lucrătorilor și a populației împotriva pericolelor prezentate de radiațiile ionizante [citat 15.11.2021]. Disponibil: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0029>
6. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment No. GSR, Part 1 General Safety Requirements Part 1. - Vienna : International Atomic Energy Agency, 2010. ISBN 978-92-0-106410-3 [citat 22.11.2021]. Disponibil: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1465_web.pdf
7. BUDIHARTO, T., et al. EORTC Radiation Oncology Group. Profile of European radiotherapy departments contributing to the EORTC Radiation Oncology Group (ROG) in the 21st century. In: *Radiother Oncol* [online]. 2008, nr. 88, pp. 403-410 [citat 19.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radonc.2008.05.013
8. PALMER, A., et al. Analysis of regional radiotherapy dosimetry audit data and recommendations for future audits. In: *Br J Radiol* [online]. 2011, nr. 84, pp. 733-742 [citat 19.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1259/bjr/18691638
9. PETTERSEN, M.N., et al. Quality assurance of dosimetry and the impact on sample size in randomized clinical trials. In: *Radiother Oncol* [online]. 2008, nr. 86, pp. 195-199 [citat 14.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radonc.2007.07.001
10. HUSSEIN, M., et al. A methodology for dosimetry audit of rotational radiotherapy using a commercial detector array. In: *Radiother Oncol* [online]. 2013, nr. 108, pp. 78-85 [citat 16.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radonc.2013.05.027

11. The electromagnetic spectrum-picture dictation, Science Learning Hub Pokapū Akoranga Pūtaiao [citat 18.11.2021]. Disponibil: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1033-the-electromagnetic-spectrum-picture-dictation>
12. VENABLES, K., et al. Three dimensional distribution of radiation within the breast: an intercomparison of departments participating in the start trial of breast radiotherapy fractionation. In: *Int J Radiat Oncol Biol Phys* [online]. 2003, nr. 55, pp. 271-279 [citat 15.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/S0360-3016(02)03808-7
13. SFETCU N. Radiații alfa, beta și gama [citat 22.11.2021]. Disponibil: <https://www.telework.ro/ro/radiatii-alfa-beta-si-gama>
14. VLĂDUCĂ, G. *Elemente de fizică nucleară partea a II-a*. Editura Universității din București, 1990
15. Radioactive particles in the environment: sources, particle characterization and analytical techniques - IAEA-TECDOC-1663. [online]. IAEA, VIENNA, 2011 ISSN 1011-4289 [citat 20.11.2021]. Disponibil: doi:https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1663_web.pdf
16. DUTREIX, A., et al. Preliminary results of a quality assurance network for radiotherapy centres in Europe. In: *Radiother Oncol* [online]. 1993, nr. 29, pp. 97-101 [citat 16.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/0167-8140(93)90232-W
17. Ce este radioactivitatea și de ce este uneori periculoasă? [citat 22.11.2021]. Disponibil: <https://www.scientia.ro/63-fizica/atomul/5902-ce-este-radioactivitatea-si-de-ce-este-uneori-periculoasa.html>
18. MACKAY, R.I., et al. NCRI CTRad EXECUTIVE GROUP. Radiotherapy physics research in the UK: challenges and proposed solutions. In: *Br J Radiol* [online]. 2012, nr. 85, pp. 1354-1362 [citat 15.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1259/bjr/61530686
19. VENABLES, K., et al. A survey of radiotherapy quality control practice in the United Kingdom for the START trial. In: *Radiother Oncol* [online]. 2001, nr. 60, pp. 311-318. [citat 17.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/S0167-8140(01)00376-0
20. Compton scattering [citat 30.11.2021]. Disponibil: https://en.wikipedia.org/wiki/Compton_scattering
21. Neutron [citat 17.11.2021]. Disponibil: <https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron>
22. Pair production [citat 20.11.2021]. Disponibil: https://en.wikipedia.org/wiki/Pair_production
23. SHAFIQ, J., et al. An international review of patient safety measures in radiotherapy practice. In: *Radiother Oncol* [online]. 2009, nr. 92, pp. 15-21 [citat 14.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radonc.2009.03.007

24. Internal and External Exposure [citat 20.11.2021]. Disponibil: <https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/02-01-01.html>
25. WEBER, D.C., et al. QA makes a clinical trial stronger: evidence-based medicine in radiation therapy. In: *Radiother Oncol* [online]. 2012, nr. 105, pp. 4-8 [citat 12.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radonc.2012.08.008
26. KOULOULIAS, V.E., et al. The quality assurance programme of the radiotherapy group of the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC): a critical appraisal of 20 years of continuous efforts. In: *Eur J Cancer* [online]. 2003, nr. 39, pp. 430-437 [citat 16.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/S0959-8049(02)00113-2
27. ROTARU, N., MALÎGA, O., CODREANU, I. *Radiologie și radioprotecție*. Chișinău, CEP Medicina, 2020, - 242 p. ISBN 978-9975-82-177-3.
28. Radiation Effects on Humans [citat 28.11.2021]. Disponibil: <https://www.atomicarchive.com/science/effects/radiation-effects-human.html>
29. Dosimetry in Diagnostic Radiology - An International Code of Practice. Technical Report [online]. 2007, Series No. 457, IAEA, [citat 16.11.2021]. Disponibil: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS457_web.pdf
30. EATON, D.J., et al. A national dosimetry audit of intraoperative radiotherapy. In: *Br J Radiol* [online]. 2013, nr. 86, 20130447 [citat 19.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1259/bjr.20130447
31. ABLEITINGER, A, et al. Dosimetry auditing procedure with alanine dosimeters for light ion beam therapy. In: *Radiother Oncol* [online]. 2013, nr. 108, pp. 99-106 [citat 16.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radonc.2013.04.029
32. CLARK, C.H., et al. PARSPORT Trial Management Group. Dosimetry audit for a multi-centre IMRT head and neck trial. In: *Radiother Oncol* [online]. 2009, nr. 93, pp. 102-108 [citat 16.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radonc.2009.04.025
33. HEENEY, C., et al. A dosimetric intercomparison of brachytherapy facilities in Ireland, Scotland and the North of England. In: *Radiother Oncol* [online]. 2005, nr. 74, pp. 149-156. [citat 13.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radonc.2004.10.015
34. HAWORTH, A., et al. Australasian brachytherapy audit: results of the “end-to-end” dosimetry pilot study. In: *J. Med Imag Radiat Oncol* [online]. 2013, nr. 57, pp. 490-498 [citat 15.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1111/1754-9485.12042
35. DEWARAJA, Y.K., et al. MIRD pamphlet no. 23: quantitative SPECT for patient-specific 3-dimensional dosimetry in internal radionuclide therapy. In: *J. Nucl Med* [online]. 2012, nr. 53, pp. 1310-1325. [citat 16.11.2021]. Disponibil: doi: 10.2967/jnumed.111.100123

36. MELIDIS, C., et al. Global harmonization of quality assurance naming conventions in radiation therapy clinical trials. In: *Int J Radiat Oncol Biol Phys* [online]. 2014, nr. 90, pp. 1242-1249 [citată 14.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.ijrobp.2014.08.348
37. TSANG, Y., et al. NCRI Radiotherapy Trials Quality Assurance group. Development of a novel treatment planning test for credentialing rotational intensity-modulated radiotherapy techniques in the UK. In: *Br J Radiol* [online]. 2013, nr. 86, 20120315 [citată 13.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1259/bjr.20120315
38. IBBOTT, G., et al. Challenges in credentialing institutions and participants in advanced technology multi-institutional clinical trials. In: *Int J Radiat Oncol Biol Phys* [online]. 2008, nr. 71, S71-75 [citată 16.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.ijrobp.2007.08.083
39. Legea Parlamentului RM privind desfășurarea în siguranță a activităților nucleare și radiologice (LP Nr. 132 din 08-06-2012) [citată 10.11.2021]. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=106549&lang=ro
40. Hotărârea Parlamentului RM pentru aderarea Republicii Moldova la tratatul cu privire la neproliferarea armelor nucleare din 1 iulie 1968 (HP Nr. 1623-XII din 26 octombrie 1993) [citată 10.11.2021]. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=61600&lang=ro
41. Legea Parlamentului RM pentru ratificarea Acordului dintre Republica Moldova și Agenția Internațională pentru Energie Atomică cu privire la aplicarea garanțiilor în raport cu Tratatul privind neproliferarea armelor nucleare (LP Nr. 41 din 02-03-2006) [citată 10.11.2021]. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=4490&lang=ro
42. Regulamentul cu privire la radioprotecție, securitate radiologică în practicile de radiologie de diagnostic și radiologie intervențională (HG Nr. 451 din 24-07-2015) [citată 10.11.2021]. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=84099&lang=ro
43. Regulamentul privind asigurarea securității radiologice în activități cu surse de radiație ionizantă în exteriorul incintei special amenajate (HG Nr. 608 din 03-07-2018) [citată 9.11.2021]. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=108735&lang=ro
44. Regulamentul sanitar privind radioprotecția și securitatea radiologică în practicile de radioterapie (HG Nr. 632 din 24.08.2011) [citată 10.11.2021]. Disponibil: <http://www.justice.gov.md/file/Centrul%20de%20armonizare%20a%20legislatiei/Baza%20de%20date/Materiale%202010/Acte/HG%20632%20din%2024.08.2011.pdf>
45. Regulamentul privind asigurarea radioprotecției și securității radiologice în practicile de medicină nucleară (HG Nr. 1210 din 03-10-2016) [citată 16.11.2021]. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=96087&lang=ro

46. Relation between exposure doses and health risks [citat 30.11.2021]. Disponibil: <https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/04-02-04.html>
47. BRAHME, A. Dosimetric precision requirements in radiation therapy. In: *Acta Radiol Oncol* [online]. 1984, nr. 23, pp. 379-391 [citat 19.11.2021]. Disponibil: doi: 10.3109/02841868409136037
48. JAFARI, S.M., et al. Low-cost commercial glass beads as dosimeters in radiotherapy. In: *Radiat Phys Chem* [online]. 2014, nr. 97, pp. 95-101 [citat 17.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.radphyschem.2013.11.007
49. NISBET, A., et al. A dosimetric intercomparison of kilovoltage X-rays, megavoltage photons and megavoltage electrons in the Republic of Ireland. In: *Radiother Oncol* [online]. 1998, nr. 48, pp. 95-101 [citat 12.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/S0167-8140(98)00041-3
50. X rays benefits and risks [citat 29.11.2021]. Disponibil: <https://www.yumpu.com/en/document/read/11360791/x-rays-benefits-and-risks>
51. KASHANI, R., et al. Objective assessment of deformable image registration in radiotherapy: a multi-institution study. In: *Med Phys* [online]. 2008, nr. 35, pp. 5944-5953 [citat 16.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1118/1.3013563
52. DUTREIX, A, et al. Quality control of radiotherapy centres in Europe: beam calibration. In: *Radiother Oncol* [online]. 1994, nr. 32, pp. 256-264 [citat 16.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/0167-8140(94)90025-6
53. ICRP. Publicația 103. Recomandările din anul 2007 ale Comisiei Internaționale de Protecție Radiologică. București, Anima [online]. 2010. [citat 17.11.2021]. Disponibil: https://www.icrp.org/docs/P103_Romanian.pdf
54. Geiger tube [citat 20.11.2021]. Disponibil: https://en.wikipedia.org/wiki/Geiger%E2%80%93Muller_tube
55. AHMAD M.I, et al. Ionizing Radiation Monitoring Technology at the Verge of Internet of Things. In: *Sensors (Basel)* [online]. 2021, nr. 21(22):7629. [citat 25.11.2021]. Disponibil: doi: 10.3390/s21227629
56. Introduction to Geiger counters [citat 18.11.2021]. Disponibil: <https://www.cpp.edu/~pbsiegel/bio431/texnotes/chapter4.pdf>
57. KURVINEN K., et al. Design of a radiation surveillance unit for an unmanned aerial vehicle. In: *J. Environ. Radioact* [online]. 2005, nr. 81, pp. 1-10. [citat 30.11.2021]. Disponibil: doi: 10.1016/j.jenvrad.2004.10.009.
58. CHOUR P. A few words about Geiger-Muller Counters [citat 30.11.2021]. Disponibil: https://www.pascalchour.fr/ressources/cgm/cgm_en.html

59. Microcontroller [citat 10.11.2021]. Disponibil: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>
60. List of common microcontrollers [citat 20.11.2021]. Disponibil: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_common_microcontrollers
61. Arduino UNO R3 [citat 30.11.2021]. Disponibil: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
62. Arduino [citat 10.11.2021]. Disponibil: <https://www.arduino.cc/>
63. Arduino over the years [citat 10.11.2021]. Disponibil: <https://imgur.com/yGRLPvL>
64. What is an Arduino? [citat 10.11.2021]. Disponibil: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>
65. TAWIL Y. Understanding Arduino UNO Hardware Design, 2016 [citat 10.11.2021]. Disponibil: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-arduino-uno-hardware-design/>: