

**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 MIB:
conf.univ., dr. Serghei RAILEAN**

„ _____ ” _____ 2025

CONSIDERAȚII PRIVIND VALIDAREA ȘI ASIGURAREA CALITĂȚII ÎN PUNEREA ÎN FUNCȚIUNE A IMRT ȘI VMAT

Teză de master

Student:	Bereghici Vladislav, grupa IBM – 231M
Conducător:	Railean Serghei, dr., conf. univ.
Coordonator unitate:	Cordun Octavian

Chișinău, 2025

REZUMAT

la teza de master a studentului **Bereghici Vladislav**

tema „Considerații privind validarea și asigurarea calității în punerea în funcțiune a IMRT și VMAT”

Lucrarea cuprinde: 3 capitole, 31 figuri, 5 tabele, 40 surse bibliografice.

Cuvinte-cheie: accelerator liniar, colimator multilamelar, punere în funcțiune, radioterapia cu intensitate modulată, terapie arc volumetric modulată.

Scopul lucrării constă în efectuarea procedurii de punere în funcțiune și asigurarea a calității în punerea în funcțiune a IMRT și VMAT.

Obiectivele generale sunt: studiul literaturii pe tema tezei, însușirea principiului de funcționare a instalațiilor radioterapeutice și familiarizarea cu metodele dozimetrice de măsurare, dobândirea cunoștințelor necesare pentru realizarea testelor procedurii de punere în funcțiune a IMRT și VMAT.

Domeniul de cercetare se bazează pe aspectele practice din radioterapie, incluzând dozimetria și asigurarea controlului calității, necesare procedurii de punere în funcțiune a MLC-ului.

Originalitate științifică constă în realizarea procedurii de punere în funcțiune a colimatorului multilamelar, în vederea implementării tehnicilor avansate de tratament în radioterapie, ca radioterapia cu intensitate modulată și terapie arc volumetric modulată, în cadrul IMSP Institutul Oncologic.

Teza cuprinde în sine introducere, trei capitole, concluzii și bibliografia.

Capitolul 1 conține descrierea componentelor cheie ale echipamentului de radioterapie cu fascicul extern, alături de detaliile necesare despre colimatorul multilamelar, și de asemenea, principalele tehnici de iradiere din radioterapie.

Capitolul 2 include fundamentele teoretice și practice ale procedurii de acceptare a colimatorului multilamelar, de asemenea, sunt incluse testele mecanice, evaluarea parametrilor lamelelor și verificările tehnicilor dinamice de radioterapie, pentru validarea funcționalității colimatorului multilamelar.

Capitolul 3 descrie etapele de efectuarea a procedurii de punere în funcțiune, incluzând metoda de măsurarea spațiului dozimetric dintre lamele și determinarea factorului de transmisie. Totodată sunt prezentate descrierea testului „End-to-end” și justificarea rezultatelor obținute.

În concluzie, se menționează, că scopul principal al proiectului a fost atins. A fost efectuat cu succes atât procedura de acceptare, cât și de punere în funcțiune a colimatorului multilamelar, iar rezultatele obținute au fost validate prin intermediul testului „End-to-end”, care au demonstrat încadrare în limitele nominale a parametrilor de interes.

ANNOTATION

to the Master thesis of **Bereghici Vladislav** student
theme "Considerations regarding validation and quality assurance in the commissioning of IMRT and
VMAT"

The thesis includes: 3 chapters, 31 figures, 5 tables, 40 bibliographic sources.

Keywords: linear accelerator, multileaf collimator, commissioning, intensity-modulated radiotherapy, volumetric modulated arc therapy.

The purpose of the thesis is to perform the commissioning procedure and quality assurance for the implementation of IMRT and VMAT techniques.

The general objectives are: studying the literature on the thesis topic, understanding the principles of operation of radiotherapy equipment, familiarizing with dosimetric measurement methods, and performing the commissioning procedure for IMRT and VMAT.

The research field is based on the practical aspects of radiotherapy, including dosimetry and quality assurance, necessary for the commissioning procedure of the multileaf collimator.

Scientific originality consists on the commissioning procedure of the multileaf collimator, aimed at implementing advanced radiotherapy treatment techniques, such as intensity-modulated radiotherapy and volumetric modulated arc therapy, within the IMSP Institute of Oncology.

The thesis includes an introduction, three chapters, conclusions and the bibliography.

Chapter one provides a description of the key components of external beam radiotherapy equipment, along with necessary details about the multileaf collimator, as well as the main irradiation techniques used in radiotherapy.

The second chapter covers the theoretical and practical foundations of the multileaf collimator acceptance procedure, including mechanical tests, evaluation of leaf parameters, and verification of dynamic radiotherapy techniques to validate the functionality of the multileaf collimator.

The third chapter utlines the steps for carrying out the commissioning procedure, including the method for measuring the dosimetric space between the leaves and determining the transmission factor. It also describes the "End-to-end" test and justifies the results.

In conclusion, it is noted that the main objective of the project has been achieved. Both the acceptance and commissioning procedures for the multileaf collimator were successfully completed, and the results were validated through the "End-to-end" test, which demonstrated that the parameters of interest were within the nominal limits.

CUPRINS

LISTA ABREVIERILOR	8
INTRODUCERE.....	9
1. STUDIUL LITERATURII ÎN DOMENIUL RADIOTERAPIEI CU FASCICUL EXTERN	11
1.1. Structura acceleratorului medical	11
1.2. Tehnici de iradiere cu fascicul extern	20
1.3. Parametrii de bază a MLC-ului.....	25
1.4. Concluzii și formularea scopului tezei de master	32
2. PROCEDURA DE ACCEPTARE A MLC-ULUI.....	33
2.1. Testele de acceptare mecanice	33
2.2. Verificarea tehnicilor dinamice de radioterapie.....	38
3. PROCEDURA DE PUNERE ÎN FUNCȚIUNE. ANALIZA REZULTATELOR.....	43
3.1. Măsurarea DLG-ului. Determinarea factorului de transmisie	43
3.2. Realizarea testului MPC	47
3.3. Efectuarea procedurii „End-To-End”	50
CONCLUZII	57
BIBLIOGRAFIE	58

LISTA ABREVIERILOR

LINAC	Accelerator liniar (Linear accelerator)
MLC	Colimator multilamelar/multilamelă/cu multilame (Multileaf Collimator)
3D-CRT	Radioterapia conformațională (Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy)
IMRT	Radioterapia cu intensitate modulată (Intensity Modulated Radiotherapy)
VMAT	Terapie arc volumetric modulată (Volumetric Modulated Arc Therapy)
QA	Asigurarea calității (Quality Assurance)
QC	Controlul calității (Quality Control)
MU	Unități de monitorizare (Monitor Units)
DLG	Spațiul dozimetric dintre lamele (Dosimetric Leaf Gap)
TPS	Sistem de planificare computerizat (Treatment planning system)
MPC	Verificarea performanței mașinii (Machine Performance Check)
CT	Tomografie computerizată (Computed Tomography)
E2E	De la un capăt la altul/cap-coadă (End-To-End)
IAEA	Agenția Internațională pentru Energie Atomică (International Atomic Energy Agency)

INTRODUCERE

Radioterapia este o metodă de tratament care utilizează radiațiile ionizante în terapia tumorilor maligne, de obicei, sunt utilizați fotonii sau electronii, în dependență de decizia medicului oncolog și a fizicianului medical. Radioterapia presupune administrarea dozelor maxime posibile de radiație tumorii și minime țesuturilor sănătoase. Ea poate fi administrată înainte sau după operație, iar uneori, chimioterapia este administrată în același timp cu radioterapia pentru un rezultat mai sporit.

Pe parcursul ultimilor decenii, radioterapia externă a suferit un proces continuu de îmbunătățire pentru realizarea cât mai eficientă în administrarea cât mai precisă a dozelor de iradiere. Evoluția dată presupune modernizarea: acceleratoarelor medicale, echipamentelor dozimetrice și a TPS-ului (Figura 1).

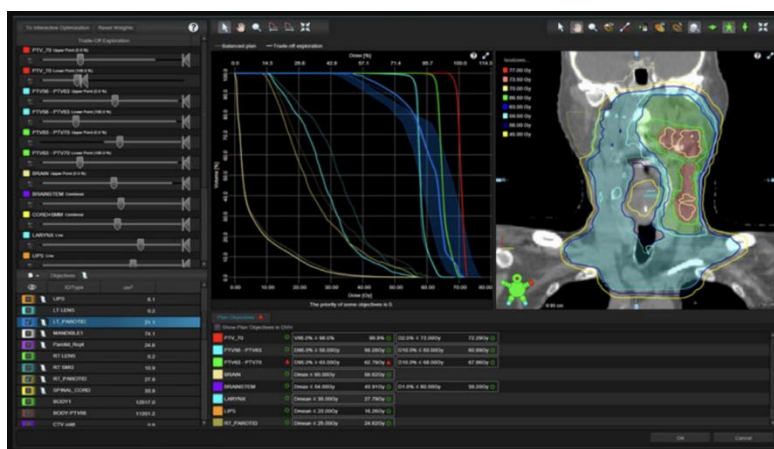


Figura 1. Captura de ecran sistemului de planificare computerizat.

Acceleratorul este principalul furnizor de raze X în radioterapia cu fascicul extern. El poate să generează atât raze X de mare energie, cât și electroni. Structura unui accelerator este bazată pe următoarele componente cheie: sursa de alimentare, klystron-ul și ghidul de undă, emițătorul de electroni, ghidul de accelerare și capul de iradiere.

Datorită progresului tehnologic, tehnicile de radioterapie externă au evoluat, de asemenea, acceleratorul acum poate fi utilizat nu doar pentru a trata toate zonele corpului folosind tehnici tradiționale, dar și cele avansate, cum ar fi IMRT, VMAT, radioterapia ghidată imagistic (IGRT), radiochirurgia stereotactică (SRS) și radioterapie stereotactică a corpului (SBRT).

Tehnica IMRT a fost introdusă pentru prima dată la începutul anilor 1990, iar primele utilizări clinice au avut loc la mijlocul anilor 1990, și până la începutul anilor 2000, tehnica a devenit larg răspândită în întreaga lume. Cât despre tehnica VMAT a fost introdusă în 2007, și în decursul câtorva ani, VMAT a câștigat popularitate datorită avantajelor sale în ceea ce privește timpul redus de tratament și precizia crescută, iar în anii 2010, VMAT era utilizată pe scară largă în centrele de radioterapie din întreaga lume [1].

MLC-ul este esențial în dezvoltarea tehnicilor moderne de radioterapie, precum IMRT și VMAT, deoarece a permis o mai mare precizie și personalizare a distribuției dozei de radiații. MLC-ul este format din multiple lame metalice care se pot ajusta individual, creând forme complexe ale fasciculului de radiații. Acest lucru permite adaptarea precisă a radiațiilor la contururile tumorii, minimizând în același timp expunerea țesuturilor sănătoase adiacente.

Pentru a putea face aceste livrări de radiație eficiente și sigure, s-a implementat procedura de punere în funcțiune și acceptare a colimatorului cu multilame. Punere în funcțiune inițială a MLC-ului presupune verificarea funcționării conform specificațiilor producătorului și că toate lamele se mișcă precis și independent. Acceptarea echipamentului implică validarea performanței acestuia în cadru clinic, confirmând că poate realiza planurile de tratament complexe necesare pentru fiecare pacient. Aceste proceduri garantează că echipamentul funcționează corect de la început, minimizând riscul de erori și asigurând calitatea tratamentelor [2].

BIBLIOGRAFIE

1. YU, C.X. Intensity-modulated arc therapy with dynamic multileaf collimation: An alternative to tomotherapy. In: *Physics in Medicine and Biology*, 1995, 40(9), 1435-1449. DOI: [10.1088/0031-9155/40/9/004](https://doi.org/10.1088/0031-9155/40/9/004).
2. LOSASSO, T.; CHUI, C.S.; LING, C.C. Comprehensive quality assurance for the delivery of intensity modulated radiotherapy with a multileaf collimator used in the dynamic mode. In: *Medical Physics*, 2001, 28(11), 2209-2219. DOI: [10.1118/1.1410123](https://doi.org/10.1118/1.1410123).
3. PODGORSK, E.B. *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. 2005. Vienna: International Atomic Energy Agency. p. 696, ISBN 92-0-107304-6.
4. Gazda, M., & Coia, L.R. (2003). CHAPTER 2 Principles of radiation therapy.
5. KHAN, F.M. *The Physics of Radiation Therapy* (5th ed.). 2014. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins., p.624. ISBN: 9781451182453.
6. METCALFE, P. *Medical Physics: Chapter 1 Introduction to Radiation Therapy*. Medical Physics Organization. 2018.[citat 02.09.2024] Disponibil la: https://medicalphysics.org/documents/metcalfe3_ch1.pdf.
7. GONZÁLEZ-SALIDO, N.; PÉREZ, L.; SÁNCHEZ-DOBLADO, F. MLC parameters from static fields to VMAT plans: A simulation study. In: *Radiation Oncology*, 2019, 14(1), 1-10. DOI: [10.1186/s13014-019-1421-y](https://doi.org/10.1186/s13014-019-1421-y).
8. ATTIX, F.H. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. 2004, Weinheim: Wiley-VCH. ISBN 978-1-951134-10-5.[citat 14.09.2024] Disponibil la: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527617135>.
9. VARIAN MEDICAL SYSTEMS. *TrueBeam 2.7 Product Brief*. RAD10437A, 2020. [citat 21.09.2024] Disponibil la: https://varian.widen.net/view/pdf/hujb29bryb/TrueBeam2.7_ProductBrief_RAD10437A_June2020.pdf?u=wefire
10. VARIAN MEDICAL SYSTEMS. *TrueBeam Safety Product Brief*. RAD10274, 2012. [citat 25.09.2024] Disponibil la: https://varian.widen.net/view/pdf/s5zwk3cbtl/TrueBeamSafety_ProductBrief_RAD10274_December2012.pdf?u=wefire.
11. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Transition from 2-D Radiotherapy to 3-D Conformal and Intensity Modulated Radiotherapy. In: *IAEA-TECDOC-1588*. 2008. Vienna: IAEA, p.68. ISBN 978-92-0-104008-4.
12. BURGER, H. *From 2D to 3DCRT to IMRT/VMAT*. 2022. Vienna Center for Disarmament and Non-Proliferation.

13. INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY COLLABORATIVE WORKING GROUP. Intensity-modulated radiotherapy: current status and issues of interest. In: *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 2001. 51(4), 880-914. DOI: [10.1016/s0360-3016\(01\)01749-7](https://doi.org/10.1016/s0360-3016(01)01749-7).
14. TEOH, M.; CLARK, C.H.; WOOD, K.; WHITAKER, S.; NISBET, A. Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice. In: *The British Journal of Radiology*, 2011. 84(1007), 967-996.
15. VAN GESTEL, D.; et al. RapidArc, SmartArc and TomoHD compared with classical step and shoot and sliding window intensity modulated radiotherapy in an oropharyngeal cancer treatment plan comparison. In: *Radiation Oncology*. 2013. 8, 37.
16. BORTFELD, T.; LIU, H. Intensity-modulated radiation therapy: An overview of the technical aspects and the evolution of treatment techniques. In: *Radiotherapy and Oncology*. 2009, 92(1), 10-21. Disponibil la: <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2009.01.013>.
17. KHAN, F.M. *The Physics of Radiation Therapy*. 2014. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
18. JOHNSON, M. *Principles of Radiation Therapy: Techniques and Safety Measures*. 2022. 2nd ed. New York: Springer. pp. 100-115. ISBN 978-3-030-12345-0.
19. Intensity-modulated radiotherapy: current status and issues of interest. (2001). In: *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 51(4), 880-914.
20. KHAN, F.M. (2014). In: *The Physics of Radiation Therapy* (5th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
21. GALVIN, J.M. *The multileaf collimator - a complete guide*. American Association of Physicists in Medicine. 1999. Disponibil la: <https://www.aapm.org/meetings/99am/pdf/2787-9625.pdf>
22. AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. *AAPM Report No. 72: Radiotherapy Physics in Modern Radiation Oncology*. 2004. AAPM.
23. KUMAR, R.; SMITH, T. Understanding the Impact of Multi-Leaf Collimator Design on Dose Distribution in Radiation Therapy. In: *Medical Physics*. 2022, 49(4), pp. 2051-2060.
24. STANFORD MATERIALS CORPORATION. *Tungsten Alloy Typical Properties*. Disponibil la: <https://www.stanfordmaterials.com/typical-properties.html>.
25. SMITH, J. *Materials in Radiation Therapy: Properties and Applications*. 2020. 3rd ed. London: Academic Press, pp. 45-67. ISBN 978-0-12-345678-9.
26. GALVIN, J. M.; SMITH, A. R.; LALLY, B. E. *Radiocromic film measurements of transmission in multileaf collimators*. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 1993.
27. JORDAN, J.; WILLIAMS, R. An Idealized Analysis of Fluence Transmission on the Edges of Multileaf Collimators. In: *Medical Physics*. 1994, 21(5), pp. 765-770.

28. VAN ESCH, A.; BOHSUNG, J.; SORVARI, P.; TENHUNEN, M.; PAIUSCO, M.; IORI, M.; ENGSTRÖM, P.; NYSTRÖM, H.; HUYSKENS, D.P. Acceptance tests and quality control (QC) procedures for the clinical implementation of intensity modulated radiotherapy (IMRT) using inverse planning and the sliding window technique: experience from five radiotherapy departments. In: *Radiotherapy and Oncology*. 2002. 65(1), 53-70.
29. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Specification and Acceptance Testing of Radiotherapy Treatment Planning Systems. In: *IAEA-TECDOC-1540*. 2008. Vienna: IAEA. [citat 02.10.2024] Disponibil la: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1540_web.pdf.
30. AGNEW, C.E.; KING, R.B.; HOUNSELL, A.R.; MCGARRY, C.K. Monitoring daily MLC positional errors using trajectory log files and EPID measurements for IMRT and VMAT deliveries. In: *Physics in Medicine & Biology*. 2014. 59(9), N49–N63. [citat 14.12.2024] Disponibil la: <https://doi.org/10.1088/0031-9155/59/9/N49>.
31. YOUNGE, K.C.; MATUSZAK, M.M.; MORAN, J.M.; MCSHAN, D.L; FRAASS, B.A.; ROBERTS, D.A. Penalization of aperture complexity in inversely planned volumetric modulated arc therapy. In: *Medical Physics*. 2014. 41(5), 051715.
32. EZZELL, G.A. Measurement of the dosimetric leaf gap and its use in the parameterization of the Varian multileaf collimator. In: *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2002, 3(4), 304–311.
33. HUAI-WEN ZHANG; DE-LONG HUANG; YI-REN WANG; HAO-SHU ZHONG; HAO-WEN PANG. CT radiomics based on different machine learning models for classifying gross tumor volume and normal liver tissue in hepatocellular carcinoma. In: *Cancer Imaging*, 24, 20 (2024). [citat 15.12.2024] Disponibil la: <https://doi.org/10.1186/s40644-024-00652-4>.
34. MILLER, T. A. *Position Calibration of Multi-Leaf Collimators in Radiotherapy: Techniques and Measurements*. 2022. Doctoral Thesis, University of California, Los Angeles.
35. Varian TrueBeam/ VitalBeam Installation Product Acceptance. October 2018.
36. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Specification and Acceptance Testing of Radiotherapy Treatment Planning Systems. In: *IAEA-TECDOC-1540*. 2008, Vienna: IAEA.
37. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Computed Tomography in Radiotherapy Planning: Report of the Coordinated Research Project on Improving the Accuracy of Radiotherapy Treatment Planning. In: *IAEA-TECDOC-1583*. 2011, Vienna: IAEA. [citat 20.11.2024] Disponibil la: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1583_web.pdf.
38. HUQ, M.S.; FRAASS, B.A.; DUNSCOMBE, P.B.; GIBBONS, J.P.; IBBOTT, G.S.; MUNDT, A.J.; PALTA, J.R.; RATH, F.; YORKE, E.D. A method for evaluating quality assurance needs in radiation therapy. In: *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 2008, 71(1), S170–S173.

39. ALMOND, P.R.; BIGGS, P.J.; COURSEY, B.M.; HANSON, W.F.; HUQ, M.S.; NATH, R.; ROGERS, D.W.O.. AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams. In: *Medical Physics*. 1999, 26(9), 1847–1870. [citat 12.12.2024]
Disponibil la: <https://doi.org/10.1118/1.598691>.
40. TAYLOR, P., et al. Dose Delivery and Advanced Techniques in Radiotherapy: IMRT and VMAT Applications. In: *Journal of Radiation Therapy Technology*. 2023, 58(2), 210–225. Elsevier.