3° Πανελλήνιο Συνέδριο
Ιατρικής Φυσικής

27° Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο
Ακτινολογίας

Μοντελοποίηση και δοσιμετρική επικύρωση δέσμης φωτονίων 6 MV γραμμικού επιταχυντή Elekta Infinity

Μπασδέκη Ιωάννα
Μυρωνάκης Μάριος
Γκικούδη Αγγελική
Κάππας Κωνσταντίνος
Τερζούδη Γεωργία
Γεωργακίλας Αλέξανδρος
Θεοδώρου Κυριακή

Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

30, 31 ΟΚΤ + 1 ΝΟΕ
2026

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
- ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ, ΛΑΡΙΣΑ

Οργάνωση

ΕΦΙΕ
Ένωση Φυσικών Ιατρικής Ελλάδος

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΟΛΛΕΓΙΟ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ

Εισαγωγή

Οι μέθοδοι Monte Carlo(MC) αποτελούν πρότυπο αναφοράς για τον υπολογισμό της κατανομής δόσης στην Ακτινοθεραπεία.

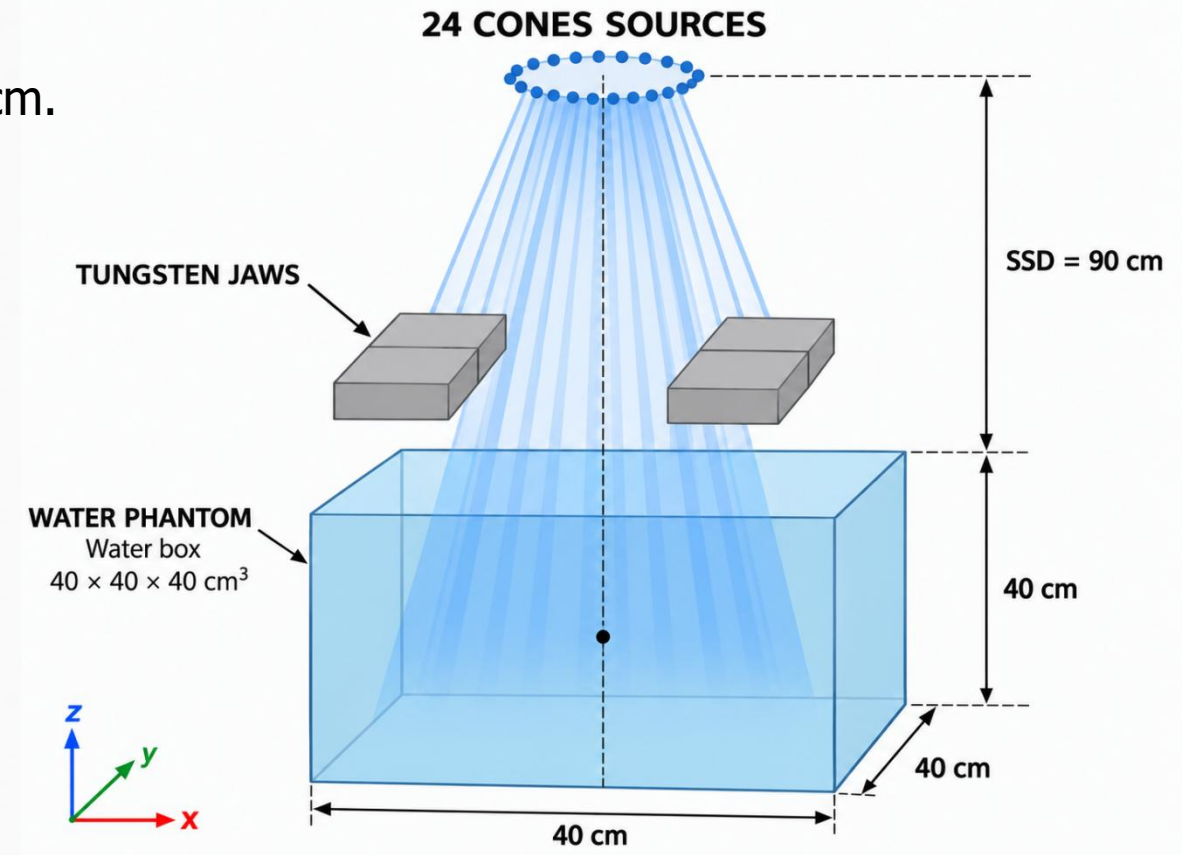
- Βασίζονται στη στοχαστική προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων της ακτινοβολίας με την ύλη, προσφέροντας υψηλή δοσιμετρική ακρίβεια.

- Η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου μοντέλου γραμμικού επιταχυντή αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ακριβή αναπαραγωγή των χαρακτηριστικών της θεραπευτικής δέσμης.
- **Προσομοιώσεις Monte Carlo:**
  - Δοσιμετρική επαλήθευση, αξιολόγηση συστημάτων σχεδιασμού θεραπείας και μελέτη σύνθετων πεδίων ακτινοβολίας.
  - Ανάπτυξη και αξιολόγηση προηγμένων τεχνικών ακτινοθεραπείας, όπου απαιτείται υψηλή χωρική και δοσιμετρική ακρίβεια.

Μέθοδοι & Υλικά

Ανάπτυξη μοντέλου δέσμης 6 MV Elekta Infinity με μέθοδο πολλαπλών πηγών.

- Το μοντέλο περιέλαβε 24 ομόκεντρες κωνικές πηγές, με διαφορετικούς συντελεστές έντασης και ενεργειακά φάσματα.
- Προσομοιώθηκαν πεδία 10×10, 20×20, 30×30 και 40×40 cm^2.
- Χρησιμοποιήθηκε δεξαμενή νερού 40×40×40 cm^3 και SSD 90 cm.
- Για κάθε πεδίο προσομοιώθηκαν $4×10^9$ πρωτογενή φωτόνια.
- Υπολογίστηκαν:
  - → Καμπύλες ποσοστιαίας δόσης βάθους (PDD)
  - → Εγκάρσια προφίλ δόσης σε βάθος 10 cm
- Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με:
  - → Προσομοιώσεις IAEA phase-space
  - → Μετρήσεις θαλάμου ιονισμού
- Η αξιολόγηση βασίστηκε στη διάμεση σχετική διαφορά δόσης (MRDD), στο τετραγωνικό μέσο σφάλμα (RMSE) και στο γ-index.



Created in BioRender

Αποτελέσματα

- Καλή συμφωνία GATE–IAEA, με χαμηλές αποκλίσεις στις PDD και στα εγκάρσια προφίλ.
- Μεγαλύτερες αποκλίσεις στο πεδίο 10 ×10 cm², κυρίως στην περιοχή της παρασκιάς.
- Αυξημένες αποκλίσεις έναντι των μετρήσεων θαλάμου ιονισμού, με συνολικά ικανοποιητική δοσιμετρική συμφωνία.
- Πολύ υψηλά gamma pass rates (GATE – TPS), ακόμη και με αυστηρότερα κριτήρια αξιολόγησης.

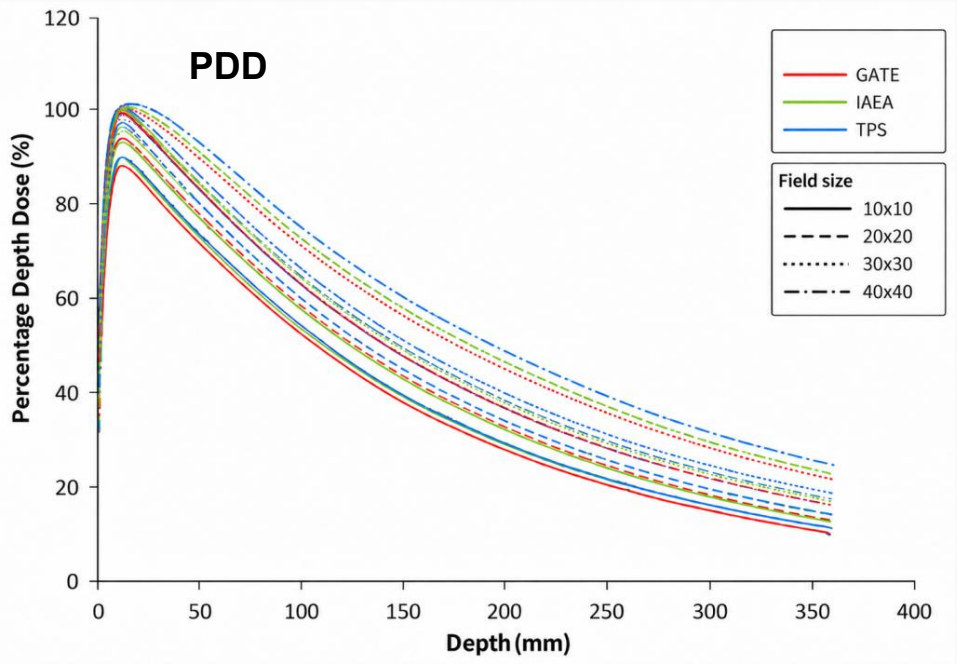
Πίνακας 1: Δοσιμετρική αξιολόγηση PDD και προφίλ δόσης μέσω MRDD και RMSE για τέσσερα μεγέθη πεδίων.

Πεδίο (cm²)	PDD		PROFILE	
	MRDD (%)	RMSE (%)	MRDD (%)	RMSE (%)
10×10	1,50 / 2,77	0,47 / 1,91	8,74 / 18,40	1,52 / 5,09
20×20	0,65 / 5,56	0,99 / 2,48	1,92 / 1,72	1,84 / 8,81
30×30	0,83 / 5,23	1,31 / 2,57	3,30 / 2,09	2,82 / 6,07
40×40	0,77 / 4,77	1,29 / 2,68	1,09 / 2,13	2,61 / 3,92

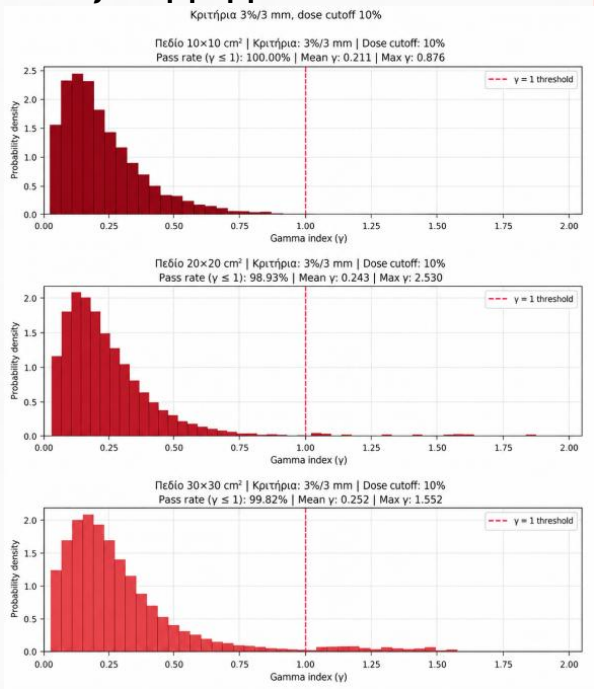
Μπλε: GATE – IAEA phase space / **Κόκκινο:** GATE – μετρήσεις θαλάμου ιονισμού

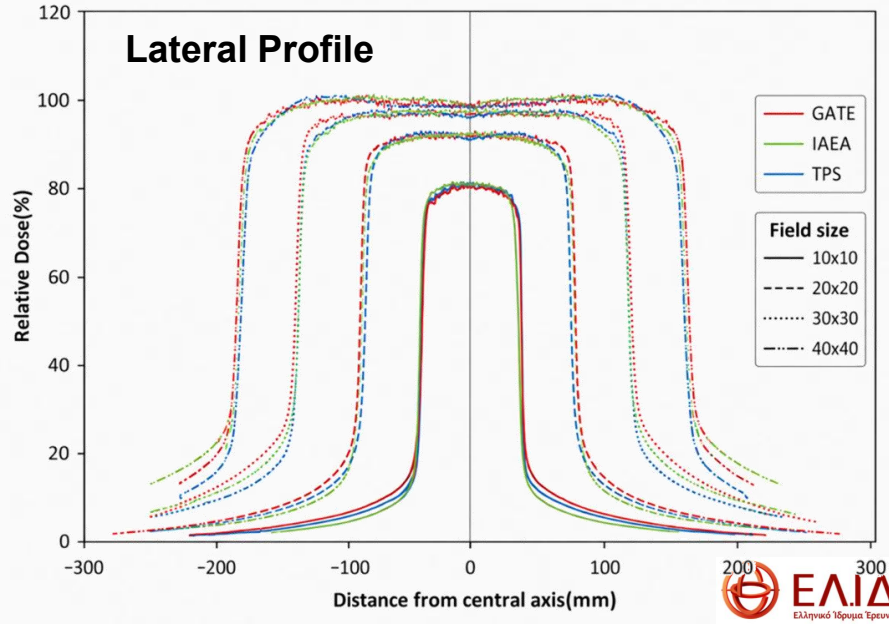
Πεδίο	3%/3mm	3%/2mm	2%/2mm
10x10	100%	99,97%	99,94%
20x20	98,93%	98,77%	98,71%
30x30	99,82%	99,06%	98,45%

Πίνακας 2: γ-index για διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης.



Αξιολόγηση γ-index ανά πεδίο





ΕΛΙΔΕΚ Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

Συμπεράσματα

- Ανάπτυξη και επικύρωση δοσιμετρικών μοντέλων πολλαπλών πηγών για δέσμη 6 MV Elekta Infinity.
- Ικανοποιητική αναπαραγωγή των βασικών δοσιμετρικών χαρακτηριστικών της κλινικής δέσμης.
- Η χρήση 24 κωνικών πηγών επέτρεψε:
  - -καλύτερη περιγραφή της χωρικής και ενεργειακής κατανομής της δέσμης
  - -καλύτερο έλεγχο μοντελοποίησης τόσο της πρωτογενούς όσο και της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.
- Οι αποκλίσεις ήταν περιορισμένες για τα περισσότερα πεδία, με μεγαλύτερη δυσκολία στο πεδίο 10×10 cm^2.
- Οι αυξημένες αποκλίσεις στο μικρό πεδίο πιθανόν σχετίζονται με:
  - -αυξημένη στατιστική αβεβαιότητα,
  - -απότομες κλίσεις δόσης,
  - -μεγαλύτερη ευαισθησία στην παρασκιά.
- Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντικές εφαρμογές Monte Carlo στην Ακτινοθεραπεία.
- Η προσέγγιση επιτρέπει ταχεία προσαρμογή σε διαφορετικές γεωμετρίες πεδίων και κλινικά σενάρια.

Βιβλιογραφία

Το ερευνητικό Έργο με τίτλο «Καθοδηγούμενη με Βιοδείκτες θεραπεία και βιολογική δοσιμετρία ως μέσο ανάπτυξης της εξατομικευμένης ακτινοθεραπείας» υλοποιείται στο πλαίσιο της δράσης του ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. «3η Προκήρυξη Ερευνητικών Έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για μέλη ΔΕΠ και Ερευνητές/τριες» (Αριθμός Έργου ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.: 26672

1. Bahreyni-Toosi MT, Nasseri S, Momennezhad M, Hasanabadi F, Gholamhosseinian H. Monte Carlo simulation of a 6 MV X-ray beam for open and wedge radiation fields, using GATE code. *J Med Signals Sens.* 2014;4:267–273.
2. Chojnowski JM, Taylor LM, Sykes JR, Thwaites DI. Beam focal spot position determination for an Elekta linac with the Agility head: practical guide with a ready-to-go procedure. *J Appl Clin Med Phys.* 2018;19(4):44–47. doi:10.1002/acm2.12344.
3. Coppola S. Commissioning of a Linear Accelerator for Radiotherapy: Beam Data Acquisition, Modeling, Validation and End-to-End Testing. Master's thesis, Department of Physics; 2024–2025.
4. Gholampourkashi S, Cygler JE, Belec J, Vujicic M, Heath E. Monte Carlo and analytic modeling of an Elekta Infinity linac with Agility MLC: Investigating the significance of accurate model parameters for small radiation fields. *J Appl Clin Med Phys.* 2019;20(1):55–67. doi:10.1002/acm2.12485.
5. Grevillot L, Frisson T, Maneval D, et al. Simulation of a 6 MV Elekta Precise Linac photon beam using GATE/GEANT4. *Phys Med Biol.* 2011;56:903–918. doi:10.1088/0031-9155/56/4/002.
6. Lu S, Deng H. Monte Carlo modeling and verification of 6 MV linear accelerator. *World J Eng Technol.* 2022;10:213–223. doi:10.4236/wjet.2022.
7. Puchalska M, Sihver L. PHITS simulations of absorbed dose out-of-field and neutron energy spectra for ELEKTA SL25 medical linear accelerator. *Phys Med Biol.* 2015;60:N261–N270. doi:10.1088/0031-9155/60/12/N261.
8. Shi M, Myronakis M, Hu YH, et al. A novel method for fast image simulation of flat panel detectors. *Phys Med Biol.* 2019;64:095019. doi:10.1088/1361-6560/ab12aa.
9. Tantaoui M, Krim M, Kartouni A, Essaidi EM, Sahraoui S. Monte Carlo modeling of 6 MV and 18 MV photon energy spectra for radiotherapy using GATE/GEANT4. *E3S Web Conf.* 2025;638:03003. doi:10.1051/e3sconf/202563803003.
10. Tayalati Y, Didi S, Zerfaoui M, Moussa A. Monte Carlo simulation of 6 MV Elekta Synergy Platform Linac photon beam using GATE/Geant4.