

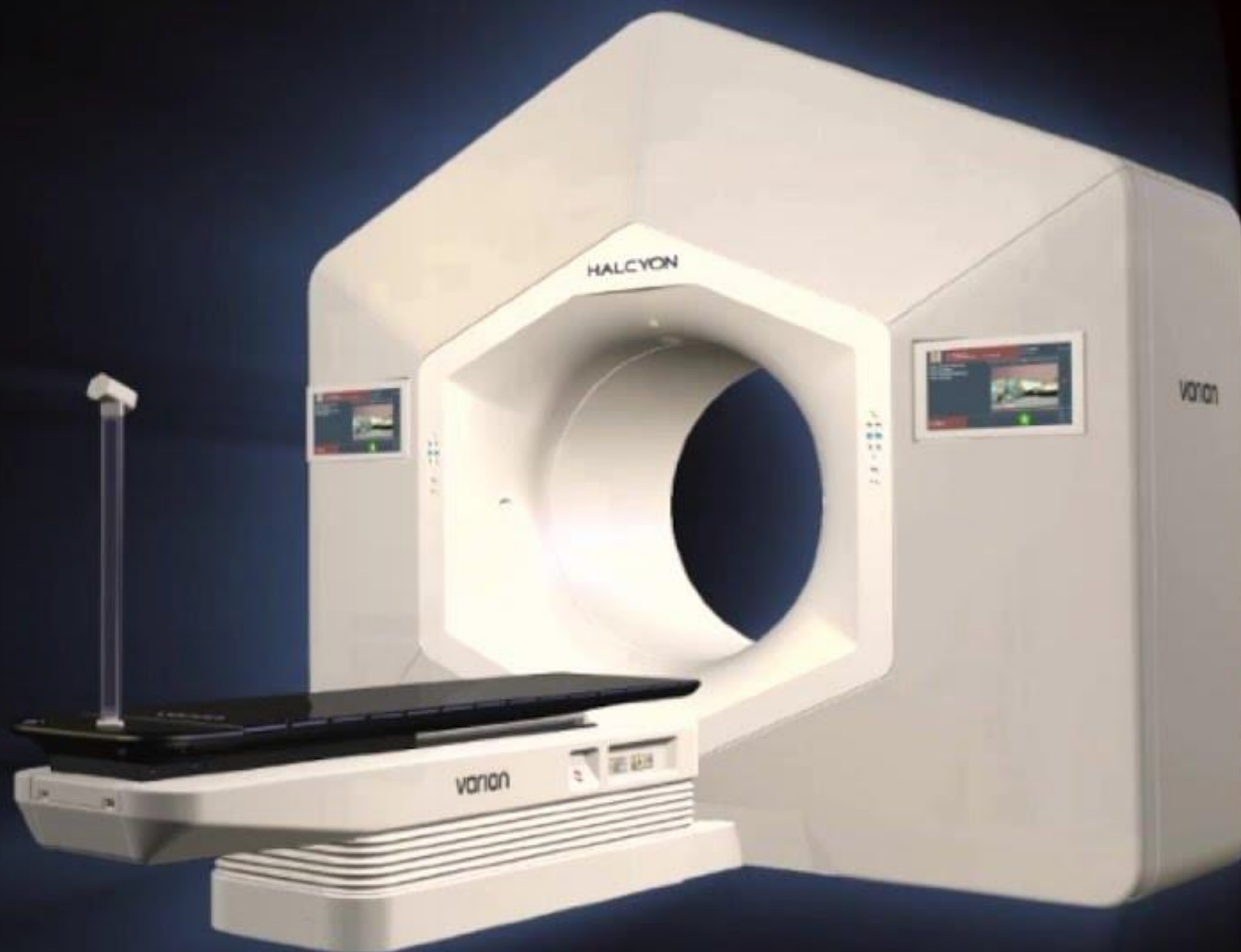
Dozimetrijska provjera planova zračenja dojke na prstenastom koplanarnom linearnom akceleratoru

KLARA DOBRIN

MENTOR: DOC. DR. SC. TOMISLAV BOKULIĆ

FIZIČKI ODSJEK, PRIRODOSLOVNO-
MATEMATIČKI FAKULTET, BIJENIČKA 32,
ZAGREB

26.01.2025.



Motivacija

- Metoda liječenja raka dojke je radioterapija vanjskim fotonskim snopom
- Cilj je predati dozu ciljnom volumenu uz poštedu rizičnih organa
- Prije početka provođenja zračenja pacijenta, potrebno je provesti provjeru kvalitete plana zračenja i rada uređaja
- Provedene su dvije metode dozimetrijske provjere

Sadržaj

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

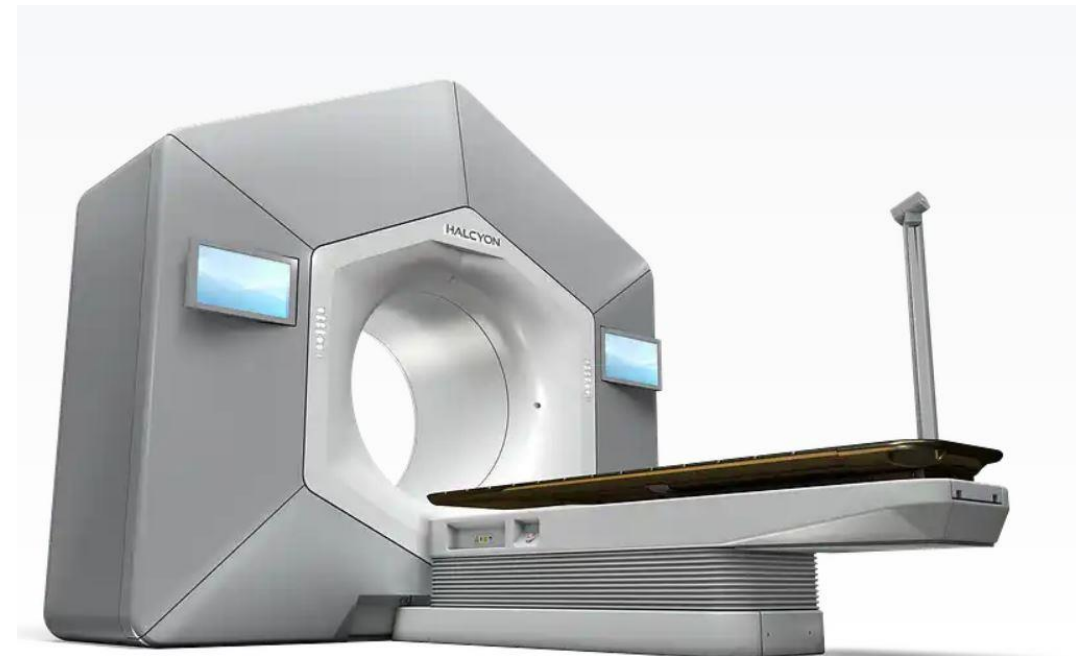
Rasprava

06

Zaključak

Halcyon

- Varian Medical Systems
- Sustav za planiranje radioterapije Eclipse
- IMRT - terapija zračenjem moduliranog intenziteta
- VMAT – volumetrijska modulirana lučna terapija



<https://www.varian.com/>

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

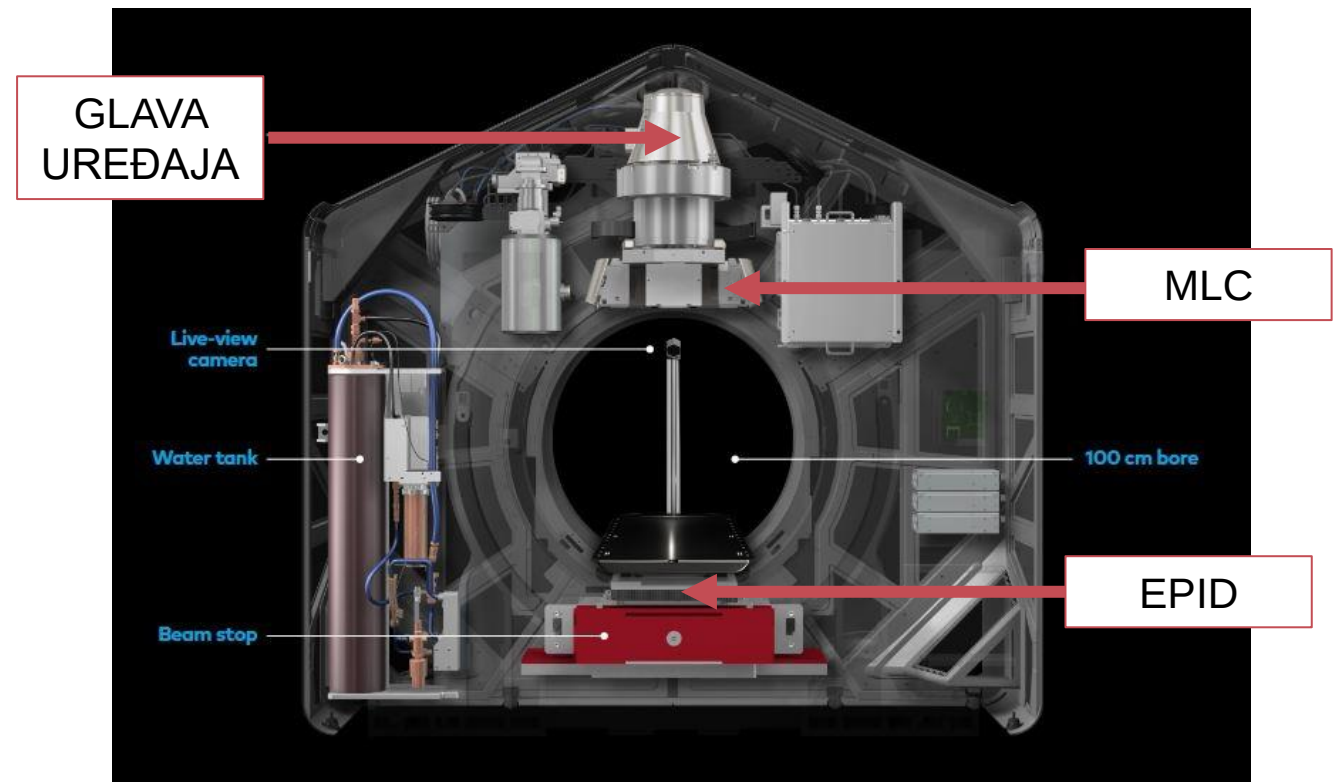
Rasprava

06

Zaključak

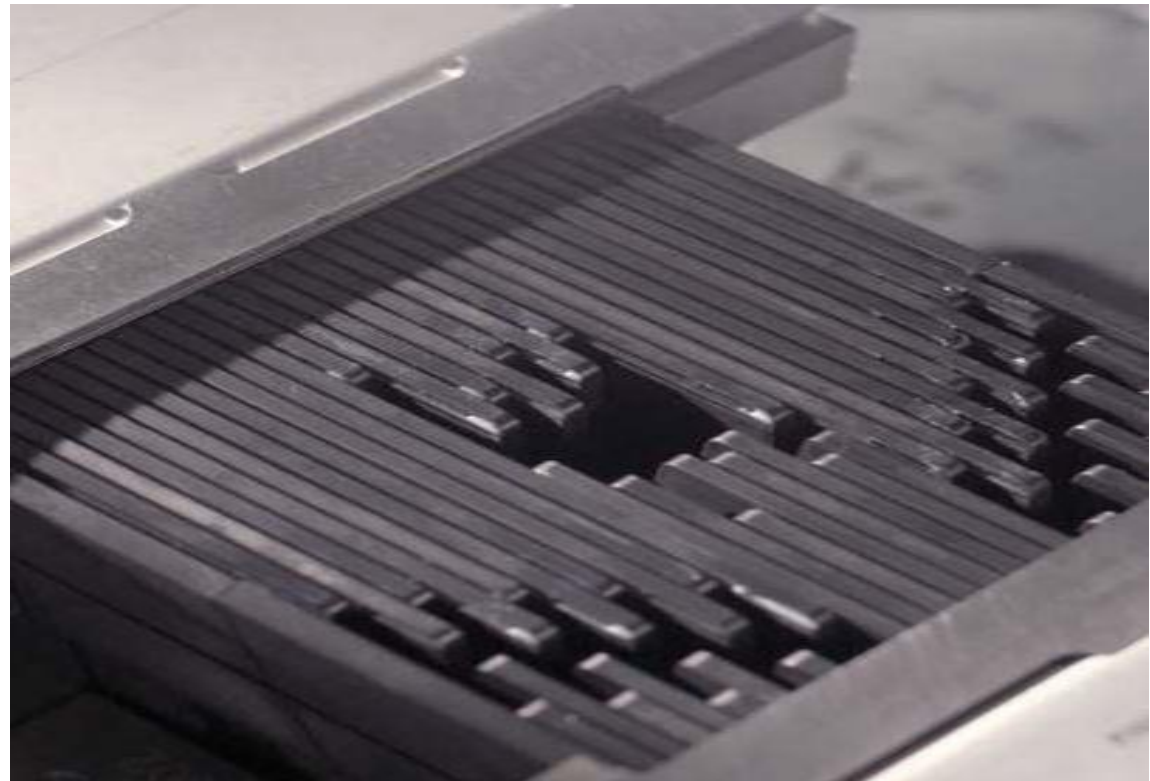
Halcyon

- MLC – dvoslojni kolimator koji oblikuje snop fotona proizveden linearnim akceleratorom



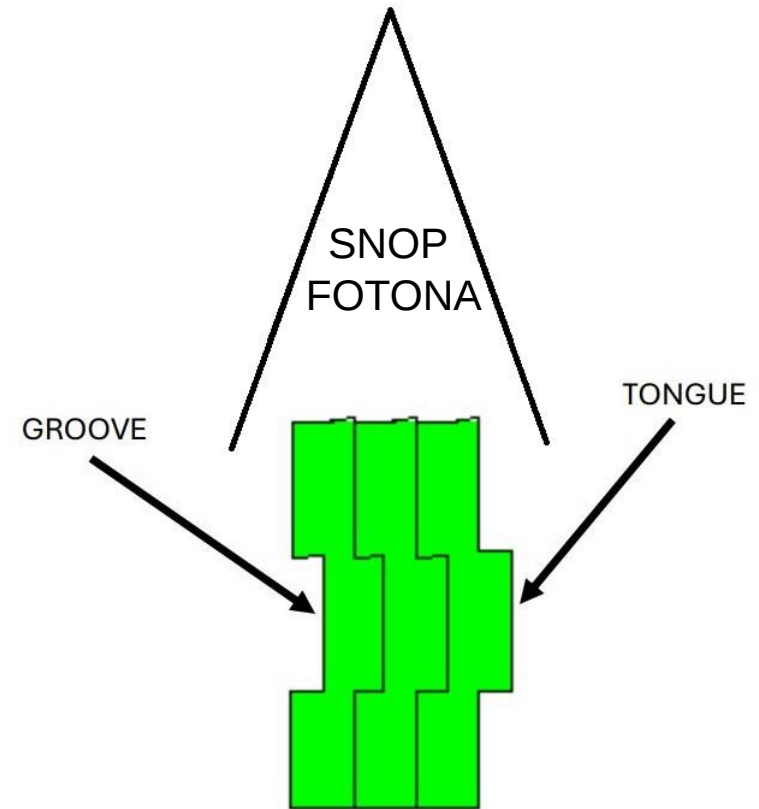
Halcyon

- MLC – dvoslojni kolimator koji oblikuje snop fotona proizveden linearnim akceleratorom
- Izrađen je od volframa
- Donji sloj ima 28 listića po grupi, gornji 29 listića po grupi



Halcyon

- MLC – dvoslojni kolimator koji oblikuje snop fotona proizveden linearnim akceleratorom
- Izrađen je od volframa
- Donji sloj ima 28 listića po grupi, gornji 29 listića po grupi
- Svaki listić ima udubljenje i izbočenje
- Listići pokrivaju ukupno polje od $28 \times 28 \text{ cm}^2$



M. S. Huq, et al.: A dosimetric comparison of various multileaf collimators. *Physics in Medicine & Biology* 47.12 (2002): N159.

Gama analiza

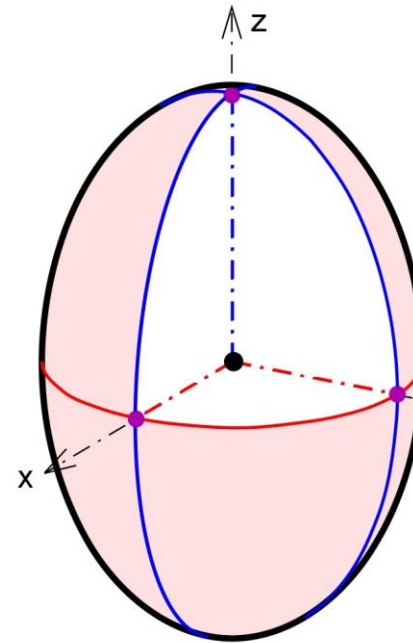
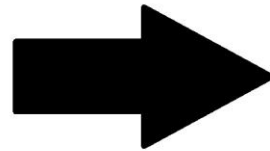
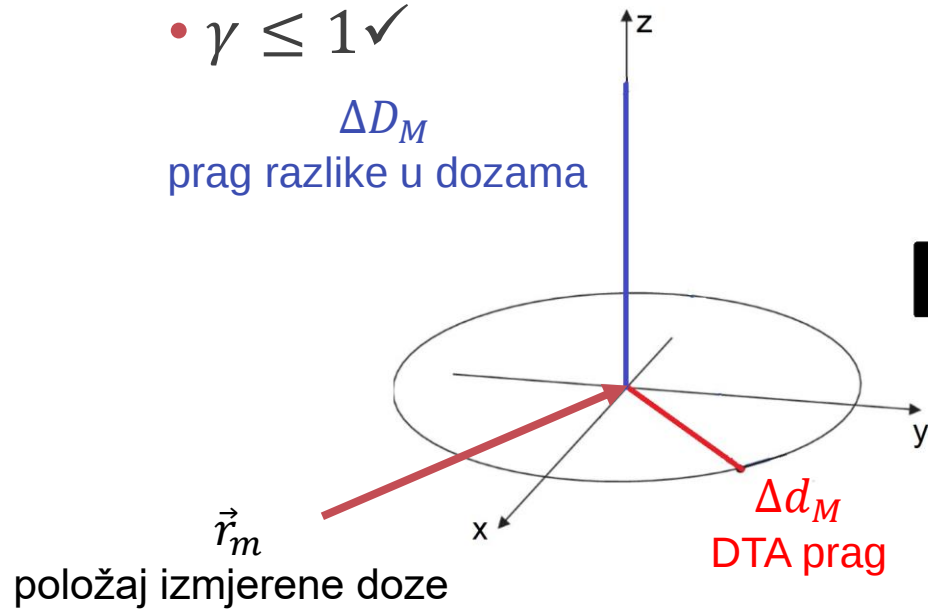
- Plan provjere – Eclipse izračuna raspodjelu doze plana zračenja za pacijenta na fantomu ili elektroničkom portalnom slikovnom uređaju (EPID-u)
- U gama analizi se uspoređuju izračunata i izmjerena raspodjela doze
- Udaljenost do slaganja (DTA) – najmanja udaljenost između izmjerene i izračunate doze istog iznosa

Gama analiza

- Razlika u dozi i DTA su u gama analizi združene u jedan indeks γ koji se određuje u hiperprostoru prostornih koordinata i apsorbirane doze

- $\gamma \leq 1$ ✓

ΔD_M
prag razlike u dozama



$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

$$\sqrt{\frac{r^2(\vec{r}_m, \vec{r}_c)}{\Delta d_M^2} + \frac{\delta^2(\vec{r}_m, \vec{r}_c)}{\Delta D_M^2}} = \Gamma(\vec{r}_m, \vec{r}_c)$$

$$\gamma(\vec{r}_m) = \min\{\Gamma(\vec{r}_m, \vec{r}_c)\} \forall \{\vec{r}_c\}$$

m – measured
c – calculated

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

Rasprava

06

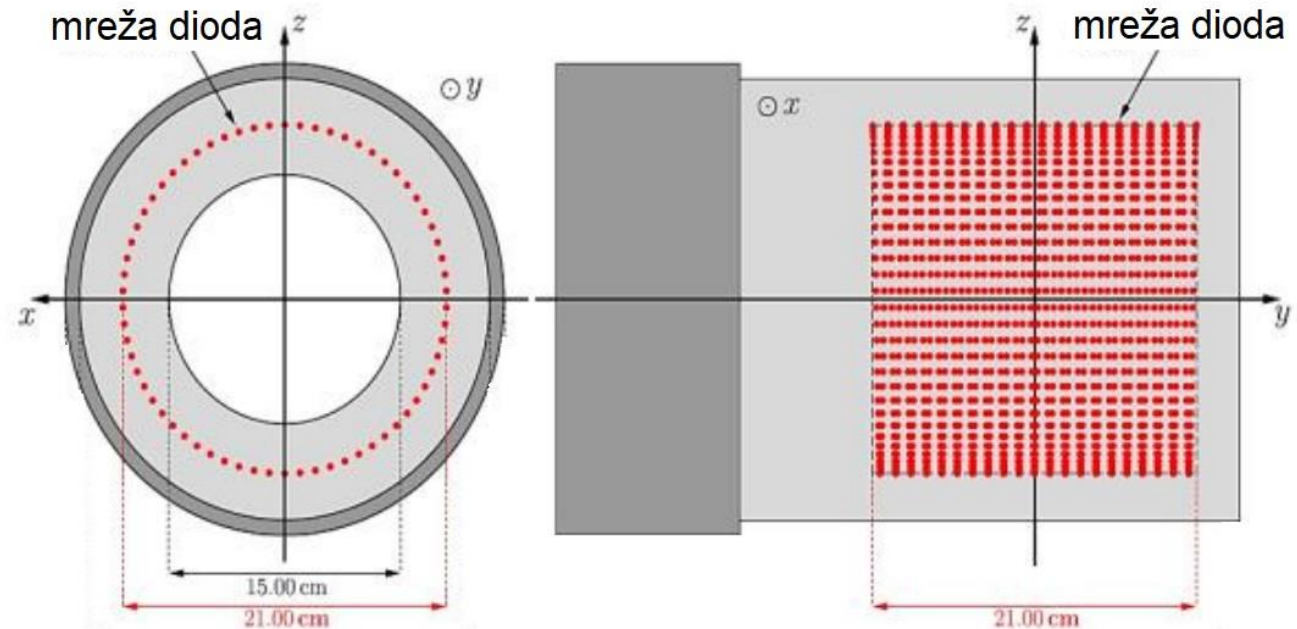
Zaključak

Gama analiza

- Udio točaka koji zadovoljava oba uvjeta naziva se prolaznost
- Postoje globalna i lokalna gama analiza
- Prag – iznos ispod kojeg se doze isključuju iz analize

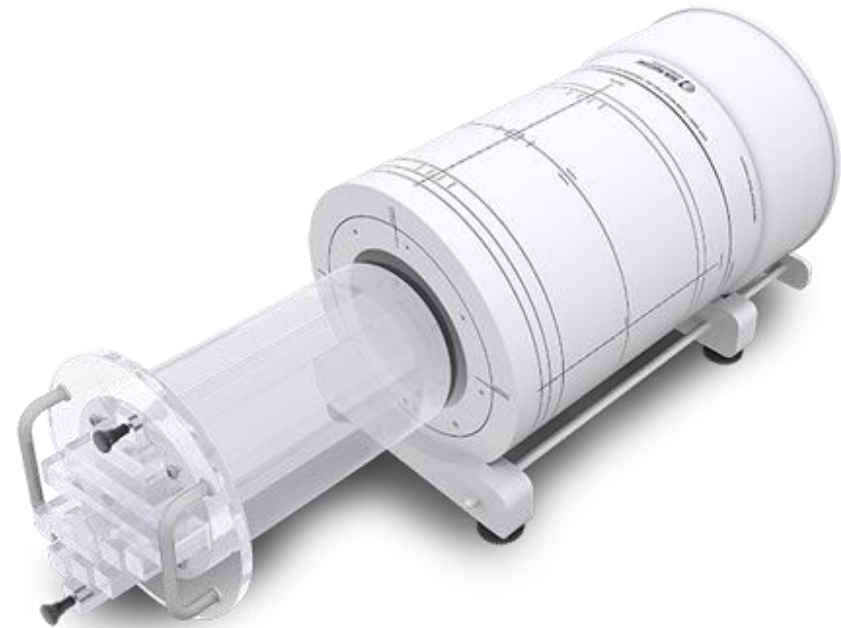
ArcCHECK

- Matrični detektor cilindričnog oblika proizvođača Sun Nuclear
- Unutrarnji promjer 15 cm, vanjski promjer 25 cm
- Unutar plašta nalazi se mreža od 1386 spiralno postavljenih dioda. Promjer mreže je 21 cm.



ArcCHECK

- Matrični detektor cilindričnog oblika proizvođača Sun Nuclear
- Unutrarnji promjer 15 cm, vanjski promjer 25 cm
- Unutar plašta nalazi se mreža od 1386 spiralno postavljenih dioda. Promjer mreže je 21 cm.



<https://www.sunnuclear.com/>

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

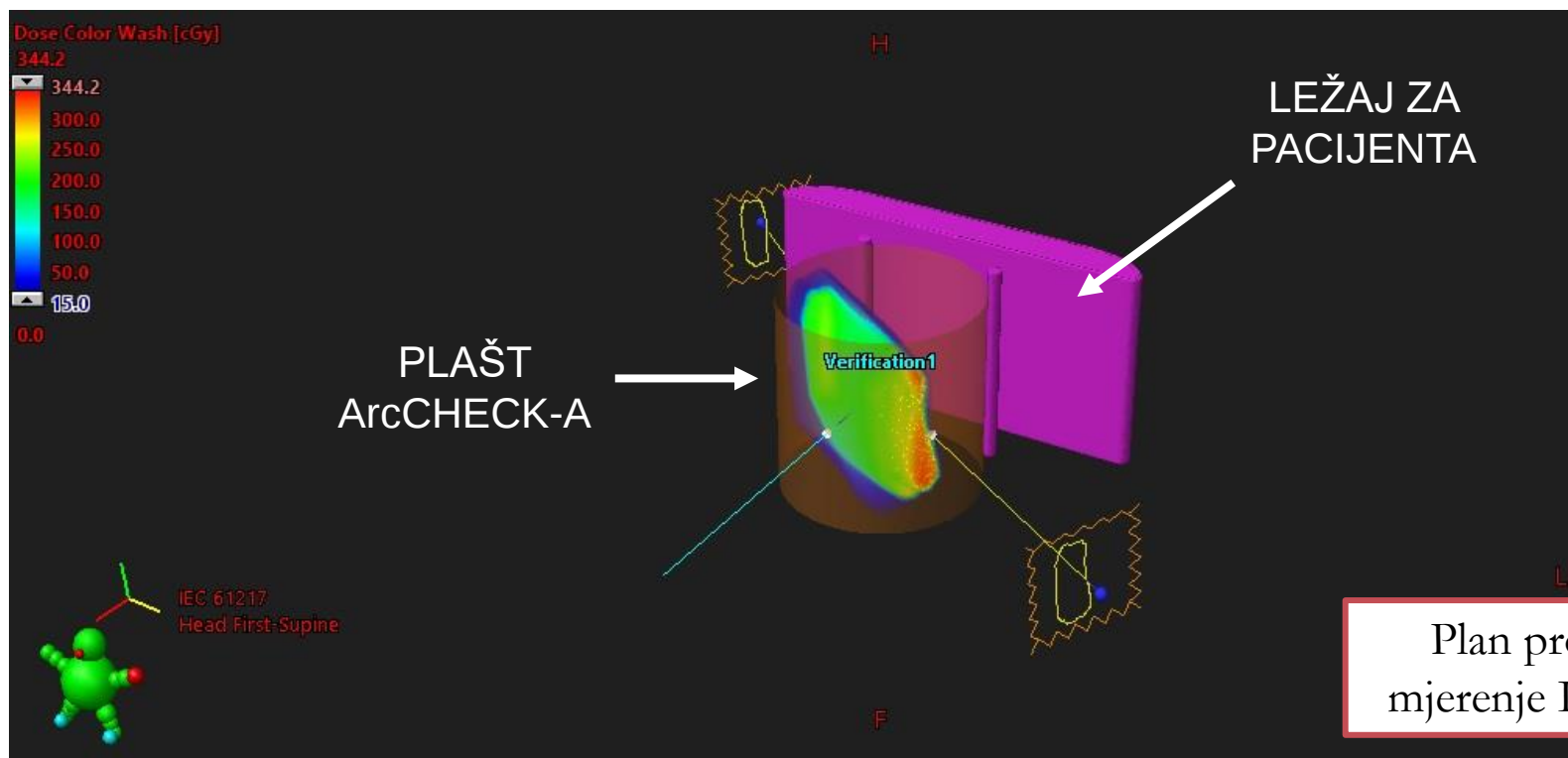
05

Rasprava

06

Zaključak

ArcCHECK



Plan provjere za ArcCHECK
mjerenje IMRT plana u Eclipse-u.

Raspodjela doze kliničkog plana koju je Eclipse izračunao na ArcCHECK-u.

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

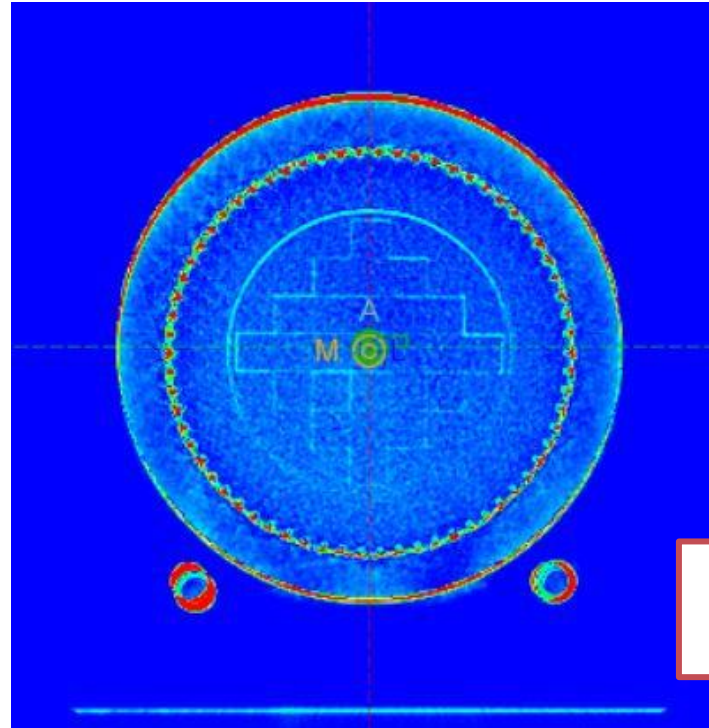
05

Rasprava

06

Zaključak

ArcCHECK



Prikaz kV oslikavanja ArcCHECK-a
prije mjerenja u Eclipse-u.

kV oslikavanje ArcCHECK-a za provjeru njegovog položaja.

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerjenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

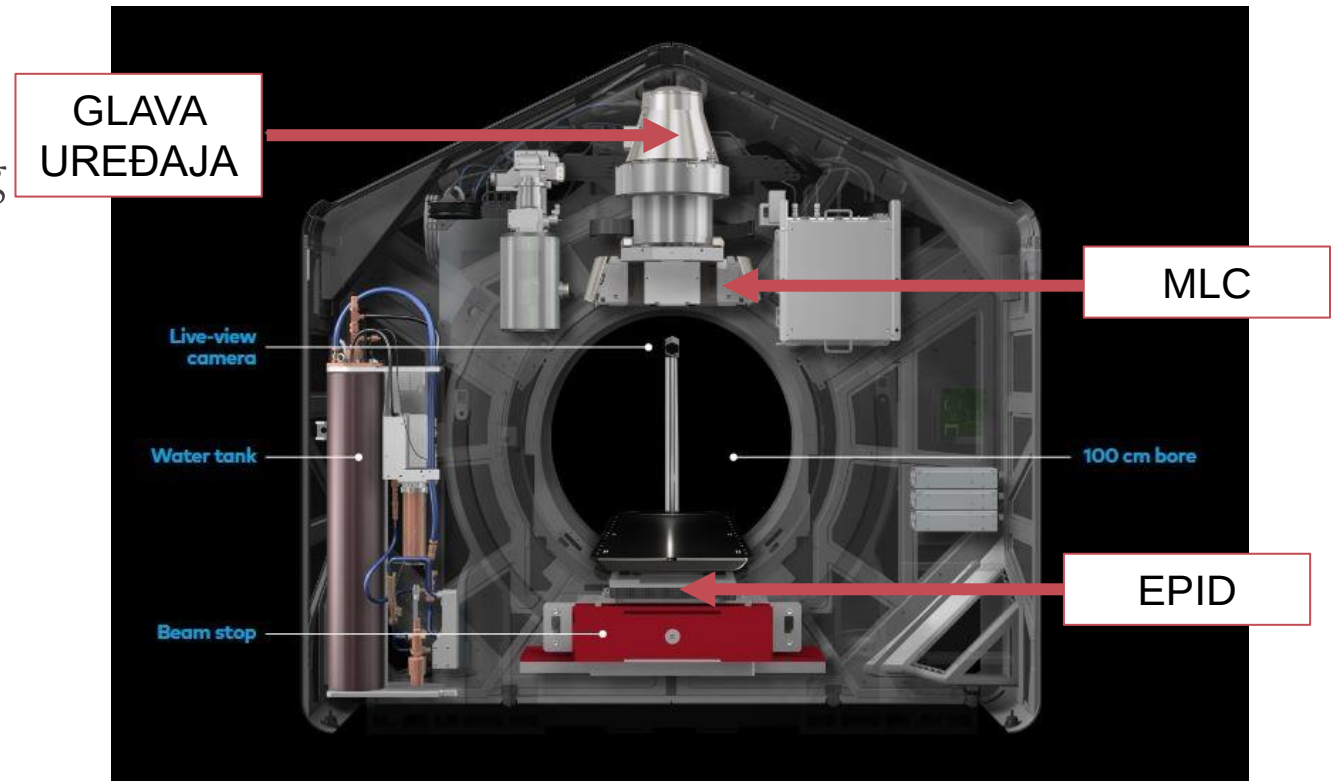
Rasprava

06

Zaključak

EPID

- 2D detektor ugrađen u Halcyon
- Eclipse računa tok energije kliničkog plana na položaju EPID detektora



<https://www.varian.com/>

IMRT plan

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

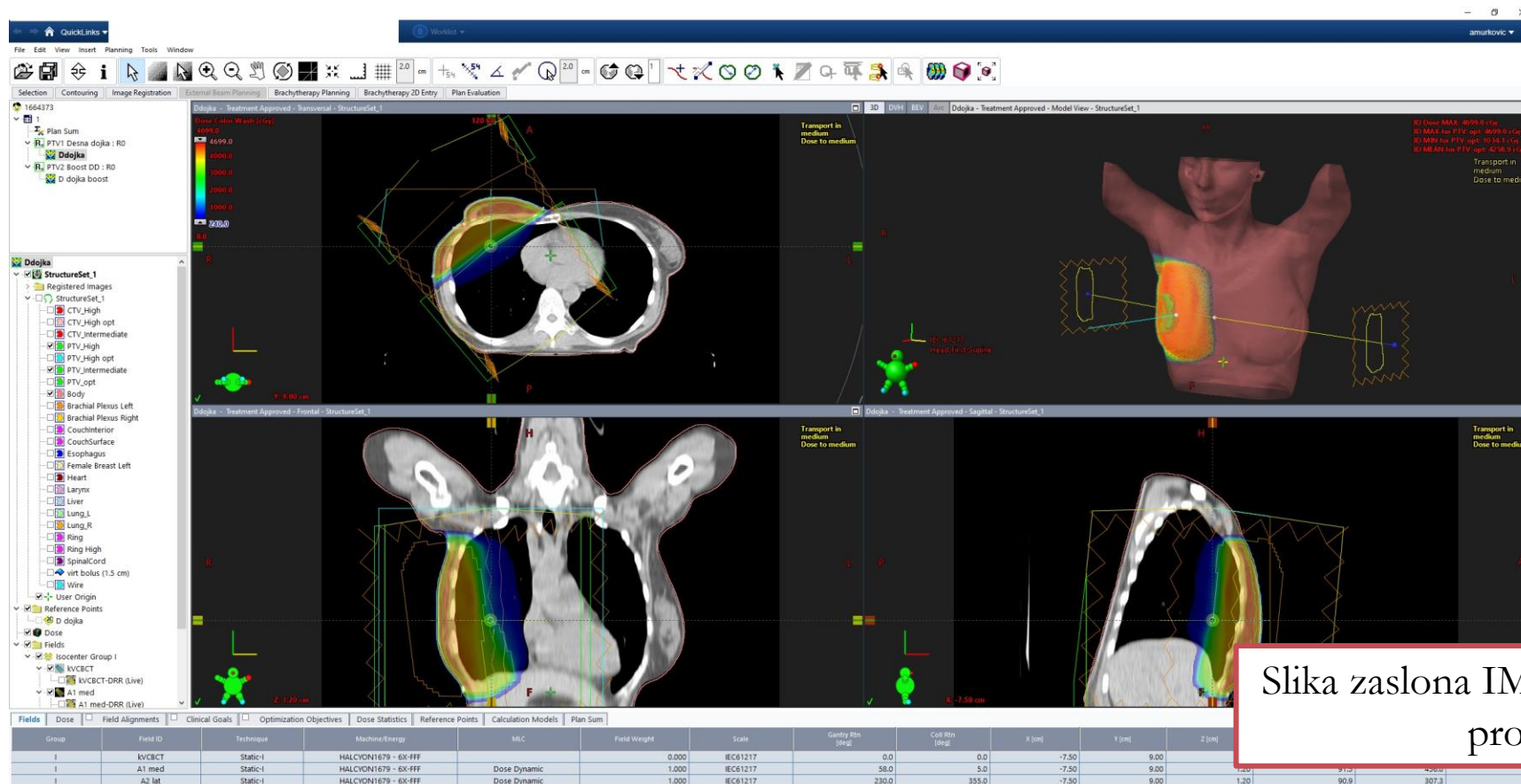
Rezultati

05

Rasprava

06

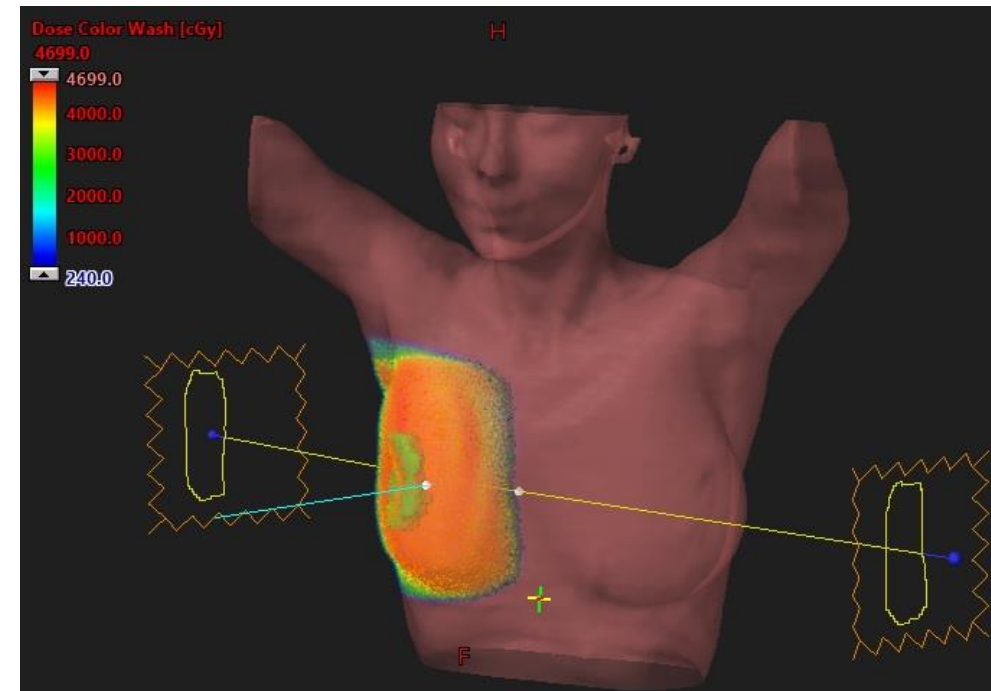
Zaključak



Slika zaslona IMRT plana u Eclipse programu.

IMRT plan

- Monitorska jedinica (MU) – intrinzična mjerna jedinica svakog linearnog akceleratora koja povezuje predano zračenje i energiju apsorbiranu u pacijentu
- Prvo polje – glava uređaja na 58° , kolimator rotiran za 5° , 456 MU
- Drugo polje – glava uređaja na 230° , kolimator rotiran za 355° , 307 MU



01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

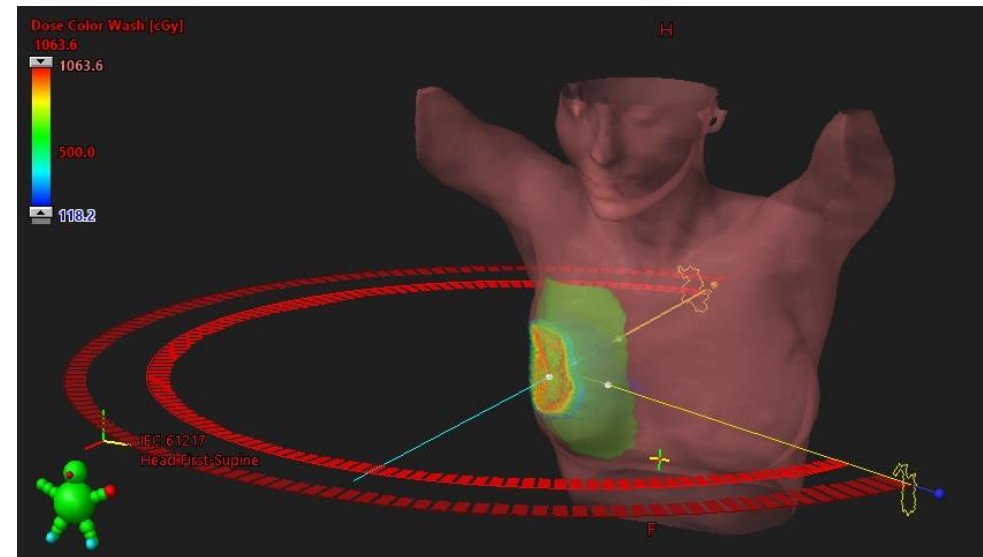
Rasprava

06

Zaključak

VMAT plan

- Dva poluluka
- Prvi poluluk – od 181° do 63° , kut kolimatora 315° , 194 MU
- Drugi poluluk – od 63° do 181° , kut kolimatora 45° , 197 MU



Dozimetrijske provjere

Mjerenje pomoću ArcCHECK-a:

- Dozimetrijska provjera ukupnog IMRT i ukupnog VMAT plana
- Kriteriji: 3%/3 mm, 3%/2 mm, 2%/3 mm i 2%/2 mm za globalnu gama analizu i 2%/2 mm za lokalnu gama analizu
- Prag 10%

Mjerenje pomoću EPID-a:

- Dozimetrijska provjera svakog IMRT polja i svakog EPID luka zasebno
- Globalna i lokalna gama analiza s 2%/2 mm i 2%/1 mm kriterijima
- Prag 5%

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

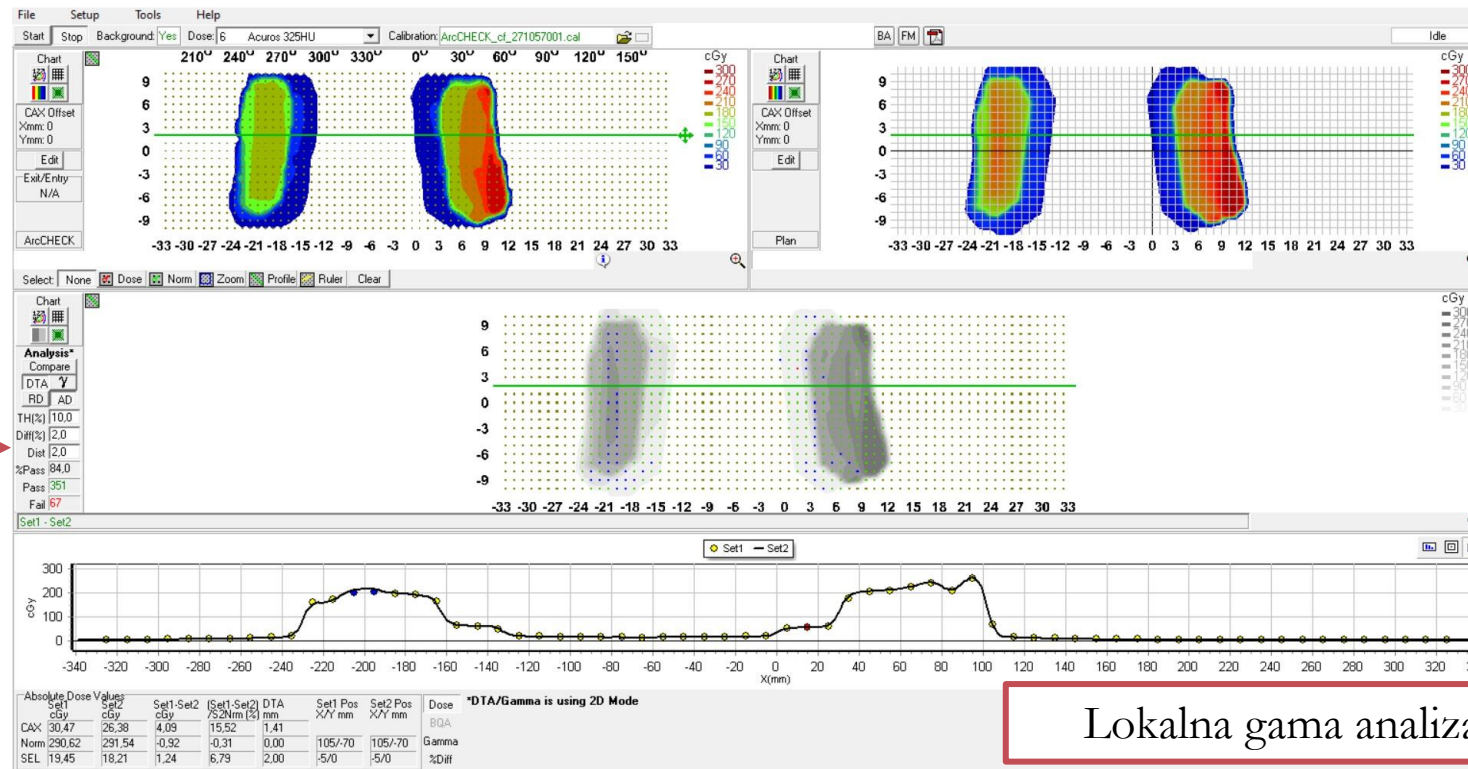
05

Rasprava

06

Zaključak

Rezultati



Lokalna gama analiza 2%/2 mm kriterij.

Slika zaslona gama analize IMRT plana mjerenog pomoću ArcCHECK-a u SNCPatient programu.

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

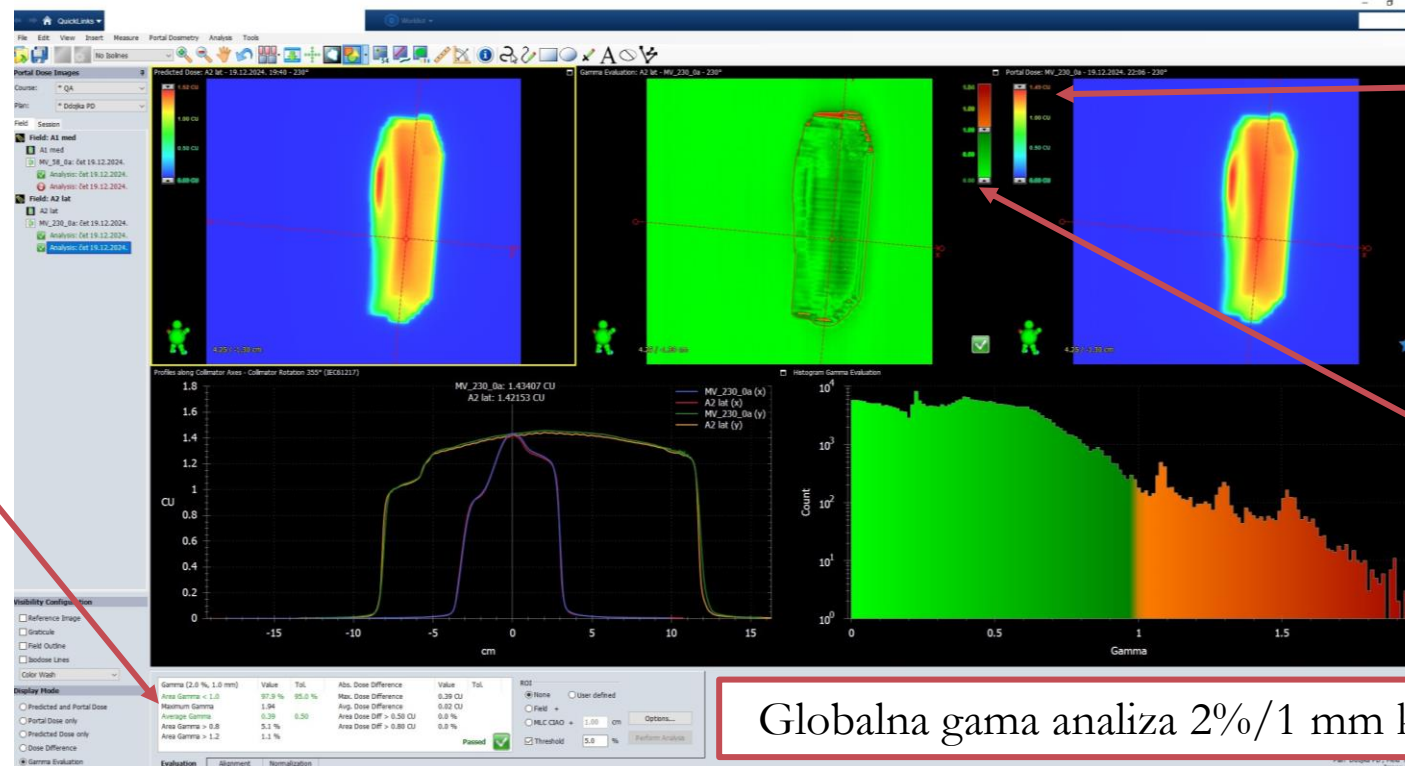
Rasprava

06

Zaključak

Rezultati

Gamma (2.0 %, 1.0 mm)		
Area Gamma < 1.0	97.9 %	95.0 %
Maximum Gamma	1.94	
Average Gamma	0.39	0.50
Area Gamma > 0.8	5.1 %	
Area Gamma > 1.2	1.1 %	
Abs. Dose Difference	Value	Tol.
Max. Dose Difference	0.39 CU	
Avg. Dose Difference	0.02 CU	
Area Dose Diff > 0.50 CU	0.0 %	
Area Dose Diff > 0.80 CU	0.0 %	
Passed 		



Globalna gama analiza 2%/1 mm kriterij.

Slika zaslona gama analize drugog IMRT polja mjenenog pomoću EPID-a u Eclipse programu.

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

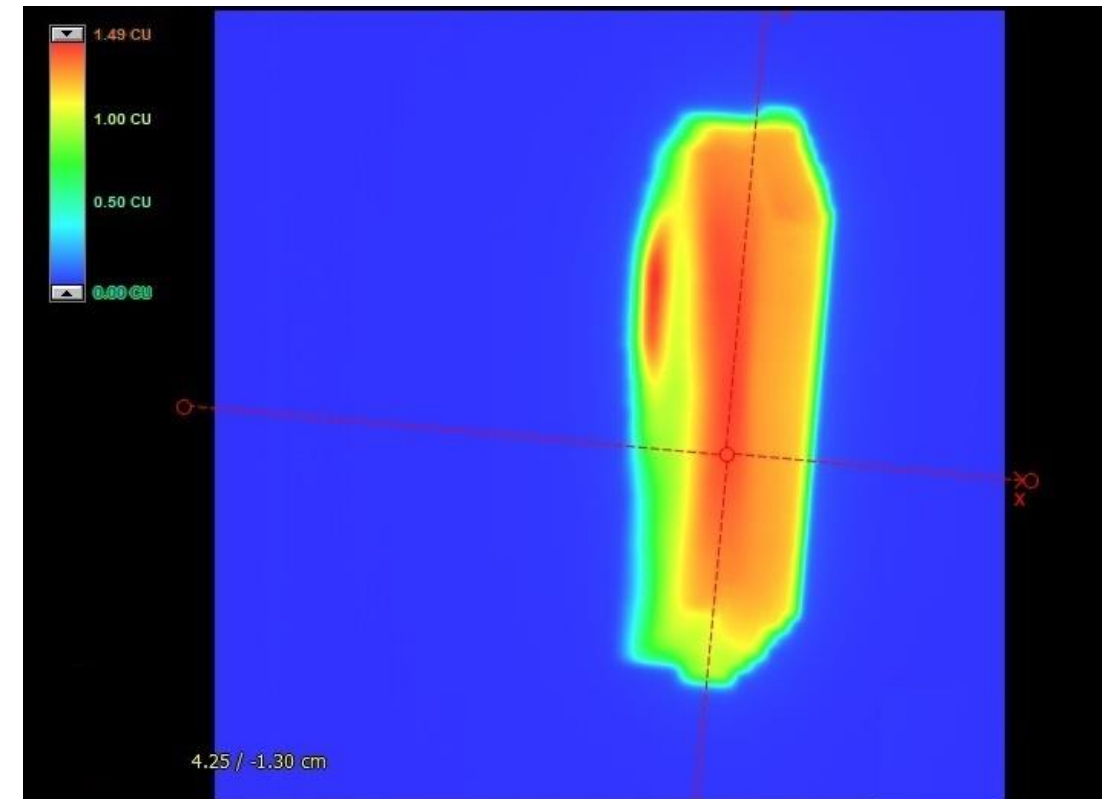
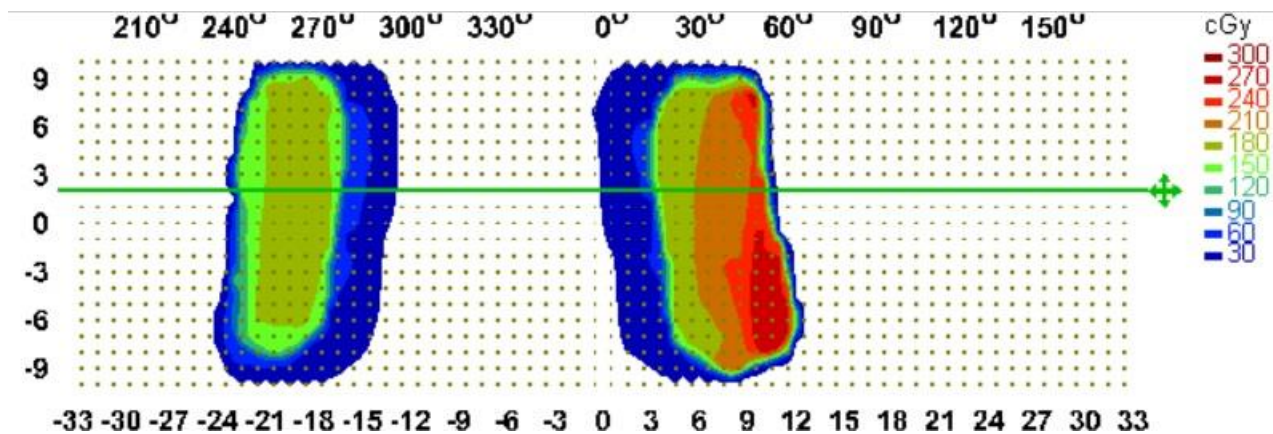
Rasprava

06

Zaključak

Rasprava

Usporedba ArcCHECK i EPID
mjerenja drugog IMRT polja.



01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

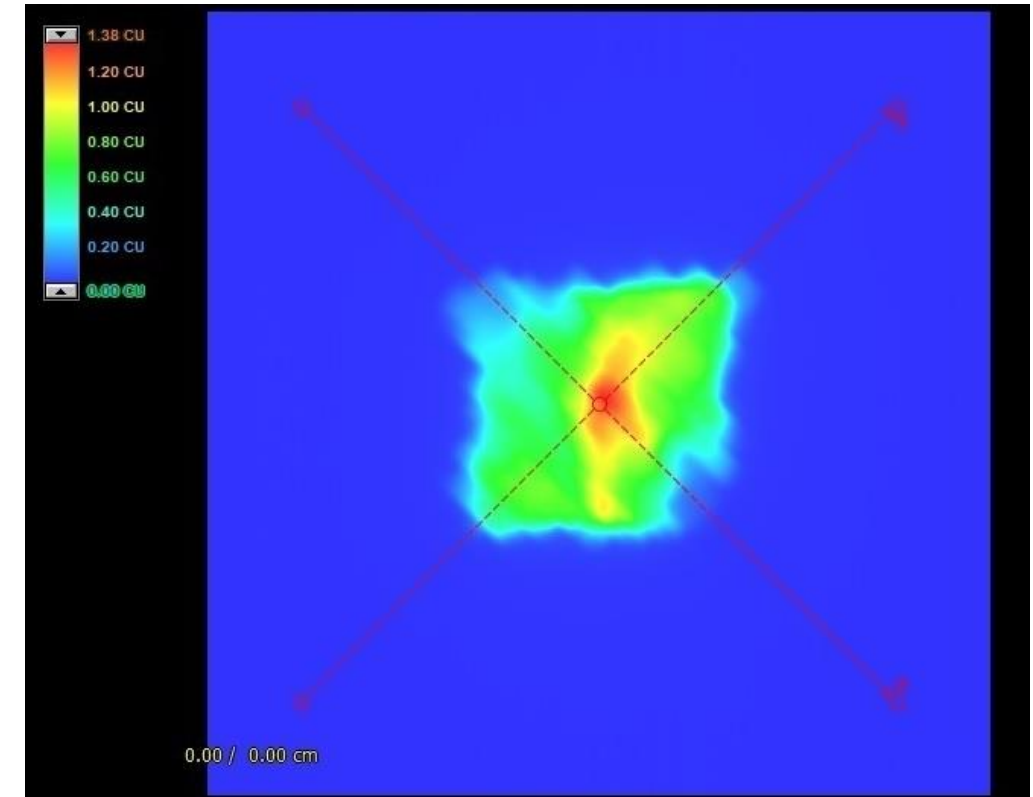
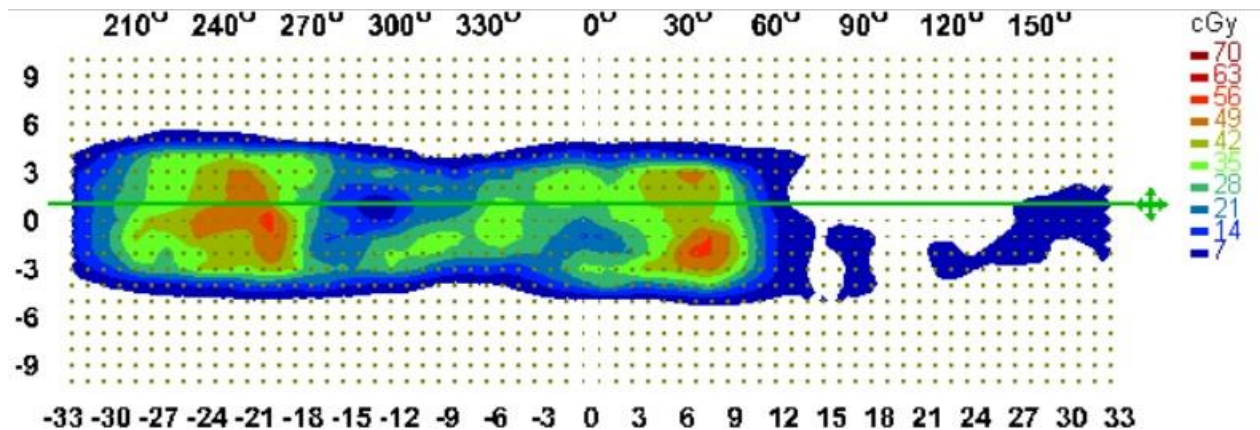
Rasprava

06

Zaključak

Rasprava

Usporedba ArcCHECK i EPID
mjerenja VMAT plana.



01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

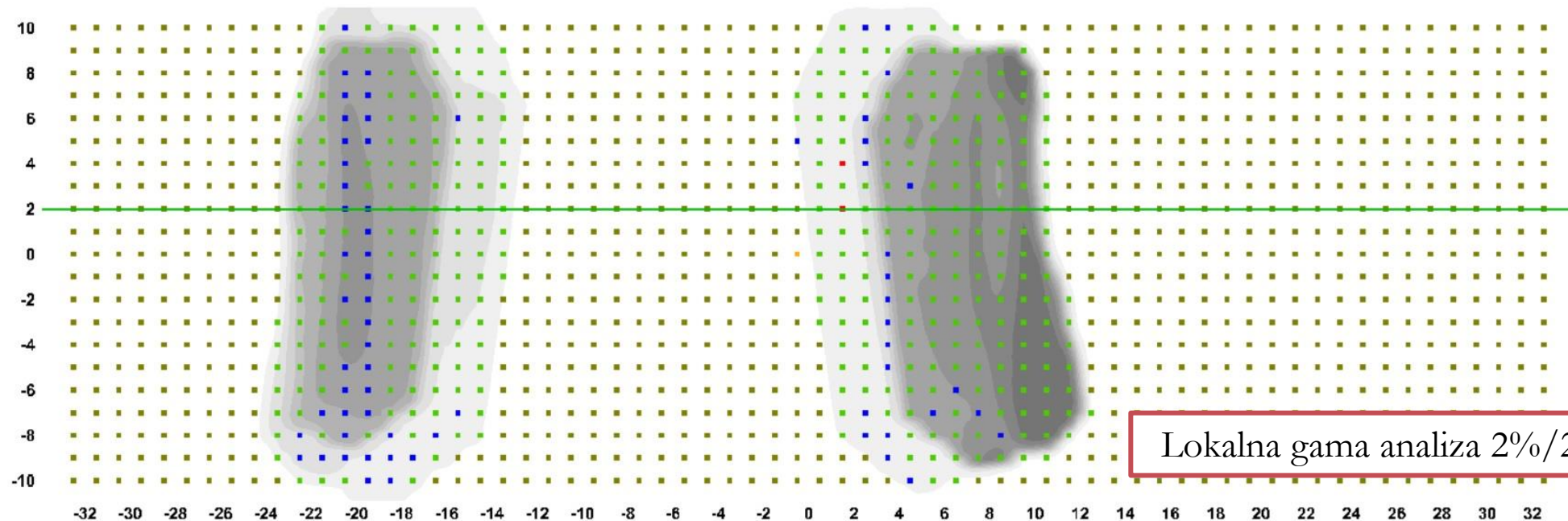
05

Rasprava

06

Zaključak

Rasprava



Točke u svim gama analizama ArcCHECK mjerenja uglavnom su plave boje. Tijekom mjerenja u ovom radu, Halcyon je predavao dozu manju za 0.5% od planirane.

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

Rasprava

06

Zaključak

Rasprava

Rezultati γ histograma:

- Sve $\bar{\gamma} < 0.5$
- Nema ekstremnih vrijednosti $\gamma_{MAX} (< 3)$

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

Rasprava

06

Zaključak

Rasprava

- U svim gama analizama zahtijevala se prolaznost od 95%

Mjerenja pomoću ArcCHECK-a:

- Prolaznosti za IMRT plan manje od prolaznosti za VMAT plan
- Usporedba 3%/2 mm i 2%/3 mm – prolaznosti su iste za IMRT plan, a za VMAT plan je prolaznost za 3%/2 mm manja od prolaznosti za 2%/3 mm

01

Uvod

- Halcyon
- Gama analiza

02

Metode

- ArcCHECK
- EPID

03

Mjerenja

- IMRT plan
- VMAT plan

04

Rezultati

05

Rasprava

06

Zaključak

Rasprava

- U svim gama analizama zahtijevala se prolaznost od 95%

Mjerenja pomoću EPID-a:

- EPID mjerenja uglavnom nemaju prolaznost od 95% u slučaju lokalne gama analize s 2%/1 mm kriterijem
- 2%/1 mm nije klinički kriterij!
- *Tongue and groove* učinak

Zaključak

- Potrebno je provesti provjere kvalitete plana zračenja i rada uređaja kako bi se osigurao uspješan ishod i sigurnost radioterapije
- Radioterapijske tehnike: IMRT i VMAT
- Metode dozimetrijske provjere: ozračivanje ArcCHECK-a i ozračivanje EPID-a

ArcCHECK:

- Namještanje unosi dodatnu nepouzdanost
- Detektira odstupanja uzrokovana gibanjem glave uređaja
- SNCPatient

EPID:

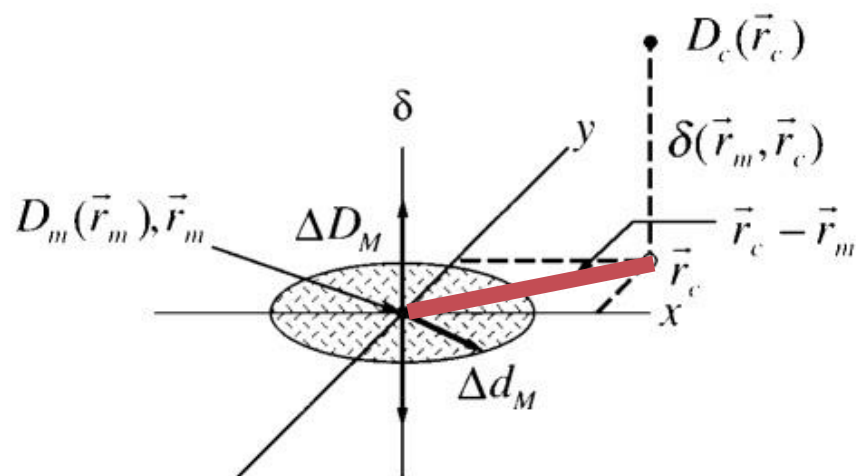
- Omogućava rigorozniju gama analizu sa strožim kriterijima
- Eclipse

Zahvaljujem na
pažnji!

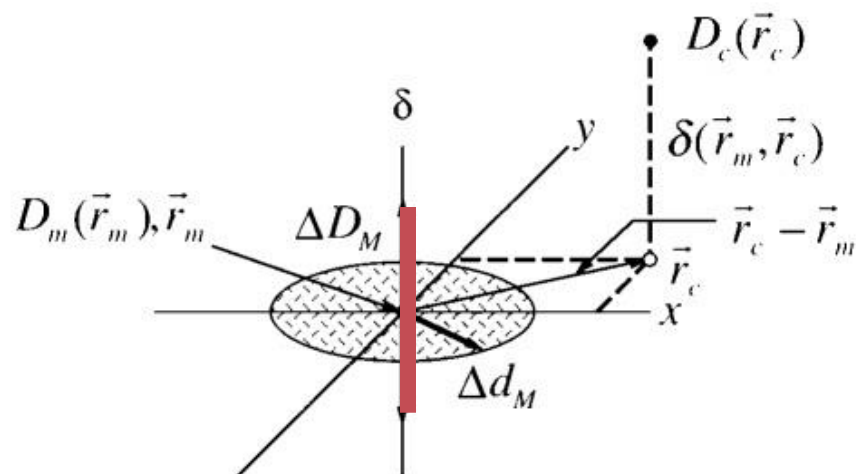
Literatura:

- M. Miften *et al.*: *Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: recommendations of AAPM Task Group No. 218*. Medical physics, 2018, 45.4: e53-e83.
- Lim, Tze Yee *et al.*: *Characterization of the HalcyonTM multileaf collimator system*. Journal of applied clinical medical physics, 2019, 20.4: 106-114
- D. A. Low, W. B. Harms, S. Mutic, and J. A. Purdy: *A technique for the quantitative evaluation of dose distributions*. Medical physics, 1998, 25.5: 656-661.
- E.B. Podgorsak: *Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students* (2005)
- D. Létourneau, J. Publicover, J. Kozelka, D. J. Moseley, D. A. Jaffray: *Novel dosimetric phantom for quality assurance of volumetric modulated arc therapy*. Medical physics, 2009, 36.5: 1813-1821.

Dodatna pitanja – gama analiza



Ako $|\vec{r}_m - \vec{r}_c| \leq \Delta d_M$ DTA je prihvatljiva.



Ako je $|D_c(\vec{r}_m) - D_m(\vec{r}_m)| \leq \Delta D_M$ razlika u dozama je prihvatljiva.

$$1 = \sqrt{\frac{r^2(\vec{r}_m, \vec{r})}{\Delta d_M^2} + \frac{\delta^2(\vec{r}_m, \vec{r})}{\Delta D_M^2}}$$

$$r(\vec{r}_m, \vec{r}) = |\vec{r} - \vec{r}_m|$$

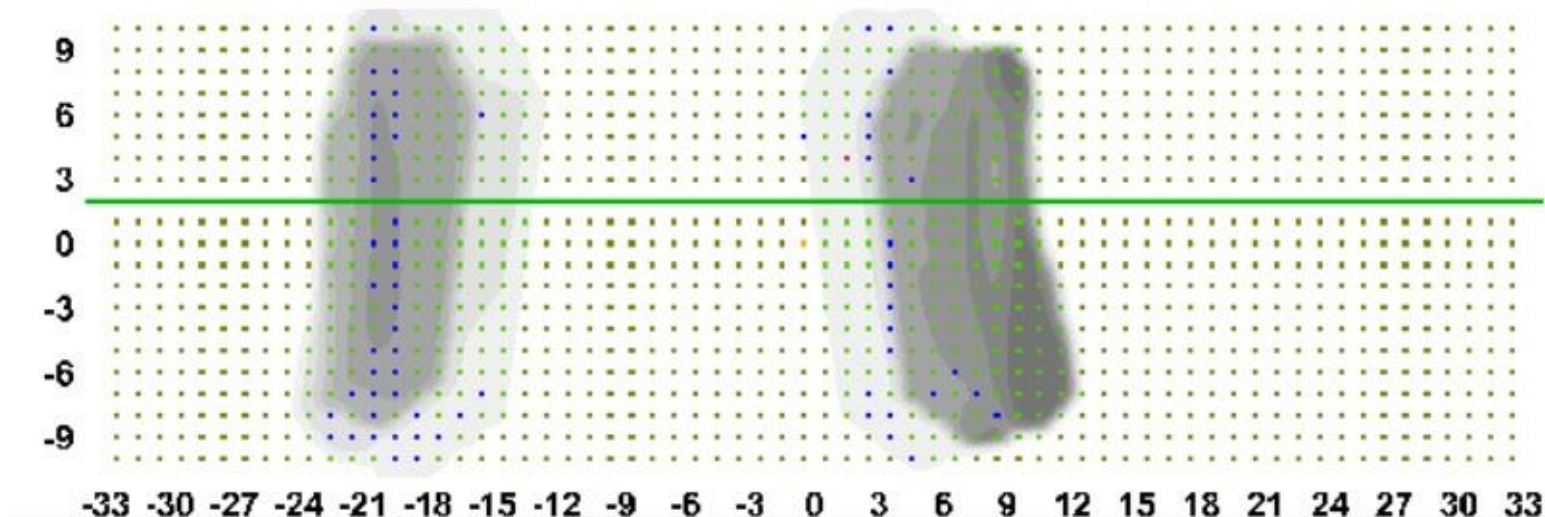
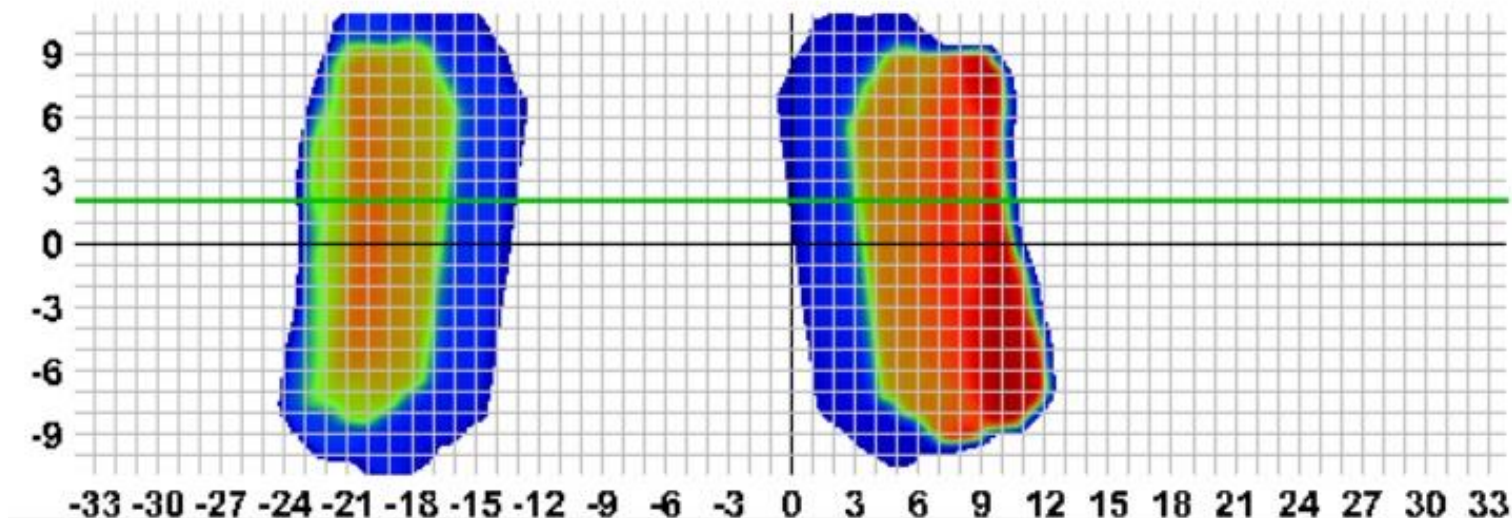
$$\delta(\vec{r}_m, \vec{r}) = D_c(\vec{r}) - D_m(\vec{r}_m)$$

$$\gamma(\vec{r}_m) = \min\{\Gamma(\vec{r}_m, \vec{r}_c)\} \forall \{\vec{r}_c\}$$

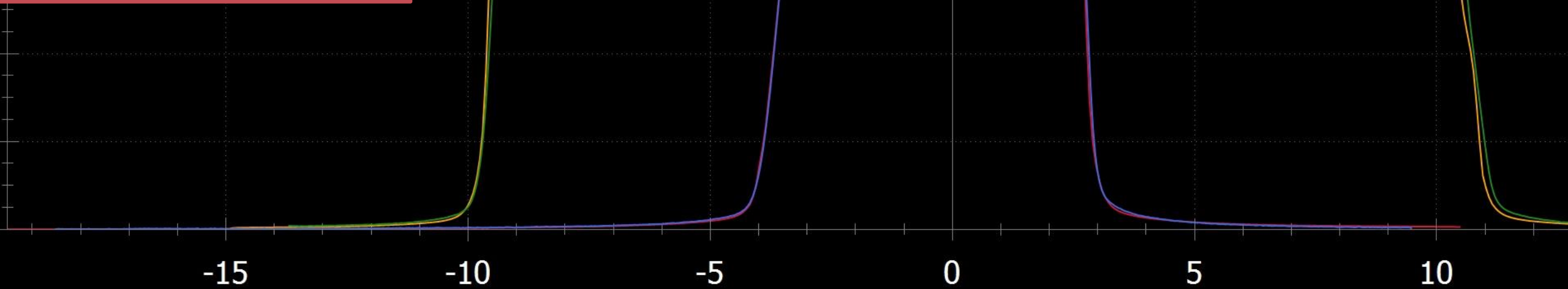
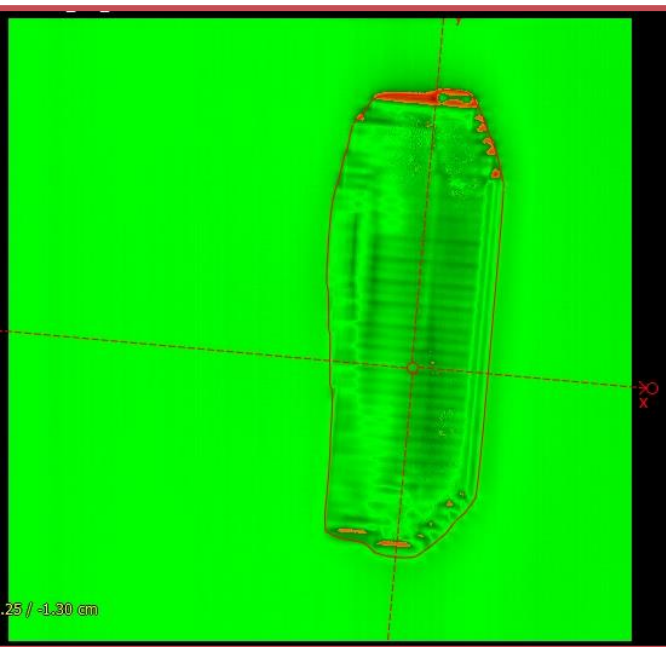
$$\Gamma(\vec{r}_m, \vec{r}_c) = \sqrt{\frac{r^2(\vec{r}_m, \vec{r}_c)}{\Delta d_M^2} + \frac{\delta^2(\vec{r}_m, \vec{r}_c)}{\Delta D_M^2}}$$

m – measured
c - calculated

Dodatna pitanja – krivo postavljanje ArcCHECK-a



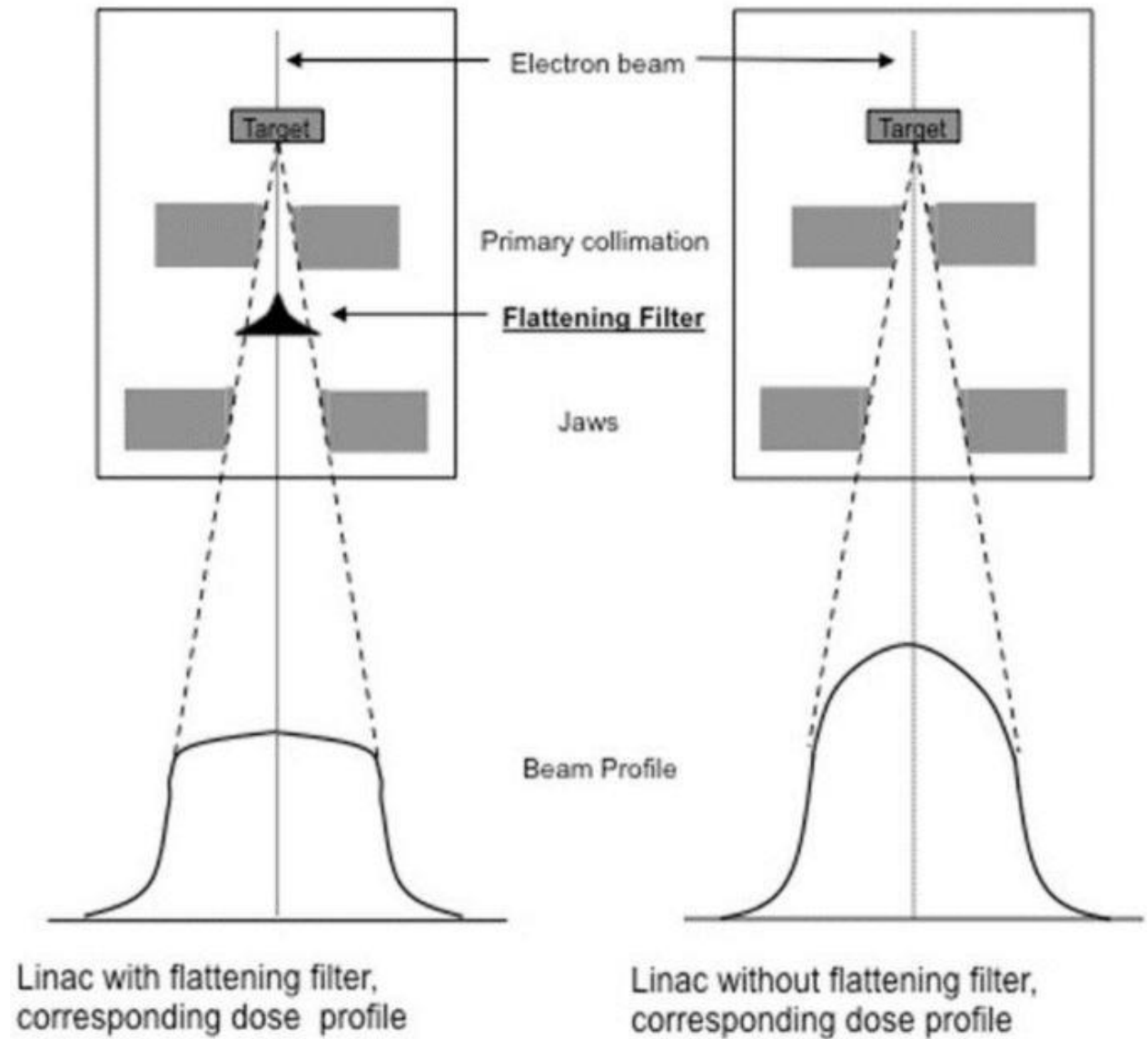
Dodatna pitanja – EPID mrtvi pikseli



MV_230_0a: 1.44127 CU

A2 lat: 1.42441 CU

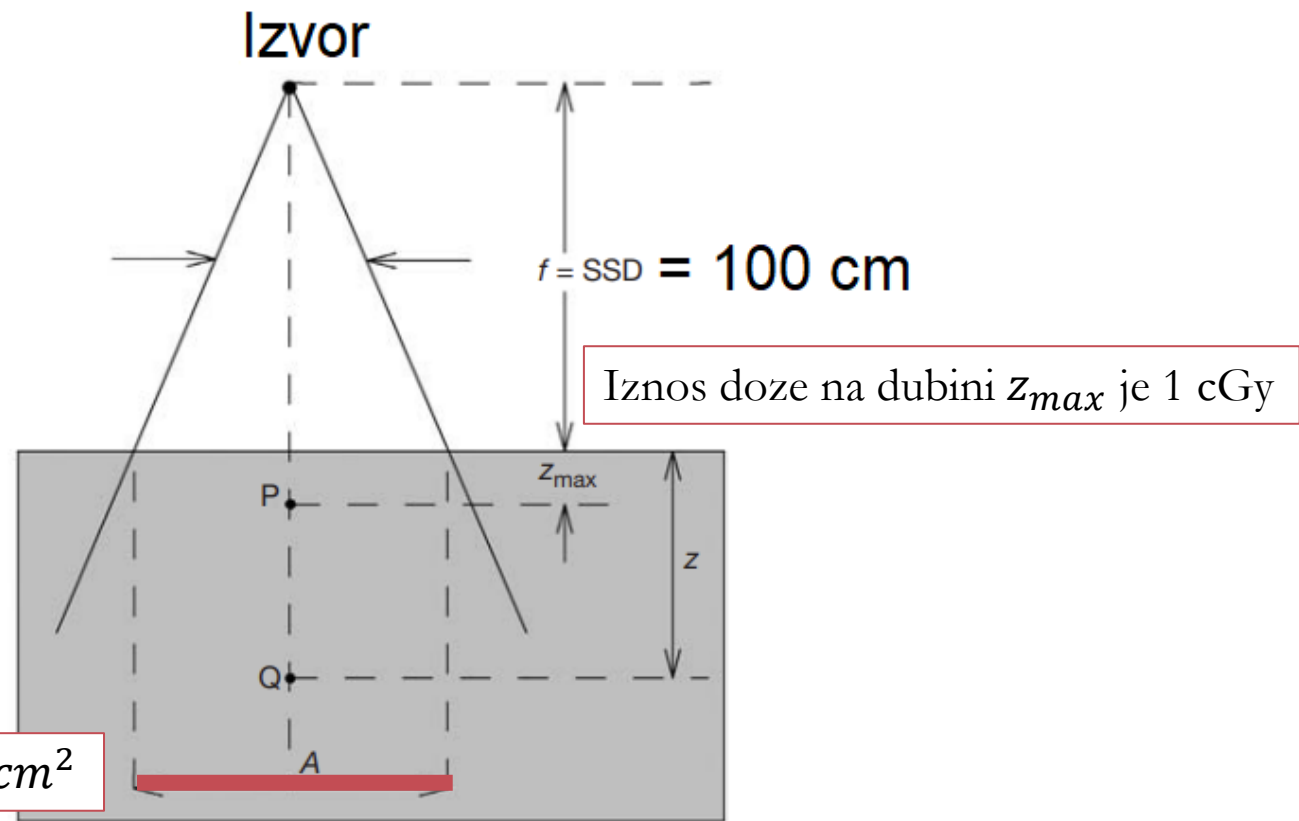
Dodatna pitanja – FFF



K. Alsaeed: *Determination of the Shape of a Flattening Filter Free (FFF) Radiation Beam When Modified by a Physical Wedge*. MS thesis. Wright State University, 2017.

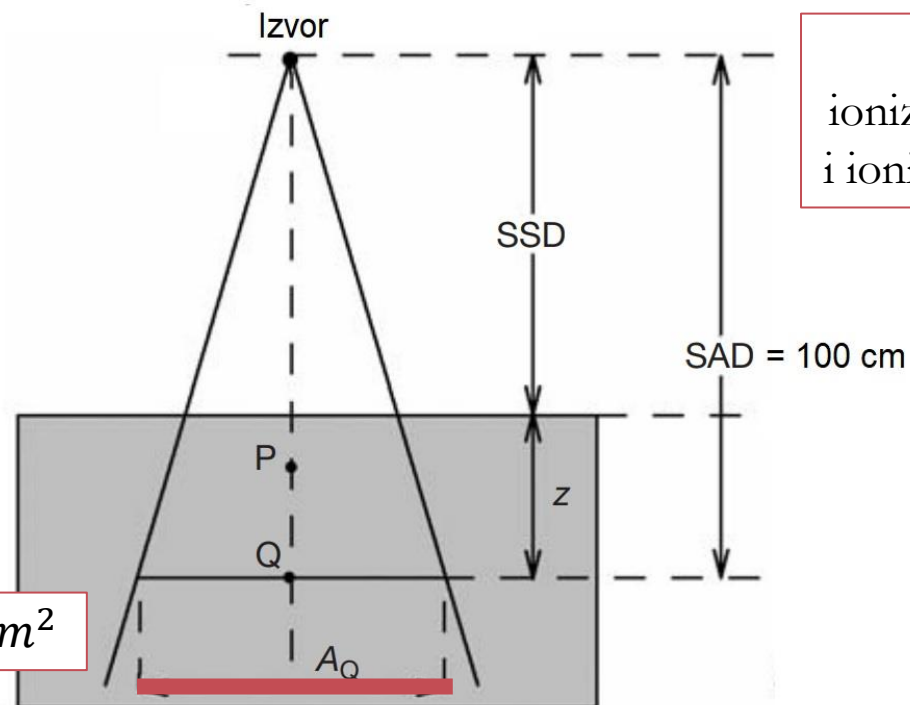
Dodatna pitanja

– MU



Dodatna pitanja – NAP

Polje na dubini izocentra ima veličinu $10 \times 10 \text{ cm}^2$



Gleda se omjer
ionizacije na dubini od 10 cm
i ionizacije na dubini od 20 cm

E.B. Podgorsak: *Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students* (2005)

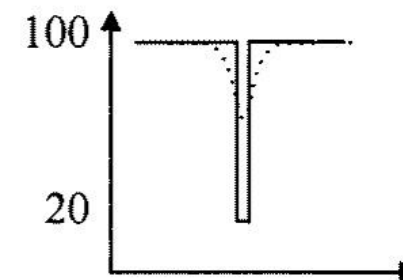
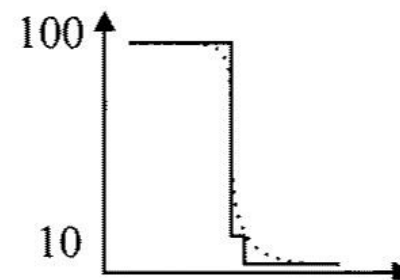
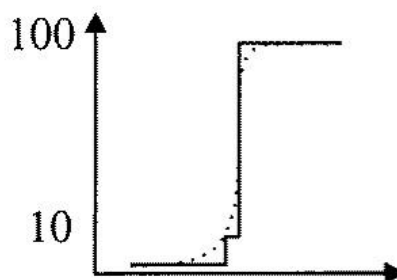
Dodatna pitanja

– Tongue and groove učinak

Izvor zračenja POV: polje (sjenčano) blokirano MLC listićima



Tok fotona (%)



J. R. Sykes, P. C. Williams: *An experimental investigation of the tongue and groove effect for the Philips multileaf collimator. Physics in Medicine & Biology* 43.10 (1998): 3157.