



ONKOLOŠKI
INŠTITUT
LJUBLJANA



Particle Therapy Masterclass

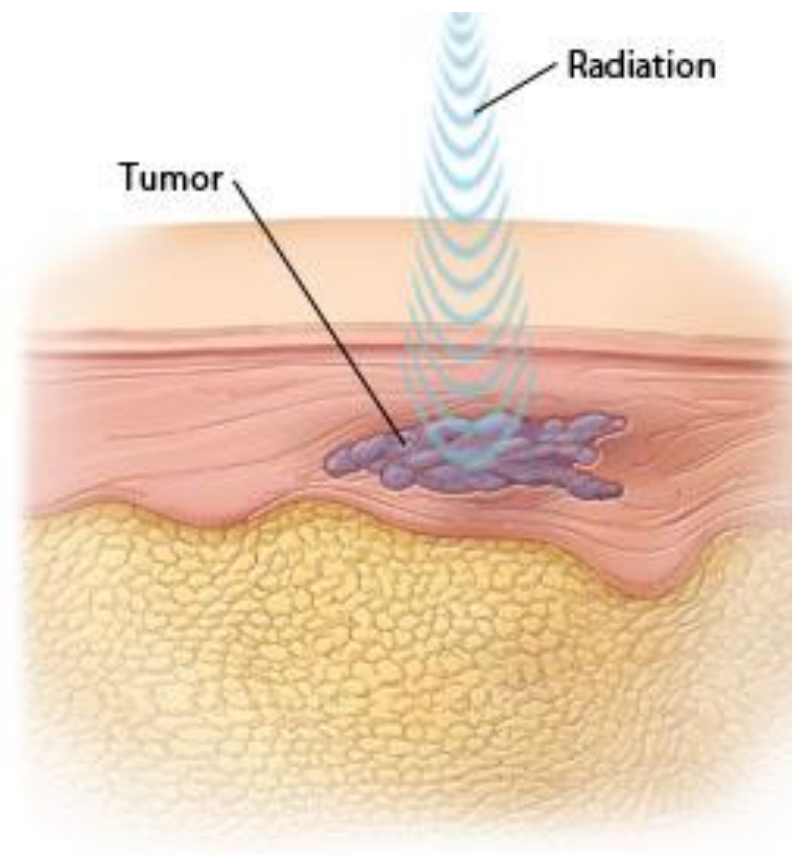
8. 4. 2022

Uvod v načrtovanje obsevanja raka s programsko opremo matRad

Avtor: Tadej Tomanič

1. Uvod

- Zdravljenje raka z **ionizirajočim sevanjem** (npr. fotoni) in **delci** (npr. protoni in ioni) zahteva **načrtovanje obsevanja**. Z načrtovanjem posameznih primerov dosežemo *optimalno razporeditev doze v tumorju*.
- Temeljna cilja:
 1. Uničiti čim več tumorskih celic
 2. Prihraniti čim več zdravega tkiva



1. Uvod

- Pri načrtovanju upoštevamo:
 - **Fizikalne lastnosti ionizirajočega sevanja ali delcev** (energijo, interakcije s snovjo...)
 - **Biološke in fizikalne lastnosti tkiva** (anatomijo, sevalno občutljivost, elektronsko gostoto...)
 - **Tehnične lastnosti obsevalne naprave** (največjo možno energijo sevanja oz. delcev, nagib obsevalne naprave, premik čeljusti v napravi, premik in nagib obsevalne mize...)



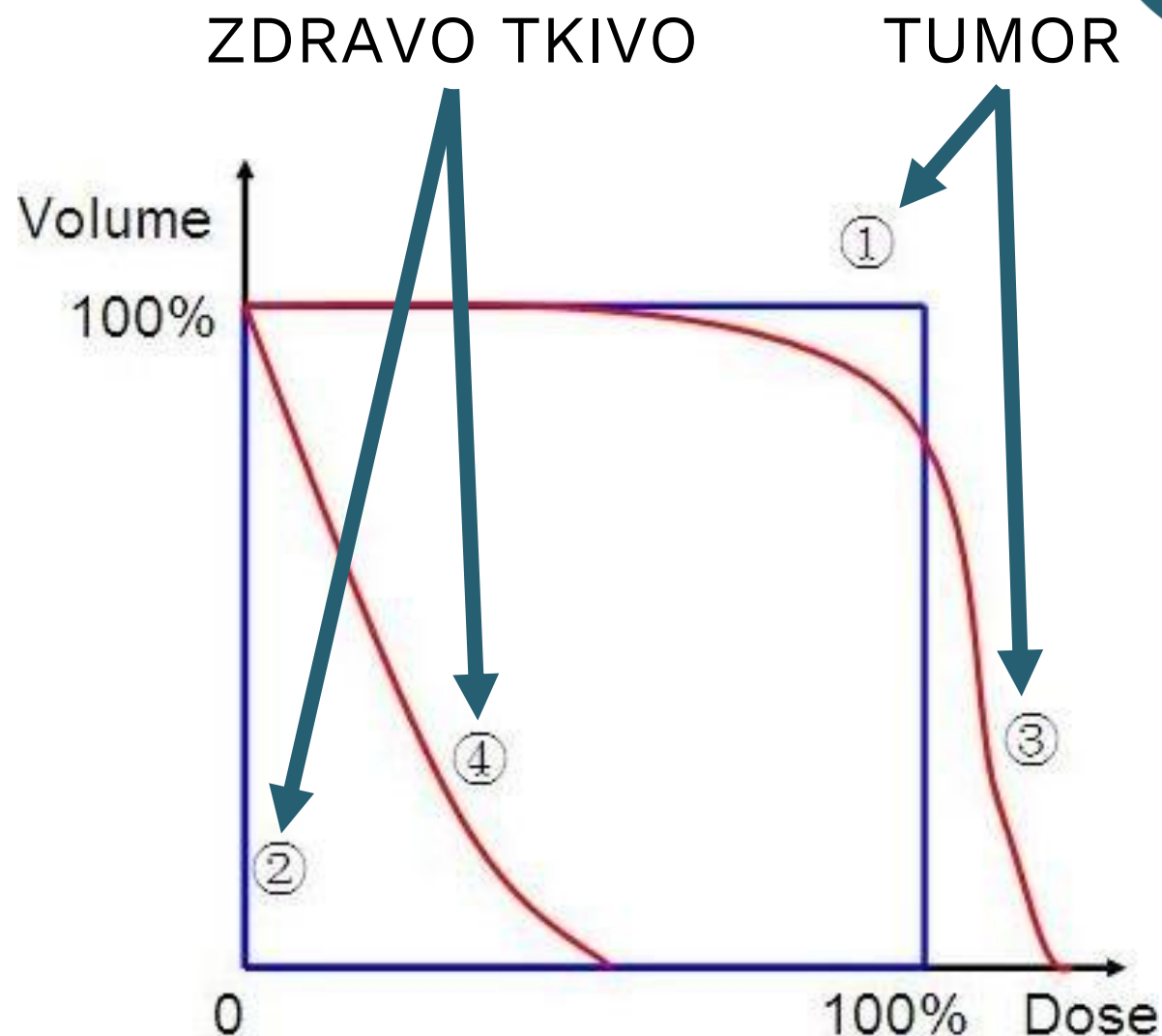
2. Osnovni koncepti

■ Absorbirana doza

- Količina energije ionizirajočega sevanja v džulih, ki se absorbira v 1 kilogramu tkiva ($1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gy}$).

■ Dozno-volumski histogram (DVH)

- Krivulja, ki prikazuje, kolikšen delež posameznega tkiva (zdravega ali tumorskega) prejme vsaj določeno dozo v Gy.



2. Osnovni koncepti

■ Bruto volumen tumorja (GTV)

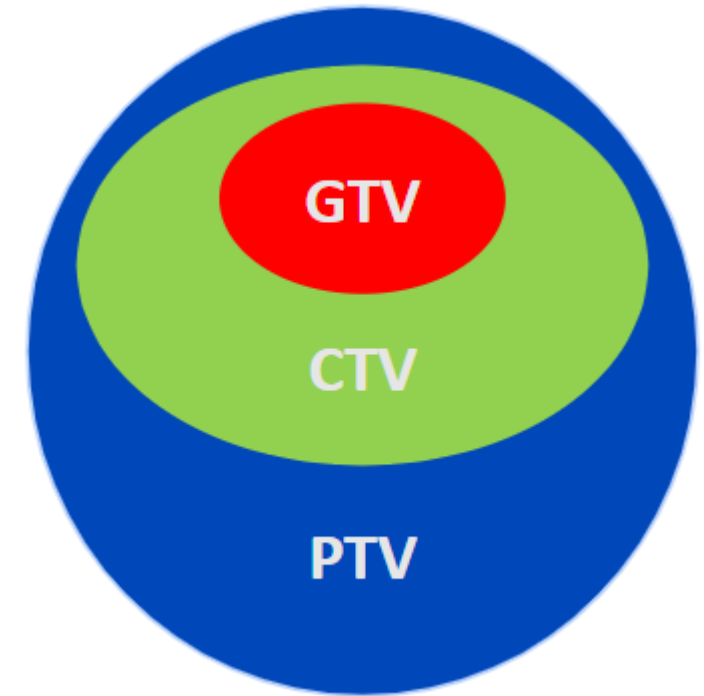
- Otipljiv, viden in dokazljiv volumen tumorskega tkiva
- Pridobimo ga s kombinacijo slikovnih tehnik (CT, PET, MRI, UZ), histoloških in patoloških preiskav ter kliničnega pregleda

■ Klinični tarčni volumen (CTV)

- Vključuje GTV in okolico, kjer tumorja ne zaznamo, a pričakujemo prisotnost

■ Planirni tarčni volumen (PTV)

- Vključuje GTV in CTV ter dodaten rob zaradi nedoločenosti



2. Osnovni koncepti

■ Kritični organ (OAR)

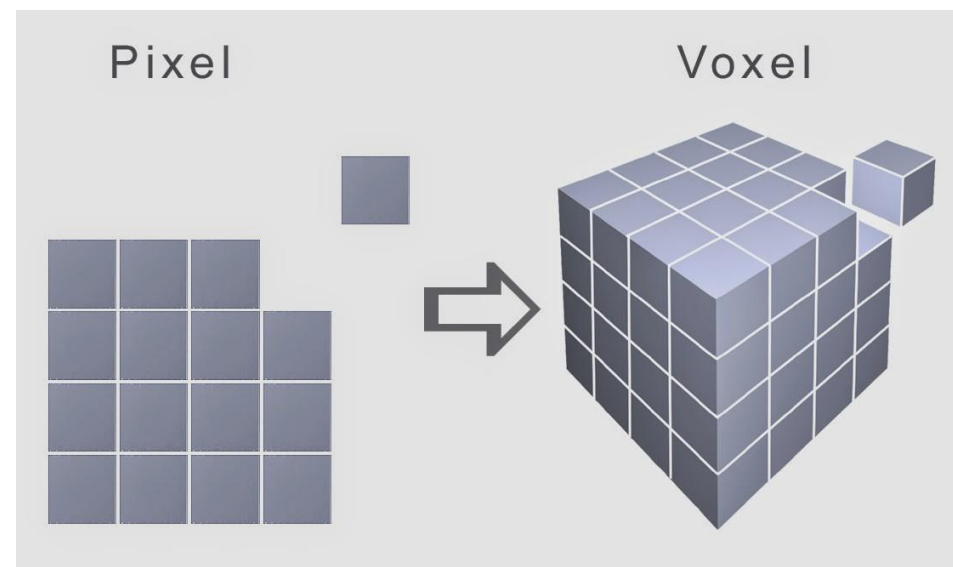
- Sevalno občutljivi organ (npr. hrbtenjača)
- Običajno se nahaja blizu tarčnega volumna

■ Voksel

- Volumski element
- Podoben slikovnemu elementu (pikslu), le da je v treh dimenzijah
- Osnovni sestavni del medicinskih slik ipd.

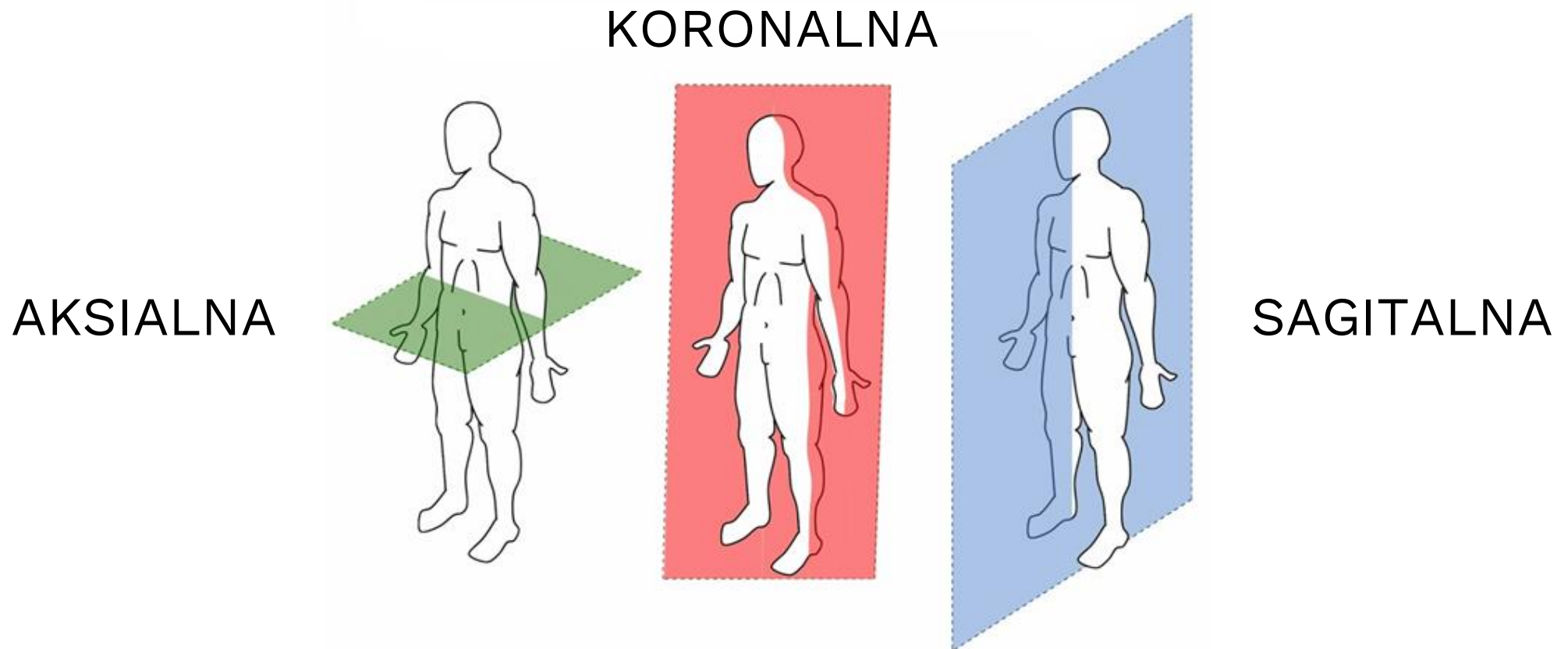
■ VOI

- Volumen zanimanja



2. Osnovni koncepti

- Preseki (ravnine) 3D medicinskih slik:



3. Kaj je matRad?

- matRad je programska oprema za **načrtovanje** in **optimizacijo** obsevanja tumorjev s **fotoni**, **protoni** in **ogljikovimi ioni** v izobraževalne in raziskovalne namene.
- Razvili so ga v Nemškem centru za raziskave raka (DKFZ).

dkfz.

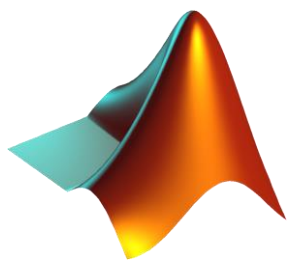
- Uporablja ga več kot **30 ustanov** po celem svetu.

matRad 



3. Kaj je matRad?

- matRad deluje **znotraj programskega okolja MATLAB** (Matworks, MA, ZDA) ali kot **samostojna programska oprema**.



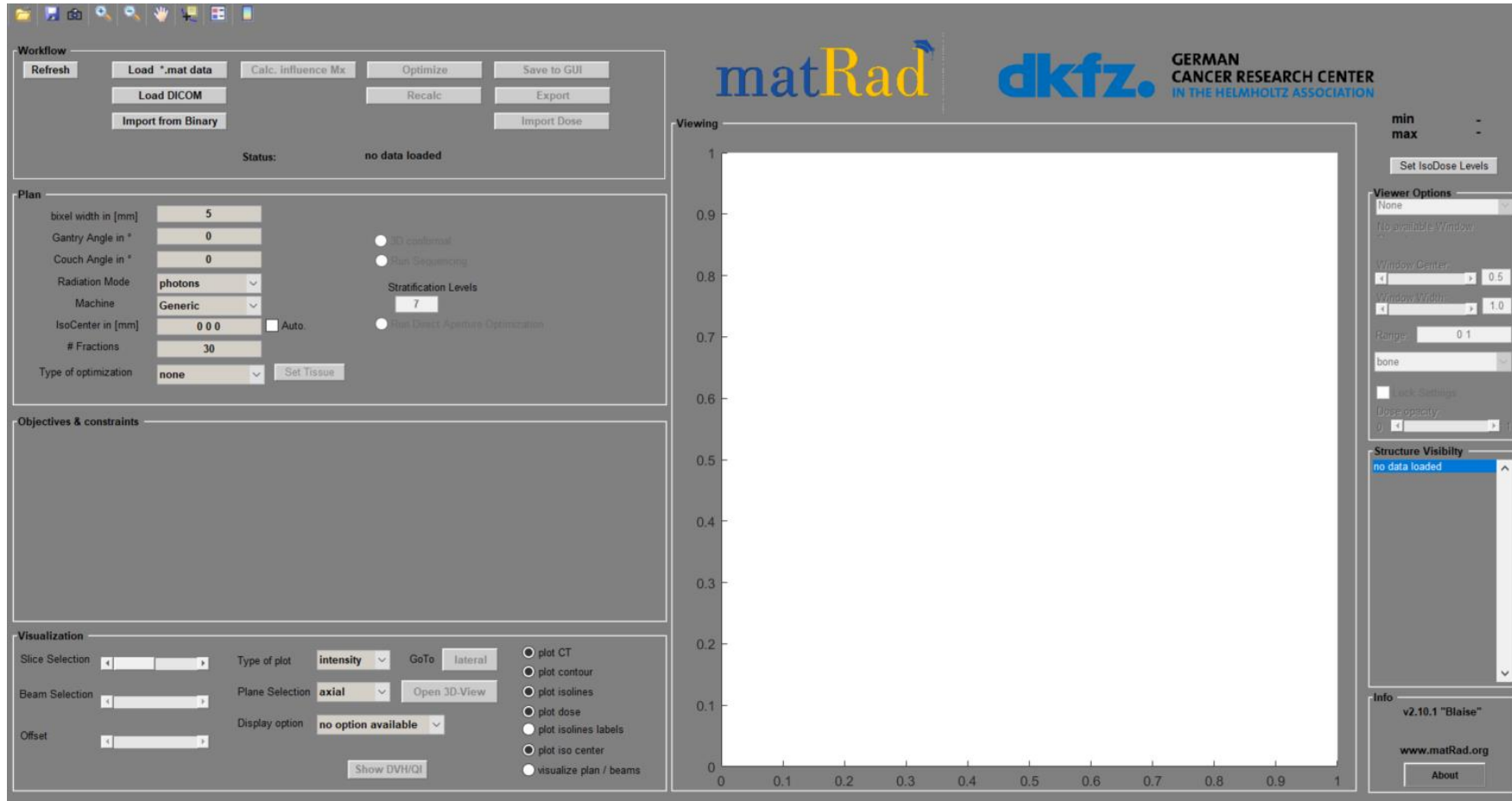
- Za **raziskovalne** namene
- **Naprednejša** različico programske opreme:
 - Bolj realistične simulacije
 - Večja računska moč



- Za **izobraževalne** namene
- Nekoliko **okrnjena** različica programske opreme:
 - Manj zahtevna za uporabo
 - Zavzame manj prostora
 - Manjše računske zahteve

3. Kaj je matRad?

- Uporabniški vmesnik:



4. Postopek načrtovanja obsevanja

matRad

■ Koraki:

VHODNI PODATKI

Plan

bixel width in [mm]: 5
Gantry Angle in °: 0
Couch Angle in °: 0
Radiation Mode: photons
Machine: Generic
IsoCenter in [mm]: 251.3 236.4 162.6 [checked] Auto.
Fractions: 30
Type of optimization: none [Set Tissue]

☐ use MC (VMC++) dose calculations
☐ 3D conformal
☐ Run Sequencing
Stratification Levels
7
☐ Run Direct Aperture Optimizat...

Objectives & constraints

	VOI name	VOI type	priority	obj. / const.	penalty	dose	EUD	volume	rc
1	Core	OAR	2	square overdosing	300	25	NaN	NaN	nc
2	OuterTarget	TARGET	1	square deviation	1000	50	NaN	NaN	nc
3	BODY	OAR	3	square overdosing	100	30	NaN	NaN	nc

Visualization

Slice: [] Type of plot: inten... GoTo: lateral
Beam: [] Plane: axial Open 3D-View
Offset: [] Display option: no option avail...
[Show DVH...]

☐ plot CT
☐ plot contour
☐ plot isolines
☐ plot dose
☐ plot isolines labels
☐ plot iso center
☐ visualize plan / be...

DOZNI IZRAČUN

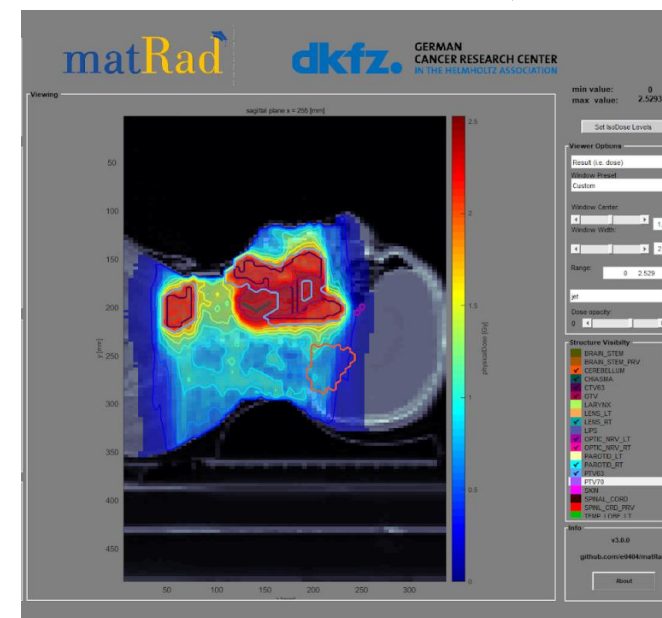
$$\min f(d(w)), w \in \mathbb{R}^n$$

$$f = \sum_i p_i f_i$$

$$s. t. \quad d = Dw$$
$$c_l \leq c(w) \leq c_u$$
$$w_l \leq w \leq w_u$$

$$f(w): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}, c(w): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$$

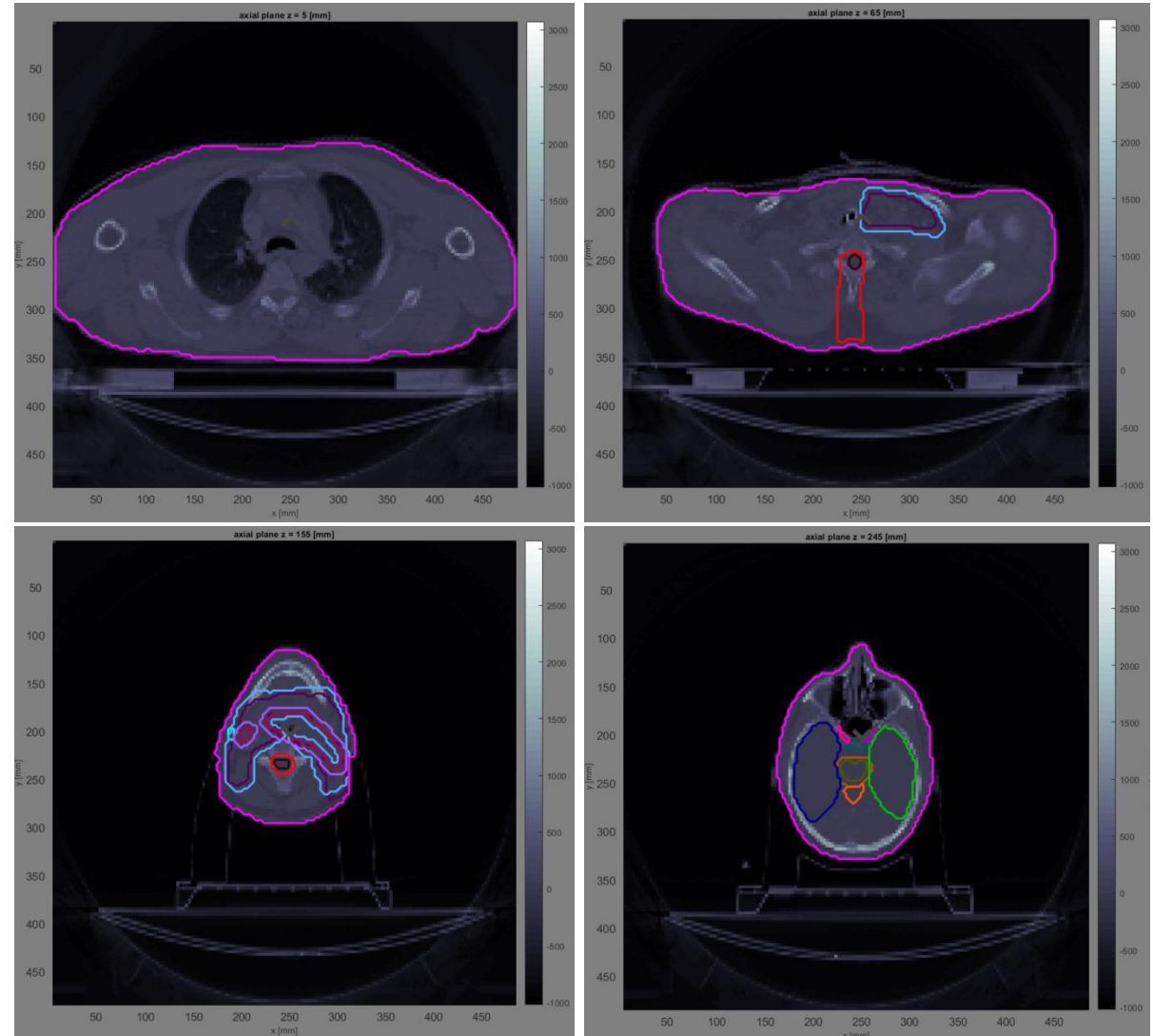
PRIKAZ



POSTOPEK

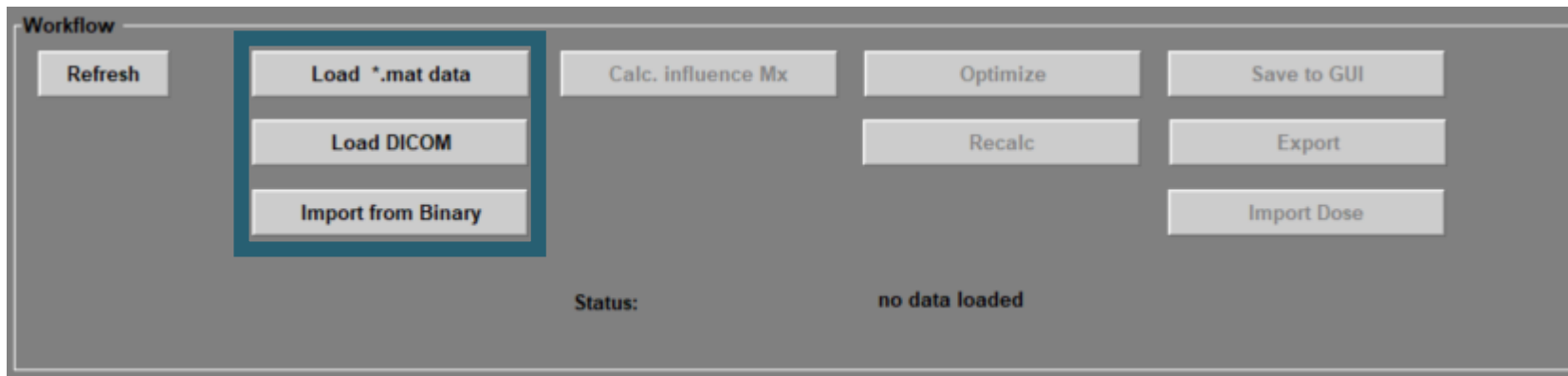
4.1. Vhodni podatki

- CT-slika bolnika z **označenimi** strukturami (**tumorjem** in **kritičnimi organi**)



4.1. Vhodni podatki

- V programu matRad:



- .mat: podatki, shranjeni v programu MATLAB.
- DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine): standardni zapis medicinskih slik in pripadajočih metapodatkov o preiskovancih.

4.1. Vhodni podatki

- Osnovni načrt obsevanja:
 - **bixel width**: velikost kvadratika za dozni izračun
 - **gantry angle**: nagib obsevalne naprave
 - **couch angle**: nagib obsevalne mize
 - **radiation mode**: vrsta sevanja oziroma delcev: fotoni, protoni, ogljikovi ioni
 - **izocenter**: točka v prostoru, okoli katere se vrti obsevalna naprava
 - **število frakcij**: na koliko delov razdelimo obsevanje
 - **run sequencing**: oblikovanje obsevalnega žarka (kolimacija)

Plan

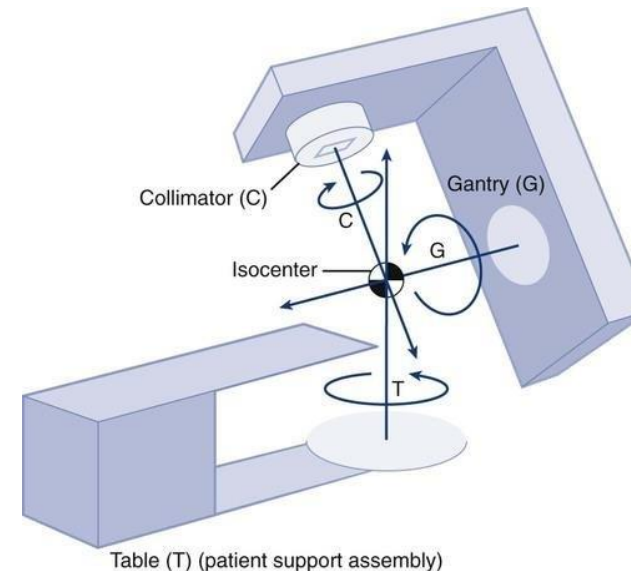
bixel width in [mm]	5
Gantry Angle in °	0 60 120
Couch Angle in °	0 60 120
Radiation Mode	photons
Machine	Generic
IsoCenter in [mm]	251.3 236.4 162.6
# Fractions	30
Type of optimization	none

☒ Auto.

Stratification Levels: 7

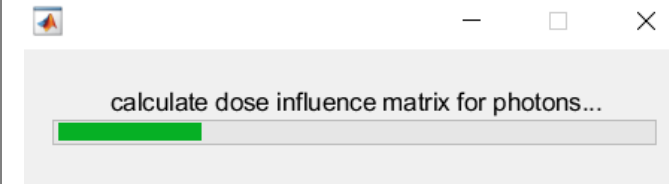
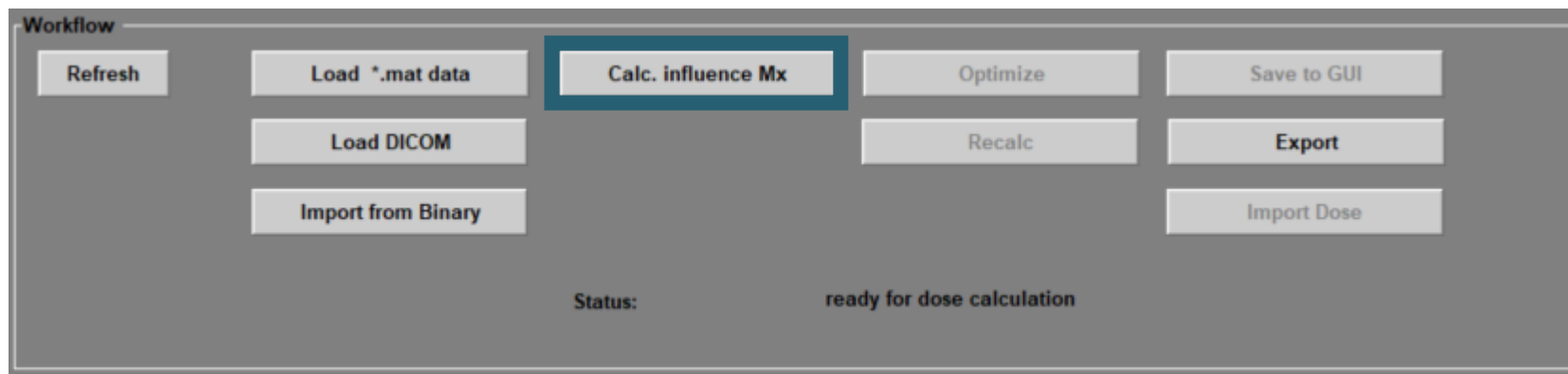
☐ 3D conformal
☐ Run Sequencing
☐ Run Direct Aperture Optimization

Set Tissue



4.2. Dozni izračun

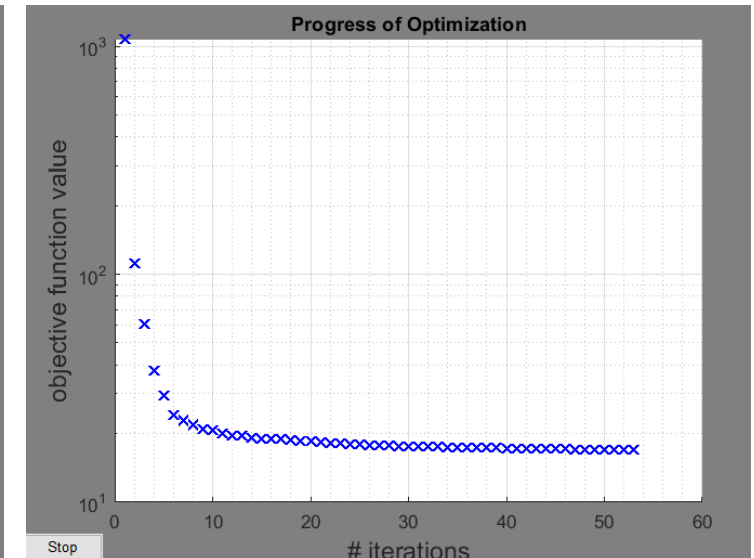
- Vhodne podatke shranimo v obliki spremenljivk, ki jih kasneje uporabimo v doznih izračunih
- Izračunamo matriko vpliva (sevanja oziroma delcev):
Calc. influence Mx:
 - Izračunamo osnovno dozno porazdelitev na podlagi vhodnih podatkov (v vsakem vokslu tkiva)
 - Obsevalni načrt pripravimo na optimizacijo



4.2. Dozni izračun

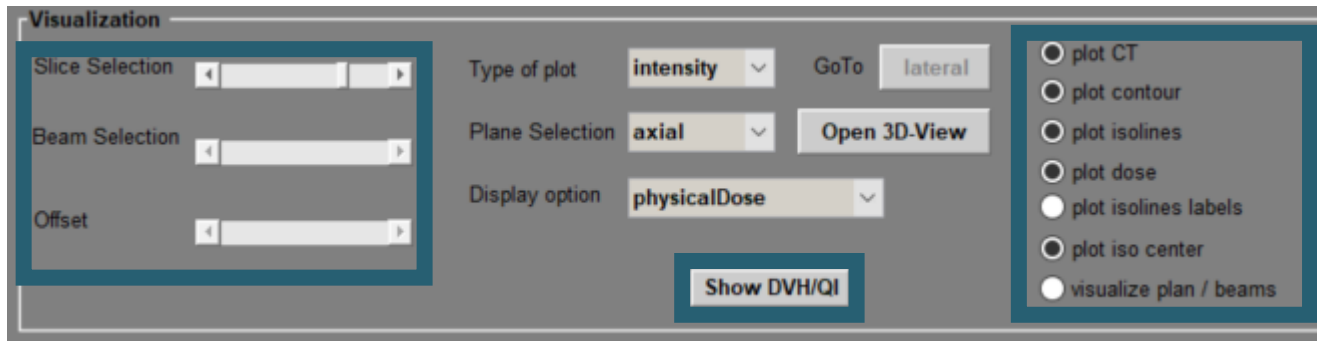
- V naslednjem koraku optimiziramo dozni načrt:
 - Določimo **objektivno funkcijo** (npr. min, max, mean, std)
 - Določimo **dozne omejitve/kriterije** (npr. min 60 Gy v tumor in max 20 Gy v zdravo tkivo)
- Iščemo **optimalno** dozno porazdelitev, ki zadosti vsem zahtevam.

Objectives & constraints						
+/-	VOI name	VOI type	OP	Function	p	Parameters
-	Rectum	OAR	3	Squared Overdosing	300	d _{max} : 50
-	PTV_68	TARGET	1	Squared Deviation	1000	d _{ref} : 68
-	PTV_56	TARGET	2	Squared Deviation	1000	d _{ref} : 56
-	Bladder	OAR	3	Squared Overdosing	300	d _{max} : 50
-	BODY	OAR	4	Squared Overdosing	100	d _{max} : 30
+	Rectum					

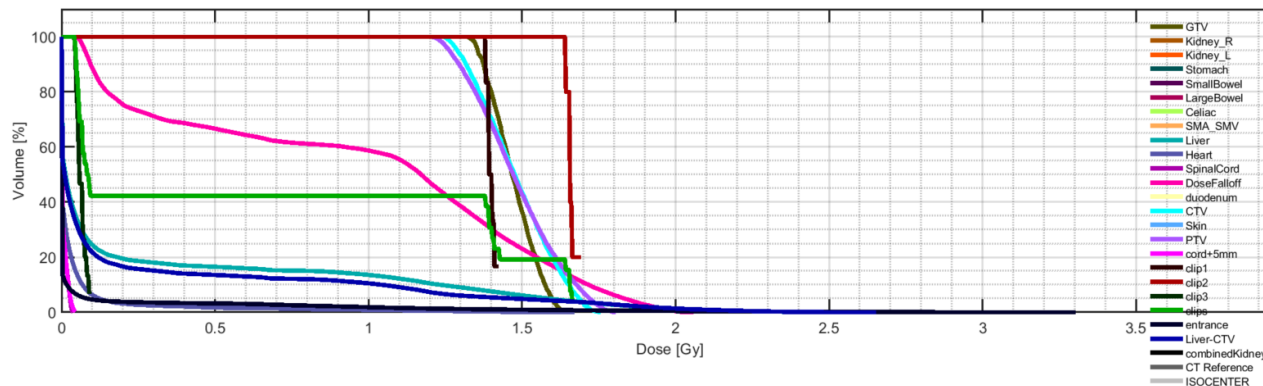


4.3. Prikaz rezultatov

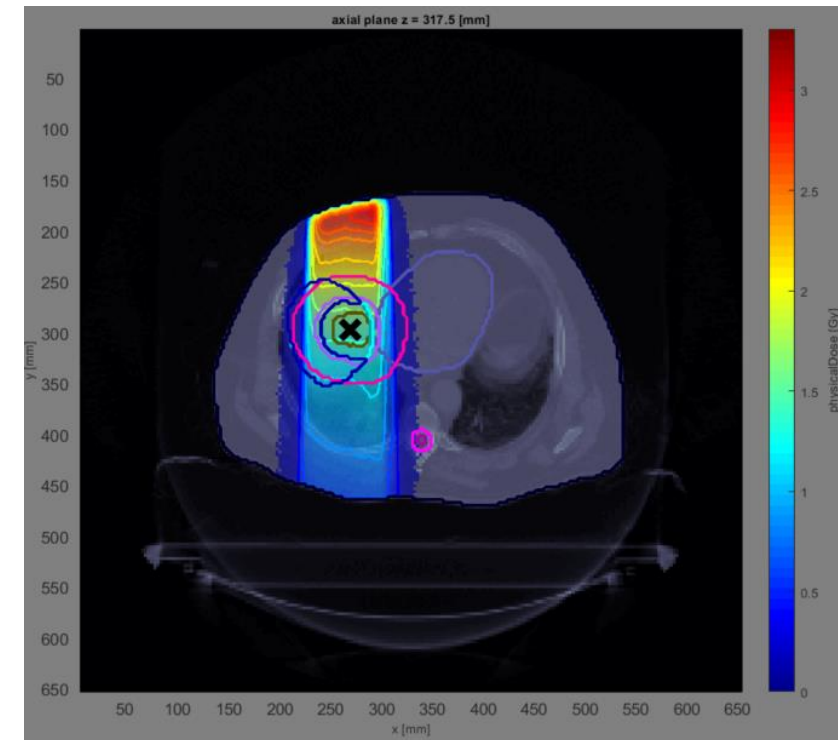
- Primer optimiziranega načrta za bolnika s tumorjem na jetrih (1 obsevalno polje).



DVH



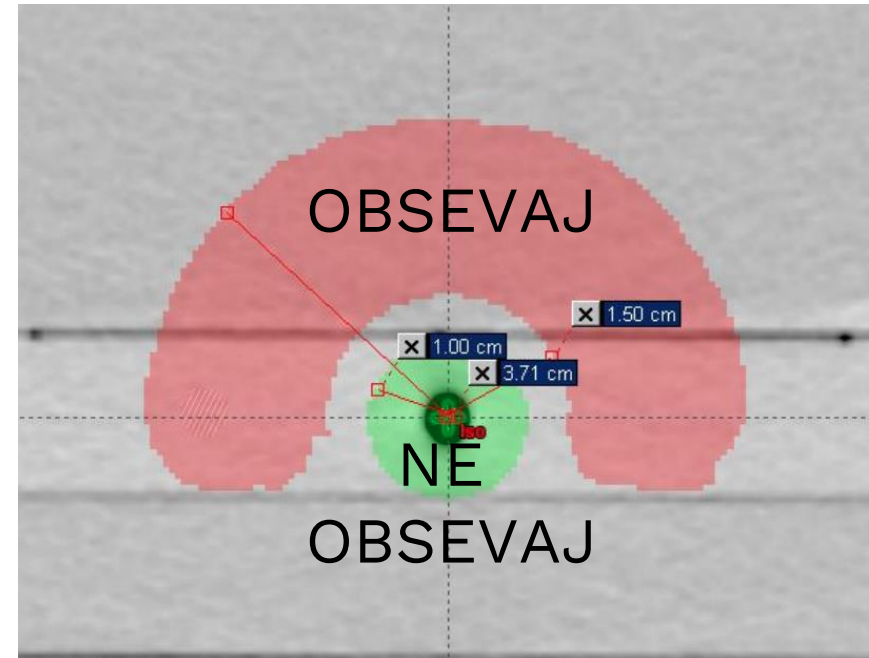
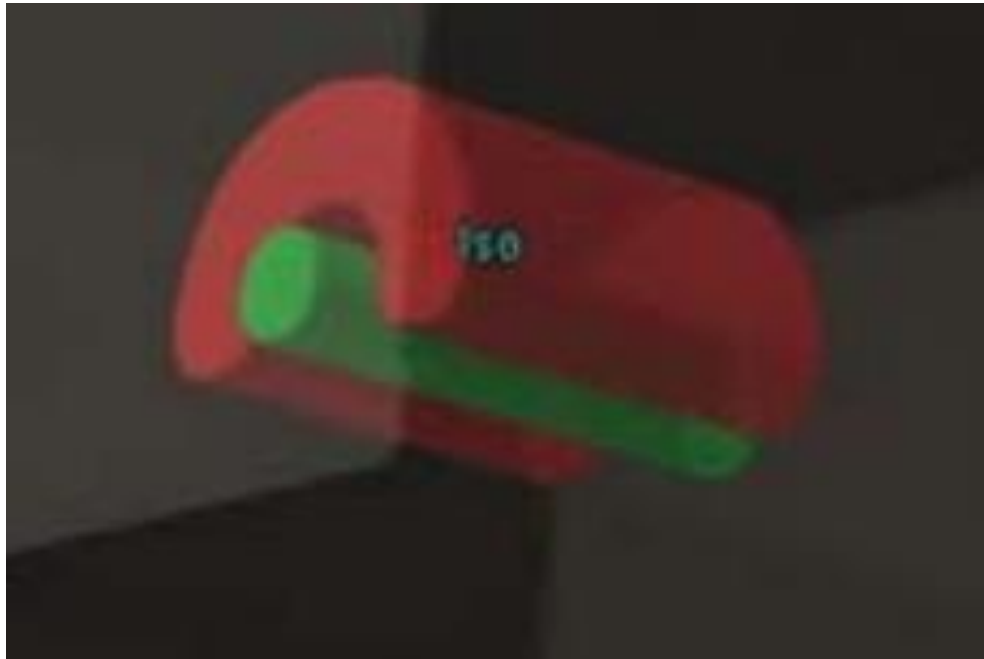
IZODOZNE LINIJE





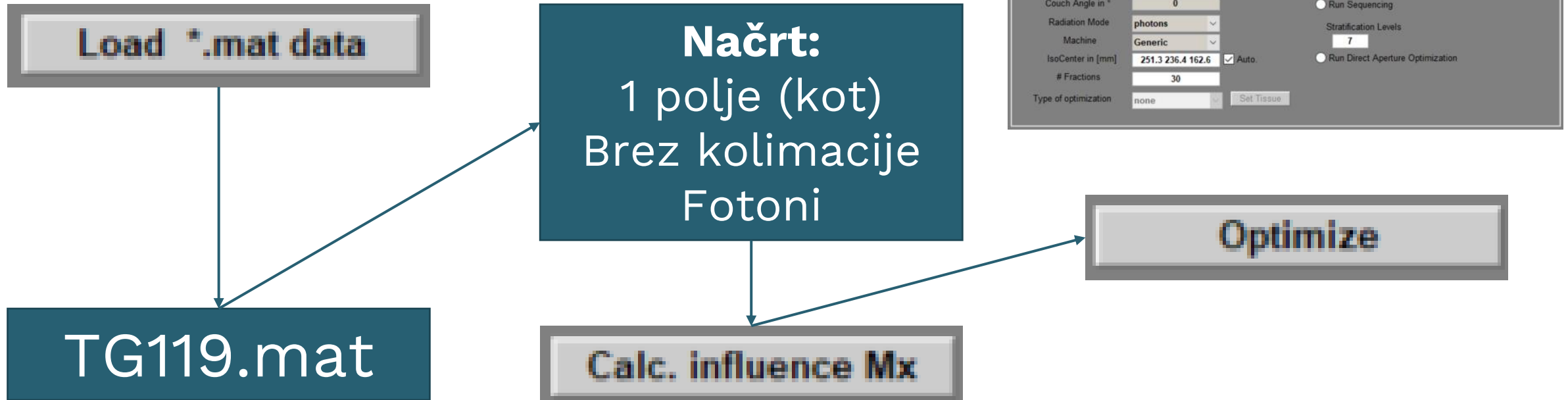
Primer: Fantom TG119

- TG119 je fantom oblike črke C standardnih dimenzij, ki ga v klinikah uporabljajo za preverjanje delovanja opreme.
- Cilj je izogniti se obsevanju valja v sredini (**zelena**) in obsevati le tarčo oblike črke C (**rdeča**).



TG119: 1. načrt

- Potek dela za 1. načrt:



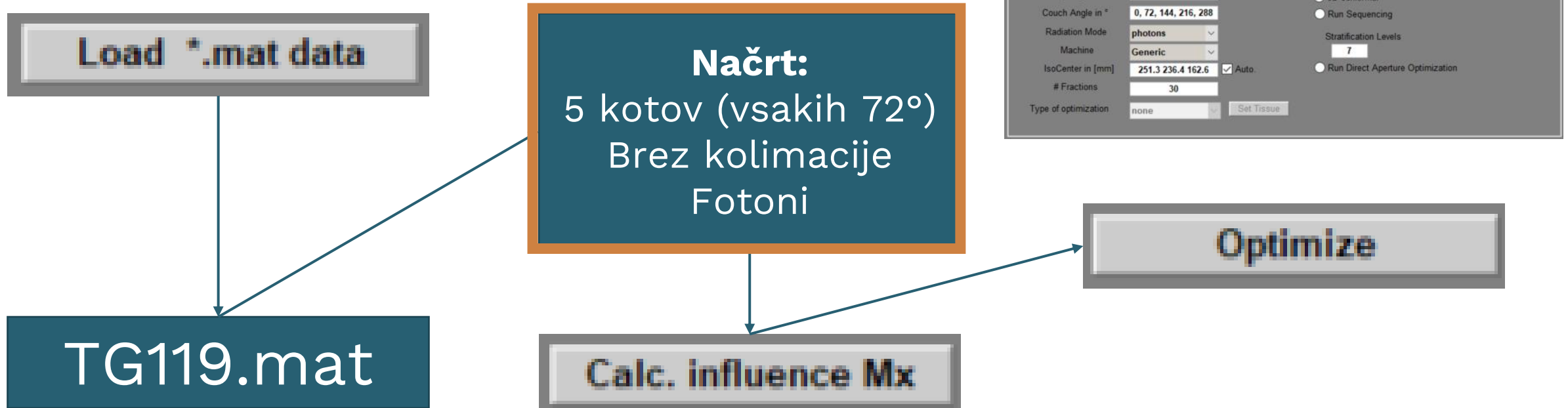
Plan

bixel width in [mm]	5	
Gantry Angle in °	0	
Couch Angle in °	0	
Radiation Mode	photons	
Machine	Generic	
IsoCenter in [mm]	251.3 236.4 162.6	☒ Auto.
# Fractions	30	
Type of optimization	none	Set Tissue

☐ 3D conformal
☐ Run Sequencing
Stratification Levels
7
☐ Run Direct Aperture Optimization

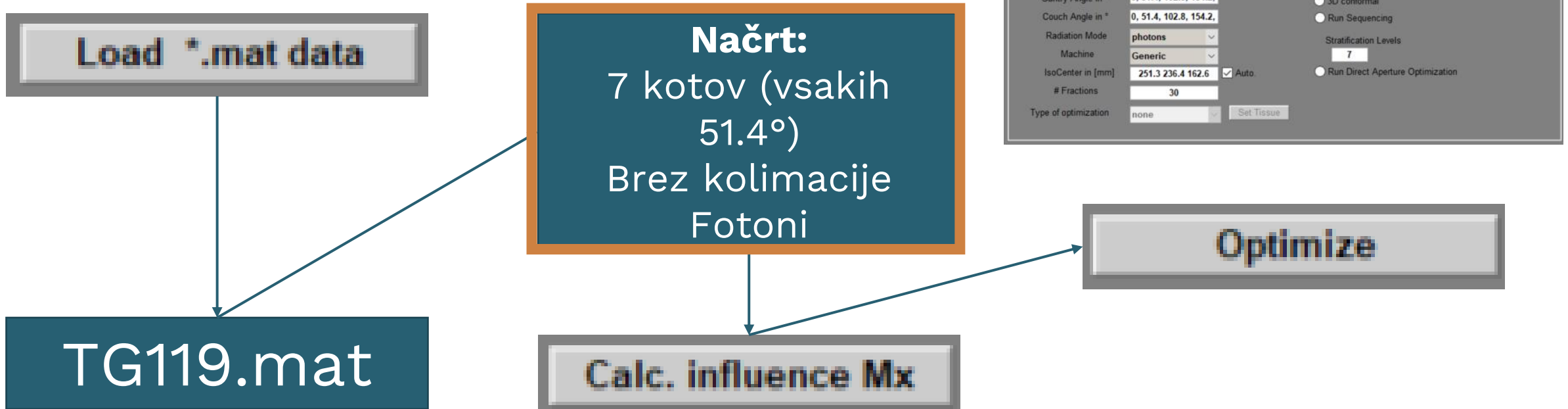
TG119: 2. načrt

- Potek dela za 2. načrt:



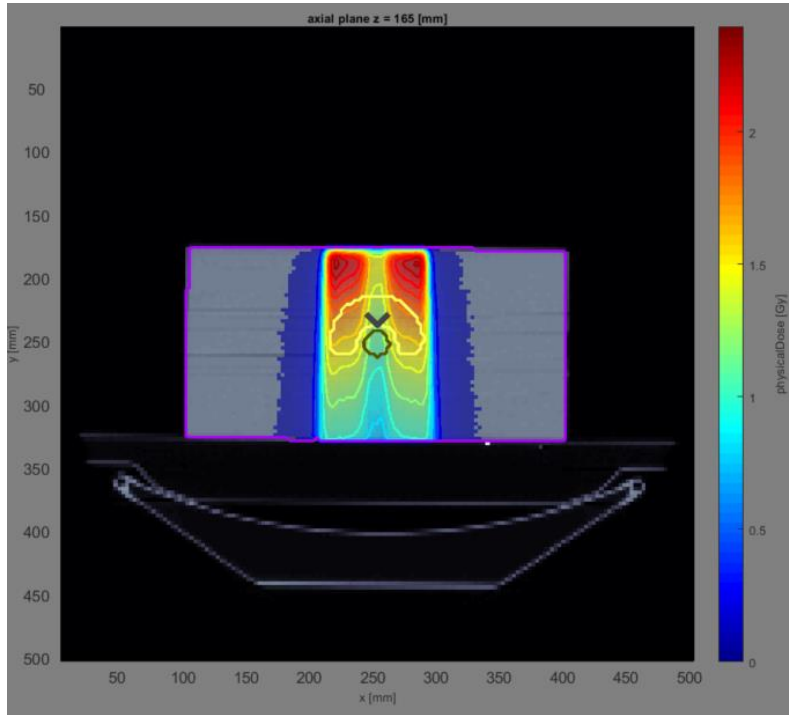
TG119: 3. načrt

- Potek dela za 3. načrt:

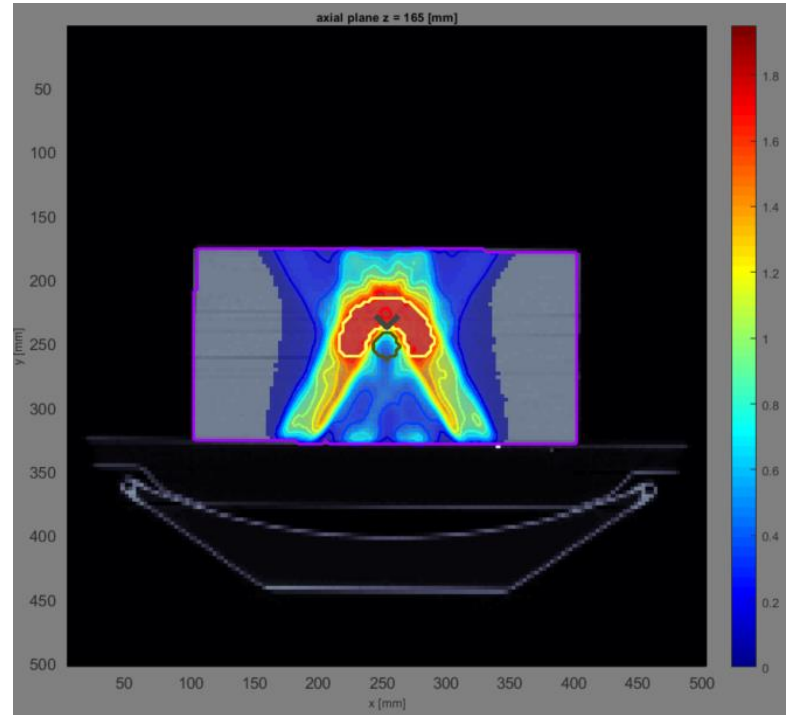


TG119: Primerjava načrtov

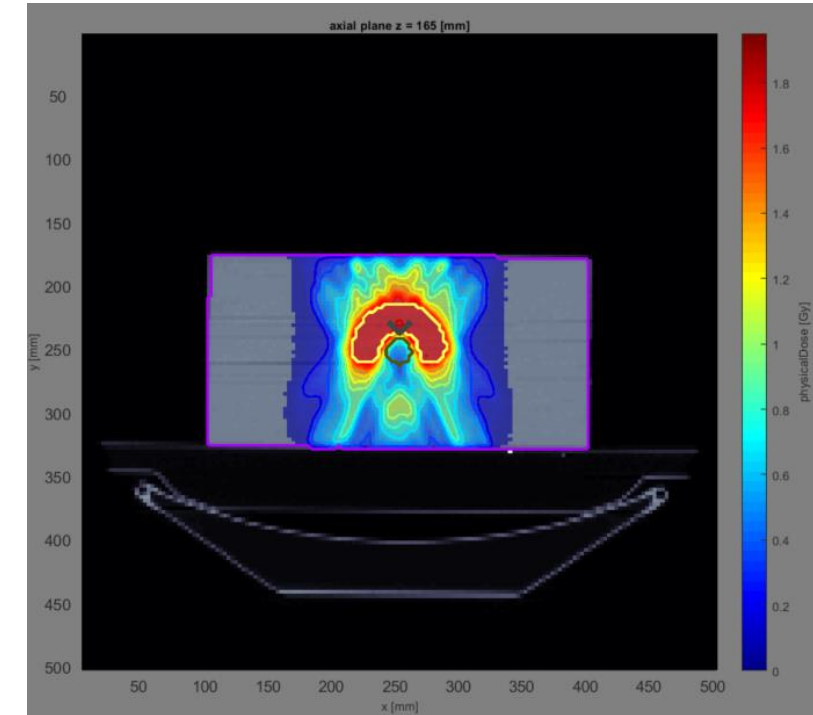
1 KOT



5 KOTOV



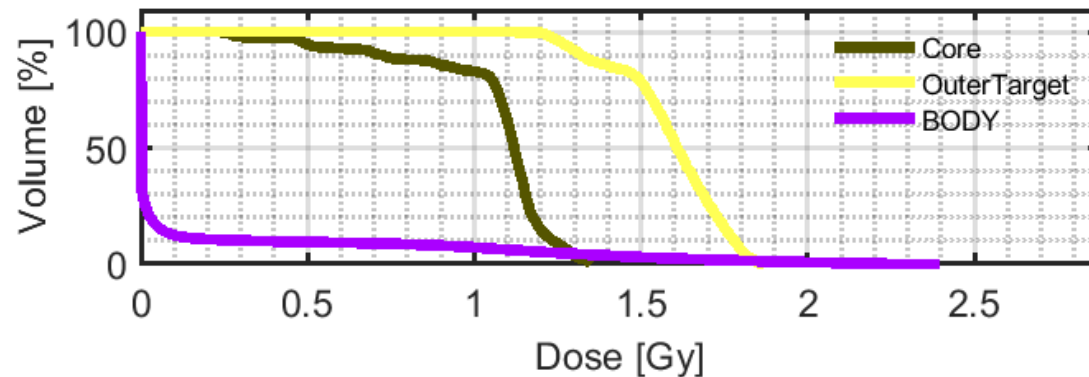
7 KOTOV



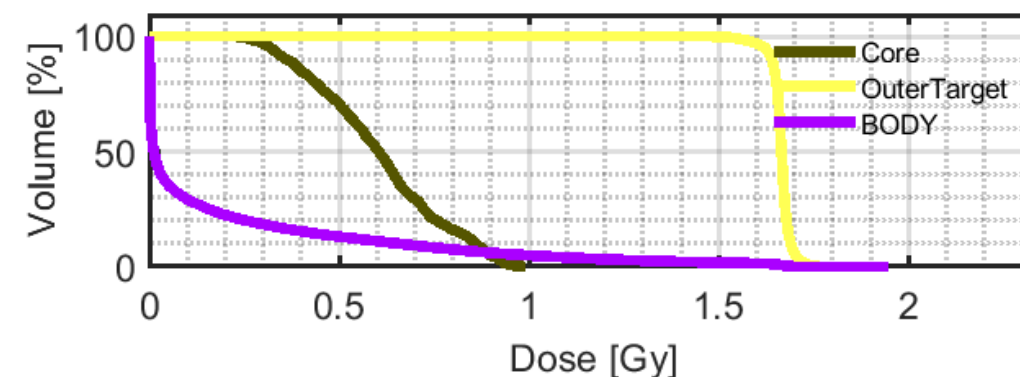
Rdeča območja so najbolj obsevana, modra so najmanj in siva niso obsevana.

TG119: Primerjava načrtov

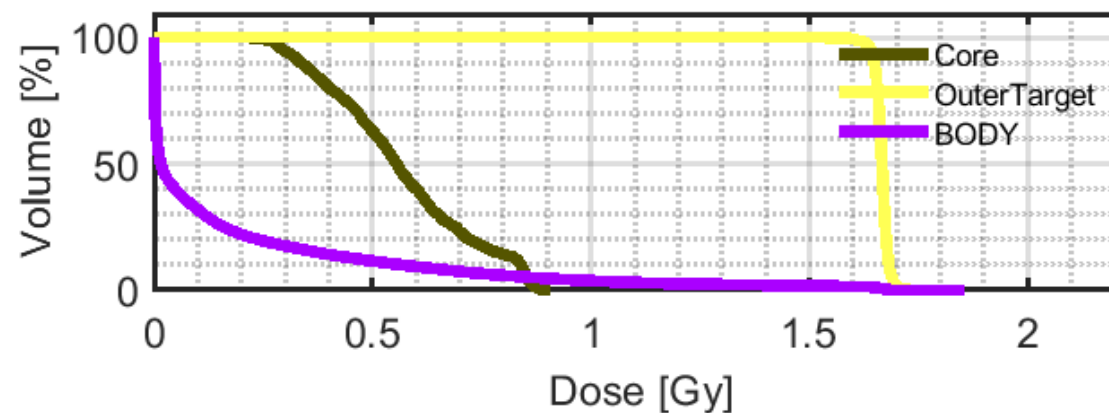
1 KOT



5 KOTOV

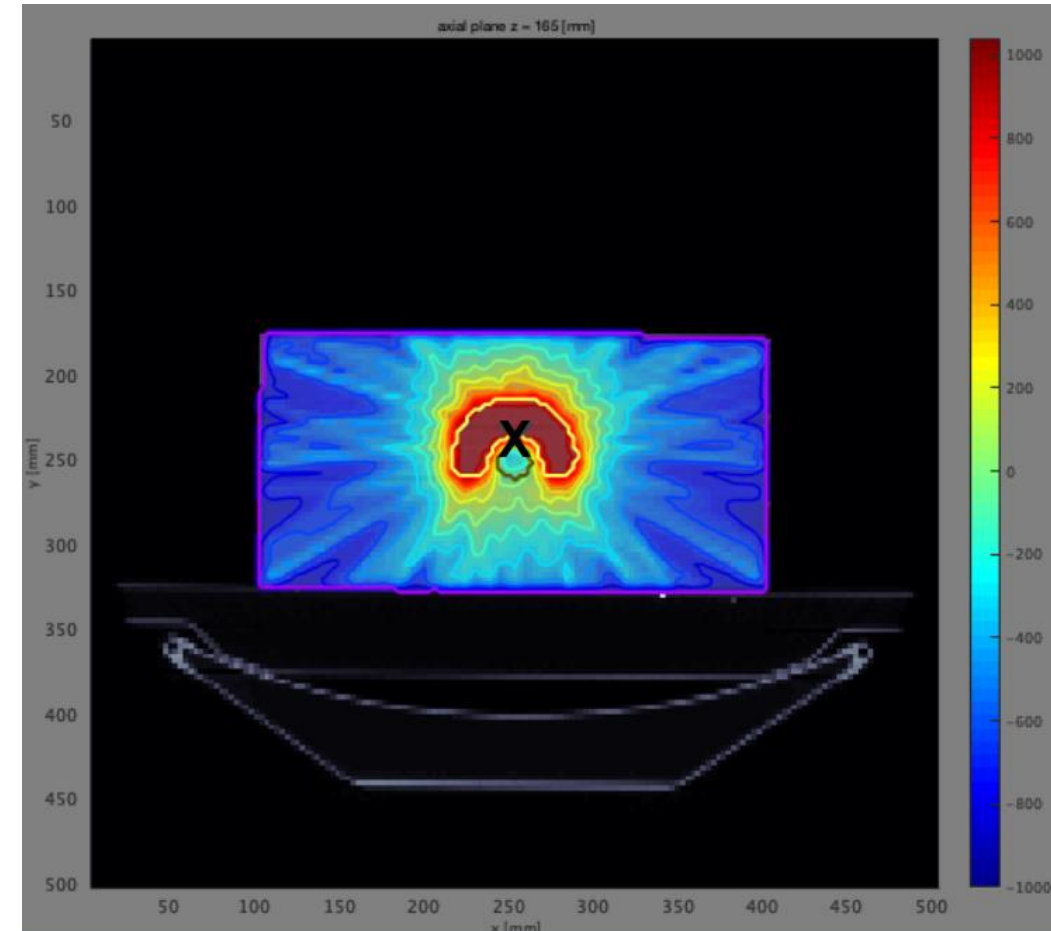


7 KOTOV



TG119: Najboljši načrt

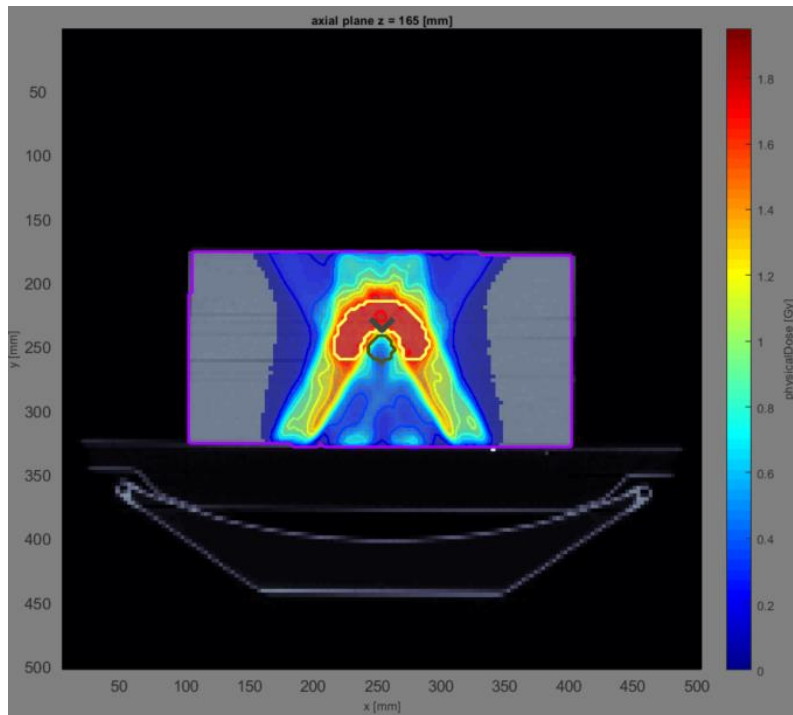
- 15 kotov na vsakih 24°
- Žarki so skoraj v celoti fokusirani na tarčo (oblika črke C)
- Težavi:
 - Dolgotrajni dozni izračuni
 - Potrebujemo vsaj 16 GB RAM



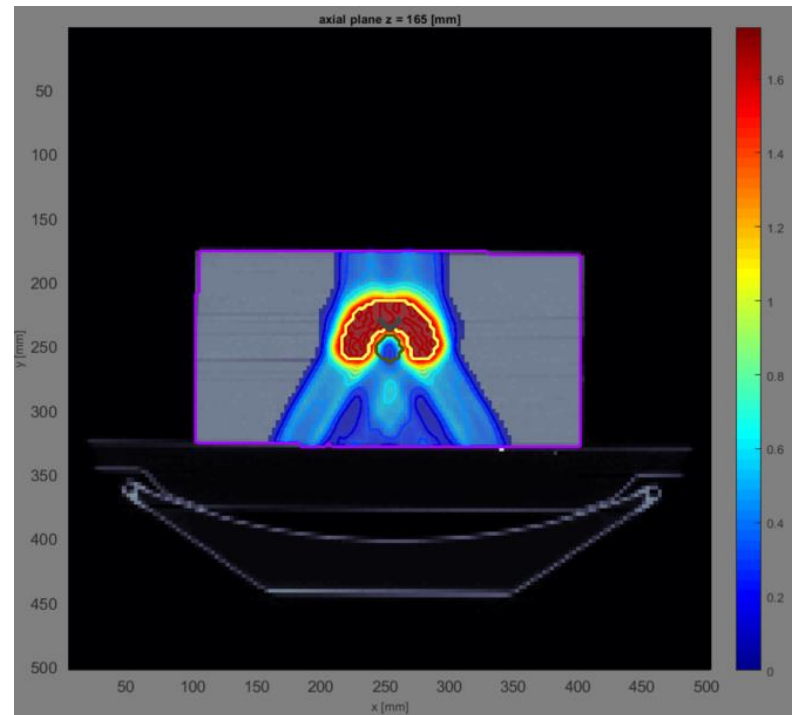
TG119: Fotoni vs protoni vs ogljikovi ioni

- Primerjajmo obsevalne načrte za: **fotone**, **protone** in **ogljikove ione**
- 5 kotov (vsakih 72°)

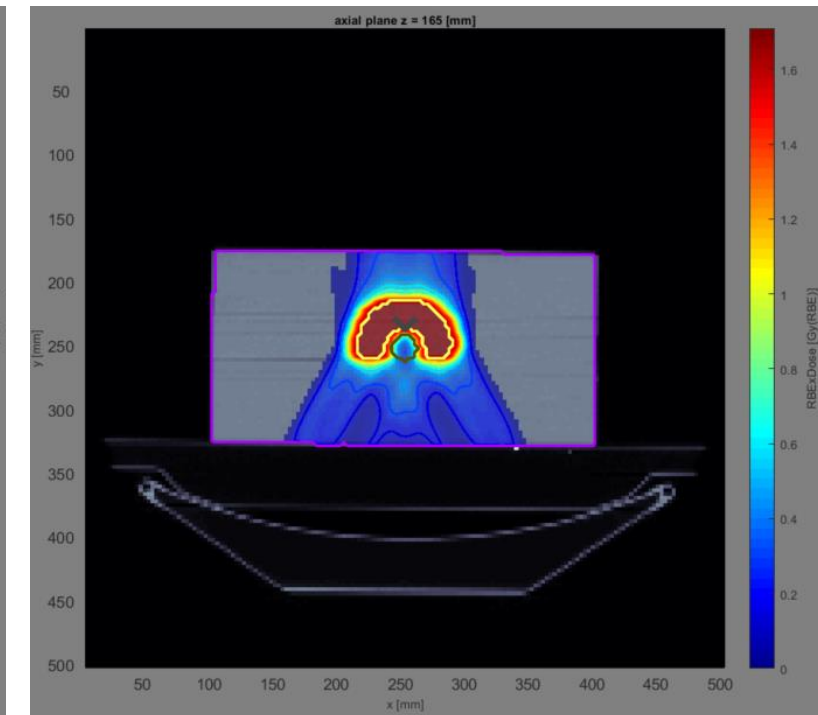
FOTONI



PROTONI

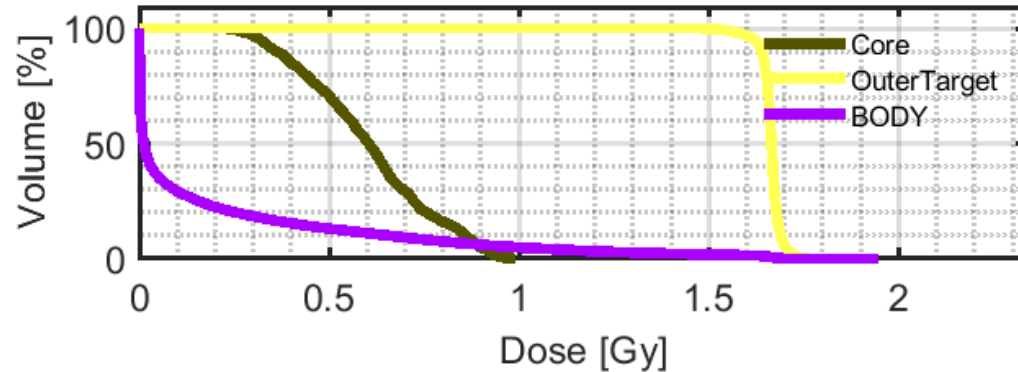


OGLJIKOVI IONI

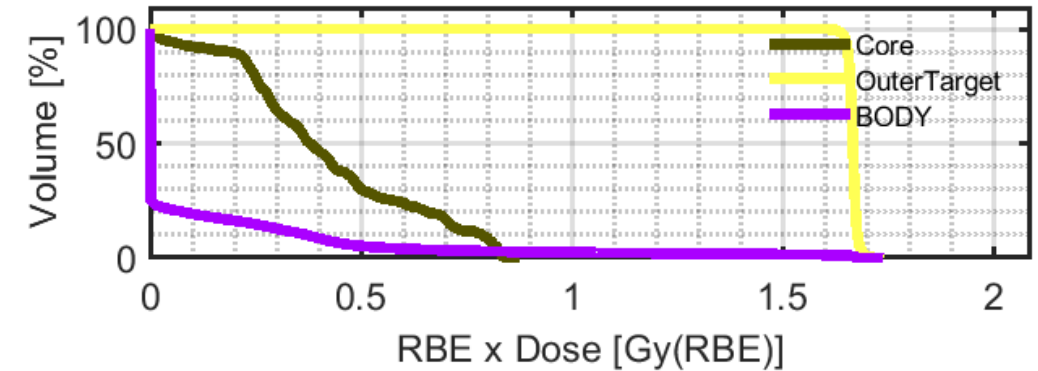


TG119: Primerjava načrtov

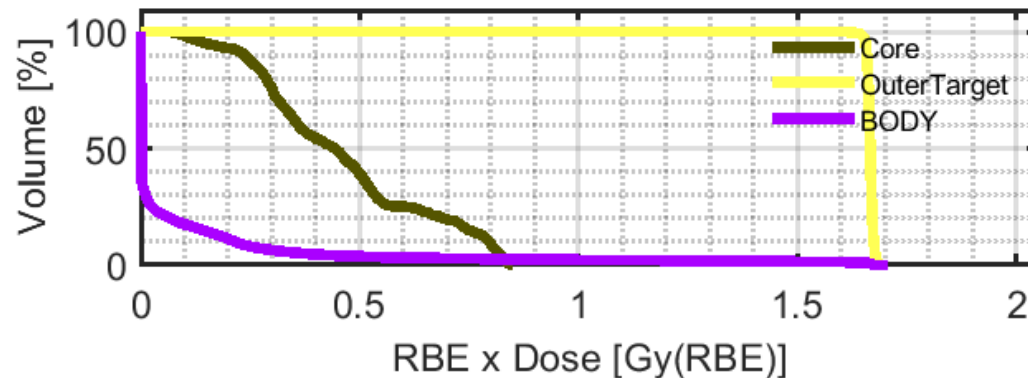
FOTONI



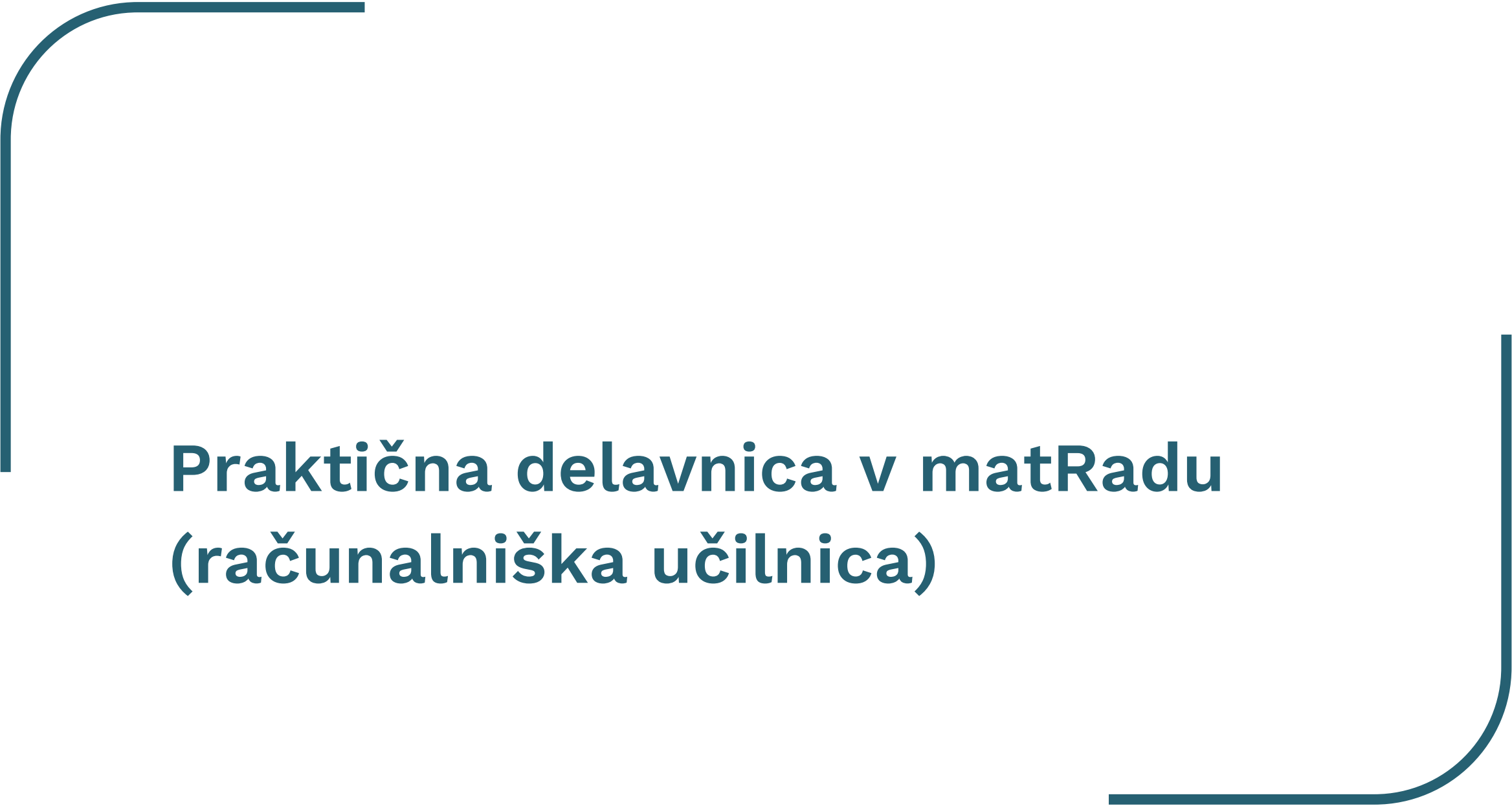
PROTONI



OGLJIKOVI IONI



S protoni in ogljikovimi ioni obsevamo **manj** zdravega tkiva in dovedemo **višjo** dozo v tumor.

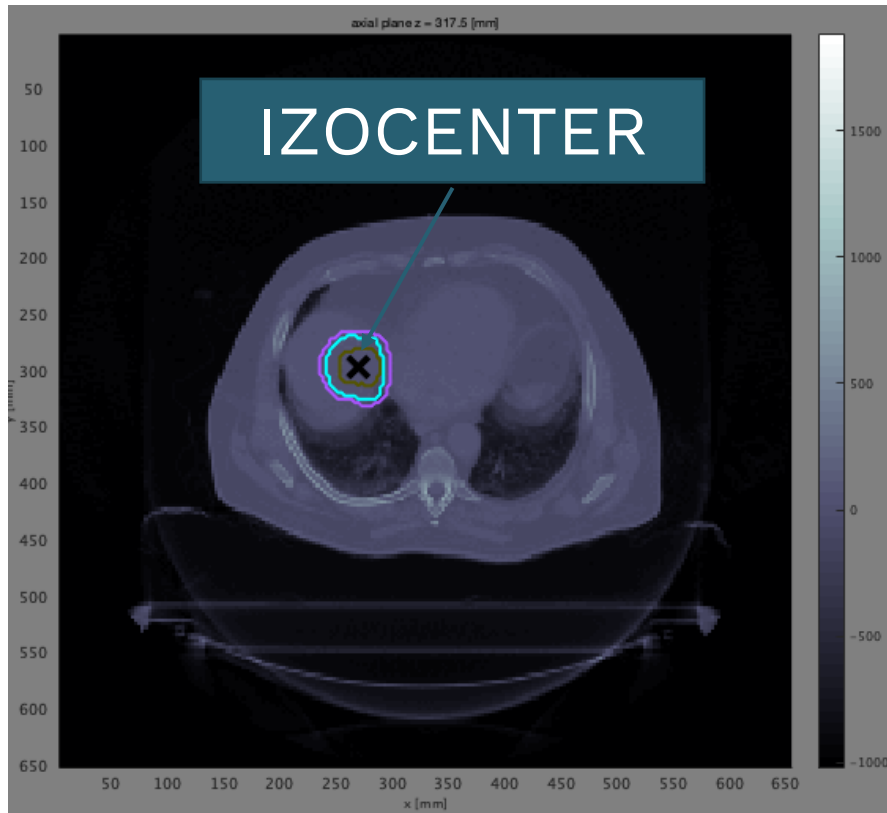


Praktična delavnica v matRadu (računalniška učilnica)

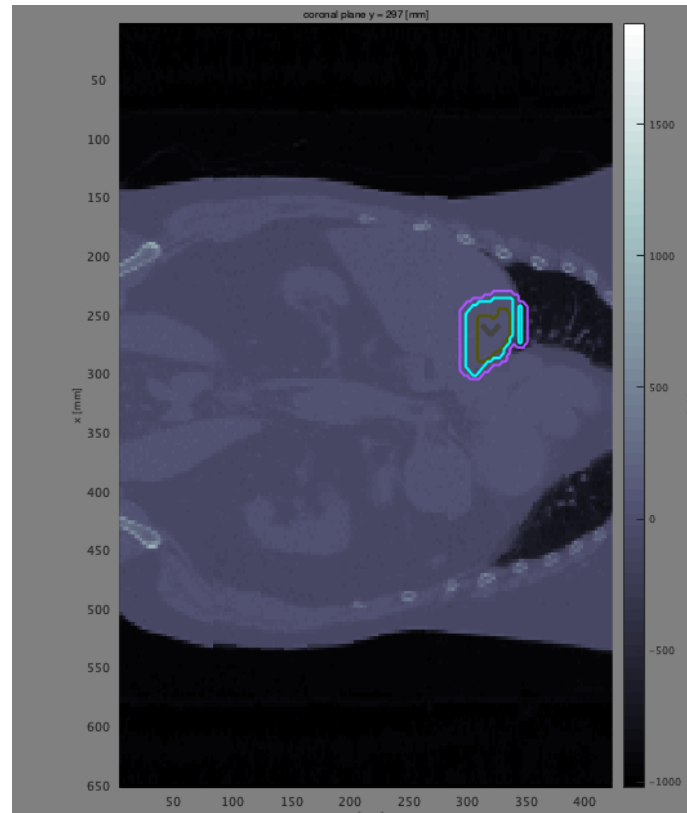
Primer: bolnik s tumorjem na jetrih

- Prikaz GTV, CTV in PTV v treh prečnih ravninah:

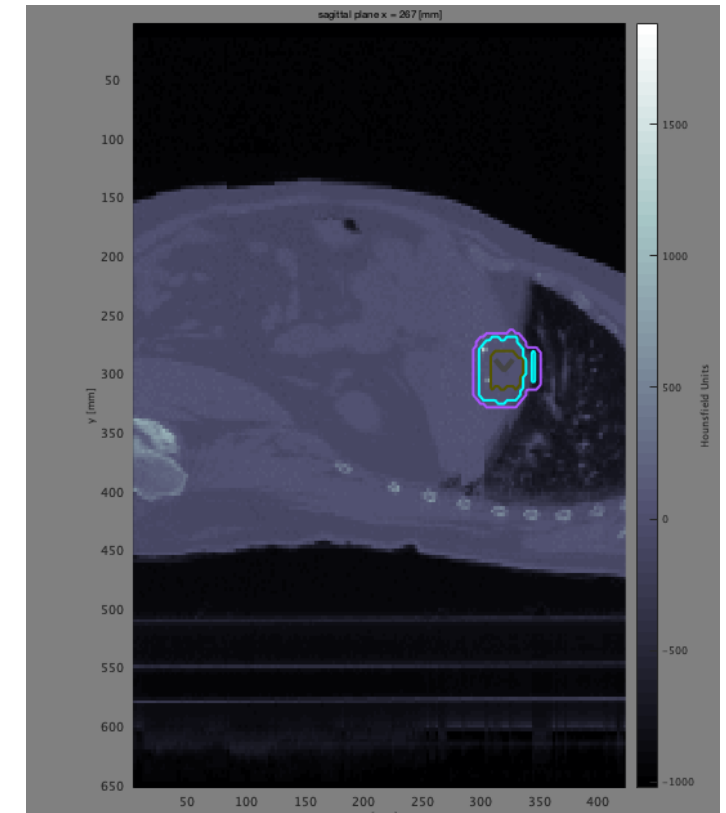
AKSIALNA



KORONALNA

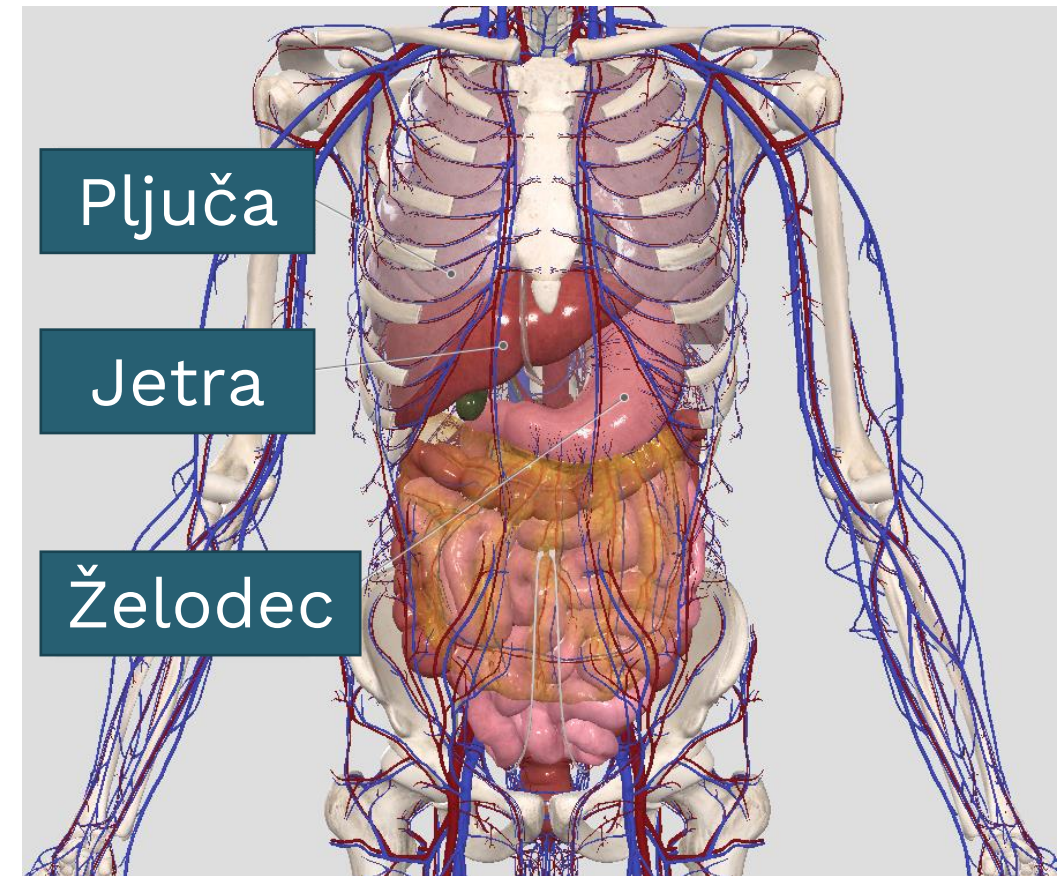


SAGITALNA



Primer: bolnik s tumorjem na jetrih

- Naloga:
 1. Pripravite in optimizirajte obsevalni načrt s **fotoni**. Uporabite različne **objektivne funkcije** in **dozne omejitve** za posamezna tkiva.
 2. Nalogo ponovite s **protoni** in **ogljikovimi ioni**. Kaj se zgodi, če za protone in ogljikove ione uporabite le eno obsevalno polje pod kotom 315° ?
- Namig:
 1. *Upoštevajte anatomijo telesa. Uporabite 4-5 smeri žarkov (npr. pod koti 0° , 180° , 225° , 270° in 315°).*



Hvala za pozornost!



Q

&

A