



## Návod na laboratorní úlohu

### Vytvoření individuální geometrie hlavy a mozku pacienta pro výpočet rozložení elektrického pole ve stimulované oblasti.

**Název studijního předmětu:** Experimentální metody biomedicínského inženýrství

**Vedoucí cvičení/experimentu:** Doc. Ing. David Vrba, Ph.D. a Ing. Lukáš Malena

**Anotace cvičení/experimentu:**

Hlavní výhodou repetitivní transkraniální magnetické stimulace (rTMS) je její neinvazivnost, která ovšem znemožňuje přímé měření veličin elektromagnetického pole v mozku pacienta a tím i efektivitu celé terapie. Také velikost mozku a konkrétní anatomické uspořádání jednotlivých mozkových závitů (gyrů) pacienta je odlišné. Individuální geometrie hlavy a mozku má značný vliv na rozložení terapeutického elektromagnetického pole. Pokud chceme objektivně zhodnotit účinnost léčby, potřebujeme toto rozložení znát. Počítačová simulace rozložení elektromagnetického pole na individuálním trojrozměrném modelu je schopna lékařům tyto výsledky poskytnout. Pro tyto účely je však zapotřebí vytvořit reálný dielektrický model pacienta. Segmentace snímků magnetické rezonance je velmi náročný proces, a to z hlediska časového i odborného. Pracovník provádějící tento úkon musí mít dobré znalosti anatomie mozku a hlavy.

**Cíle cvičení/experimentu:**

Vytvoření individuální geometrie hlavy a mozku pro výpočet rozložení elektrického pole v hlavě pacienta při ověřování zacílené rTMS

**Popis použitých zařízení/přístrojů:**

Výkonné pracovní stanice

### Segmentace snímků MRI pomocí programu iSEG

iSEG software od společnosti Zurich Medtech AG slouží k segmentaci snímků magnetické rezonance. Segmentace je proces, kdy pomocí automatických algoritmů, obrazových filtrů, prahování a hranových detektorů vyznačujeme ve snímcích jednotlivé tkáně. Oddělené oblasti ve snímku jsou následně označeny a přiřazeny k příslušné tkáni. Program z hlavičky snímků ve formátu DICOM vnese do obrazu informaci o rozměrech daného pixelu. Dále z uvedené šířky tomografické roviny zanesou do obrazu objemovou informaci.

Import snímků do programu můžeme zajistit dvěma způsoby. Pokud jsou k dispozici v komprimovaném formátu DICOM je nutné provést import přes prostředí Sim4Life. Tlačítkem *import*, jsou do simulátoru elektromagnetického pole Sim4life nahrány připravené snímky z MRI. Dále je v nabídce Explorer kurzorem označen první snímek. V horní liště *Model*, volím *Image Tools* a následně *Segmentation Group*. V nabídce *Explorer* zvolím položku *Label Field* a opět v horní liště *Model* zvolím *Image Tools* a posléze *iSEG*. Nekomprimovaný soubor ve formátu DICOM je možné importovat přímo do programu iSEG.

### Práce v prostředí iSEG

V uživatelském prostředí nalezneme dvě základní okna určená pro práci s obrazem. Okno *Source* zobrazuje nahraný snímek, pomocí posuvníku nad oknem lze měnit jas a kontrast obrazu. V tomto okně se dále zobrazují vyznačené tkáně. Okno *Target* slouží pro zobrazení výsledku aplikace prahů, filtrů a dalších metod zpracování obrazu.

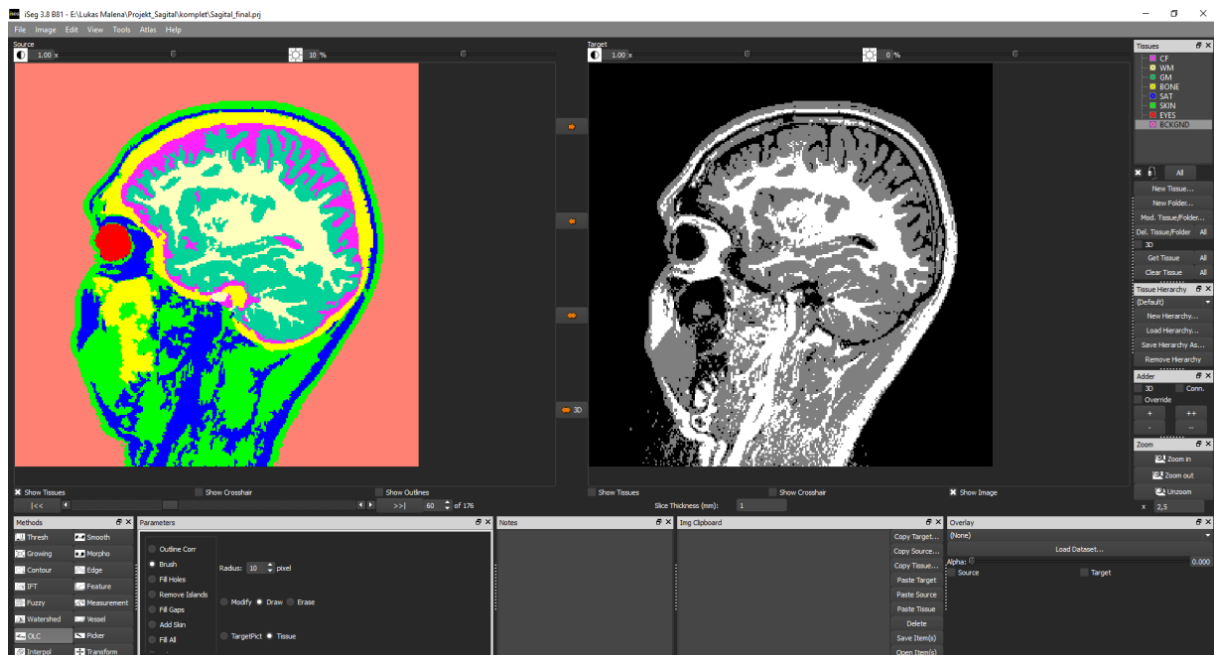
V levém dolním rohu se nachází okno *Methods*, které nabízí nástroje pro práci s obrazem. Pro segmentaci snímků jsme použili následující funkce:

- *Thresh* – v této záložce lze vybírat z několika možností prahování.

- *Manual* – vhodný pro oddělení pozadí.



- *Histo* – vhodný pro oddělení šedé a bílé hmoty mozkové.
  - *K-means* – vhodný pro oddělení lebky.
- *Growing* – pokud vložíme pomocí pravého tlačítka myši bod, algoritmus přiřadí pixely o stejné hodnotě jasu k označené tkáni.
- *Watershed* – obdobný algoritmus, který vyžaduje více bodů, jelikož přiřazuje pouze okolní pixely o stejné hodnotě jasu. Automatická kategorizace pixelů.
- *OLC* – nejpoužívanější skupina algoritmů.
- *Outline Corr* – výřez – stisknutým levým tlačítkem myši můžeme vyřezávat oblasti.
  - *Brush* – nástroj štětec slouží k mazání, nebo naopak doplňování chybějících tkání.
  - *Fill Holes* – zaplní mezery ve tkáni o definovaném rozměru.
  - *Remove Islands* – odstraní samostatné skupiny pixelů o definované velikosti.
  - *Fill Gaps* – zaplní mezery mezi jednotlivými tkáněmi.
  - *Add Skin* – pokud v nabídce zvolíme *Target Picture*, můžeme přidávat vnější vrstvu kůže o definované tloušťce v pixelech.
  - *Fill All* – vyplní všechny mezery mezi tkáněmi zvolenou tkání
- *Picker* – nástroj pro výběr jednotlivých oblastí s možností jejich kopírování do dalších snímků, nebo mazání.



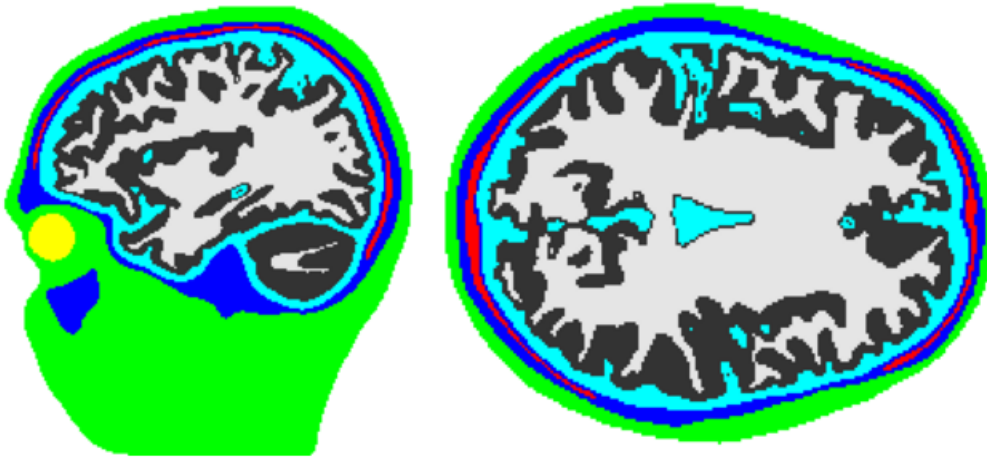
Obrázek 1: Prostředí iSEG

V pravém horním rohu se nachází okno *Tissues*, ve kterém jsou nadefinovány jednotlivé tkáně, především průhlednost a barva. Již vytvořené tkáně lze chránit proti přepsání uzamčením pomocí ikony visacího zámku. Skupina tlačítek nacházejících se níže slouží pro přidávání a upravování vlastností tkání.

Nabídka *Tissue Hierarchy* slouží k uchování vlastního seznamu tkání a jeho opětovnému nahrání pro další projekty.

Oddíl *Adder* je velice důležitou součástí programu. Zvolením nabídky *3D* aktivujeme funkci přiřazující všechny pixely o dané hodnotě jasu ve všech snímcích. Tlačítko *Conn*, přiřazuje dané

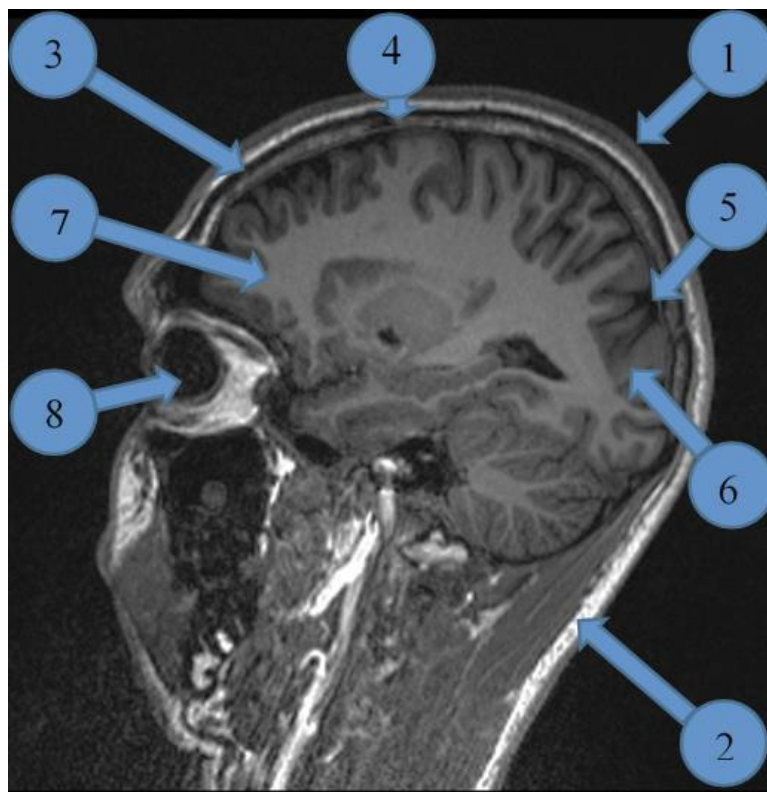
tkání pouze oblast pixelů se stejnou hodnotou jasu. Tlačítko *Override* umožňuje přepsání pixelů již dříve přiřazených konkrétní tkáni. Zbývající tlačítka slouží pouze ke zvětšení či zmenšení snímků v oknech *Source* a *Target*.



Obrázek 2: Příklad segmentace snímku: kůže (zelená), oči (žluté), lebka kompakta (modrá), lebka spongiosa (červená), mozkomíšni mok (tyrkysová), šedá hmota mozková (šedá), bílá hmota mozková (bílá)

## Zjednodušený popis MRI snímku

Na originálních snímcích z MRI lze snadno rozlišit následující tkáně: Kůže (1) je na T1 vážených snímcích vyobrazena světle šedě, odděluje ji velmi zřetelná vrstva podkožního tuku (2). Podkožní tuk má na snímku nejvyšší jas. Další vrstvou je tmavá oblast kompaktní kosti (3), kterou uprostřed vyplňuje světlejší vrstva tukové tkáně, jež nahradila kostní dřeň (4). Následuje tmavá oblast mozkomíšního moku (5). Dále můžeme pozorovat zřetelný kontrast mezi šedou (6) a bílou (7) hmotou mozkovou. Poslední strukturou, která je v modelu rozlišena, jsou oči (8).



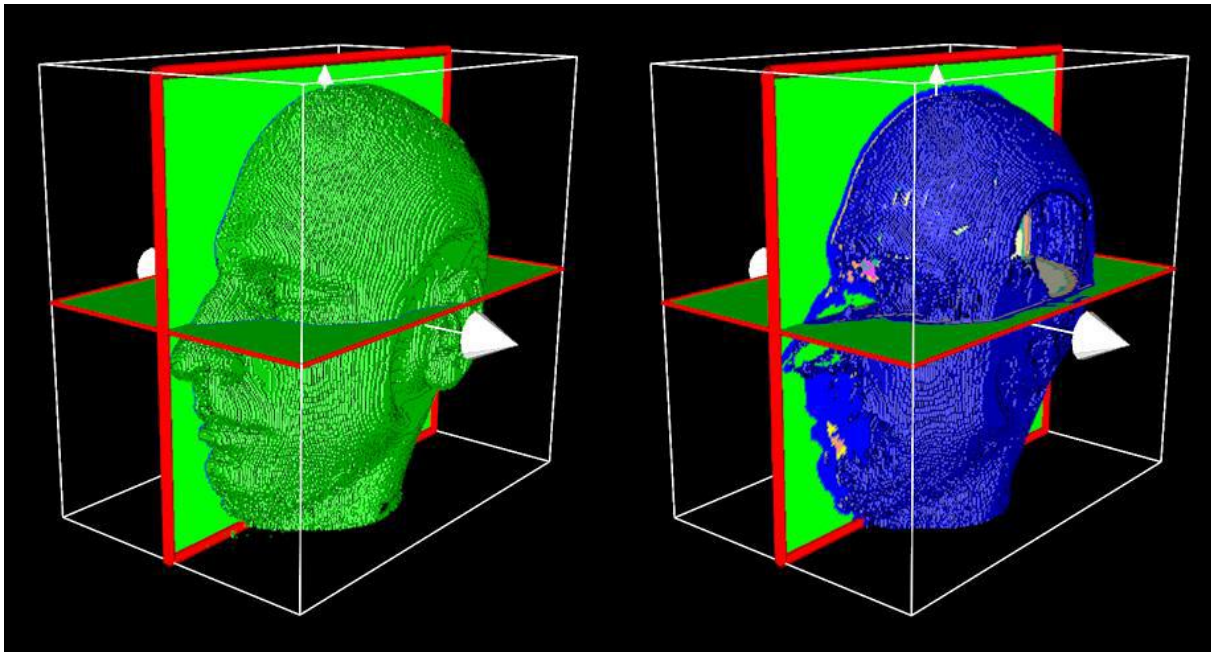
Obrázek 2. Vizuální rozlišení jednotlivých tkání v MRI snímku.

## Obecný postup segmentace MRI snímků

Obecně lze tvrdit, že vysoce precizní práce při oddělování jednotlivých struktur musí být provedena v místě aplikace rTMS. Menší důraz může být kladen na tkáně, které nejsou stimulací ovlivněny. Z tohoto důvodu můžeme zanedbat struktury vyplněné vzduchem např. vedlejší nosní dutiny (Sinus Paranasales) nebo dutina ústní (Cavitas Oris). Tento model bude rozlišovat následující tkáně:

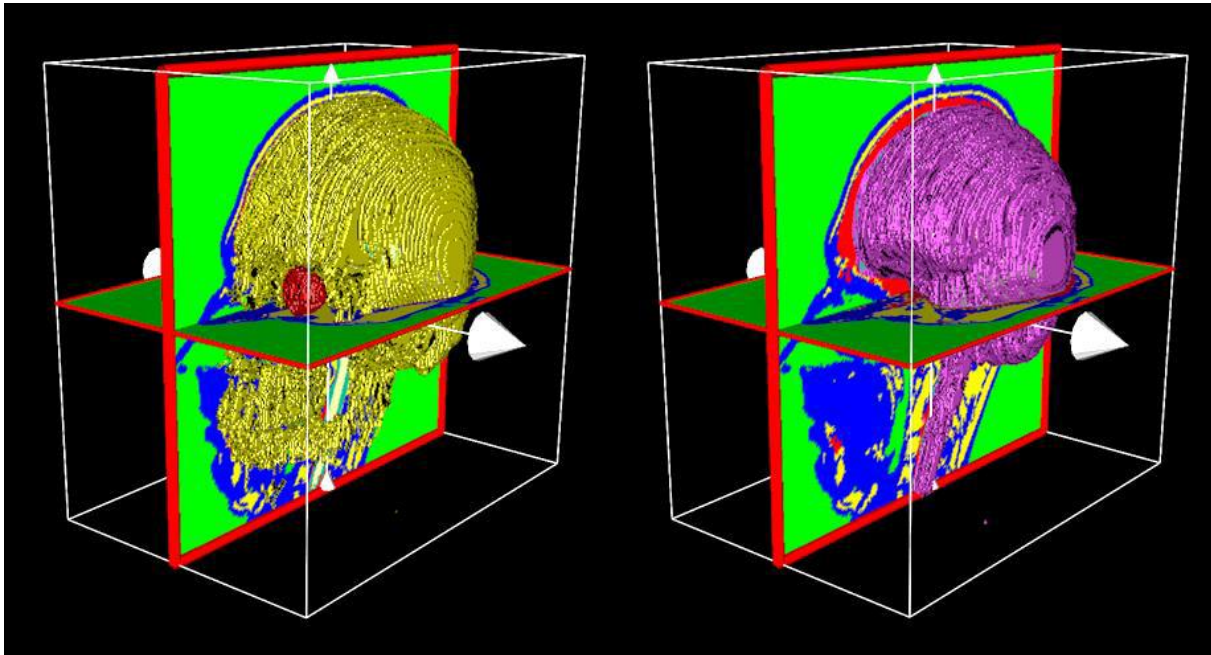
- Kůže (Cutis)
- Podkožní tuk (Subcutis)
- Lebka (Cranium)
- Mozkomíšní mok (Liquor Cerebrospinalis)
- Šedá hmota mozková (Substantia Grisea)
- Bílá hmota mozková (Substantia Alba)
- Oči (Oculus)

Segmentaci jednotlivých tkání je možné prohlásit za silně individuální postup, který ovšem musí vést ke stejnému výsledku. Na počátku segmentace lze oddělit samotnou hlavu od pozadí snímku. Dalším krokem je vytvoření kůže použitím nástroje *Add Skin*. Následuje doplnění zbývajících struktur kůže a podkožního tuku užitím prahování. Odmazání přebytečných částí lze provést pomocí nástrojů *Picker*, *Brush*, *Remove Islands*, vyplnění mezer nástroji *Fill Holes* a *Fill Gaps*. V další části práce probíhá přidání bílé hmoty mozkové ve všech snímcích nástrojem *3D*. Následuje vytvoření šedé hmoty mozkové a mozkomíšního moku. Přebytečné části lze opět odstranit pomocí výše zmíněných nástrojů. Posledním krokem je přiřazení zbývajících pixelů lebce nástrojem *Fill All*. Kontrolu správnosti je možné provádět pomocí nerenderovaného náhledu, volbou *Image – Volume View Tissue* v horní liště a odznačením *Show Slicer* a *Show Slicer 2* v okně náhledu.

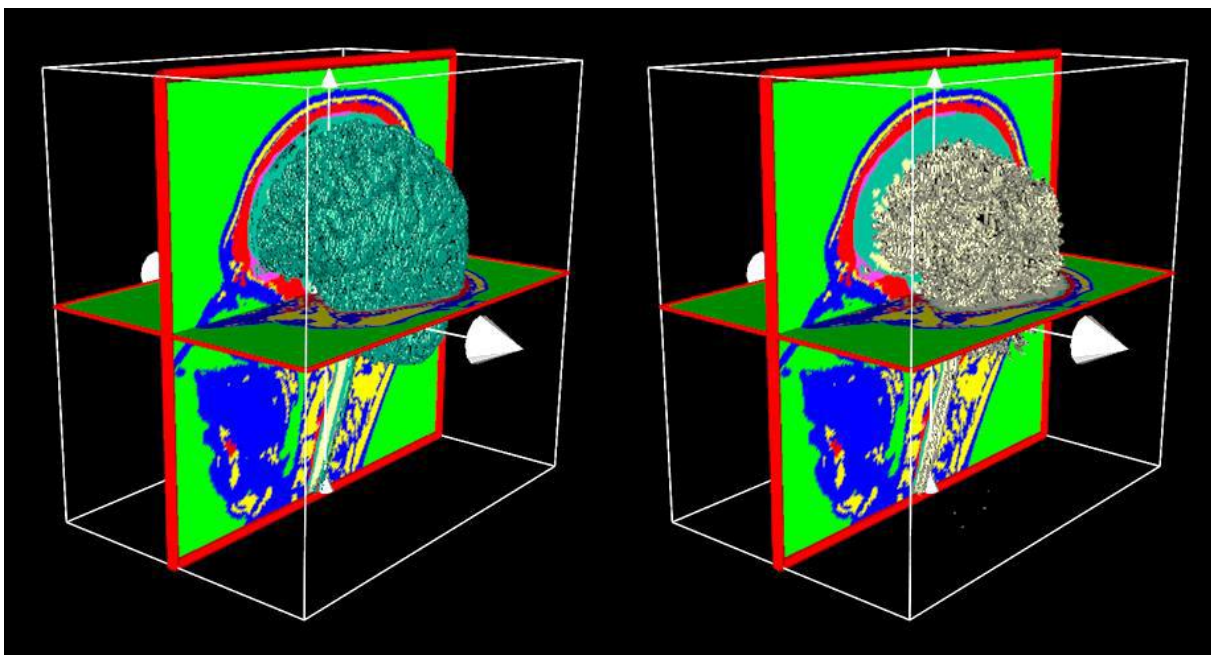


Obrázek 4: Kůže (vlevo) a podkožní tuk (vpravo)





Obrázek 5: Lebka včetně očí (vlevo) a mozkomíšní mok (vpravo) před renderováním



Obrázek 6: Šedá hmota mozková (vlevo) a bílá hmota mozková (vpravo)

## Nastavení simulátoru Sim4life

### Simulační geometrie

Samotné vinutí cívky pro proudový zdroj je nutné vytvořit přímo v prostředí Sim4life. Jelikož simulátor umožňuje přiřadit vlastnosti proudového zdroje pouze skicám, které nelze do prostředí Sim4life importovat, bylo vytvořeno nové vinutí využívající geometrického obrazce z nabídky: kružnice, přímka, obdélník, splajn. Bohužel není k dispozici vývojové prostředí pro spirálu. Řešení nabízí aproximace vinutí na Archimédovu spirálu:

$$x=r \cdot \cos(q),$$

$$y=r \cdot \sin(q),$$

kde  $r = 0,32$  a parametr  $q$  (89,5;146,1). Získané souřadnice jednotlivých bodů z parametrické rovnice byly dosazeny jako souřadnice do tabulky interpolované křivky – *Spline*.

Následně jsou importovány další součásti modelu:

- Model pacienta získaný senzorem KINECT for Xbox One tj. 3D sken
- Model získaný segmentací snímků magnetické rezonance z programu iSEG
- Model stimulační cívky z programu SolidWorks

Model hlavy z programu iSEG je umístěn do středu souřadného systému. Zvětšený 3D sken pacienta orientujte pomocí nástroje *Move* v souladu s modelem z prostředí iSEG. Následně importují model stimulační cívky, který taktéž orientujte pomocí nástroje *Move*. Dále nastavte skicu Archimédovy spirály souhlasně s vinutím cívky modelu z programu SolidWorks. Pro druhé vinutí zopakujte stejný postup, čímž dokončíte tvorbu simulační geometrie a v záložce *Simulation* nastavte parametrů simulace.

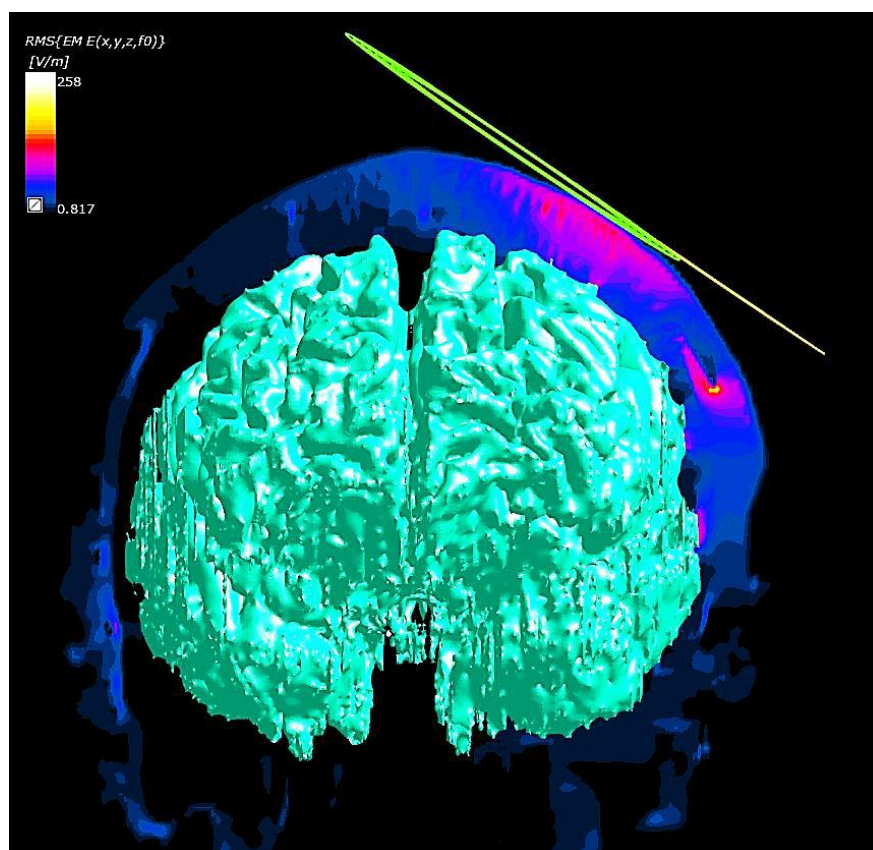
### Nastavení simulace

Zvolte výpočet pomocí LF – Magnetic Field tj. kvazistacionární aproximaci. Dále se pohybujte stromem Explorer a vyplňte jednotlivá pole:

- Nastavení – frekvence: 2500 Hz
- Materiálové vlastnosti jednotlivých tkání lze importovat z knihovny tlačítkem *Assign Material From Library*, tyto hodnoty odpovídají hodnotám v tabulce níže.

Materiál	$\sigma$ (S/m)	$\epsilon r$ (-)	$\mu r$ (-)
Vzduch	0,000000000	1,0000	1,00
Kůže	0,000200338	1135,2100	1,00
Podkožní tuk	0,042421500	6425,3200	1,00
Oko	1,500000000	98,9781	1,00
Lebka	0,020263700	1435,1800	1,00
Mozkomíšní mok	2,000000000	109,0000	1,00
Šedá hmota mozková	0,104316000	78103,9000	1,00
Bílá hmota mozková	0,064536500	34282,0000	1,00

Proudové zdroje lze vytvořit zkopírováním ikon Archimédových spirál do složky proudových zdrojů a následným zadáním proudu pro stimulaci. Maximální proudu je  $I_{max} = 5400$  A.



Obrázek 7: Přehled rozložení intenzity indukovaného elektrického pole v rovině ZX, vpravo nahoře vinutí stimulační cívky (žlutá, zelená) a zvýrazněná oblast šedé hmoty mozkové (tyrkysová)

V celém dokumentu platí, že pokud není uvedena u obrázku reference, jedná se o autorské dílo.