

HUMAN BRAIN AND IT'S MODELING

Pavel Zelenka

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xzelen16@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Zbyněk Raida

E-mail: raida@feec.vutbr.cz

Abstract: The project deals with the development of a computer model of human brain. The model is used in the simulation program CST STUDIO SUITE 2015 to show the distribution of electromagnetic waves. The outputs of simulations should help us with a better understanding of electromagnetic field behavior inside the brain. In real life, the model will be used for the verification of methods localizing source currents in the brain.

Keywords: Human brain, electromagnetic field, full-wave solver, CST STUDIO SUITE 2015, brain waves

1 ÚVOD

Tento projekt se zabývá problematikou modelování elektromagnetického pole v živých tkáních. Cílem je vytvoření počítačového modelu lidského mozku, ve kterém simulujeme mozkovou aktivitu pomocí umělého zdroje EM vln. Na něm poté zkoumáme využití netradičního full-wave přístupu. Důvodem je zjistit, zda nabízí lepší možnosti oproti běžným kvazi-statickým solverům, zejména se zaměřujeme na přesnost a rychlost výpočtu a funkčnost tohoto přístupu tam, kde kvazi-statické solvery selhávají. Modely jsou vytvořeny v programu CST STUDIO SUITE 2015.

2 TEORIE

2.1 SIMULACE ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN MOZKU

K simulaci elektromagnetických vln se nejčastěji používá kvazi-statický přístup. Důvodem je možnost simulovat problémy s nízkými frekvencemi, např. mozkových vln s frekvencí 0,1-100 Hz [1]. Z těchto solverů však můžeme dostat řešení pouze v jednom, či velmi krátkém časovém okamžiku [2]. K simulování mozkových vln v tomto projektu je použit jiný, tzv. vlnový (full-wave) přístup. Jeho výhodou je, že lze řešit problémy dynamicky a výsledkem je řešení v čase proměnné. Vysoká dynamika řešeného problému je však zároveň podmínkou použití těchto solverů. V případě nízkých frekvencí totiž řešení Maxwellových rovnic přestává konvergovat ke správnému výsledku (tzv. low-frequency breakdown [1]). V případě použití vlnového přístupu musíme tedy parametry tkání (permitivitu ϵ_r) upravit, aby je bylo možné simulovat při vyšších frekvencích. K této úpravě slouží vzorec č. 1 [1]:

$$\epsilon_{rsc} = \epsilon_r \cdot \frac{f}{f_{sc}} \quad (1)$$

kde ϵ_r je relativní permitivita, ϵ_{rsc} je upravená permitivita, f je frekvence reálného problému a f_{sc} je frekvence použitá při simulaci. Při této úpravě zůstanou poměry jednotlivých parametrů mezi sousedními body (tkáněmi) nezměněny. Proto pokud reverzním způsobem dle vzorce č. 2 přepočítáme získané hodnoty EM pole na skutečnou frekvenci daného problému, odpovídají nasimulované hodnoty těm skutečným [1].

$$Ex = Ex_{sc} \cdot \frac{f_{sc}}{f} \quad (2)$$

kde E_x je elektrická intenzita skutečná a $E_{x_{sc}}$ je elektrická intenzita nasimulovaná.

3 SIMULAČNÍ MODEL

V této práci byly vytvořeny dva modely: zjednodušený a tzv. volume pixel (voxel) model lidské hlavy.

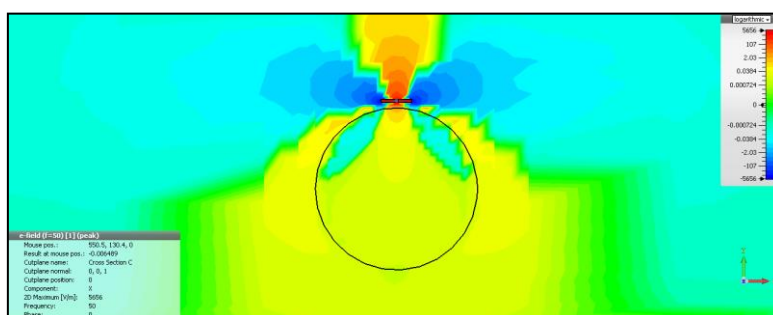
Zjednodušený model je tvořen koulí o poloměru $r = 120$ mm s parametry svalové tkáně, konkrétně: $\epsilon_r = 77,063$, $\mu_r = 1$, $\sigma = 0,67808$ S/m pro frekvenci simulace 50 MHz [3]. Jako budič EM pole byl použit malý dipól s rozměry $l = 45$ mm, $r = 2,5$ mm a mezerou mezi rameny $h = 5$ mm umístěný 10 mm od povrchu koule [1]. Mezi ramena dipólu byl umístěn budicí port s impedancí 50 Ω .

Podrobnější model se skládá z voxelového modelu lidské hlavy, do kterého byl umístěn stejný budicí dipól jako v předchozím případě a frekvence simulace byla zvýšena na 430 MHz, což urychlí výpočet se zanedbatelnou odchylkou oproti nižší frekvenci.

4 VÝSLEDKY

4.1 ZJEDNODUŠENÝ MODEL

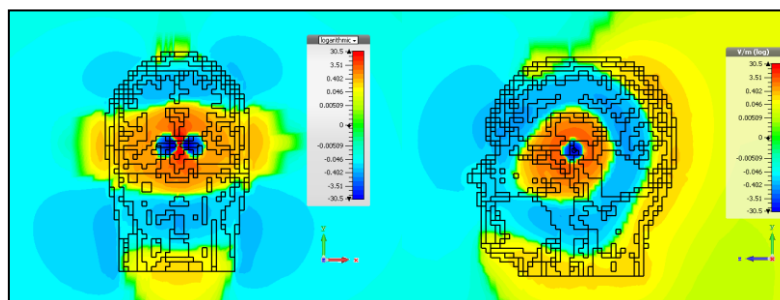
Cílem tohoto modelu bylo ověřit postupy a výsledky uvedené v referenční literatuře [1]. Na obrázku 1 můžeme vidět výslednou elektrickou složku E_x vypočteného EM pole. Na obrázcích lze pozorovat ovlivnění signálu produkovaného dipólem při průniku do koule. Dochází také k částečnému rozptýření pole na povrchu hlavy a těsně pod ním. Hodnoty pole ve středu koule jsou po přepočtu na 50 Hz zobrazeny v tabulce 1.



Obrázek 1: Elektrická složka E_x zjednodušeného modelu

4.2 VOXELOVÝ MODEL LIDSKÉ HLAVY

Tento model byl použit pro zjištění, zda je chování EM vln ve zjednodušené simulaci stejné jako v reálném mozku. Na obrázku 2 můžeme sledovat, že se pole chová stejně, jako ve zjednodušeném modelu a dochází tedy k rozptýření pole těsně pod i nad povrchem hlavy. Můžeme pozorovat poměrně velký vliv různých tkání na nerovnoměrnou rychlost šíření vln. V rámci oblasti mozku se však vlny šíří vcelku rovnoměrně. Hodnoty pole na povrchu hlavy jsou zobrazeny v tabulce 1.



Obrázek 2: Elektrická složka E_x voxelového modelu (zepředu / z boku)

	Ex		Hy	
	Amplituda (nV/m)	Fáze (rad)	Amplituda (pV/m)	Fáze (rad)
Převzaté z [1]	163,9	-1,9	65,6	1,6
Zjednodušený	9,7	0,9	2,1	0,8
Voxel	42,4	1,5	88,9	3,0

Tabulka 1: Srovnání vypočtených hodnot obou modelů s referenční literaturou

Z tabulky 1 lze vidět, že hodnoty obou modelů řádově odpovídají referenčním hodnotám. Odchylky jsou způsobeny jak buzením dipólu, které nebylo v referenčním článku definováno, tak i použitím jiného výpočetního softwaru a záměrným snížením přesnosti výpočetní mřížky z důvodu zrychlení a zjednodušení simulace.

5 ZÁVĚR

Výsledky simulace zjednodušeného modelu byly porovnány s referenční literaturou [1] (viz tabulka 1). Naše hodnoty řádově odpovídají referenčnímu článku, čímž jsme ověřili správnou funkci full-wave přístupu.

Z výsledků simulace voxelového modelu jsme mohli udělat závěr, že EM pole se chová stejně jako ve zjednodušeném modelu a byla tedy ověřena možnost reálného využití full-wave přístupu v této problematice. Doba simulace voxelového modelu o 370 000 buňkách se pohybovala v rozmezí 5-10 minut.

Výsledky tohoto projektu by v budoucnu mohly napomoci k simulování elektromagnetického pole v lidské hlavě na základě dat získaných např. pomocí EEG, aniž bychom fyzicky zasahovali do mozku a zároveň nebyli omezení schopnostmi reálného měření místa vzniku a intenzity toho pole.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval prof. Dr. Ing. Zbyňkovi Raidovi za jeho vedení a cenné rady při tvorbě tohoto projektu.

REFERENCE

- [1] JAIN, Sidharath, Raj MITTRA a Joe WIART. 2015. FULL WAVE MODELING OF BRAIN WAVES AS ELECTROMAGNETIC WAVES (InvitedPaper). Progress In ElectromagneticsResearch [online]. 151, 95-107 [cit. 2016-11-29]. DOI: 10.2528/PIER15011404. ISSN 15598985. Dostupné z: <http://www.jpier.org/PIER/pier.php?paper=15011404>
- [2] HALLEZ, Hans, Bart VANRUMSTE, Roberta GRECH, et al. Review on solving the forward problem in EEG source analysis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2007, 4(1), 46- [cit. 2017-03-27]. DOI: 10.1186/1743-0003-4-46. ISSN 17430003. Dostupné z: <http://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-4-46>
- [3] DielectricPropertiesof Body Tissues: Output data. 1997. DielectricPropertiesof Body Tissues: Output data [online]. Florence (Italy): IFAC-CNR [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/htmlclie/uniquery.php?func=atsffun&freq=50000000&tiss=&outform=disphm&tisname=on&frequ=on&conduct=on&permitt=on&losstan=on&wavelen=on&pendept=on&freq1=50000000&tissue2=Air&frqbeg=10&frqend=100e9&linstep=100&mode=log&logstep=5&tissue3=Air&freq3=1000000>