



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 BY-SA



**Protokol z předmětu:
Perspektivní diagnostické metody založené na
měření dielektrických parametrů biologických
tkání**

F7DPTB

**Rekonstrukce obrazu pomocí algoritmů
mikrovlňného zobrazování a výpočetního clusteru**

Vypracoval: Ing. Jan Rédr

Ve spolupráci s: Ing. Jaroslav Marek

Datum: 1.2.2022

Úvod

Mikrovlnné zobrazování (MWI, anglicky *Microwave Imaging*) je perspektivní zobrazovací modalita, která již prokázala svoji účinnost v oblasti medicíny zejména při detekci a klasifikaci cévní mozkové příhody (CMP) a při zobrazování prsní tkáně při detekci nádoru prsu. MWI je neinvazivní metoda, která využívá elektromagnetického (EM) záření z frekvenční oblasti mikrovln pro zobrazování. Zobrazování je poté umožněno na základě rozdílů v dielektrických parametrech různých tkáňových struktur a zejména pak rozdíly dielektrických parametrů mezi zdravou a postiženou tkání. [1, 2]

Zadání

Cílem této laboratorní úlohy je ověřit možnosti využití MWI pro detekci CMP za použití Bornovy aproximační metody (BA) a regularizace pomocí zkráceného singulárního rozkladu (TSVD, anglicky *Truncated Singular Value Decomposition*). [3]

Úkol

- 1) Vytvořte zjednodušený 2D model mikrovlnného zobrazovacího systému s 10 anténami rovnoměrně rozmístěnými kolem hlavy dospělého člověka,
- 2) proveďte numerické simulace pro různé scénáře umístění, velikosti a elektrických vlastností CMP (inkluze kruhového tvaru),
- 3) v prostředí MATLAB implementujte rekonstrukční algoritmus založený na diferenčním MWI, tzv. Bornové aproximaci (BA) a regularizaci pomocí zkráceného singulárního rozkladu (TSVD – Truncated Singular Value Decompositon). [3]

Použité přístroje

- Výpočetní Cluster
- COMSOL Multiphysics
- MATLAB

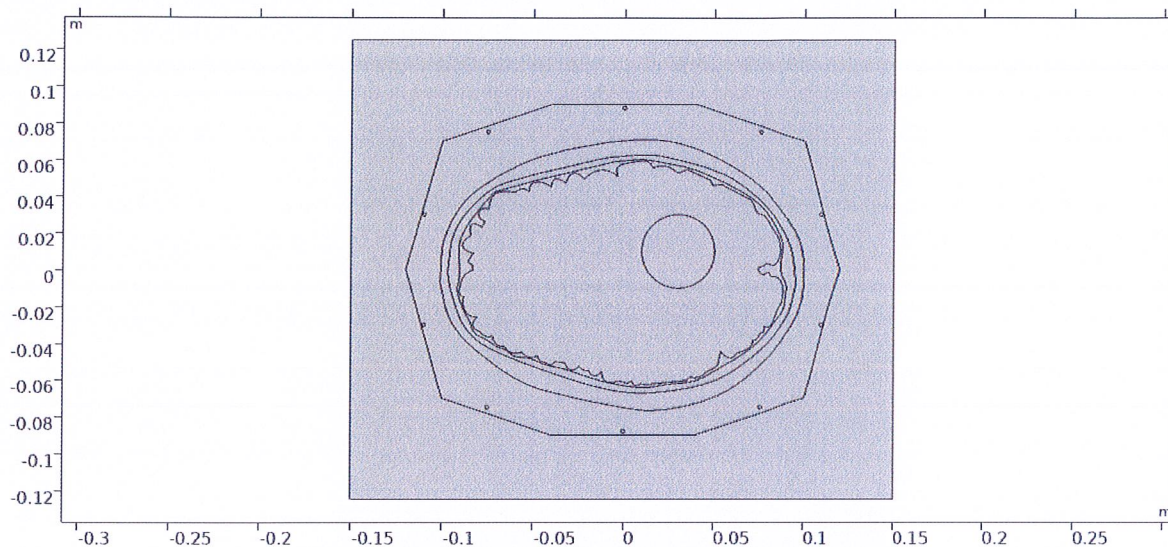
Postup

Postupoval jsem dle přiloženého návodu k úloze [3].

Metody

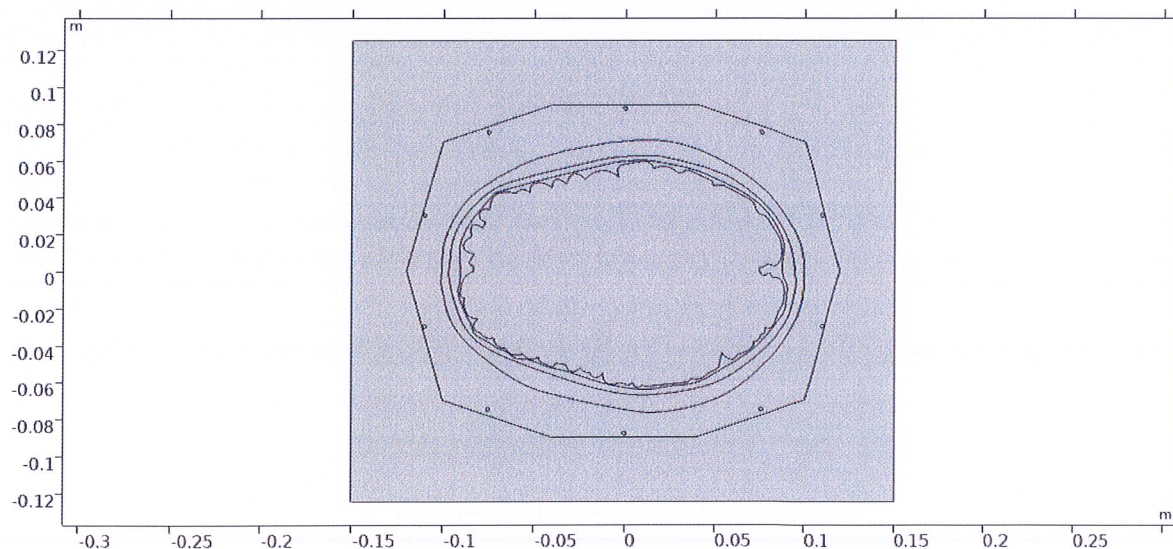
Zjednodušený model 2D MWI systému

Namodelovaná geometrie z programu COMSOL Multiphysics sestává z fantomu lidské hlavy, ve které jsou zahrnuty domény od středu: mozek, mozkomíšní mok, kost a kůže a kruhová doména reprezentující CMP, samotného mikrovlnného systému čítající 10 anténních elementů, přizpůsobovací kapaliny (kapalina obklopující model hlavy) a prostředí. Přizpůsobovací kapalina slouží k lepšímu přenosu EM vlny do hlavy, a zároveň minimalizuje jevu *cross-coupling* (přímá komunikace mezi anténami, která snižuje efektivitu MWI). Výsledná podoba celé namodelované geometrie je na obrázku 1 s kruhovou CMP a na obrázku 2 bez CMP.



Obrázek 1 Geometrie celého 2D modelu s kruhovou CMP.

Z důvodů diferenciálního zobrazování byl vytvořen další model, tentokrát bez kruhové CMP. Výsledná podoba celé geometrie bez CMP je na obrázku 2.



Obrázek 2 Geometrie celého 2D modelu bez CMP.

Přehled domén je tedy od středu: mozek, mozkomíšní mok, kost, kůže, přizpůsobovací kapalina uvnitř MWI systému a za modelem MWI systému je doména prostředí (vzduch).

Nastavení materiálových konstant

U numerických simulací je důležité nastavit materiálové konstanty, v našem případě se jedná o dielektrické parametry relativní permitivita ϵ_r (-) a měrná vodivost σ ($S \cdot m^{-1}$), relativní permeabilita μ_r byla brána jako jednotková. Hodnoty dielektrických parametrů byly převzaty z databáze IT'IS foundation [4] pro 1 GHz (což je frekvence, na které probíhaly simulace) a jsou zaneseny do tabulky 1.

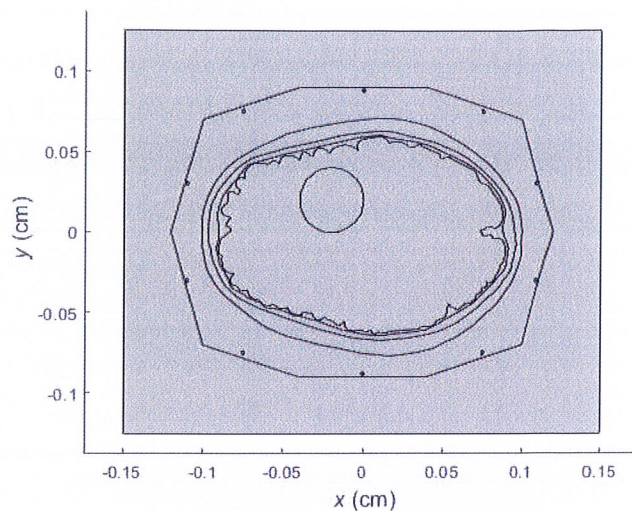
Tabulka 1 Dielektrické parametry pro jednotlivé domény na 1 GHz v modelu. Převzato z [4].

| | Relativní permitivita ϵ_r (-) | Měrná vodivost σ ($S \cdot m^{-1}$) |
|--------------------------------|--|--|
| Přizpůsobovací kapalina | 45 | 1 |
| Kůže | 40.9 | 0.9 |
| Kost | 11.97 | 0.09 |
| Mozkomíšňní mok | 68.44 | 2.46 |
| Mozek | 46.57 | 0.97 |
| Ischemická CMP | 37.26 | 0.78 |
| Hemorrhagická CMP | 61.08 | 0.78 |
| Vzduch | 1 | 0 |

Ostatní nutná nastavení, jako například definice okrajových podmínek, nastavení fyziky a diskretizační mřížky bylo provedeno podle dostupného návodu k úloze [3].

Testované scénáře

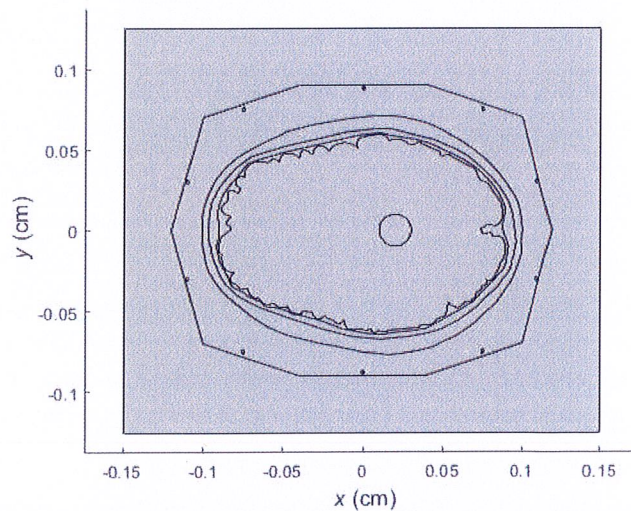
Byly vytvořeny 3 testovací scénáře, každý o různé poloze CMP a jejího průměru. Na následujících obrázcích (3 – 5) a v tabulkách (2 – 4) jsou znázorněny geometrie jednotlivých scénářů společně s přesnými koordinátami a poloměry CMP pro dané scénáře.



Obrázek 3 Scénář CMP 1.

Tabulka 2 Souřadnice a poloměr CMP pro scénář 1.

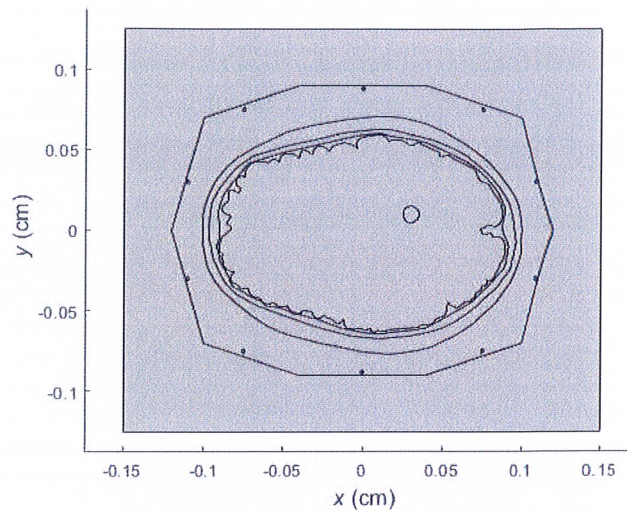
| Souřadnice | Velikost (mm) |
|-------------|---------------|
| X | -20 |
| Y | 20 |
| R (poloměr) | 20 |



Obrázek 4 Scénář CMP 2.

Tabulka 3 Souřadnice a poloměr CMP pro scénář 2.

| Souřadnice | Velikost (mm) |
|-------------|---------------|
| X | 20 |
| Y | 0 |
| R (poloměr) | 10 |



Obrázek 5 Scénář CMP 3.

Tabulka 4 Souřadnice a poloměr CMP pro scénář 3.

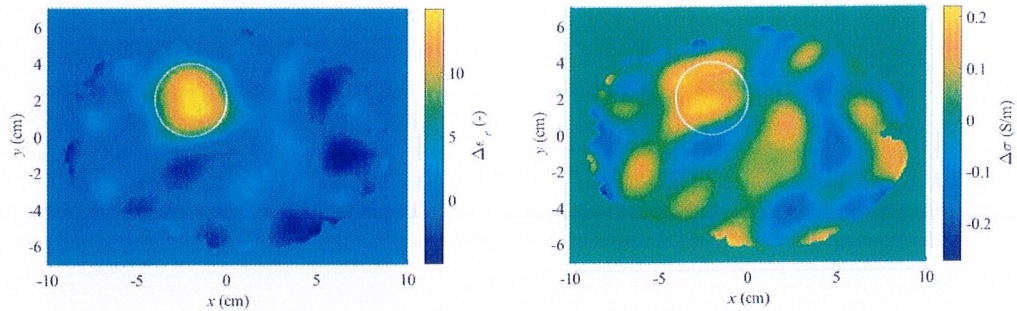
| Souřadnice | Velikost (mm) |
|-------------|---------------|
| X | 20 |
| Y | 0 |
| R (poloměr) | 10 |

Numerické simulace a Matlab

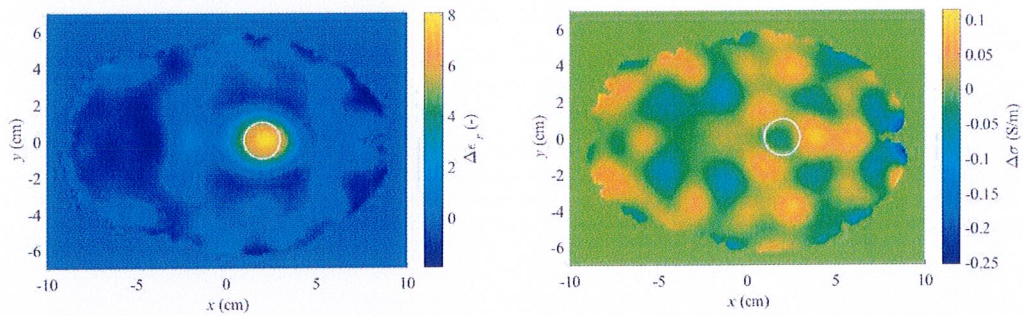
Pro komunikaci mezi simulačním softwarem COMSOL Multiphysics a programem Matlab byl vytvořen datový most prostřednictvím technologie LiveLink, který slouží k výměně informací mezi oběma platformami, a je tedy možné ovládat COMSOL simulace z prostředí Matlabu, čímž se výrazně urychlí a zjednoduší proces zobrazování. Dále byl dle pokynů v návodu [3] upraven již existující skript implementující BA s TSVD pro zobrazování nasimulovaných dat z programu COMSOL Multiphysics.

Výsledky

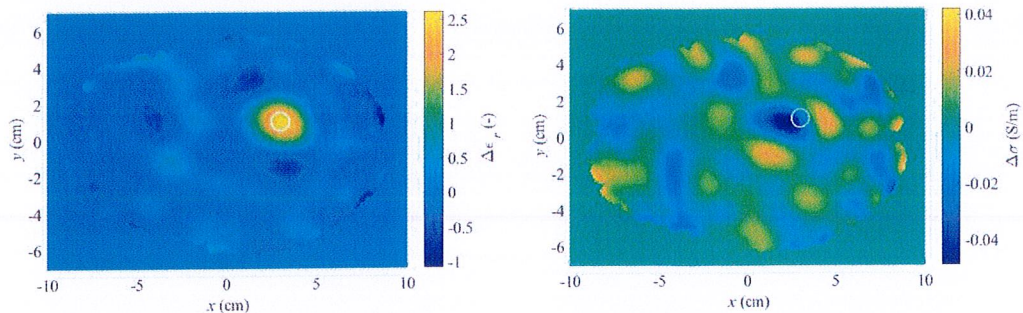
3 zobrazovací scénáře byly testovány jak pro hemoragickou tak ischemickou CMP (dielektrické vlastnosti pro obě CMP jsou v tabulce 1), byla měněna poloha i poloměr kruhové CMP.



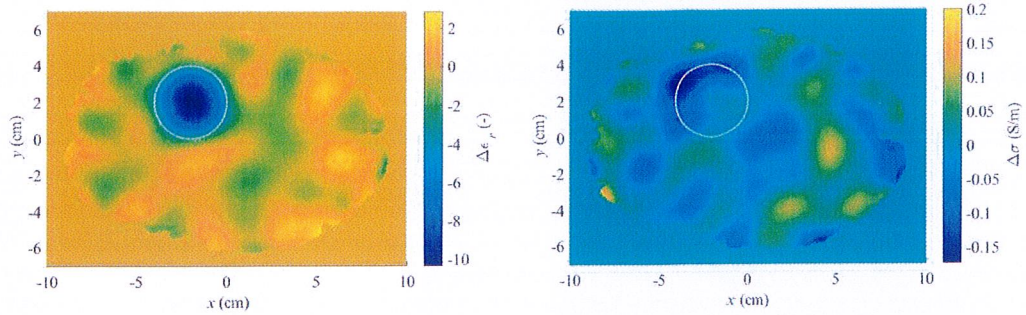
Obrázek 6 Hemoragická CMP, scénář 1. Vlevo změna relativní permitivity, vpravo změna měrné vodivosti pro daný scénář. Bílý kruh reprezentuje nastavenou polohu a velikost kruhové CMP.



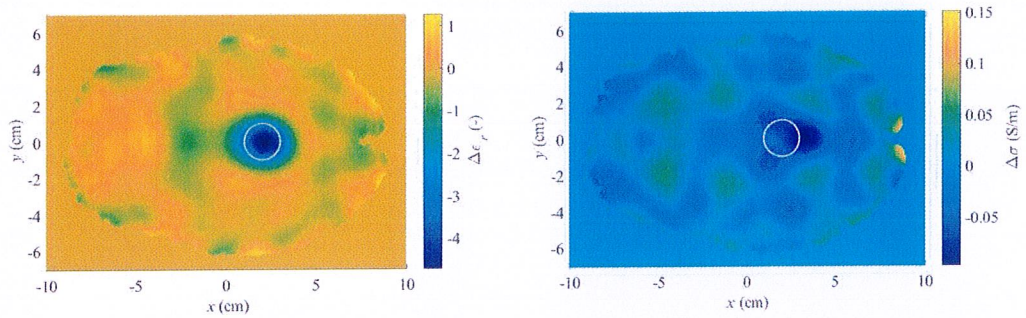
Obrázek 7 Hemoragická CMP, scénář 2. Vlevo změna relativní permitivity, vpravo změna měrné vodivosti pro daný scénář. Bílý kruh reprezentuje nastavenou polohu a velikost kruhové CMP.



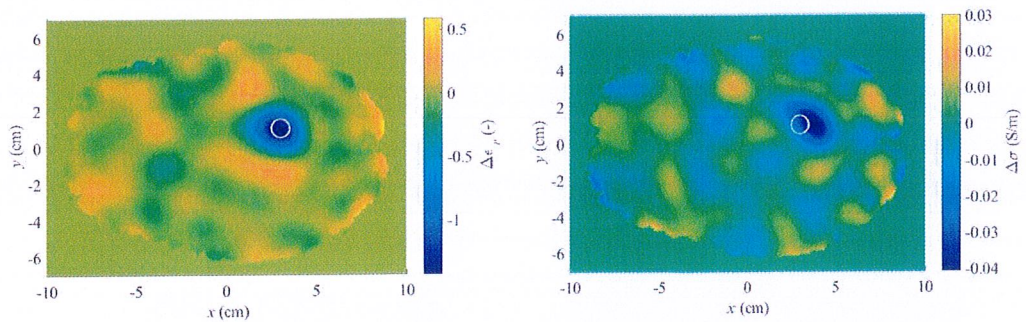
Obrázek 8 Hemoragická CMP, scénář 3. Vlevo změna relativní permitivity, vpravo změna měrné vodivosti pro daný scénář. Bílý kruh reprezentuje nastavenou polohu a velikost kruhové CMP.



Obrázek 9 Ischemická CMP, scénář 1. Vlevo změna relativní permitivity, vpravo změna měrné vodivosti pro daný scénář. Bílý kruh reprezentuje nastavenou polohu a velikost kruhové CMP.



Obrázek 10 Ischemická CMP, scénář 2. Vlevo změna relativní permitivity, vpravo změna měrné vodivosti pro daný scénář. Bílý kruh reprezentuje nastavenou polohu a velikost kruhové CMP.



Obrázek 11 Ischemická CMP, scénář 3. Vlevo změna relativní permitivity, vpravo změna měrné vodivosti pro daný scénář. Bílý kruh reprezentuje nastavenou polohu a velikost kruhové CMP.

Diskuze

Byly vytvořeny tři zobrazovací scénáře kruhové CMP, pro které bylo simulováno v programu COMSOL Multiphysics elektrické pole ze všech anténních elementů a výsledky simulací byly zaneseny do programového prostředí Matlab pomocí technologie LiveLink. V Matlabu byl implementován skript, který načtená elektrická pole zpracoval a pomocí diferenciální BA s TSVD vykreslil výsledky MWI, výsledkem byly diferenciální mapy rozložení dielektrických parametrů (relativní permitivita a měrná vodivost).

Hemoragická CMP se projevuje zvýšenou relativní permitivitou v zasažené oblasti (zvýšený podíl krve v dané oblasti znamená i vyšší podíl vody, která má dobré polarizační vlastnosti, a tedy zvyšuje relativní permitivitu), což je patrné ze všech obrázků. Výsledek pro změnu relativní permitivity u scénáře 3 vykazuje nepřesné zobrazení velikosti CMP, kdy zvýšená relativní permitivita přesahuje hranice, které byly nastaveny pro danou simulaci (bílý kroužek). Tato chyba je nejspíše způsobena již příliš nízkou zobrazovací schopností MWI při použití frekvence 1 GHz v prostředí mozku. Zobrazení změn měrné vodivosti nicméně bylo úspěšné pouze u scénáře 1, tedy největší CMP. U scénáře 2 není změna v místě CMP patrná vůbec, toto mohlo být způsobeno umístěním CMP do středu hlavy (y -ová souřadnice = 0), kdy mohlo dojít, kvůli symetričnosti modelu, k částečné ztrátě užitečného signálu. Pro 3. scénář byla rekonstruovaná záporná změna v měrné vodivosti a navíc zacílení také není přesné, toto mohlo být částečně způsobeno opět umístěním CMP více do středu a malou velikostí CMP. U rekonstrukcí změn relativní permitivity je dále patrné, že s klesajícím poloměrem objektu klesá přesnost určení nastavované změny relativní permitivity, toto může být způsobeno vlnovou délkou EM vlny v prostředí mozku na frekvenci 1 GHz.

Ischemická CMP se naopak projevuje sníženou relativní permitivitou v zasažené oblasti (kvůli snížení koncentrace krve v oblasti), což je opět patrné ze všech obrázků. Rekonstrukce ischemické CMP pro scénář 3 vykazuje podobnou chybu jako identický scénář pro hemoragickou CMP, tedy snížená oblast relativní permitivity zasahuje i mimo nastavenou oblast (bílý kroužek). Důvod pro tuto nepřesnost by měl být stejný jako v případě hemoragické CMP, tedy že zobrazovaný objekt je už mimo rozlišovací schopnost MWI systému. Tento jev je patrný i u scénáře 2 (patrnější než pro 2. scénář hemoragické CMP), to značí, že velikost 1 cm je pro tuto frekvenci hraniční z pohledu rozlišovací schopnosti. První scénář vykazuje velmi dobrý výsledek jak lokalizace, tak určení změny relativní permitivity. Nicméně rekonstrukce změn měrné vodivosti nevyšla dle očekávání, pouze v prvním případě byla zahrnuta alespoň část kruhu odpovídající změnou měrné vodivosti, zbylé rekonstrukce, bohužel, nedopadly příliš dobře. Důvod může být podobný jako v případě posledních dvou scénářů u hemoragické CMP.

Z výsledků rekonstrukcí vyplývá, že rekonstrukce změny relativní permitivity jsou přesné pro CMP o poloměru 1 a 2 cm. Pro nejnižší uvažovaný poloměr docházelo pouze k přibližnému určení místa a velmi nepřesně určené změně relativní permitivity. Naopak, metoda se zdá být velmi nepřesná pro rekonstrukce změn měrné vodivosti. Toto bylo způsobeno použitou metodou, kdy BA dokáže kvalitně zrekonstruovat pouze relativní permitivitu.

Závěr

V této laboratorní práci byl ověřen princip BA s TSVD na rekonstrukci změn dielektrických parametrů MWI systému pro detekci kruhové hemoragické a ischemické CMP. Z výsledku vyplývá, že daná metoda se hodí pro CMP většího rozměru a pouze pro rekonstrukce relativní permitivity. Malé rozměry CMP vedou k nepřesným lokalizacím a určeným změnám a zvolená metoda (BA s TSVD) není citlivá na změny v měrné vodivosti.

Reference

- [1] SCAPATICCI, R.; DONATO, L. Di; CATAPANO, I.; CROCCO, L. A feasibility study on microwave imaging for brain stroke monitoring. *Progress In Electromagnetics Research B*. 2012, roč. 53, s. 305-324.
- [2] LI, Xuyang. *Body Matched Antennas for Microwave Medical Applications*. Karlsruhe, Baden: KIT Scientific Publishing, 2013. ISBN 9783731501473. [N.d.].
- [3] VRBA, Jan, Jan TESAŘÍK a Tomáš POKORNÝ. *Rekonstrukce obrazu pomocí algoritmů mikrovlnného zobrazování a výpočetního clusteru*. Kladno, 2020.
- [4] Hasgall PA, Di Gennaro F, Baumgartner C, Neufeld E, Lloyd B, Gosselin MC, Payne D, Klingeböck A, Kuster N, "IT'IS Database for thermal and electromagnetic parameters of biological tissues," Version 4.0, May 15, 2018, DOI: 10.13099/VIP21000-04-0. itis.swiss/database.