



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



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

F7D1M1L1

Microwave Medical Imaging: from Basics to Application

Mikrovlnné zobrazování pro včasnou
detekci cévní mozkové příhody: Role
COMSOLU Multiphysics v řešení inverzní
úlohy
Protokol

Studijní obor: Biomedicínské inženýrství

Autor: Ing. Matouš Brunát

1 Úvod

Cévní mozková příhoda (CMP) je celosvětově druhou nejčastější příčinou smrti, kdy obecně rozlišujeme její dva základní typy, tj. ischemická CMP a hemoragická CMP. Její včasná detekce a diferenciací je klíčovým faktorem pro následnou léčbu a eliminaci možných negativních zdravotních následků. Konvenční zobrazovací metody jako CT, MRI aj. poskytují velmi detailní informace o výskytu možného patologického nálezu CMP v mozku a jsou v současnosti standardem nutným pro stanovení správné diagnózy. Ovšem vlastnosti těchto metod jako časová náročnost, cena, nemobilita, případně využívání ionizujícího záření poskytují prostor pro vývoj nových zobrazovacích modalit, které by tyto „nedostatky“ eliminovaly. Mikrovlnné zobrazovací (MWI – Microwave Imaging) systémy umožňují neinvazivní měření elektrických parametrů biologických tkání a na základě kontrastu těchto parametrů umožňují rozlišit oblasti „zdravé“ mozkové tkáně a oblasti zasažené CMP. Současně by mohly poskytnout rychlou, relativně levnou a mobilní variantu již zmíněných metod s benefitem využívání neionizujícího záření. Pacient s CMP by mohl být indikován například ihned ve voze zdravotnické záchranné služby a tím pádem by došlo k výraznému zkrácení doby od vzniku CMP do doručení adekvátní léčby.

Metoda konečných prvků, je výpočetní metoda pro simulaci rozsáhlých inženýrských problémů. MKP je přibližná metoda pro řešení problémů popsaných diferenciálními rovnicemi. Je možné tuto metodu použít v rozsahu od mechanického namáhání přes vedení tepla až po proudění tekutin. Tato metoda má počátky v 50. letech minulého století díky Richardu Courantovi, což byl matematik americko-německého původu. A k dalšímu rozvoji této metod došlo při vývoji výpočetní techniky. Při MKP je nutné použít k řešení oblasti s konečným počtem podoblastí neboli prvků. Pro každý typ daného prvku je nejenom tvar a dimenze, ale i charakteristický počet a poloha uzlů. Uzly říkáme bodům, které označují místo hledaného parametru řešení. Můžeme použít dvě možnosti výpočtu. Analytickou či numerickou metodu. Při použití analytických metod získáváme závislost mezi vstupními a výstupními veličinami, a to právě v nekonečně mnoha bodech. Na rozdíl od MKP, kdy máme výsledek konečný, a to podle počtu daných uzlů. Jediným naším faktickým omezením v použití MKP je pouze kapacita dostupného

hardwaru a velká časová náročnost výpočtů. Při změně jakéhokoliv parametru zadání či optimalizace je vyžadováno proces zopakovat.

1.1 Cíl

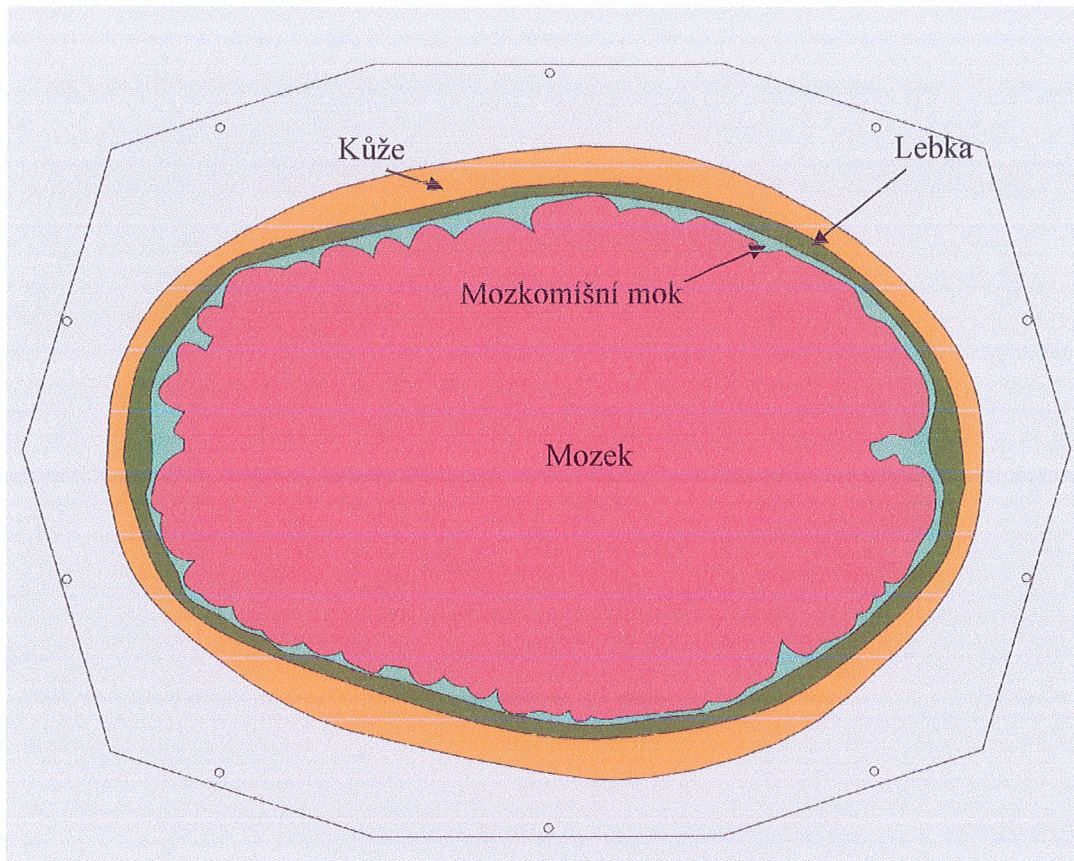
Cílem této úlohy je demonstrovat možnosti využití metody mikrovlnného zobrazování pro detekci cévní mozkové příhody. Úloha je rozdělena do tří hlavních částí. První z nich zahrnuje vytvoření 2D modelu MWI systému a fantomu lidské hlavy. Dále nastavení numerické simulace a jako poslední implementace algoritmu pro rekonstrukci rozložení dielektrických parametrů.

1.2 Úkoly

- Vytvořte zjednodušený 2D model mikrovlnného zobrazovacího systému s 10 anténami rovnoměrně rozmístěnými kolem hlavy dospělého člověka
- Proveďte numerické simulace pro různé scénáře umístění, velikosti a elektrických vlastností CMP (inkluze kruhového tvaru).
- 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).

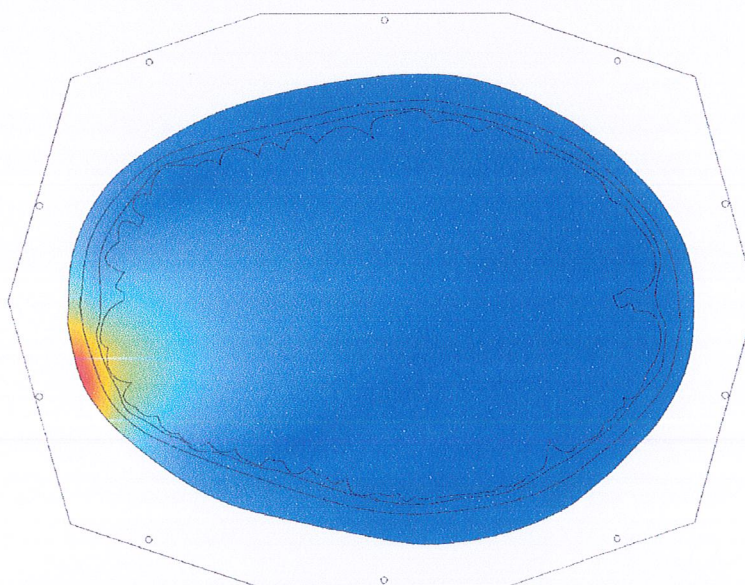
2 Postup:

Vytvoření geometrie proběhlo dle návodu. Výsledný obrázek 2.1.

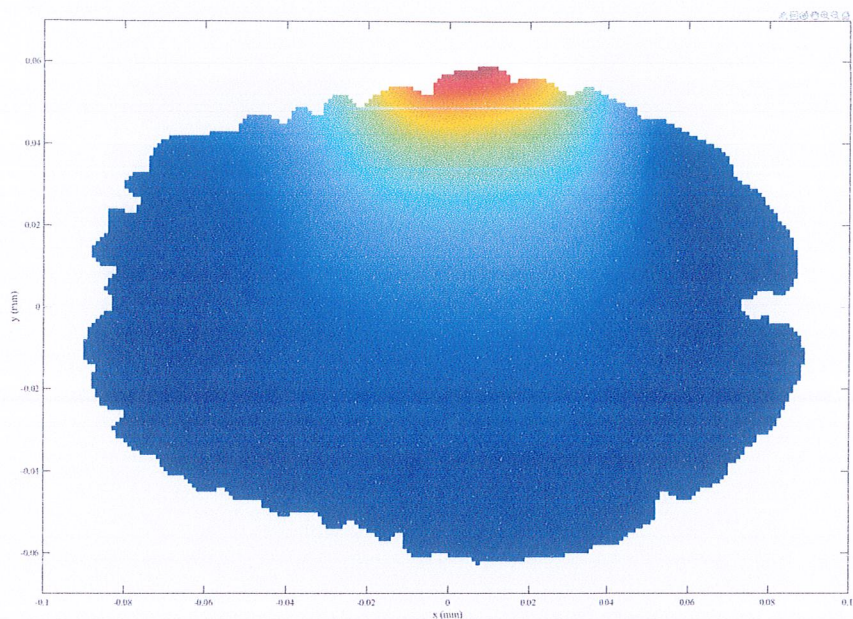


Obr. 2.1: Výsledná geometri z prostředí COMSOL Multiphysics.

Po následném výpočtu bylo ověřeno, jestli rozložení pole odpovídá očekávání. Obrázek 2.2 ukazuje, rozložení elektrické intenzity v mozku pro jednu z antén.



Obr. 2.2: Rozložení el. intenzity okolo jedné z antén.



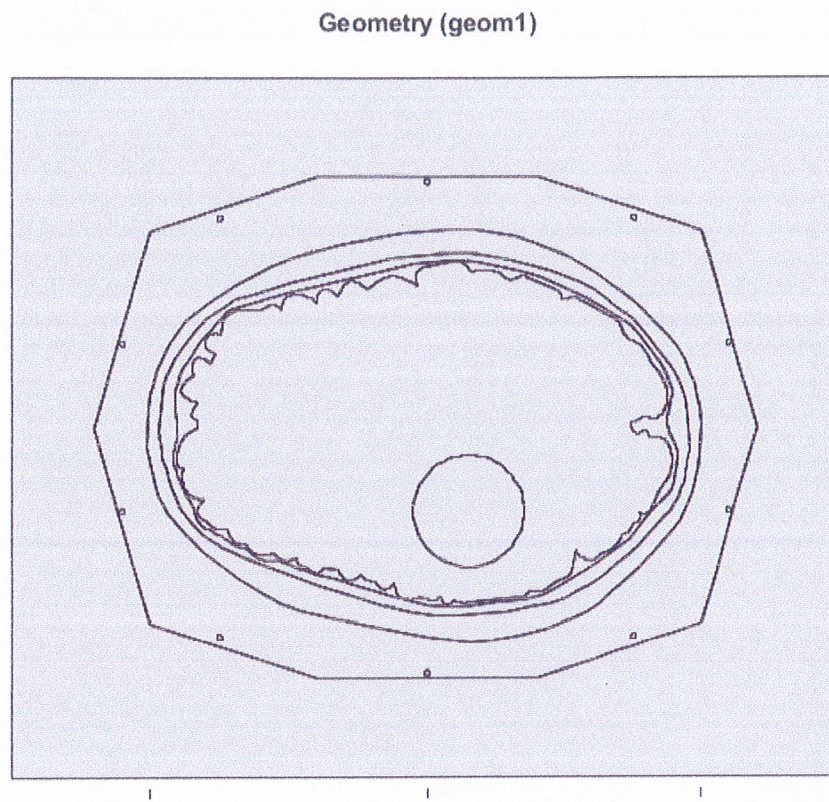
Obr. 2.3: Rozložení intenzity nyní již v prostředí Matlab. Opět se jedná o kontrolu, jestli bylo vše přeneseno z Comsolu do matlabu.

3 Výsledky

Bornova aproximace byla provedena pro jedno krvácení do mozku a pro jednu sraženinu. Krvácení se projevuje snížením relativní permitivity na 38. Sraženina se naopak projevuje zvýšením relativní permitivity na 60.

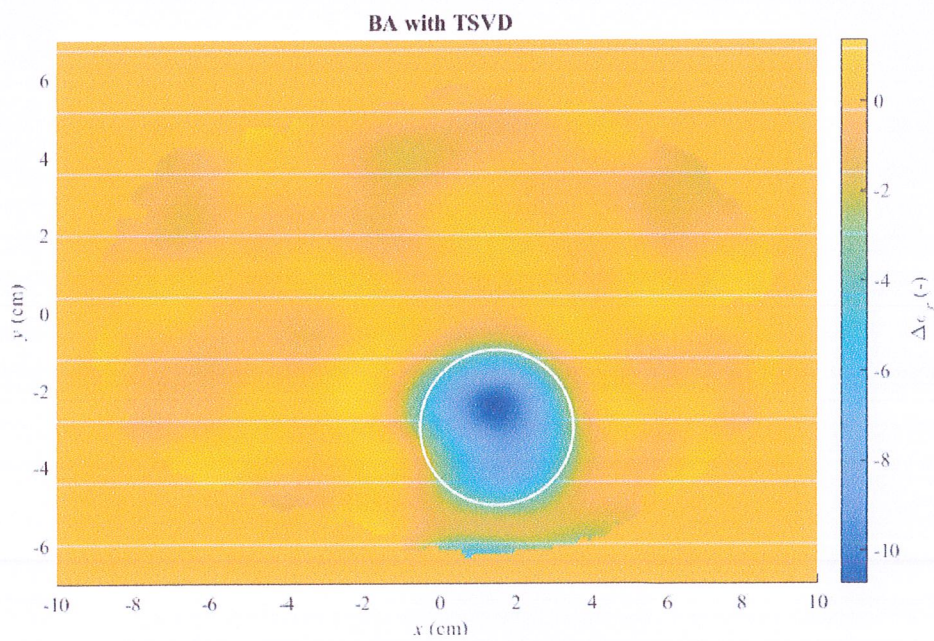
3.1 Krvácení

Pro krvácivý model byla vytvořena oblast ukázaná na obrázku 3.1.

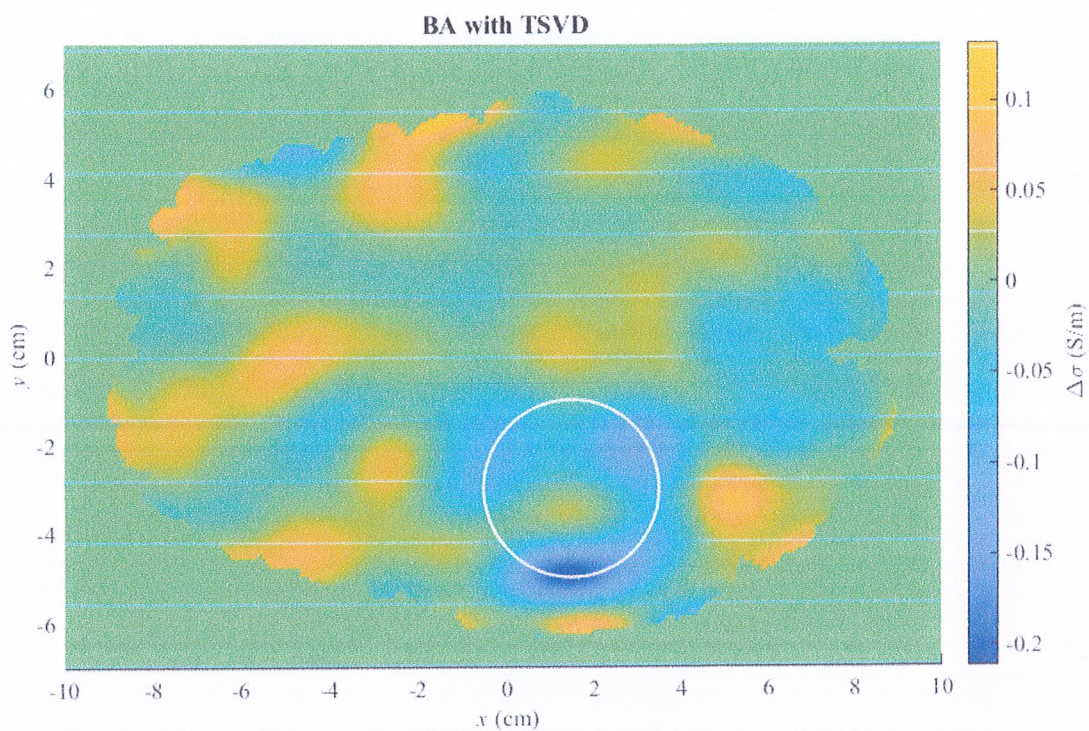


Obr. 3.1: Krvácivá oblast.

Pomocí Bornovi aproximace byly následně vytvořeny modely na obrázcích 3.2 a 3.3.



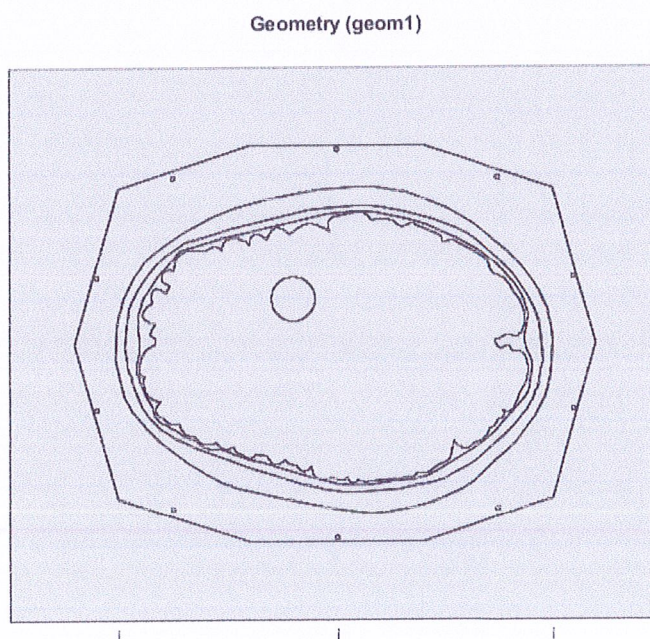
Obr. 3.2: Model zobrazující rozdíly permitivit s bíle vyznačeným místem, kdy byla nastavena krvácející mozková příhoda.



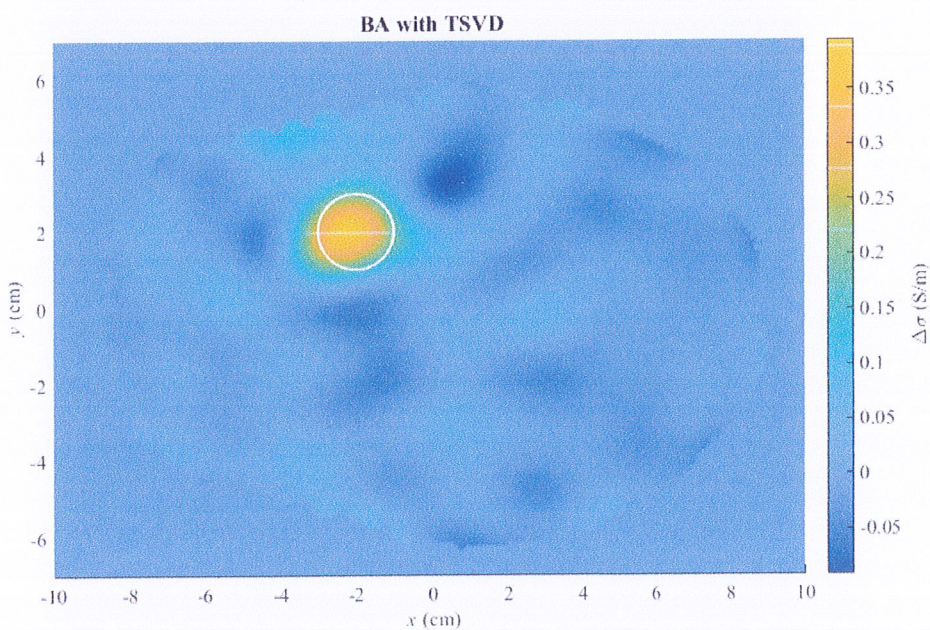
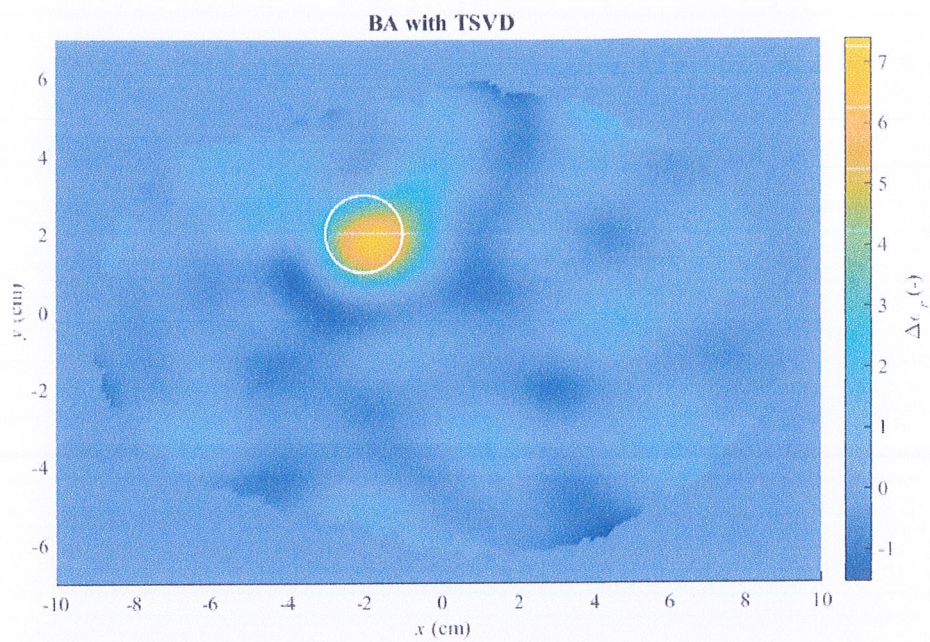
Obr. 3.3: Model zobrazující rozdíly vodivosti s bíle vyznačeným místem, kdy byla nastavena krvácející mozková příhoda.

3.2 Sraženina

U sraženiny byl postup stejný. Pouze byla zvolena jiná pozice než při krváčení.



Obr. 3.4: Umístění sraženiny.



Obr. 3.5: Výpočet pozice sraženiny. Horní obrázek zobrazuje rozdíl permitivit a spodní vodivostí.

4 Závěr

Pro námi zvolené umístění CMP fungovalo lépe zjišťování polohy pro hemoragickou příhodu. V tom případě se shoduje pozice pro rozdílnou permitivitu i vodivost. U krvácivé příhody se vydařil odhad permitivity, ale vodivost byla velmi sporná. Bylo však jednoznačně možné určit, jestli se jedná o krvácivou nebo hemoragickou CMP, což je v klinické praxi velmi důležité.

5 Zdroje

- [1] SEDLÁK, Bedřich a Ivan ŠTOLL. *Elektřina a magnetismus*. Vyd. 3., V nakl. Karolinum 2. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621982.
- [2] VRBA, Jan. *Lékařské aplikace mikrovlnné techniky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02705-8.
- [3] M. Persson et al., “Microwave-Based Stroke Diagnosis Making Global Prehospital Thrombolytic Treatment Possible,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 61, no. 11, pp. 2806–2817, Nov. 2014, doi: 10.1109/TBME.2014.2330554.
- [4] T. D. Musuka, S. B. Wilton, M. Traboulsi, and M. D. Hill, “Diagnosis and management of acute ischemic stroke: speed is critical,” *CMAJ*, vol. 187, no. 12, pp. 887–893, Sep. 2015, doi: 10.1503/cmaj.140355.
- [5] I. J. McGurgan, W. C. Ziai, D. J. Werring, R. A.-S. Salman, and A. R. Parry-Jones, “Acute intracerebral haemorrhage: diagnosis and management,” *Practical Neurology*, vol. 21, no. 2, pp. 128–136, Apr. 2021, doi: 10.1136/practneurol-2020-002763
- [6] *ITIS foundation* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/>