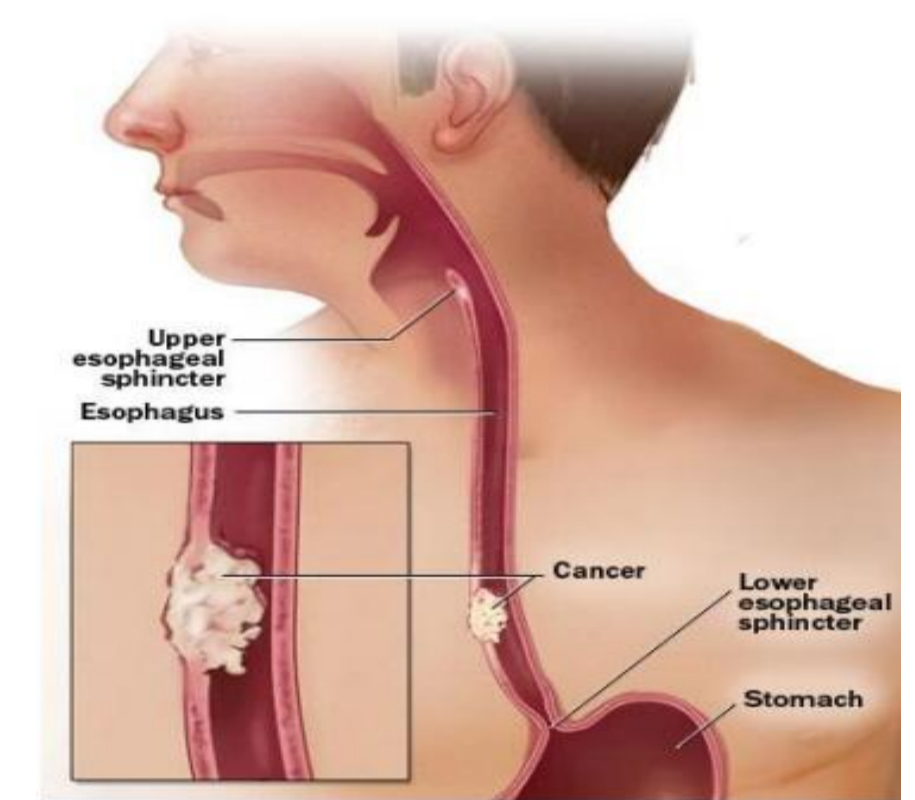


1 Uvod

Neuredan stil života koji uključuje stres, cigarete, alkohol i neuravnoteženu prehranu može dovesti do pojave zloćudnog tumora jednjaka. Ukoliko se ne liječi, ovaj tumor često metastazira u područje pluća, vrata ili glave. Za trenutne tehnike liječenja petogodišnje procjene preživljavanja su veoma niske i kreću se oko 15%.



Elektrokemoterapija je metoda liječenja tumora koja se temelji na kombinaciji lijekova s unutarstaničnim ciljem i električnih impulsa. Električni impulsi permeabiliziraju staničnu membranu i time omogućuju ulazak veće količine lijeka u samu stanicu. Standardizirana je za kožne i potkožne tumore.

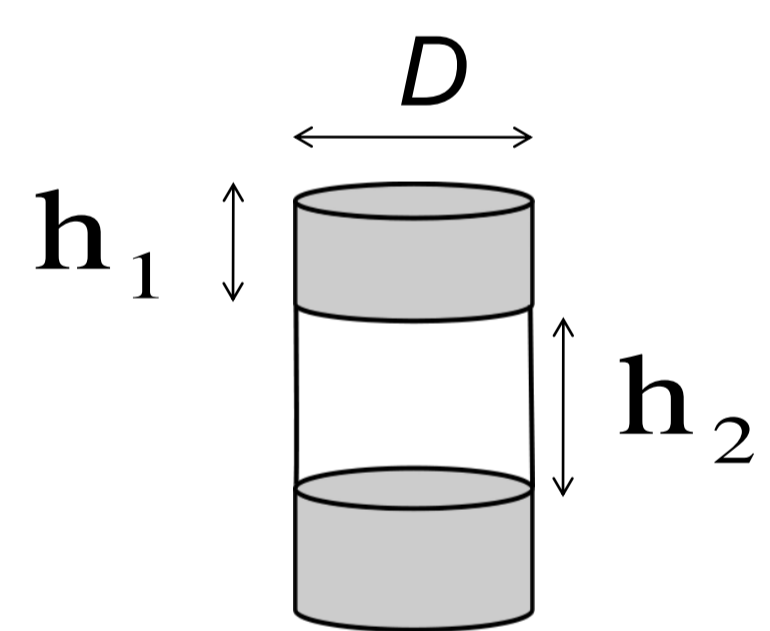
2 Opis problema

U sklopu ovog diplomskog rada bilo je potrebno izraditi geometrijski model prsnog koša (uključujući i tumore jednjaka) i višepolne električne sonde koja bi služila za elektrokemoterapiju tumora jednjaka te proračunati raspodjelu električnog polja na modelu. Proračuni su obavljani u programskom paketu Comsol Multiphysics i zasnivaju se na parcijalnoj diferencijalnoj jednačini:

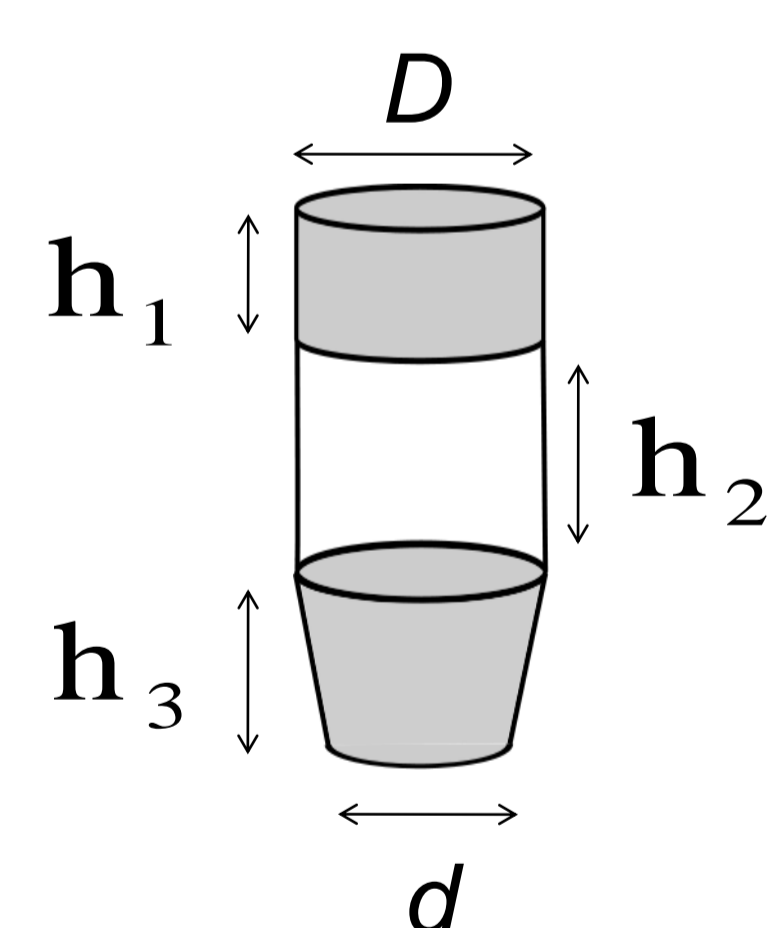
$$-\nabla \cdot (\sigma \nabla V - J_e) = Q_j$$

gdje je σ specifična vodljivost, V razlika potencijala, J_e vanjska gustoća struje, te Q_j strujni izvor (promjena gustoće naboja s vremenom).

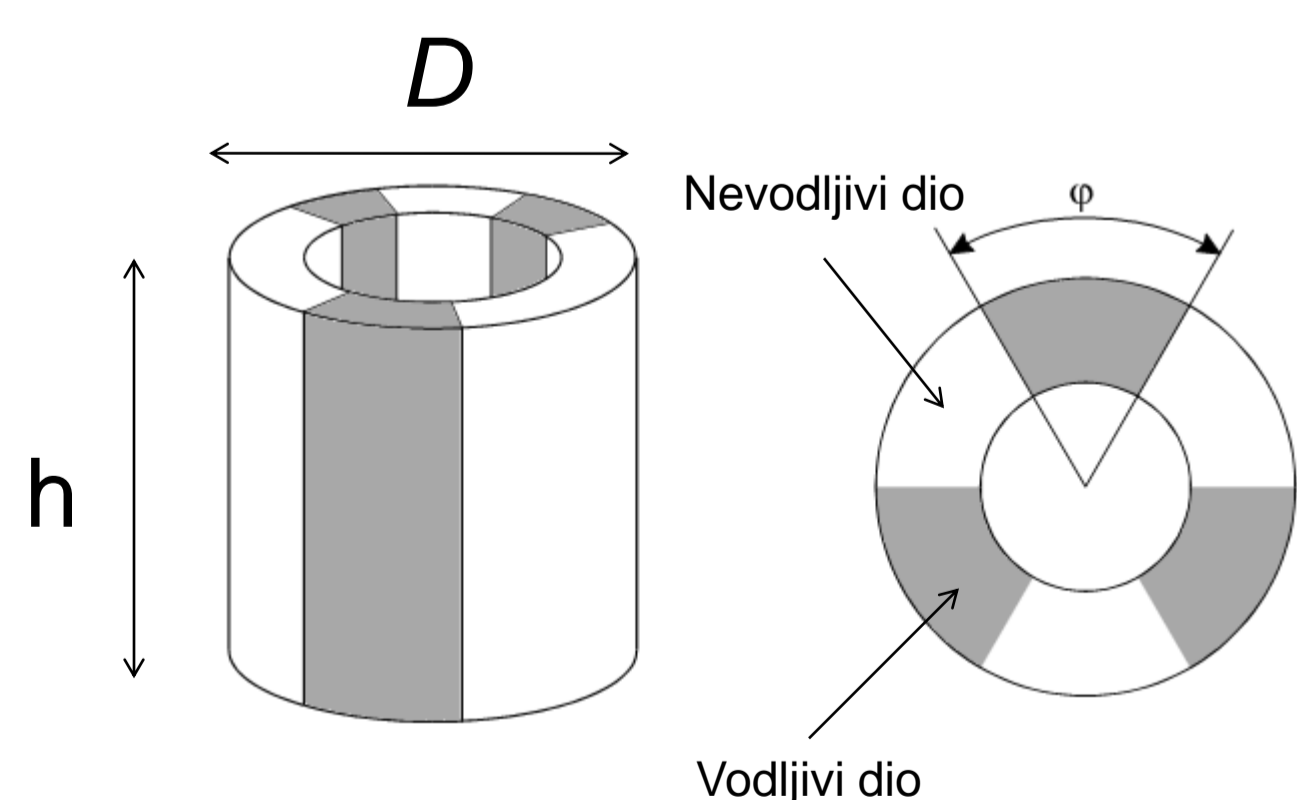
3 Konfiguracije elektroda



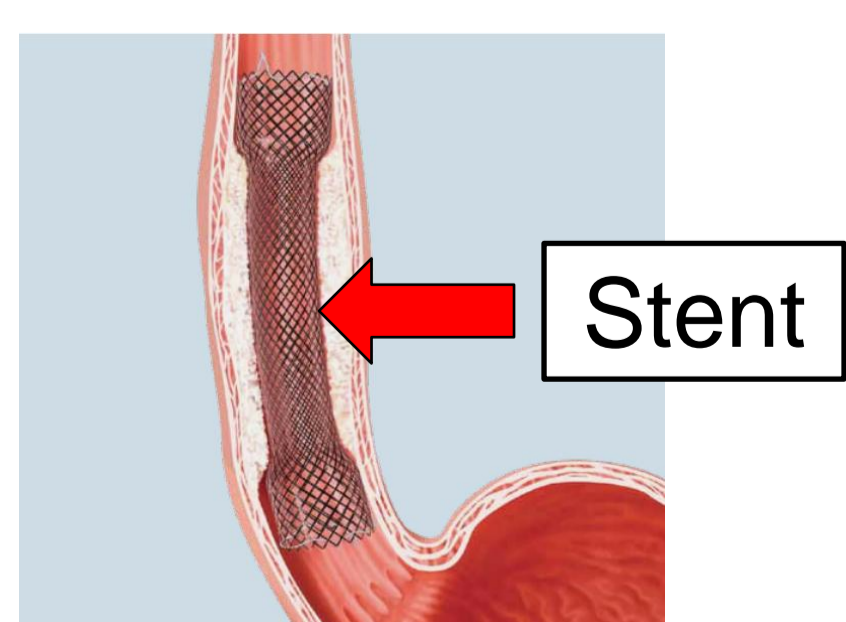
Prstenaste elektrode predstavljaju niz vodljivih prstenova na nevodljivom nosaču. Pri tome je visina elektrode h_1 2 mm, nevodljivog dijela h_2 8-12 mm, a promjer elektrode D je 6 mm.



Za slučajeve unutrašnjih tumorskih zadebljanja prstenastoj elektrodi se dodaje jedna **stožasta elektroda** za elektrokemoterapiju takvih zadebljanja kako bi se omogućila prohodnost jednjaka. Visina stožaste elektrode h_3 je 4 mm, a manji promjer d je 2 mm. Ostale dimenzije iste su kao kod prstenastih elektroda

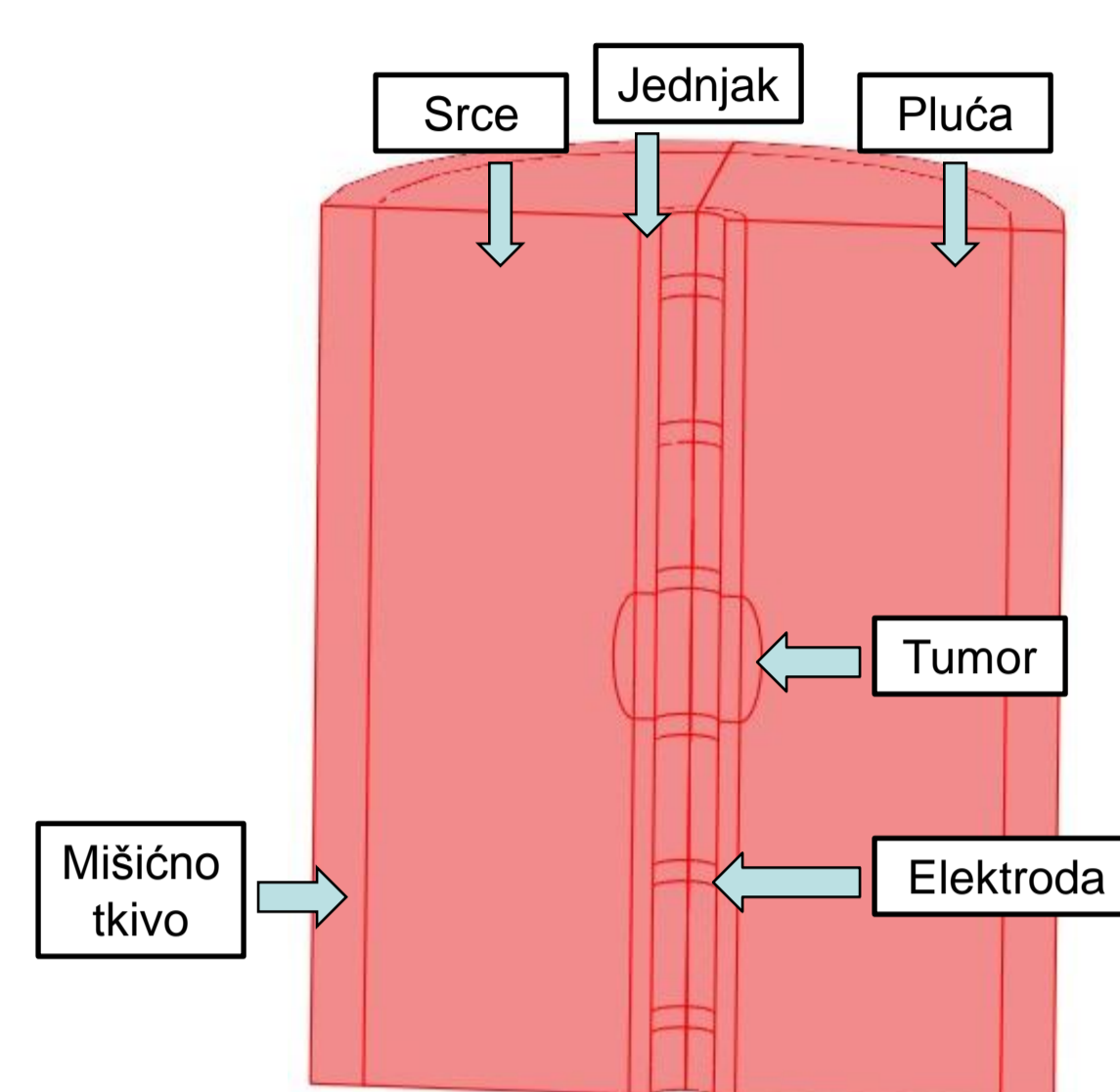


Izdužene elektrode oblikom su slične prstenastima, no u izvedbi su selektivne, tj. vode samo određeni dijelovi, u ovom slučaju svakih 30 i 60°. Prvenstveno su namijenjene vanjskim tumorskim zadebljanjima. Promjer im je također 6 mm, a visina elektrode h je 2 cm.



Elektrode u obliku stenta su izvedene za tumore u najnižem, ljevkastom dijelu jednjaka, adenokarcinome, a modelirane su po uzoru na Evolution stentove proizvođača Cook. Visina stenta je 8 cm, uži radijus 20 mm, a širi 25 mm.

4 Geometrijski model jednjaka i okolnog tkiva

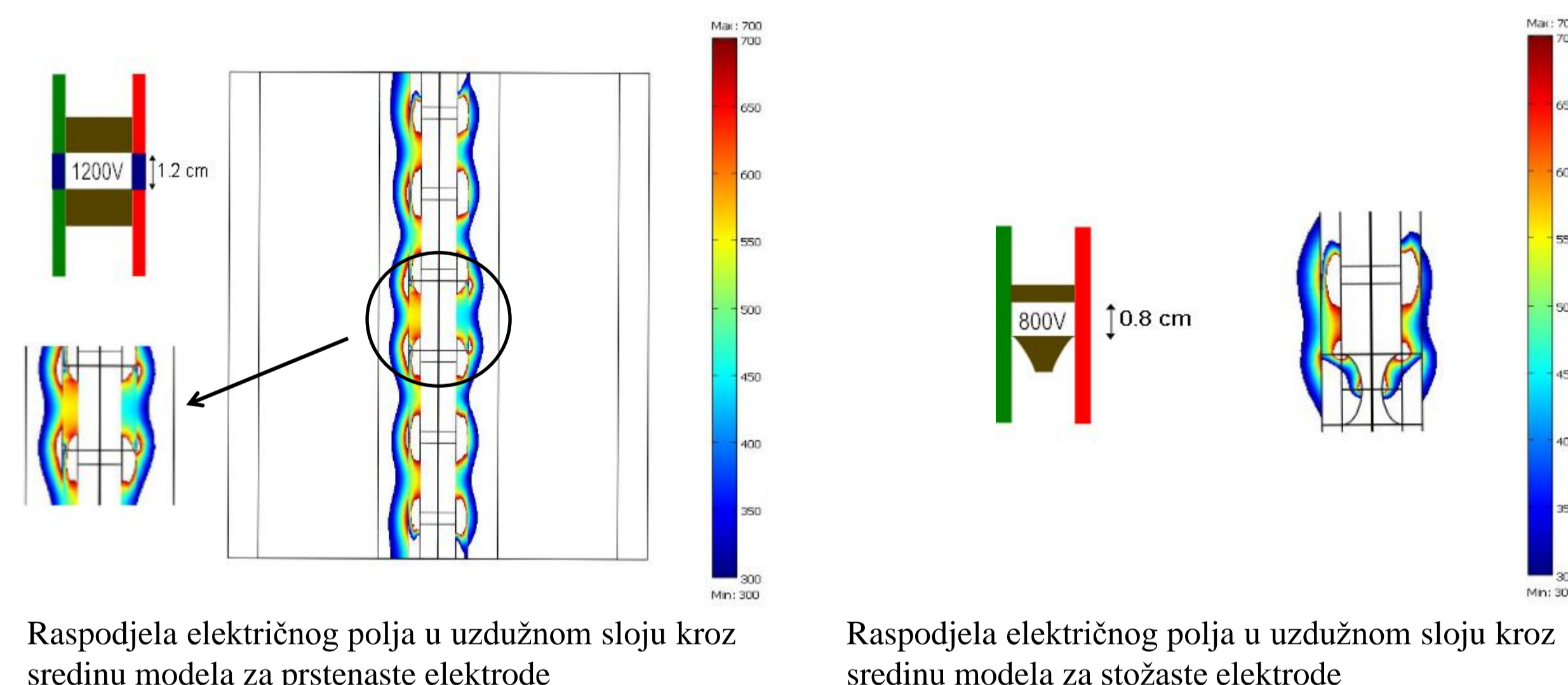


Prsni koš je pojednostavljeno prikazan kao slojeviti valjak sastavljen od tkiva koja se se pokazala bitnima za model. Jednjak je pri tome modeliran kao anizotropan, tj. vodljivost mu je veća u uzdužnom nego u poprečnim smjerovima. Tumor jednjaka je mnogo vodljiviji od zdravog tkiva jednjaka zbog veće prokrvljenosti.

Elektrode su umjesto cijelog svog volumena modelirane kao kontaktne površine s jednjakom i tumorom jednjaka. Pri tome su određivane raspodjele i za bipolarne i za unipolarne elektrode.

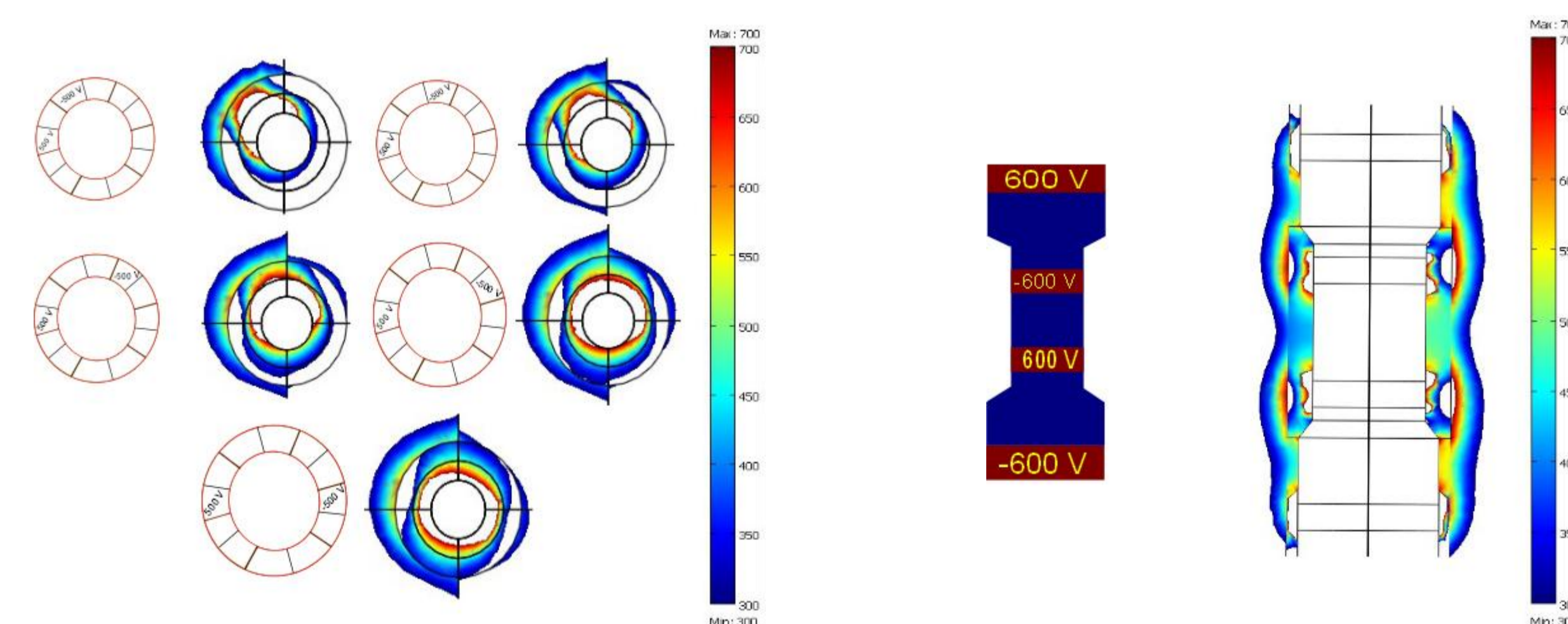
5 Rezultati

U programskom paketu Comsol Multiphysics obavljani su proračuni raspodjele električnog polja za sve četiri predložena konfiguracije elektroda. Pri tome su promatrane vrijednosti električnog polja od 300 V/cm do 700 V/cm. To su pretpostavljene vrijednosti za koje će stanična membrana biti permeabilizirana kako bi u stanicu mogao ući lijek, ali će ubrzo i zacijeliti. Za vrijednosti niže od 300 V/cm stanična membrana neće biti permeabilizirana, a za vrijednosti više od 700 V/cm neće se moći vratiti u svoje izvorno stanje pa će stanica biti uništena.



Raspodjela električnog polja u uzdužnom sloju kroz sredinu modela za prstenaste elektrode

Raspodjela električnog polja u uzdužnom sloju kroz sredinu modela za stožaste elektrode



Raspodjela električnog polja u poprečnom sloju kroz sredinu modela za izdužene elektrode. Unutrašnji prsten predstavlja jednjak, a vanjski tumorsko zadebljanje.

Raspodjela električnog polja u uzdužnom sloju kroz sredinu modela za elektrode u obliku stenta

6 Zaključak

Iz grafičkih prikaza rezultata može se vidjeti da se za svaku predloženu konfiguraciju elektroda može ostvariti prodiranje dovoljno jakog električnog polja (vrijednosti između 300 V/cm i 700 V/cm) u cijeli ili gotovo cijeli tumor. Najveći problem pri tome predstavlja brzi pad vrijednosti električnog polja unutar jako vodljivog tkiva tumora jednjaka. Obzirom na različite, nepravilne morfologije tumora problem određivanja konfiguracije elektroda za elektrokemoterapiju specifičnog oblika tumora nema jednoznačno rješenje, tj. moguće su različite kombinacije više navedenih tipova elektroda.