

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი



ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

ლალი ბიბილაშვილი გიორგის ასული

დოქტორანტის კოლოკვიუმი

„მობილური ტელეფონის ზემოქმედების შესწავლა ადამიანის მოდელზე“

მეცნიერ ხელმძღვანელი: ფიზ. მათ. მეცნიერებათა დოქტორი.

ემერიტუს პროფესორი რევაზ ზარიძე

მეცნიერ თანახელმძღვანელი: ფიზიკის დოქტორი

მიხეილ პრიშვინი

სამეცნიერო კვლევის აქტუალობა და მისი დასაბუთება.

მომხმარებელზე მობილური ტელეფონების ზემოქმედების შესწავლა დღესდღეობით ერთ–ერთი აქტუალური და მნიშვნელოვანი საკითხია, რადგან დღეს

მსოფლიოში თითქმის ყოველი ადამიანი მობილური გამოსხივების ზეგავლენის ქვეშ იმყოფება.

ლიტერატურული მიმოხილვა.

ბიოელექტრობა მეტად მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ცოცხალ ორგანიზმებში, ვინაიდან კომპონენტების დიდი რაოდენობა (უჯრედები, უჯრედოვანი მემბრანები, ნერვული უჯრედები) ელექტრულად მეტად მგრძობიარეა. სხეული ასევე შედგება ე.წ. რეცეპტორებისაგან რომლებიც ახდენენ ელექტრული პოტენციალის გენერირებას (ნერვული იმპულსების გავრცელება ცოცხალ ორგანიზმში). ამ მიმართულებით დიდი ყურადღება ეთმობა შემდეგი საკითხების შესწავლას: ენერჯის შთანთქმა ცოცხალ ორგანიზმებში, ნერვულ სისტემასთან ურთიერთქმედება, დაბალსიხშიროვანი მოდულირებული ველების გავლენა უჯრედოვანი მემბრანის არხებზე, მოლეკულური ეფექტები. ცნობილია ფაქტები, რომ RF და MW გამოსხივება ახდენს გავლენას ცოცხალ ორგანიზმებზე პირდაპირი და ირიბი სითბური ეფექტების, და არასითბური ეფექტების სახით. ბიოლოგიური ეფექტები დამოკიდებულია შიგა ელექტრომაგნიტურ ველზე. შიგა ველის დახასიათებისათვის შემოტანილია ე.წ. შთანთქმის კუთრი სიჩქარის (ვტ/კგ) (vt/kg) (SAR - Specific Absorption Rate) ცნება. ესაა დროის ერთეულში მასის ერთეულის მიერ შთანთქმული ენერჯია. იმის მიხედვით, თუ რა მასაზე და როგორ არის იგი დათვლილი, SAR გვაქვს წერტილოვანი და სხვადასხვა მასაზე გასაშუალოებული. ნაჩვენები იქნა, რომ პულსირებადი დასხივება უფრო ახდენს გავლენას, ვიდრე მუდმივტალღოვანი იგივე სიმძლავრეზე. ნერვული სისტემის რეაქციის გამოკვლევა სხვადასხვა სახის დასხივებაზე განსხვავებულ და ხშირად საპირისპირო შედეგებს იძლევა, რის გამოც ძნელია რაოდენობრივი დასკვნების გამოტანა. “მიკროტალღოვანი სინდრომის” პრობლემა დასხივების დაბალ დონეზე, წარმოიშვა რამდენიმე ათეული წლის წინ აღმოსავლეთ ევროპაში. ეს სინდრომი შეიცავს შემდეგ ნიშნებს: თავის ტკივილი, ემოციური არასტაბილურობა, გამოფიტვა, მეხსიერების დაქვეითება. ამ პრობლემებზე პასუხის გაცემა რთულია საიმედო დოზიმეტრიული მონაცემების არ არსებობის გამო. “RF სინდრომი”, როგორც ავადმყოფობა, განხილულია [6] -ში. SAR- ის გაზომვა ცოცხალი ორგანიზმებისათვის რთულია და ხშირად შეუძლებელიც. ამავდროს, მაღალი სიხშირის (1 გჰც და ზემოთ) შემთხვევაში ველი თითქმის არ აღწევს ორგანიზმში და ხელსაწყოს მიერ გამოსხივებული ენერჯის შთანთქმა ხდება სხეულის ზედაპირზე. ასევე ნაჩვენები იქნა, რომ მიუხედავად SAR- ის შესაძლო მნიშვნელობებისა ცალკეულ ნაწილებში, შეიძლება ბიოლოგიური ქსოვილის სითბური თვისებები ისეთი იყოს, რომ არ

გამოიწვიოს ტემპერატურის მატება; ან პირიქით, შეიძლება SAR- ის მნიშვნელობა არ იყოს მაღალი, მაგრამ ბიოლოგიური ქსოვილი მეტად მგრძობიარე აღმოჩნდეს და მცირე ტემპერატურის მატებაც კი კრიტიკული აღმოჩნდეს ადამიანისათვის (მაგალითად ჰიპოფიზი, თეთრი და რუხი ნივთიერებები).

ასევე მნიშვნელოვან როლს თამაშობს გარემო, რომელშიც იმყოფება ადამიანი, და ცალკეული ნაწილების ლოკალურად დასხივების შემთხვევაში, სისხლძარღვოვანი სისტემა [7-8]. საფრთხის ქვეშ მყოფი ერთ-ერთი ნაწილია თვალები. მმაგალითად, ხელის რადიოგადამცემის მუშაობისას ანტენა იმყოფება ადამიანის სახის წინ [9]. მობილური ანტენის მიერ გამოწვეული სითბური ეფექტები ნაწილობრივ განხილულია [10-15] შრომებშიც.

მედიცინაში ემ ველებით გამოწვეული სითბური ეფექტების მნიშვნელობა ნაჩვენებია, მაგალითად ნაშრომებში [11]-ში და [16]-ში, სადაც გამოკვლეულია SAR და ტემპერატურის მატება თვალში სტიმულატორის იმპლანტაციისას და მაგნიტური რესონანსის მეთოდით გამოკვლევისას.

უფრო მეტიც, ხშირად სითბურ და არასითბურ ეფექტებს ერთდროულად აქვთ ადგილი და ცხადია ერთმანეთზეც ახდენენ გავლენას. მიუხედავად ამისა ისინი ხშირად ცალ-ცალკე არიან გამოკვლევის საგანი.

ე.მ. გამოსხივებით გამოწვეული არასითბური ეფექტები [7-8, 17-20] უფრო ნაკლებადაა შესწავლილი თავისი სირთულის გამო. გამოკვლევები ძირითადად ექპერიმენტული ხასიათს ატარებს. დღესდღეობით ვარაუდობენ არასითბურ ეფექტებს, რომლებიც შეიძლება გამოწვეული იყვნენ RF და MW გამოსხივებით: იონების კონცენტრაციის ცვლილება უჯრედის მემბრანებში [22], არასითბური ეფექტები პროტეინებში [14], იმუნურ სისტემებში [16].

ბარანსკიმ და სხვ. აჩვენეს, რომ RF გამოსხივებამ, $5-10 \text{ mW/sm}^2$ სიმძლავრეებისათვის, შეიძლება გამოიწვიოს სისხლის უჯრედებისათვის ჰემოგლობინის მიმდებლობის შეცვლა. ბარანსმა [21] ასევე აჩვენა, რომ ზებრა თევზის ემბრიონის სიკვდილის მიზეზი შეიძლება ყოფილიყო ოსმიური წნევის დისბალანსი, გამოწვეული $5-10 \text{ kW/sm}$ ველით.

როგორც ზემოთ მოყვანილი მცირე მიმოხილვიდან ჩანს, საკითხი ემ გამოსხივების შესაძლო საფრთხის შესახებ არც თუ ისე ნათელია. არსებული უსაფრთხოების სტანდარტები საზღვრავენ ემ გამოსხივების დონეს ისეთი შემთხვევებისათვის, რომლებიც საფრთხეს უქმნიან ადამიანის ჯანმრთელობისთვის. მაშინ როცა შეიძლება არსებობდეს რაიმე სხვა ბიოლოგიური ეფექტიც, ზემოქმედებაც, მაგრამ ის არ ითვლებოდეს ჯანმრთელობისათვის საშიშად.

დღესდღეობით სახეზე გვაქვს შემდეგი სურათი:

ადამიანთა დიდ რაოდენობას აქვს მობილური ტელეფონი და აწუხებთ ექვი ჯანმრთელობის საფრთხის შესახებ, რასაც შეიძლება იწვევდეს მობილური ტელეფონის მოხმარება. მომხმარებელთა უმრავლესობა კი იყენებს რადიო-ტელემიმდებებს, მაგრამ ბევრი მათგანს არ აწუხებს ექვი ამ ხელსაწყოების მიერ გამოსხივებული ენერჯის მავნე ზემოქმედების შესახებ, თუმცა მიკროტალღოვანი სიხშირეების მთელი ერთობლიობა იწვევს იგივე ბიოლოგიურ ეფექტს.

არსებულ რეკომენდაციებში მოცემულია ორი სახის შეზღუდვა: პირველი_ძირითადი შეზღუდვები, რომლებიც ყოველთვის უნდა სრულდებოდეს; და მეორე_შეზღუდვები, რომლებიც შეიძლება დარღვეულ იქნას მაშინ, როცა ძირითადი შეზღუდვების პირობები ძალაშია. ძირითადი (ბაზური) შეზღუდვები გამოხატულია სიდიდეებით, რომლებიც ახასიათებენ სხეულს და არ იზომებიან, მაგალითად SAR-ით. მეორე ტიპის შეზღუდვები გამოხატულია სიდიდეებით, რომლებიც იზომებიან ადამიანის გარეშე, მაგალითად ელექტრული ველის ამპლიტუდის დონეები. არსებობს თეორიები და მოსაზრებები, რომლებიც ადგენენ კავშირს ამ ორი ტიპის სიდიდეებს შორის. მეტნაკლებად მეცნიერულად შესწავლილ ბიოლოგიურ ზემოქმედებად ითვლება სითბური ეფექტები და დღემდე არსებული რეკომენდაციები ძირითადად ეფუძნება სითბური ეფექტებით გამოწვეულ შეზღუდვებს. რეკომენდაციები ძირითადად ეფუძნება ერთ წყაროს. ეს წყარო არის მსოფლიოს ჯანმრთელობის ორგანიზაცია (World Health Organization (WHO)), რომლის რეკომენდაციებიც თავის მხრივ ეფუძნება არაიონიზებადი რადიაციისგან დაცვის საერთაშორისო კომისიის (Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)) მიერ 1998 წელს გამოქვეყნებულ რეკომენდაციებს 300 GHz სიხშირემდე [22]

დიდი მნიშვნელობა აქვს იზოთერმული და მიკროთერმული ფაქტორების გათვალისწინებას. მათი გათვალისწინებით დასაშვები დასხივების სიმძლავრე დაახლოებით 100-ჯერ უნდა შემცირდეს დღევანდელთან შედარებით, რაც დიდ ფინანსური და ინდუსტრიული ცვლილებების გამომწვევი მიზეზი შეიძლება გახდეს.

რეკომენდაციები ზოგიერთ შემთხვევაში შეიცავენ წინააღმდეგობას ან მათი ინტერპრეტირება სხვადასხვაგვარადაც შეიძლება. მაგალითად: WHO [22] გვ. 21 ნათქვამია: "ნორმალურ სითბურ პირობებში, 1-4W/kg SAR მნიშვნელობისთვის, 30წთ ხანგრძლივობის დასხივებისას, ტემპერატურის მატება ნაკლებია 1°C-ზე janmrTeli, zrdasruli adamianebisaTvis". ჯანმრთელი, ზრდასრული ადამიანებისათვის". იქვე, გვ. 23 ნათქვამია: არასასურველ სითბურ პირობებისა და შესაძლო გვიანი ეფექტებისათვის, შემოტანილია უსაფრთხოების ფაქტორი 10; ანუ გვაქვს დასაშვები მნიშვნელობა 0.4W/kg". Eeg. ი. სტანდარტი არასასურველ გარემოში დასაშვებ SAR მნიშვნელობას ანგარიშობს არა 1, არამედ 4W/kg მნიშვნელობიდან. 1- დან რომ აგვეთვალა, მაშინ ფაქტორი გამოვიდოდა 2.5, რაც არ არის დიდი რიცხვი. იქვე ნათქვამია, რომ ზოგადად, საზოგადოებისთვის და ემ ველის მიმართ მგრძნობიარე ადამიანებისათვის, უსაფრთხოების დონე არის 0.08W/kg, ანუ დამატებითი ფაქტორი არის 5. ე. ი. პირველ ნორმასთან შედარებით, სულ დამატებითი ფაქტორი გამოდის 50, თუ ავითვლით 4 W/kg-დან; და 12.5, თუ ავითვლით 1 W/kg-დან. ანუ, უმუალოდ

საფრთხის ქვეშ მყოფი ჯანმრთელი მუშა-მოსამსახურისათვის უსაფრთხოების ფაქტორი არის 10 და 2.5, 4 და 1W/kg-თვის შესაბამისად. უსაფრთხოების სტანდარტმა უნდა გაითვალისწინოს შემდეგი ფაქტორები: დასხივებისას ტემპერატურის მატება უნდა იყოს 1⁰C-ზე ნაკლები; დასხივება შეიძლება გრძელდებოდეს არა 30წთ-ს, არამედ 24 სთ-ს განმავლობაში; ყველა ზრდასრული ადამიანი არ არის ჯანმრთელი; საზოგადოებაში ზრდასრული ადამიანების გარდა არიან ბავშვებიც და ყველა ბავშვი არაა ჯანმრთელი; შეიძლება არსებობდეს არასასურველი სითბური გარემო; და ბოლოს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს გვიან გამომჟღავნებულ ეფექტებს, რომლებსაც ეს სტანდარტი არ ითვალისწინებს. კერძოდ, შესწავლისას დადგენილ იქნა ამთვისებლობის ცვლილება 0.016W/kg SAR მნიშვნელობისთვის, რაც 5-ჯერ ნაკლებია ვიდრე საზოგადოდ მიღებული დადგენილი სტანდარტი.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ სიმძლავრე ველის ამპლიტუდის კვადრატის პროპორციულია, დადგენილი ევროსტანდარტი ველის მნიშვნელობისათვის გამოდის 41.2 V/m. ნუ ელექტრული ველისათვის დასაშვები ნორმა გამოდის 2.5-ჯერ მეტი მუშა-მოსამსახურისათვის, ვიდრე ეს რეკომენდირებულია ზოგადი პუბლიკისათვის. ზოგიერთ ქვეყანაში მიღებულია სხვადასხვა ნორმები. მაგალითად, ბელგიაში-20.6V/m, იტალიაში-20.0V/m, ოღო 4 საათისა და მეტი დასხივების შემთხვევაში, 6.0V/m. ზემოთხსენებული ეფექტის შემთხვევაში ველის მნიშვნელობა არის 18V/m. თუ გავითვალისწინებთ იზოთერმულ და მიკროთერმულ ეფექტებს, მაშინ დასაშვები ველის მნიშვნელობა კიდევ უფრო მცირდება - 4V/m-მდე. 4V/m არის ასევე ზღვარი ტელე და რადიო სიხშირული (TV/RF) გამოსხივებისათვისაც.

როგორც ვხედავთ პრობლემა კომპლექსურია. შეგვიძლია ვთქვათ, რომ დღემდე არსებული სტანდარტები არ ითვალისწინებენ არასითბურ ეფექტებს – ისინი გათვლილი არიან მხოლოდ სწრაფ ეფექტებზე და ასევე მხედველობაში არ იღებენ შესაძლებლობას, რომ საკმარისად დიდი დროის დასხივების შემთხვევაში, მომხმარებელი შეიძლება აღმოჩნდეს საფრთხის ქვეშ. ამ ორი ფაქტორის გათვალისწინება კი რთულდება იმითაც, რომ არ არსებობს საკმარისი სტატისტიკა და საკმარისი ექსპერიმენტული მონაცემები. ნაშრომის ძირითადი მიზანია, ელექტრომაგნიტური ველის გავლენის შეფასება ამ ველის ქვეშ მყოფ ობიექტზე, კომპიუტერული მოდელირების საშუალებით. ემ გამოთვლითი მეთოდი და პროგრამული კოდი ეფუძნება დროით არეში სასრული სხვაობების მეთოდის (FDTD) გამოყენებას მაქსველის განტოლებებისათვის, სითბური მოვლენების მოდელირება და ანალიზი – კი ბიოსითბოს განტოლების გამოყენებით. FDTD მეთოდი საშუალებას იძლევა შესწავლილ იქნას რთული, არაერთგავროვანი ობიექტები. FDTD მეთოდით მიღებული შAდ-ის განაწილება, ხოლო შემდეგ მიეწოდება “ბიოსითბოს ძრავას”, რომელიც SAR- ით და შთანთქმული ემ ველის ენერგიით ითვლის გამოწვეულ ტემპერატურის მატებას.

კვლევის მიზანი და ამოცანები.

კვლევის ძირითადი მიზნებია მობილური ტელეფონის მიერ გამოსხივებული და შემდგომ ადამიანის თავში შთანთქმული ენერჯის შეფასება. მიზანია შეფასდეს რამდენად მაკნეა ახლო მდებარე მცირე სიმძლავრის ელ. მაგ. გამომსხივებელის გამოსხივებული და შემდეგ ადამიანის ქსოვილის მიერ შთანთქმული ენერჯის ზემოქმედება მომხმარებელზე. ეს შთანთქმული ე.მ ენერჯია შემდგომ გარდაიქმნება სითბოდ, ანუ ქსოვილში ტემპერატურა იმატებს. საერთაშორისო სტანდარტის თანახმად აკრძალულია ისეთი მოწყობილობით სარგებლობა, რომელიც გამოიწვევს ქსოვილში ტემპერატურის ზრდას 1°C . მობილური ტელეფონების გამოსხივების ზემოქმედების შესწავლა მიმდინარეობს ბევრ კვლევით ლაბორატორიაში.

წინა წლებში ჩატარებული იყო კვლევები მოზრდილი მამაკაცის თავის მოდელზე და იყო შესწავლილი კორელაცია მომხმარებლის თავში შთანთქმულ კუთრ სიმძლავრესა (SAR) და ქსოვილში ტემპერატურის მატებას შორის. ასევე, შესწავლილ იქნა შემთხვევები სხვადასხვა სტანდარტული ანტენის მიერ გამოსხივებული ველის მახლობლად. კვლევები ტარდებოდა მხოლოდ მამაკაცის თავის მოდელის შემთხვევისათვის, სადაც არ იყო გათვალისწინებული მომხმარებლის ხელი, რომელსაც უჭირავს მობილური ტელეფონი. მნიშვნელოვანია ამ კვლევის ჩატარება ბავშვის მოდელზე, რადგან მისი სხეული უფრო ფაქიზია და შესაბამისად, მობილურ გამოსხივებას მასზე უფრო დიდი ზეგავლენა ექნება. ასევე, გასათვალისწინებელია მომხმარებლის თავში შთანთქმული სიმძლავრის შეფასება ხელის (რომელსაც უჭირავს ტელეფონი) გათვალისწინებით და შედარებითი ანალიზის გაკეთება ხელის გარეშე შემთხვევებისთვის. რადგან ხელი, რომელსაც უჭირავს ტელეფონი შთანთქავს ენერჯის ნაწილს. მნიშვნელოვანია ასევე მაქსიმალური შთანთქმის კოეფიციენტის (SAR) დამოკიდებულების შესწავლა მობილური ანტენის შეთანხმების პირობებზე. რეკომენდაციების შემუშავება მობილური ტელეფონის სწორად გამოყენებისთვის, რათა მინიმუმამდე იყოს დაყვანილი თავში შთანთქმული სიმძლავრის მნიშვნელობები.

კანონის თანახმად ადამიანზე რეალური ცდების ჩატარება იკრძალება, ამიტომ კვლევები ტარდება კომპიუტერული მოდელირებით. ამ მიზნით შეიქმნა შვეიცარიაში ანატომიური არაერთგვაროვანი 4 ადამიანის მოდელი - კაცის, ქალის, ფეხმძიმე ქალისა და ბავშვის მოდელები 1 მმ სიზუსტით ყველა ფიზიკური პარამეტრის გათვალისწინებით. ამ მოდელებს უწოდეს ვირტუალური ოჯახი.

ვირტუალური მოდელების ელექტროგამტარებლობისა და დიელექტრიკული შეღწევადობის სიდიდეები თითოეული ქსოვილისა და ორგანოსათვის სხვადასხვაა და დამოკიდებულია სიხშირეზე. ეს სიდიდეები აღებულია იტალიის ეროვნული კვლევის საბჭოს (<http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop>) მონაცემებიდან, ხოლო გასაშუალოებული ქსოვილების მნიშვნელობები აღებულია (www.fcc.gov/fcc-bin/dielec.sh) - დან.

ანტენის თეორიიდან ცნობილია, რომ გადამცემი ანტენის ველი იყოფა ორ რეგიონად: ახლო და შორ ველებად. შორი ველის ზონაში E და H ველები ფაზაშია და ქმნიან გამრბენ ტალღას, ხოლო მათი ფარდობა უდრის გარემოს წინააღმდეგობას (თავისუფალი სივრცის). ამავდროულად, ახლო ველის ზონაში ცუდი შეთანხმების დროს ჩნდება ძლიერი და მაღალი რეაქტიული ველების რიცხვითი მნიშვნელობები.

ამ ზონაში E/H შეფარდება მნიშვნელოვნად იცვლება და დამოკიდებულია შეთანხმების პირობებზე. ელექტრული ანტენის შემთხვევაში E/H – ის შეფარდების ახლო ველი არის ბევრად უფრო მაღალი. ცნობილია, რომ მობილურის სიხშირის დიაპაზონში E ველი განისაზღვრავს შთანთქმულ კუთრ სიმძლავრეს – SAR ტელეფონის მიხედვით. აქამდე, წინა კვლევებში SAR და ტემპერატურის მატება იყო დანორმირებული ანტენის 1 ვატ სიმძლავრეზე. რადგან შთანთქმის კუთრი სიმძლავრე დამოკიდებულია მხოლოდ E ველზე, ამიტომ ძალიან მნიშვნელოვანია E/H შეფარდების მინიმუმამდე დაყვანა. ეს მიიღწევა ანტენის პარამეტრების საუკეთესო შეთანხმებით, როცა რეაქტიული ელექტრული ველის დაძაბულობა არის დაბალი.

კვლევის მეთოდოლოგია.

კვლევა შეიცავს შემდეგ ეტაპებს:

ელექტროდინამიკური ამოცანა: სხვადასხვა ტიპის ანტენების მიერ გამოსხივებული ემ ველის განაწილება ადამიანის ანატომიურ თავში - ე.ი დიფრაქციის ამოცანა ადამიანზე

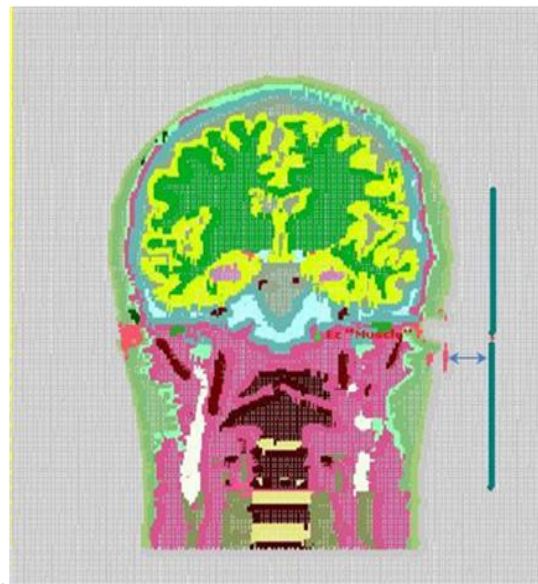
ადამიანის ქსოვილის შთანთქმის კუთრი სიმძლავრის (SAR-is) განაწილების დადგენა. შთანთქმული ენერჯიის განსაზღვრა.

ქსოვილში ე.მ. ველის ზემოქმედებით გამოწვეული ტემპერატურის ნაზრდის განაწილების დადგენა. სითბური განტოლების ამოხსნა.

1. ელექტროდინამიკური ამოცანა გულისხმობს გამომსხივებელის მიერ გამოსხივებული ელექტრული ველის განაწილების განსაზღვრას ადამიანის ქსოვილში. რიცხვითი ექსპერიმენტები ტარდებოდა გამოყენებითი ელექტროდინამიკის ლაბორატორიაში სპეციალურად ამ მიზნით შექმნილი პროგრამული პაკეტის – FDTDLab - ის საშუალებით.

FDTDLab პროგრამა გამოთვლებს ატარებს დროით არეში სასრული სხვაობების მეთოდით (FDTD), რომელიც წარმოადგენს მაქსველის განტოლებების დისკრეტიზაციას სხვაობების მეთოდით.

სურ 1. ზე ნაჩვენებია ვირტუალური მოდელის – დიუკის თავი კვეთაში, რომელიც აგებულია FDTDLab პროგრამაში. გამოთვლის არედ აღებულია დისკრეტული ბადე, რომლის ყოველი უჯრედი 1 მმ-ია. მანძილს ანტენასა და ადამიანს შორის განვსაზღვრეთ ისე



სურ 1. FDTDLab-ში მანძილის განსაზღვრა ანტენიდან ანატომიური მოდელის თავამდე დიპოლური ანტენის შემთხვევაში კვების წყაროს კვეთაში

როგორც ნაწვენებია სურათზე, კერძოდ – ვიღებთ უმცირეს მანძილს ანტენიდან ყურამდე იმ სიბრტყეში, რომელშიც აღებულია ანტენის კვების წყარო.

2. SAR (*Specific Absorption Rates* — შთანთქმის კუთრი სიმძლავრის კოეფიციენტი) — განსაზღვრავს ელექტრომაგნიტური ველის ენერგიას, რომელიც გამოიყოფა ადამიანის ქსოვილებში 1 წამის განმავლობაში.

ჩვენს ექსპერიმენტებში ვპოულობთ წერტილოვან, 1გ მასასა და 10გ მასაზე გასაშუალოებულ SAR-ის მნიშვნელობებს, რომლებსაც შემდგომ ვანორმირებთ 1 ვატ გამოსხივებულ სიმძლავრეზე.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2$$

სადაც, σ და ρ ნივთიერების ელექტრული გამტარებლობაა და სიმკვრივე მოცემულ წერტილში..

როდესაც ამოვხსნით ელექტრომაგნიტურ ამოცანას და ვიპოვით შთანთქმული ენერგიის კუთრი სიმძლავრეს, შეგვიძლია გამოვთვალოთ შესაბამისად ტემპერატურის ნაზრდი (იგულისხმება ტემპერატურის ნაზრდი ორ სტაციონარულ მდგომარეობას შორის - დასხივებადმე და დასხივების შემდეგ) ანატომიური მოდელის ქსოვილში “პენესის” სითბოს გავრცელების განტოლების საშუალებით (თითოეული უჯრედისათვის):

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \rho SAR + A(\vec{r}, t) - B(T - T_b(\vec{r}, t))$$

სადაც, A – მეტაბოლური პროცესების კოეფიციენტი, T_b – სისხლის ტემპერატურა, T – ქსოვილის ტემპერატურა, B – სისხლის შეღწევის კოეფიციენტი.

რადგან ხელისა და თავის ზომები და მათი მდებარეობა შეგვიძლია შევადაროთ მობილური ტელეფონის დიაპაზონში ტალღის სიგრძეებსა, ამიტომ მათი მდებარეობით განისაზღვრება გამრბენი ველის პირობა. ხელის სხვადასხვა მდგომარეობა ცვლის გამოსხივების დიაგრამას და მოქმედებს შესაბამისი ველის წყაროზე. მაშასადამე, თავი და ხელი შეიძლება განისაზღვროს როგორც ანტენის ნაწილი. ასეთ შემთხვევაში ეფექტური D ზომა ასევე შეიცვლება, ხელისა და თავის

გათვალისწინებით.

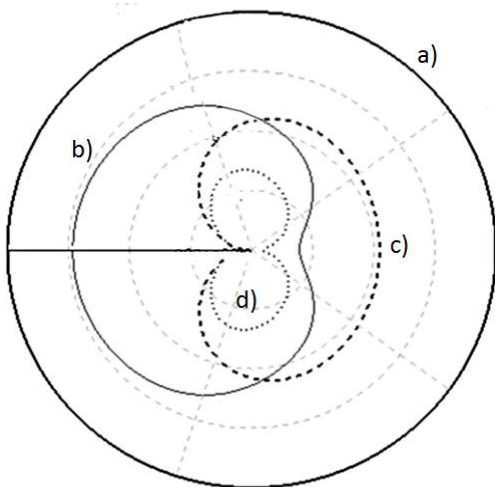
კარგი შეთანხმების შედეგად გვექნება ზუსტად ისეთი გამრბენი ტალღა, რომელიც ობიექტის ზედაპირზე მოედინება კვების წყაროს მინიმალური დამაბულობით რომელიც საჭიროა საბაზო ანტენასთან დასაკავშრებლად.

ნებისმიერი ანტენის გარემომცველ სივრცეში არსებობს ახლო ველის ზონა. ამ არეში ძირითადად რეაქტიული ველებია, რაც იმას ნიშნავს, რომ E და H ველები არ ემთხვევიან ფაზით ერთმანეთს, განსხვავებით გამრბენი ტალღისაგან, სადაც ველები ურთიერთმართობულია და იმყოფება ერთ ფაზაში. რეაქტიული ველის საზღვრები განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

სადაც, D არის ანტენის მაქსიმალური ზომა, λ – ტალღის სიგრძეა.

ანტენის პოზიციის სხვადასხვა სცენარების შემთხვევაში მიმმართველი დიაგრამა თავისა და ხელის შემთხვევაში წარმოდგენილია სურათზე. სურათიდან ცხადად ჩანს, რომ ანტენის დიაგრამა იცვლება თავისა და ხელის დამატებისას. ასევე ცხადია, რომ ხელის არსებობა შეცვლის მაქსიმალური SAR –ისა და ტემპერატურის მატების მნიშვნელობებს და მათი მდებარეობა იქნება წანაცვლებული პირვანდელ მდებარეობასთან შედარებით.



a) წყაროს დიაგრამა

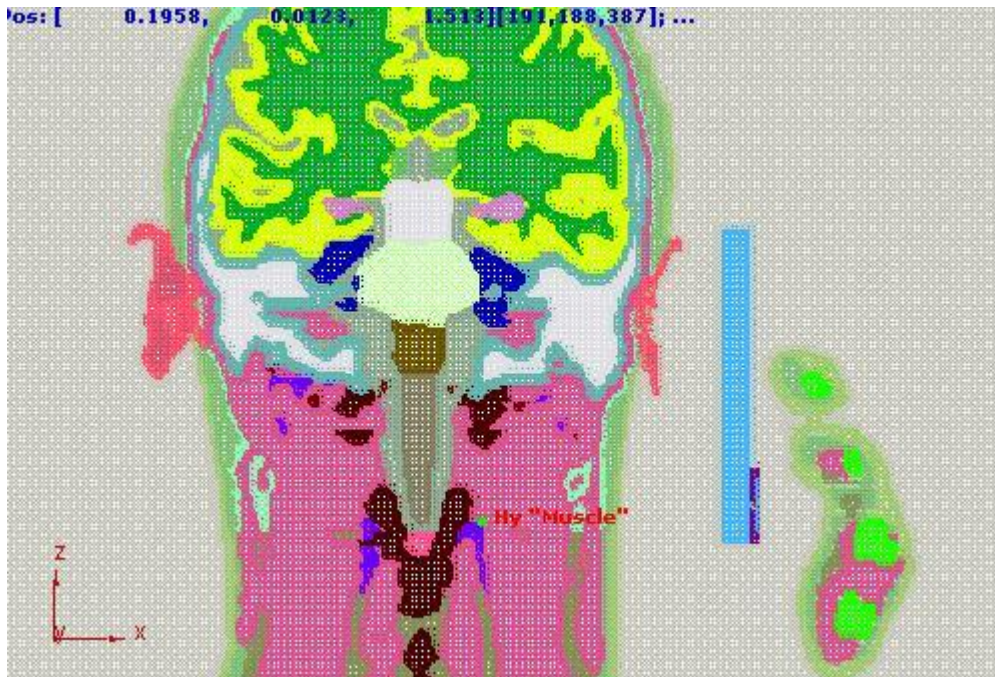
b) ხელის დიაგრამა

c) თავის დიაგრამა

d) თავისა და ხელის დიაგრამა

უპირველეს ყოვლისა, ცხადია, რომ გამოსხივების სრული სიმძლავრე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია სცენარების მოდელირებაზე. ხელისა და თავის არსებობა მკვეთრად ცვლის მიმართველ დიაგრამას. გარდა ამისა, ეს შედეგი იმას ნიშნავს, რომ რეაქტიული ველის არე უფრო დიდია, ვიდრე რამოდენიმე ტალღის სიგრძე. არათავსებად შემთხვევაში წყაროს გამოსხივების ახლო არეში ჩნდება მდგარი ტალღა, რომელიც იწვევს მაღალ რეაქტიულ ველებსა და ძლიერ შთანთქმას. ამ რეაქტიული ველის არეები ბევრად უფრო დიდია, ვიდრე ტელეფონი და შეიცავს ყველა ახლო მდებარე ობიექტს – ყურს, თავსა და ხელს.

აღებულია ორი მოდელი: დიუკის (მოზრდილი მამაკაცის) თავი (სურ. 1) და ხელი და მხოლოდ თავი. ორივე შემთხვევაში აღებულია ბრტყელი ტიპის (Patch FR4) ანტენა, დაშორებული 20 მმ მანძილზე ყურიდან. ხელის თითები ოდნავ ეხება ანტენას. გამოთვლები ჩატარდა 900 მგჰ სიხშირეზე. ხოლო, ვირტუალურ ადამიანად გამოიყენებოდა შვეიცარიაში დამზადებული 1 მმ სიზუსტის მქონე არაერთგვაროვანი მოდელი, ყველა ფიზიკური პარამეტრის გათვალისწინებით. ყური, რომელთანაც მოთავსებული ანტენა, შეკუმშულია. ხელი ასევე არაერთგვაროვანია, მიღებულია დიუკის მოდელიდან სივრცული მოზრუნებით.



სურ. 1 არაერთგვაროვანი თავისა და ხელის მოდელი

ჩვენ მიგვაჩნია, რომ ცუდი შეთანხმება არის მიზეზი SAR –ისა და ტემპერატურის მატების მაღალი მნიშვნელობები მომხმარებლის თავში. გარდა ამისა

დღევანდელი მობილური მოწყობილობები „ჭკვიანია“, რაც იმაში მდგომარობს რომ ავტომატურად არეგულირებენ გადაცემის სიმძლავრეს, რათა მღებულ იქნას კარგი კავშირი საბაზო ანტენასთან. ეს იმას ნიშნავს, რომ მობილური მოწყობილობის ცუდი შეთანხმების დროს იზრდება გამოსხივების სიმძლავრე შორ ზონაში E ველის კარგი კავშირის მისაღწევად. ზუსტად ეს მისი ფუნქცია წარმოადგენს მაღალი SAR –ის ერთ–ერთ მიზეზს. ჩამოთვლილი შემთხვევებიდან გამომდინარეობს, რომ არსებობს ძლიერი კავშირი SAR–ს, ტემპერატურის მატებასა და შესაბამისი გამომსხივებელის თავსებადობას შორის.

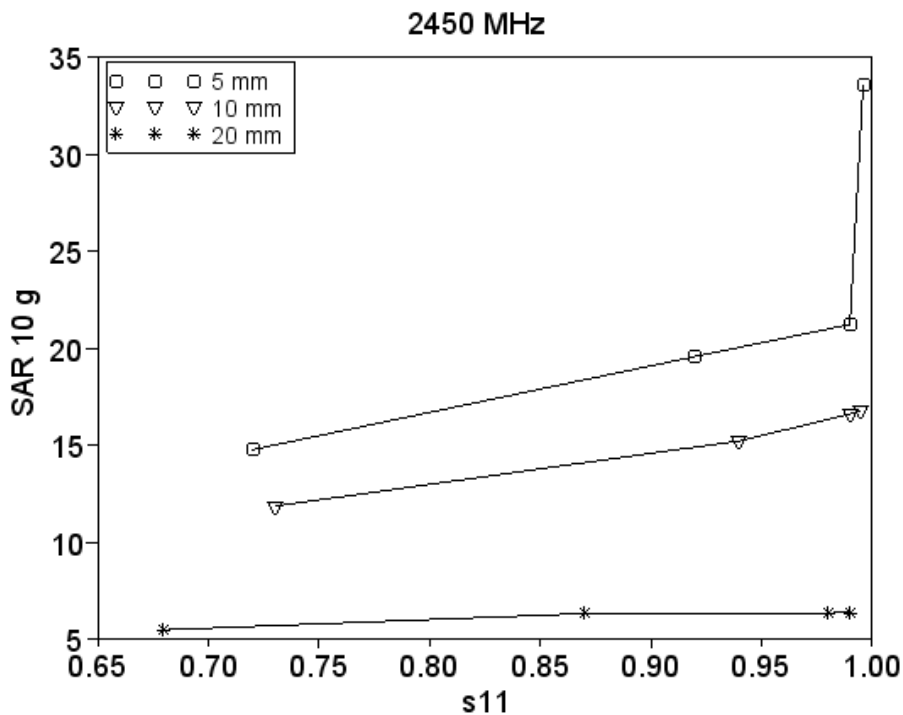
მიღებული სამეცნიერო შედეგები.

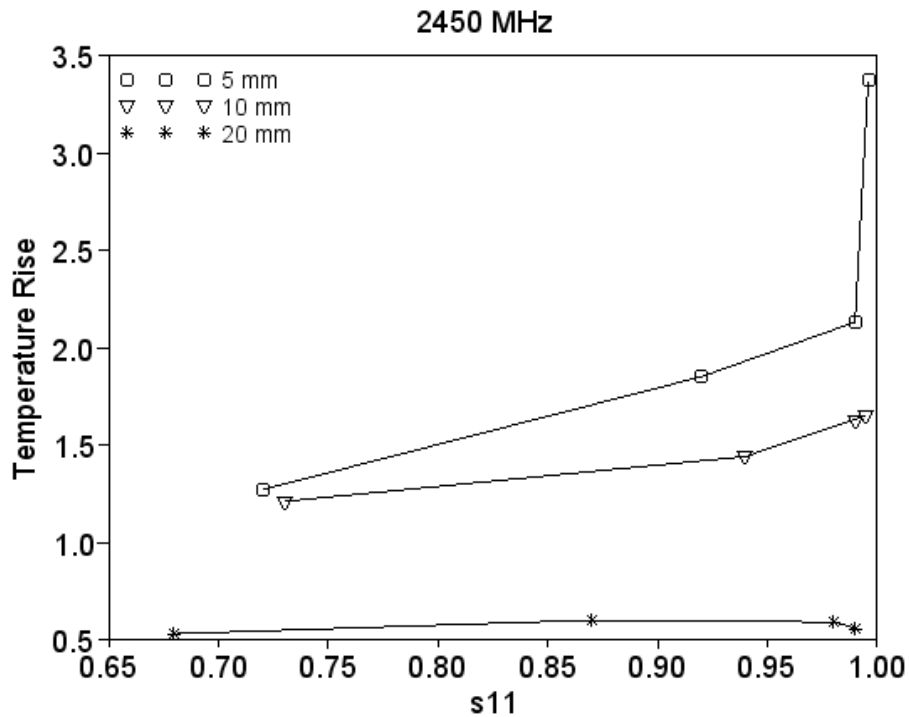
სურ. 2 და სურ 3. –ზე.ნაჩვენებია მიღებული შედეგები 2450 მგჰ სიხშირისთვის. გამოთვლები ჩატარდა FDTD Lab პროგრამული პაკეტის საშუალებით.

ყველა შემთხვევაში მინიმალური ტემპერატურის ზრდა შეიმჩნევა უმცირესი S11 მნიშვნელობის შემთხვევაში. სურათებიდან ჩანს, რომ არსებობს კარგი კორელაცია SAR –სა და ტემპერატურის მატებას შორის. ასევე ცხადია, რომ რაც უფრო ახლო თავსდება ანტენა მოდელის თავთან, მით უფრო მეტადაა შესამჩნევი დამოკიდებულება SAR ს, ტემპერატურის მატებასა და S11 კოეფიციენტს შორის (ანტენის შეთანხმება).

ეს გამოწვეულია E / H შეფარდების მაღალი მნიშვნელობებით მდგარი ტალღების უბანში, ანტენასა და თავს შორის ახლო მანძილებზე.

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარეობს, რომ ხელის გათვალისწინება





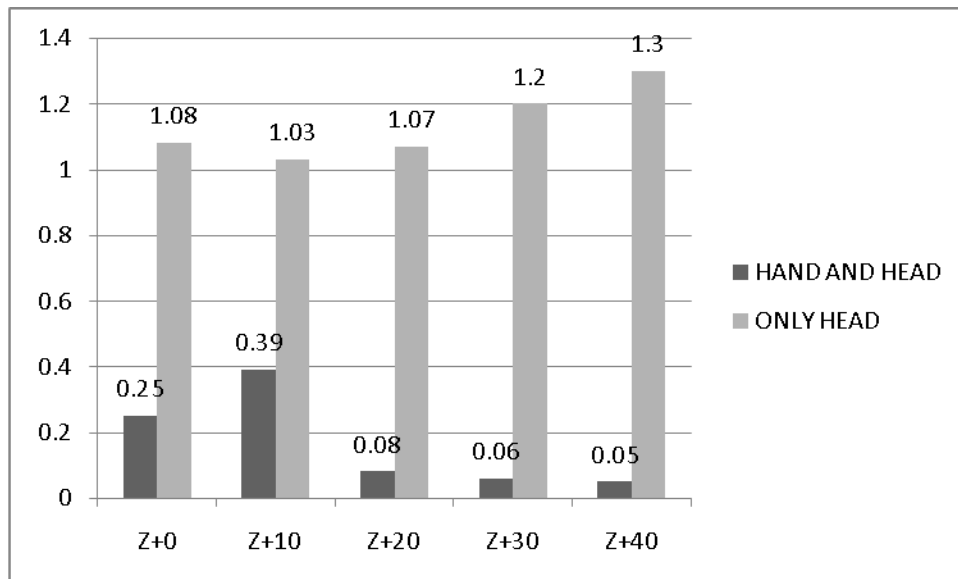
მნიშვნელოვნად ცვლის (ამცირებს) ადამიანის თავში შეღწეულ ენერგიას. ენერგიის დიდი ნაწილი გროვდება ხელში, რაც გამოიხატება იმაში, რომ მაქსიმალური შთანთქმის კუთრი სიმძლავრე - SAR, ლოკალიზებულია თითებში.

ქვემოთ მოცემულ ცხრილში ნაჩვენებია შედეგები ხელის გათვალისწინებით და ხელის გარეშე შემთხვევებისთვის დიუკის თავში. საიდანაც კარგად ჩანს, რომ მაქსიმალური SAR (გასაშუალოებული 10 გ მასაზე, ნორმირებული 1 ვატ სიმძლავრეზე), ბევრად უფრო მცირეა ხელის არსებობისას, საშუალოდ 86 % - ით განსხვავდება. შედეგები მიღებულია სტატისტიკურად, ანტენის გადაადგილებით სხვადასხვა სიმაღლეზე - 10, 20, 30 და 40 მმ მანძილზე საწყის მდებარეობასთან შედარებით (რასაც შეესაბამება ჩანაწერი: Z+0, Z+10, Z+20, Z+30, Z+40).

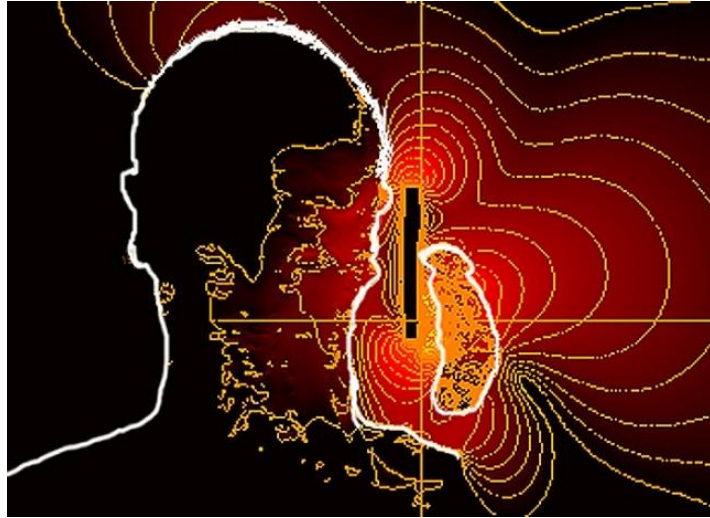
Shift, Z	Head with hand	Only head	Difference, %
Z+0	0.25	1.08	77%
Z+10	0.39	1.03	62%
Z+20	0.08	1.07	93%
Z+30	0.06	1.2	95.00%
Z+40	0.05	1.3	96.15%
Average	0.166	1.136	85%

ცხრილი 1. მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზი ხელისა და ხელის გარეშე მოძვლებებისთვის.

სურ.2 – ზე [23] ნაჩვენებია ამ ცხრილის გრაფიკული სახე (ჰისტოგრამებით). სადაც უფრო მკაფიოდ ჩანს მიღებული შედეგი. აბსცისათა ღერძზე აღებულია გასაშეალოებული შთანთქმის კუთრი სიმძლავრე, ორდინატა ღერძზე – ანტენის მდებარეობის ცვლილება Z -კოორდინატის(სიმაღლის) მიმართ.

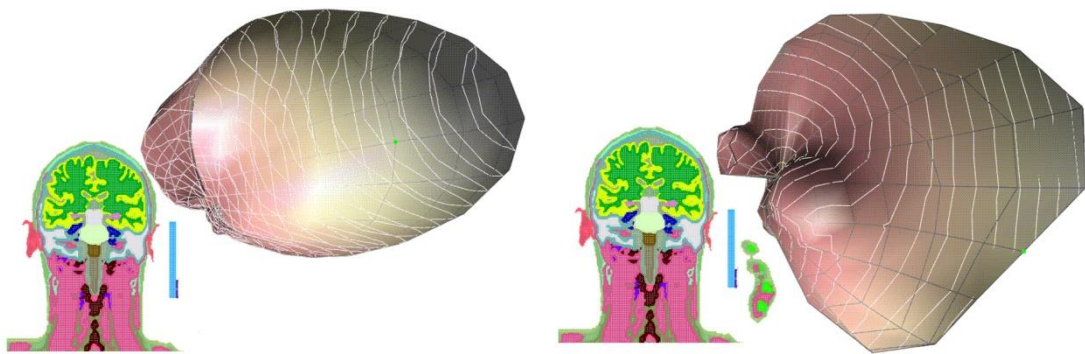


სურ.2 მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზი ხელისა და ხელის გარეშე მოძვლებებისთვის



სურ. 3 ახლო ველის დიაგრამა თავისა და ხელის მოდელისთვის

სურ. 3 –ზე ნაჩვენებია დიაგრამა თავისა და ხელის მოდელისთვის ბრტყელი ანტენის შემთხვევისთვის. სურათზე ჩანს ელექტრომაგნიტური ველი, რომელიც ვრცელდება გარკვეული ფორმით სივრცეში და მისი ნაწილი შეიღწევა ადამიანის თავსა და ხელში. ხოლო სურ. 4 –დან [23] ჩანს, თუ როგორ იცვლება შორი ველის გამოსხივების დიაგრამა ხელის გათვალისწინებით.



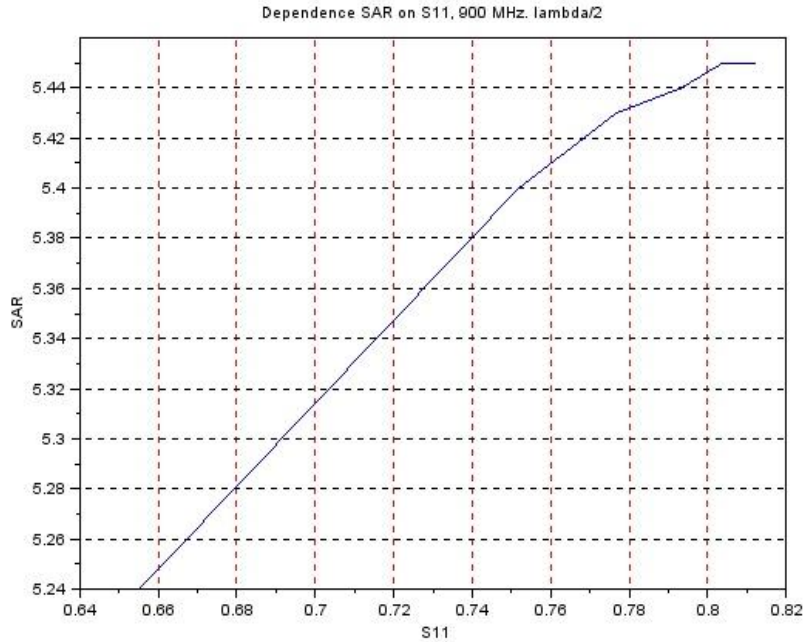
ა)

ბ)

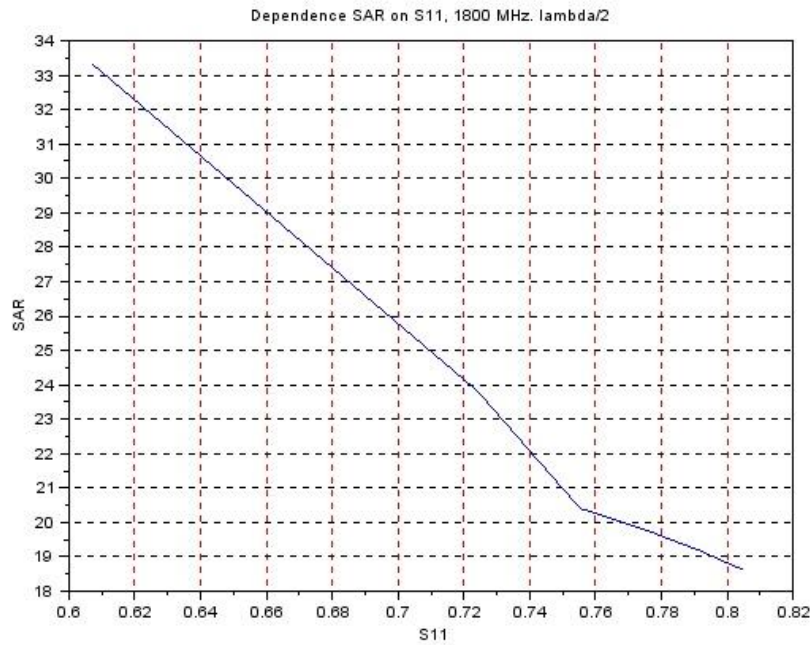
სურ. 4 შორი ველის დიაგრამები ა) ხელის გათვალისწინების გარეშე ბ) ხელის გათვალისწინებით

სურ. 5 –ზე და სურ. 6 –ზე ნაჩვენებია შედეგები, რომლებიც მიღებულია დიუკისა და დიპოლური ანტენის შემთხვევებისთვის, სადაც ანტენა მოთავსებულია

ყურიდან 5 მმ მანძილის დაშორებით (900 მგჰ და 1800 მგჰ). ანტენა დაფარულია დიელექტრიკით, რომლის დიელექტრიკული შეღვწევადობებია: $\epsilon = 1, 2, 3, 4.8, 8, 16$.



სურ. 5 SAR – ის დამოკიდებულება S11 კოეფიციენტზე 900 მგჰ სიხშირეზე.



სურ. 6 SAR – ის დამოკიდებულება S11 კოეფიციენტზე 1800 მგჰ სიხშირეზე.

შედეგებიდან ჩანს, რომ 900 მგჰ –ის ($\lambda/2$) შემთხვევაში S11 –ის გაზრდასთან ერთად შთანთქმის კუთრი სიმძლავრის მონაცემები იზრდება თითქმის პროპორციულად ადამიანის თავში. ხოლო 1800 მგჰ – ზე გვაქვს შებრუნებული ეფექტი – S11 –ის გაზრდა ამცირებს SAR- ს.

გამოქვეყნებული ნაშრომები.

1. L. Bibilashvili, M. Prishvin, R. Zaridze, Md. R. Islam, M. Ali, "Relationship Between Temperature Rises with SAR in a head Tissue in Bandwidth Exposure". Proceedings of XIV-th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED-2009), September 21-24, 2009, Lviv, Ukraine. pp. 58-62.
2. L. Bibilashvili, M. Prishvin, V. Jeladze, R. Zaridze, "Detailed study of EM exposure simulation". Joint Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association BIOEM - 2013, June 10 - 14, 2013. Thessaloniki, Greece. p. 36.
3. V. Jeladze, M. Prishvin, L. Bibilashvili, R. Zaridze, "Blood Perfusion Model for the Pennes Bio-Heat Equation". Joint Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association BIOEM - 2013, June 10 - 14, 2013. Thessaloniki, Greece. p. 35

გამოსაქვეყნებლად გადაცემული ნაშრომები.

მომზადებული ნაშრომების ჩამონათვალი.

გეგმა–გრაფიკის მიხედვით შესაბამისად სასწავლო და სამეცნიერო კომპონენტების შესრულების მდგომარეობა

შესრულებულია ზოგიერთი SAR და ტემპერატურის მატების გამოთვლები ბავშვის მოდელისთვის. აგებულია ხელისა და თავის მოდელი და მიღებულია ზოგიერთი შედეგი. ჩატარებულია ნაწილობრივი ანალიზი ანტენის ხელიოსა და თავის შეთანხმებასთან დაკავშირებით. ჩატარებულია ზოგიერთი ცდა ანტენის შეთანხმებასთან დაკავშირებით.

მოსალოდნელი/მიღებული შედეგები ფუნდამენტური და გამოყენებითი თვალსაზრისით.

ხელის არსებობა ცვლის გამოსხივების დიაგრამას, რაც ცვლის მაქსიმალური ტემპერატურის ნაზრდისა და SAR –ის მნიშვნელობებს. პირველ მიახლოებაში

ნაჩვენებია, რომ მაქსიმალური SAR და ტემპერატურის მატების მნიშვნელობები დამოკიდებულია S11 კოეფიციენტზე. კორელაცია SAR – ს, S11 კოეფიციენტსა და ტემპერატურის მატებას შორის იყო ნაჩვენები ანტენის ახლო მანძილებზე. ნაჩვენებია, რომ ხელის გათვალისწინებით იცვლება შორი ველის დიაგრამა. 900 მგჰ სიხშირეზე ღრმა ანალიზი გამოსხივების დიაგრამისა და შეთანხმების ეფექტთან დაკავშირებით SAR მაქსიმალურ მნიშვნელობებზე იქნება მომავალი კვლევების საგანი.

გამოყენებული ლიტერატურა

- [1] L. Bibilashvili, M. Prishvin, R. Zaridze, Md. R. Islam, M. Ali, "Relationship Between Temperature Rises with SAR in a head Tissue in Bandwidth Exposure". Proceedings of XIV-th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED-2009), September 21-24, 2009, Lviv, Ukraine. pp. 58-62.
- [2] N. Kuster. IT'IS Foundation. <http://www.itis.ethz.ch/>.
- [3] P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa and E. Piuzzi, "Specific Absorption Rate and Temperature Increases in the Head of a Cellular-Phone User", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.48, no.7, pp. 1118-1126, July 2000.
- [4] C. M. Collins, W. Liu, J. Wang, R Gruetter, J. T. Vaughan, K. Ugurbil and M. B. Smith, "Temperature and SAR Calculations for a Human Head within Volume and Surface Coils at 64 and 300 MHz", *J Magn Reson Imaging* 2004, 19:650-656.
- [5] M. Prishvin, L. Bibilashvili, R. Zaridze, A. Mohammad, R. Islam, „ESTIMATION AND ANALYSIS OF THERMAL RESPONSE OF HUMAN TISSUE DURING EM EXPOSURE “. MobiHealth 2010, in Ayia Napa, Cyprus.
- [6] A.G. Johnson Liakouris, "Radiofrequency (RF) sickness in the Lilienfeld study: an effect of modulated microwaves?", *Arch. Environm. Health*, vol. 53, no. 3, pp. 236-238, May/June 1998.
- [7] Liu J, Chen X, Xu LX (1999) New thermal wave aspects on burn evaluation of skin subjected to instantaneous heating. *IEEE Trans. Biomedical Eng.* 46, 420–428
- [8] Peinnequin A, Piriou A, Mathieu J, Dabouis V, Sebbah C, Malabiau R, Debouzy JC (2000) Non-thermal effects of continuous 2.45 GHz microwaves on Fas-induce apoptosis in human Jurkat T-cell line. *Bioelectrochemistry* 51, 151–161
- [9] Salles AAA de (1999) Biological effects of microwave and RF. SBMO/IEEE MIT-S IMOC'99 Proceedings 51–55
- [10] O.P. Gandhi, Q.X.Li, "temperature rise for the human head for cellular telephones and for peak SRs prescribed in safety guidelines", *IEEE Trans. Microwave Theory and Technology*, vol 49, N9 sept 2001, pp1607-1613
- [11] T. Samaras, P. Pegli, N. Kuster, "Electromagnetic and heat transfer computations for non-ionizing radiation dosimetry", *Phys. Med. Biol.* 45(2000)1-14

- [12] J.Wang, O. Fujiawara, "FDTD computation of temperature rise in the human head for portable telephones", *IEEE Trans. Microwave Theory and Technology*, vol 47, N8 Aug. 1999, pp1525-1534
- [13] P.Bernardi, M.Cavagnaro, S.Pisa, E.Piuzzi, "Specific absorption Rate and Temperature increases in the head of Cellular-Phone user", *IEEE Trans. Microwave Theory and Technology*, vol 48, N7, July. 2000, pp1118-1126
- [14] Hirata et al: "Temperature increase in the human head due to dipole antenna", *IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility*, vol 45, N1, feb.2003
- [15] P.Bernardi, M.Cavagnaro, S.Pisa, E.Piuzzi, "Specific absorption rate and temperature evaluation in a subject exposed in Far-Fields of Radio-Frequency Sources Operating in the 10-900-Mhz Range", *IEEE Trans. On Biomed. Eng.* Vol. 50, N3, March 2003, pp. 295-304.
- [16] Henry S. Ho, "Safety of Metallic Implants in Magnetic Resonance Imaging", *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 14, pp 472-477. 2001.
- [17] 16. Li JX, Niu ZQ (1990) Introduction to the bioelectromagnetics (in Chinese). Press of Sian University of Electronic Science and Technology, Sian
- [18] 17. Chen GZ, Chen HX (1998) An up to date study of bioelectromagnetics non-thermal effects (in Chinese). *Physics* 27, 151-155
- [19] 18. Porcelli M, Cacciapuoti G, Fusco S, Massa R, Ambrosio G, d'Bertoldo C, Rosa M De, Zappia V (1997) Non-thermal effects of microwaves on proteins: thermophilic enzymes as model system. *FEBS Letters* 402, 45-48
- [20] 20. S.C.Demacro, G.Lazzi, W.Liu, J.D.Weiland, M.S.Hutayun. "Computed SAR and thermal elevation in 0.25mm 2d model of the human eye and head in response to an implanted retinal stimulator—part I: Models and Methods", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* . Sept 2003; vol 51; Number 9. page 2274-2286
- [21] 28 Barnes FS (1977) Model for some nonthermal effect of radio and microwave fields on biological membranes. *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques MTT-25*, 742-746
- [22] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to timevarying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", *Health Physics*, vol. 74, April 1998, pp. 494-522.
- [23] L. Bibilashvili, M. Prishvin, V. Jeladze, R. Zaridze, "Detailed study of EM exposure simulation". Joint Meeting of The Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association BIOEM - 2013, June 10 - 14, 2013. Thessaloniki, Greece. p. 36