



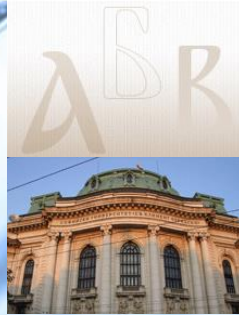
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ
МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО
И НАУКАТА



СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“



Природни науки



**Лятно училище за учители „Физика за и със смартфон“,
11-15 юли, ФзФ на СУ „Св. Климент Охридски“**



Пламен Данков



**“Морето от сигнали в безжичните комуникации
и човекът (ЕМС-стандарти, SAR, правила за
използване на мобилните устройства)”**

Теми в лекцията

- Как се подреждат устройствата в безжичните комуникации по степен на риск от облъчване за хората според последните изследвания? Какви са типичните нива на излъчените сигнали?
- Все пак влиянието на базовите станции се фаворизира от хората като степен на риск. Какви са фактите при последните изследвания?
- Резултати от наши измервания в Студентски град и в сградите на три факултета на Софийски университет.
- Как влияе непрекъснатото излъчване на безжичната Wi-Fi мрежа в къщи? Има ли по-безопасни технологии за безжичен Интернет?
- Клетъчните телефони – доказано (!) са най-опасните от всички други безжични устройства. Как да избираме телефона/смартфона?
- Особености при децата. Това е важно да се знае.
- Защо новите 4G/5G поколения се считат за по-безопасни. Каква е физическата причина?



„Море от сигнали“

„Скоро ще плуваме в море от сигнали!“

<http://www.segabg.com/article.php?id=778307>

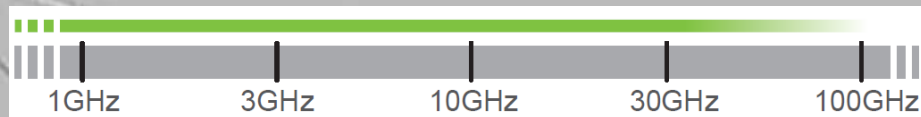
Днес действително сме заобиколени от „море от сигнали“, излъчвани от базовите и мобилните станции на различни безжични мрежи, работещи по различни комуникационни стандарти. На фигурата е показана относителната използваемост на електромагнитния спектър за комуникационни цели.



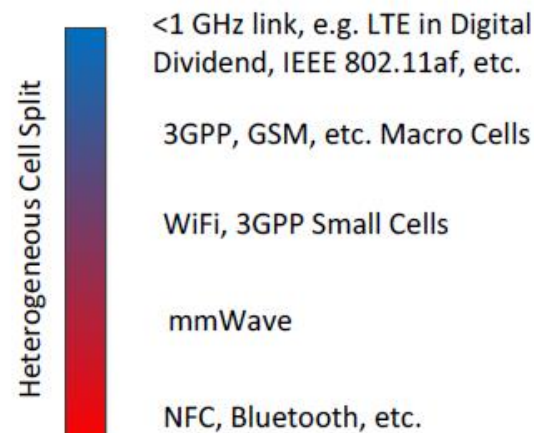
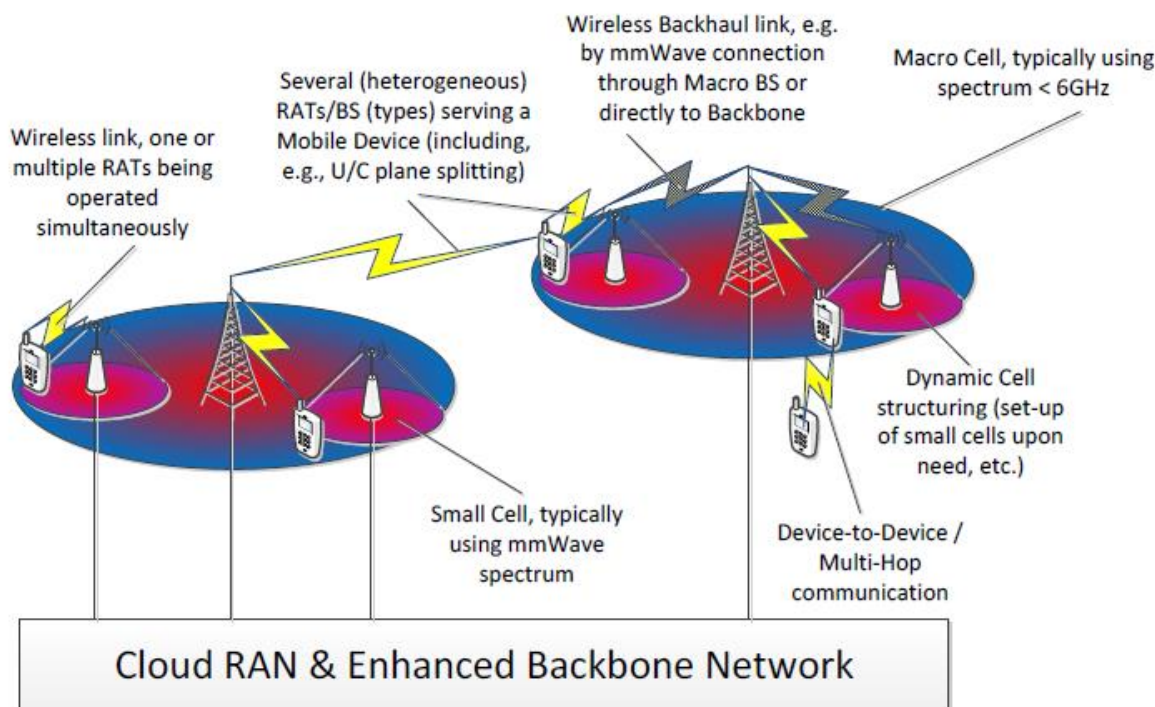
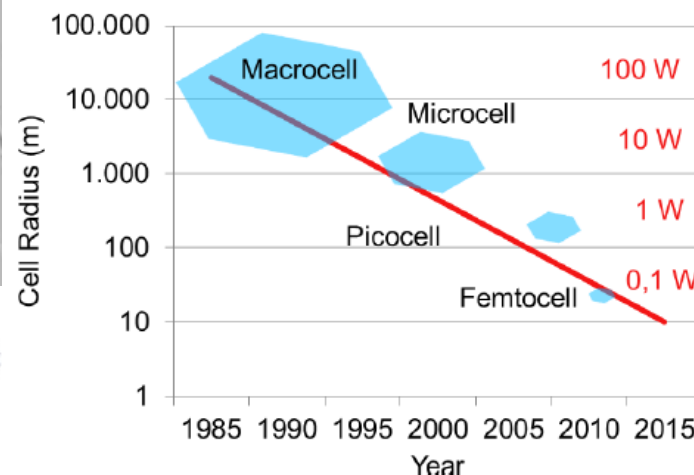
Нови честотни обхвати; фемтоклетки

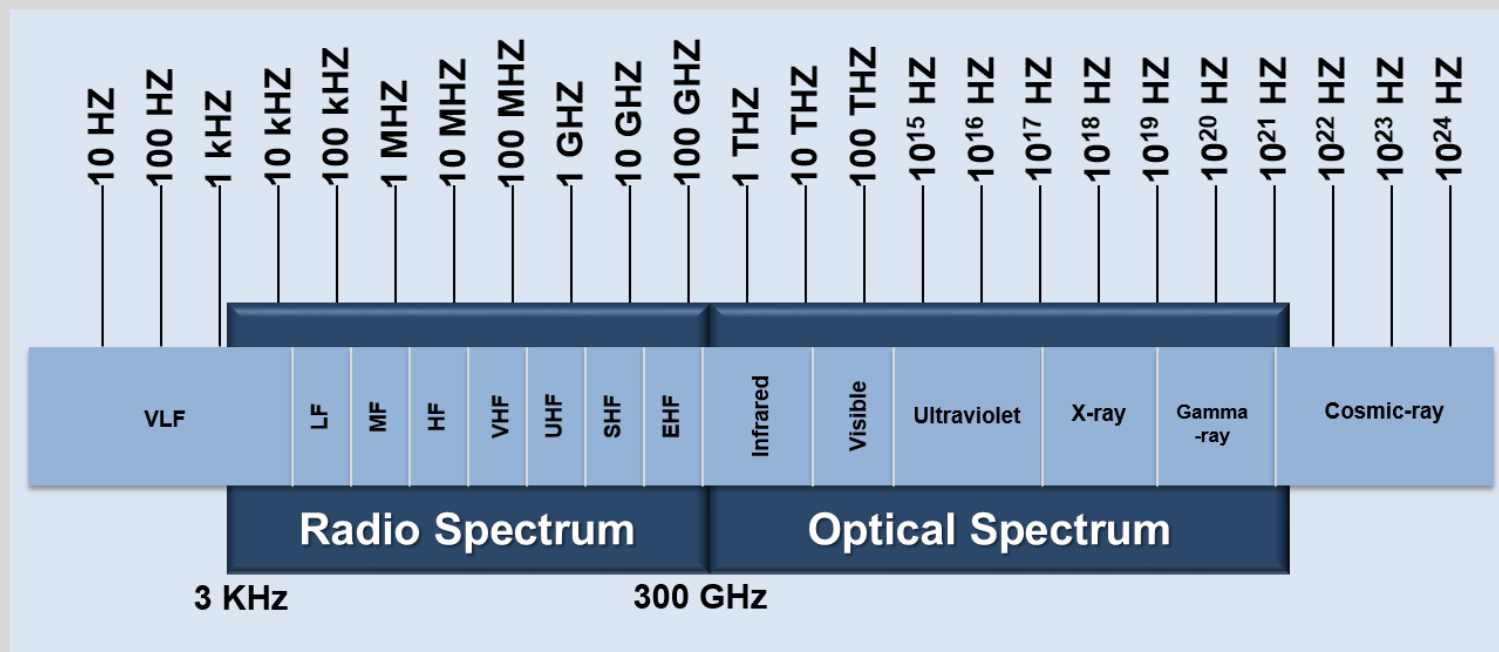
2G; 3G; LTE, WiMAX – под 6 GHz

5G – под и над 6 GHz (до 95 GHz)



Новите безжични комуникации след 2020 г. ще използват различни честотни обхвати на различни разстояния: за далечни разстояния (чрез макро-/микро-клетки) – носещи честоти под 6 GHz; на малки разстояния (чрез пико-/фемто-клетки) – носещи честоти в mm обхват.





**Микровълните като
нейонизиращо лъчение**

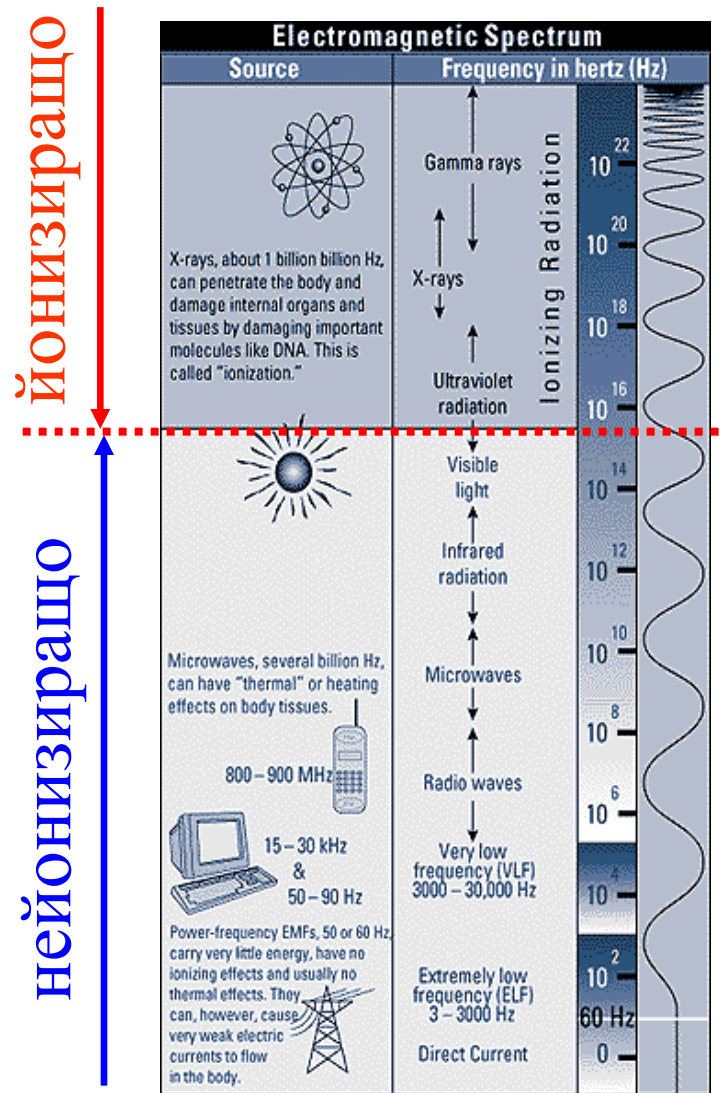
Йонизиращо и нейонизиращо електромагнитно лъчение

От енергетична гледна точка, свързано и със съответното основно биологично въздействие, съществуват два типа електромагнитно лъчение:

- ❖ Йонизиращо (с енергия на кванта $hf \geq 10 \text{ eV}$)
- ❖ Нейонизиращо (с енергия на кванта $hf < 10 \text{ eV}$)

Към първият тип принадлежат рентгеновите (X-) лъчи, γ -лъчите, твърдите UV-лъчи. При тях енергията hf на кванта на съответното лъчение (h – константа на Планк) се оказва по-висока от енергията на най-слабите молекулни връзки $\Delta E_{\min}$, т.е. $hf > \Delta E_{\min}$ и той може да разрушава директно молекулите в биологичните тъкани, като йонизира молекулите и атомите на клетките им ($hf \sim 10 \text{ eV}$ е минималната енергия на кванта, способна да предизвика йонизация).

Обратно, по-нискоенергетичното ЕМ лъчение като видимата светлина, инфрачервените лъчи, микровълните (300 MHz – 300 GHz), RF-сигналите и накрая постояният ток, при които $hf < \Delta E_{\min}$, не се наблюдават директни йонизационни ефекти. Следователно, сигналите, използвани в съвременните комуникации, са „нейонизиращо лъчение“.



Основни механизми на биологично въздействие на ЕМ вълни

RF-сигнали

Микровълни

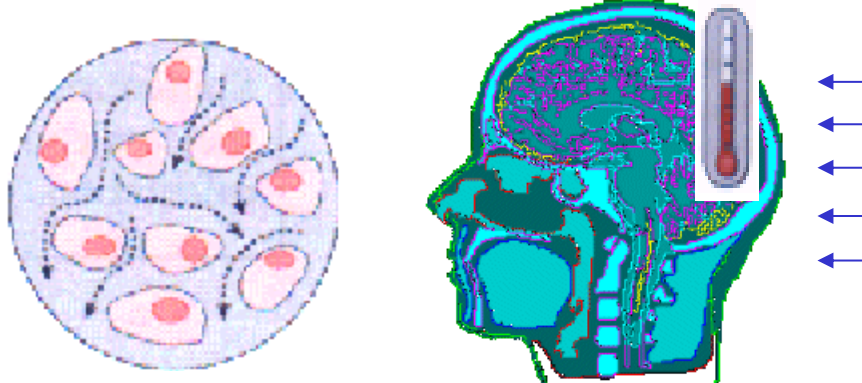
IR и видима
светлина:

UV, X-, γ-
лъчи

нейонизиращо

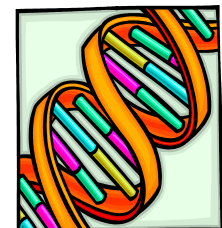
йонизиращо

Действието на сигналите с по-ниски честоти се свързва основно с възбуждането на индуцирани токове в проводящи среди, включително биологични тъкани. При RF сигнали тези слаби токове извън клетките предизвикват нетоплинни ефекти (електростимулация), а при микровълните – главно топлинни ефекти – загряване на тъканите.



Лъчението в тази част на спектъра предизвиква и възбуждане на електронните обвивки на атомите и молекулите. Така освен нагряване в клетките се наблюдават и фотохимични реакции.

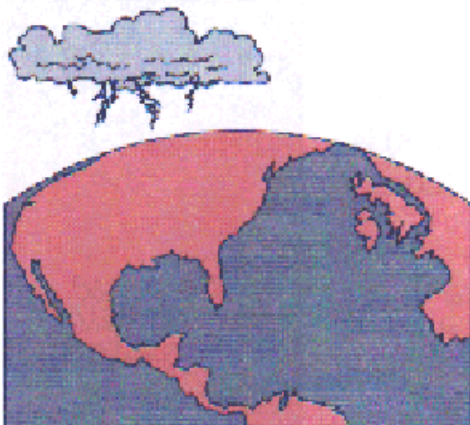
Йонизиращото лъчение (UV, X- и γ-лъчи) води главно до прекъсване на междумолекулните връзки на веществото в тъканите. Това предизвиква разрушаване на ДНК-молекулите в клетките и промяна на генетичния материал.



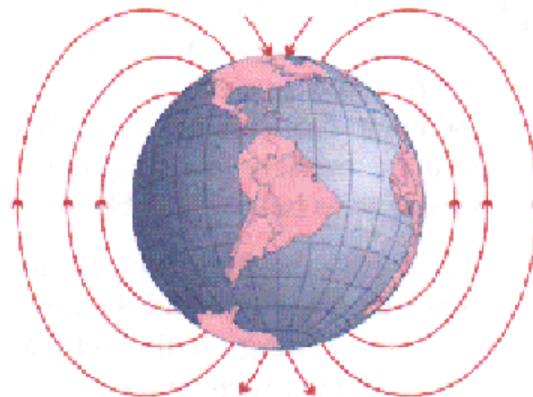
Електромагнитно фоново излъчване

Човекът живее в околна среда, в която има разнообразно ЕМ лъчение. Част от него е постоянен фактор в тази среда и съставлява фоновото лъчение с естествен произход. Друга част е свързана с работната му среда, но трета част се явява рисков фактор – това е лъчение, което е по-силно от фоновото, но не е свързано с работната среда и обикновено е свързано със странични ефекти на човешката дейност. Подобен е случаят с комуникационните сигнали, излъчвани в областта на населени места.

Сред хората е най-известен радиоактивният фон – това е йонизиращо (α -, β - и/или γ -) лъчение с естествен произход (земен или космически). То е важен параметър на околната среда. Подобен фон може да се въведе и за нейонизиращото лъчение, но той е по-малко популярен сред хората. Значение има нивото на IR, видимото и особено UV лъчението при наличието на т.нар. “озонова дупка” в атмосферата. Друг силен природен източник на *dc* и нискочестотни *ac* сигнали са земното магнитно поле и електричното поле при гръмотевични бури (вж. долу). Много силен е фонът на промишлената честота 50 (или 60) Hz, който е свързан с човешката дейност. Най-слаб е фонът за микровълнови сигнали.



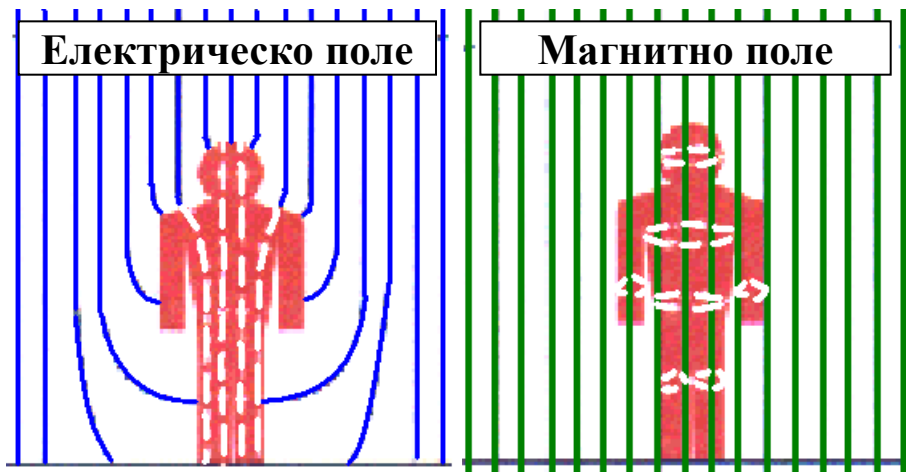
Ефект на възбуждане на електростатично поле при силни гръмотевични бури: от ~ 200 V/m близо до земната повърхност и до 50 kV/m в епицентъра



Наличие на повсеместно магнитостатично поле (средно ~ 50 mG), предизвикано от земното магнитно поле

Биологично въздействие на нискочестотните сигнали

Известен факт е, че електростатичното поле се екранира много добре от проводящи обекти и повърхности (дървета, сгради, човешка кожа и др.), докато магнитостатичното поле се “екранира” много по-трудно. И двете статични полета, обаче, силно намаляват с отдалечаване от източника. На фигурата са показани линиите на слаби възбудени *ас* токове (с пунктир) в човешко тяло от нискочестотни електрически и магнитни полета. Възбудените нискочестотни токове (напр. на 50-60 Hz) са извънредно слаби ($\sim \text{nA}$) в сравнение с естествените токове на електрическата активност на сърцето и мозъка на човек, и те не могат да проникнат през клетъчните мембрани. Затова част от учените считат, че влиянието им е пренебрежимо слабо. Обратно, други учени се базират на известния “ефект на коктейла” (напр. тренирано ухо може да отдели познати слаби сигнали на фона на силен шум) и считат, че клетките могат да реагират на слабите индуцирани токове като на нормален сигнал на фона на силен “шум” от естествени токове. Някои изследвания потвърждават наличието на подобни ефекти на електростимулация чрез слаби *ас* токове. Най-силно въздействие се забелязва върху хора близо до високоволтови далекопроводи.



Тук може да се наблюдават ефекти на забележима вибрация на косата и крайниците на 50/60 Hz (“изтръпване”) или усещане за слаб токов удар като при допир с незаземена метална ограда. Има множество изследвания, които доказват наличие на повишен риск от ракови заболявания при деца, живеещи до далекопроводи (вж. следващата страница).

Епидемиологични изследвания върху хора, живеещи близо до високоволтови далекопроводи (power lines)

Study	Location	Leukemia
-------	----------	----------

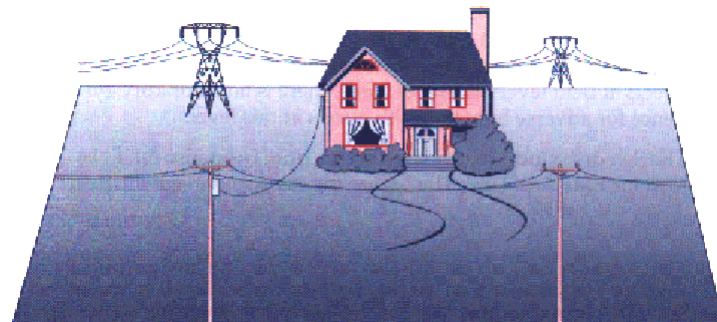
Child Cancer Studies

Wertheimer & Leeper '79	Denver	OR = 2.35*
Fulton et al. '80	Rhode Island	OR = 1.09
Tomenius '86	Sweden	OR = 0.30
Savitz et al. '88	Denver	OR = 1.54
Coleman et al. '89	U.K.	OR = 1.50
Lin & Lu '89	Taiwan	OR = 1.31
Myers et al. '90	U.K.	OR = 1.14†
London et al. '91	Los Angeles	OR = 2.15*
Lowenthal et al. '91	Australia	O/E = 2.00
Feychting & Ahlbom '93	Sweden	OR = 3.80*
Olsen et al. '93	Denmark	OR = 1.50

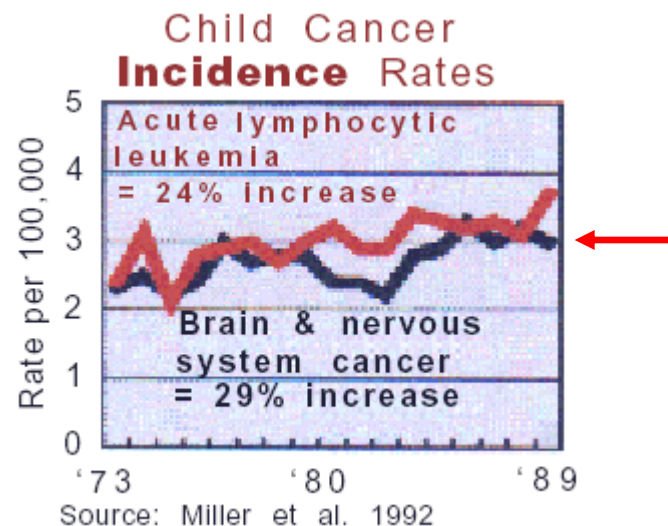
Adult Cancer Studies

Wertheimer & Leeper '82	Denver	OR = 1.00
McDowall '86	U.K.	SMR = 143
Severson et al. '88	Seattle	OR = 0.80
Coleman et al. '89	U.K.	OR = 0.90

Величината OR (Odds Factor) или *рисков фактор* показва дали дадено въздействие може да се свърже с даден риск (напр. ракovo заболяване) или не (OR = 1 – няма риск; > 1 има повишен риск; < 1 има понижен риск). Определя се за дадена голяма група от хора, подложени на даден риск и за подобна на брой контролна група, която не е подлагана на този риск.



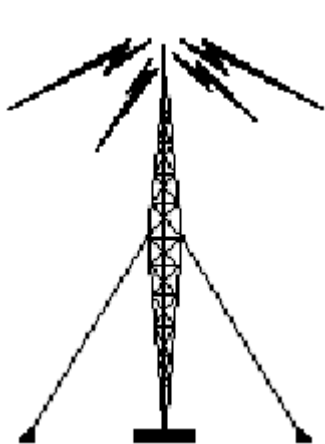
Изследвания показват, че при деца до 12 г. живеещи до 40 m от високоволтов далекопровод има 2-4 пъти (!) повишен риск от заболяване от левкемия в сравнение с контролна група. За възрастни подобен ефект практически не е наблюдаван.



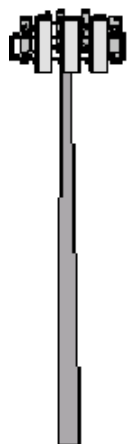
Микровълните като нейонизиращо лъчение

Микровълните (300 MHz – 300 GHz) са нейонизиращо излъчване. Например, дори за най-високочестотният микровълнов сигнал ($f = 300 \text{ GHz}$) квантът енергия е едва $hf \cong 0.0125 \text{ eV}$, което е по-малко от енергията на най-слабите междумолекулни връзки в живата тъкан ($\sim 0.06 \text{ eV}$) и дори от средната кинетична енергия на топлинното движение на молекулите при стайна температура $\sim 0.025 \text{ eV}$. Въпросът е какъв е механизмът на въздействие на микровълново лъчение върху живата тъкан, включително и върху човека?

По-долу са изобразени потенциално най-опасните излъчватели на комуникационни сигнали в града: телевизионни и радио-разпръсквателни кули, базови станции за клетъчни комуникации, мобилни телефони (поради физическата си близост до човека); мощни земни излъчващи станции за сателитни комуникации и др.



**FM/tv предавателни
кули 60-800 MHz**



**Клетъчни
базови станции
900-1800 MHz**



**Мобилни
телефони
900-1800
MHz**



**Земни HUB-станции за
сателитни комуникации
(5 - 15 GHz)**

Основни механизми на биологично въздействие на микровълните

Голям интерес за комуникациите представляват механизмите на въздействието на микровълните върху живите организми. Под биологично въздействие се подразбира появата на биохимични ефекти, психологични и поведенчески реакции на организма, тъканите и клетките под действие на лъчението. Здравен риск от облъчването са тези биологични промени, които могат да бъдат вредни или пагубни за организма и/или за неговото потомство. Безспорният главен механизъм за биологично въздействие на микровълните е топлинният – нагряване на биологичните тъкани под действие на погълната електромагнитна мощност. Много по-голям интерес сред хората, обаче, предизвиква наличието на други, нетоплинни механизми. Не може да се отдели рязка граница между тези механизми и по-специално на дозата на облъчване с нейонизиращо лъчение, което ги предизвиква.

- ❖ Топлинни ефекти. Те възникват, когато in vivo в тъканите се поглъща достатъчно микровълнова енергия, която предизвиква измеримо нарастване на температурата на съответната тъкан (напр. $\Delta t > 1^{\circ}\text{C}$);
- ❖ Микро-топлинни (ендогенни) ефекти. Това са ефекти, които възникват при облъчване на организма или части от него с достатъчно голяма RF енергия, която би могла да предизвика нарастване на температурата, но такова не се наблюдава поради ефективна ендогенна регулация в организма (напр. $0.1^{\circ}\text{C} < \Delta t < 1^{\circ}\text{C}$);
- ❖ Не-топлинни (специфични) ефекти. Това са ефекти, които възникват при облъчване на организма или части от него с RF енергия, която е недостатъчна да предизвика над обичайните температурни флуктуации ($\Delta t < 0.1^{\circ}\text{C}$), но въпреки всичко се откриват забележими биологични ефекти.

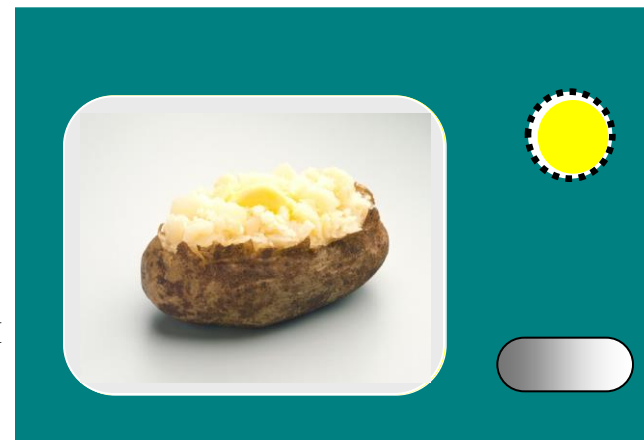
Топлинен механизъм

Един от безспорните механизми на биологично въздействие е *топлинният*. При него температурата на биологичните тъкани се увеличава вследствие на преобразуването на микровълновата енергия в топлинна. При топлинния механизъм от най-съществено значение са диелектричните свойства на тъканите и по-специално, тяхната комплексна относителна диелектрична проницаемост

$$\varepsilon_r = \varepsilon'_r - j\varepsilon''_r = \varepsilon'_r (1 - j \tan \delta_\varepsilon) = \varepsilon'_r (1 - j\sigma / 2\pi f \varepsilon'_r),$$

където $\tan \delta_\varepsilon = \varepsilon''_r / \varepsilon'_r$ е тангенс на ъгъла на диелектричните загуби, а σ е проводимост на тъканите. Силно поглъщане на RF-сигнал в тъканите се наблюдава при големи стойности на $\tan \delta_\varepsilon$ (респективно на σ). Това означава, че най-силно топлинно въздействие търпят тъканите с високо съдържание на вода, която в микровълновия обхват представлява силен поглъстител с $\varepsilon'_r \sim 20-80$ и $\tan \delta_\varepsilon \sim 1-5$. Ефектът е добре познат при домакинските микровълнови фурни, където най-силно се нагряват храните с богато водно съдържание.

Микровълновото нагряване и сушене има много предимства пред обикновеното (IR). Последното става през повърхността на продуктите, докато микровълните проникват в обема и отдават енергията си във вид на топлина почти равномерно в този обем. Освен това, микровълновото нагряване е безинерционно и много ефективно. То позволява реализацията на специални видове нагряване: избирателно (от смес от компоненти директно се нагряват само тези в високо водно съдържание), свръхчисто и саморегулиращо се (степената на нагряване зависи от степента на остатъчната влага).



Примери: характеристики на човешки тъкани in vivo

Плътност, диелектрична проникваемост и проводимост на човешки тъкани in vivo (на живо) при 900 MHz

тъкан	$\rho, \text{g/m}^3$	ϵ'	$\sigma, \text{S/m}$
кости	1.81	17.4	0.19
мозък (бяло и сиво вещество)	1.04	44.1	0.89
мускулна тъкан	1.04	51.8	1.11
очни ябълки	1.04	74.3	1.97
кръв	1.06	64.0	1.24
мастни тъкани	0.92	10.0	0.19
кожа	1.01	39.5	0.69

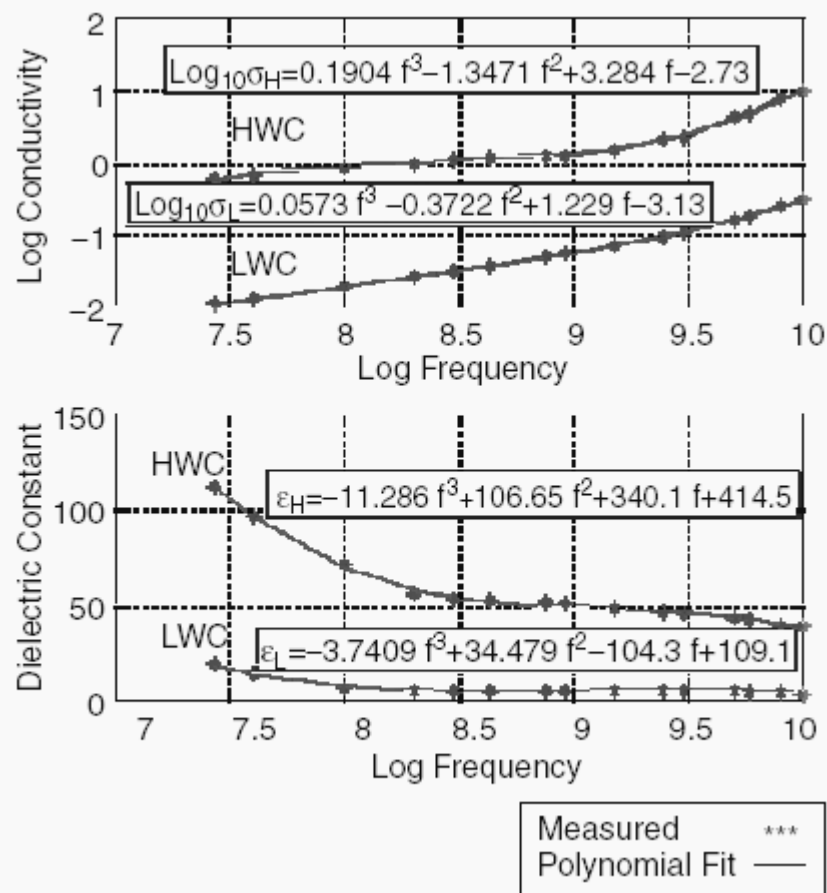
Диелектрична проникваемост, проводимост и дълбочина на проникване на RF-сигнали в човешки мускулни влакна in vivo за различни

честоти

f, MHz	ϵ'	$\sigma, \text{S/m}$	δ, cm
0,1	1850	0,56	213
1	411	0,59	70
10	131	0,68	13,2
100	79	0,81	7,7
1000	60	1,33	3,4
10 000	42	13,3	0,27
100 000	8	60	0,03

Горе са дадени стойностите на някои диелектрични параметри на човешки тъкани in vivo. Част от тъканите с по-богато съдържание на вода (очна ретина, мозъчна тъкан и др.) са потенциално по-податливи на микровълново нагряване, още повече, когато са и по-слабо кръвоснабдени (напр., при очните ябълки). При въздействието на микровълните трябва да се отчита и дълбочината на проникване на сигнала в тъканите. Количествено това може да се характеризира с дълбочината на скин-слоя (на която проникналото поле намалява e -пъти, $e = 2.71$): $\delta \sim 1/(\pi f \mu_r \mu_0 \sigma)^{1/2}$, където μ_r е относителната магнитна проникваемост на тъканите (~ 1). От примера се вижда, че до 2.5 GHz дълбочината на проникване δ е няколко cm, като с увеличаването на честотата намалява под 1 cm. Така, това е един естествен начин на защита, при която лъчението не може да прониква по-навътре в тъканите.

Тъкани с високо или ниско съдържание на вода



**Проводимост и диелектрична проник-
мост на две условни групи човешки
тъкани с високо (HWC) или ниско
(LWC) съдържание на вода
(HWC/LWC – High/Low Water Content)**

Диелектричните свойства на много специфични видове тъкани са изследвани внимателно *in vivo* (в живи човешки тъкани) и *in vitro* (в отделни, изолирани човешки тъкани). За улеснение, може да се направи обобщение на видовете тъкани, разделяйки ги на две условни групи:

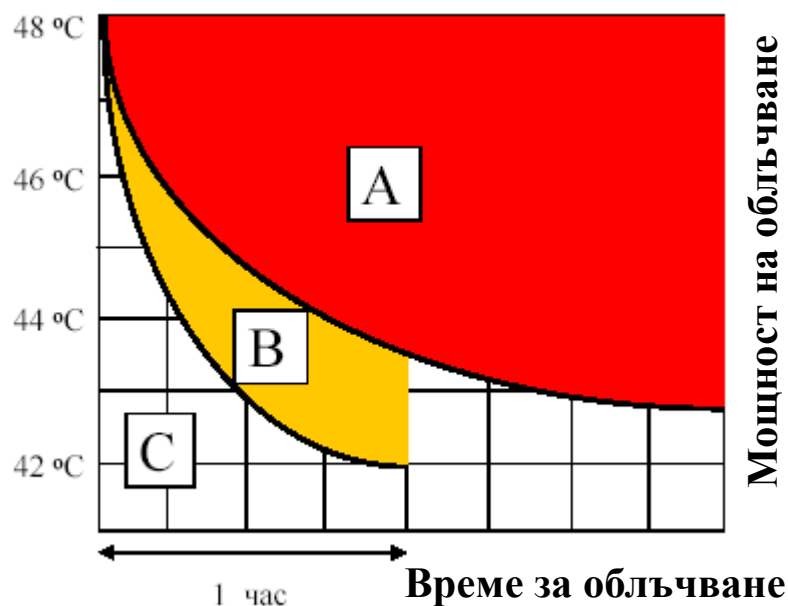
- 1) С високо съдържание на вода (HWC)
- 2) С ниско съдържание на вода (LWC)

Към първата група HWC-тъкани спадат кръвта, лимфата, черния дроб, бъбреците, мускулите, сивото и бялото мозъчно вещество и пр., докато подкожието, сухожилията, костите и особено мазнините формират групата на LWC-тъканите.

Характеристиките на тези групи тъкани са доста различни. На фигурата са показани измерени и полиномиално изгладени честотни зависимости на проводимостта σ и реалната относителна диелектрична проникваемост ϵ' за типични HWC и LWC тъкани. Трябва да се отбележи, че стойностите на проводимостта за HWC-тъканите са с около порядък по-високи, отколкото при LWC-тъканите.

Някои приложения на микровълните в медицината, базиращи се на топлинния механизъм на действие

Едно от най-известните приложения на топлинното въздействие на микровълните върху тъканите на човека е в медицината: това е микровълновата хипертермия: за диагностика (откриване) и терапия (лечение) на някои видове рак (на гърдата, на простатата, на кожата и др.). В основата на тези приложения е фактът, че раковите клетки (НВС-тъкани) имат по-богато водно съдържание от това на нормалните клетки около тях. Например, раковите клетки на кожната меланома съдържат 82% вода срещу 61% на нормалния епидермис на кожата. Така под действие на микровълнов сигнал (~ 2.45 GHz) при подходящи условия (вж. фигурата, случай В) раковите клетки се загряват до $42-46^{\circ}\text{C}$ срещу едва $37-38^{\circ}\text{C}$ на нормалната кожа и така те стават доста податливи на абсорбиране под действие на кръвния поток или при допълнителна химиотерапия. На следващата страница са показани някои видове хипертермия на най-разпространените видове рак при човека.



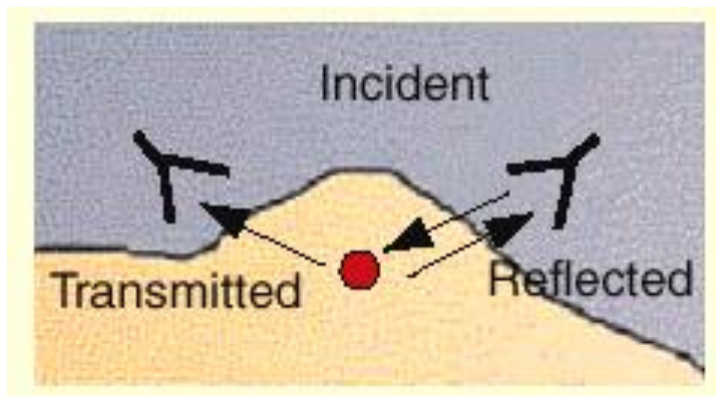
Област А: всички (ракови и здрави тъкани), са практически разрушени

Област В: само раковите тъкани са разрушени; по-голяма част от здравите тъкани са запазени (това е областта на хипертермията)

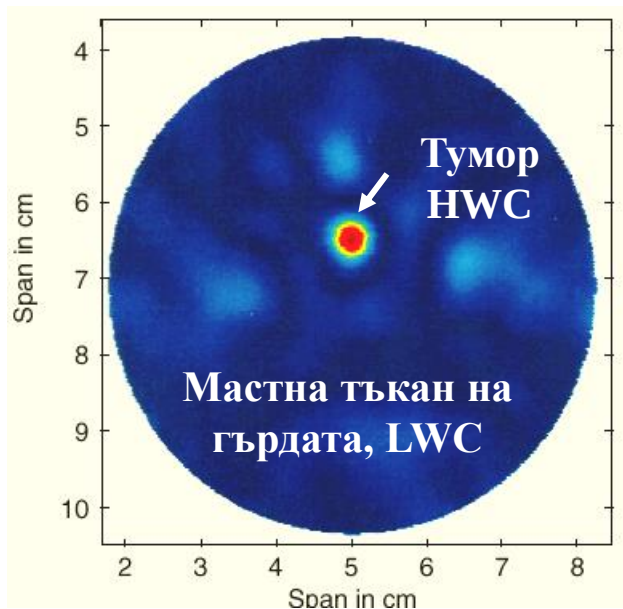
Област С: нито раковите, нито здравите тъкани не са разрушени

Някои приложения на микровълните в медицината (2)

Рак на гърдата



Приложение: излъчваща и приемна антени

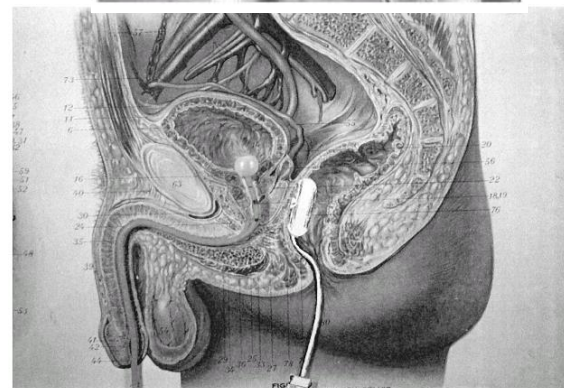
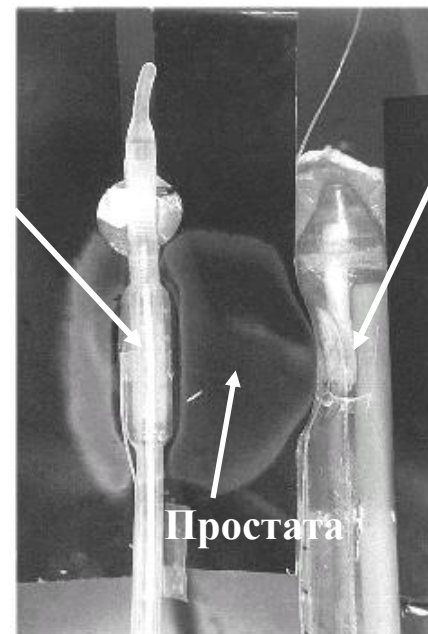


Изображение на тумор в гърдата, получено след обработка на измерените сигнали

Рак на простатата

Облъчваща
антена

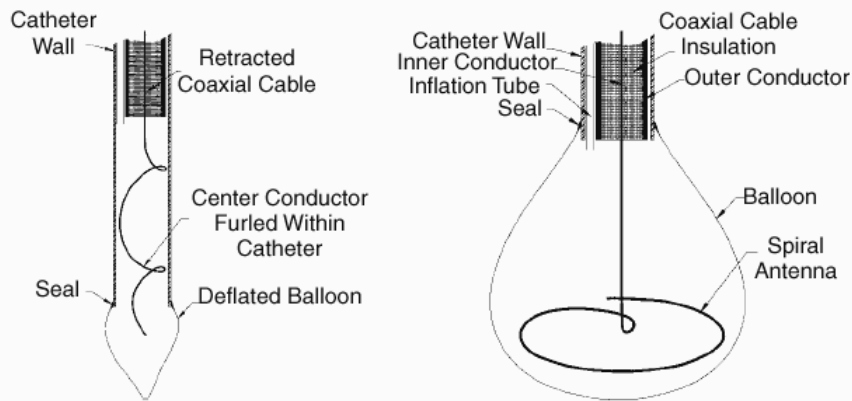
Антенa с
рефлектор



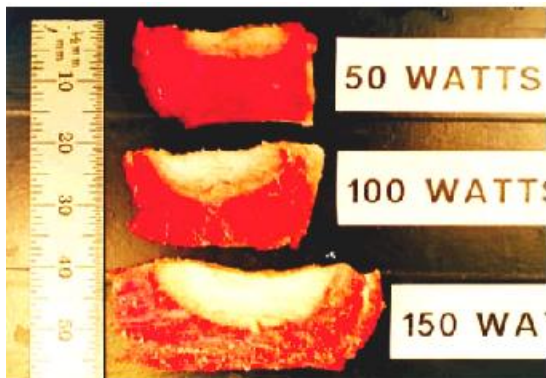
Системата позволява много ефективно облъчване на жлезата (НВС-тъкан) и безболезнено лечение чрез термична обработка

Някои приложения на микровълните в медицината (3)

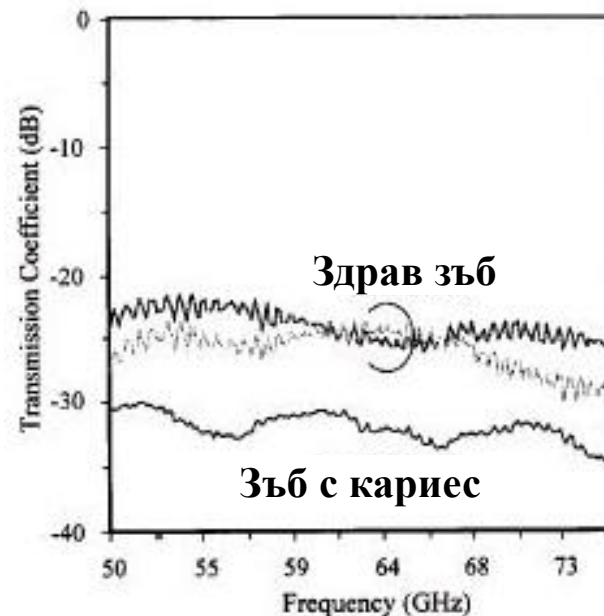
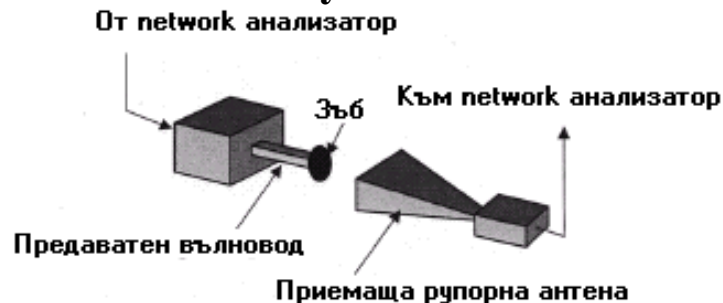
Микровълнова аблация, микровълнова ангиопластика



Балон със спирална антена за облъчване на “шлаката” (LWC), запушваща кръвоносен съд (HWC) (при вкарване във вената и в работно състояние); Долу: резултат от облъчването при различно ниво на мощността. Облъчената шлака се разнася от кръвта и кръвоносният съд се “изчиства”.



Диагностика и лечение на зъбен кариес и пулпит



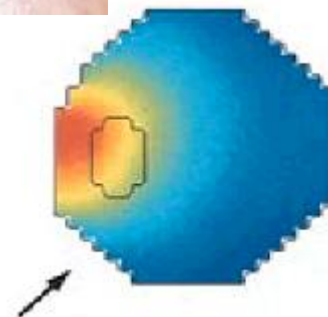
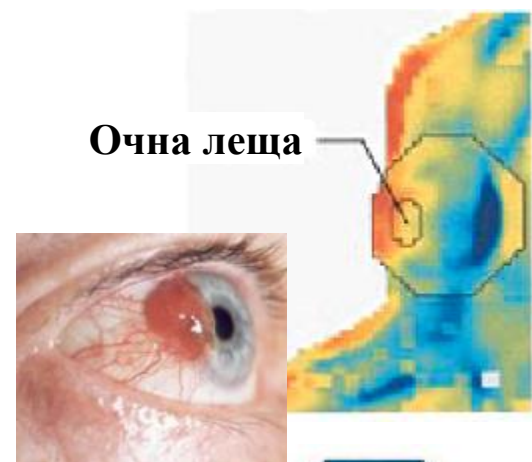
Измерителна постановка и резултати. Зъбният кариес (HWC) има проводимост 130 пъти по-висока от тази на нормален зъб (LWC), а зъб с пулпит (HWC) – над 1025 пъти. На тази разлика се базира лечението.

Вредно топлинно влияние на микровълните

Някои части от човешкото тяло (напр., очна ретина и леща, тестиси, яйчници, епифизна жлеза при деца и др., са най-уязвими за нагряване чрез микровълни поради **относително слабото им кръвоснабдяване**, чийто механизъм не позволява ефективното разсейване на получената топлина в локалното място (всъщност, циркулацията на кръвният поток е основният механизъм за отвеждане на топлина от тъканите).

Пример: Лабораторни изследвания показват, че дори кратковременни експозиции (от 30 min до 1 час) с високи нива на RF-радиация ($100 - 200 \text{ mW/cm}^2$; т. е. 10-20 пъти над нормата в USA) предизвикват **катаракт на очите** на лабораторни зайци, както и **временна стерилност**.

За човешка очна леща е показано, че при облъчване с допустимата доза на плътността на мощността, равна на 1 mW/cm^2 за честота 6 GHz, локалната температура се увеличава едва с 0.04°C при допустимо увеличение 0.3°C . Доказано е, че при продължителна работа с достатъчно мощно микровълново лъчение (над 100 mW/cm^2) може да се получи втвърдяване на роговицата на окото или дори катаракт (при локално нагряване с над 3°C).



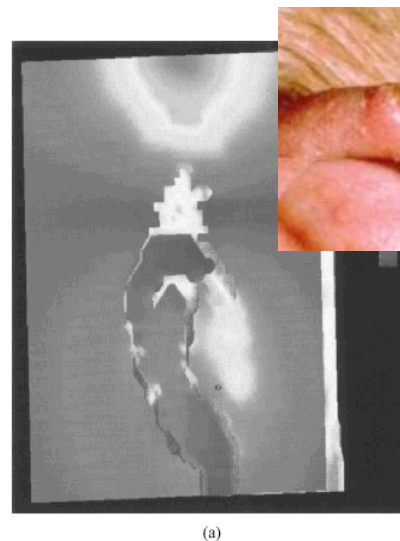
Място на носа

Разпределение на температурата в очната ретина при 6 GHz за плътност на мощността, равна на 1 mW/cm^2

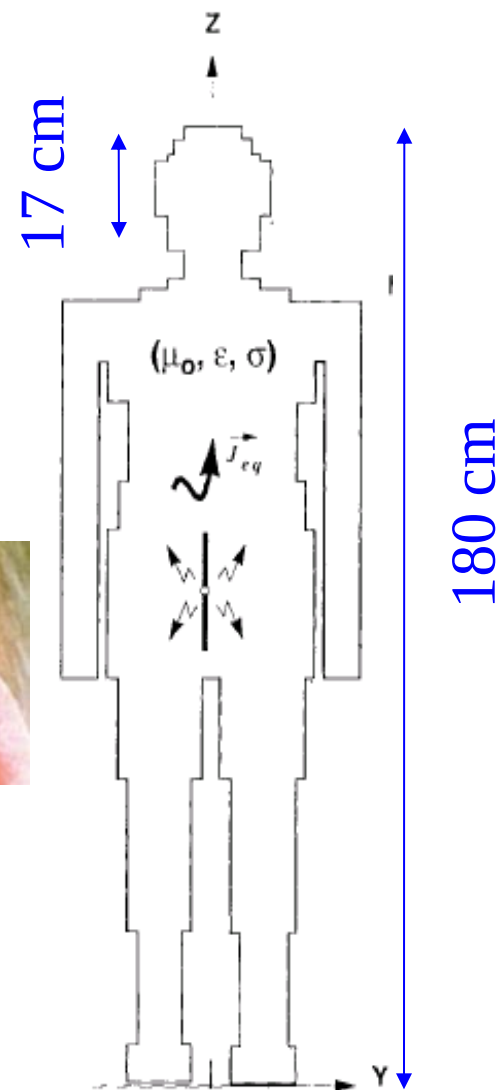
Резонансно нагряване на човешкото тяло от RF-мощност

Както бе показано, средната дълбочина на проникване на микровълните в човешките тъкани е от няколко cm до няколко mm. Това е един естествен начин на защита на организма, но може да се наблюдава усилване на това въздействието при резонансни ефекти. С други думи, човешкото тяло или негови части (напр. главата, ушите и пр.) се оказват диелектрични резонатори за определени честоти. Тогава въздействащото ниво на сигнала нараства с увеличаване на Q-фактора на подобен "резонатор". В такъв случай се наблюдава много по-ефективно нагряване на тъканите: **резонансно нагряване**.

За повечето възрастни хора резонансно нагряване на цялото тяло се получава в честотен обхват **60-100 MHz** (това са работните честоти на много FM-радиостанции!!). За децата, които имат по-дребен ръст, резонансните честоти растат до **150-200 MHz**. Резонансно нагряване на цялата човешка глава (със среден диаметър ~ 17 cm) се постига при $\sim$ **450 MHz**! Ухото също се оказва ефективен резонатор точно в GSM честотните обхвати.



Ухото като резонатор



Човешкото тяло и човешката глава като резонатори

Ефект на “чуване” на микровълните

Много голям процент от хората (близо 1%) твърдят, че имат повишена чувствителност (хиперчувствителност) към модулирани RF-сигнали при високи нива на мощността и определена честота и модулация. Най-често подобна хиперчувствителност проявяват работещите на мощни радарни комплекси, излъчващи модулирани микровълнови сигнали. Такива хора могат да “чуват” директно микровълновите сигнали като “бръмчене” или “щракане” в главата си – [microwave hearing](#).



Понеже честотата на сигнала е висока (т. е. той не е аудио-сигнал, вкл. и модулиращият), директното “чуване” в човешкото ухо не е възможно. За обяснение на този ефект най-разпространената хипотеза е, че микровълновият сигнал предизвиква [термоеластично налягане в главата и по-точно в мозъчната кора](#), което се възприема като звук в слуховите апарати на вътрешното ухо.

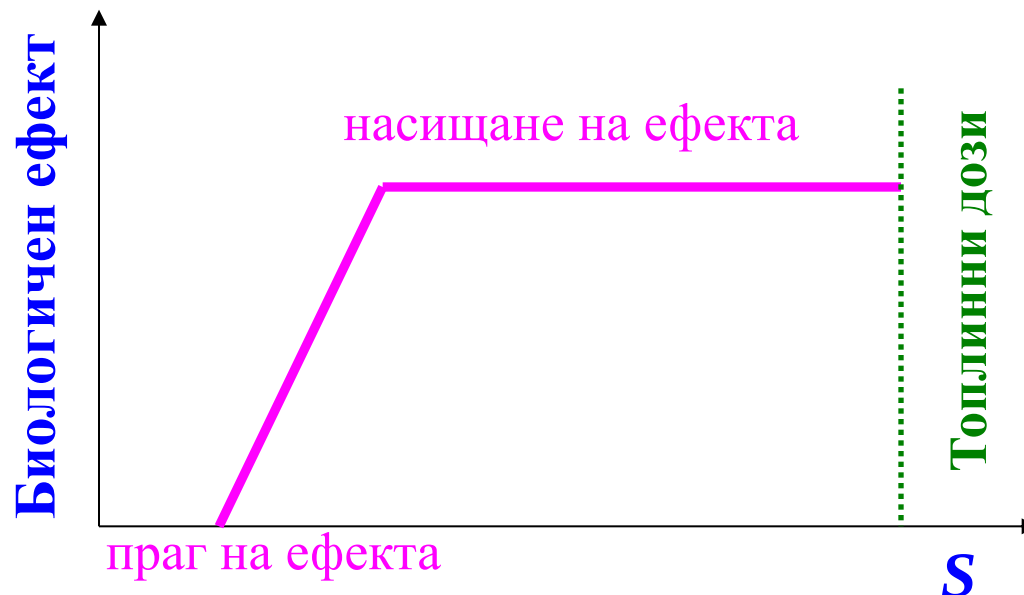
В радарните и мощните земни станции нивото на мощността на модулираните микровълнови сигнали е много високо. Освен нагряване, тук най-често се появява ефектът на “чуване” на сигнала

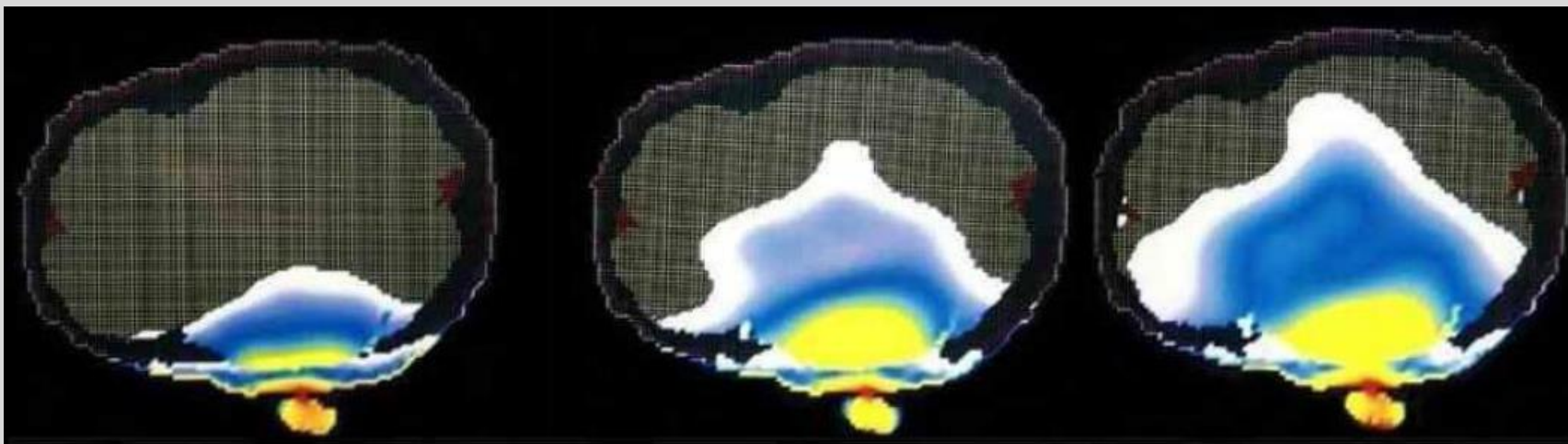
Нетоплинни ефекти

Освен топлинното въздействие, за микровълните има описани още много други ефекти при относително слаби нива на сигналите, които не могат да се свържат само с нагряване. Тези ефекти, при които температурата на тъканите не нараства с повече от 0.1°C , са обединени под общото название нетоплинни ефекти. В научната и дори в популярната литература се среща голямо разнообразие от такива ефекти при въздействие върху хора и главно при животни, но поради ниската доза на облъчване, те не са добре или изобщо не са възпроизводими, за да бъдат възприети като реално съществуващи факти и да влияят на здравето на хората. Наблюдаваните нетоплинни ефекти най-често се свързват със следните медицински и биологични явления: промяна в имунната система, неврологични ефекти, промяна в поведението, връзка между RF-облъчването и действието на някои лекарства и химични съединения, влияние върху потока на Ca^{++} йони в мозъчната тъкан (а чрез него промяна в EEG-ритъма, забавени реакции, влияние върху REM-съня, свързан с функционирането на паметта, възприятията, обучението и др.), ефекти върху ДНК (включително разрушаване на ДНК молекули) и др. Много от тези ефекти не са изучени детайлно, някои от тях не са повторени от други изследователи, а за други има противоречиви данни и още се спори (например, има ли потенциална връзка между облъчване с микровълните и заболяване от някои видове рак?). Сериозен двигател за увеличаване на интереса към тези изследвания е потенциалният риск от използване на мобилните телефони от големи групи от хора. За масовият потребител на мобилните телефони има широк кръг от представи за действието на микровълните – от много вредно, предизвикващо рак и др. подобни болести, до напълно безвредно и дори в известна степен полезно, например за подобряване на имунната система. В недалечно бъдеще се очаква много от въпросите, свързани с влиянието на микровълните върху човека, да бъдат решени поради наличието на огромен интерес.

Много характерен ход на даден нетоплинен биологичен ефект

Независимо от многообразието на описаните нетоплинни ефекти, настъпването на даден биологичен ефект има характерен ход, показан на фигурата долу. Той се характеризира със следното. Под някаква гранична стойност на плътността на потока на мощността $S \sim E^2$ ефектът не се наблюдава; появява се над този праг и расте до определена стойност на S , когато настъпва насищане и разглежданият биологичен ефект не расте количествено, докато не настъпи друг, топлинен ефект. Това показва сложността на изследванията на нетоплинни ефекти. Има много обстоятелства, които показват, че малките мощности могат да предизвикват по-забележими ефекти. Напр., в експериментални условия е установено, че слабите дози микровълни повишават окислително-възстановителните процеси в тъканите, а големите дози ги подтискат. Оттук идват и някои разпространени сред хората възгледи, че слабите дози от нейонизиращо лъчение са по-скоро благоприятни за хората.

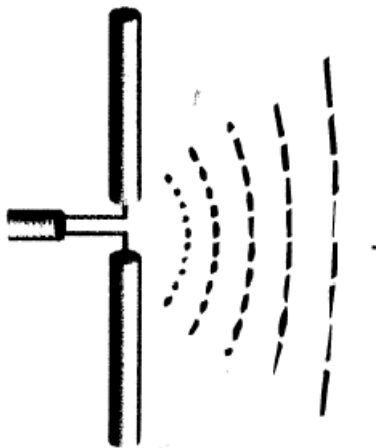




**Физични величини,
характеризиращи
нейонизиращото лъчение**

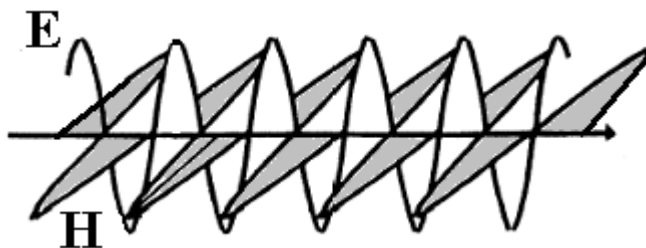
Величини, характеризиращи процеса на облъчване с нейонизиращо лъчение

При въздействие на йонизиращо лъчение (радиоактивно, UV-, рентгеново и пр.) важно значение има тяхната дозиметрия – определяне на хигиенната доза на облъчване (над фоновото ниво), под което работата с подобно лъчение може да се счита за относително безопасна. На подобна дозиметрия се поддават и нейонизиращите лъчения, каквито са микровълните. Кои са най-важните физични величини, използвани при дозиметрията на микровълново лъчение?



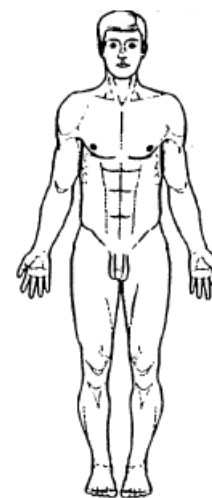
Величини, характеризиращи източника и антената:

Тип на източника, честота f ,
излъчена мощност P_T ,
параметри на антената



Величини, характеризиращи електромагнитното поле:

Интензитет на електрическото
 E и магнитното H поле,
плътност на потока на
мощността S



Величини, характеризиращи облъчения субект:

Локална проводимост,
специфична абсорбирана
мощност SAR, локална
температура

Плътност на потока на мощността S

Най-важната енергетична характеристика, свързана с микровълновото лъчение, е плътността на потока на мощността S в дадена посока през единица площ

$$S = \text{Re}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{S}) = \text{Re}(\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*)_z;$$

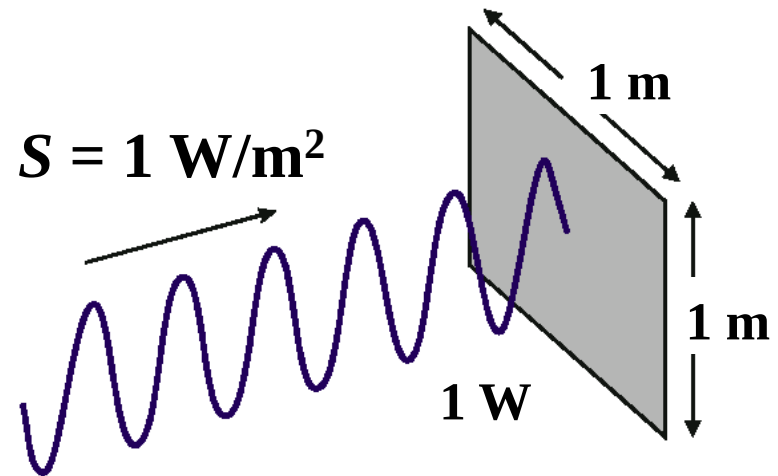
$$S = [\text{W/m}^2], [\text{mW/cm}^2]$$

където E и H са векторите на електрическото и магнитното поле. Това е големината на вектора на Пойнтинг. На практика се определя средна плътност на потока на мощността $\langle S \rangle$ чрез осредняване за време 6 - 30 min. Само в далечната зона на излъчвателя, където разпространяващата се вълна може да се разглежда като плоска, са валидни записаните по-долу връзки между големините на трите величини в съответните единици, характеризиращи полето S , E и H :

$$E = 19\sqrt{S}, \text{ V/m};$$

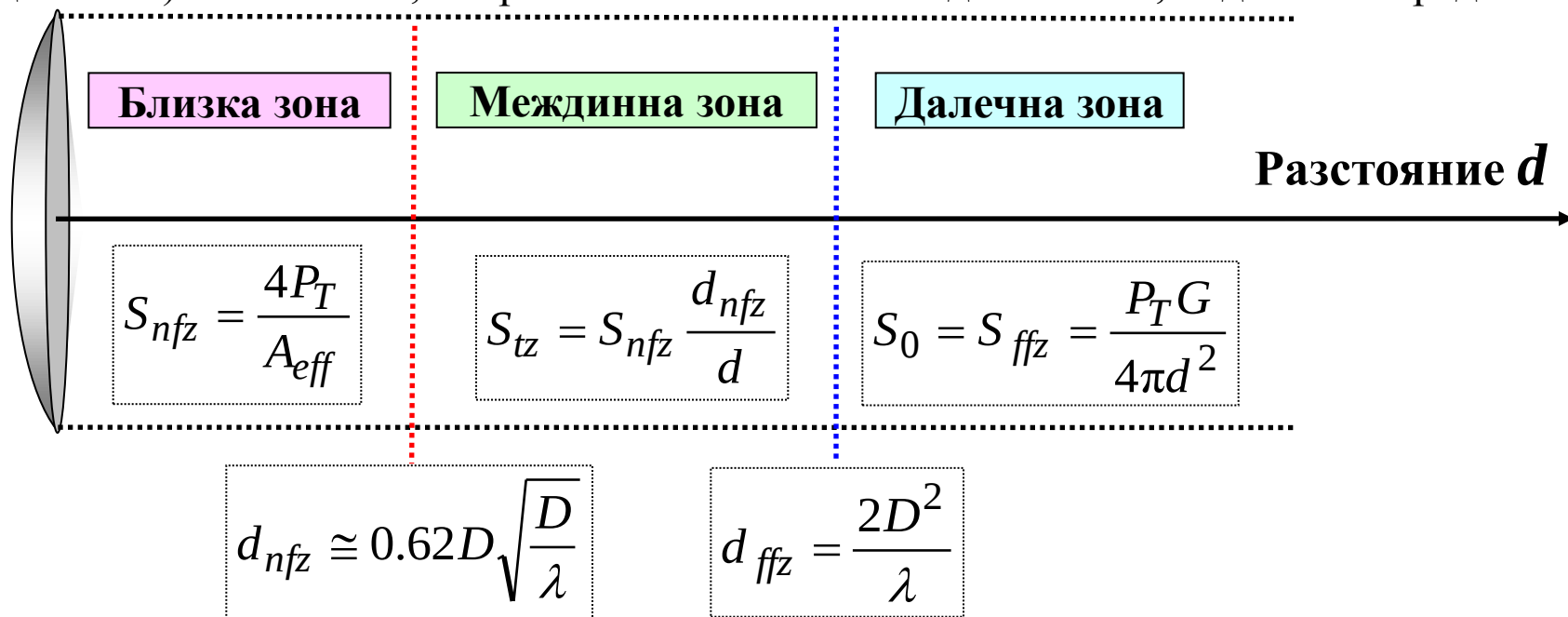
$$H = 4.8 \times 10^4 \sqrt{S}, \text{ A/m};$$

$$S = [\text{W/m}^2]$$



Определяне на плътността на потока на мощността S

Плътността на потока на мощността S може да се определи по различен начин в зависимост от разстоянието от излъчващата антена. Областта около антената може да се раздели на три зони: близка, междинна и далечна зона (вж фигурата долу). В близката зона, $d < d_{nfz}$, S_{nfz} практически не зависи от разстоянието и в първо приближение се разпределя равномерно по ефективната излъчваща апертура на антената A_{eff} . В междинната зона S_{tz} започва да спада линейно от разстоянието d . Най-достоверен е изразът за плътността на потока на мощността $S_0 = S_{ffz}$ в далечната (Фраунхоферова) зона $d > d_{ffz}$, където започва да спада квадратично с разстоянието. В представените долу формули са приети следните означения: P_T – мощност на източника; G – усилване на антената; $EIRP = P_T \cdot G$ – еквивалентна изотропно излъчена мощност, която не зависи от типа на антената; D – диаметър (или дължина) на антената; d – разстояние от антената до мястото, където се определя S .



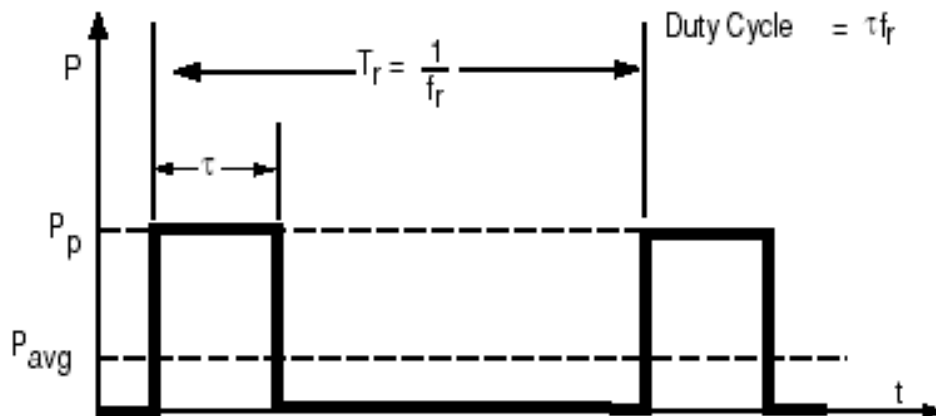
Плътност на потока на мощността S при модулирани сигнали

Следователно, плътността на потока на мощността $S_0(d)$ в дадена точка d в далечната зона на антенното поле по посока на главния лъч може да се изчисли достоверно, ако се знаят параметрите на излъчващата антена, честотата и мощността на източника P_T на сигнал в CW-режим. В общия случай в произволна посока (елевация θ , азимут φ) от антената в далечната зона величината $S(r)$ се дава с изрази

$$S = S_0 \cdot F^2(\theta, \varphi) \cdot K_1 K_2$$

$$S_0 = S_{ffz} = \frac{P_T G}{4\pi d^2}$$

където $F^2(\theta, \varphi)$ е диаграмата на насоченост на антената по мощност; в посока на главния лъч $F = 1$). $K_1 = \tau/T$ е коефициентът на запълване на сигнала (duty cycle), отчитащ импулсния характер на сигнала (τ е продължителност на импулса, T е периодът на повторение, в CW-режим $K_1 = 1$). K_2 е коефициент, отчитащ реалните условия на отражение от земната повърхност и има стойности в интервала 1 – 1.6; при липса на отражение $K_2 = 1$.

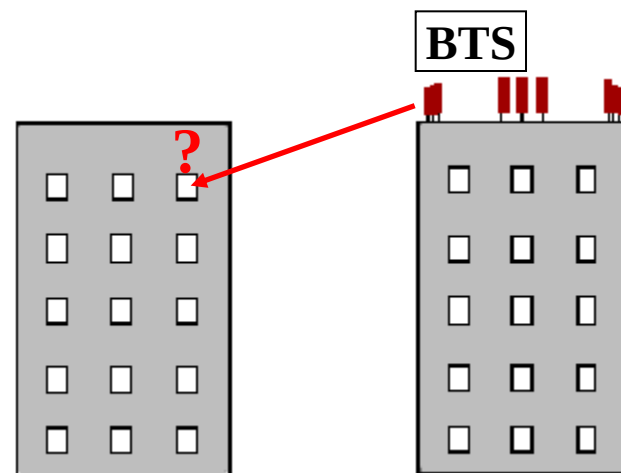
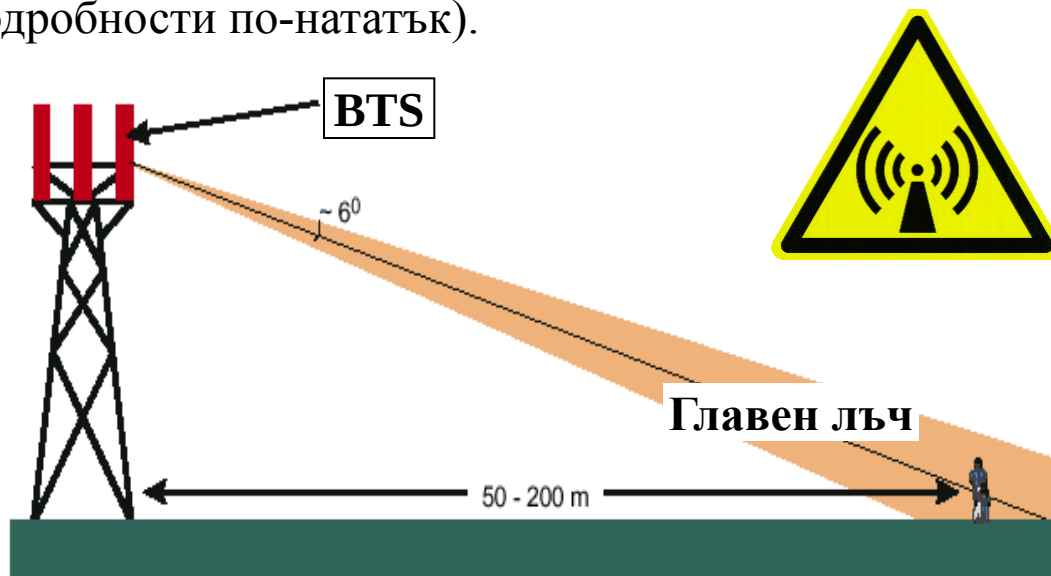
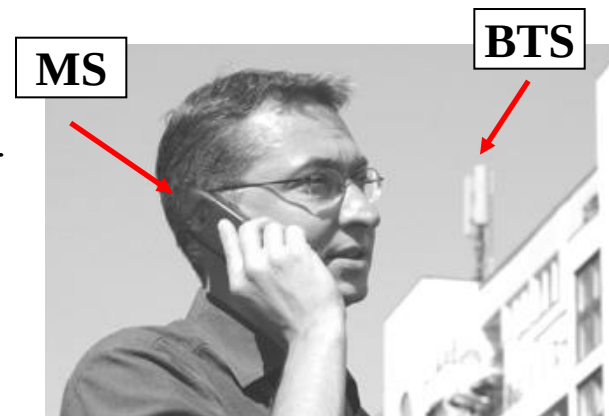


Разстоянието до антената – основен предпазен фактор

Важно обстоятелство за преодоляване на вредното излъчване в комуникациите е фактът, че плътността на потока на мощността спада квадратично от разстоянието. Това означава, че разстоянието е съществен фактор за предпазване от нейонизиращо лъчение.

Има следното важно правило: не стой близо до излъчваща антена, без това да е необходимо! (вж. фигурата долу). В повечето случаи това е напълно достатъчно за предпазване. В другите два случая това не е така. Първо, при мобилните телефони излъчващата антена на MS е в непосредствена близост до главата на човека, а във втория случай базовата станция е разположена близо до жилищни помещения (подробности по-нататък).

$$S \sim 1/d^2$$



Специфична абсорбирана мощност SAR

За съжаление, плътността на потока на мощността S , която показва какво е нивото на сигнала в дадена точка, не отчита в каква тъкан попада този сигнал и колко се нагрява тя. За тази цел се въвежда нова физическа величина, специфична абсорбирана мощност P_{abs} , известна като SAR (Specific Absorption Rate). Всъщност, SAR е важна дозиметрична характеристика на нейонизиращото лъчение и представлява осреднената стойност на погълнатата микровълнова енергия в тъканите на човека или други биологични обекти (подобно на въвеждането на понятието “доза” при йонизиращо лъчение). Осредняването става по времето за период 30 s, и по масата на тъканта за всеки 1 g (мярка за осредняване, приета в САЩ) или за всеки 10 g (мярка, приета в Европейския съюз).

$$SAR, \text{ W/kg} = P_{abs} = \frac{\sigma |E_{local}|^2}{\rho}$$

където σ е проводимостта на тъканта в S/m, ρ е плътността ѝ в kg/m³, а $|E_{local}|^2$ е квадрата на средноквадратичното локално електрическо поле в тъканта в (V/m)². От тази дефиниция е ясно, че величината SAR е количествена мярка за локалната погълната енергия в дадена тъкан in-vivo, както и мярка за нейното локално нагряване по формулите

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW_{abs}}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW_{abs}}{\rho dV} \right)$$

$$\frac{dT}{dt}, \text{ K/s} = \frac{SAR}{C_p}$$

където T е локалната абсолютна температура в K, а C_p е специфичният топлинен капацитет на разглежданата тъкан в J/kg.K.

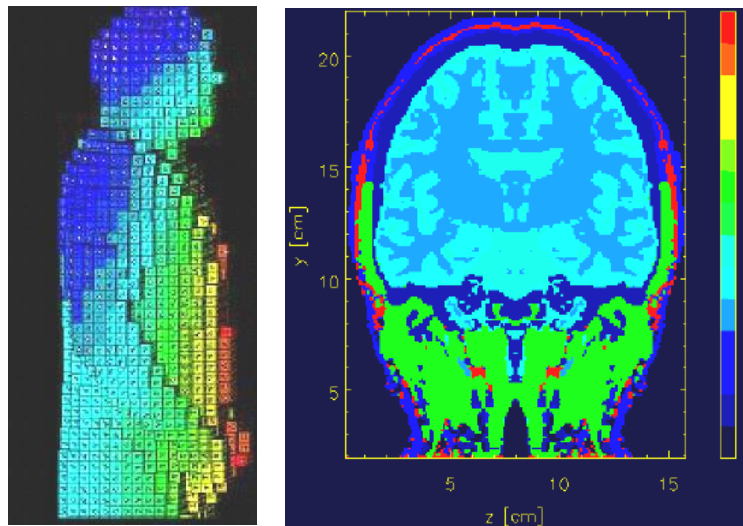
Методи за определяне на SAR

От казаното става ясно, че величината SAR не може да се измерва директно, а трябва да се изчислява по модели на човешки тъкани и органи. Това може да стане по два начина:

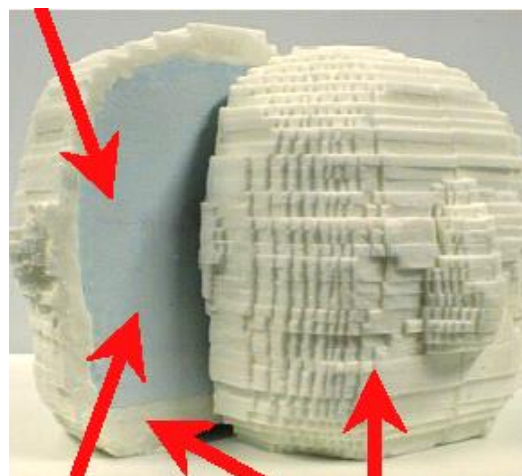
- ❖ Чрез компютърни симулации (моделиране на органите – тяло, глава, очи и др. и симулация на разпределението на SAR с помощта на електромагнитни 3D симулатори);
- ❖ Чрез измерване на разпределението на SAR във биологично еквивалентни фантомни модели на човек или части от него. Това може да стане: 1) чрез използване на микро-антени в тялото или фантома за измерване на локалното електрично поле E_{local} ; или 2) чрез използване на миниатюрни термични датчици за измерване на локалното изменение на температурата ΔT .

На фигурите долу са дадени компютърни и фантомни модели на човешка глава.

**Компютърни модели на тъканите
на човешко тяло и глава**

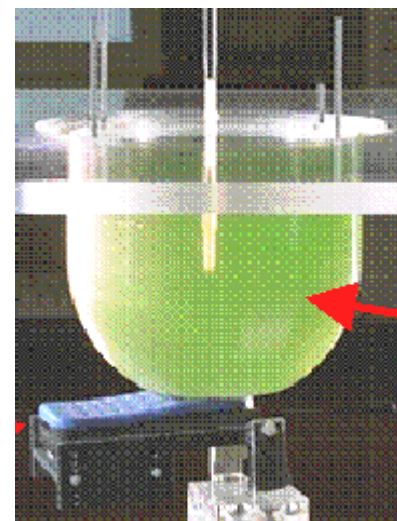


**Биологично еквивалентни фантоми
на човешка глава**



МОЗЪК

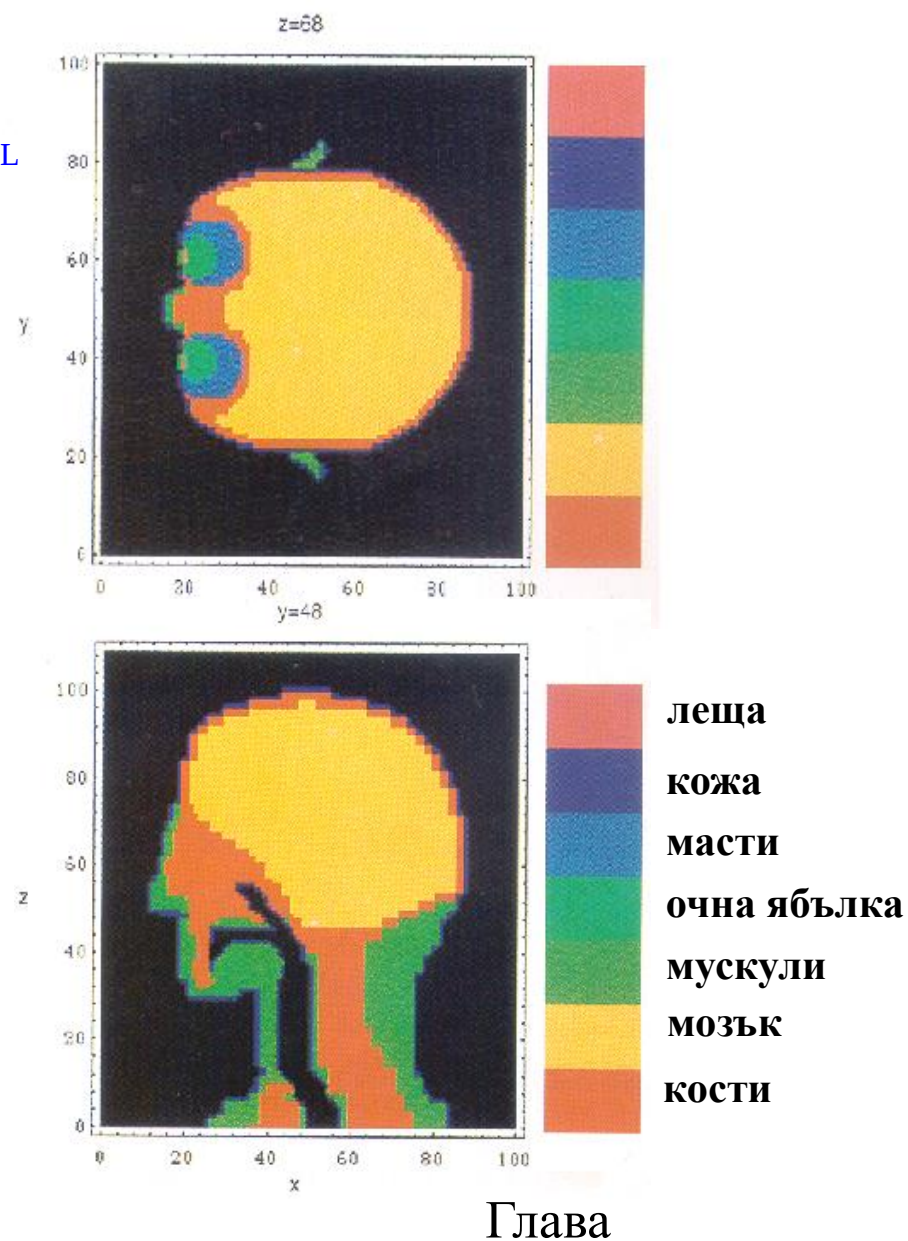
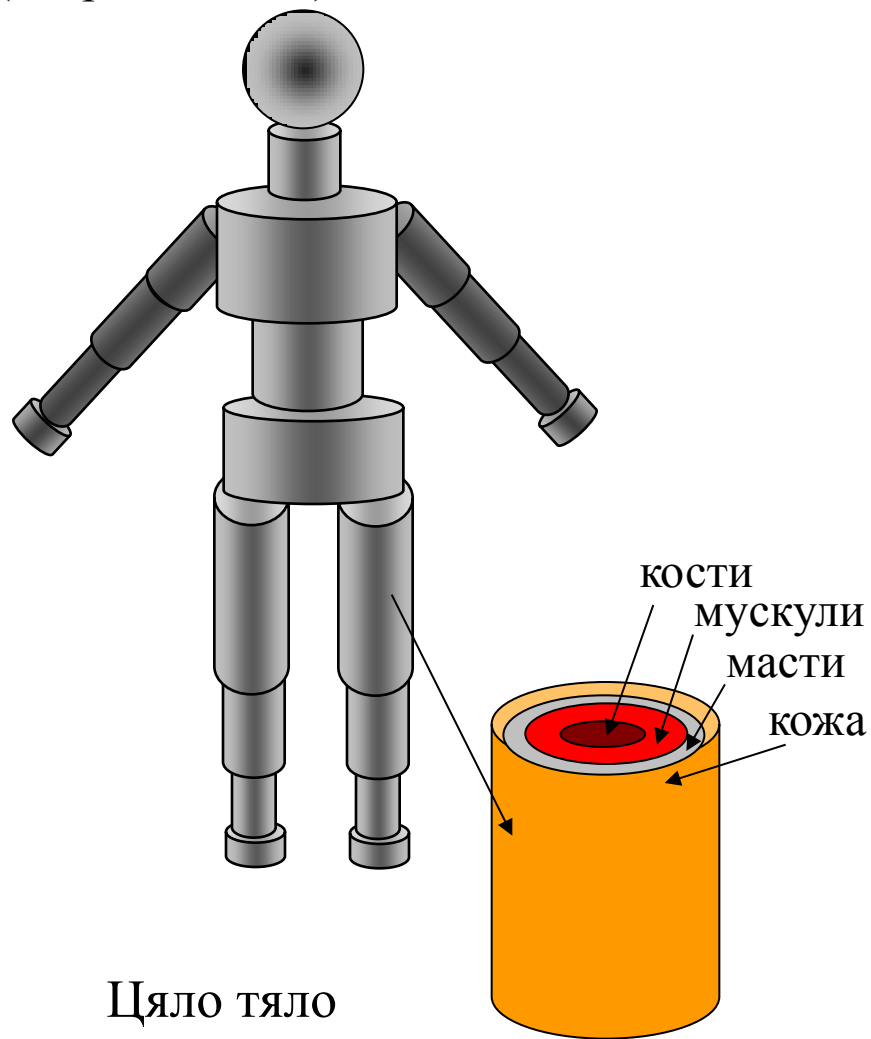
скули



Течен фантом

Прости анатомични модели на тяло и глава

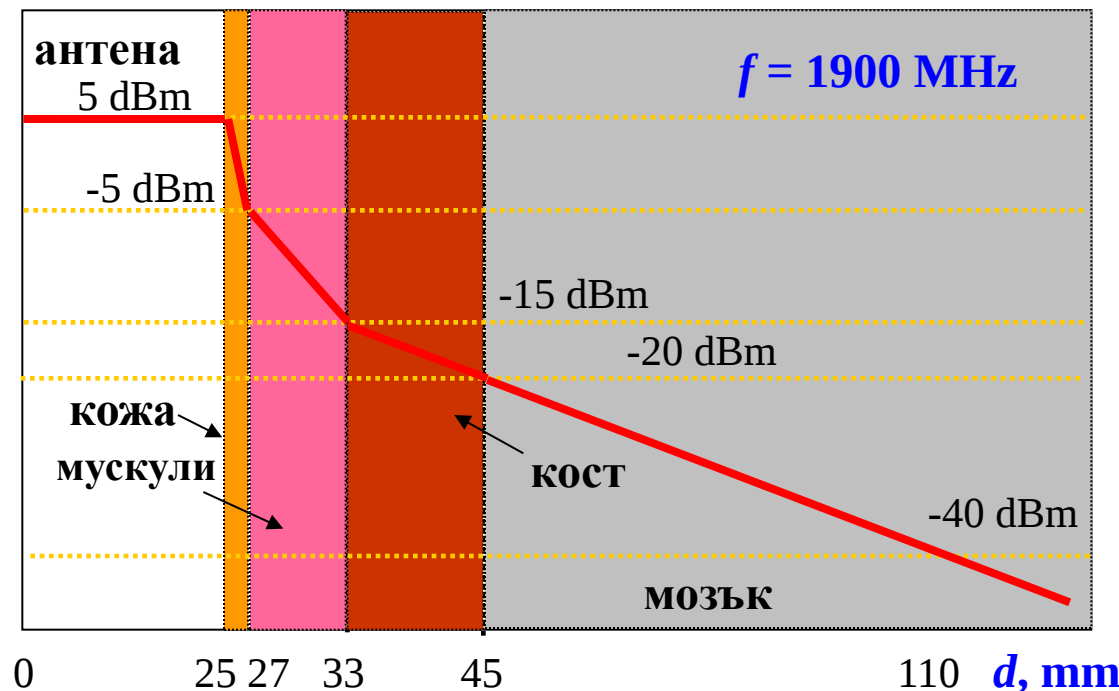
Илюстрирани са два подхода към определяне на SAR: 1) в цялото тяло на човек SAR_{WB} и 2) в отделни органи на тялото му, локална SAR_L (напр. в главата)



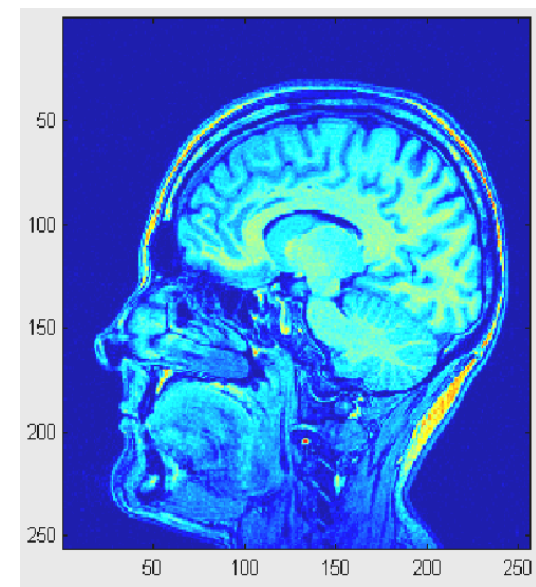
Определяне на SAR в човешка глава

От гледна точка на широката общественост много важно е да се установи как микровълнов сигнал (напр. в характерните GSM честотни обхвати) прониква в човешката глава. Най-простият модел на човешка глава е едномерна структура с 4 различни тъкани (кожа, скули, кости, мозък). На фигурата долу е показан хода на затихването на сигнала в отделните слоеве, свързано с диелектричните характеристики, дебелината на слоевете и частичните отражения на сигнала. На разстояние $\sim 9\text{-}10\text{ mm}$ относителното затихване е $\sim 40\text{ dB}$. В съседство е показан тримерен 4-слоен модел на глава с пространствена резолюция $\sim 1.1\text{ mm}$. На базата на подобни модели могат да се извършват достоверни оценки на SAR.

Мощност, dBm



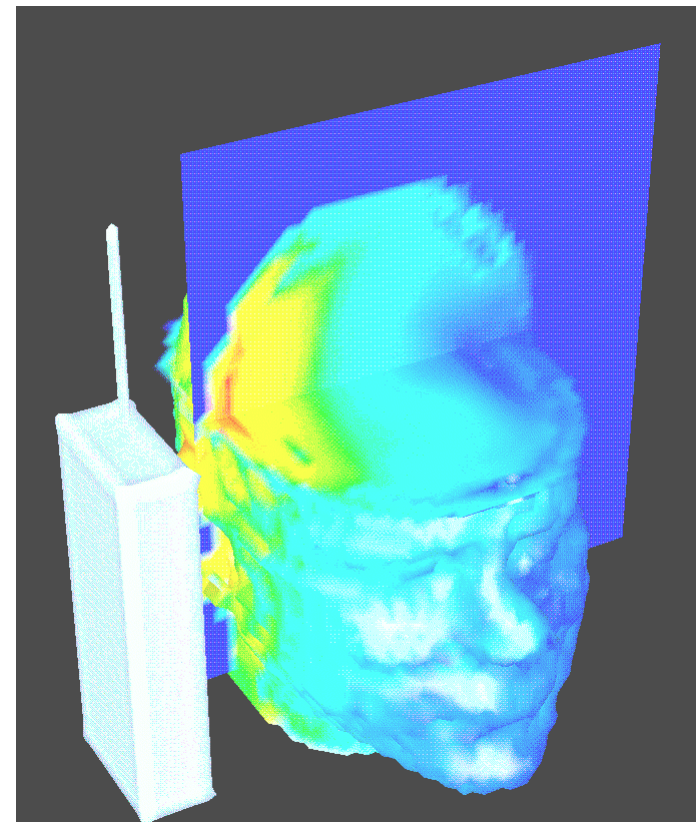
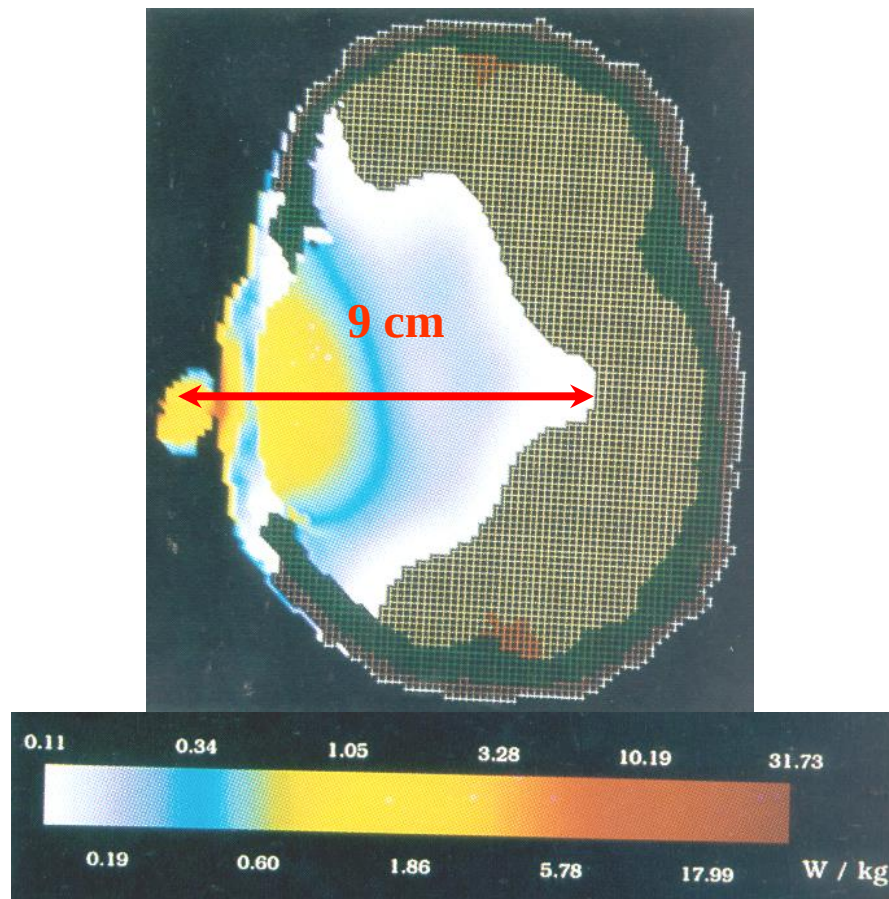
Едномерен 4-слоен модел на човешка глава и типично затихване на сигнала



Тримерен 4-слоен модел на човешка глава

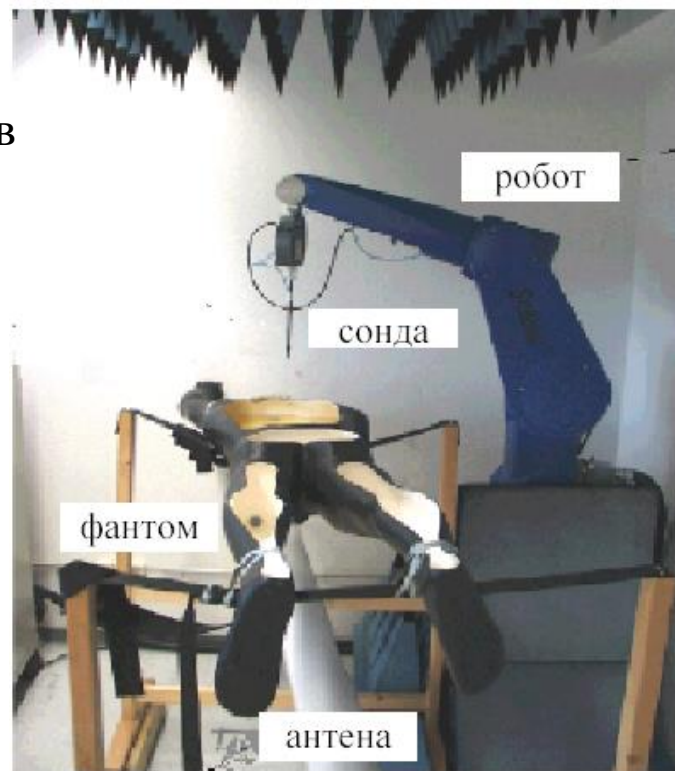
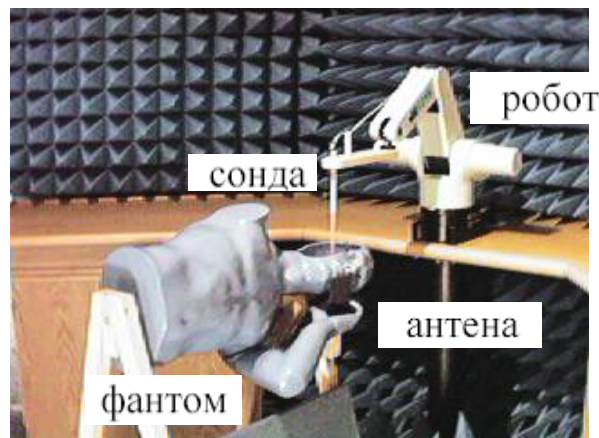
Симулация на модел на човешка глава и определяне на SAR

Симулациите на SAR в човешка глава са важни за установяване на дълбочината на влияние на антените на мобилните телефони (подробности по-нататък). Тук са показани две характерни разпределения на SAR (вляво) и температурата (вдясно) в човешка глава. Типичната дълбочина на проникване и абсорбиране на сигнал е ~ 9 cm, но тази стойност зависи от много фактори. Нарастването на температурата е най-силно близо до повърхнинния слой кожа и скули зад ухото.



Експериментално определяне на SAR

Експериментално измерване на SAR в човешкото тяло също е възможно. Много рядко се извършват директни измервания с живи хора. При подобни измервания могат да се определят главно повърхнинни ефекти или влияние на човешката глава върху диаграмата на антената. Много често днес се използват биологично еквивалентни фантоми (на глава, ръка или цяло тяло). При някои фантоми има достъп до вътрешността им и с помощта на роботизирана система може да се измери разпределение на SAR или температура в дълбочина в зависимост от проникването на сигнала в главата (при облъчване с антена на MS) или в цялото тяло (при антена за BS).



Софтуерни калкулатори за SAR

модел
→
 f , MHz
→
 S , mW/cm²
→

The RadHaz SAR Equivalency Calculator Version 2.0 ©2000 Richard Tell Associates, Inc.

File Preferences Help

Reference Conditions

Species:

Polarization: ☒ E ☐ H ☐ K

Frequency (MHz):

Power Density (mW/cm²):

Find SAR

SAR

<-- SAR (W/kg)

Equivalent Power Density -->

S

Equivalent Conditions

Species:

Polarization: ☒ E ☐ H ☐ K

Frequency (MHz):

Calculate Power Density



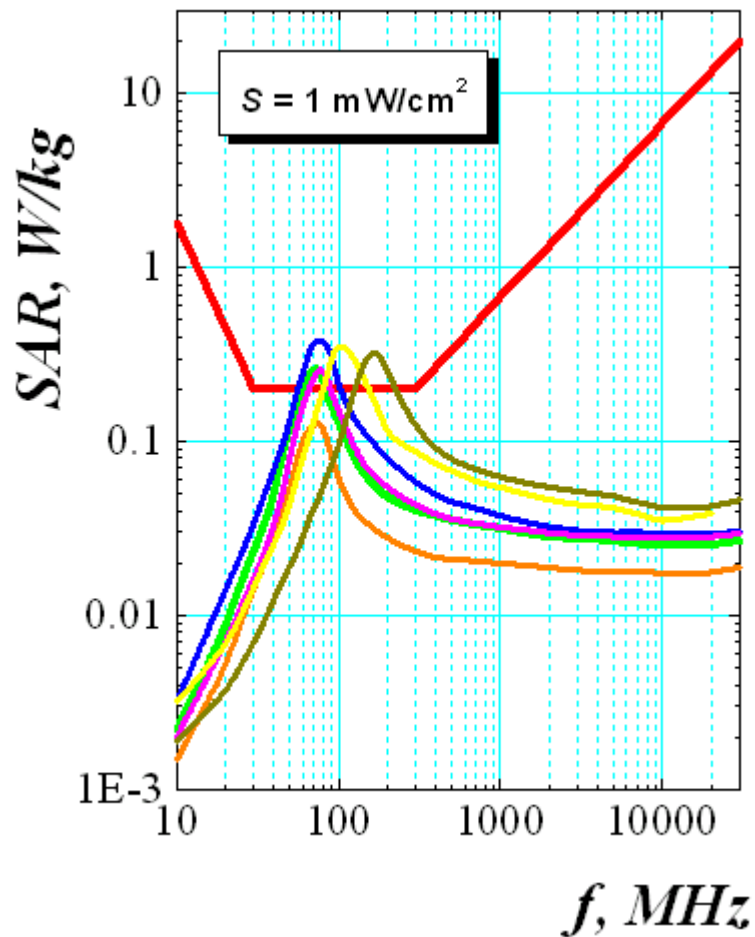
Richard Tell Associates, Inc.

ELECTROMAGNETIC CONSULTING AND RF SAFETY PRODUCTS

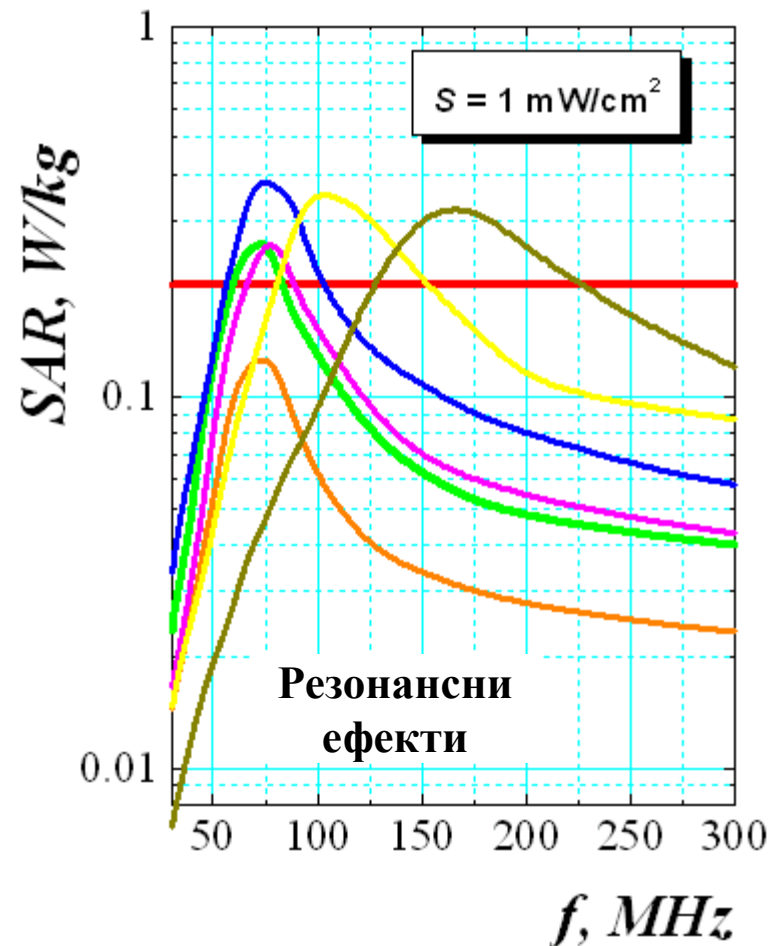
www.RadHaz.com

За улеснение на хората, които се интересуват от проблемите на облъчване с нейонизиращо лъчение са разработени SAR калкулатори. При зададени: честота, плътност на потока на мощността и модел се определя SAR на даден обект: възрастен мъж или жена, слаб или пълен мъж или жена, деца на различна възраст, някои животни (вж. следващата страница)

Оценки на SAR в различни типове хора чрез SAR-калкулатор

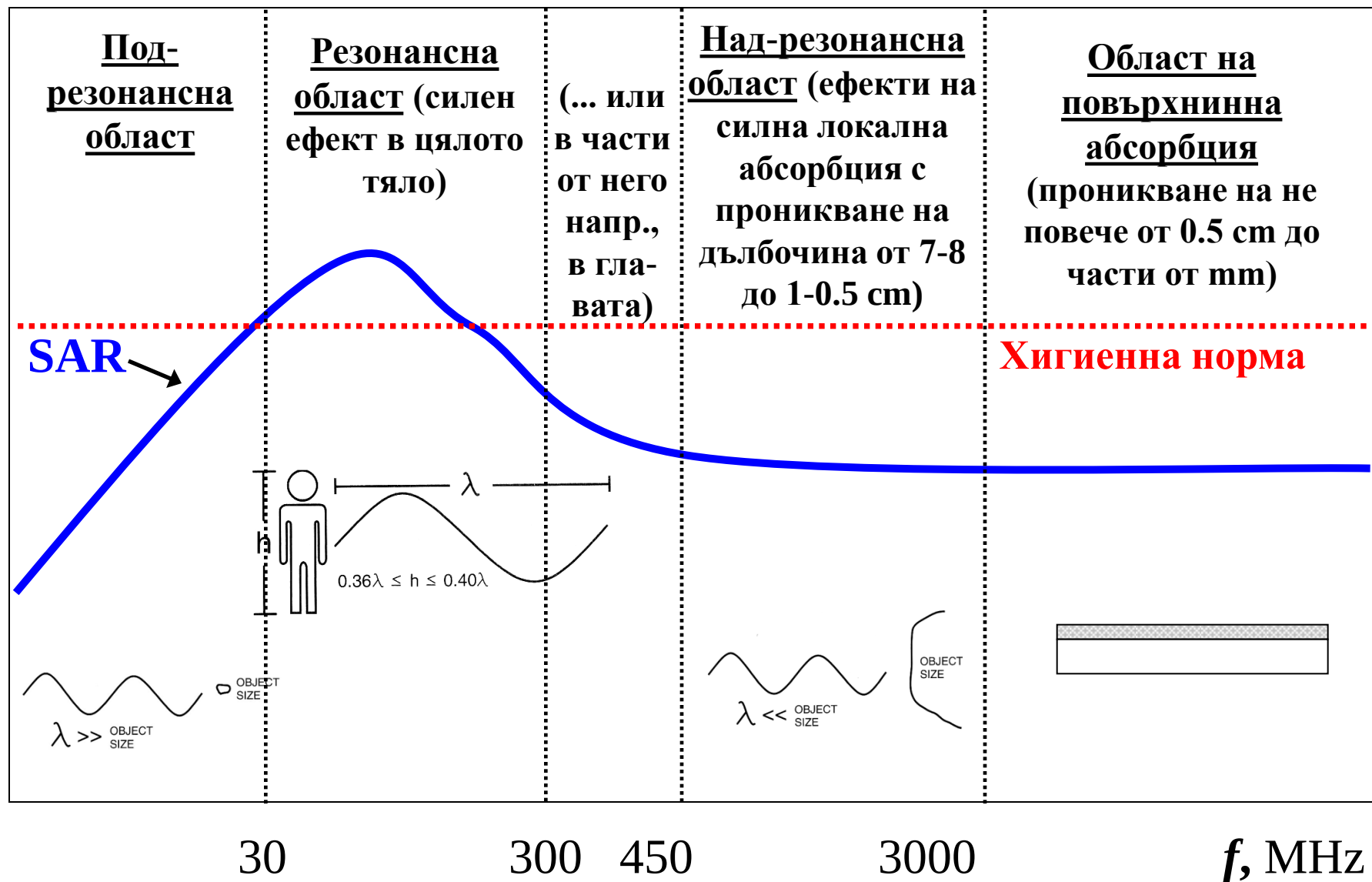


- Хигиенна норма
- Осреднен мъж
- Осреднен слаб мъж
- Осреднен дебел мъж



- Осреднена жена
- 5-годишно дете
- 1-годишно дете

Обобщение - как се изменя SAR от честотата в човешкия организъм? (съгласно изследванията на IRPA, 1988)



От какви фактори зависи даден биологичен ефект?

От казаното дотук можем да обобщим, че даден биологичен ефект зависи по доста сложен начин от много фактори, характеризиращи процеса на **облъчване (exposure)** с нейонизиращо лъчение. Основните фактори са следните:

❖ Фактори, свързани с източника на облъчване: мощност на излъчване или по-точно еквивалентна изотропно-излъчена мощност, тип на излъчването (непрекъснато или импулсно), тип на модулацията (ако има такава), честота на излъчване, паразитни честоти или наличие на хармонични на основния сигнал, брой на излъчвателите и др.;

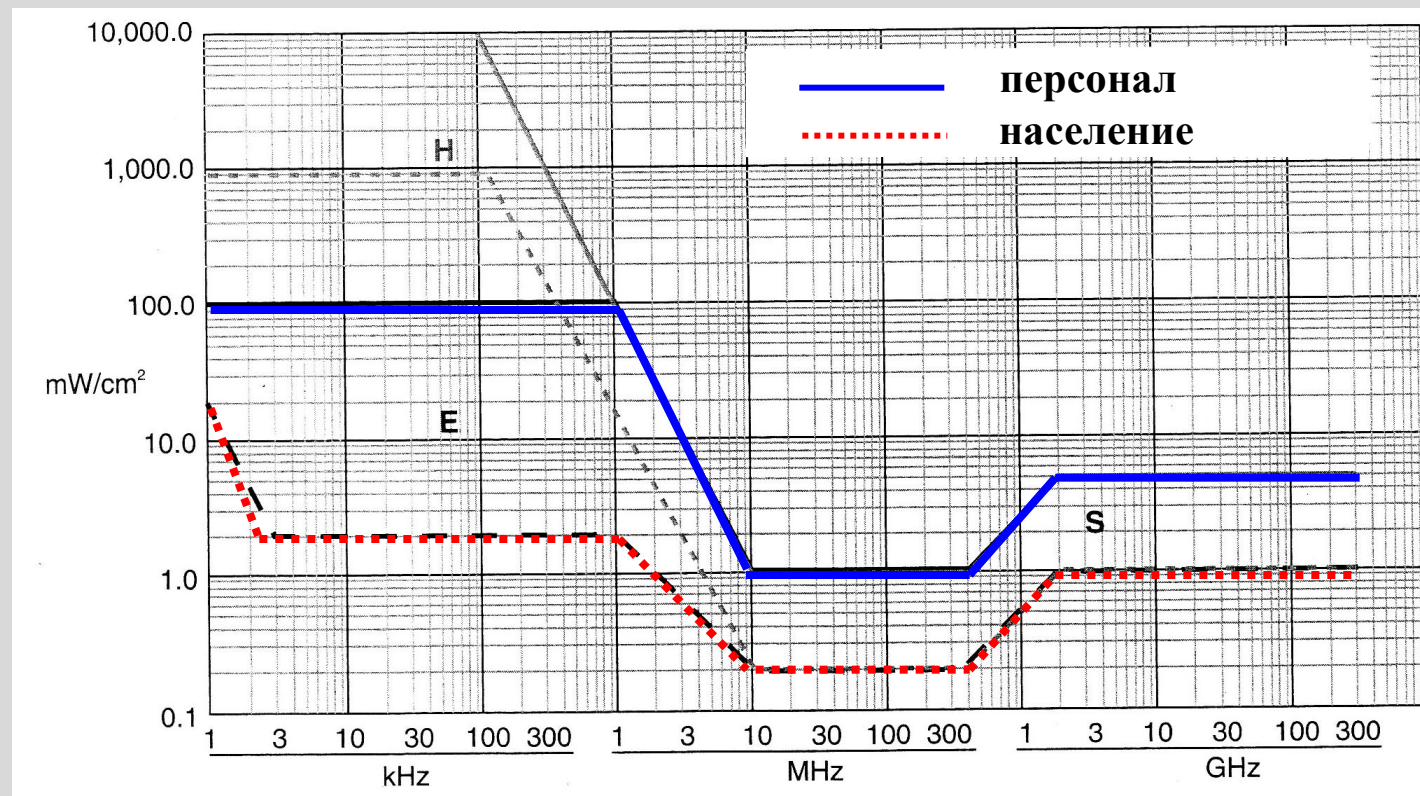
❖ Фактори, свързани с антената: размер на антената и ефективна излъчваща апертура, диаграма на насоченост (ненасочена, слабо насочена, силно насочена), усилване, ширина на главния лъч, ориентация (посока на главния лъч), наличие на странични листа (ниво, посока и др.), поляризация на излъчения сигнал, височина на антената и др.;

❖ Фактори, свързани с разпространението на сигнала: сложност на разпространяващия се сигнал (в близка, междинна или далечна зона, т. е. плоска вълна), разстояние до източника, поляризация на разпространяващия се сигнал, наличие на отразяващи, разсейващи или абсорбиращи обекти в близост до облъчвания и др.;

❖ Фактори, свързани с обекта на облъчване: размер на обекта в сравнение с дължината на вълната (с малки размери, с големи размери, резонансно взаимодействие), структура на обекта и тъканите, диелектрични характеристики на тъканите (диелектрична проницаемост, проводимост – HWC, LWC), плътност и топлопроводност (възможност за топлообмен), многослойна структура, големина на отраженията от отделните слоеве, дълбочина на проникване на полето и др.

❖ Фактори, свързани с продължителността на облъчване: време на облъчване.

Забележка: Голяма част от изброените фактори са свързани един с друг.



6.4 Хигиенни норми за нейонизиращо лъчение

7 Clair Road West, P.O. Box 27051, Guelph, ON, N1L 0A0 ▶ Tel 519.240.8735
support@slt.co ▶ www.slt.co

International Radio Frequency "RF" Exposure Limits for 1800 MHz Range

(Cell Phone, WiFi, Smart Meters, etc)

Location	Reference	Exposure time	Limit Based On	Lower by	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	V/m
Most of Western Europe	IEEE C95.1-1999 and ICNIRP	30 minutes	Thermal / Heating	-	10,000,000	61.4
USA	(FCC) IEEE C95.1-1999 and ICNIRP	30 minutes	Thermal / Heating	-	10,000,000	61.4
Canada	Safety Code 6, Table 5 (2015)	6 minutes	Thermal / Heating	66 x	4,393,278.4	40.7
Russia	Sanitary Norms and Regulations 2.2.4/2.1.8.055-96	3 hours +	Biological Effects	100 x	100,000	6.14
China	UDC 614.898.5 GB 9175 -88	3 hours +	Biological Effects	100 x	100,000	6.14
Italy	Sanitary Norms and Regulations 2.2.4/2.1.8.055-96	3 hours +	Biological Effects	100 x	100,000	6.14
Most of Eastern Europe	Sanitary Norms and Regulations 2.2.4/2.1.8.055-96	3 hours +	Biological Effects	100 x	100,000	6.14
Switzerland	Ordinance on Protection from Non-ionising Radiation (NISV)	Long Term	Precautionary	100 x	100,000	6.14
Toronto Board of Health, Canada	Proposed 1999	Long Term	Precautionary	100 x	100,000	6.14
Bio-Initiative Report recommendation	Bio-Initiative Report 2007	Long Term	Biological / Precautionary	10,000 x	1,000	0.614
Salzburg Resolution on Mobile Telecommunication	Preventive public health protection, Salzburg, June 7-8, 2000	Long Term	Precautionary	10,000 x	1,000	0.614
European Parliament	Resolution 1815, Strasbourg, May 27, 2011	Long Term	Precautionary	10,000 x	106	0.2
Building Biology Guidelines Germany (Sleeping Areas)	SBM2008 - Level of No Biological Concern	Long Term	Precautionary	100,000,000 x	0.1	0.006,14
Cell Phone Operational Requirements				10,000,000,000 x	0.001	0.000,061,4
Natural Cosmic Radiation	MAES 2000	Long Term	Natural Exposure	10,000,000,000,000 x	0.000,001	0.000,000,061,4
Average Indoor Urban Exposure Toronto, Canada	Safe Living Technologies Inc. 2011	Long Term			200 - 5000	0.3 - 1.4

Хигиенни норми за нейонизиращо лъчение

Всяка държава определя свои хигиенни норми за нейонизиращо лъчение (включително и за микровълните) по различни критерии и достоверно определени механизми на въздействие, поради което се среща голямо разнообразие от стойности. Има хигиенни норми за плътност на потока на мощността S (респ. E , H) (както е в България), но и за SAR (напр. в САЩ, в Европейски съюз). Освен това има норми както за населението (safety standards; хигиенно-защитни норми), така и за персонал, който по принцип работи с подобно лъчение (в радио и tv-кули, радарни установки и др.). Отделно има и военновременни норми. Хигиенните норми в дадена страна се определят: 1) в зависимост от честотата; 2) за плътност на потока на мощността в W/m^2 (над 300 MHz), или поотделно за електрично (V/m) и за магнитно поле (A/m) (под 300 MHz), както и за SAR във W/kg ; 3) поотделно за население и за персонал.

Възприетите хигиенно-защитни норми за облъчване на хората с нейонизиращо лъчение (в Западна Европа и САЩ) се основават на възможността за предпазване на човека от **топлинните ефекти при въздействие с микровълни** (прегряване на тялото с над $1^{\circ}C$). Например, при **$S \geq 100 mW/cm^2$** (стойност, която се получава при силно слънчевото греење през лятото) се наблюдават ясни симптоми на **прегряване** на тялото и повреждане на тъкани поради невъзможност за ефективен обмен на получаваната топлина. При **$S \sim 10 mW/cm^2$** много водосъдържащи тъкани и органи на човека се нагряват измеримо, но без да се повреждат. Степента на тези ефекти зависят от: размера, формата и ориентацията на обекта (**резонансно нагряване**), времето за експозиция, свойствата на съседните тъкани, ефективността на топлообмена и кръвоснабдеността и пр. **Измерванията на средните нива на плътността на потока на микровълновата мощност в околната среда на хората (далече от излъчватели) показват, че те са много под стойностите на приетите хигиенно-защитни норми.**

Хигиенни норми за нейонизиращо лъчение в България

В двете таблици по-долу са дадени стойностите на хигиенно-защитните дози за населението в България при облъчване с нейонизиращо лъчение, съгласно Наредба No. 9 от 1991 г. на МЗ и МОС (Държавен вестник, бр. 35 от май 1991 г.) и същото за няколко различни държави. Прави впечатление, че някои от стойностите се различават до 100 пъти – напр. нормата за S в България и в държави от Европейския съюз. Това се дължи на различното значение, което се предава на нетоплинните механизми на въздействие в някои бивши Източно-европейски държави и Русия, както и в някои други държави като Австралия, Нова Зеландия, Китай, Япония и др. В САЩ, Европейски съюз и повечето от останалите държави хигиенните норми се определят основно на базата на топлинния механизъм. Най-важните организации, които определят пределно-допустимите норми, са следните: USA FCC (Federal Communication Commission), IEEE C95, Canada Safety Code 6, ICNIRP Reference Levels 1998 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) и др. По-нататък ще използваме препоръките на ICNIRP, които се отнасят до Европа.

<i>Работен честотен обхват на излъчвателя</i>	<i>Пределно допустимо ниво</i>
30 – 300 kHz	25 V/m
0,3 – 3 MHz	15 V/m
3 – 30 MHz	10 V/m
30 – 300 MHz	3 V/m
0,3 – 30 GHz	10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

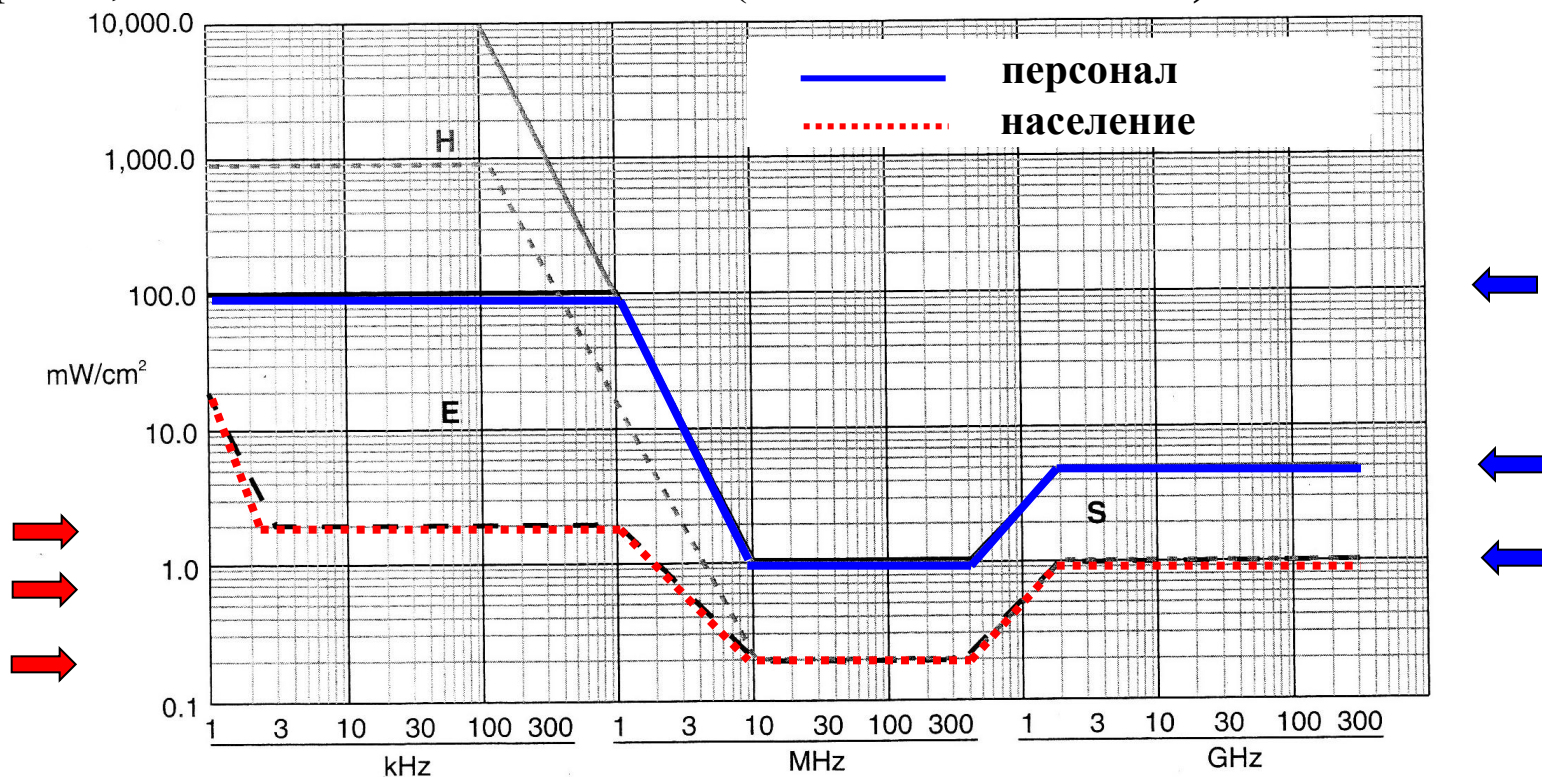
Хигиенни норми за облъчване на населението с нейонизиращо лъчение в България съгласно Наредба No. 9 от 1991 г. на МЗ и МОС (Държавен вестник, бр. 35 от май 1991 г.)

Държава	S [mW/cm^2]
България	0,01
САЩ	1
Русия	0,01
Европейски съюз	1
Япония	0,2
Китай	0,2
Австралия	0,2

Хигиенни норми за населението в различни държави за честотен обхват около 10 GHz

Хигиенно-защитни норми за плътност на потока на мощността (съгласно препоръките на ICNIRP)

В много страни има честотно-зависими норми за S . Долу са дадени нормите за S , препоръчани от ICNIRP. Хигиенно-защитните норми (за населението) до 1 MHz са 2 mW/cm^2 , но падат до едва 0.2 mW/cm^2 за 10 MHz и се задържат на това ниво до 400 MHz. След това нормата отново расте до 1500 MHz на ниво 1 mW/cm^2 . В честотни обхвати 60-250 MHz се наблюдават резонансни максимуми на SAR за цяло тяло на повечето хора – мъже, жени и деца. С това се обясняват и по-строгите норми в този обхват. Нивото 1 mW/cm^2 се запазва до 300 GHz. Нормата за персонал, в работната среда на който има нейонизиращо лъчение, е по-либерална, но с подобен ход с честотата ($100 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \text{ mW/cm}^2$).



Хигиенно-защитни норми за SAR

Нормите за SAR са изключително важни при съвременните безжични комуникации, при които има два типа сериозни облъчватели – от една страна, близко разположения до главата мобилен телефон, а от друга страна, базовите станции, които въздействат на живеещи или работещи в близост хора. В първият случай значение има локалната SAR_L (в главата, шията, очите, крайниците), за която се препоръчват различни стойности). При по-големи облъчватели по-информативна е SAR_{WB} за цялото тяло, която има по-ниски хигиенни нива. В таблицата са дадени данни от Health Canada's Safety Code 6, но те са подобни в много други страни: САЩ, Европейски съюз и др. Коментар на конкретните нива и условията за определяне на нормите за SAR са дадени на следващата страница.

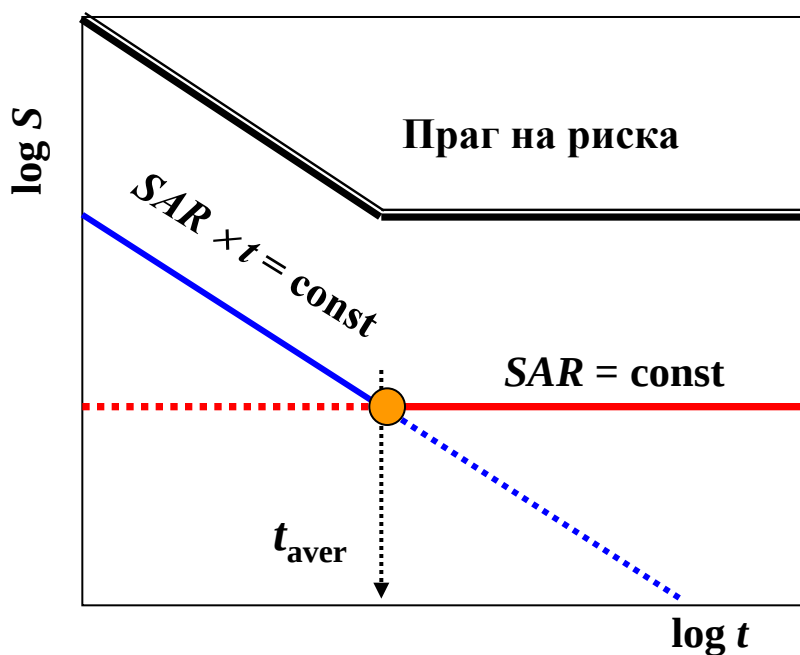
Величина $SAR, W/kg$	Хигиенна норма		Забележка:
	персонал	население	
SAR_{WB} (цяло тяло)	0.4	0.08	Осреднява се за масата на цялото тяло
SAR_L (глава, шия и др.)	8.0	1.60	Осреднява се за всеки 1 g маса на тъканта
SAR_L (очи)	1.60	0.2	Препоръчителна норма
SAR_L (крайници)	20.0	4.00	Осреднява се за всеки 10 g маса на тъканта

Хигиенни норми за SAR за персонал и население съгласно препоръките на Health Canada's Safety Code 6 (SC6) в честотен обхват от 100 kHz до 60 GHz

Хигиенно-защитни норми за SAR (коментар)

Това, че нормата SAR_L е по-голяма (по-либерална) от тази за $SAR_{WB} \sim 20$ пъти (от 2.5 до 50 пъти) се обяснява с факта, че когато енергията е погълната локално, останалите части на човешкото тяло (основно чрез кръвообращението) могат ефективно да разсеят по-високо ниво на локално погълната енергия. По тази причина (ефективност на локално кръвообращение) има и различни норми за SAR на различни части от тялото. Най-тежък случай е облъчването на очите, които нямат ефективно локално охлаждане.

За определяне на SAR и сравняване с допустимите норми се използват два вида осредняване: по масата на дадена тъкан и по времето за облъчване. Осредняването при определяне на SAR за част от тялото (глава, шия) става за всеки 1 g (САЩ, Канада) или на всеки 10 g (Европейски съюз). За други части на тялото (крайници) това става за всеки 10 g (или 100 g). SAR за цялото тяло се определя чрез осредняване по пълната маса на тялото.



Важно е и времето за облъчване. На фигурата са показани две прави в координати "logS–logt": $SAR = \text{const}$ и $SAR \times t = \text{const}$ (t – времето). Определена температура на даден орган може да се достигне или с постоянна SAR за дълго време или с постоянна специфична енергия $SAR \times t$ за късо време. Пресечната точка на двете прави определя препоръчителното време за осредняване t_{aver} на SAR при сравнение с нормата. Обикновено това време е ~ 6 s, докато за осредняване на S са необходими ~ 6 min (съгласно SC6; по други стандарти осредняването на S може да се извършва и до 30 min).



Хигиенно-защитни норми в България

Съгласно действащото в момента законодателство в България хигиенната норма в честотния обхват на мобилните клетъчни комуникационни системи (GSM, GSM 3G, LTE) се определя само за плътността на потока на мощността S и е установена на $S_0 = 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Това е обективна характеристика и не зависи от наличието и типа на биологичните тъкани, в които се поглъща излъчената мощност. Ако измерена стойност на S на дадено място не надхвърли $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ се счита, че няма здравен риск за хората, пребиваващи на това място. Хигиенната норма за България е по-строга от нормата в много европейски държави, защото освен общоприетият топлинен механизъм се предполага възможно влияние и на други, нетоплинни механизми. Това е много сериозно постижение за страната с ценна предпазна функция, но то е подложено на сериозен натиск от страна на мобилните оператори и може да отпадне.

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ НАРОДНО СЪБРАНИЕ

Проект

ЗАКОН

за изменение и допълнение на Закона за здравето

„Раздел VIa

Защита от въздействието на нейонизиращи лъчения

Чл. 72а. (1) Министърът на здравеопазването ръководи дейностите, свързани с анализ, оценка и контрол на нейонизиращите лъчения като фактор на жизнената среда с цел опазване здравето на населението.

(2) Министерството на здравеопазването, Националният център по обществено здраве и анализи и регионалните здравни инспекции информират населението за въздействието на нейонизиращите лъчения върху здравето на гражданите, както и за мерките за ограничаването му.

Чл. 72б. (1) Максимално допустимите нива на въздействие върху човека на електрически, магнитни и електромагнитни полета в честотния обхват от 0 Hz до 300 GHz, излъчвани от обекти с излъчващи съоръжения, които по своето основно предназначение излъчват, пренасят или трансформират електромагнитна енергия и които могат да въздействат на човека, се определят с наредба на министъра на здравеопазването.

(2) Максимално допустимите нива по ал. 1 се определят за две зони на въздействие на електрическите, магнитните и електромагнитните полета в зависимост от достъпа на населението до тях:

1. труднодостъпна зона;

2. достъпна зона.

(3) Към достъпната зона на въздействие на електрическите, магнитните и електромагнитните полета се обособява предпазна подзона, която обхваща жилищни сгради и обекти с обществено предназначение по § 1, т. 9, букви „л“, „о“ и „п“ от Допълнителните разпоредби.

Законът е приет от 41-ото Народно събрание на 2012 г. и е подпечатан с официалния печат на Народното събрание.

ПРЕДСЕДАТЕЛ НА
НАРОДНОТО СЪБРАНИЕ:

(Цецка Цачева)



Последни изследвания в Европа

Биологичното въздействие на нейонизиращото лъчение и кога то води до здравен риск, не е дискутирано тук. Авторска информация в популярен вид може да се намери в Интернет. Има и публикуван и интерпретации от мобилните оператори. Важен момент дали дадена хигиенна норма наистина предпазва хората от здравен риск е дали единствен механизъм на въздействие е топлинният (той е безспорен), или трябва да се отчитат и нетоплинни механизми (спорни). Един все още слабо изучен механизъм (дори според Световната здравна организация WHO) е въздействието върху хората на слаби цифрови модулирани сигнали, каквито са сигналите в съвременните безжични мрежи. Обобщена информация се предоставя от Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR): Health Effects of Exposure to EMF.



Directorate-General for
Health & Consumers

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks

SCENIHR

Health Effects of Exposure to EMF



European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure

Report on the level of exposure (frequency, patterns and modulation) in the European Union
Part 1: Radiofrequency (RF) radiation

Deliverable Report D4 of EHFRAN project

Due date of submission	August 2010
Actual date of submission	August 2010

Start date of project	February 2009
Duration	36 months

Изследвания в Европа (2)

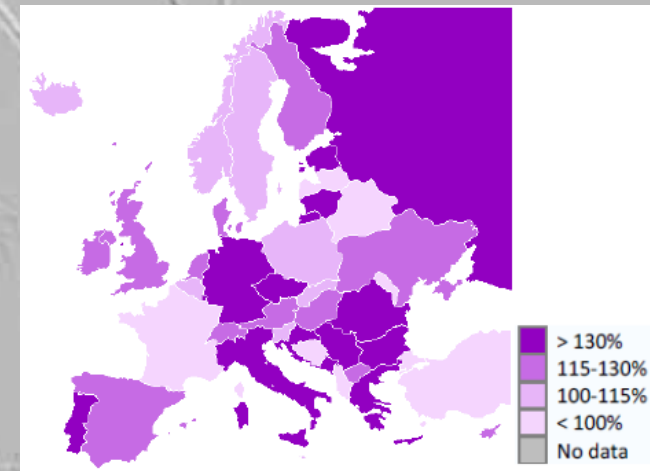
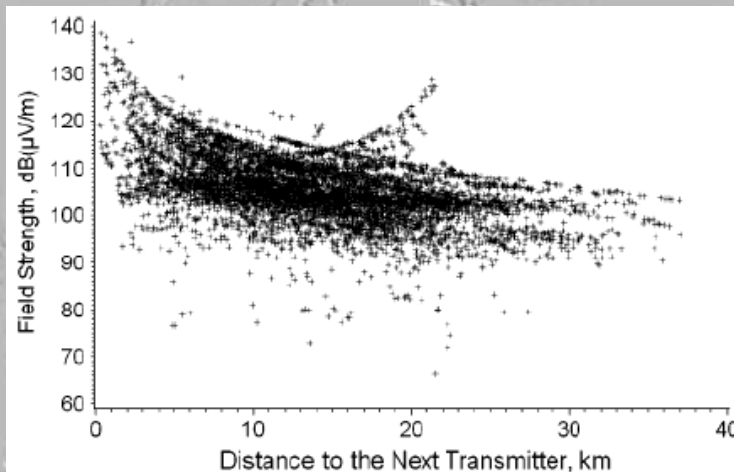
Известно успокоение за риска от облъчване специално от базови станции на GSM внася European Health Risk Assessment Network on Electro-magnetic Fields Exposure (EFHRAN) в своя отчет (2010) за измерените нива на експозиция на територията на целия Европейски съюз. Възприета е следната класификация на източниците на облъчване на хората с нейонизиращо лъчение според риска:

1. Мобилни клетъчни телефони и др. безжични устройства (*body-close portable devices*)

2. Вътрешни (*indoor*) устройства (*Access Points*) за достъп до безжични мрежи

3. Външни (*outdoor*) източници на клетъчни комуникационни системи (*базови станции*)

4. Външни (*outdoor*) източници на радио- и TV-разпръскващи системи (*кули*)



Класификация на устройствата (1)

1) На първо място с *важна степен на риск* за много голяма група от хора (особено за деца) се приема излъчването на мобилни, клетъчни телефони и др. безжични устройства (body-close portable devices). Облъчването от тях е локално, непостоянно, импулсно, на части от тялото (основно главата), почти не надхвърля хигиенната норма за SAR от 2 W/kg за ЕС (в България не е въведена още), но може (както е формулирано в доклада) да достигне локален максимум на излъчване, близо до това ниво. Такива са GSM телефоните от по-старо поколение, 3G телефоните, LTE (4G) телефоните и т. н. в този ред на намаляващ риск).



Класификация на устройствата (2)

2) На второ място, с *ограничена степен на риска* за голяма група от хора (но силен риск за деца) е излъчването от вътрешни (indoor) устройства за достъп до безжични мрежи (Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, бейби-фони, и др.). Облъчването от тях е локално, относително постоянно, импулсно, далеч под нормата за SAR в ЕС.

Wi-Fi



WiMAX



Bluetooth



бейби-фон



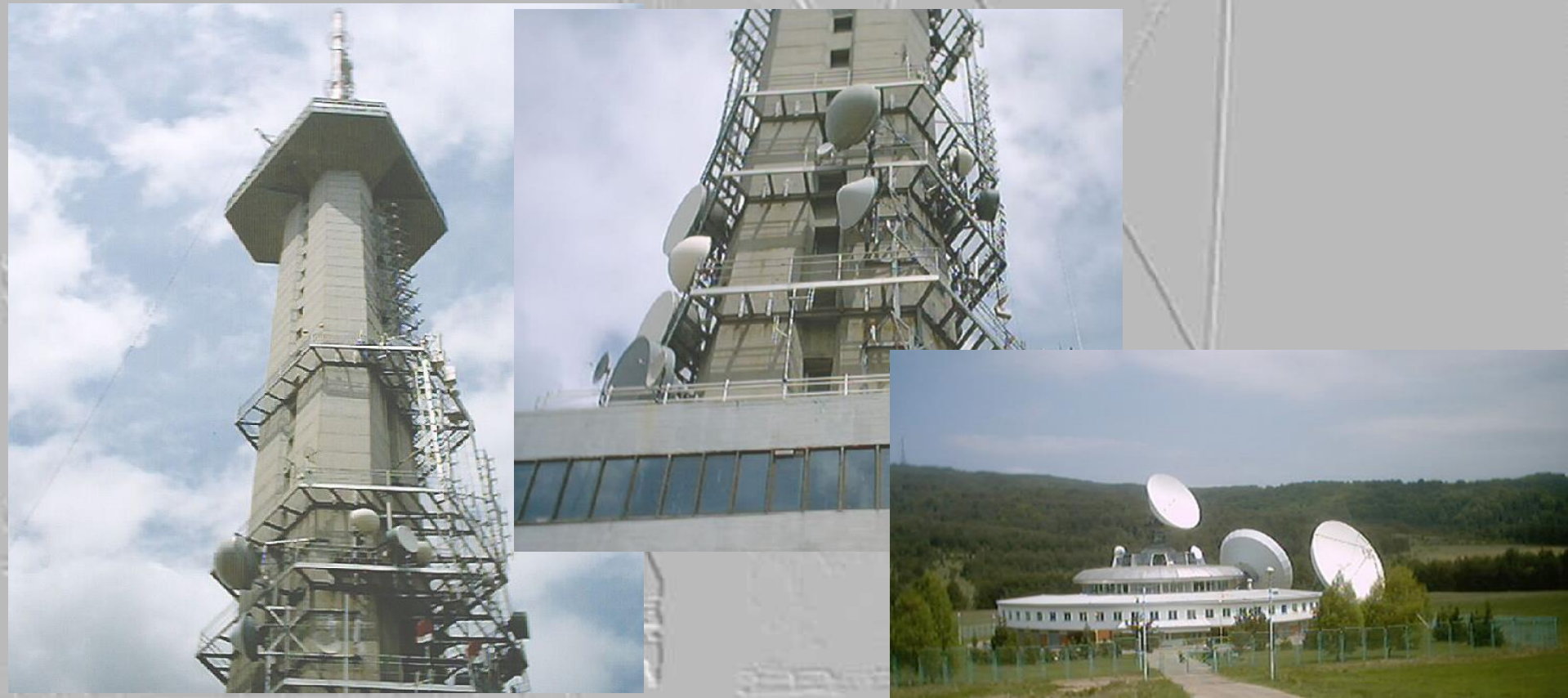
Класификация на устройствата (3)

3) Едва на трето място с *много ограничена степен на риск за случайно облъчване*, но с по-висока степен на риск при постоянно 24-часово пребиваване на ограничена група от хора (!), е излъчването от външни (outdoor) източници на клетъчните комуникационни системи (базови станции на GSM, 3G, LTE, WiMAX и др. в този ред на намаляващ риск). Облъчването от тях е постоянно, не толкова локално (в рамките на клетката), зависи от часовете на деня и комуникационния трафик и въздейства на цялото тяло (whole-body exposure). Измерените нива са типично под $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, (което е $\sim 10\%$ от нормата в България и $\sim 0.22\%$ от нормата в ЕС). Сигналът е посилен само в голяма близост до антената по посока на лъча, но точно това безпокои хората, защото това не винаги им е ясно предварително.



Класификация на устройствата (4)

4) На последно място с *много ограничена степен на риск* е излъчването от външни (outdoor) източници на радио- и телевизионни разпръскващи системи (tv и радио кули). Облъчването от тях е постоянно, но слабо (ако е далече от кулата), зависи от часовете на деня и въздейства на цялото тяло. Само в близост до кулата (обикновено зоната е ограничена за достъп) нивото надхвърля хигиенната норма за население, но там са въведени хигиенни норми за персонал.

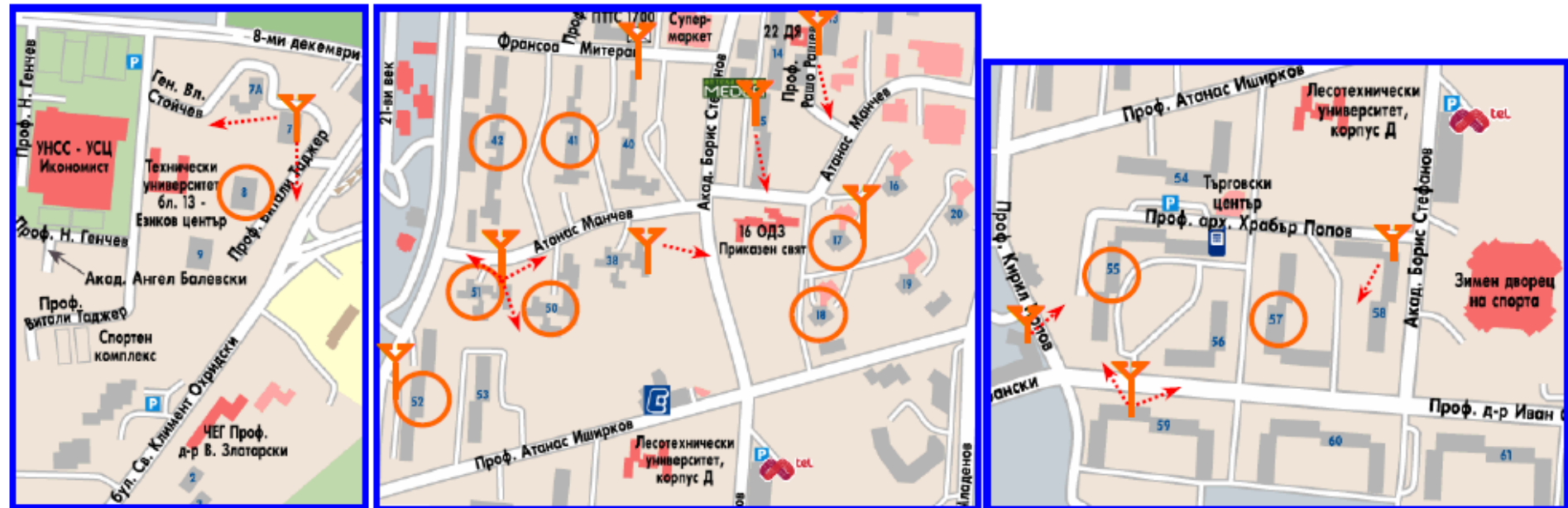




**Базовите станции – дали
са такъв голям проблем!?**

Изследване в Студентски град

Съгласно заповед на Ректора на Софийски университет бях натоварен да извърша измервания на нивата на електромагнитните сигнали от антени на мобилни оператори на територията на блокове 8, 17, 18, 41, 42 Б, 50, 51, 52, 55 А, Б и 57 в Студентски град.



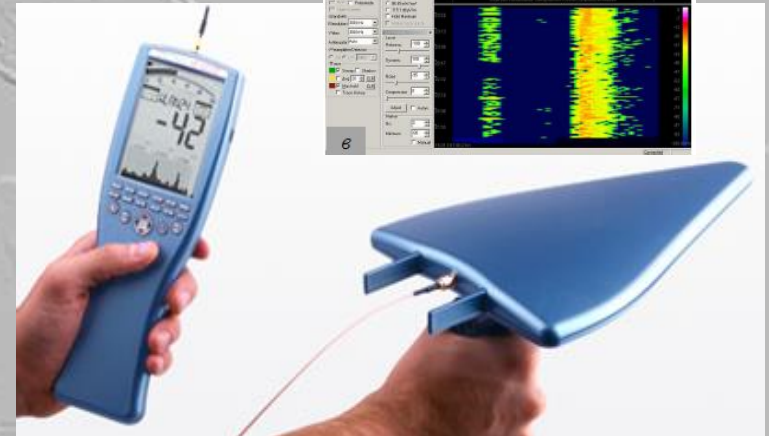
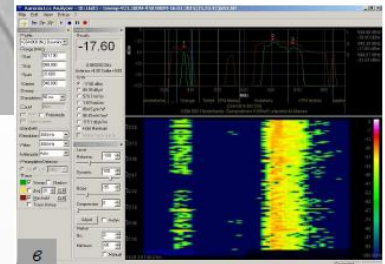
Фиг. 1. Карта на разположението на изследваните блокове и местоположение и приблизителна посока на излъчване на антените на базови станции, които могат да са причина за по-високи нива на сигналите. Легенда:

○ - изследван блок; ⌋ - изследван блок с монтирана антена; Y - антена на съседен блок; ↗ - вероятна посока на максимално излъчване от секторните антени на базовите станции

Използвана апаратура

Фирмено-калибриран прибор HF38B на немската фирма “Gigahertz Solutions” с обхват 800 MHz до 2.5 GHz с максимален обхват $1.999 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Измерва точно плътността на потока на мощността в $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. За десетократно увеличаване на обхвата по мощност (до $19.99 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) се използва атенюатор със стойност -10 dB . За по-силни сигнали (регистрирани само на едно място в зала 603 във ФХФ) е използвано и допълнително затихване.

Портативен спектрален анализатор SPECTRAN-HF2-v21 на немската фирма “AARONIA” с обхват 100 MHz до 6 GHz, който позволява относително точно измерване на спектъра на излъчения сигнал. Приборът се управлява от специален софтуер през USB входа на лаптоп, което позволява да се извършват записи на измерените сигнали в даден момент или за определен период от време (ние използвахме записи до 6 минути).

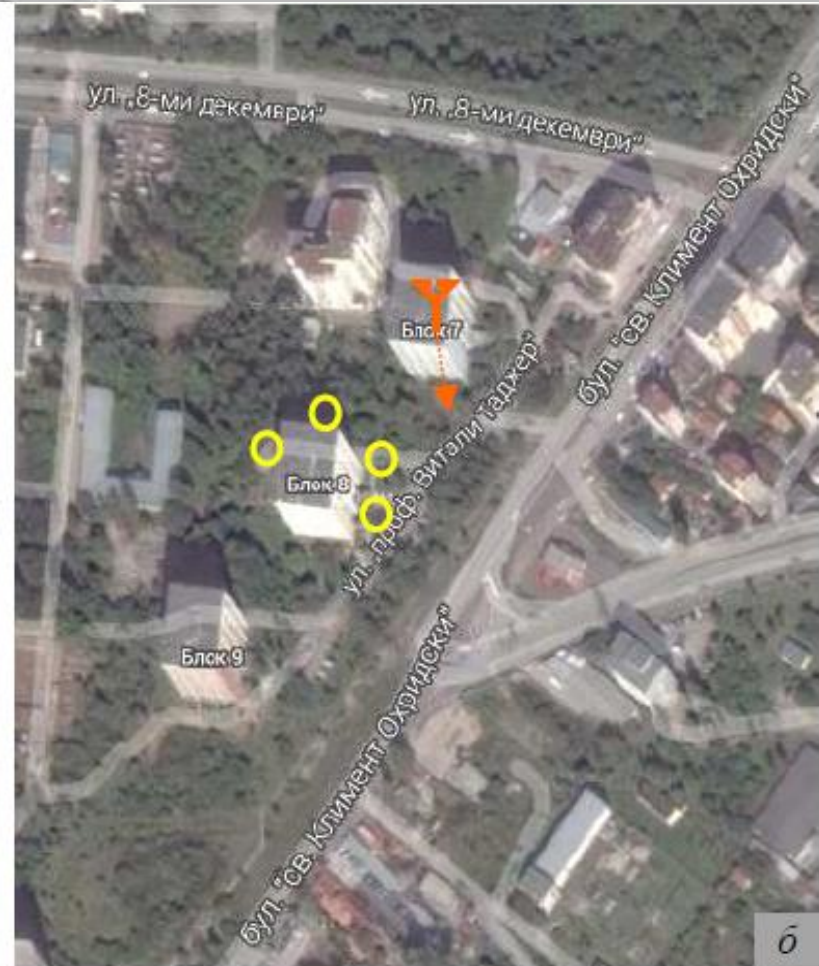
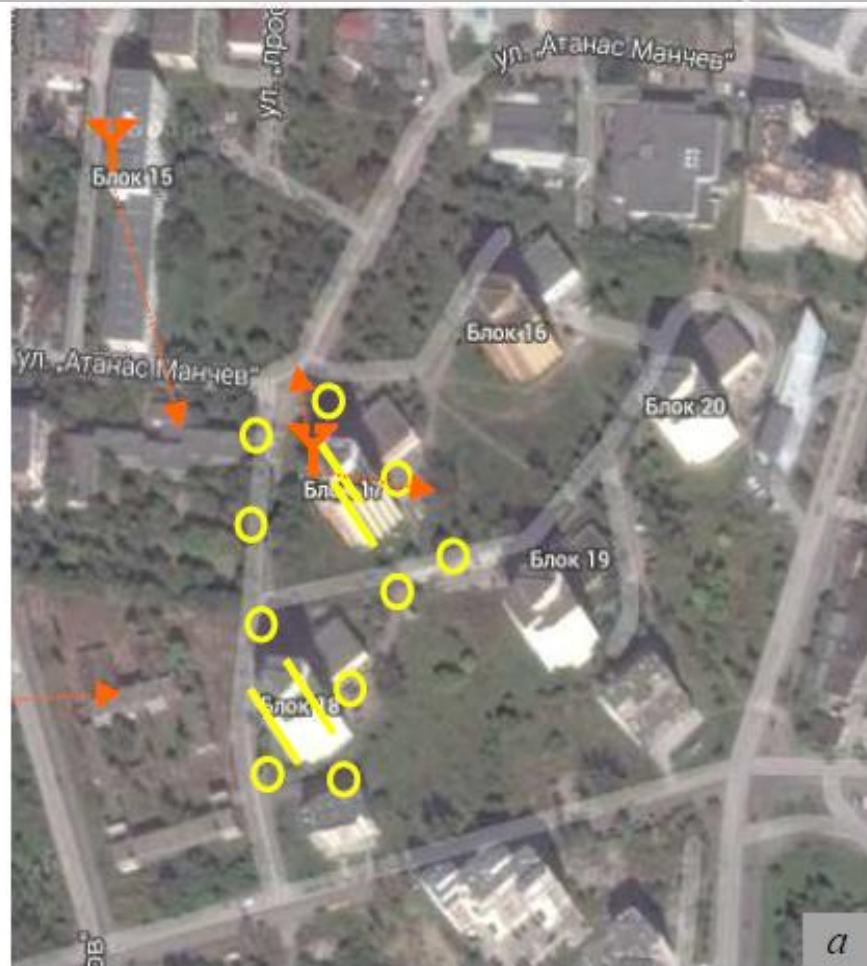


Местата на измервания в Студентски град (1)



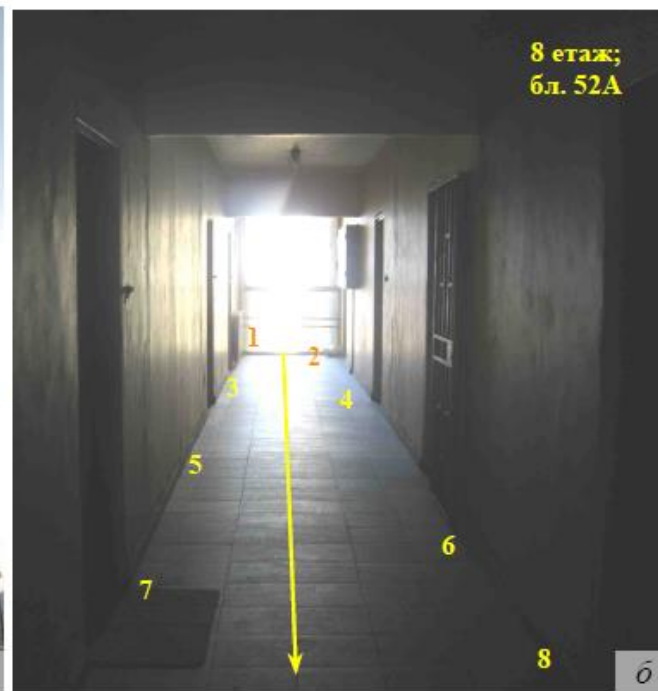
Фиг. 3. Карта на измерванията в изследваните блокове: а) бл. 52, 51, 50, 42Б, и 41; б) бл. 55, 57. Легенда:

Местата на измервания в Студентски град (2)



Фиг. 4. Карта на измерванията в изследваните блокове: а) бл. 17, 18; б) бл. 8. Легендата е както на Фиг. 3.

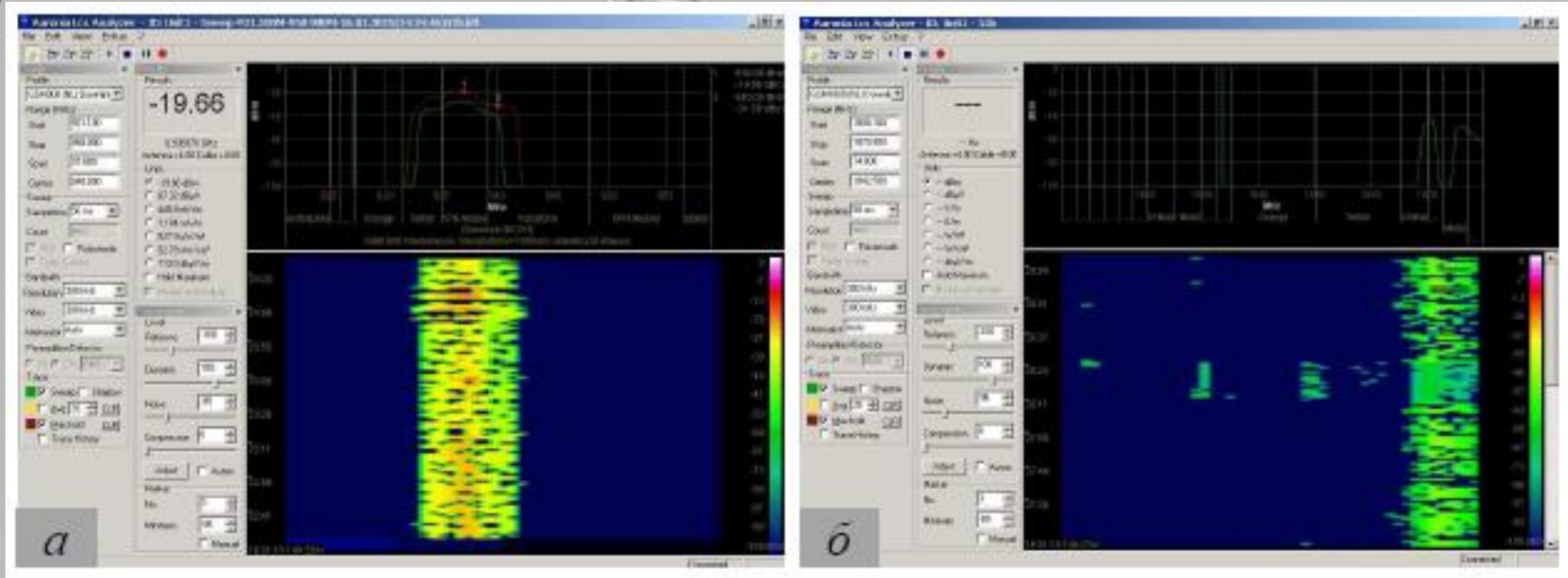
Блок 52 (с GSM антена)



Етаж	S, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (в %)	
	Бл. 52А	Бл. 52Б
8	0.175 (1.75 %)	0.275 (2.75 %)
7	0.073 (0.73 %)	0.026 (0.26 %)
6	0.017 (0.17 %)	0.012 (0.12 %)
5	0.009 (0.09 %)	0.012 (0.12 %)
4	0.017 (0.17 %)	0.007 (0.07 %)
3	0.010 (0.10 %)	0.005 (0.05 %)
2	0.004 (0.04 %)	0.003 (0.03 %)
1	0.002 (0.02 %)	-

Позиция на 8 ет.	S, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (в %)	
	Бл 52А	Бл 52Б
1	0.175 (1.75 %)	0.275 (2.75 %)
2	0.094 (0.94 %)	0.062 (0.62 %)
3	0.125 (0.13 %)	0.140 (1.40 %)
4	0.096 (0.96 %)	0.130 (1.30 %)
5	0.045 (0.45 %)	0.088 (0.88 %)
6	0.031 (0.31 %)	0.135 (1.35 %)
7	0.015 (0.15 %)	0.100 (1.00 %)
8	0.005 (0.05 %)	0.032 (0.32 %)

Блок 52 (с GSM антена)



Коментар. Тези измервания са за доста типичен случай, който винаги събужда интерес у хората в блока/сградата, на чиито покрив е поставена антена – т. е. точно под антената. Проверката показва (както и при предишни наши изследвания на други места), че при тази ситуация не се наблюдават силни нива, напротив, те не надхвърлят 3-4 % от пределно-допустимите дори съвсем в пряка близост ПОД антената.

Блок 50 (без GSM антена)



Етаж	S, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (в %)	
	Бл. 50А (стълбище)	Бл. 50А (пред асансьра)
8	1.010 (10.1 %)	0.065 (0.65 %)
7	1.590 (15.9 %)	0.134 (1.34 %)
6	0.610 (6.10 %)	0.343 (3.43 %)
5	0.430 (4.30 %)	0.250 (2.50 %)
4	0.119 (1.19 %)	0.270 (2.70 %)
3	0.016 (0.16 %)	0.080 (0.80 %)
2	-	-
1	-	-

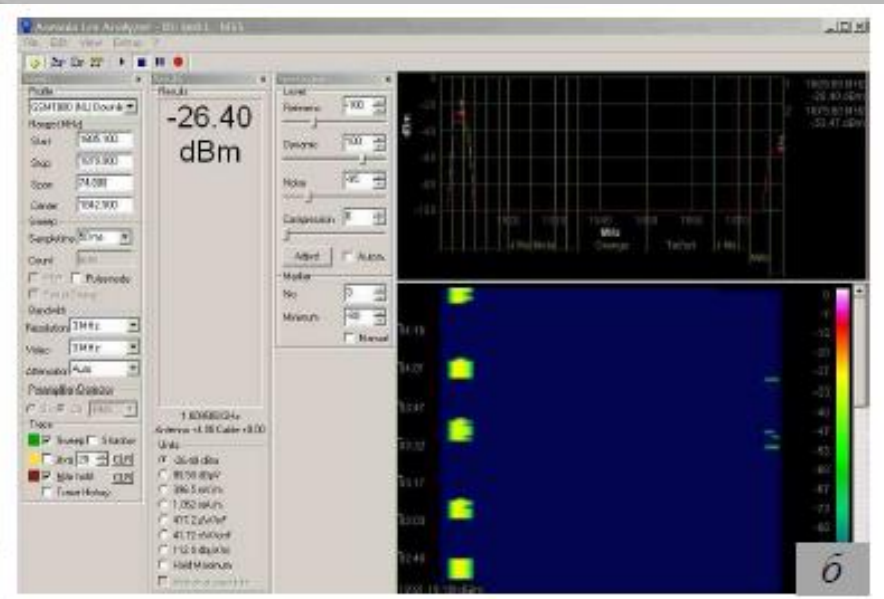
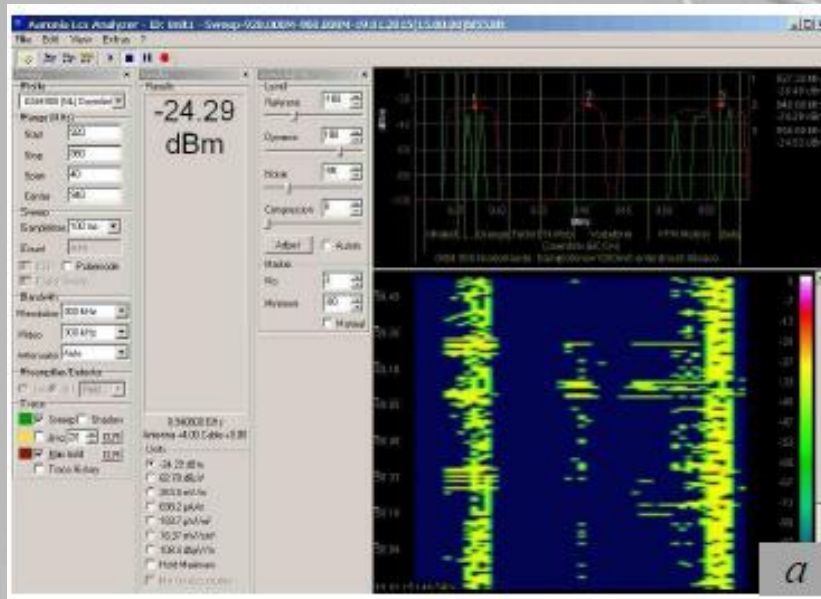
Коментар. Потвърждение на друго правило – ако мястото се намира в съседен блок на този, където има антена и тя е на ~25-30 m, а посоката на главния лъч е повече или по-малко ориентирана към това място – обикновено се наблюдава 2-10 пъти по силен сигнал, сравнен с типичния от блока с антената. Това показва колко слабо е действащото в момента законодателство, когато потърпевши съседи изобщо не влияят на вземането на решение за разполагане на антената.

Блок 55 (без GSM антена)



Етаж	S, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (в %)		
	Бл. 55А (коридор)	Бл. 55А (стълбище)	Бл. 55Б (коридор)
8	2.010 (20.1 %)	0.595 (5.95 %)	0.318 (3.18 %)
7	1.380 (13.8 %)	0.840 (8.40 %)	0.230 (2.30 %)
6	1.066 (10.7 %)	0.680 (6.80 %)	0.470 (4.70 %)
5	0.119 (1.19 %)	0.910 (9.10 %)	0.265 (2.65 %)
4	0.071 (0.71 %)	0.450 (4.50%)	0.155 (1.55%)
3	0.055 (0.55 %)	0.275 (2.75 %)	0.355 (3.55%)
2	0.035 (0.35 %)	0.111 (1.11 %)	0.280 (2.80 %)
1	-	-	0.017 (0.17 %)

Блок 55 (без GSM антена)



Коментар. Може отново да се потвърди „правилото на ощетените съседи“ – независимо, че нямат никакво отношение към антените, монтирани на два съседни блока, живущите в бл. 55А са подложени на един от най-силните сигнали, които ние измерихме в Студентски град при нашите сравнително ограничени в пространството експерименти. Ако влезе в сила новият Закон [3] (в сегашния си вид) и бъдещата Наредба към него, разположението на антените около бл. 55А в Студентски град ще трябва да се преработва, за да се спазят изискванията за препоръчителната зона ($< 10\%$ от нормата вътре в жилищата).



Заклучения (1)

В настоящия отчет са представени крайните резултати на едно много специално изследване на електромагнитната съвместимост (нивът на електромагнитните сигнали) на голяма група от базови станции и блокове в Студентски град. Причината за това е следната. За разлика от друг вид жилищни сгради, студентските общежития имат много общи части – тераси, коридори, читални, кухни и други общодостъпни помещения, които са много удобни за многократни и спокойно повтарящи се измервания и проверки на получените резултати на място. Това даде възможност на екипа за едно много пространно изследване с различни аспекти и случаи. Така с решението си на предишното заседание Академическият съвет, съзнателно или не, даде възможност да се проведе това уникално по мащабите си изследване и да се получат достоверни и статистически значими резултати за една гъсто населена територия (Студентски град), с гъсто разположени базови станции (поради необходимостта от поемането на силен трафик), с антени както за стандартната GSM 2G мрежа, така и с антени за по-новите поколения комуникационни мрежи – GSM 3G, UMTS, LTE (4G) и WiMAX.

От проучването можем да направим следните заключения.

На първо място, никъде при нашите измервания (от резултати в поне 200 точки) **не измерихме ниво на плътността на потока на мощността, което да надхвърля пределно допустимото в България ниво от $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (10 микровата на квадратен сантиметър).** Следователно, от законова гледна точка не бяха намерени никакви нарушения на действащата Наредба № 9 от 1991 г. на Министерството на здравеопазването за пределно допустимите нива на електромагнитни полета в населени територии и определяне на хигиенно-защитните зони около излъчваните обекти.



Заклучения (2)

Беше установено без изключение, че на територията и на трите блока на СУ, на покривите на които има монтирани GSM базови станции (52А, 51 и 17), не се наблюдават места със силни сигнали, което в известен смисъл може да звучи неочаквано, но има своето обяснение. Радиационните диаграми на антените на базовите станции са такива, че излъчваният сигнал е максимален само по посока на главния лъч, който е широк около 120 градуса в хоризонтална посока, и около 15 градуса във вертикална. Страничните лъчи и задният лист на антената, както и главният лъч на повече от ± 30 -40 градуса встрани, не могат да "произведат" толкова мощни сигнали. В блокове с квадратно сечение (както в бл. 17) или дълги и тесни блокове (както в бл. 52) антените на покрива не могат да влияят силно на останалите части и входове на същия блок. Проблеми може да има при блокове с по-сложно сечение и множество разклонения и крила, при които антената на едното крило води до поява на по-силен сигнал в другото (както в бл. 51).

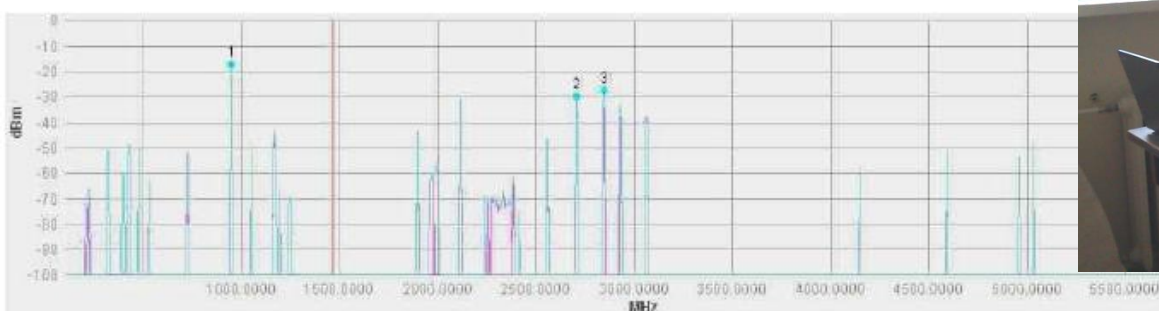
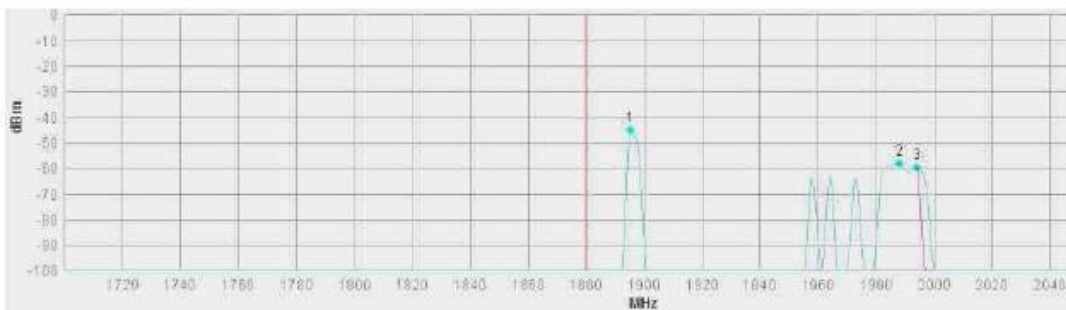
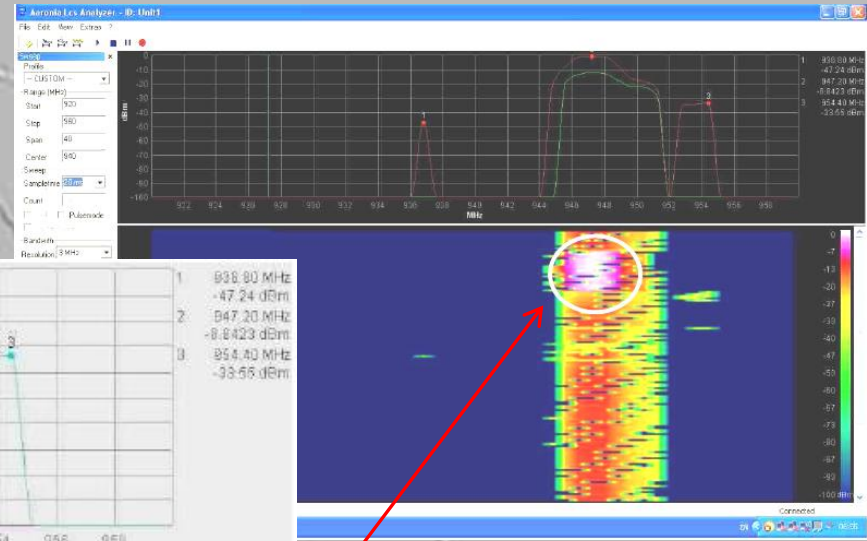
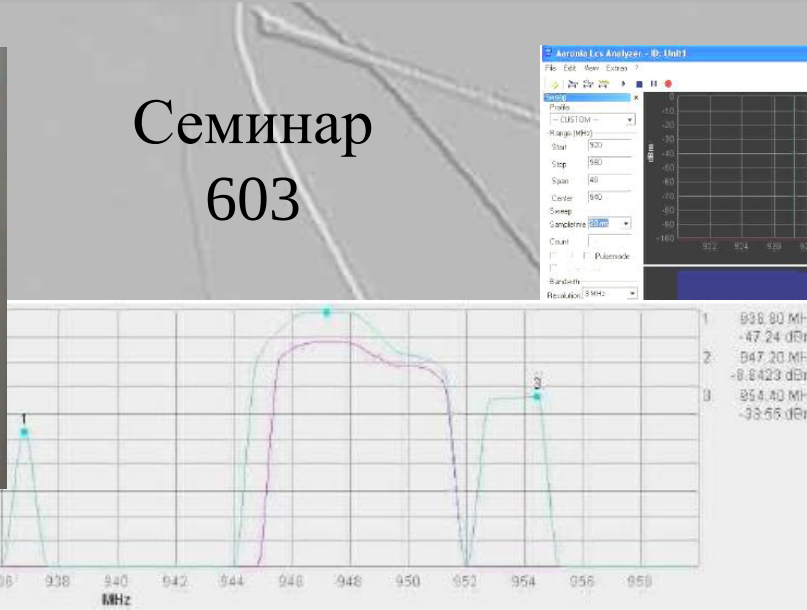
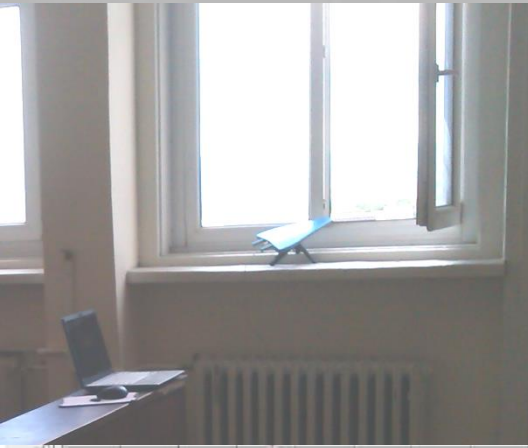
Друг доказан факт е измерването на доста по-силен сигнал в блокове, които видимо се намират по посоката на главния лъч на антени на базови станции върху съседни блокове и са на разстояния под 25-30 m (напр., на разстояния една широка улица или улица плюс градинки). Ние доказахме това в бл. 55А, бл. 50А и бл. 18. При другите блокове бе установено, че главните лъчи на антените на съседни блокове не са насочени толкова директно към тях, и не бяха извършвани подробни изследвания.

Химически факултет



Химически факултет (2)

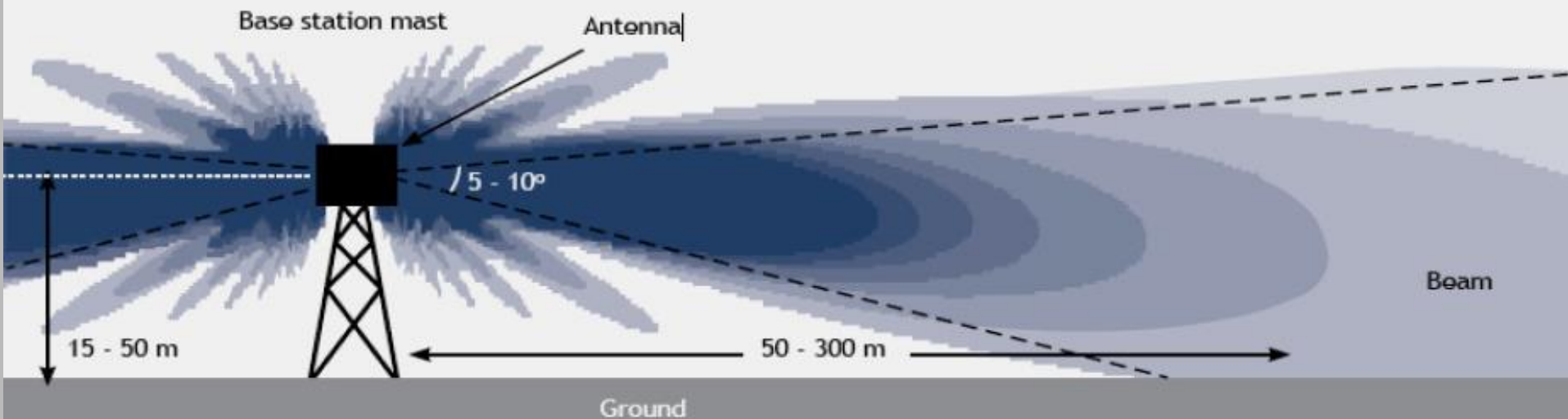
Семинар 603



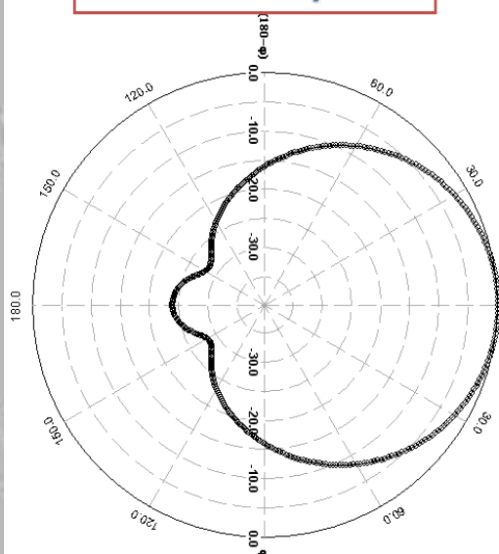


Истината за базовите станции

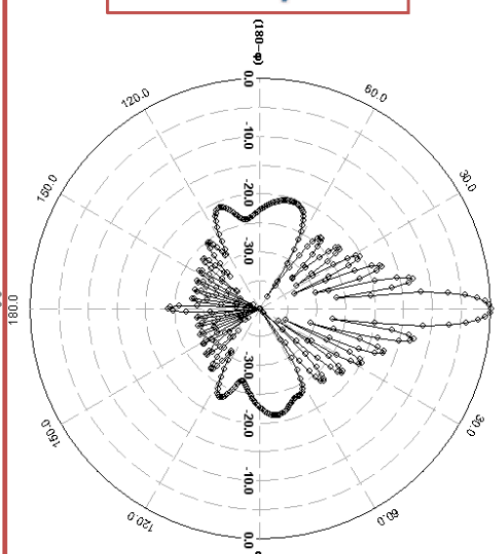
Истината за базовите станции



Horizontal plane



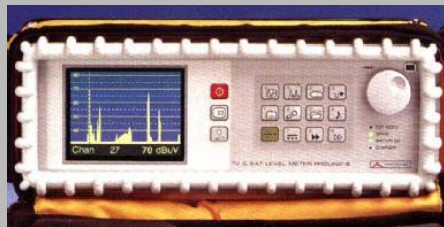
Vertical plane



Има много изследвания на излъчването от базови станции. Типичната зона на интерес е 20-300 m от антената по права линия LoS (достъпна зона при височина на кулата на антената 15-50 m), но има изследвания и за по-къси разстояния в близката зона (под 18 m). Измерванията са доста трудни, защото рядко има достъп до работещи базови станции.

Измерване на плътността на потока на мощността на базови станции

Spectrum analyzer

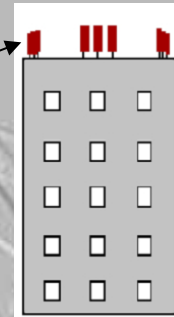


Measurement Antenna

Cable

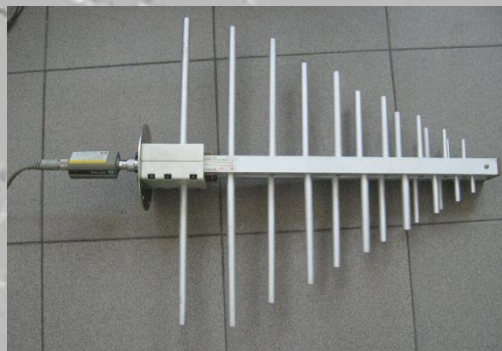
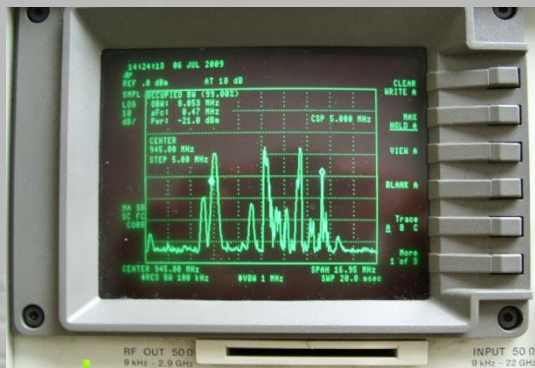
Base Station

d



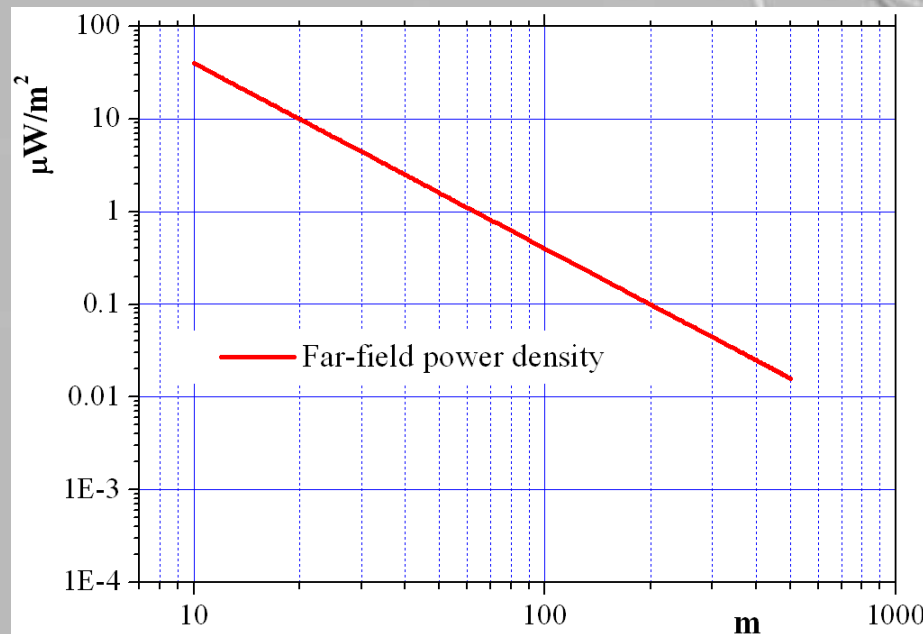
$$E_{local}, \text{V/m} = AF, 1/\text{m} \times V_{meas}, \text{V}$$

$$S, \text{W/m}^2 = 2.77 \cdot 10^{-3} \times E^2, \text{V/m}$$

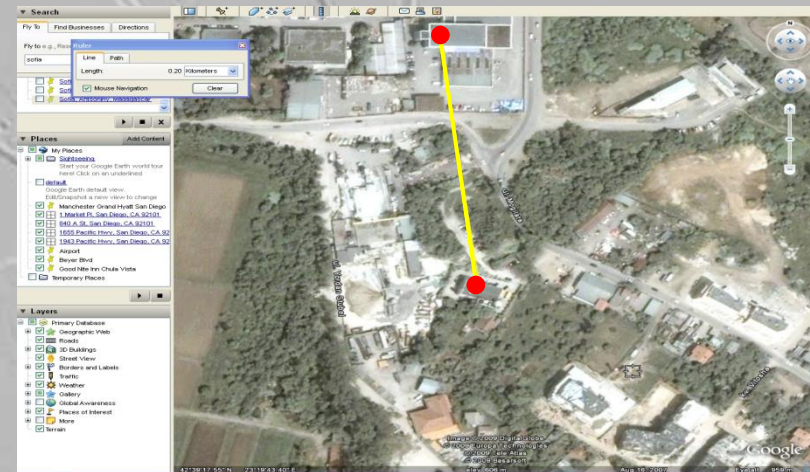
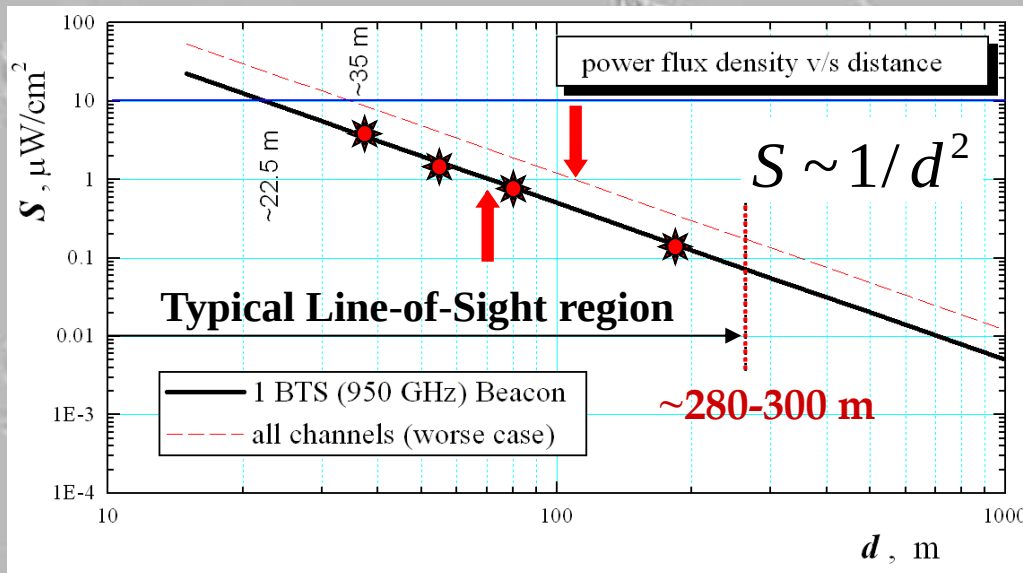


Примерна измерителна схема

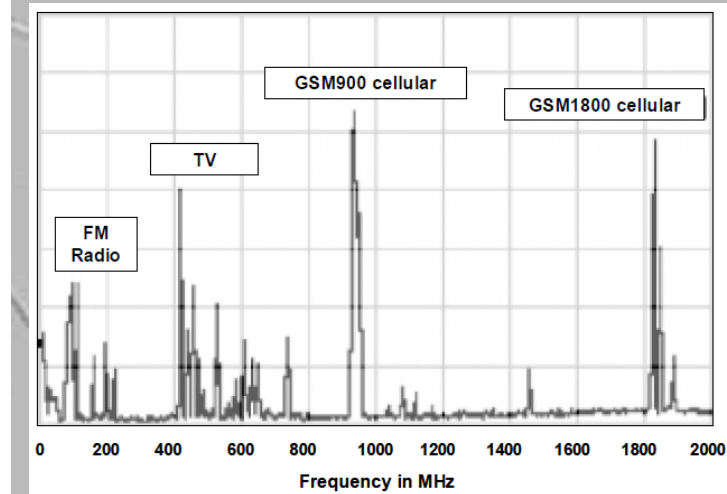
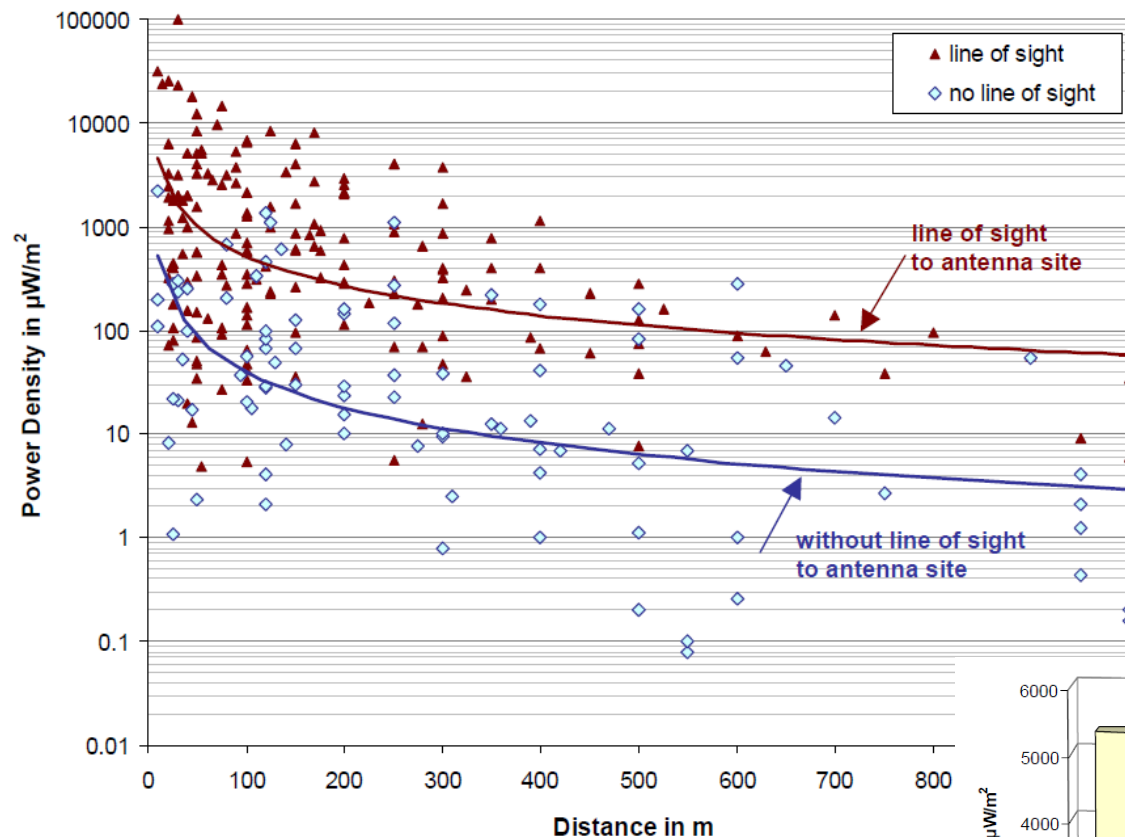
Зависимост на плътността на потока на мощността на базови станции от разстоянието



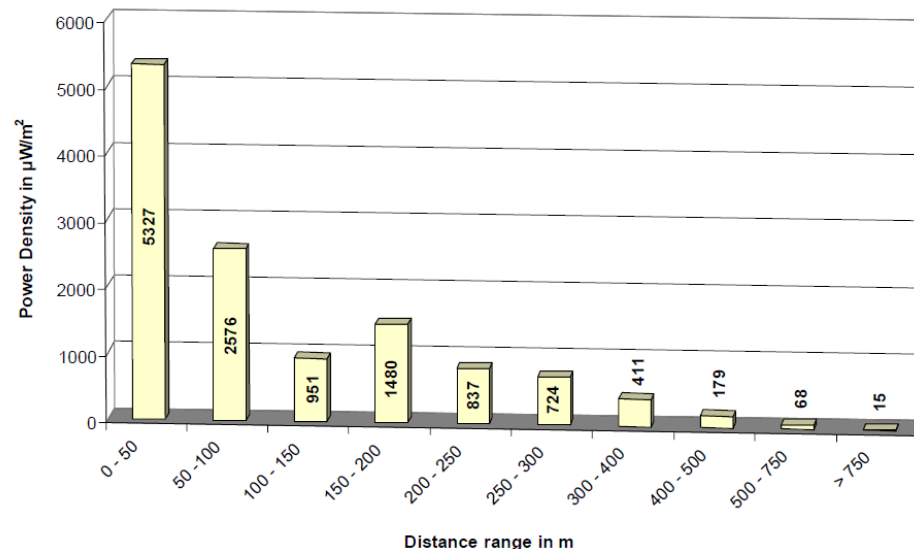
Теоретични и експериментални криви на зависимостта на плътността на потока на мощността от разстоянието (в логаритмична скала). Измерванията са собствени: събрана от години информация при измерване на антени на базови станции по посока на главния лъч.



Статистически измервания на GSM базова станция в Германия: при пряка видимост и при индиректен лъч



Много подробни рядко срещани изследвания на GSM базова станция от разстоянието (линейна скала) по посока на главния лъч – при пряка видимост с антената и при липса на пряка видимост. Много добра картина на типичните нива на сигнала в антенното поле .



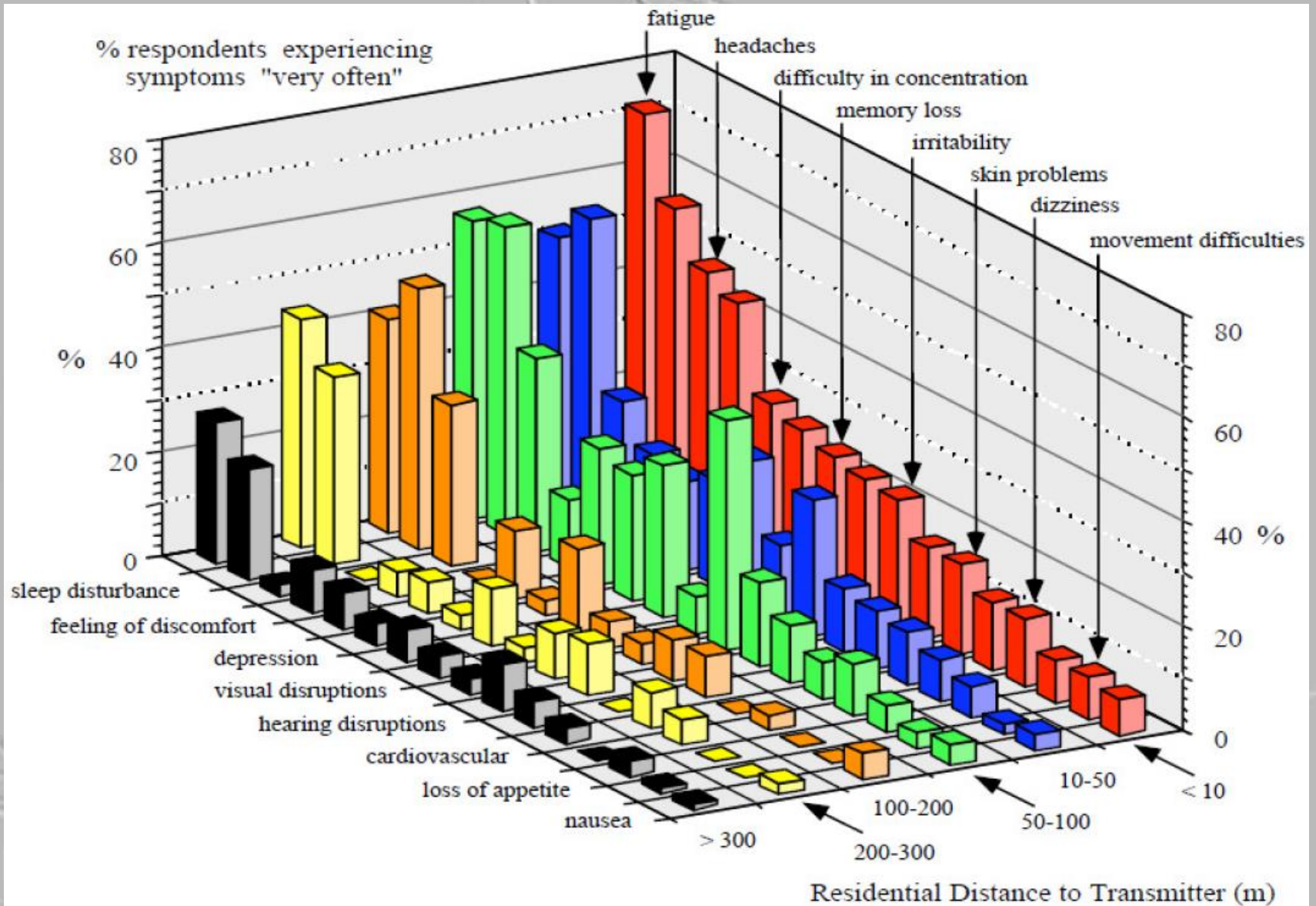
Сравнения за различни случаи

Comparison of Standard Threshold Values and Recommendations (electromagnetic fields, non ionizing radiation)		Total Power Density
Standards, GSM1800/GSM1900/UMTS/DECT (e.g.)		
	FCC/ANSI – USA	10,000,000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Germany, England, Finland and Japan	10,000,000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Belgium	1,200,000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Switzerland and Italy	90,000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
Recommendations / References (e.g.)		
	Ecolog Study, Germany (ECOLOG 2000)	10,000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Cellular tower radiation – significant exposure level, 95 th percentile (this study)	6,300 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Salzburg, Austria (RESOLUTION 2000)	1,000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Cellular tower radiation – median level, 50 th percentile (this study)	200 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	High exposure, Oeko-Test (OEKOTEST 2001)	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	EU Parliament (STOA 2001)	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Cellular tower radiation – background level, 20 th percentile (this study)	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Low exposure, Oeko-Test (OEKO TEST 2001)	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Nighttime exposure, Baubiology Standard (SBM 2000)	0.1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Successful communication with GSM mobile phone, system coverage requirements	0.001 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Natural cosmic microwave radiation (MAES 2000)	0.000001 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

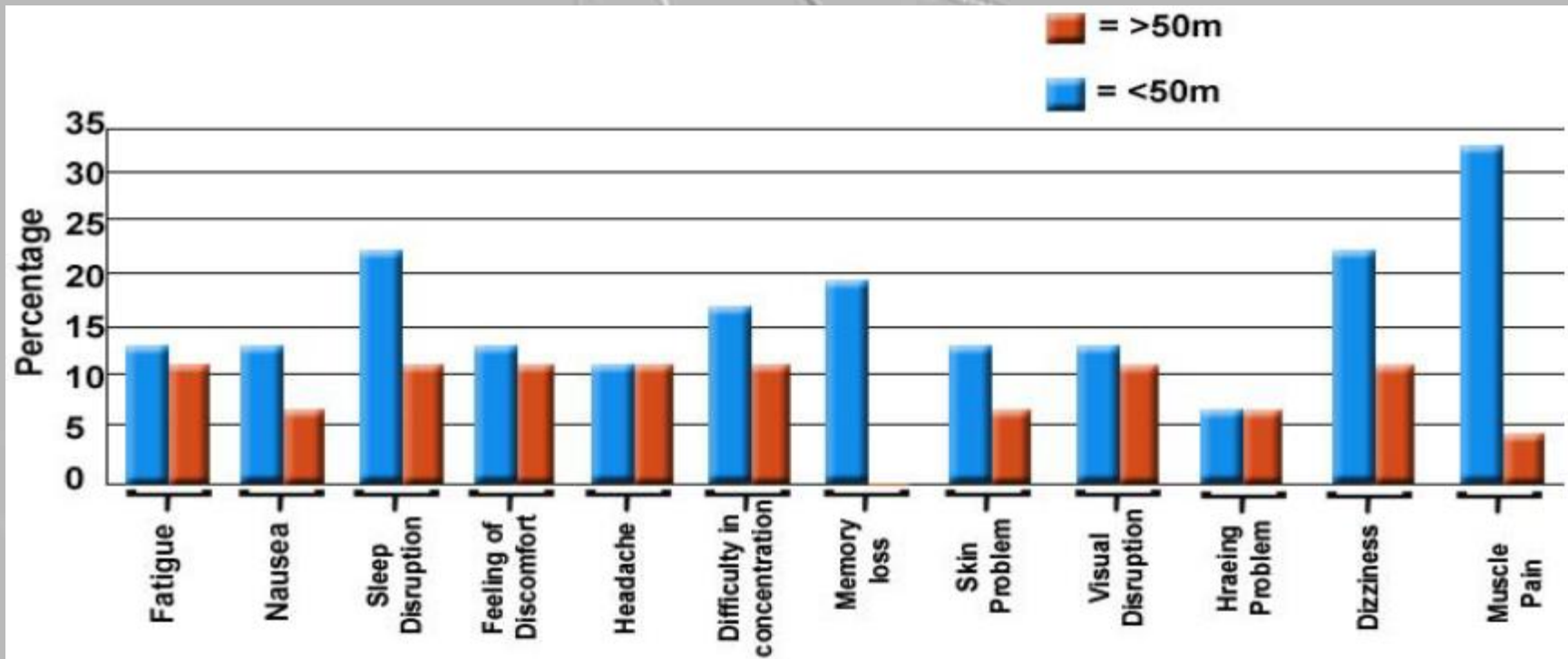


Има много изследвания на излъчването от базови станции. Типичната зона на интерес е 20-300 m (достъпна зона при височина на кулата на антената 15-50 m), но има и изследвания за по-къси разстояния в близката зона (под 10 m).

Основни оплаквания на хора, живеещи около базови станции в града в зависимост от разстоянието



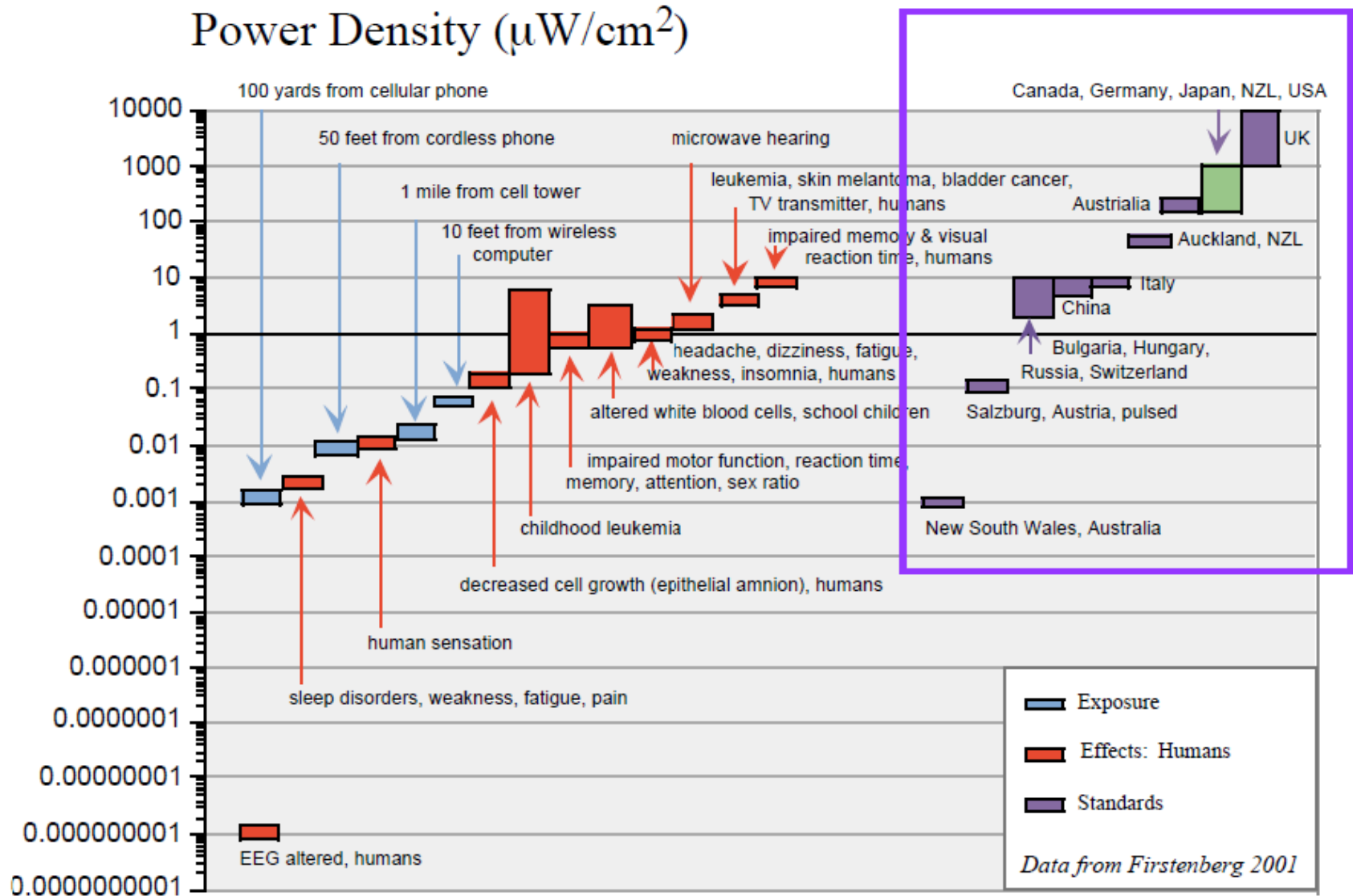
Основни оплаквания на хора, живеещи около базови станции в града в зависимост от разстоянието (2)



Това са сериозни изследвания чрез допитване до на много хора, които живеят на определено разстояние от базови станции. Подобни изследвания не трябва да се пренебрегват и да се считат за измислени. Основните, добре забележими разлики в зависимост от разстоянието са при оплаквания за нарушен сън, трудности със концентрацията на вниманието, за загуба на памет, замаяност, но и за мускулни болки и проблеми с кожата.

Нива за поява на определен тип здравословен проблем, свързан с нейонизиращо лъчение

Guidelines for various countries





Истината за Wi-Fi мрежите

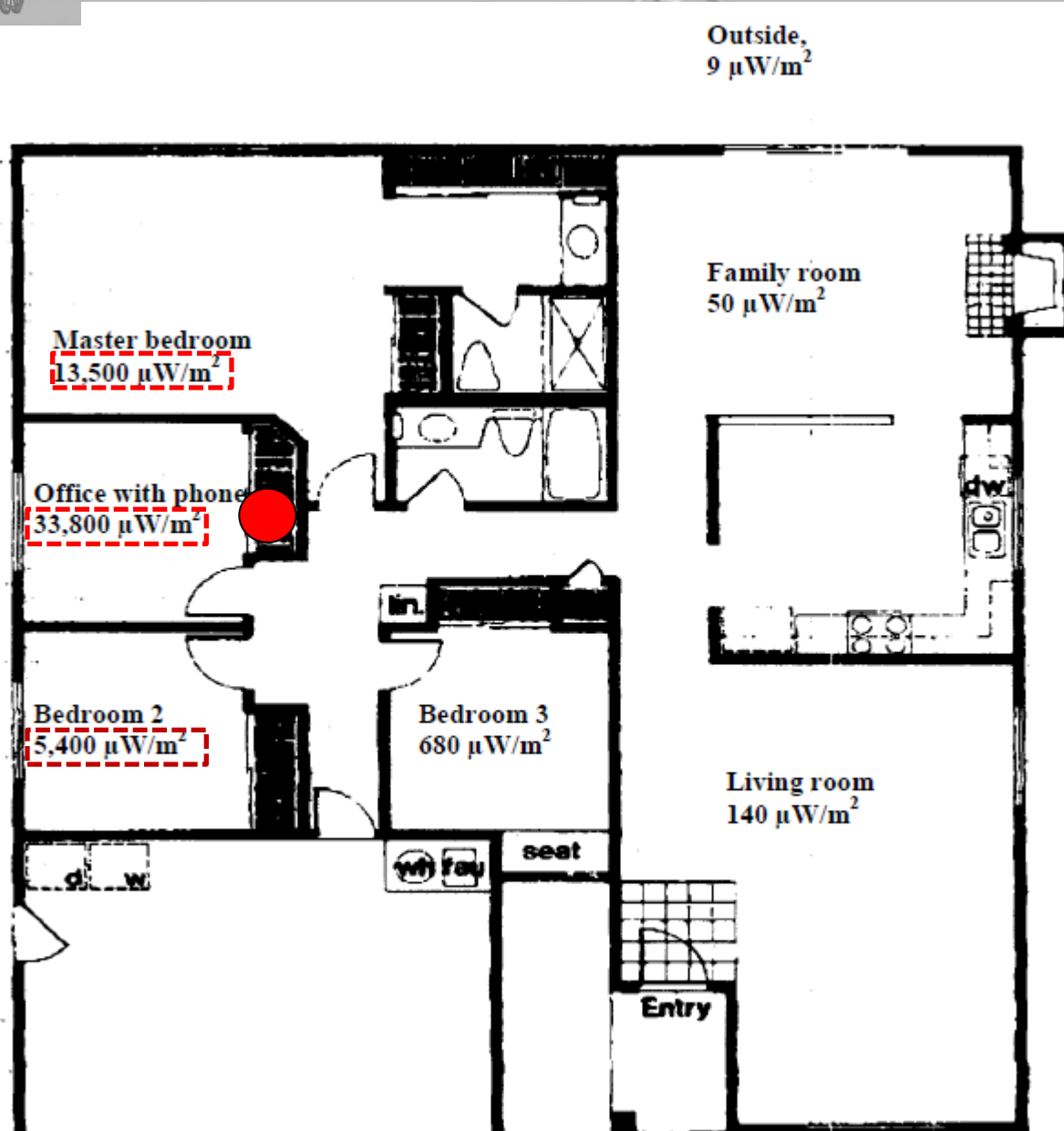
Как се използват Wi-Fi мрежите

Поради сериозният трафик на безжичен интернет, устройствата за неговата доставка са изключително много разпространени. Кои са основните EMC проблеми:

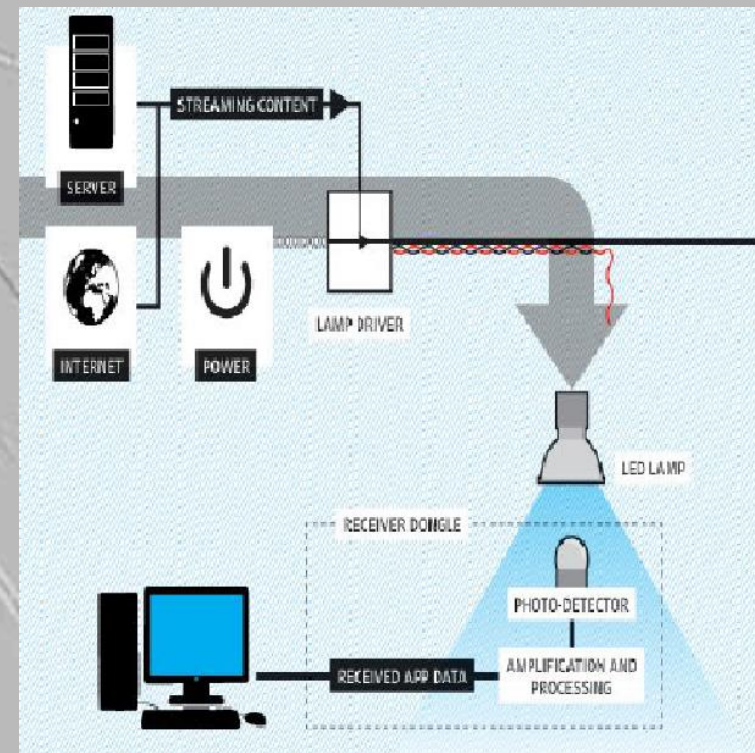
- По начина на своята работа Wi-Fi рутерите (както и Bluetooth устройствата) наподобяват работата на базовите станции BTS излъчвайки непрекъснато ниско-честотен сигнал, с тази разлика, че се намират в непосредствена близост до хората. Тези точки за достъп най-често са indoor устройства, разположени във вътрешността на сградата.
- Опасността от облъчване идва от 24-часовата работа както при BTS (повечето устройства не се гасят през ноща или при отсъствие на обитателите) и появата на ефекти на натрупване.
- В гъсто населени жилищни сгради облъчването става и от съседни рутери в близката околност. При много от тях мощността на излъчване се регулира и може да е максимална. Важно е, че сигналът прониква и през стените на сградите с известно затихване.
- Затова тези Wi-Fi устройства се поставят на второ място по степен на риск за ползване от хората.



Примерно разпределение на Wi-Fi сигнала в едно жилище



Едно възможно бъдещо решение: Li-Fi мрежи за 10 Gb/s Интернет в офиса и в къщи



Предимства на Li-Fi:

- Светлината не прониква в човешкото тяло, както RF сигнала, т. е. по-безопасна;
- Осигурява много широка честотна лента и по-висока скорост – 10 Gb/s;
- По-голяма сигурност, светлината не прониква през стени и не напуска стаята;
- По-ниска цена

Недостатъци на Li-Fi:

- Ограничено разпространение; не преминава през препятствия;
- Как приемникът ще излъчва сигнал към Li-Fi излъчвателя
- Възможна интерференция и засветяване от слънчева светлина, изкуствено осветление, отразяващи повърхности



Истината за клетъчните телефони

Мобилният телефон – доказано най-опасното устройство в съвременните безжични комуникации

Основният ЕМС проблем при клетъчните телефони е, че се използват много близо до главата и тялото и в това по принцип е основната опасност, защото са много „ефективни облъчватели“. За масовият потребител на мобилни телефони има широк кръг от представи за действието на облъчването от тях – от много вредно, предизвикващо рак и др. подобни болести, до напълно безвредно. Това продължава от години и е свързано с непрекъснато наглъгване между Интернет блогъри, мобилните оператори, здравните органи, журналистите и хората. Не е вярно, че няма научни доказателства за вредно влияние; просто изследванията са скъпи и не са лесно повторими. В недалечно бъдеще може да се очаква много от въпросите, свързани с влиянието на мобилни телефони върху човека, да бъдат по-категорично решени. Типичната GSM MS излъчва прекъснато (25% от времето) модулиран цифров сигнал. Номиналната CW мощност е около 1 W или средно ~ 125 mW. Антената на MS е слабо-насочена (усилване до 2 dB или 1.6 пъти). Рискът от използване на дадена MS се оценява по общата SAR в главата и нейното разпределение, предизвикано от антената на дадено разстояние. Има нагласа, че смартфоните са по-малко опасни от обикновените клетъчни телефони, но това много зависи от начина на използване.



Клетъчни телефони от по-старо поколение

Смартфони от по-ново поколение



Телефонът трябва да се избира и по нивото на SAR в главата

Top 20 Highest Radiation Cell Phones

(maximum possible SAR level from phone)

	Cell phone brand and type	SAR level	Carrier
1.	Motorola Droid Maxx	1.54	Verizon
1a.	Motorola Droid Ultra	1.54	Verizon
3.	Alcatel One Touch Evolve	1.49	T-Mobile
3a.	Huawei Vitria	1.49	Metro PCS
5.	Kyocera Hydro Edge	1.48	Sprint
6.	Kyocera Kona	1.45	Sprint
7.	Kyocera Hydro XTRM	1.44	Metro PCS
8.	BlackBerry Z10	1.42	Verizon
9.	BlackBerry Z30	1.41	Verizon
9a.	ZTE Source	1.41	Cricket
9b.	ZTE Warp 4G	1.41	Boost
12.	Nokia Lumia 925	1.4	T-Mobile
12a.	Nokia Lumia 928	1.4	Verizon
14.	Sonim XP Strike	1.39	Sprint
14a.	Kyocera Hydro Elite	1.39	Verizon
16.	T-Mobile Prism 2	1.385	T-Mobile
17.	Virgin Mobile Supreme	1.38	Virgin
17a.	Sprint Vital	1.38	Sprint
19.	Sprint Force	1.37	Sprint
20.	Huawei Pal	1.33	Metro PCS

Top 20 Lowest Radiation Cell Phones

(maximum possible SAR level from phone)

	Cell phone brand and type	SAR level	Carrier
1.	Verkool Vortex RS90	0.18	Unlocked
2.	Samsung Galaxy Note	0.19	T-Mobile
3.	ZTE Nubia 5	0.225	Unlocked
4.	Samsung Galaxy Note 2	0.28	Verizon
5.	Samsung Galaxy Mega	0.321	AT&T
6.	Kyocera Dura XT	0.328	Sprint
7.	Pantech Discover	0.35	AT&T
8.	Samsung Galaxy Beam	0.36	Unlocked
9.	Samsung Galaxy Stratosphere II	0.37	Verizon
10.	Pantech Swift	0.386	AT&T
11.	Samsung Jitterbug Plus	0.4	Great Call
11a.	Jitterbug Plus	0.4	Great Call
13.	LG Exalt	0.43	Verizon
13a.	Samsung Galaxy Note 2	0.43	Sprint
15.	HTC One V	0.455	US Cellular
16.	LG Optimus Vu	0.462	Unlocked
17.	Samsung Galaxy S Relay 4G	0.47	T-Mobile
17a.	Samsung Rugby 3	0.47	AT&T
19.	HTC One Max	0.5	Sprint
20.	LG G2	0.51	T-Mobile

SAR на най-разпространените смартфони

Given their popularity, we have also provided the SAR levels for the Apple iPhone and the Samsung Galaxy S.

Model	SAR Level
Apple iPhone 6 Plus	1.16
Apple iPhone 6	1.14
Apple iPhone 5	1.18
Apple iPhone 5c	1.18

Model	SAR level
Apple iPhone 4S	1.19
Apple iPhone 4 (GSM)	1.11
Apple iPhone 4 (CDMA)	0.87
Apple iPhone 3GS	0.67

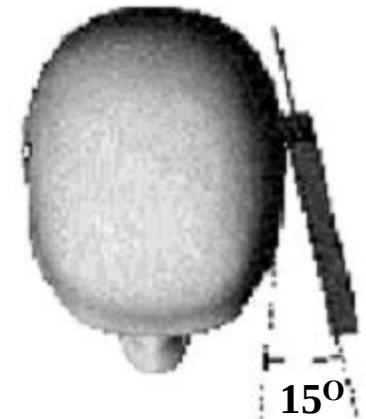
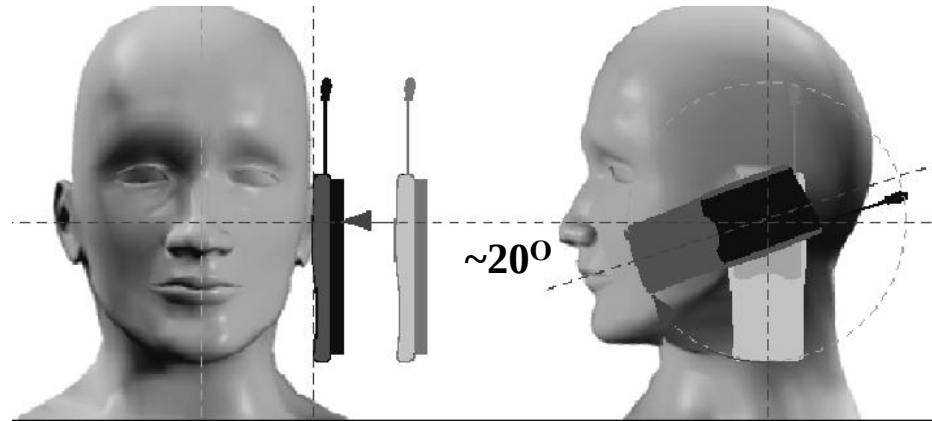
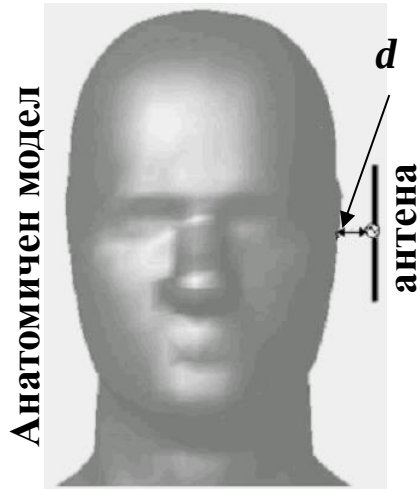
Model	SAR level
Samsung Galaxy S6	1.25
Samsung Galaxy S5	1.47
Samsung Galaxy S4	1.18
Samsung Galaxy S3	0.82



В междучасието ще ви предложим прост тест с достатъчно точна апаратура за сравнително измерване на плътността на потока на мощността

Модели на използване на мобилния телефон и модели на главата

Модели за използване на телефона



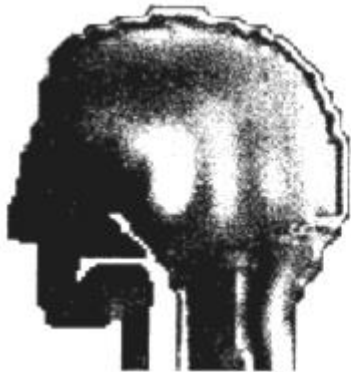
Антенa на разстояние d от мястото на ухото

Вертикална позиция на телефона (VP)

Наклонена позиция, опрян на бузата (cheek)

Наклонена позиция, отдалечен от бузата

Примери за два от най-разпространените анатомични модели на човешка глава



Нормална глава и шия, издадени уши;
“Utah model”, University of Utah

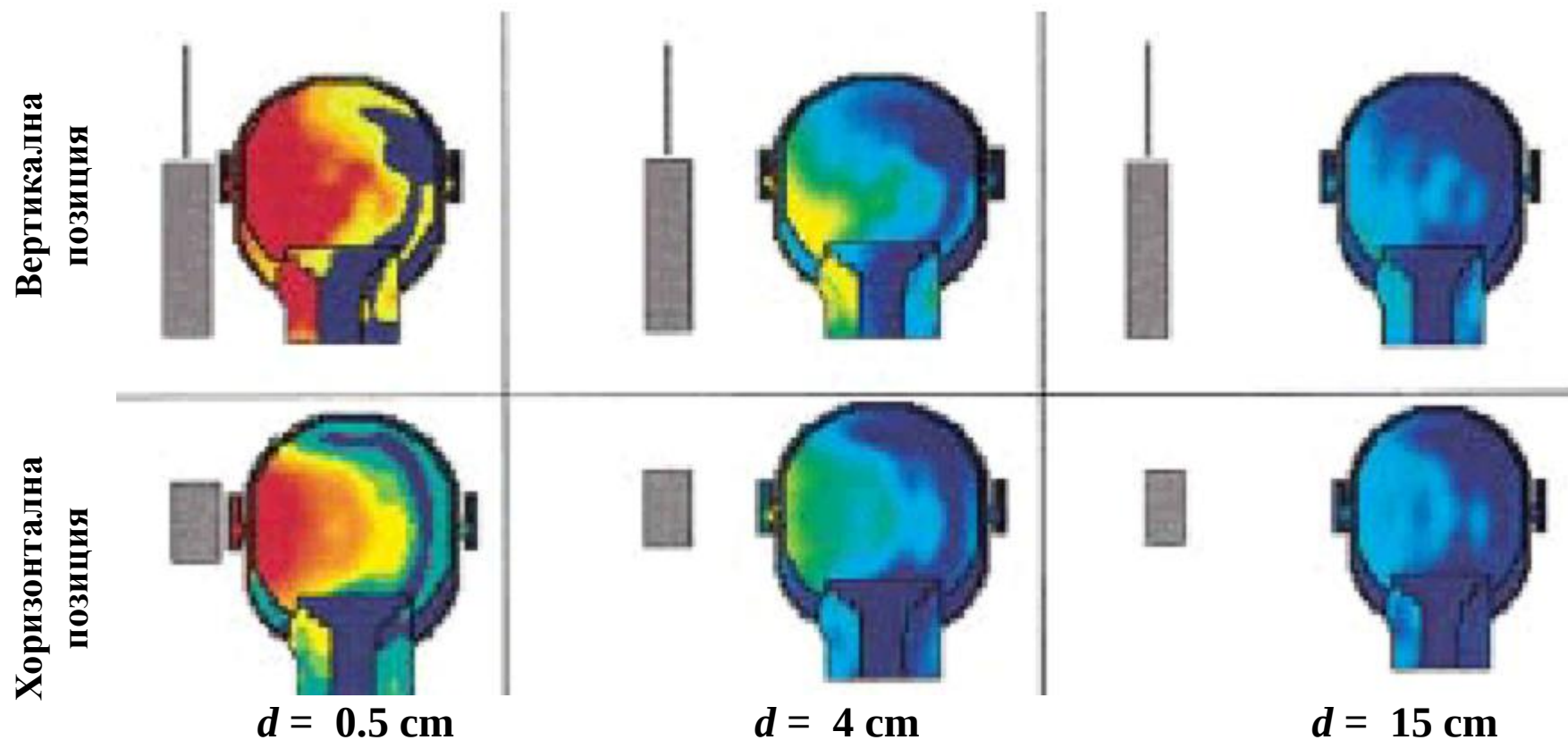


Плоско чело, дебел врат, прилепнали уши;
“visible-man model”

Модели на използване на смартфона

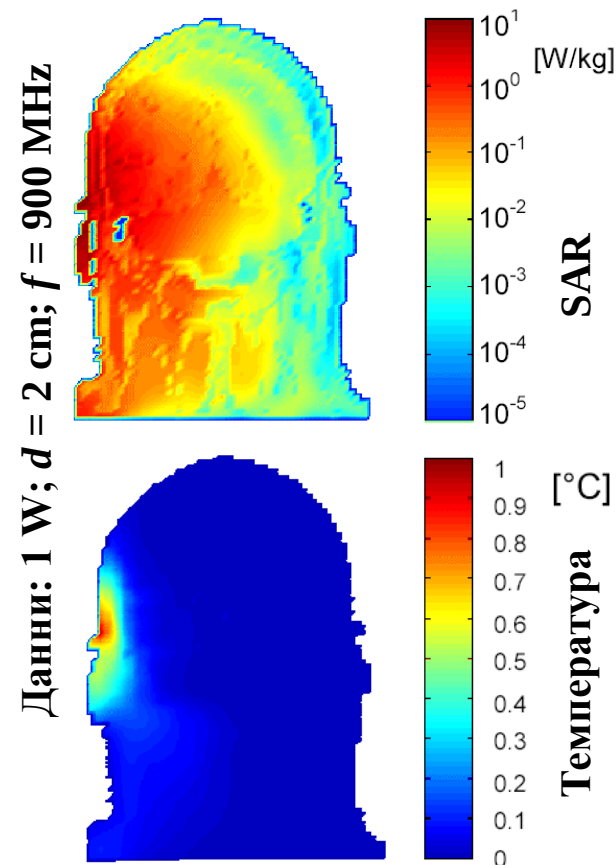


Разпределение на SAR в глава на възрастен човек в зависимост от разстоянието до антенната

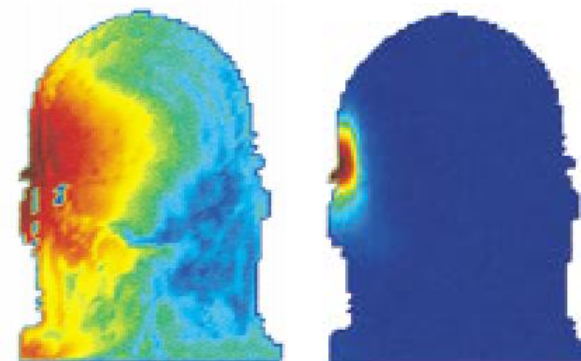


Връзка между разпределение на SAR и температура

Симулацията на разпределението на SAR в тъканите на човешката глава (кожа, мускули, кости, мозък) и свързаното с нея увеличение на температурата, е най-разпространеният тип EMC изследвания на влияние на мобилния телефон. На фигурите са представени разпределенията на SAR и нарастването на температурата $\Delta T_{\max}$ в глава на възрастен мъж. В Таблицата са дадени и числени данни за двете величини, осреднени за цялата глава и само за мозъка. Данните са за две позиции на телефона (вертикална и “до бузата”). И в двата случая SAR в главата е над нормата за разстояние $d = 2$ cm от антената, но нарастването на температурата е под 0.22°C . SAR в мозъка е 8-15% от общата, $\Delta T_{\max}$ е $\sim 18\text{-}28\%$ от общото Ако телефонът е в контакт с бузата, $\Delta T_{\max}$ е голямо $\sim 1.54^{\circ}\text{C}$, но $\Delta T_{\max}$ поради самото облъчване (т. е. от SAR) е под 10 %.

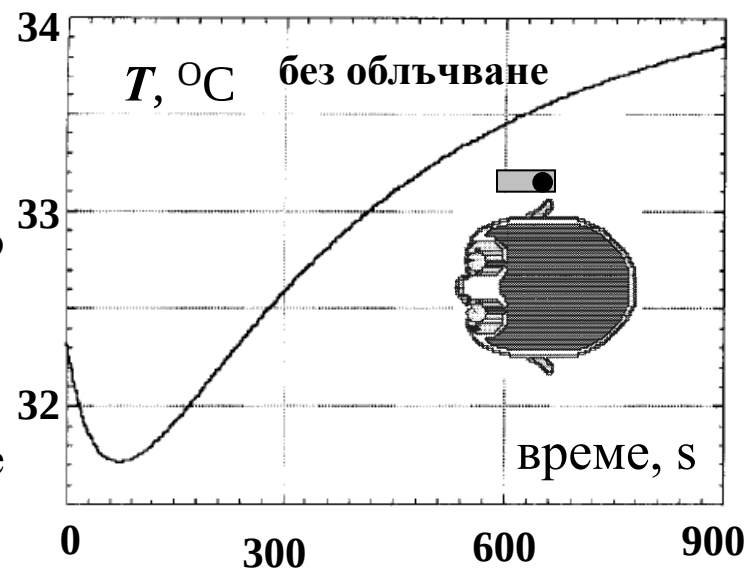
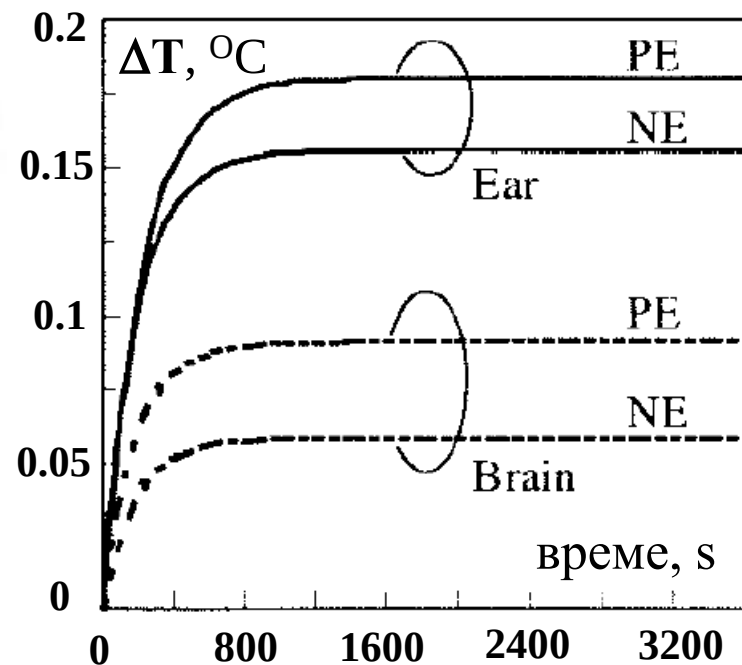
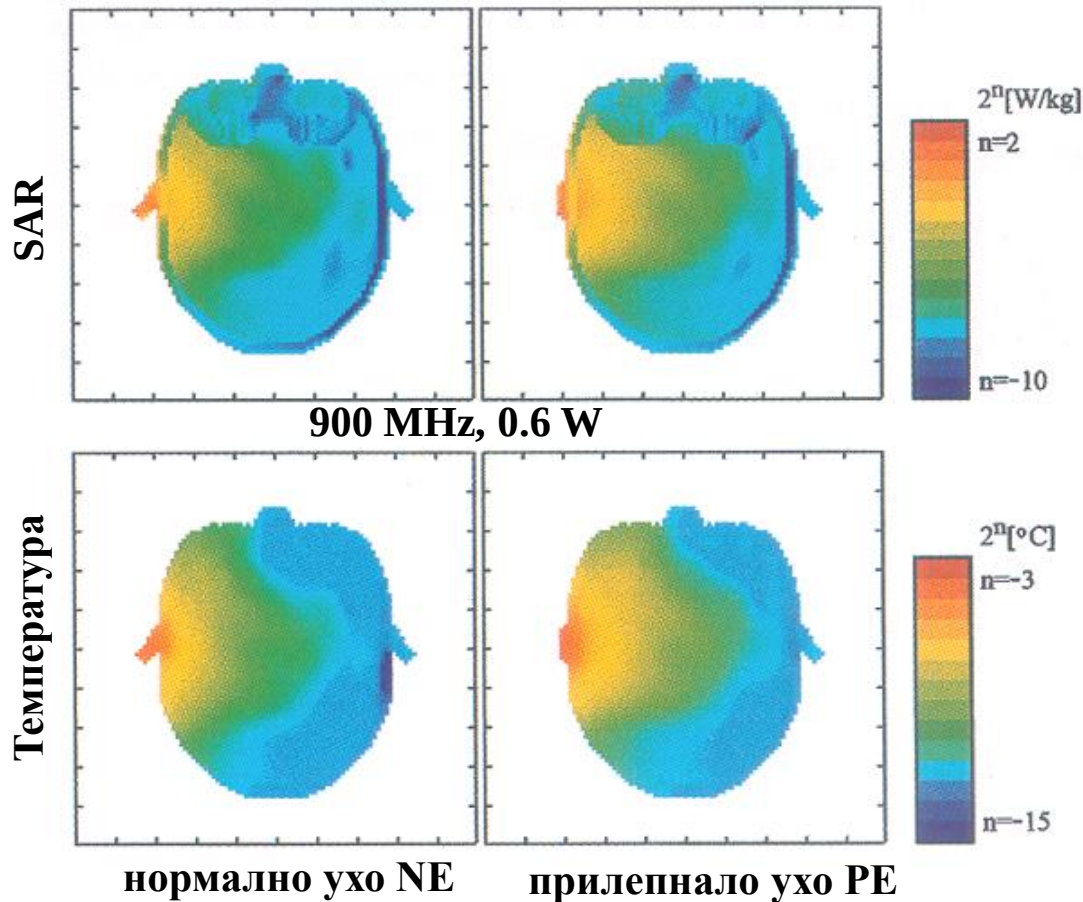


същото за $f = 1800$ MHz



Позиция на телефона	SAR, W/kg (в главата)	SAR, W/kg (в мозъка)	$\Delta T_{\max}$, $^{\circ}\text{C}$ (на главата)	$\Delta T_{\max}$, $^{\circ}\text{C}$ (на мозъка)
Вертикална	2.06	0.32	0.22	0.061
“до бузата”;	1.65	0.13	-	-
само от SAR	-	-	0.136	0.023
контакт с бузата	-	-	1.543	0.012
контакт + SAR	-	-	1.581	0.023

Нарастване на температурата на главата по време на разговор



По-прецизни изследвания с отчитане на типа на човешкото ухо показват, че пикова SAR се получава зад ухото; а max SAR (усреднена за 1 g) – в кожата и скулите от страна на мобилния апарат. Увеличаването на температурата е малко: $< 0.2^\circ\text{C}$ в ухото и $< 0.1^\circ\text{C}$ в мозъка. За 3 min разговор се достига 60%, а за 6-7 min – до 90 % насищане. Само от допир с телефона за това време ухото се загрева поне с 2°C .

Влияние на позицията на ръката върху SAR

Антенa (дипол
или монопол)

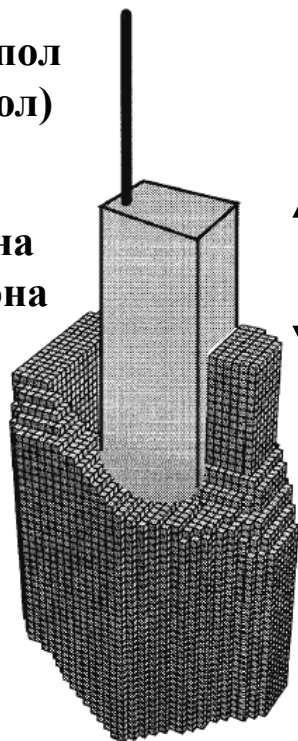
Тяло на
телефона

h

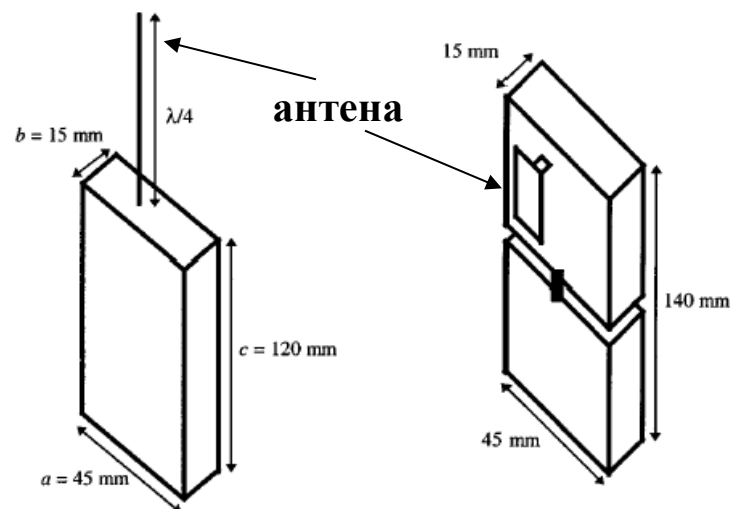
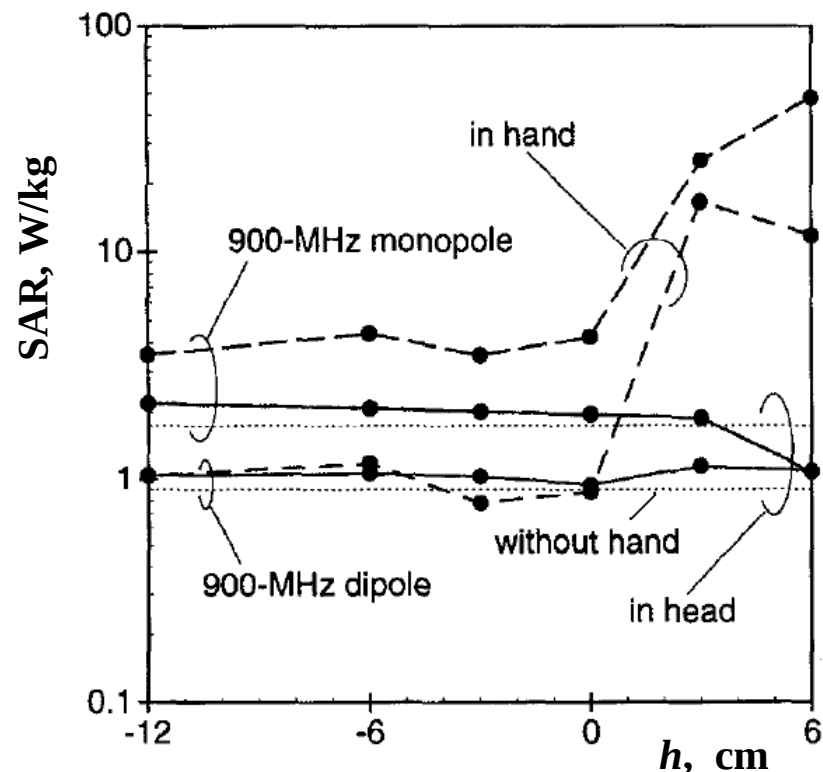
Данни:

900 MHz, 1 W;

$d = 3$ cm

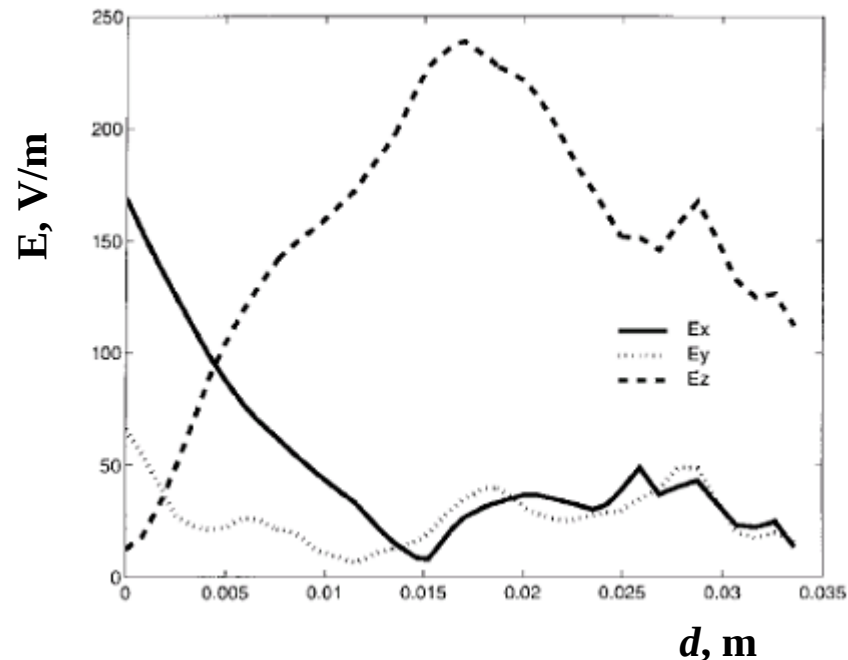
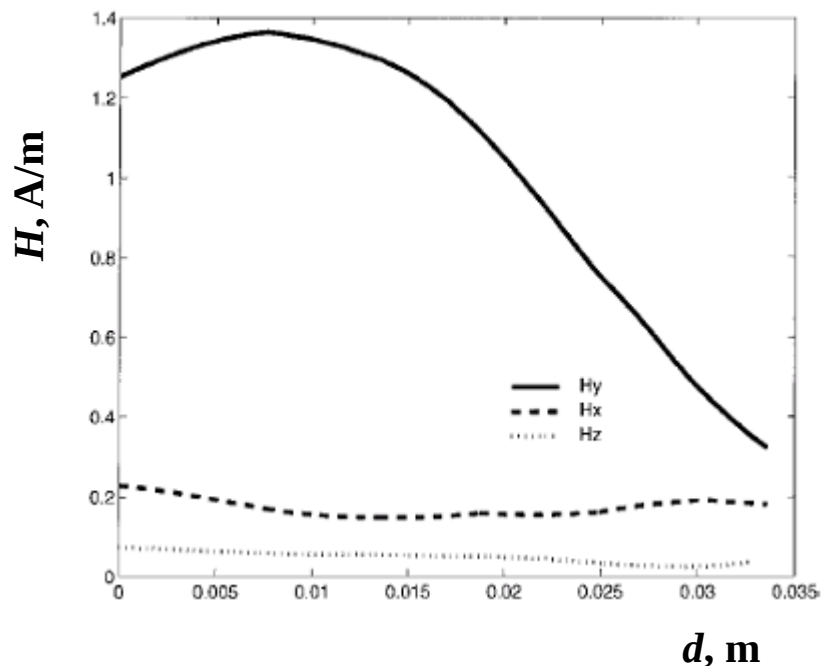


Модел на
ръка



Влиянието на ръката има двойно значение: ако тя е по-близо до антената, слабо намалява SAR в главата, но се увеличава силно поглъщането на сигнал в нея самата и така расте излъчената мощност. Това пък води до по-бързо изтощаване на батериите след еднократно зареждане. В съвременните мобилни телефони се търси подходящото място на антената в тялото на телефона, така че да не поглъща (засенчва) излъчения сигнал, без да се излъчва към главата и мозъка. Микролентовите антени от едната страна на апарата са добро решение.

Влияние на излъчването от мобилния телефон върху ухото



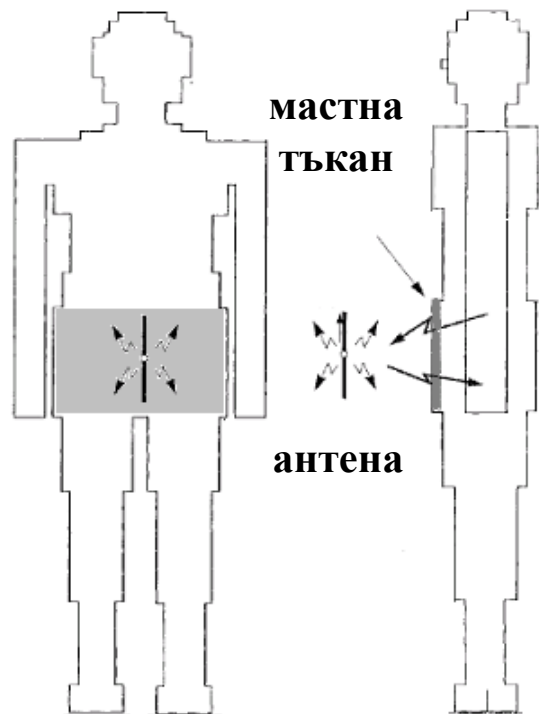
От предходните коментари става ясно, че ухото и кожата около него най-често страдат от използване на мобилен телефон: по-висока температура, леки изгаряния, изтръпване. Ухото има размери, кратни на дължината на вълната на GSM сигнала и при определени условия се наблюдават резонансни ефекти. На фигурите е показано разпределението на електричното и магнитното поле около ухото и зависимостта на интензитета на полетата от разстоянието до антената. При $d \sim 7.5$ mm и 17 mm се наблюдават максимуми на H и E съответно.



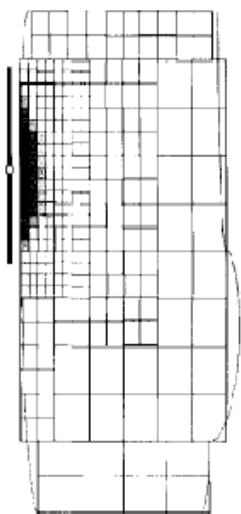
Данни: 900 MHz, 1 W; $d = 2.4$ cm

Влияние на мастните тъкани за намаляване на SAR в тялото

Данни: 915 MHz, 1 W

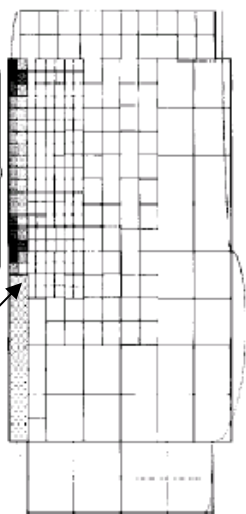


SAR без мастна тъкан

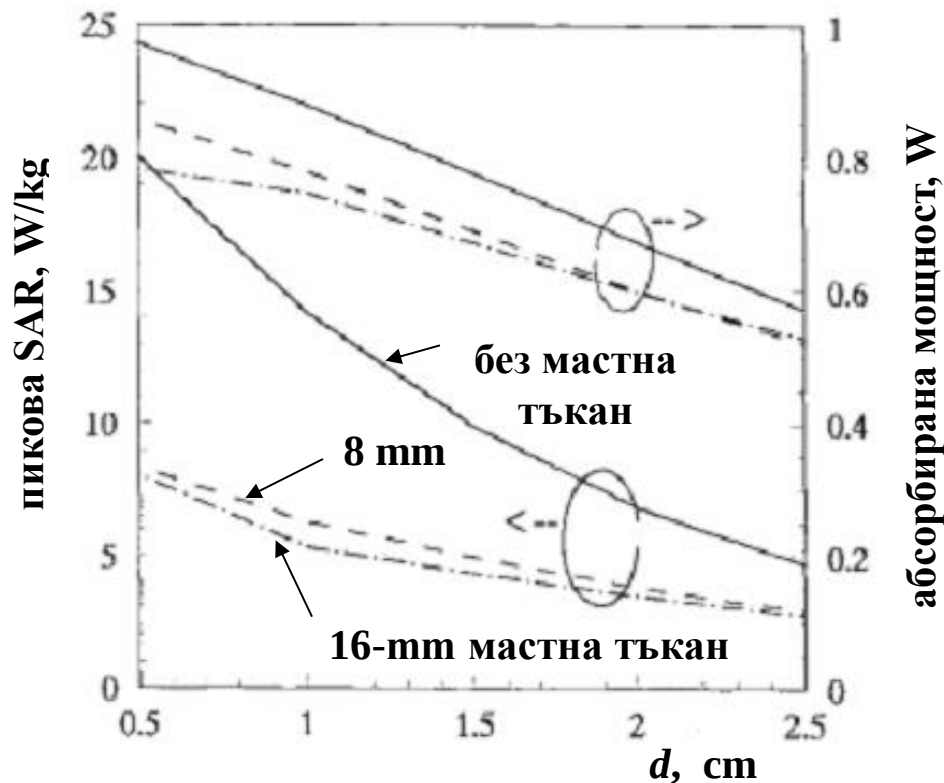


антена

мастна
тъкан



SAR с мастна тъкан



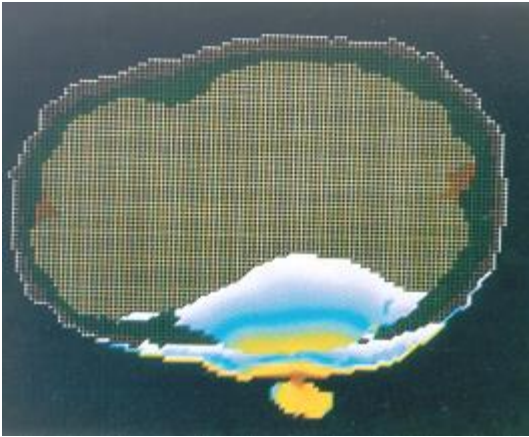
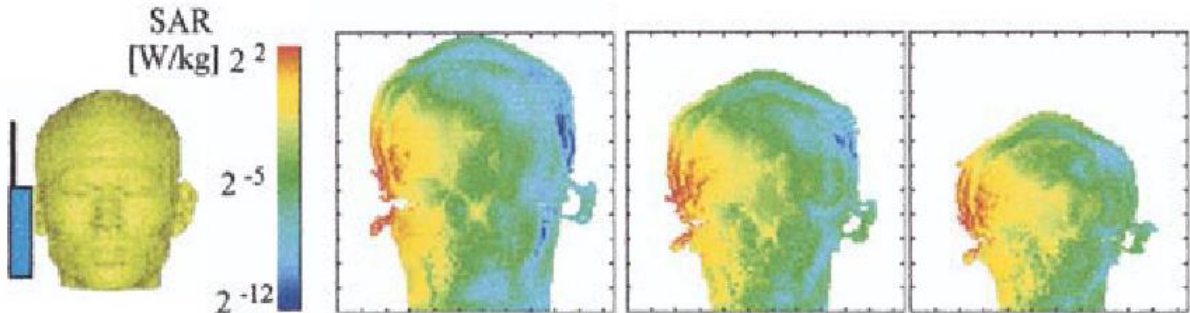
Мастните тъкани в човешкия организъм са със слабо водно съдържание (LWC тъкан) и големината на SAR в тях е по-малка, отколкото в другите тъкани. Този ефект се вижда от приведените данни. Слой мастна тъкан на корема с дебелина “едва” 8 mm намалява големината на SAR около 2.5 пъти в сравнение със случай без мастен слой, ако антената е на 1 cm разстояние от него. Извод: дръжте апарата на колан до корема; тогава ефектът на облъчване е най-малък.

Сравнение на влиянието на излъчването върху възрастни и деца

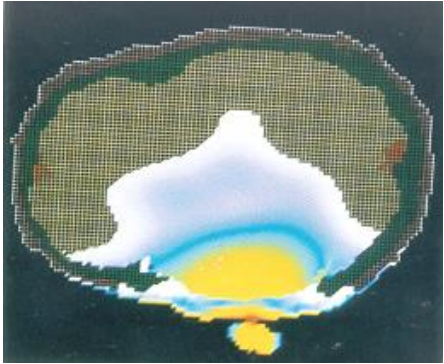
Използването на мобилни телефони от деца е все по-масово явление. В същото време за тях няма специални хигиенни норми, както за възрастните хора. Както вече обсъждахме, резонансните ефекти, присъщи за всички хора, при децата се проявяват на по-високи честоти. Оказва се, че и на 900 MHz се наблюдава по-ефективно облъчване на главата на деца в сравнение с възрастни и SAR в цялата главата, както и отделно само в мозъка расте (от 20 до 30% за деца от 10 до 5 г.) – вж. Таблицата. Освен това, сигналът прониква по-надълбоко в детската глава – вж. разпределението на SAR. По тези причини в две държави – Англия и Австралия, за деца под 16 години е забранено използването на мобилен телефон.

Пикова SAR, W/kg	Възрастен	10 г.	5 г.
В цялата глава	1.6	1.69	1.88
В мозъка	0.65	0.78	0.85

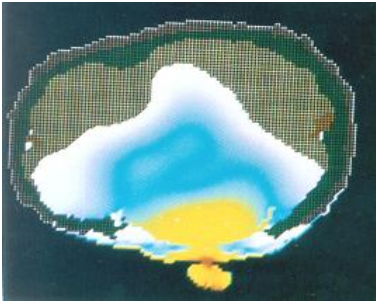
Пре-скалиране: 27 г. (100%) 7 г. (90 %) 3 г. (82 %)



възрастен мъж



дете на 10 години

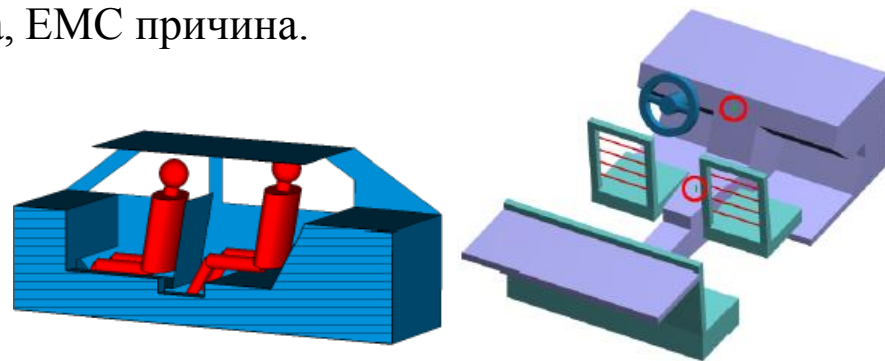
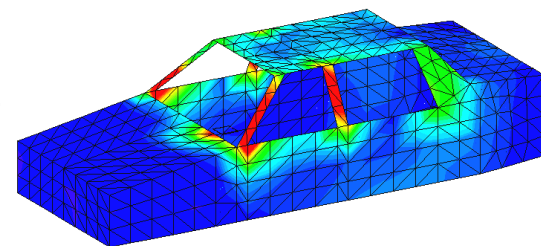


дете на 5 години

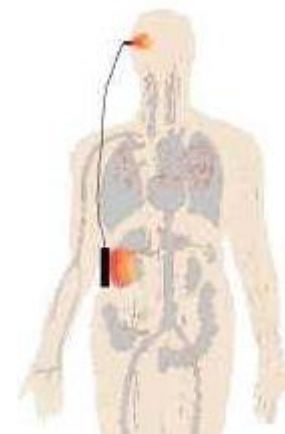
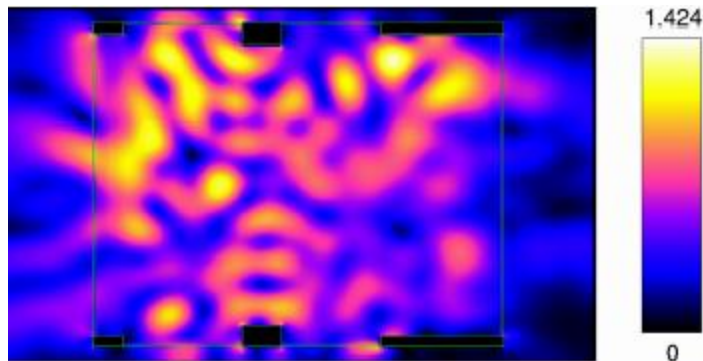
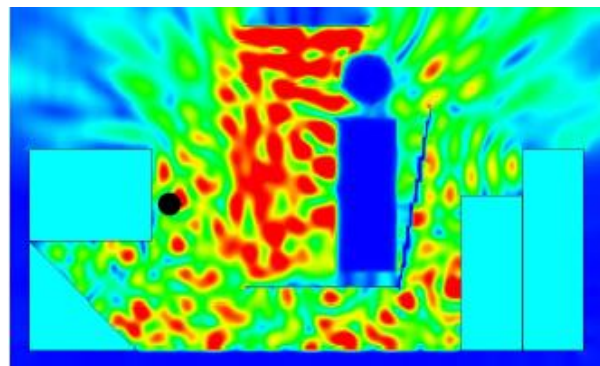
Данни: 900 MHz, 1 W; d = 3 cm

Ефекти от използване на GSM апарати в превозни средства

Почти във всички страни в света ползването на мобилен телефон в колата е ограничено. Може да се ползва, но без да се държи в ръце (чрез “hands free”). В някои страни има дори пълна забрана за използване вътре в кола. Основната причина са затруднените реакции на водача при разговор с мобилен телефон (проблемът е по-тежък, отколкото този при пасивно слушане на радио в колата или при пушене при шофиране). Има и чисто електродинамична, EMC причина. Симулациите на излъчването на GSM сигнал вътре в колата-резонатор и измерванията показват, че загубите растат около 4 пъти (~ 6 dB). Причините са главно две: наличие на тела с големи омични загуби (пасажери) и “изтичане” на енергия през стъклата и други отвори на покрива. Това означава, че мобилната станция трябва да работи с по-силен сигнал, а това увеличава SAR в главата.



Електродинамични 3D модели на автомобили



Разпределение на E в обема в кола тип “Седан” и върху предното ѝ стъкло

“hands free”

Модулираните сигнали въздействат по-ефективно от немодулираните

Основните притеснения на хората от въздействие на нейонизиращо лъчение с малка доза (или SAR) е свързано с доказаното по-ефективното въздействие на модулирани RF сигнали (импулсни, т. е. цифрови, или много нискочестотни ELF) в сравнение с CW сигнали.

Потокут на йони през стените на клетъчните мембрани, особено този на Ca^{++} , е много важен биохимичен механизъм на клетъчно ниво. Йоните използват специфични канали, контролирани с напрежение, за пресичане на мембраните ($\sim 10 \text{ nm}$) по градиента на концентрацията. Тези канали, нормално затворени, се активират с напрежение (напр. -90 mV в покой до $+45 \text{ mV}$). С компютърни симулации и с измервания е показано, че модулираните GSM и DECT сигнали увеличават вероятността за “отваряне” на каналите от Na^+ и K^+ йони с 30 %, а за каналите от Ca^{++} йони – до 60 %, т. е. изключително силно въздействие на модулирани сигнали.

Показано е, че облъчването с микровълни оказва определени генетични изменения на популации от микроорганизми, но няма ясни данни, че могат да се предизвикват генетични мутации при бозайниците и в частност, при човека. Всъщност, има противоречиви изследвания с модулирани сигнали на 954 и 2450 MHz. Напр. има две важни работи, които показват статистически значими изменения в ДНК на облъчени мишки и зайци, но има и още две работи с точно противоположни резултати. При такива изследвания трудно се репродуцират условията на облъчване

Накрая, доста хора правят неприятна връзка между използване на GSM телефони и възникване на ракови заболявания. Сред учените, обаче, има ясен консенсус, че RF сигнали не влияят директно върху човешкия геном, както е при йонизиращо лъчение. Всъщност, предполага се, че може да има индиректно влияние или съпровокиране на други канцерогенни канали. Има малко подобни изследвания (< 10), но единствено изследванията на групата на Repacholi показва поява на рак на лимфните жлези в мишки, които са предварително генно-модифицирани да имат предразположение към такъв вид рак. Така, че може да се счита, че опасенията за възможни заболявания от рак само от използване на GSM телефони, са пресилени.



Нови изследвания

Био-електромагнитните изследвания на влиянието на електромагнитното излъчване върху хора и живи организми са много разпространени по целия и добре финансирани. Ежегодно излизат много нови резултати; не малка част от тях се появяват в Интернет. Много подробна, достоверна и актуална информация може да се получи от "колонката" на проф. James C. Lin (lin@ece.uic.edu) от Университета в Илинойс, Чикаго, "Telecommunications Health & Safety", която се появява 6 пъти годишно в списанието "IEEE Antennas and Propagation Magazine".

В т. 48, кн. 5 от 2006 г. той обобщава този вид изследвания EMF-NET (<http://www.jrc.ec.europa.eu/emf-net>). Само за периода 2004-2008 тези проекти са 240, разпределени в 13 страни (Дания, Финландия, Франция, Германия, Великобритания, Италия и др.). Общото финансиране е над €45 млн. (средно по €195 000 на проект). Проектите са от два типа: изследователски или проекти с определена мисия (напр. може ли излъчването от мобилен телефон да предизвика мозъчни тумори?). Подобен е и международния проект INTERPHONE, координиран от International Agency for Research on Cancer (IARC) в Лион, Франция (част от Международната здравна организация WHO). IARC е класифицирала 5 групи за канцерогенно въздействие на нейонизиращото лъчение: 1 (канцерогенно), 2A (вероятно канцерогенно), 2B (възможно канцерогенно), 3 (не може да се определи като канцерогенно), 4 (не е канцерогенно). Засега нейонизиращото лъчение се свързва с *група 2B*. Първите резултати по проекта INTERPHONE за връзка между използването на GSM апарати и поява на мозъчен тумор вече излизат (от началото на 2005). Изследвани са живи хора (чрез медицински прегледи и интервюта), които са ползвали мобилни телефони над 10 години. Първите резултатите от изследванията в две държави не са особено обнадеждаващи. В Швеция са изследвани хора на възраст 18-69 г. и се наблюдава увеличаване на риска от мозъчен тумор (от страната на използване на телефона) ~1.39 (95% доверителен интервал CI 1.01-1.92). В Германия (30-69 г.) – риск за мозъчен тумор ~0.98 (95% CI 0.74-1.29). Тук, обаче, се докладва за силно увеличаване на риска от глуома ~2.20 (95% CI 0.94-5.11) При интензивно ползване на GSM телефон (след първите 2000 часа) се наблюдава още по-силен риск, отколкото 10-год. нормално ползване.

Не е вярно, че няма научни доказателства за връзка между рак и RF излъчване

<http://microwavenews.com/news-center/rf-animal-cancer-promotion>

MICRO
WAVE
NEWS

Home

News Center

About Us

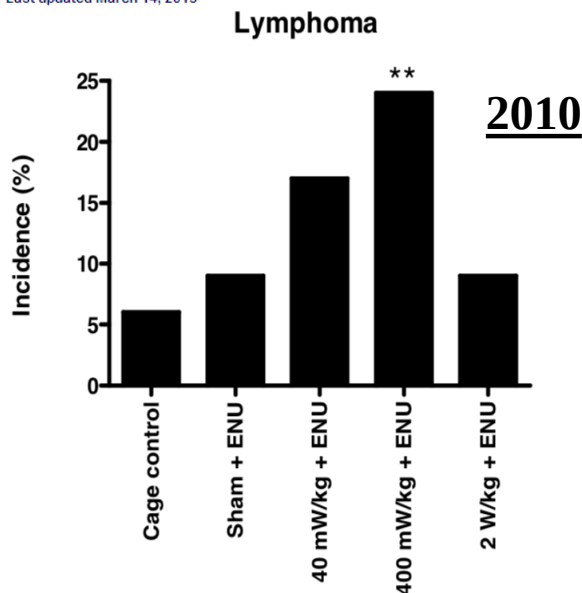


RF Cancer Promotion:
Animal Study Makes Waves
Germany's Alex Lerchl Does a U-Turn



March 13, 2015
Last updated March 14, 2015

Март 2015



“А за тези с издръжливостта да стоят на вълната на бавно-течащата здравна RF сапунена опера, нова статия предлага неочаквана изненада. Водещият автор на новото изследване с мишки е Alex Lerchl, които в продължение на години рече-ше, че само науката, показваща ниско ниво на RF ефекти е лоша наука. Сега този, когото активисти обвиняваха, че е лакей на мобилната индустрия", направи U-завой.

The new study, from Germany, a replication of an earlier experiment, also from Germany, found that weak cell phone signals can promote the growth of tumors in mice. It used radiation levels that do not cause heating and are well below current safety standards. Complicating matters even further, lower doses were often found to be more effective tumor promoters than higher levels; in effect, turning the conventional concept of a linear dose-response on its head.

And for those with the stamina to have stayed tuned to the slow-moving RF-health soap opera, the new paper offers an unexpected surprise. The lead author of the new animal study is Alex Lerchl, who for years has charged that the only science showing low-level RF effects is bad science. Now the one whom activists had accused of being an industry lackey is being hailed as a hero.

Lerchl has shown that mice exposed in the womb with a known cancer agent, ENU, and then exposed to a UMTS cell phone signal had significantly higher rates of tumors of the liver and the lung, as well as of lymphoma than with ENU alone. (UMTS is a third generation, 3G, system based on GSM.) His study was designed to repeat, with a larger number of animals, an experiment published in 2010 by Thomas Tillmann of the Fraunhofer Institute of Toxicology and Experimental Medicine in Hannover. When Tillmann first presented his results a couple of years earlier, he called them “remarkable” (see “3G Can Promote Tumors”). Since then, the study has been largely ignored —until now.

Основни изводи (по IEGMP Report 2000)

- Облъчване с нейонизиращо лъчение с ниво под хигиенните норми не предизвиква у хората известни на медицината заболявания. Има, обаче, научни изследвания, които доказват, че облъчване дори под хигиенните норми, може да предизвикат различни биологични ефекти на молекулно и клетъчно ниво, както и ефекти в поведението, психиката, мисловната дейност и паметта.
- По принцип хората не са хомогенни в генетично отношение и някои от тях (или групи от тях) могат да имат повишена чувствителност към околната среда и, в частност, към облъчване с микровълнови сигнали. Това са прояви на “хиперчувствителност” и хигиенните норми не могат да осигурят сигурна защита за тях. В такива случаи трябва да се прилага принципът на предпазливостта. Този принцип е особено препоръчителен в сегашните начални етапи на използване на клетъчните телефони и др. безжични устройства, когато се знае по-малко за влиянието им, отколкото би трябвало.
- Модулираните сигнали, особено импулсните и свръх-нискочестотните (ELF), въздействат по-ефективно върху различни процеси в човешкия организъм и този на животните. Тук в недалечно бъдеще се очакват много повече, по-сигурни и по-конкретни резултати от нови научни изследвания.
- Съвременните хора “обичат” мобилните връзки, но почти никой “не обича” да е в близост до базова станция. Независимо от общественото безпокойство за тотален “електросмог”, облъчването от базовите станции не е така опасно, освен ако те не са в непосредствена близост или даден човек е свръх-чувствителен към електромагнитни сигнали. В известен смисъл, рискът от облъчване от мобилен телефон е по-голям. Причини са малките разстояния на излъчващата антена до главата и по-продължителните и по-чести разговори.

Препоръки

За мобилните телефони:

- С използването на мобилни телефони не трябва да се прекалява, както е с кафето или алкохола. Ако човек се намира в офис или в къщи, трябва да предпочита използването на обикновен, фиксиран телефон.
- Трябва да се избягват разговори при “слаб сигнал” от BTS (в мазе, тунел, асансьор, метро, кола, автобус), защото MS работи на максимален сигнал.
- Когато е възможно, да се използват предпазни средства: MS да се държи “далече” от главата, да се използва “hands-free” устройства или предпазни “стикери”.
- Децата трябва да избягват използване на мобилни телефони или да използват специални “детски” телефони.
- Избирайте си телефон по указаната стойност на SAR, която той би предизвикал при стандартни условия. Ако такава стойност не е указана, информирайте се от Интернет
- Пазете очите си, тестисите и сърцето далеч от телефона. Не забравяйте, че той излъчва дори когато не разговаряте (“режим на сън”). Масните тъкани ви предпазват донякъде.

За базовите станции:

Ако за използване на мобилен телефон човек решава сам, за базовата станция не е така. Не се безпокойте, ако антените не са на по-малко от 30-50 m от вас или вашето жилище, или ако не са в пряка видимост (зад стени, сгради и пр.). Все пак се информирайте: каква е мощно-стта на излъчване от станцията, типа на клетката (по-голяма или по-малка), дали антената е секторна, какво е усиляването ѝ и в кои посоки са насочени главните лъчи. Ако се съмнява-те в нещо, консултирайте се със специалист.

**Благодаря за
вниманието**

