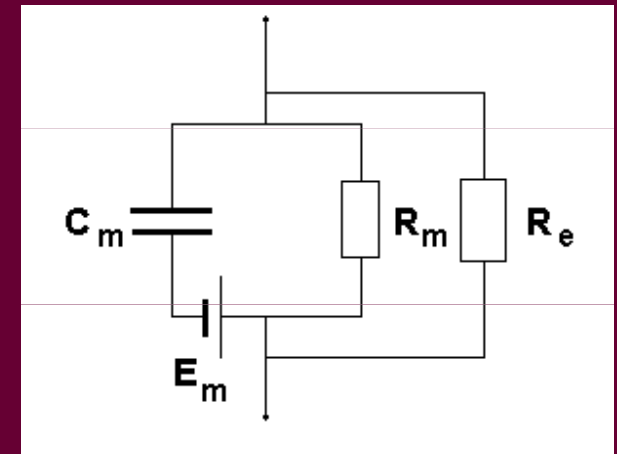


Biologické účinky elektrického proudu, elektromagnetických polí a neionizujícího záření

Vedení elektrických proudů ve tkáních



- Průchod proudu lidským tělem se řídí Kirchhoffovými zákony. Tkáňový odpor je proměnlivý. Nositeli proudu jsou **ionty**.
- Můžeme rozlišit dva typy elektrické vodivosti tkáně. Cytoplasma a mezibuněčné prostředí se chová jako vodič druhého řádu, jehož rezistance nezávisí na frekvenci. Membránové struktury mají kapacitní vlastnosti, **impedanci** Z , v níž se uplatňuje rezistance R a kapacitance X_C :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Měrný odpor tkání

<i>Tkáň</i>	<i>Měrný odpor [Ωm]</i>
cytoplasma buněk	1
tělesné tekutiny	0,8 - 1,3
svalová tkáň	3
parenchymatózní orgány	4 - 6
tuková tkáň	10 - 15
kostní tkáň	30

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot S}{l} [\Omega \cdot m]$$

Polarizace tkáně

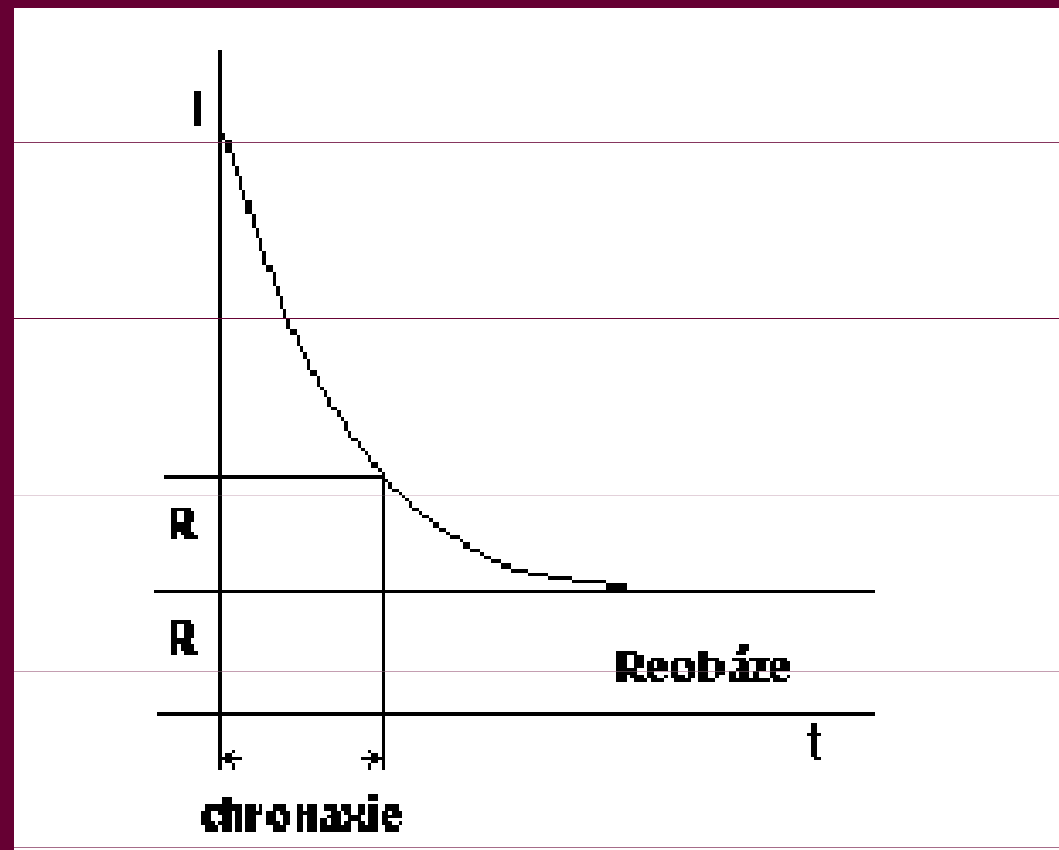
- Ve tkáních nejsou všechny náboje volné, často jsou vázány na makromolekuly, které jsou integrální součástí buněčných struktur a mají omezenou pohyblivost. Makromolekuly se chovají jako **elektrické dipóly** - různě orientované .
- Působením zevního elektrického pole se dipóly orientují podle elektrického pole - dochází k jejich **polarizaci**. Vzniká vnitřní elektrické pole opačné polarity, a tím dochází ke snížení intenzity zevního elektrického pole. Natáčením polárních molekul vzniká **posuvný proud**. Mírou schopnosti látky vytvářet posuvný proud je **permitivita ϵ** .

Elektrická dráždivost

- Dráždivost je obecnou vlastností živých systémů. U savců je nejméně výraznější u tkáně nervové a svalové. **Elektrická dráždivost** - schopnost tkáně reagovat na elektrické podněty. Stejnoseměrný proud má dráždivé účinky jen při náhlé změně
- Podráždění je jev prahový, nastává až při dosažení určité prahové intenzity - reobáze.
- Pro kvantifikaci dráždivosti je důležitější časový faktor: **Chronaxie** - doba potřebná k vyvolání podráždění při intenzitě proudu rovné dvojnásobné reobázi.
- Každý kosterní sval má charakteristickou chronaxii, podle jejíž změny lze určit stupeň postižení dráždivosti a tím i stupeň postižení svalu.

Reobáze a chronaxie – I/t křivka

Nejkratší chronaxii mají kosterní svaly (< 1 ms), srdeční sval (5 ms), nejdelší chronaxii hladké svaly (50-700 ms). Chronaxie se odečítá z tzv. I/t křivky, závislosti intenzity proudového impulsu na jeho trvání.

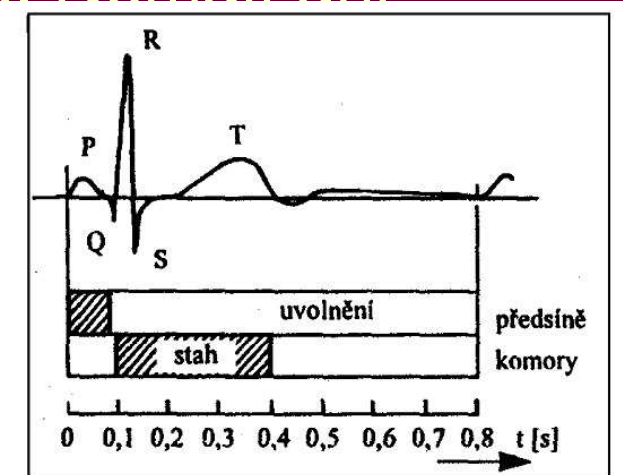


Elektrotonus, elektrokinetické jevy

- Nepřerušovaný = proud podráždění nezpůsobuje, může však vyvolat jeho změny. Toto působení = proudu se nazývá **elektrotonus**.
 - V oblasti katody (-) dochází k zvýšení dráždivosti motorických nervů. Tento stav se nazývá **katelektrotonus**.
 - V oblasti anody (+) je snížena dráždivost senzitivních nervů - **anelektrotonus**.
 - Využití při elektroterapii.
- **Elektrokinetické jevy** – pohyb iontů či rozpouštědla v elektrickém poli
 - elektrokinetický potenciál ζ (zéta).
 - Elektroforéza
 - elektroosmóza

Frekvenční závislost účinků

- U velmi nízkých frekvencí (< 100 Hz) se dráždivý účinek zvyšuje lineárně s frekvencí. U vyšších frekvencí se nárůst dráždivého účinku zpomaluje a přechází v pokles. V rozmezí 500 - 3000 Hz závisí prahová hodnota dráždivého proudu na \sqrt{f} . Nad 3000 Hz dráždivý účinek klesá a při 100 kHz zcela ustává.
- V_f proudy nemají dráždivé účinky, protože délka trvání impulsu je kratší než nejkratší chronaxie. Nemají ani elektrochemické účinky.



Elektrokardiogram srdeční činnosti
(fáze srdeční činnosti tzv. T-vlna)

Tepelné účinky vf proudů

- Mechanismus účinku vf proudů spočívá v přeměně absorbované elektrické energie v teplo Q dle Jouleova zákona:

$$Q = U \cdot I \cdot t$$

kde U je napětí, t je doba průchodu proudu I . Mechanismus vzniku tepla závisí na způsobu aplikace vf proudů.

- Při kapacitním způsobu dochází k **dielektrickému ohřevu** v důsledku ztrát v dielektriku.
- Při indukční aplikaci vzniká teplo v důsledku indukovaných tzv. **vířivých proudů**.

Elektrická pole - stacionární

Přirozená

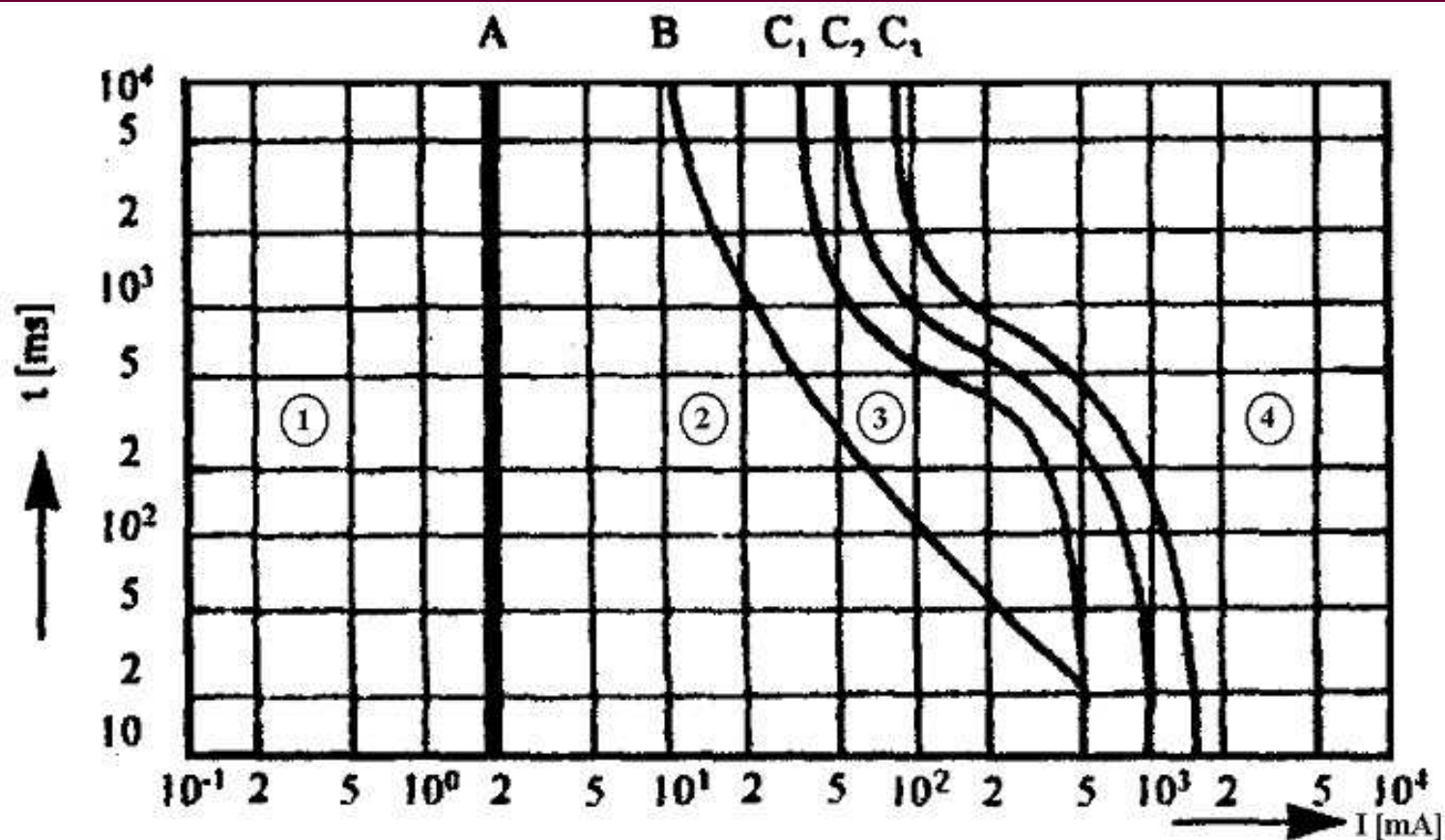
- mezi povrchem (-) a ionosférou (+) vzdálenost asi 80km
- intenzita: v údolích asi 20 V/m
v horách okolo 250 V/m
před bouřkou až tisíce V/m => Eliášův oheň

Umělá

- koleje tramvají 30 V/m, kolejová železnice (Itálie) 800 V/m, televizor (odstup asi 30 cm) 300-700 V/m, interiér auta v létě –6 000 V/m, svetr (umělé vlákno) – 80 000 V/m
- !!Stejnoseměrné vedení od gigantické hydroelektrárny Tři soutěsek v Číně (až 18GW)

Úrazy elektrickým proudem

- Účinky \sim proudu (zvláště 50Hz) jsou závažnější než účinky $=$ proudu. Nebezpečí úrazu u vf proudů nad 10 kHz je malé.
- Nebezpečí úrazu závisí na U zdroje, na vnitřním R zdroje a na R těla. Zdroje s velkým vnitřním R (např. obrazovky) nemusí být nebezpečné, protože zkratový proud je velmi nízký.
- **Hlavní nebezpečí představuje rozvodná síť a zdroje s malým vnitřním R . Ve vlhku se snižuje kožní odpor a nebezpečí úrazu roste.**
- Nebezpečný je tzv. dvoupólový dotyk, kdy je do obvodu zařazen jen odpor lidského těla mezi místy dotyku.
- U jednopólového dotyku hraje důležitou roli izolace vůči zemi (obuv).
- Nejcitlivější je mozek, dýchací ústrojí (zvláště centra řídicí dýchání a dýchací svaly) a srdce.



Účinky střídavého proudu na člověka pro $f = 50\text{Hz}$:

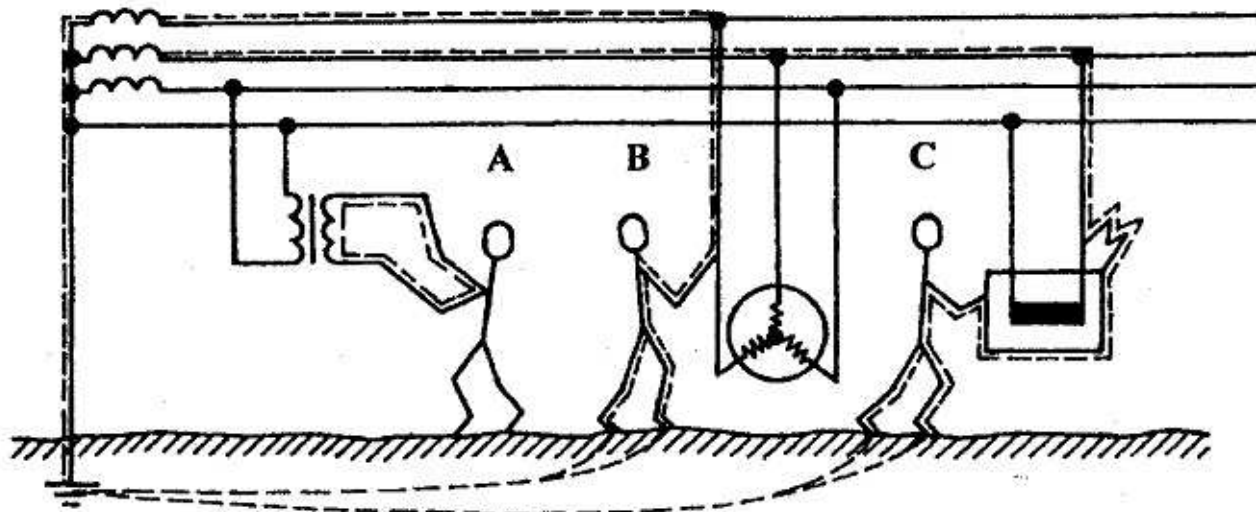
1. zpravidla žádná reakce,
2. zpravidla žádný patofyziologický účinek,
3. přechodná oblast bez pevných hranic, zpravidla žádné organické škody ani nebezpečí fibrilace, svalové reakce, ztížené dýchání,
4. od křivky C1 možnost fibrilace, křivka C2 $P = 5\%$, křivka C3 $P = 50\%$.

Základní pravidla pro řešení ochrany před nebezpečným dotykovým napětím (ČSN 33 200-4-41, -47, -481):

části s napětím, které jsou vystaveny dotyku, nesmějí v lidském těle vyvolat proud překračující práh vnímání

konstrukční části, na nichž by se mohlo objevit napětí vlivem vady izolace,

Ty je třeba chránit tak, aby proud procházející tělem byl buď pod prahem vnímání nebo byl ve velmi krátké době vypnut..



Druhy nebezpečného dotyku

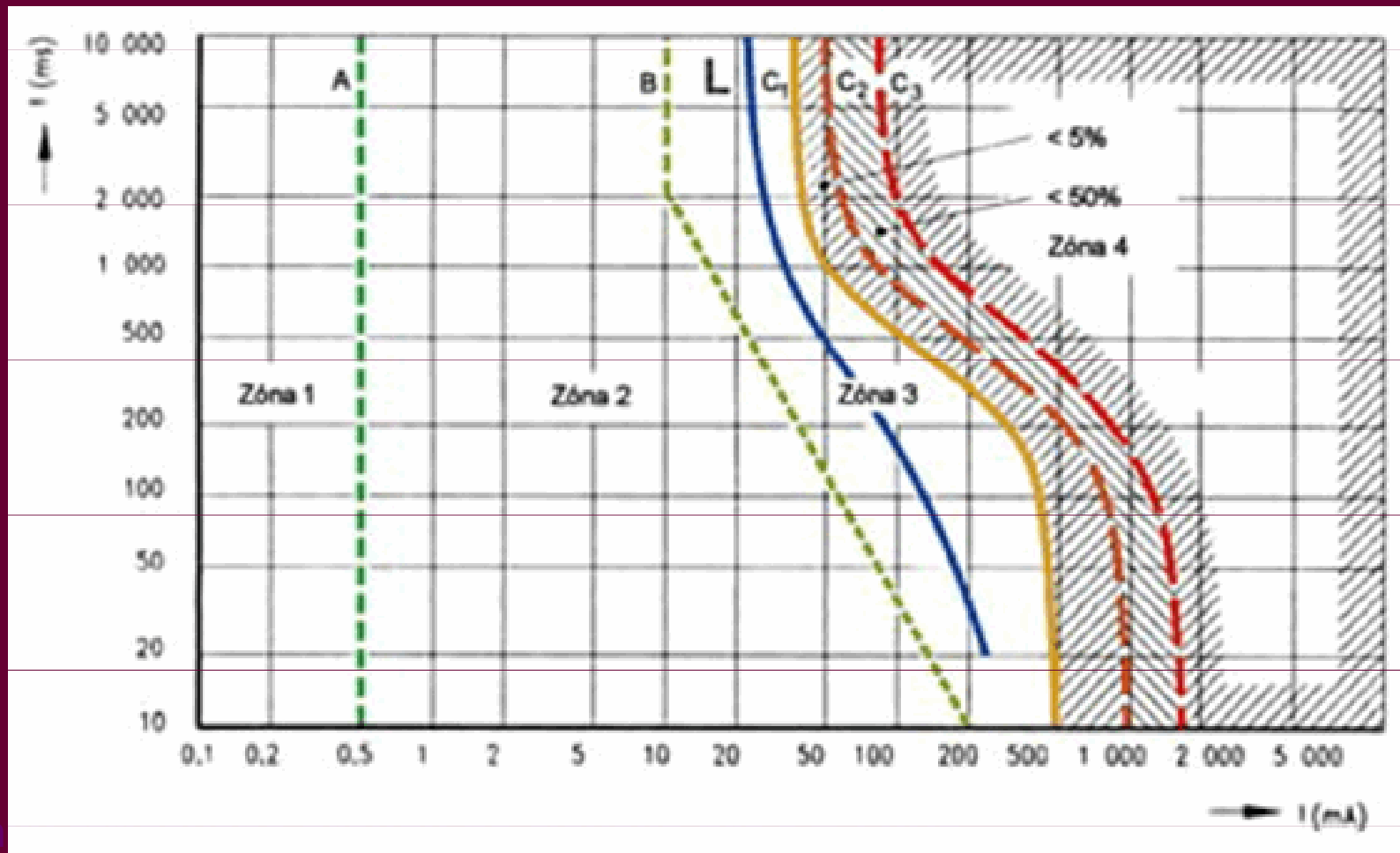
Zařadíme-li lidské tělo do elektrického obvodu ve směru ruka – ruka, potom při pozvolném zvyšování velikosti procházejícího proudu nastane:

- pocit **prahu vnímání** (příjemné slabé brnění),
- pocit nepříjemnosti až bolesti,
- hranice **meze uvolnění**, (svalová křeč bez možnosti vymanění se),
- postupné ochrnutí svalů ovládající dýchání,
- dosažení **hranice fibrilace** (zástava srdce, chvění srdečních komor).

Meze bezpečných malých napětí

prostory	při dotyku částí	Bezpečné malé napětí živých částí (V)	
		AC	DC
Normální a nebezpečné	živé	25	60
	kryty	50	120
Zvlášť nebezpečné	živé	-	-
	kryty	12	25

dle aktualizace ČSN 33 2000-4-41 z roku 2007



Účin

- A - přímka vyznačující práh reakce**
- B - čára vyznačující mez uvolnění**
- C1 - čára vymežující práh fibrilace srdečních komor**
- C2 - hranice pravděpodobnosti fibrilací 5 %**
- C3 - hranice pravděpodobnosti fibrilací 50 %**
- L - dohodnutá čára vymežující dovolené doby působení proudu bez nebezpečných fyziologických účinků**

Úrazy elektrickým proudem

- Hodnota bezpečného proudu, který může bez ohrožení zdraví procházet tělem, je
 - u \sim proudů do 1 kHz asi 10 mA, =proudu asi 25 mA.
 - Mezní hodnota \sim proudu, při níž je možno se odtrhnout od rukou sevřeného vodiče je asi 20 mA.
 - Proudů do 25 mA mohou způsobit zástavu dýchání, proudy vyšší (25 - 80 mA) vyvolávají reverzibilní zástavu srdeční činnosti s nebezpečím úmrtí. Nad 80 mA stoupá počet smrtelných úrazů
- Proudů kolem 1A mají již zcela ireverzibilní následky.
- K podráždění svalů el. proudem je nutné, aby proud probíhal ve směru svalového vlákna. V srdci svalová vlákna probíhají všemi směry, takže při průchodu proudu je vždy postižena jen jejich část. Důsledkem jsou nekoordinované stahy myokardu (extrasystoly), při vyšších hodnotách proudu (100-200 mA) kmitání (fibrilace) srdečních komor.

Také aplikace

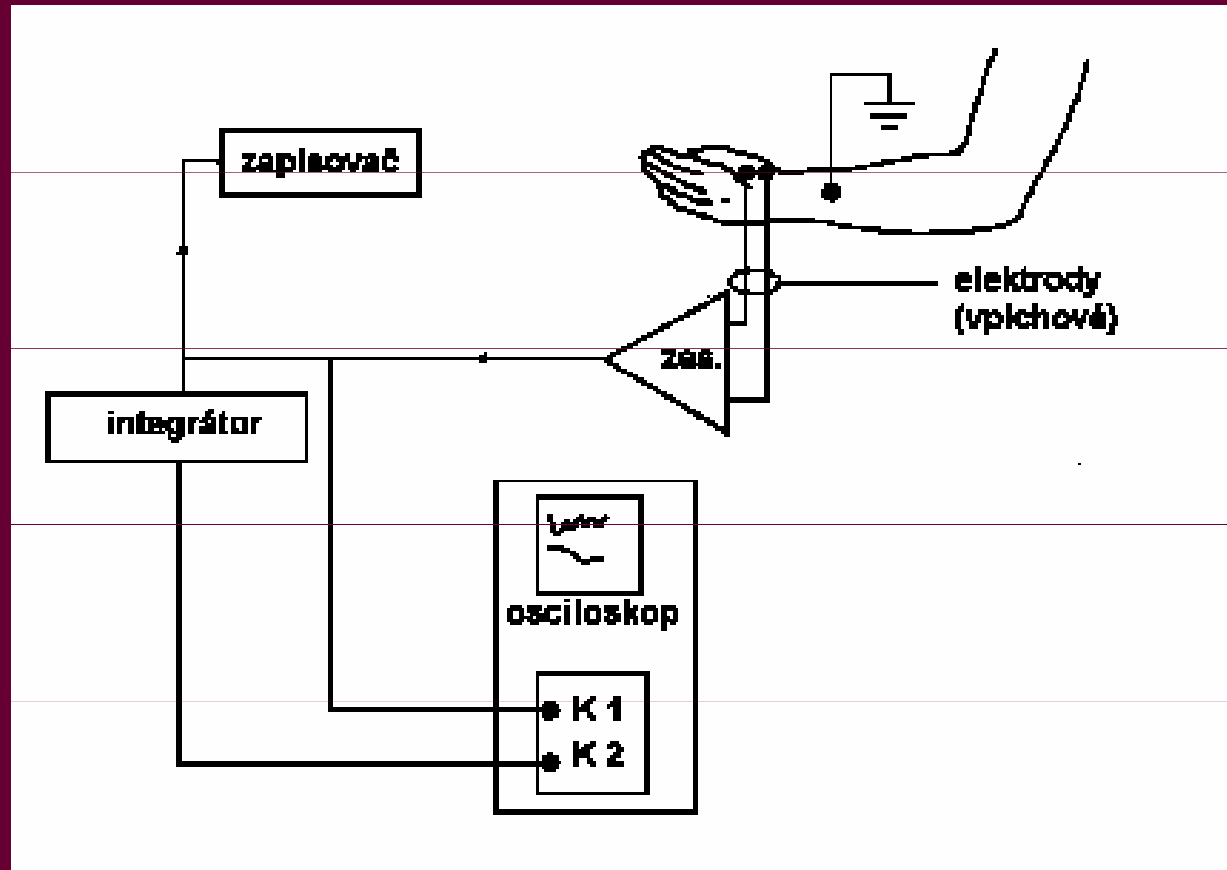
- Elektrické křeslo:
- Stovky až tisíce voltů
- Jednotky až desítky ampérů



Elektroencefalografie

- - Vlny α : $f = 8-13$ Hz, s amplitudou (A) do 50 mV. Charakteristické pro tělesný i duševní klid.
- - Vlny β : $f = 15 - 20$ Hz, $A = 5 - 10$ mV. Rytmus zdravého člověka v bdělém stavu.
- - Vlny ϑ : $f = 4 - 7$ Hz, $A = \text{nad } 50$ mV. Fyziologický u dětí, u dospělého člověka je patologický.
- - Vlny δ : $f = 1 - 4$ Hz, $A = 100$ mV. Za normálních okolností v hlubokém spánku. V bdělém stavu je patologický.
- V EEG záznamu se může objevit řada dalších grafických tvarů elektrické aktivity, charakteristických pro onemocnění mozku.
- Činnosti potenciály mozku jsou spontánní nebo vyvolané – **evokované**, a to nepřímým drážděním mozku senzory (zrakovými, sluchovými) i přímým drážděním např. impulsy magnetického pole.

Elektromyografie



Amplituda jednotlivých činnostných potenciálů kolísá v rozmezí 50 mV - 1m V, jejich frekvence od 10 Hz do 3 kHz.

Magnetická pole

Účinky stacionárních polí

Až od 350 mT měřitelné účinky na funkci srdce, vliv na nervové dráhy a složité molekuly až od 1T. Lidské orgány vydávají slabé magnetické pole (mozek 1pT, srdce 50 pT), proto je možné, že silná magnetická pole mají vliv i na funkci orgánů.

Účinky střídavých polí

5000 – 10 000 μT ...prahové hodnoty pro smyslové vjemy (20 - 30Hz)

nad 100 000 μT ...nastávají křeče ve svalech

Jev	Vzdálenost [cm]	Magnetické indukce [μT]
Zemské magnetické pole		47 - 50
Tomograf(pacient)		2 000 000 – 4 000 000
televizor	30	4
Elektrický holící stroj	1	100

Účinky magnetických polí

- Základní pojmy: mg pole statická, střídavá a pulsní. Dle rozložení pole v prostoru rozlišujeme mg pole homogenní a nehomogenní.
- **Magnetická indukce** B závisí na intenzitě mg pole H (obě veličiny jsou vektorové) a na *magnetické permeabilitě* μ :

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} \quad \mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

- **Ferromagnetické látky** - $\mu_r \gg 1$.
- **Diamagnetické** - μ_r je nepatrně nižší než 1
- **Paramagnetických** - μ_r je nepatrně vyšší než 1.
- Tkáně lidského těla jsou složeny téměř výhradně z látek diamagnetických a paramagnetických. Důsledkem mg indukce je ve vodivém prostředí vznik elektrických napětí a proudů (působením Lorentzovy síly u pohybujících se elektrických nábojů, nebo Faradayových proudů u nestatických mg polí). Indukovaná napětí jsou však podstatně nižší než membránová napětí. Možnost ovlivnění membránových receptorů indukovaným napětím?

Magnetomechanické a magnetochemické účinky

- V silném homogenním mg poli se **orientují** diamagnetické a paramagnetické molekuly.
- Dále je nutno uvažovat i působení nepřímé, přes volné radikály, vznikající jako důsledek **magnetochemických reakcí**.
- Lze říci, že stálé mg pole vyšších intenzit metabolické pochody tlumí, proměnné mg pole stimuluje. Tyto změny jsou přechodné.
- Interakcí magnetických polí s lidskými tkáněmi se využívá diagnosticky i léčebně. Diagnostickou metodou je MRI a, léčebnou **magnetoterapie**. **Magnetickou stimulaci mozku** lze využít k účelům diagnostickým i terapeutickým

Magnety v medicíně



Magnetoterapie

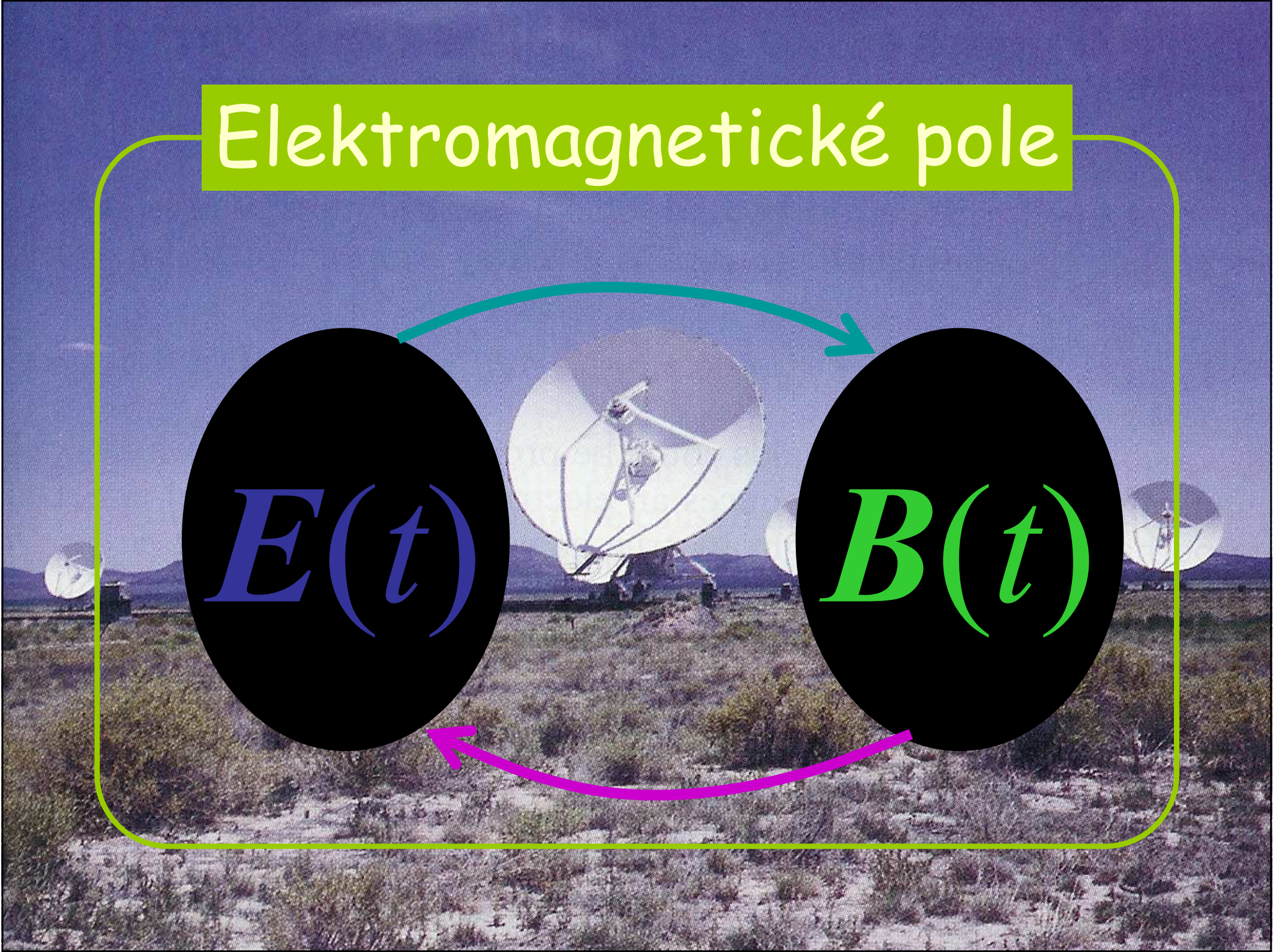
Transkraniální magnetická
stimulace



Elektromagnetické pole

$E(t)$

$B(t)$



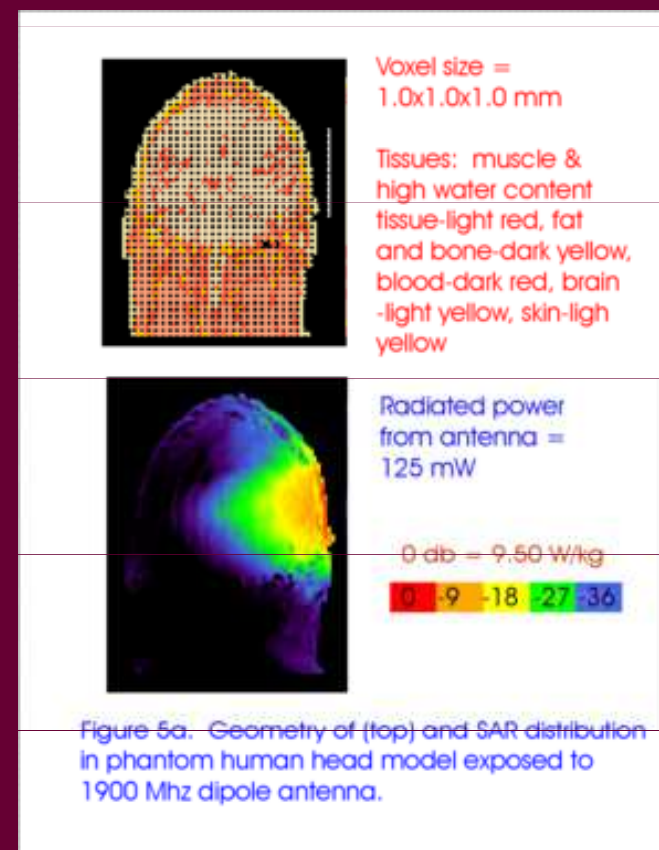
Účinky mikrovln a radiofrekvenčního záření

- Převážně tepelné, nespecifické, viz též účinky vf proudů
 - Mikrovlnné zdroje
 - Radary
 - Mobilní telefony
 - Rozhlasové a televizní vysílače
 - Elektrické rozvodné sítě
 - Troleje
- Studie poukazující např. na kancerogenní účinky se ukazují jako málo průkazné, přesto by se expozice měly omezovat.

• Zkratka **SAR** (*Specific Absorption Rate*) je speciální termín zavedený pro mobilní telefony

a udává max.množství absorbované radiace z telefonu na 1kg hmoty. Tato hodnota byla odvozena právě z tepelného účinku elmg pole.

Limit vychází z toho, že člověk je schopen se s tímto ohřevem vyrovnat, sám produkuje zhruba 100 wattů. Pokud těchto 100 wattů vztáhneme na povrch lidského těla, což je asi 1m², vyjde výkonová hustota, se kterou se může zdravý organismus sám vyrovnat.



Hygienické limity podle norem

výnosu hlavního hygienika ČR zavádí nepřekročitelné limity pro obyvatelstvo pro okamžité hodnoty veličin E_{max} a p_{max} :

Kmitočtové pásmo [MHz]	E_{max} [V/m]	p_{max} [mW.cm ⁻²]
$f < 30$	80	1,70
$30 < f < 300$	30	0,24
$300 < f$	10	0,025

pro lékařsky kontrolovanou skupinu lidí pracujících na vysokofrekvenčních výkonových zařízeních:

Kmitočtové pásmo [MHz]	E_{max} [V/m]	p_{max} [mW.cm ⁻²]
$f < 30$	300	23,8
$30 < f < 300$	100	2,65
$300 < f$	31,6	0,265

Nejvyšší přípustné hodnoty indukovaných proudů, absorbovaných výkonů a hustoty ozáření podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 480/2000 Sb.

Veličina	Zaměstnanci				Ostatní osoby			
	Kmitočet f [Hz]				Kmitočet f [Hz]			
	< 1	1 ÷ 4	4 ÷ 10 ³	10 ³ ÷ 10 ⁷	< 1	1 ÷ 4	4 ÷ 10 ³	10 ³ ÷ 10 ⁷
Indukovaná proudová hustota [A/m ²]	0,057		0,01		0,011		0,002	
Měrný absorbovaný výkon [W/kg]	10 ⁵ ÷ 10 ¹⁰				10 ⁵ ÷ 10 ¹⁰			
	0,4				0,08			
Plošná hustota zářivého toku [W/m ²]	10 ¹⁰ ÷ 3·10 ¹¹				10 ¹⁰ ÷ 3·10 ¹¹			
	50				10			

Pro pásmo 100kHz - 10GHz je limit SAR **0,4W/kg** pro zaměstnance (pracující s RF zařízeními) a **0,08W/kg** pro ostatní osoby.

Tento limit nesmí být překročen při expozici delší než 6 minut.

Při kratší expozici je limitována max. absorbovaná energie 0,01J/kg pro zaměstnance a 0,02J/kg pro ostatní osoby.

V případě expozice jen malé části těla (i případ mobilních telefonů) se limit SAR zvyšuje na **10W/kg** (20W/kg pro ruce, chodidla a kotníky) pro zaměstnance a 2W/kg (4W/kg pro ruce, chodidla a kotníky) pro ostatní.

Nejcitlivějším orgánem jsou oči, kde není možné dostatečné chlazení krevním prouděním a může dojít k zákalu.

Pro zajímavost tabulka SAR různých mobilních telefonů:

Typ	SAR [W/kg]
Nokia 6210	1,19
Siemens M35i	1,14
Siemens S35i	0,99
Nokia 3210	0,81
Nokia 8210	0,72
Ericsson T18s	0,61
Nokia 8850	0,22



Jak je vidět, tak prakticky žádný dnešní telefon normu nepřekračuje. Výrobci se hodnotu SAR většinou snaží snižovat pomocí interních antén, které jsou na zadní straně mobilu a vyzařují směrově od hlavy na rozdíl od vnějších antén, kde šla do hlavy až 1/2 výkonu.

- **Wireless LAN**

- 2.4 až 5.8 GHz (protokol WiFi,).

- Výkon a typického wireless access point je **35 mW**,

- Ač standardy dovolují až 200 mW.





Definitivní seznam vstupních dat

1. Vf **výkon** přenášený svazkem **při vysílání impulsu** je 170 kilowattů; impuls je **dlouhý**
2. Plocha aktivní (přibliž. kruhové) části rovinné antény je 105 m²,
3. Frekvence vysílače je z pásma „X“ (8 GHz – 12 GHz, vlnová délka středu pásma je 0,03 metru).
4. Úhlová **šířka svazku** v dostatečné vzdálenosti od antény je **0,18 stupně**.
5. **Nejmenší** používaný **elevační úhel** svazku je rovný **2 úhlovým stupňům**.
6. Vysokofrekvenční výkon vyzařovaný jednotlivými postranními (parazitními) **laloky** je **o 40 dB** (tj. desettisíckrát) **menší** než vysokofrekvenční výkon hlavního svazku.
7. Počet elementárních GaAs zářičů v anténě je 16896.
8. **Výkon vyzařovaný v impulsu** je **jen čtyřikrát větší** než průměrný vyzařovaný výkon (42,5 kW), což odpovídá **poměru 1:3 časové délky impulsu k délce doby, kdy radar nevysílá**



Měření dne 3. 10. 2007 Kwajalein, Marshallovy ostrovy

RADAR GBX

Elevace vyzařovaného svazku: 2° (= minimální možná)

Doba měření: vždy 6 minut v každém měřicím bodu

Vzdálenost měřicího bodu	50 m	100 m	210 m	270 m	560 m	931 m	2104 m	2666 m
hustota zářivého toku MAX (W/m ²) špičková hodnota	5,70	7,00	2,60	1,80	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
nejistota měření (W/m ²)	± 1,4	± 1,8	± 0,7	±0,5				
hustota zářivého toku AVG (W/m ²) časový průměr	2,14	4,40	1,40	1,06				

Měřili pracovníci ČSA přístroji ministerstva obrany ČR, přítomni pracovníci ministerstva zdravotnictví a čeští nezávislí experti.

ČR: nejvyšší přípustná hodnota pro obyvatelstvo je **10 W/m²** (NV č. 480/2000 Sb.)

