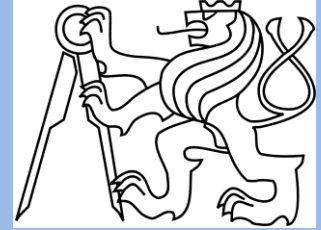


České vysoké učení technické v Praze
Katedra elektromagnetického pole



Státní zdravotní ústav
Národní referenční laboratoř pro neionizující
elektromagnetická pole a záření

Expozice člověka neionizujícím záření

Současný stav a změny

Lukáš Jelínek
elmag@szu.cz

Stručný přehled současného stavu

Dvě rozdílné koncepce

Současný stav vědeckého poznání



Pouze bezpečně prokázané prahové působení

Předpoklad bezprahového působení, i v případě, kdy není prokázáno.



- Princip ALARA (As Low As Reasonably Achievable)
- Princip ALATA (As Low As Technicaly Achievable)
- Princip předběžné opatrnosti PP (Precaution Principle)

Ve roce 2002 Evropská Komise označila princip ALARA pro expozici elektromagnetickým polím jako nepoužitelný.

Historie problému

- **Systematický výzkum začal po druhé světové válce**
- **Všechny majoritní efekty byly popsány a potvrzeny před rokem 1960**
- **Poslední známý efekt „mikrovlnné slyšení“ byl popsán v roce 1974**
- **V 90tých letech byla vytvořena mezinárodní doporučení pro ochranu zdraví před neionizujícím zářením (ICNIRP, ACGIH, IEEE)**
- **V roce 1999 WHO prohlašuje: „dodržení nejvyšších přípustných hodnot stanovených komisí ICNIRP je dostatečné pro ochranu zdraví“**
- **V roce 1999 doporučila rada Evropy expoziční limity dle ICNIRP státům Evropského Společenství**

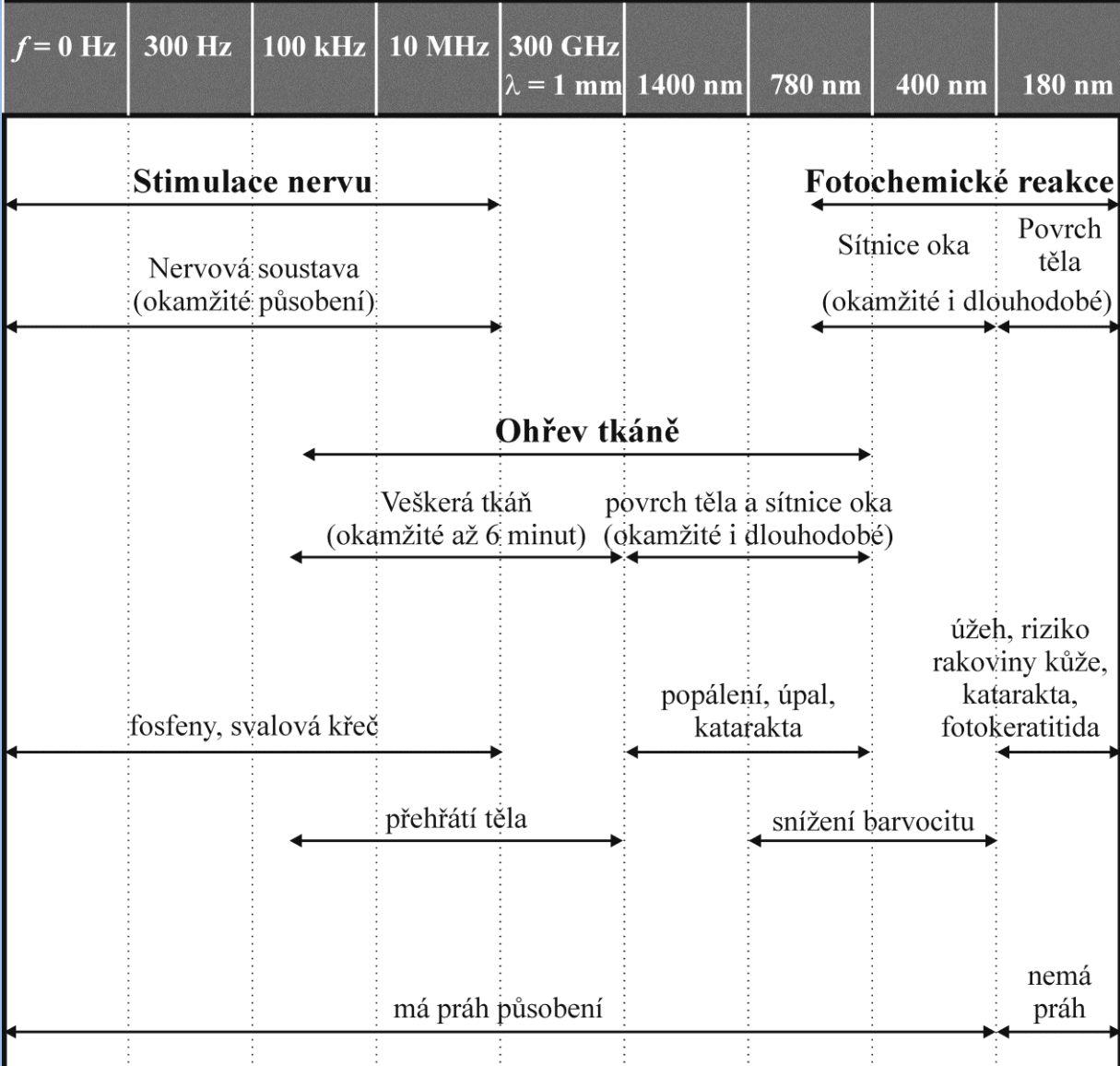
NEIONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

$f = 0 \text{ Hz} - 300 \text{ GHz}$

$\lambda = 1 \text{ mm} - 180 \text{ nm}$

Elektromagnetické záření

Optické záření



Foton vs. Atomární a Molekulární Vazby

Foton

$$E = h \cdot f$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$f = 10 \text{ GHz}$$



$$E \approx 0.00004 \text{ eV}$$

Nejslabší vodíková vazba



$$E \approx 0.05 \text{ eV}$$

Rovnost nastává při 12 THz

Foton vs. Fonon

Foton

$$E = h \cdot f$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$f = 10 \text{ GHz}$$



$$E \approx 0.00004 \text{ eV}$$

Fonon

$$E = 3 \cdot k \cdot T / 2$$

$$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$T = 310 \text{ K}$$



$$E \approx 0.04 \text{ eV}$$

Rovnost nastává při 10 THz

Existují jiné, dosud neznámé efekty?

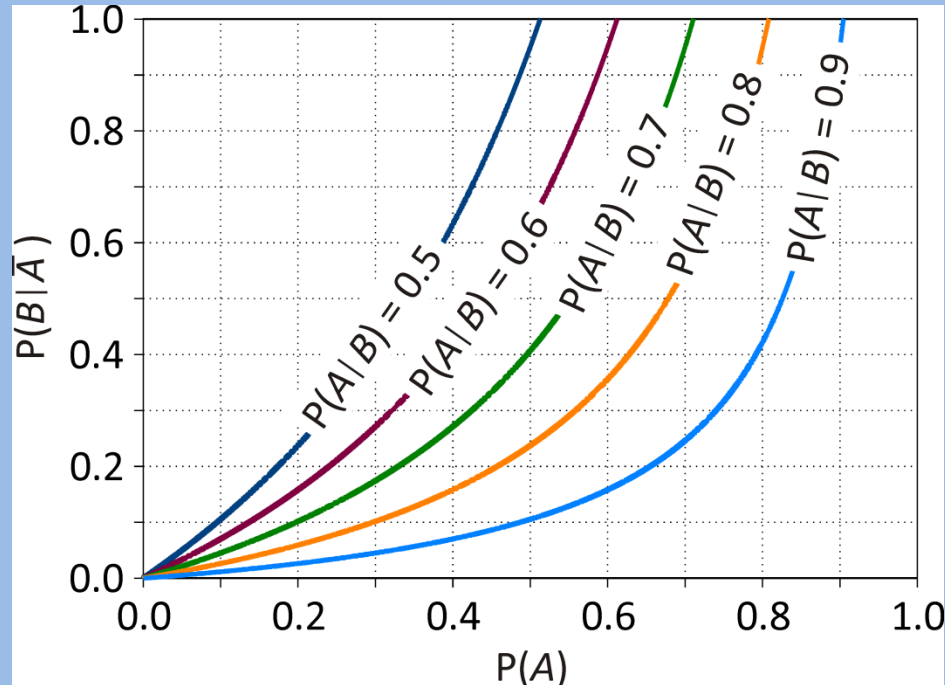
A – existence nového (dosud nepopsaného) efektu

B – experiment oznámí pozitivní nález

$P(A|B)$ - existence efektu podmíněná pozitivním nálezem v experimentu

$P(B|A)$ - experiment oznámí pozitivní nález za podmínky existence efektu (0.95)

$P(B|\bar{A})$ - experiment oznámí pozitivní nález při neexistenci efektu



Česká legislativa

- **1970 - Výnos hlavního hygienika ČSR o hygienicky únosných hodnotách ozáření elektromagnetickými vlnami**
- **1990 - Vyhláška ministerstva zdravotnictví České republiky č. 408/90 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky elektromagnetického záření**
- **2000 – Nařízení vlády č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, limity převzaté z ICNIRPu, [byly jsme první v Evropě kdo tyto limity uzákonil](#)**
- **2008 – Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, pouze formální novela, limity totožné jako 480/2000 Sb.**
- **2009 – Další formální novela s ohledem na evropskou legislativu, limity nezměněny**
- **2013 – Plánovaná změna limitů: vyšší NF limity, zachované VF limity, zachované optické limity**

Legislativa EU

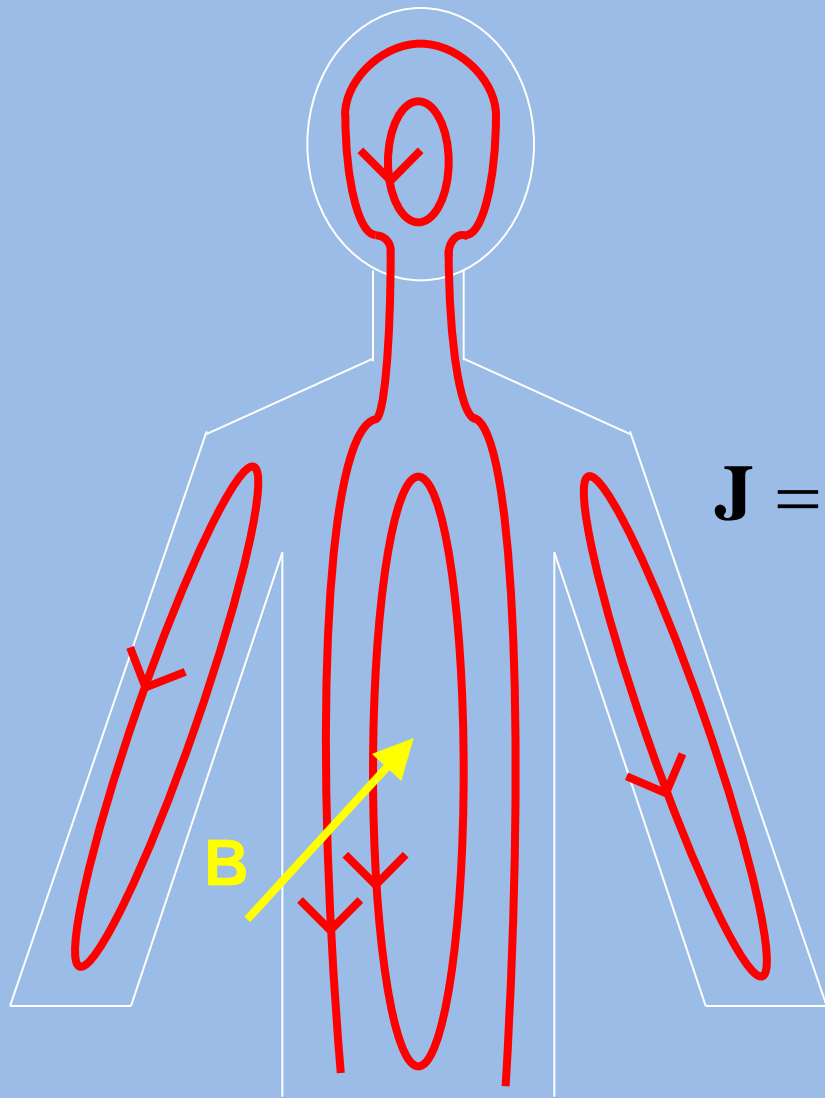
- **1999 - Rada Evropy doporučila expoziční limity dle ICNIRP**
- **2004 - Direktiva Evropského parlamentu 2004/40/EC (0 Hz – 300 GHz)**
- **2006 - Direktiva Evropského parlamentu 2006/25/EC (300 GHz – 3 PHz)**
- **2013 - Novela 2004/40/EC – vyšší NF limity, zachované VF limity**

[Všechny přípustné hodnoty podle ICNIRP](#)

Změna I

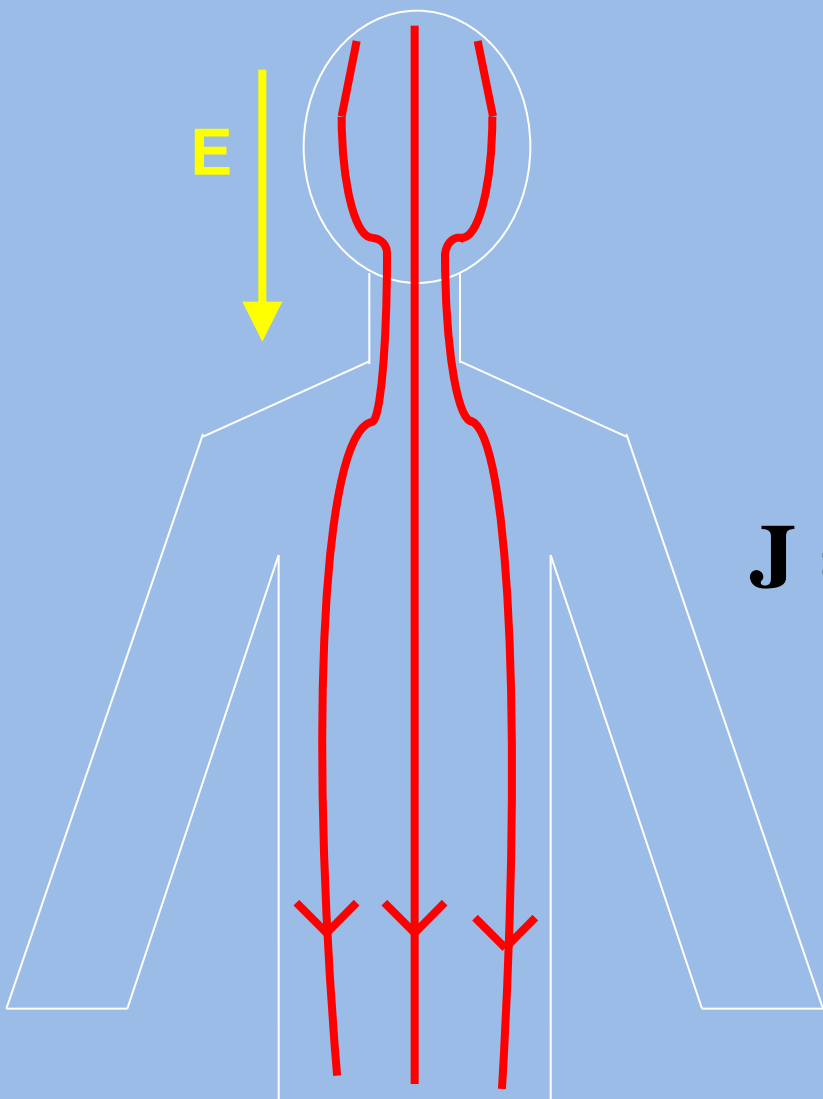
Nízkofrekvenční elektromagnetické pole (0 Hz – 10 MHz)





$$\mathbf{J} = \overline{\overline{K}}_B(\sigma, \mathbf{r}, t) *$$

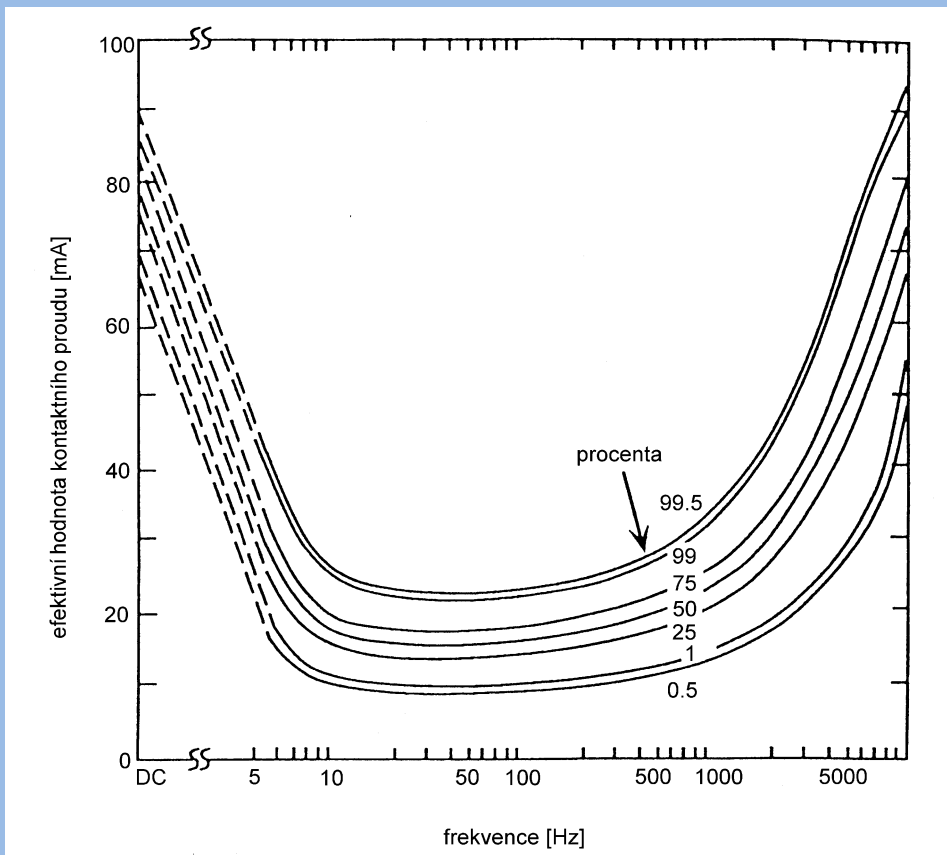
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \mathbf{B}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} \\ \mathbf{v}(\mathbf{r}, t) \cdot \text{grad } \mathbf{B}_0(\mathbf{r}) \\ \Omega(t) \mathbf{B}_0 \end{array} \right.$$



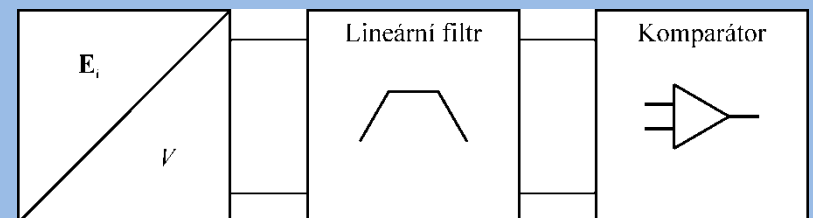
$$\mathbf{J} = \overline{\overline{K}}_E (\sigma, \varepsilon, \mathbf{r}, t) * \frac{\partial \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)}{\partial t}$$

Poznámky k funkci nervu

- Nervová buněčná membrána má klidový potenciál pod kterým nemůže být drážděna – **práh možného efektu**.
- I malé překročení prahu působí velké dráždění – **nervy mají kladnou zpětnou vazbu – fungují jako komparátor**.



Tyto pokusy prováděl a publikoval od roku 1942 až do 70 let C. F. Dalziel a kol.



Dalziel C. F., Massoglia F. P. : Let-go currents and voltages. AIEE Trans. P. II, Appl. Ind 75, 49-56, 1956

Dalziel C. F., O. E. Abbott: Effect of frequency on let-go currents. AIEE Trans. 62, 745-750, 1943;

Práh stimulace

Periferní nervová soustava: 3.5 V/m uvnitř tkáně

svalové kontrakce - možná zdravotní rizika

(vnější pole 50 mT při 50 Hz)

Centrální nervová soustava: 0.07 V/m uvnitř tkáně

vizuální efekty (fosfeny) – obtěžující, ale neškodné

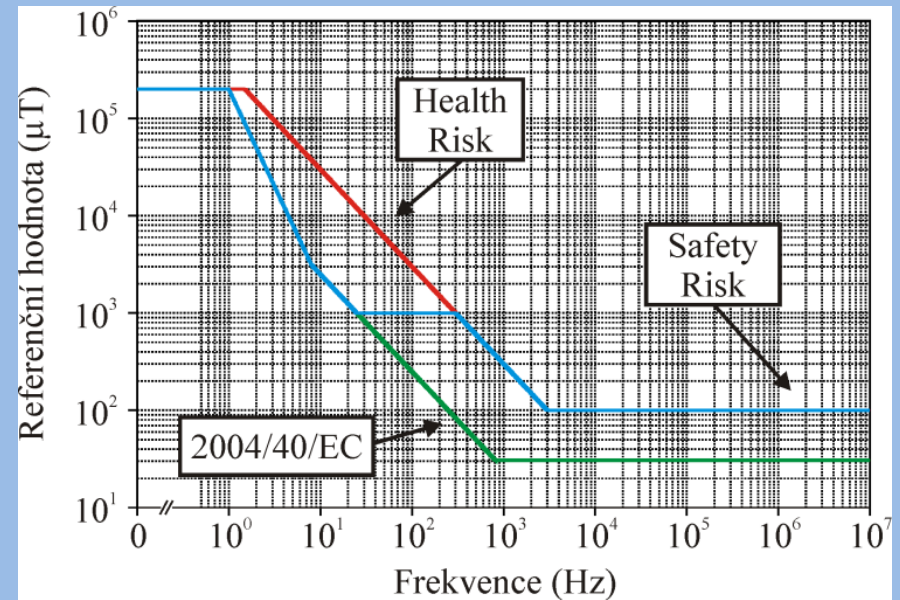
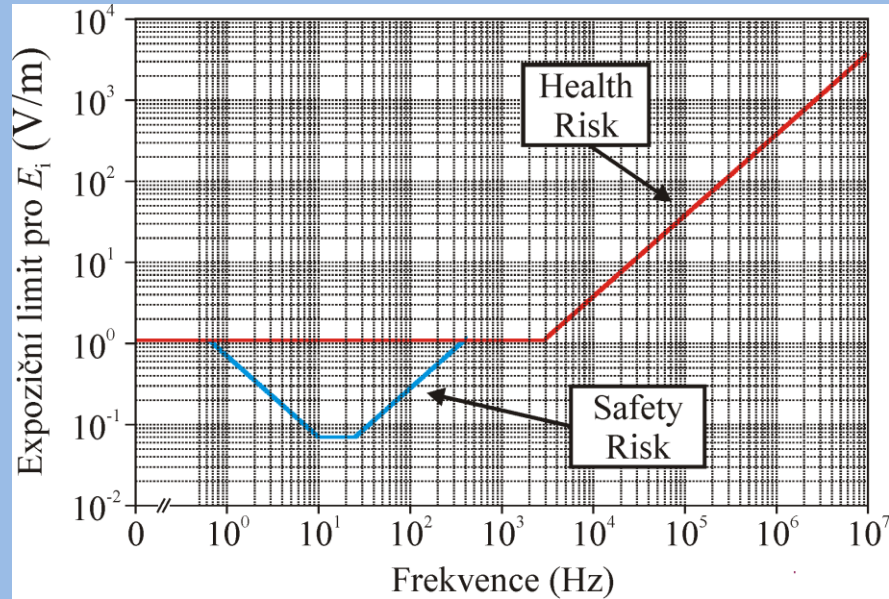
(vnější pole 5 mT při 20 Hz)

Expozice vnějšímu elektrickému poli je většinou zanedbatelná

(vnější pole > 40 kV/m při 50 Hz)

Expoziční limit těsně pod prahem stimulace CNS

Plánovaná Novela 2004/40/EC a 1/2008 Sb.



Extrémně silné statické magnetické pole (supravodivé magnety MRI)

- Pole **vyšší než 2 T** – Nevolnost, Závratě – stimulace vestibulárního orgánu ve středních uchu

Působení na vodivou kapalinu uvnitř půlkruhových kanálků :
indukce proudu (dynamický efekt), magneto-mechanické působení
(statický efekt)

- Pole **vyšší než 10 T** – možné magneto-hydrodynamické jevy - změna krevního tlaku, indukce napětí na cévách a srdci

Nepřímé efekty

Nepřímé projevy statického magnetického pole

- Síly působící na feromagnetické objekty $\mathbf{F} = \nabla(\mathbf{m} \cdot \mathbf{B})$



- Nebezpečí z letícího projektilu – **30 mT a výše**

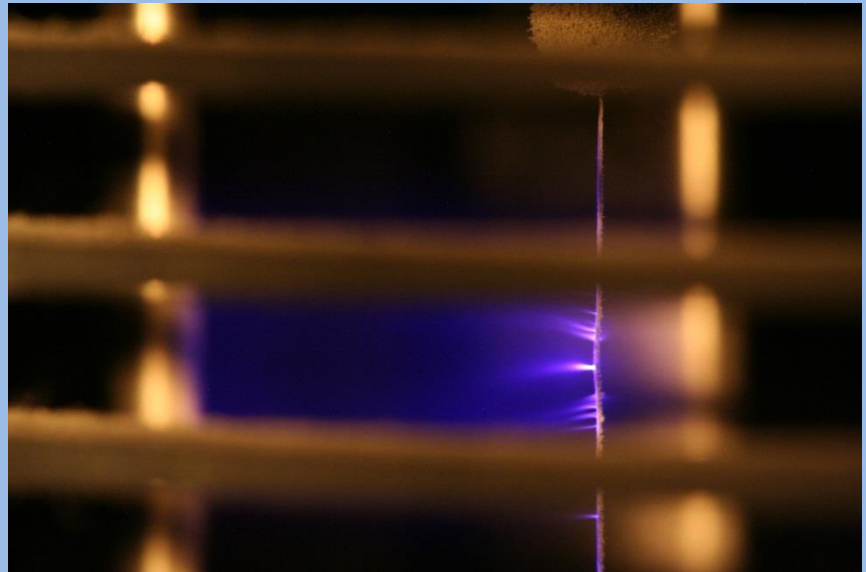
Nepřímé projevy nízkofrekvenčního magnetického pole

- Ohřev dobře vodivých objektů ($\sigma, \mu' + j \cdot \mu''$) – např. vodivé implantáty



Nepřímé projevy nízkofrekvenčního elektrického pole

- Koronový výboj, pohyb vlasů a chlupů - obtěžující a potenciálně bolestivé



- Korona - 30 kV/m a výše

Změna II

kategorizace

Novela kategorizační vyhlášky

- Zrušena kategorie II
- Kategorie III je opřena pouze o nejvyšší přípustné hodnoty (lasery)

- Laser 1,2 – kategorie I
- Laser 1M,2M,3A – kategorie I pokud nepoužívám optické přístroje
- Laser 3R – je třeba vyhodnotit konkrétní expoziční situaci
- Laser 3B – kategorie III pro zásah oka
- Laser 4 – kategorie III pro zásah oka či kůže (pro oko včetně difuzního odrazu)

Změna III

Optické záření (300 GHz – 1.7 PHz)

- **Navrácení ostatních osob do optiky**
- **Dobrovolná expozice – solária, kosmetické salóny**

Změna IV

Lasery

Lasery – počínající závažný problém ?



Téměř rovnoběžné paprsky



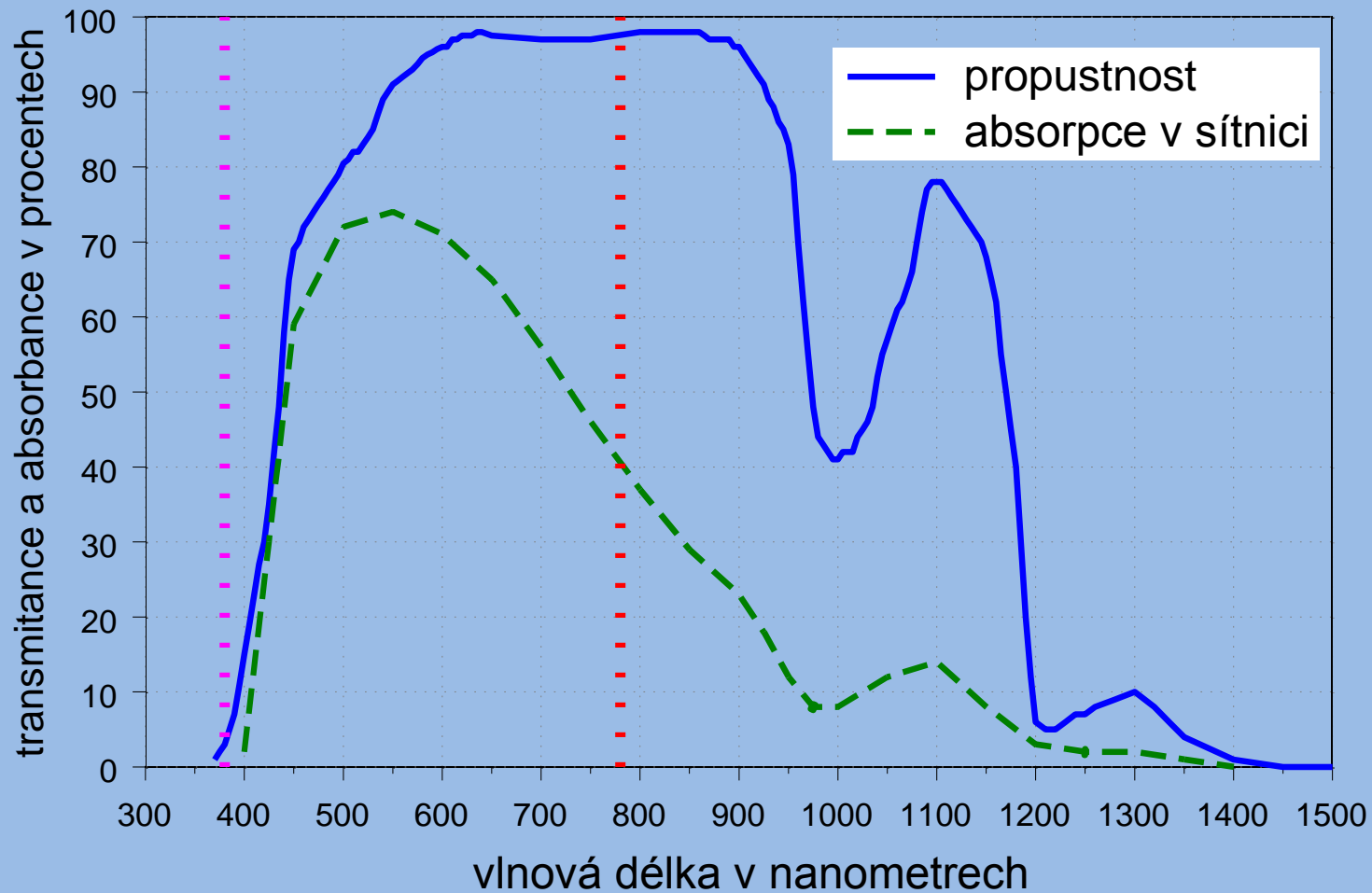
Pupila oka má maximální průměr asi 7 mm
čočka svazek zaostří na průměr 7 μ m

Teoreticky 10⁶x vyšší zářivý tok

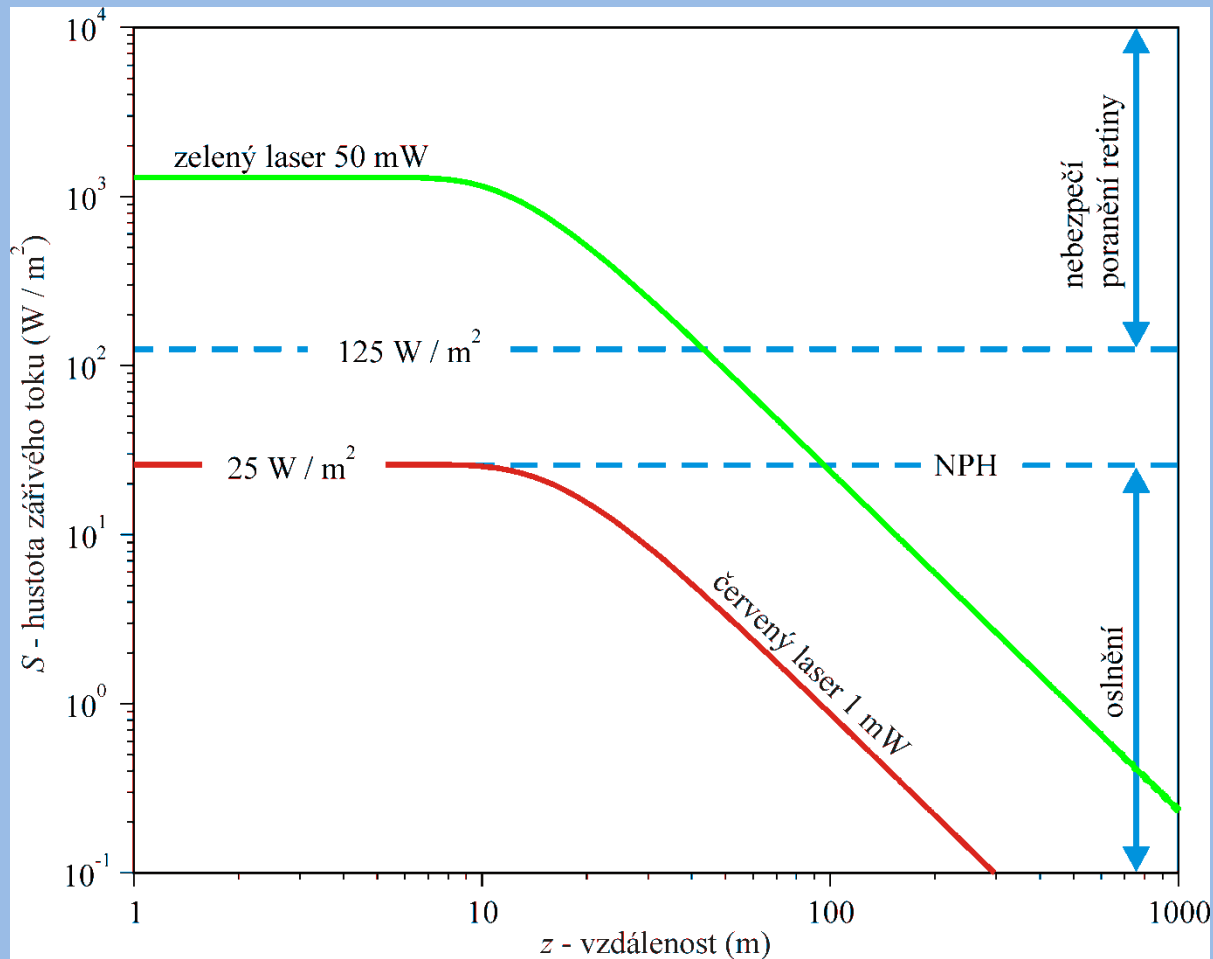


**Laser se světelným tokem několika miliwattů
může již poškodit sítnici.**

Velká hustota zářivého toku na jediné vlnové délce



Lasery - příklad



Laser 2 ($\lambda = 650 \text{ nm}$, $P = 1 \text{ mW}$, $w_0 = 0.77 \text{ mm}$)
Laser 3B ($\lambda = 532 \text{ nm}$, $P = 50 \text{ mW}$, $w_0 = 0.46 \text{ mm}$)

Oslnění

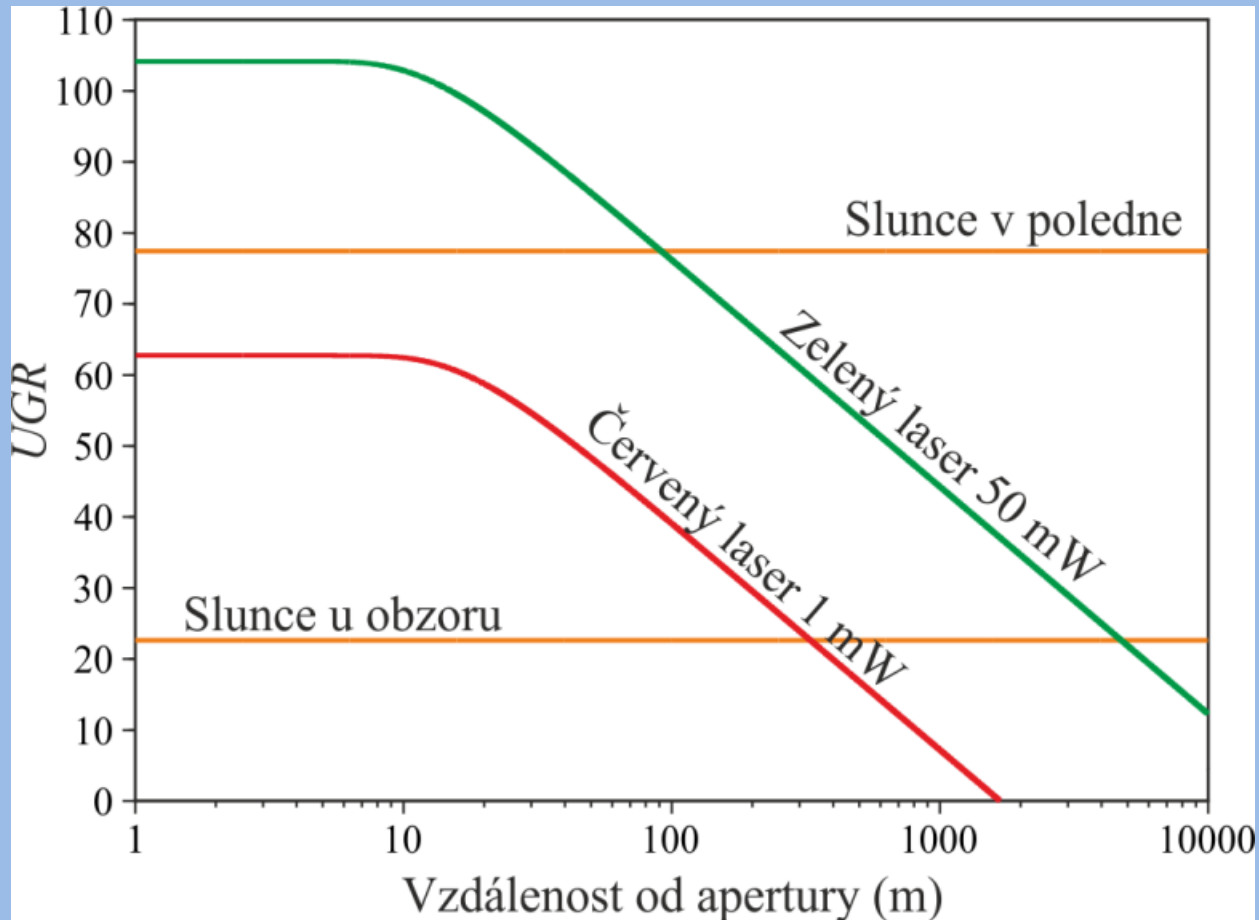


Zdraví zcela neškodný laser třídy II **může oslnit na stovky metrů.**



Zdánlivě neškodné zařízení může mít velmi závažné dopady - **oslnění pilota přistávajícího letadla, řidiče auta, apod.**

Lasery - příklad



Laser 2 ($\lambda = 650 \text{ nm}$, $P = 1 \text{ mW}$, $w_0 = 0.77 \text{ mm}$)
Laser 3B ($\lambda = 532 \text{ nm}$, $P = 50 \text{ mW}$, $w_0 = 0.46 \text{ mm}$)

Navrhované opatření

Lasery 3B, 4 lze pokládat za zbraně = zákaz volného prodeje laserů 3B, 4

Děkuji za pozornost

Více informací na

<http://www.szu.cz>

hledat “neionizující záření”

nebo

elmag@szu.cz

nebo

Knižní publikace

Neionizující záření - expozice a zdravotní rizika

Luděk Pekárek, Pavel Šístek, Lukáš Jelínek

SZU 2006