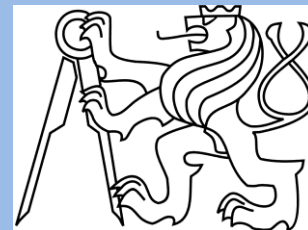


České vysoké učení technické v Praze
Katedra elektromagnetického pole



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



Ochrana zdraví před neionizujícím zářením

Lukáš Jelínek
elmag@szu.cz







**Optické záření
(300 GHz – 1.7 PHz)**

Rizika z expozice optickému záření

OPTICKÉ ZÁŘENÍ

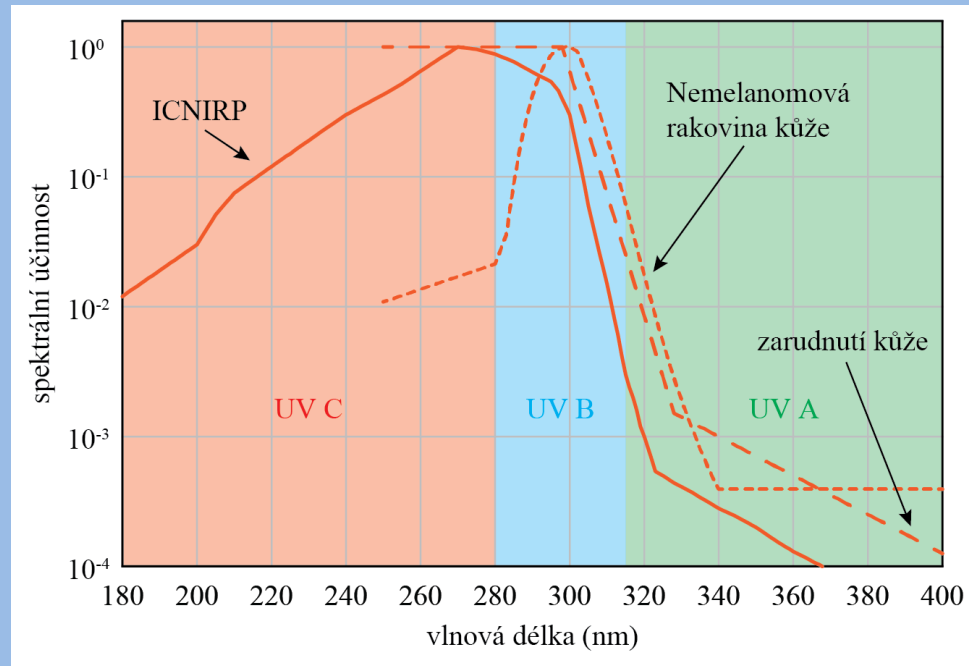
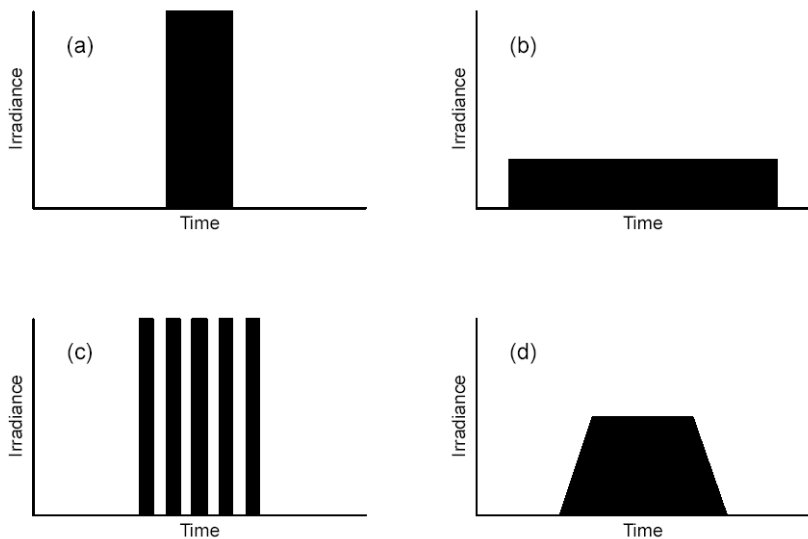
UVC	UVB	UVA	SVĚTLO	IRA	IRB	IRC	
180	280	315	400	780	1400	3000	10 ⁶
λ [nm]							
Fotokeratitida			Popálení sítnice		Popálení rohovky		
Erythem			Poruchy barvocitu				
Karcinom kůže			Popálení kůže				
Šedý zákal							

Ultrafialové záření

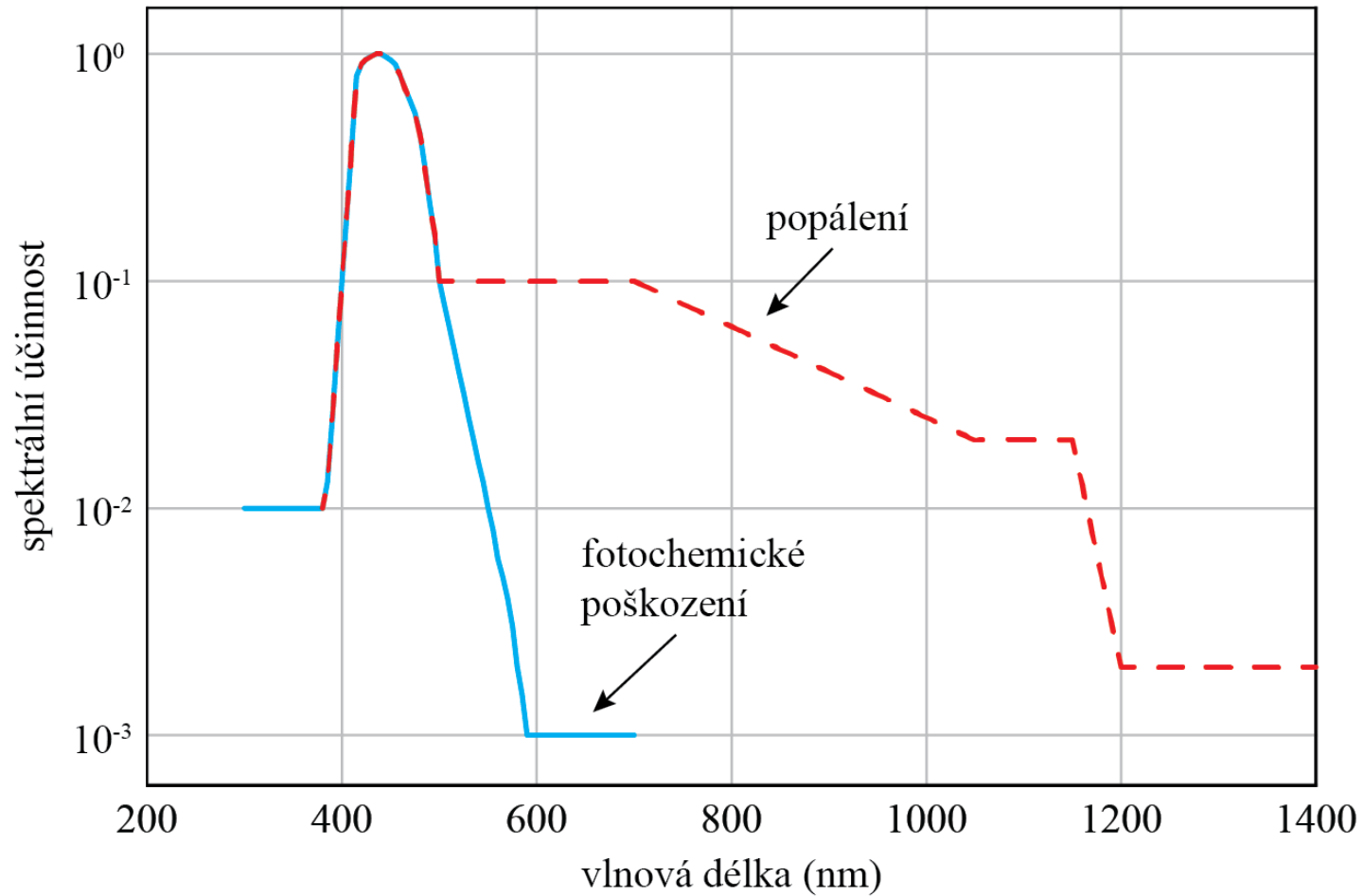
Spektrální hustota zářivého toku [W·m⁻²·nm⁻¹]

$$H_{\text{eff}} = \int_t \int_{\lambda} E(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$

Bunsen-Roscoe



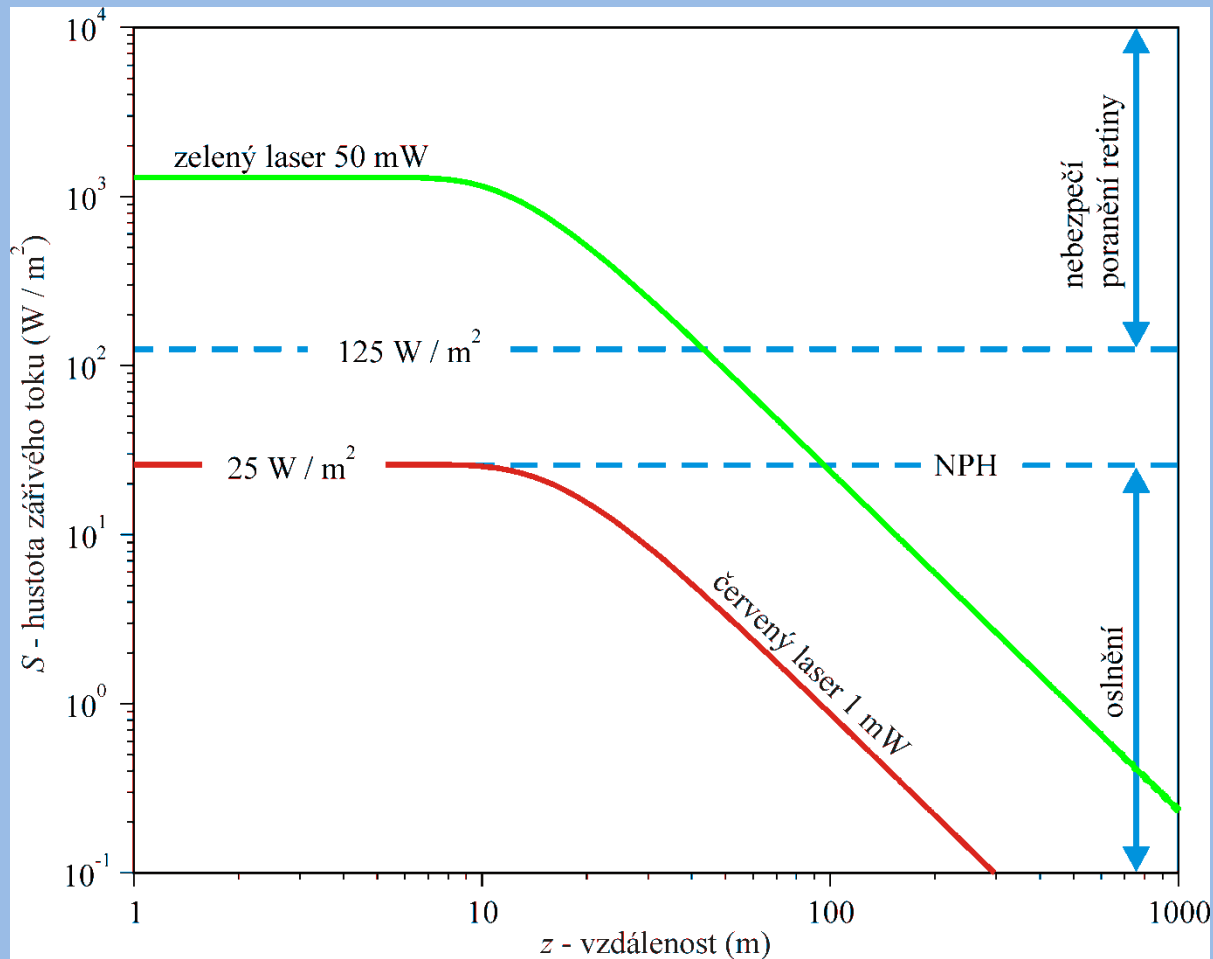
Světlo a infračervené záření



Lasery

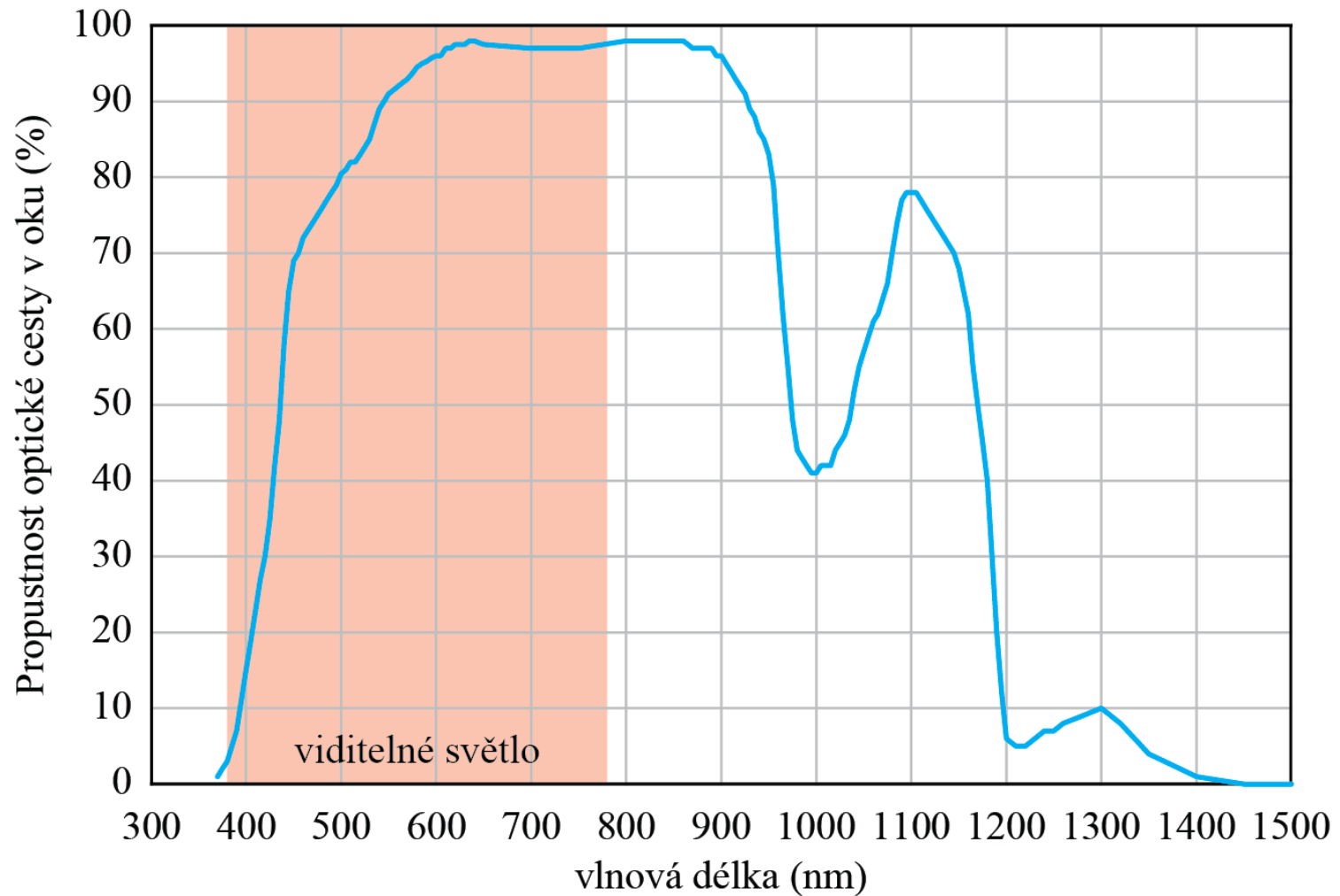


Lasery - příklad



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

Úzké spektrum vyzařování



Vysokofrekvenční elektromagnetické pole (100 kHz – 300 GHz)

O expozici rozhoduje ohřev tkáně fyziologickým limitem je 1° C

Expoziční limit je stanoven na 0.1° C



Celotělová (lokální) měrná
absorbovaná energie
144 J/kg (3600 J/kg) během
kterýchkoli šesti minut

Celotělový (lokální) měrný
absorbovaný výkon 0,4 W/kg (10
W/kg) po dobu delší než šest minut

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} (k \cdot \text{grad} T) - \rho_{\text{krev}} w c_{\text{krev}} (T - T_{\text{arterial}}) + Q_m + \rho SAR$$

$$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right], c \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right], T [\text{K}], k \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right], w [s^{-1}], Q \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3} \right], SAR \left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right]$$

Povrchový ohřev na vysokých frekvencích

Expoziční limit je stanoven na 0.1°C



$f > 10\text{ GHz}$

Hustota zářivého toku $50\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

Doba středování se zkracuje s rostoucí frekvencí.

Foton vs. Atomární a Molekulární Vazby

Foton

$$E = h \cdot f$$

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

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

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



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

Nej slabší 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

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

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

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

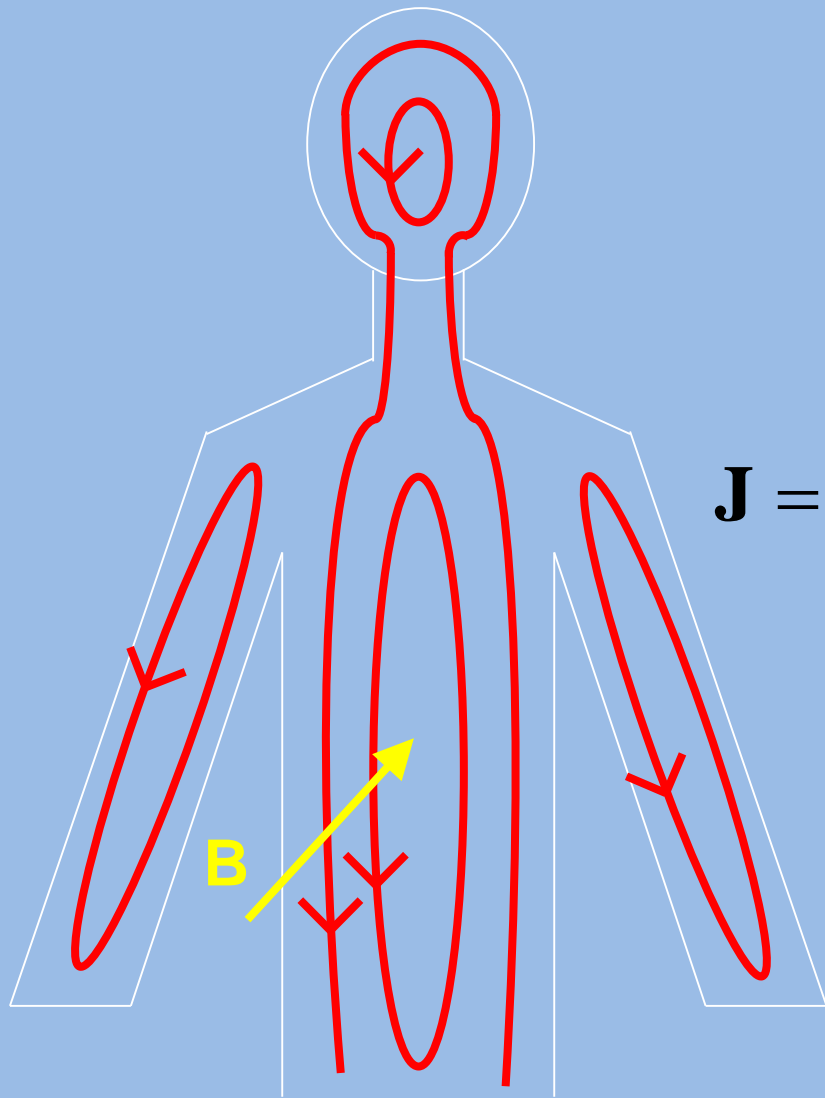
$$T = 310 \text{ K}$$



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

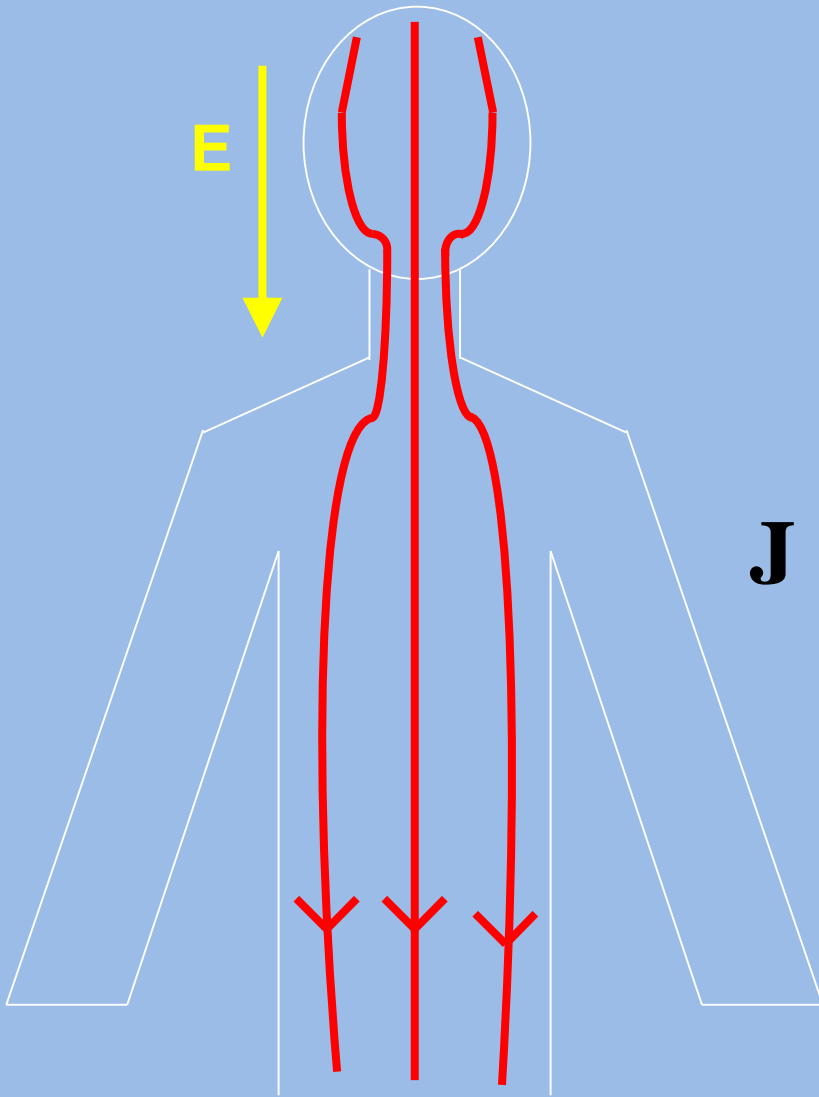
Rovnost nastává při 10 THz

**Nízkofrekvenční
elektromagnetické pole
(0 Hz – 10 MHz)**



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

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



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

Vědecký prokázané efekty

NEIONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

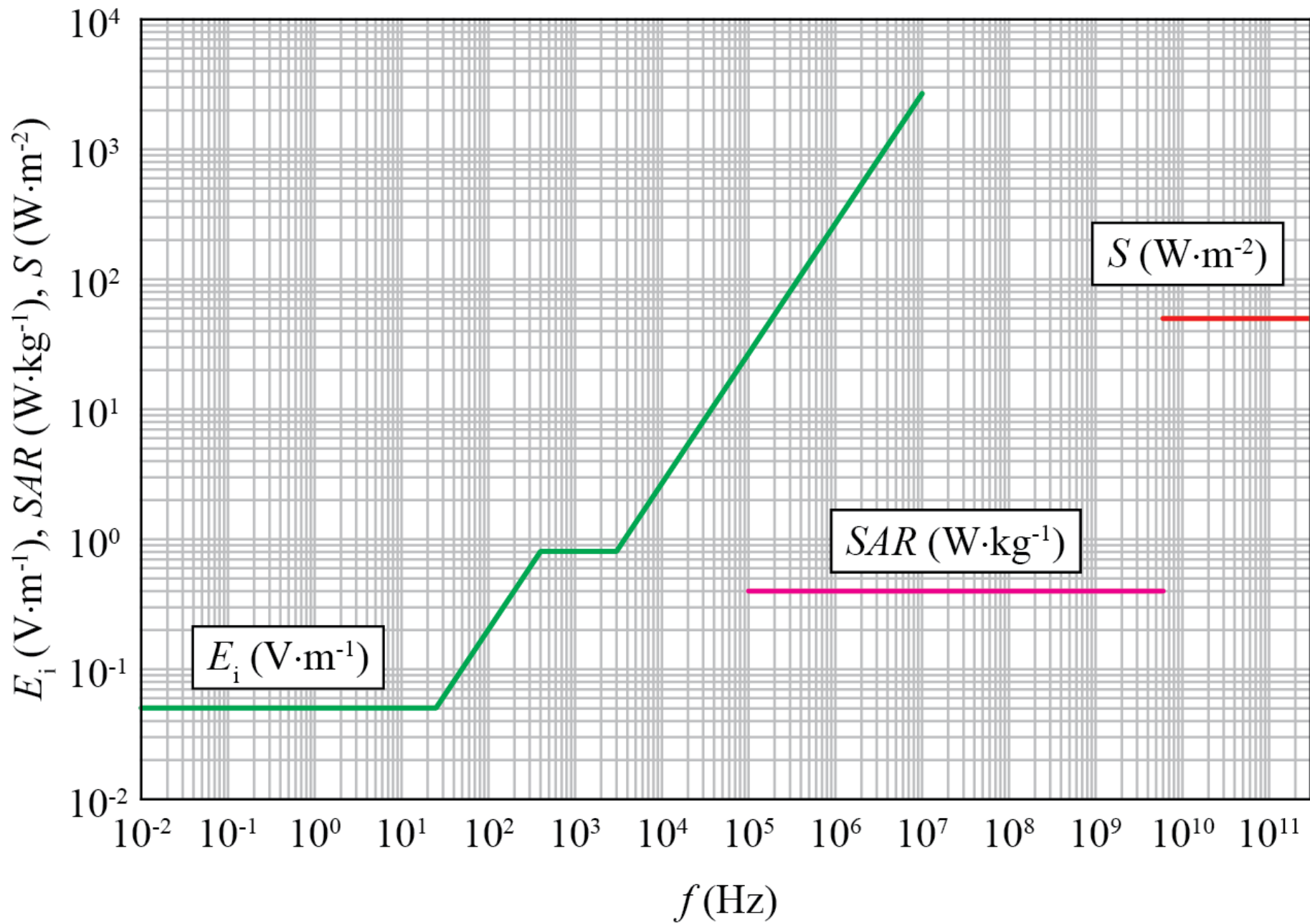
$f = 0 \text{ Hz} - 300 \text{ GHz}$

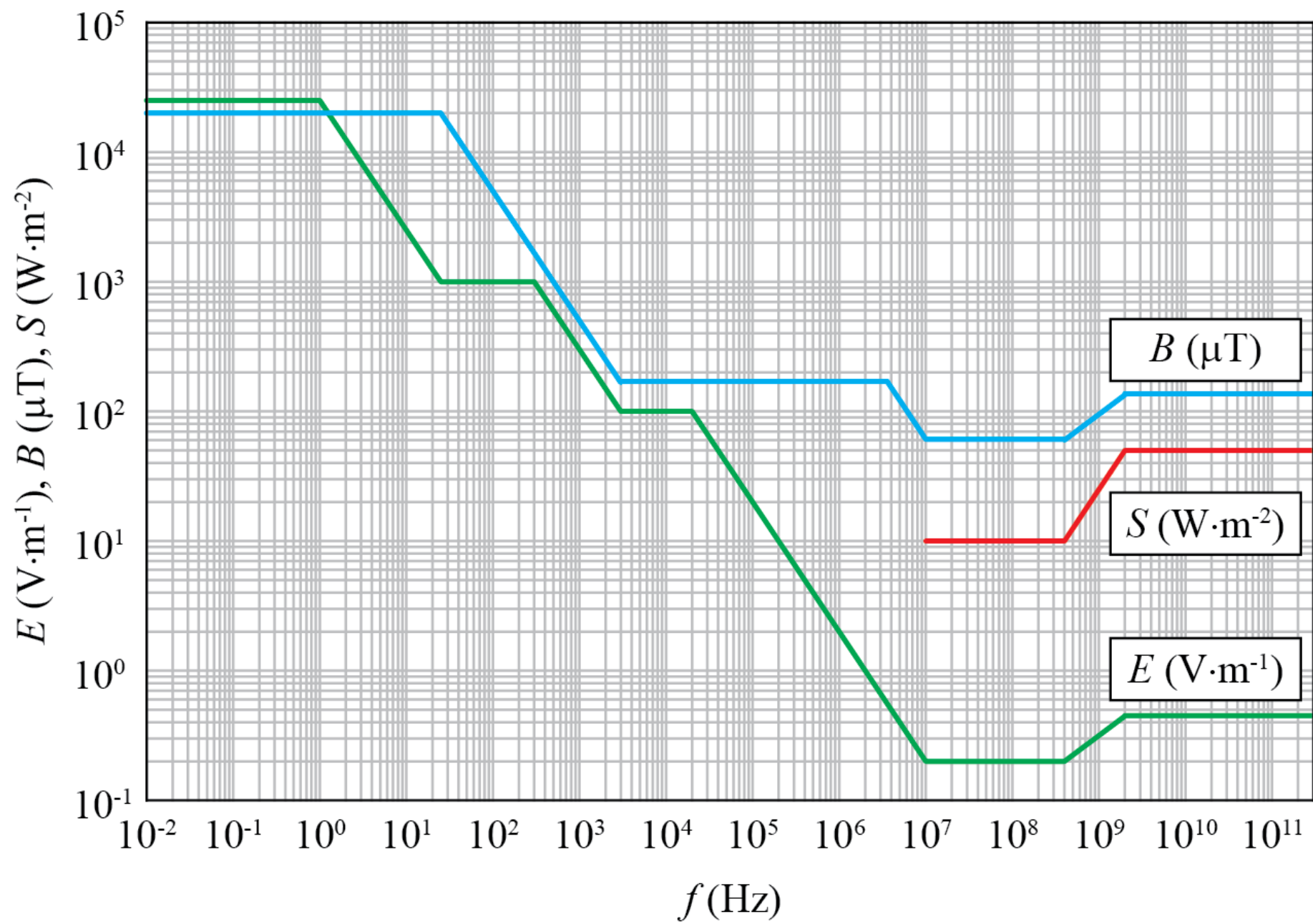
$\lambda = 1 \text{ mm} - 180 \text{ nm}$

Elektromagnetické záření

Optické záření

$f = 0 \text{ Hz}$	300 Hz	100 kHz	10 MHz	300 GHz $\lambda = 1 \text{ mm}$	1400 nm	780 nm	400 nm	180 nm
Stimulace nervu					Fotochemické reakce			
Nervová soustava (okamžité působení)					Sítnice oka Povrch těla (okamžité i dlouhodobé)			
Ohřev tkáně								
Veškerá tkáň (okamžité až 6 minut)					povrch těla a sítnice oka (okamžité i dlouhodobé)			
závrať, fosfeny, svalová křeč					popálení, úpal, katarakta		úžeh, riziko rakoviny kůže, katarakta, fotokeratitida	
přehřátí těla					snížení barvocitu			
má práh působení					nemá práh			





Relevantní přehledové informace

- **WHO** (World Health Organization)
- **ICNIRP** (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
- **SCENIHR** (Scientific Commission on Emerging and Newly Identified Health Risks)
- **IEEE** (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- **ACGIH** (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)

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