

Jaderná energetika a zdraví

Mgr. Aleš Peřina, Ph. D.

Ústav veřejného zdraví LF MUNI



Veřejnost a jaderná energetika

- Studenti MUNI (malý pilotní průzkum, 2021): ve svém okolí by souhlasilo s vybudováním jaderné elektrárny
 - 88 % mužů
 - 50 % žen
- Česká veřejnost (CVVM)
 - V roce 2022 nárůst podpory jaderné energetiky mezi českou veřejností na 56 %, do té doby jen kolem 30 %)
 - 18 % občanů nesouhlasí s výstavbou nových bloků ve stávajících jaderných elektrárnách

Zdroje a typy záření

- Zdroje záření
 - Přirozené: kosmické, záření van-Allenových pásů, geologické záření (Radon v budovách)
 - Umělé: lékařské ozáření, průmyslové ozáření, jaderné zbraně.
 - Jsou vždy novým příspěvkem k záření, na které je člověk vývojově adaptován. Opatrnost je proto nezbytná.
- Typy záření
 - Alfa: proud protonů
 - Beta: proud neutronů
 - *Pozitronové záření: proud antičástic elektronů*
 - *Neutronové záření: proud volných neutronů*
 - Gama: elektromagnetické záření

Dosavadní znalosti o účincích ionizujícího záření na zdraví (IARC, Monografie 100-D)

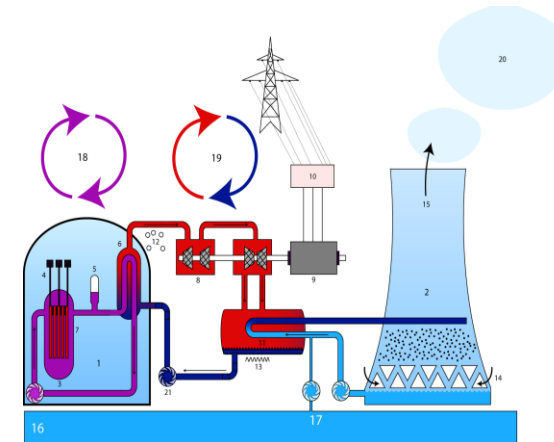
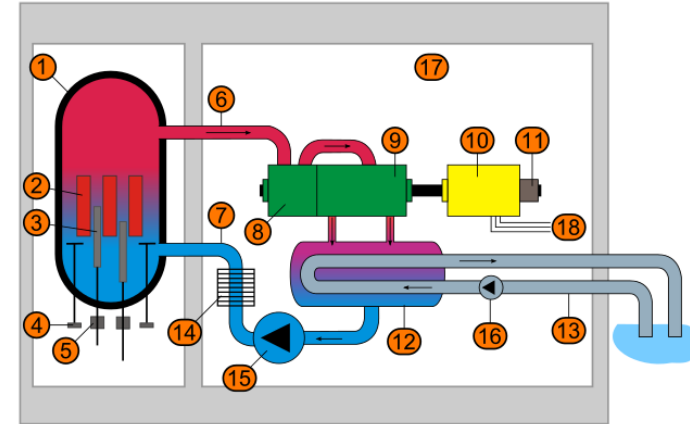
- Přímou a nepřímou ionizující záření vstupuje do interakcí s hmotou
 - Nestochastické účinky (závažnost roste s dávkou): nemoc z ozáření, od 0,7 Gy, 30 Gy je prakticky vždy smrtelná dávka
 - Stochastické účinky (mění pravděpodobnost jevu, nikoliv jeho závažnost): zlomy DNA indukující indukci chyby v genomu, mutagenita, karcinogenita, nejsilnější důkazy k ZN mízní, krvetvorné a příbuzné tkáně.
- Zdroje dat
 - Epidemiologické studie
 - Life span study: začátek studie 1950 v mortalitách, 1958 v incidencích
 - Studie provedené na zaměstnancích jaderných zařízení
 - Rozbor případů lékařsky indikovaných expozic: populace je silně selektovaná

Jaderná reakce

- Technologická podstata provozu jaderných zařízení
- Přeměna nestabilních prvků na stabilnější vyvolaná změnou počtu protonů v jádře (zpravidla z lichého na sudý počet) za uvolnění ionizujícího záření
- Přirozené radionuklidy
 - Nestabilní prvky v přírodě podléhající přirozené přeměně
 - Charakterizované aktivitou [Bq]
- Indukovaná radioaktivita
 - Jaderné štěpení
 - Interakce jader atomů s proudem nejčastěji neutronů, které mají schopnost rozštěpit jádro atomu za vzniku lehčích a stabilnějších prvků.
 - Jaderná syntéza (fúze)
 - Termonukleární reakce, jejímž principem je sloučení dvou lehčích prvků za vzniku jednoho těžšího (Slunce, hvězdy). Technologické využití ve vývoji.
 - Při jaderných reakcích (štěpení i fúzi) se uvolní vždy větší množství energie, než které bylo potřebné k iniciaci reakce.
 - Rtg záření: brzdné záření vznikající na úrovni interakce elektronových obalů atomů
- Dávka [Gy], efektivní dávka záření [Sv]

Typy jaderných reaktorů užívaných v jaderných elektrárnách

- Hlavním výzvou bezpečného provozu jaderných zařízení 🤖 je **chlazení!**
 - Většina dosavadních nehod byla způsobených poruchou v chlazení, únik radioaktivního materiálu byl až sekundárním následkem.
- Varný reaktor. BWR (Boiling Water Reactor), „Typ Černobyl“
 - Polootevřený systém: voda v reaktoru se odpařuje, vzniklá pára pohání turbínu
 - Primární a chladící (sekundární) okruh
- Tlakovodní: PWR (Pressurized Water Reactor)
 - Uzavřený systém: voda primárního okruhu je pod tlakem, neodpařuje se, ale vyrábí páru pro **parogenerátor**, který pohání turbínu
 - Primární, sekundární a chladící (terciární) okruh
- Moderátor reakce: zpomaluje příliš rychlé neutrony, aby se zvýšila pravděpodobnost srážky s atomy uranu.
- Emise
 - Voda: Tritium a korozní produkty
 - Ovzduší: radioaktivní vzácné plyny a aerosoly z ventilačních systémů
- Jiné a méně rozšířené typy: množivé reaktory, reaktory chlazené tekutými kovy aj.
 - Obvykle nemají moderátor, pracují za vyšších teplot, bezpečný provoz vyžaduje přísnější technická opatření



Tritium

- Radioaktivní izotop vodíku (^3H), beta-zářič, poločas rozpadu 12,3 r., nízký LET, prokázán vztah k chromozomálním aberacím lymfocytů u exponovaných osob
- V jaderných elektrárnách s tlakovodním reaktorem (VVER; PWR) je hlavním druhem nízkoradioaktivního odpadu, emituje se však ve velkých objemech.
- Do prostředí proniká také odparem z chladících věží z důvodu napájení terciárních okruhů z téhož recipientu.
- Emisní inventura
 - Celková emise (roční): $1,5 \times 10^{13}$ Bq
 - Desetinásobně vyšší a narůstající radioaktivita vody za výpustěmi
 - Problémem může být klesající ředící schopnost přilehlých vodních toků z důvodů sucha
 - Prokazatelná kumulace v biotě během vegetačního období
 - Splňuje kritéria přípustného znečištění povrchových vod dle NV 401/2015 Sb.
 - *"Monitorování okolí JE Dukovany a JE Temelín prokázalo, že neexistují významné rozdíly mezi obsahem radionuklidů v jednotlivých složkách životního prostředí monitorovaných v okolí jaderných elektráren a na ostatním území státu, **kromě vodních toků ovlivněných ^3H** " (SÚJB)*

Vztahy provozu jaderných elektráren a zdraví lidí

Mimořádné události 🙄

- Frekvence je opravdu mimořádná
- Projektová a neprojektová havárie
- Zdravotní důsledky evakuace
 - Behaviorální změny
 - Psychosociální afekce
 - Srdečně-cévní onemocnění
 - Metabolická onemocnění
- Veřejnost žijící v okolí jaderné elektrárny je na tuto možnost soustavně připravována
- Zdravotní důsledky expozice ionizujícímu záření
 - Akutní nemoc z ozáření (v závislosti na rychlosti reakce na událost)
 - Incidence zhoubných novotvarů

Normální provoz 😊

- Nejasné a rozporuplné výsledky epidemiologických studií, zneklidnění veřejnosti. Někteří autoři připouštějí určitý celoživotní vliv na zdraví v podobě zvýšené incidence některých zhoubných novotvarů
- Lokálně zvýšená relativní vlhkost vzduchu
- Nelze hodnotit pouze radiobiologické účinky, ale též účinky psychosociální
 - Směnná práce, elektrárna je obvykle významný zaměstnavatel v regionu
 - Estetické vlivy na krajinu a psychologické vlivy na obyvatelstvo
 - Důsledky zaboru území (ZanikleObce.cz)
 - Změna socioekonomické úrovně regionu





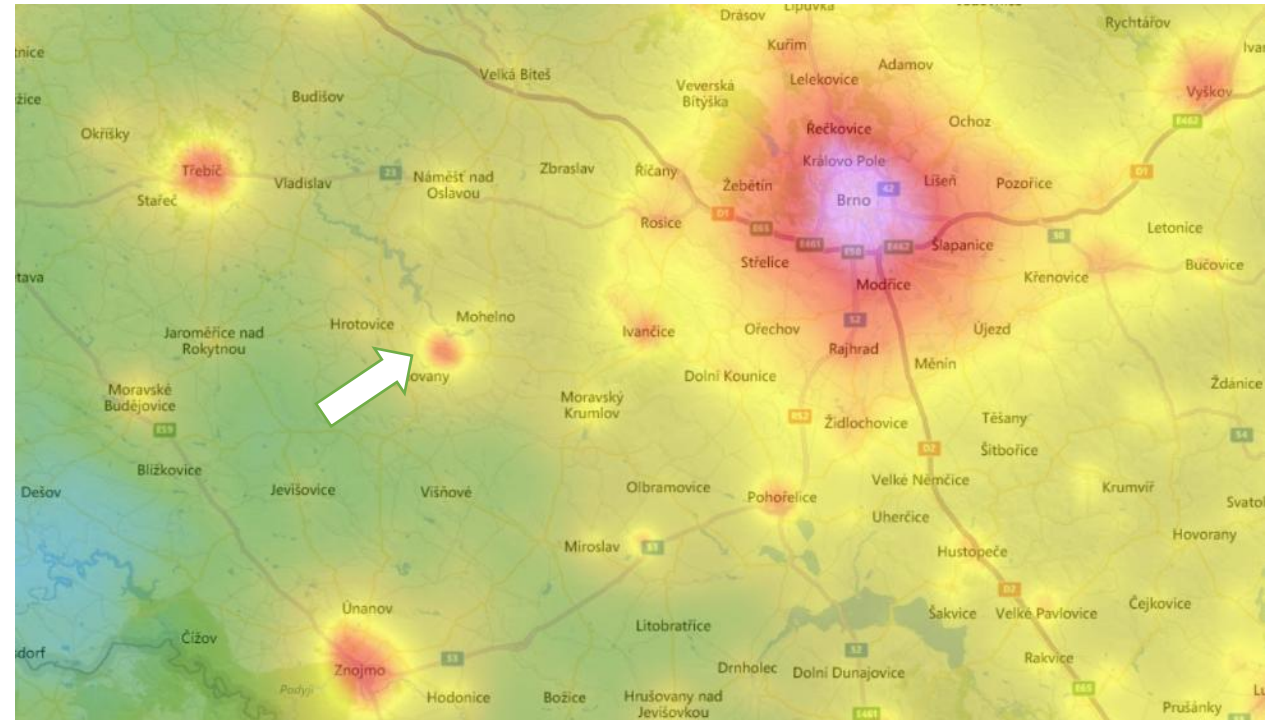
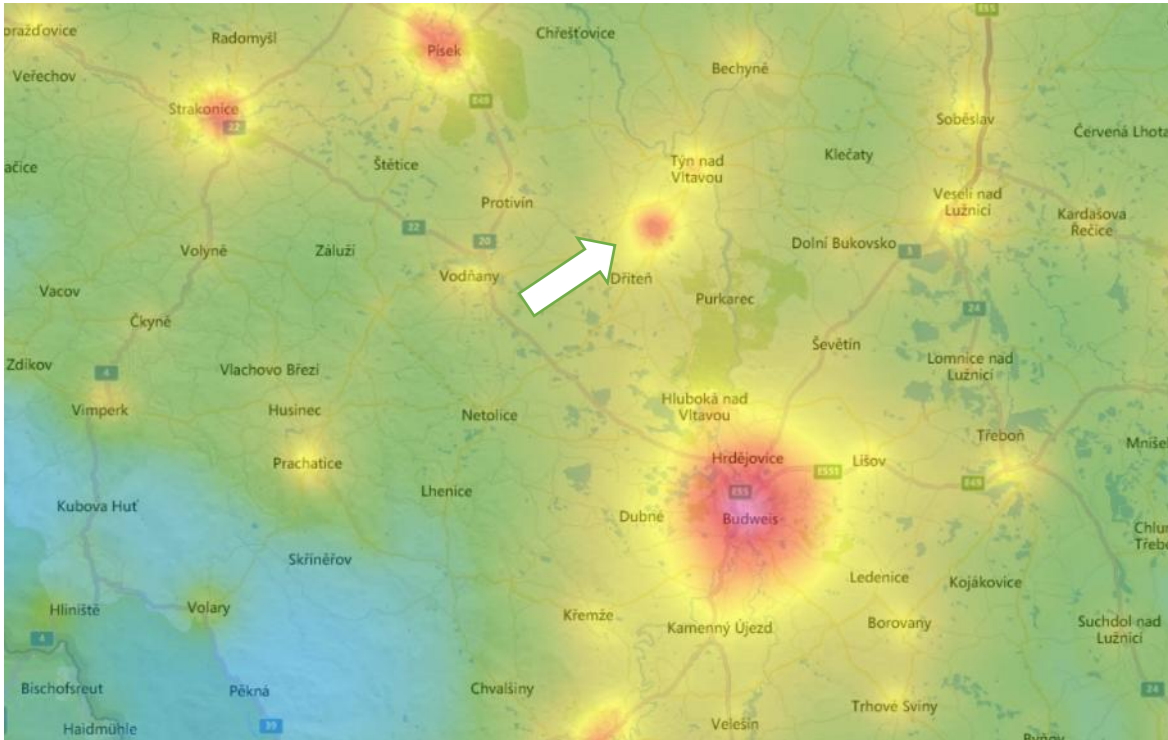
BEZPEČNOST

Domů se chci
vrátit zdravý

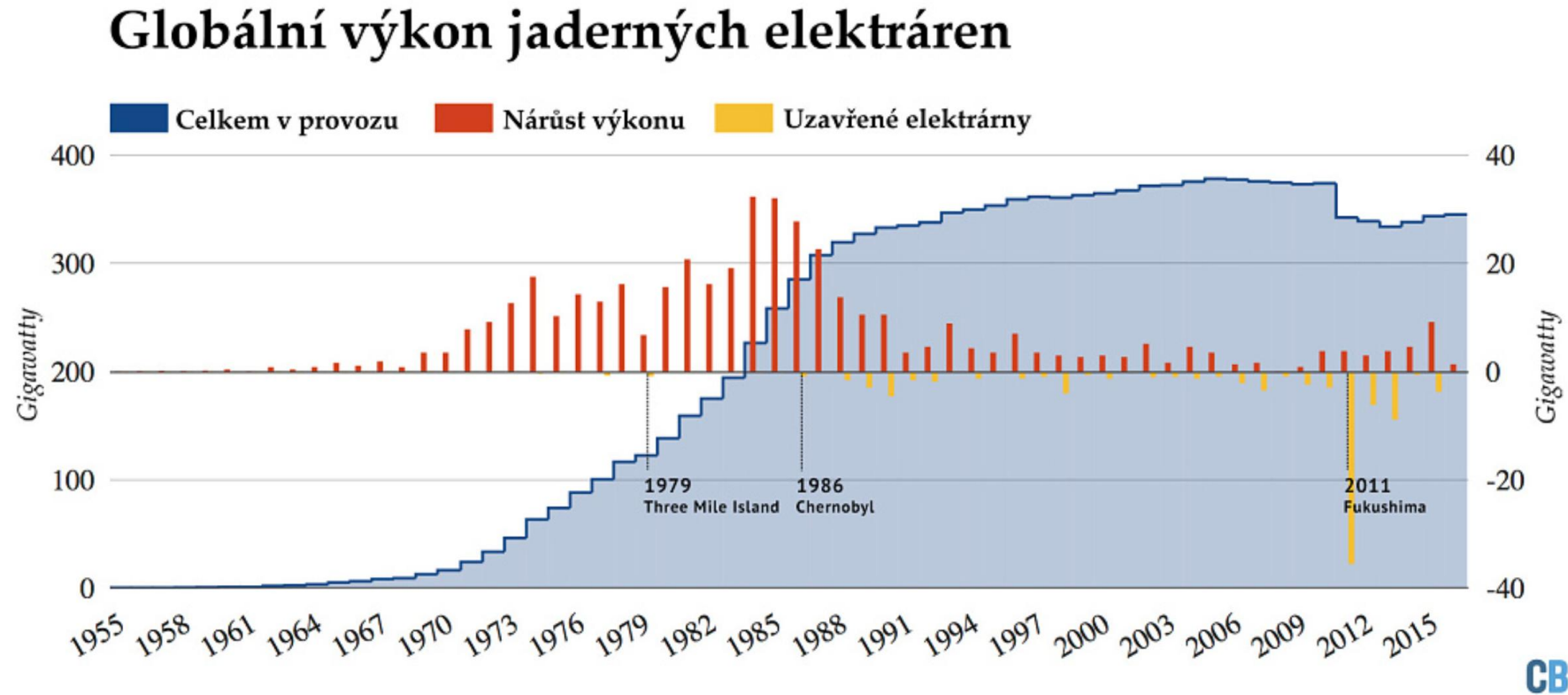
Deset prstů, dvě oči,
jeden nos.
Bezpečnost se počítá.



LightPollutionMap.info



Boček J. a J. Cibulka: Česko proti proudu (server iRozhlas)



Zdroj: [CarbonBrief](#) pod licencí [CC BY-NC-ND 4.0](#). Data: [IAEA](#)

Boček J. a J. Cibulka: Česko proti proudu (server iRozhlas)

Kde se **stavěly** nebo **zavíraly** jaderné elektrárny?

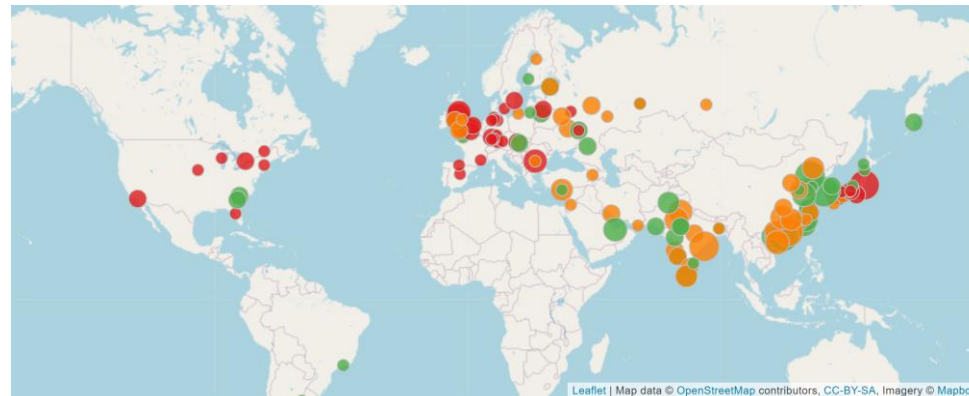
1955 - 1985



1986 - 2000



2000 -



Serhii Ploky: Černobyl – historie jaderné katastrofy.

Nakl. JOTA, 2019. ISBN epub 978-80-7565-514-1

„Lidé ve velíně uslyšeli hučení. Bylo to hučení úplně neznámého druhu, velmi hluboké, jako když nařiká člověk. Bylo to, jako kdyby vůz Volha začal brzdit a dostávat se do smyku. Znělo to jako du-du-du-du. Trehub slyšel zvuk podobný tomu, který popsal Davletbajev a pak začaly otřesy. Ale ne, jako při zemětřesení. Za deset vteřin se ozval hukot a frekvence otřesů poklesla. Ale jejich síla se zvětšila. Pak se ozval výbuch. To byly důsledky výbuchu páry, který zničil plášť reaktoru a vymrštil betonovou desku – horní biologický štít reaktoru. Deska, na níž byla upevněna celá infrastruktura reaktoru, přistála zpět na reaktoru, ale nezakryla jej úplně, ale zanechala otvor, jímž volně tryskalo záření do atmosféry. Bylo 1:23:44 ráno. O dvě vteřiny později uslyšeli operátoři další, mnohem silnější výbuch. Podlaha a stěny se prudce otřásaly, ze stropu padal prach a trosky, světlo zhaslo, nastalo pološero a svítilo pouze nouzové osvětlení. Ti, kdo se nacházeli uvnitř velínu, slyšeli a cítili výbuchy, ale nevěděli, co se stalo. Výbuch reaktoru byl tím posledním, co je napadlo. Pokud se něco stalo, mohl to být jedině chladicí systém, nebo parní turbína. Reaktor v žádném případě. Reaktor s řadou bezpečnostních systémů byl nezničitelný. V žádné učebnici se nikdy nepsalo, že by reaktor mohl vybuchnout.“



Jiří Hájíček: Rybí krev.

Nakl. Host, 2012. ISBN: 978-80-7294-639-6

„Táta přecházel nervózně po kuchyni a nikdo se ho neodvážil na nic zeptat ani se mu postavit do cesty. Mamka seděla oblečená do kostýmku, svou obstarožní kabelku před sebou na stole, a koukala z okna na řeku. Já držela na prstě navlečené klíčky od Petrova auta. Stálo před chalupou, nádrž natankovaná. Přesně v půl táta zavelel k odjezdu. Sedla jsem za volant, táta vedle mě a mamka vzadu s kabelkou na klíně. V autě bylo celou dobu ticho. Když jsme před sebou v dálce zahlédli hradbu panelového sídliště, mrzutá nálada v autě se proměnila v úzkost.“



Ochrana a podpora zdraví

- Ochrana zdraví
 - souhrn činností a opatření k vytváření a ochraně zdravých životních a pracovních podmínek směřujících k prevenci infekčních a neinfekčních onemocnění
- Podpora zdraví
 - souhrn činností pomáhajících lidem posilovat a zlepšovat své zdraví a kontrolovat své determinanty nemocí
- Zúčastněné sektory: zdravotnictví, životní prostředí, místní rozvoj, zemědělství, průmysl, obchod, práce a sociální problematika, doprava, kultura, obrana a vnitra, školství, sport

Historie v českých zemích

- Éra boje proti infekčním nemocem
 - 1892: Ústav pro výrobu očkovací látky proti pravým neštovicím v Jindřichově Hradci
 - 1925: vznik Státní hygienického ústavu v Prahe (dnes SZÚ)
- Zákon č. 4/1952 Sb. O hygienické a protiepidemické péči
 - "Ústavou zaručené právo lidu na ochranu zdraví zajišťuje stát především péčí o to, aby prostředí, v němž člověk žije a pracuje, i ostatní podmínky jeho života byly po zdravotní stránce co nejvýhodnější. Touto hygienickou a protiepidemickou péčí bojuje proti vzniku a šíření nemocí a napomáhá tak zdravému vývoji lidu, rozvoji jeho tvůrčích sil a zvyšování produktivity práce."
- Zákon č. 20/1966 Sb. O péči o zdraví lidu
 - Hygiena a epidemiologie v kontextu soustavy zdravotnických zařízení v ČSSR
 - Součástí je i radiační ochrana
- Zákon č. 18/1997 Sb. „Atomový zákon“
 - Vzniká SÚJB a SÚRO, v gesci MPO ČR
- Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví
 - Účinky ionizujícího záření již nejsou v gesci MZ ČR
- „Nový“ Atomový zákon (zákon 263/2016 Sb.)

Hodnocení zdravotních rizik a jaderné elektrárny

1. Identifikace nebezpečí
 - Ionizující záření škodí zdraví: je karcinogenní!
2. Vztah dávka – účinek
 - Jak velká dávka ionizujícího záření stačí k vyvolání rakoviny u lidí? Při uplatnění konzervativního bezprahově lineárního modelu velmi málo.
3. Hodnocení expozice
 - Dosáhne obyvatelstvo v okolí jaderných elektráren na dávku poškozující zdraví?
4. Charakterizace rizika
 - Jsou účinky na zdraví měřitelné?
 - Máme jiné možnosti při současných spotřebních nárocích?

Porovnání expozičních dávek z různých zdrojů záření

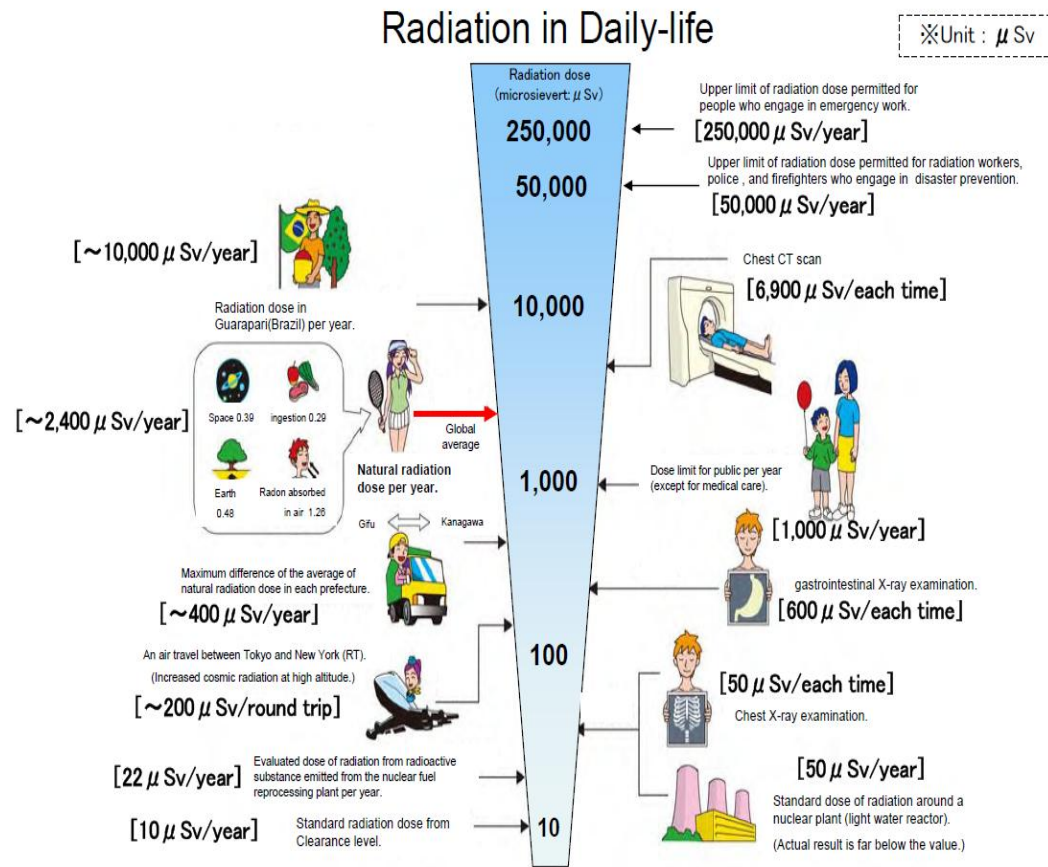
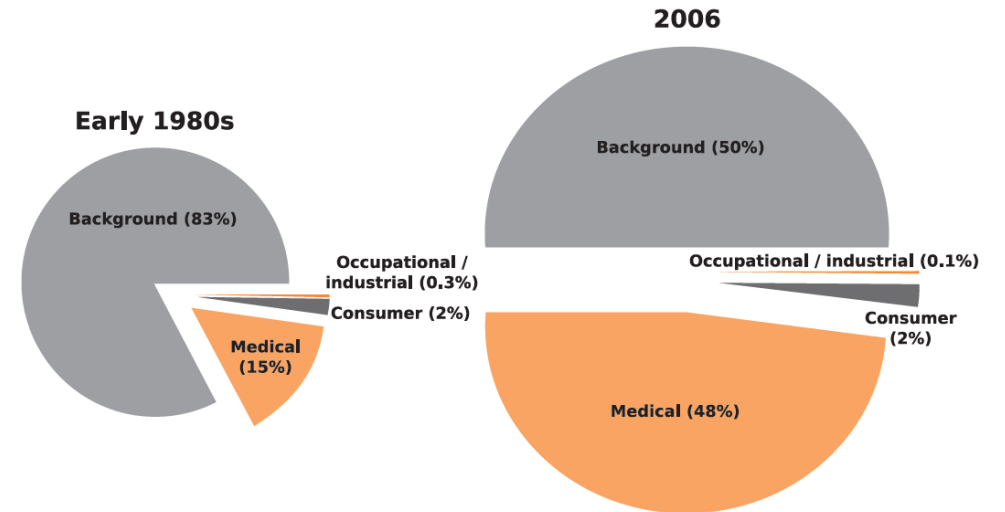


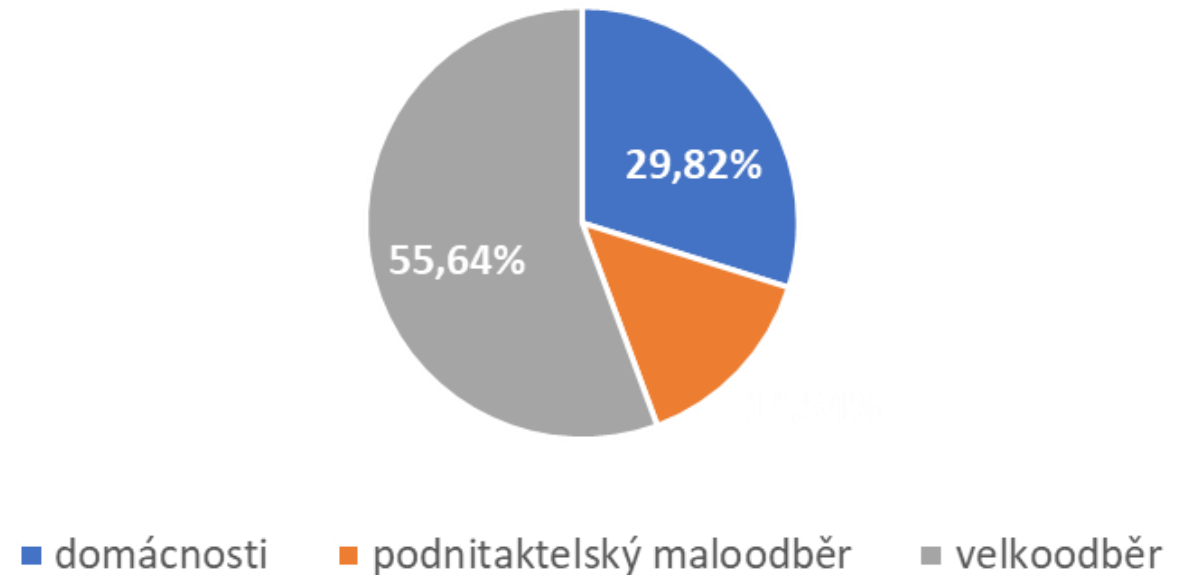
Fig. 1.5 Comparison of distribution of collective dose values (S) or effective dose (Eus) for the categories of exposure as reported for the early 1980s and for 2006



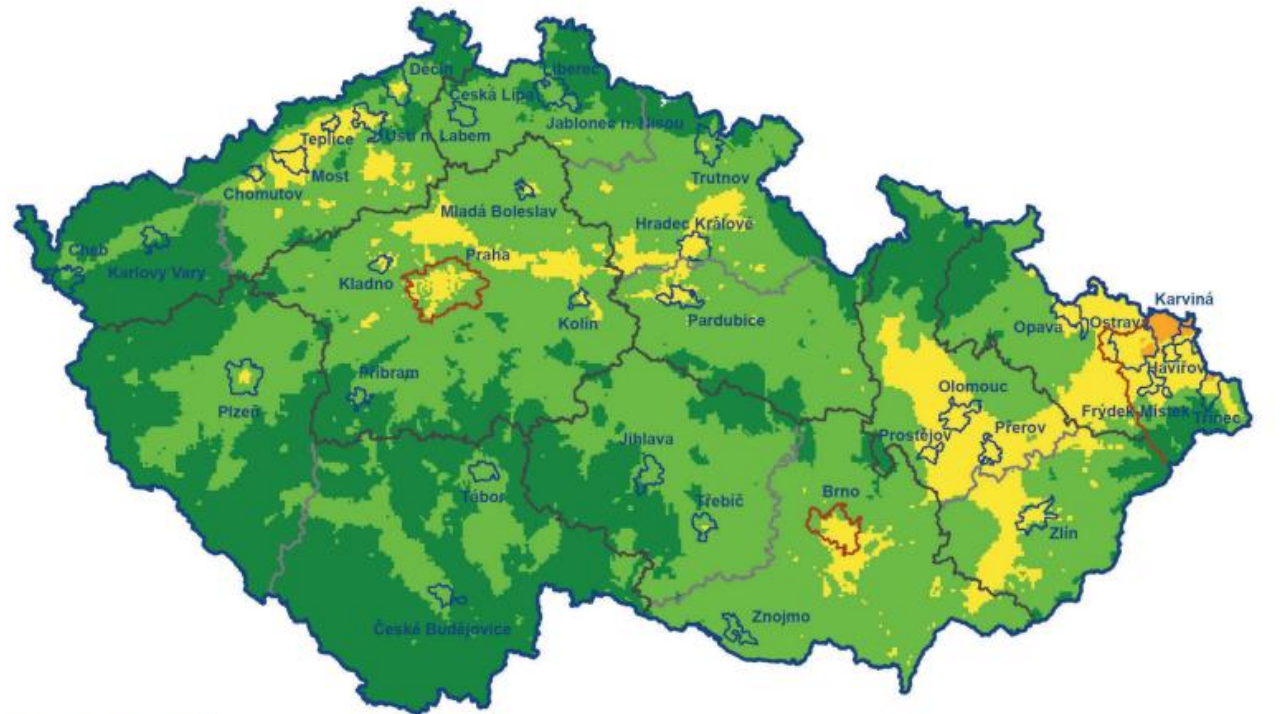
Energetická náročnost moderní populace

- Energie: schopnost hmoty konat práci
- Elektrická energie je v současnosti široce využívána, ale nevzniká sama od sebe, jen s využitím elektrických generátorů.
- 35 % elektrické energie vyrobené v ČR je z jádra
 - Francie 76 %, Ukrajina 57 %, Německo 14 % (snižuje), Nizozemsko 4 %, Čína 3 % (zvyšuje)
- V ČR v provozu 2 jaderné elektrárny
 - Dukovany (1986), Temelín (2002)
 - Projekt na malé modulární reaktory

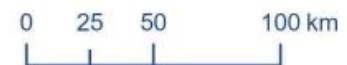
Bilance elektrické energie v ČR: odběr netto [GWh], 2020



Aerosolové částice v ovzduší ČR, zdroj: Ročenky ČHMÚ



| koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] | |
|---|--------|
| ■ $\leq 15,0$ | 34,2 % |
| ■ 15,1–20,0 | 54,6 % |
| ■ 20,1–28,0 | 10,9 % |
| ■ 28,1–40,0 | 0,3 % |
| ■ $> 40,0$ | |

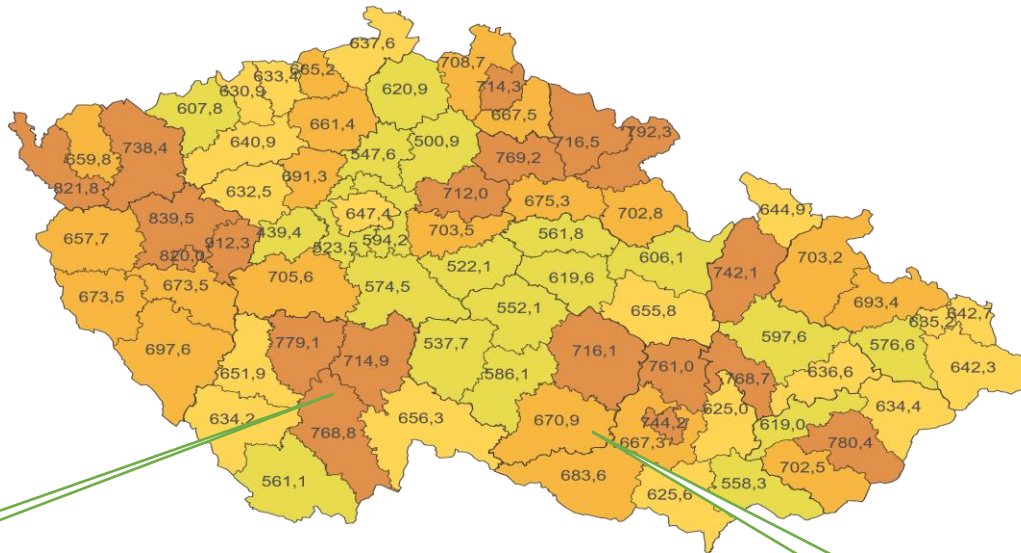


- aglomerace
- zóna
- kraj
- obce nad 30 tis. obyvatel

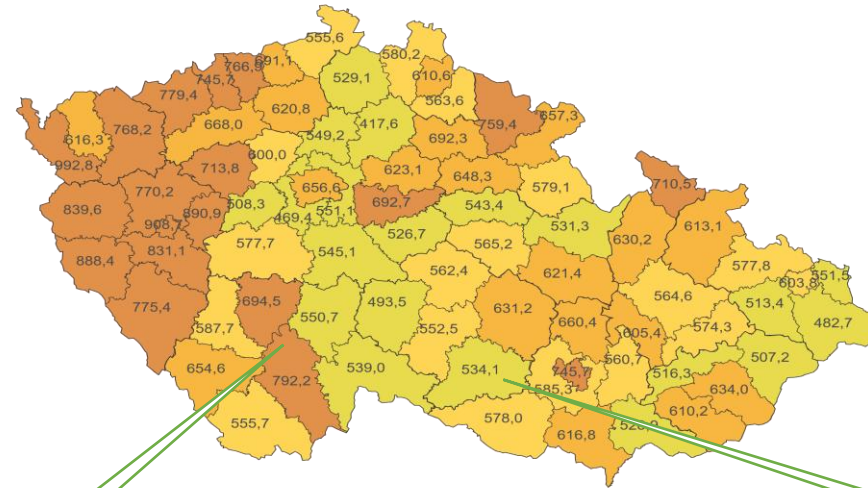
Obr. IV.1.9 Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM_{10} , 2018–2022

Incidence zhoubných novotvarů (ÚZIS ČR)

80110 Hlášená onemocnění zhoubnými novotvary a novotvary in situ, bez C44 - na 100 000 mužů - muži
Česká republika – okresy, rok 2015



80120 Hlášená onemocnění zhoubnými novotvary a novotvary in situ, bez C44 - na 100 000 žen - ženy
Česká republika – okresy, rok 2015



Temelín

Dukovany




Temelín

Dukovany

Úvahy o zdraví, než zazní závěr

- Dosud nikde na světě nebyly podány žádné přesvědčivé důkazy o nepříznivém vlivu jaderných elektráren na zdraví obyvatelstva.
- Úroveň radiace v okolí jaderných elektráren, stejně jako expozice zaměstnanců jaderných elektráren je velmi přísně monitorována.
- Zejména o zdraví pracovníků v jaderných elektrárnách je pečováno v rámci pracovní- lékařské péče. 🚑
- Většina zaměstnanců jaderných elektráren jsou muži. Práce především v klíčových pracovních pozicích je nesmírně náročná z hlediska kvalifikace i psychické odolnosti. Výběru pracovníků je věnována mimořádná pozornost.
- Jaderné elektrárny vytvořily velké množství pracovních pozic, odhaduje se, že kromě průměrně 3 000 kmenových a dočasných zaměstnanců jedné jaderné elektrárny, každá jaderná elektrárna vytvořila dalších asi 30 000 pracovních míst.
- Změnila se struktura zaměstnanosti v regionu: lidé dosud pracující v 🚜 zemědělství nebo řemeslných profesích přešli na směnný a většinou i 🌙 noční provoz. 🤖

Závěr

- Zdravotní stav obyvatelstva je podmíněn množstvím faktorů , jejichž specifickou úlohu nedokážeme vždy plně vysvětlit.
- Ochrana (veřejného) zdraví  je vždy kompromisem mezi odbornými stanovisky, vynaloženým úsilím, náklady na nejrozumnějším řešením a politickým rozhodováním ve prospěch společnosti.
- Nezapomínejme, že  společenský prospěch není vždy totožný se zájmy každého jednotlivce  .