

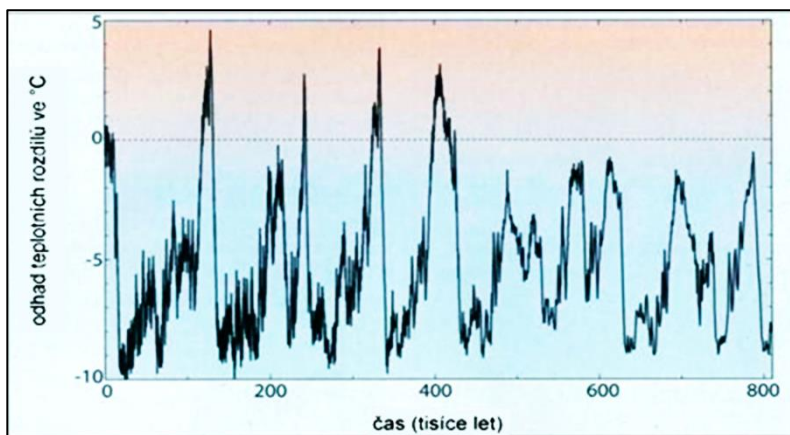
Vliv ledovců

V současnosti pokrývají ledovce 10 % povrchu Země (80 % celosvětových zásob sladké vody). Největší ledové štíty jsou v Antarktidě a v Grónsku (celkem objem 33 milionů km³). Grónský ledovec je silný 3 km, ve své bázi starý cca 160 tisíc let; antarktický ledovec ve svém maximu přesahuje 5 km, jeho báze je stará až 800 tisíc let. Kvůli nízkému ročnímu úhrnu srážek v Antarktidě (menšímu než 75 mm, tj. srovnatelnému s množstvím srážek v některých oblastech Sahary) přibývá zde led mnohem pomaleji, než je tomu v Grónsku.

Ve čtvrtohorách ledovce o síle 2–3 km pokrývaly polovinu severní Ameriky, severní Evropu, severní Sibiř. V dobách největšího rozšíření ledovců před 200 tisíci roky zasahovalo čelo kontinentálního ledovce až na naše území (uloženiny na severní Moravě a v severních Čechách s valouny hornin, přinesených ledovcem ze Skandinávie).

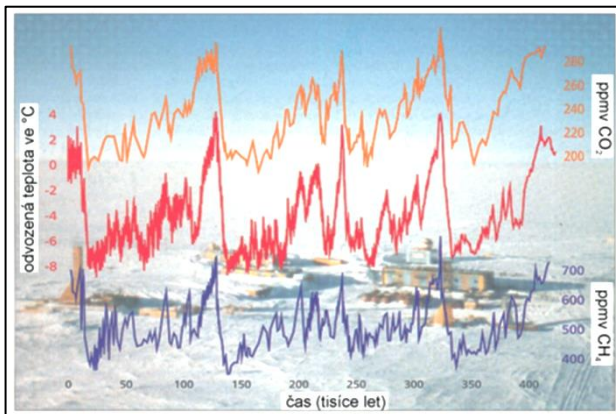
Současné ledovce představují přírodní archivy, ve kterých jsou uloženy informace o přírodním prostředí v dobách, kdy led vznikal. Sezonní přírůstkové vrstvičky ledu můžeme počítat (a datovat tak získaný záznam) s přesností na rok. V grónském ledovci jsou spočítány roční vrstvičky pro období posledních 17 tisíc let. Směrem do hloubky jsou roční přírůstky méně zřetelné díky částečnému tání ledu v důsledku tlaku ledového nadloží.

Z ledového jádra je možné záznam dešifrovat speciálními metodami. Měřením koncentrace prachových částic v ročních přírůstkových vrstvičkách ledu bylo například zjištěno, že v dobách ledových roznůch proudil daleko intenzivněji. Příčinou bylo rozšíření kontinentálních ledovců a následné stlačení klimatických pásem, a také řídká vegetace na kontinentech (dokládají to i analýzy pylů rostlin, přinesených větrem do Grónska a uložených v ledu). Z poměru ¹⁸O a ¹⁶O v ledu je možné odhadnout změny teplotních podmínek – viz antarktický ledový profil z vrtnu EPICA, který zřetelně ukazuje cyklické střídání dob ledových (vrcholy křivky) a meziledových (propady křivky) v průběhu posledních 800 tisíc let.



Obr. 35: Odhad teplotních rozdílů ve srovnání se současností z ledového profilu EPICA v Antarktidě za posledních 800 tisíc let. Čárkovaná linie (označ. 0) značí nynější teplotu.

V ledu je uložen také záznam sopečné aktivity Země. Sopky při erupcích vyvrhují do atmosféry velké množství kysličníku siřičitého, který reaguje s vodní párou za vzniku slabé kyseliny sírové. V atmosféře kyselina vytváří suspenzi v podobě mikroskopických kapiček a je z ní vymývána srážkami a ukládána na povrchu Země, tedy i ledovců. Přítomnost kyseliny v ledu zvyšuje jeho elektrickou vodivost. Úseky v ledovém jádru se zvýšenou vodivostí tudíž indikují období intenzivnější sopečné činnosti, maxima vodivosti dokládají silné sopečné erupce. Touto metodou bylo možné přesně na rok datovat explozi vulkánu Thera na ostrově Santorini v Egejském moři, spojenou s mocnou vlnou tsunami. Podle archeologického datování keramiky na ostrově Santorini, jež byla při explozi zasypána až čtyřmetrovou vrstvou popela, se soudilo, že k explozi Thery došlo 1500 let př. Kr., což se shodovalo se zánikem minojské kultury na Krétě. Tato teorie však byla vyvrácena novějším určením roku exploze Thery pomocí záznamu v grónském ledovci. Maximální hodnota vodivosti byla naměřena v ledové vrstvičce odpovídající r. 1644 př. Kr. V tomto roce došlo k sopečné erupci (odhadované množství vyvrženého popela a prachu je 30–50 km³) a následně k ochlazení klimatu (zaznamenaným mj. také v zúžených letokruzích stromů v Irsku a v Kalifornii). Exploze Thery nastala cca jedno a půl století před zánikem minojské kultury a podle řady názorů nemohla být tedy příčinou kolapsu rozvinuté společnosti.



Obr. 36: Variace obsahu atmosférického CO₂, teploty odvozené z poměru stabilních izotopů kyslíku a metanu, zaznamenané v ledovém jádru vrtu Vostok v Antarktidě.

V současné době ledovce na celé Zemi stále rychleji tají. Grónský ledovec ročně ztrácí přes 200 km³ ledu, některé ledovce na Aljašce ustupují rychlostí až 2 km za rok. Tím nenávratně a nenahraditelně mizí unikátní zdroj poznání. Horské ledovce zásobují sladkou vodou některá velká města, například hlavní město Bolívie La Paz – nedostatek vody by mohl nastat v důsledku postupného zániku ledovců v okolních Andách. Jiným příkladem je velká zásobárna podzemní vody Oglala pod státy Nebraska, Kansas, Oklahoma a Texas, nahromaděné před 12 tisíci roky, kdy na konci poslední doby ledové tály ledovce ve Skalistých horách a tavné vody nasýtily písky a šterky v podhůří horských hřebenů. V důsledku intenzivního zavlažování obilných lánů dnes schází v této zásobárně už jedna třetina vody. Oglala se však znovu naplní vodou až na sklonku další doby ledové, tj. zhruba za 100 tisíc let.

Vliv klimatických změn na lidskou společnost

V počátečních fázích vývoje člověka sehrálo klíčovou úlohu globální ochlazování na konci třetihor (projevilo se i ve východní Africe) a horotvorné pohyby ve Východoafrickém prolomu. Došlo k výzdvihu celé oblasti do značných nadmořských výšek, čímž se tato ocitla ve výrazném srážkovém stínu. Nižší teploty a méně srážek měly za následek zmenšování ploch pralesů a tím i zvětšování ploch savan, což vedlo u australopitéků zhruba před 3,5 milionem let k postupnému vývoji pohybu po dvou nohou, čímž si uvolnili přední končetiny pro další specifické činnosti, včetně příležitostného používání nástrojů. Kámen pro výrobu nástrojů začal poprvé používat *Homo habilis/rudolfensis*, který žil ve východní a jižní Africe před 2,5–1,7 miliony let. Tím byla odstartována starší doba kamenná. Nástroje byly vyráběny z říčních valounů, jednoduše opracovanými několika údery – podle naleziště označovaná *kultura oldovanská*. Přibližně před 1,6 miliony let se objevuje *acheuléenská kultura* charakterizována opracováním celého povrchu kamenných klínů (používaných mj. i k lovu). Kamenné nástroje acheuléenského typu vytvořil *Homo ergaster* (postupně osídlil kontinenty starého světa a posléze se naučil používat i oheň) a jeho nástupce *Homo erectus*. Používaly se téměř 1,5 milionu let bez výraznější změny v technologii výroby – byly zřejmě natolik praktické a univerzální, že nebylo nutné je inovovat ani v měnícím se prostředí (během tohoto období se vystřídala řada dob ledových a meziledových).

V Africe se z člověka vzpřímeného vyvinul *Homo heidelbergensis*, který se stal po migraci do Evropy předkem *neandertálců*, v Africe se z něj vyvinul anatomicky moderní člověk *Homo sapiens*, který opustil africký kontinent během poslední doby meziledové před více než 100 tisíci lety a postupně osídlil celý svět. Na americké kontinenty se dostal během vrcholu posledního glaciálu (před 26 až 20 tisíci roky), kdy klesla hladina moří o více než 100 m. Obnažené dno moře mezi Sibiří a Aljaškou vytvořilo 1600 km široké území Beringia, po němž migrovala z Asie do Ameriky fauna i člověk. Podobné spojení vzniklo mezi jihovýchodní Asií a Austrálií, také zde jej člověk využil k osídlení kontinentu.

Příznivé klimatické podmínky v holocénu a klimatické optimum 9–5 tisíc let před současností umožnily jednu z největších revolučních změn ve vývoji lidské společnosti – vznik a rozvoj zemědělství. Úsedlý způsob života, změna v jídelníčku a relativní dostatek potravy měly za následek zvýšení počtu obyvatel Země z odhadovaných 5 milionů na konci doby ledové na 100 milionů před 5 tisíci roky. Potřeba lépe organizovat zemědělské práce a zavlažování polí vedly též ke zrodu nejstarších civilizačních center (Egypt, Mezopotámie a údolí Indu), jejichž úspěch byl závislý na pravidelných záplavách na Nilu nebo na migraci říčních koryt Eufratu nebo Indu v důsledku katastrofálních povodní. Zánik egyptské Staré říše i akkadské říše je spojen s ničivým suchem ve 23. stol. př. Kr. K opuštění oblasti mezi Eufratem a Tigridem přispěl také pokles úrodnosti půdy v důsledku jejího zasolení zavlažováním v aridní oblasti, kde výpar převládá nad srážkami. I zánik Mayů je spjat s periodami sucha a poklesem hladin podzemní vody, které postihly Yucatán v období mezi roky 760 a 910.

Během středověkého klimatického optima (700–1300) převládalo v Evropě příznivé počasí, prosperovalo zemědělství i vinařství. Od 14. stol. se klimatické podmínky postupně zhoršovaly (četné anomální srážky, povodně a studené zimy), nastala tzv. malá doba ledová (1350–1860) s útlumem sluneční aktivity a s četnějšími vulkanickými erupcemi mezi roky 1300 a 1700. Osady Vikingů, kteří během středověkého optima osídlili Island a Grónsko, vymizely z Grónska v důsledku průměrného ochlazení o 1–2 °C a častého zamrzání Severního moře. Inuité malou dobu ledovou v Grónsku bez problémů přežili a najdeme je tam dodnes. Ve střední Evropě a v Čechách se obě klimatické oscilace projeví později. Vrchol středověkého optima spadá u nás do období 1150–1300 a počátek malé doby ledové je zaznamenán v období po roce 1550.

Vymírání velkých savců na konci poslední doby ledové

Během čtvrtohor osídlily rozsáhlé oblasti Evropy, Asie a severní Ameriky velké savce (např. mamut srstnatý, jeskynní medvěd, srstnatý nosorožec nebo obrovitý jelen megacer). Většina mamutů v Eurasii a v severní Americe vyhynula na konci poslední doby ledové nebo na počátku současné doby meziledové, která začala před 11,5 tisíci roky. Výjimkou jsou mamuti žijící na Wrangelově ostrově severně od Čukotky. Ostrov zůstal izolován v Čukotském moři po oteplení na konci glaciálu, kdy začalo tání kontinentálních ledovců a s ním spojený výzdvih mořské hladiny, čímž se propojení pevnin přerušilo. Postupně se zde vyvinula menší, necelé dva metry vysoká forma mamuta, jak dokládají rozměry mamutích stoliček, nalezených na ostrově. Největší překvapení však nastalo na počátku 90. let, kdy radiouhlíkové datování mamutích klů ukázalo, že někteří jedinci žili na ostrově ještě před 4000 roky, tj. v době, kdy byly v Egyptě v období staré říše stavěny pyramidy. Pak však mamuti vymizeli i z tohoto posledního útočiště.

Globální změna klimatu a prostředí před 19 tisíci roky přinesla nejen výrazné oteplení, ale i zvětšila teplotní rozdíly mezi ročními obdobími. Měnil se systém rozložení srážek, rychle tály kontinentální ledovce v severní Evropě a v Americe. Změny prostředí a změny vegetace zcela jistě vyvíjely tlak na tehdejší faunu i flóru. Větší zvířata potřebovala větší životní prostor a obtížněji se vyrovnávaly se změnami prostředí, což mohlo vést k postupnému vyhynutí některých velkých zvířat, jak k němu došlo koncem poslední doby ledové na všech kontinentech. Doby ledové a meziledové se však ve čtvrtohorách mnohokrát opakovaly, ale nikdy před tím nedošlo k tak rozsáhlému vymírání velkých savců. Navíc se toto vymírání týkalo pouze kontinentů a nikoli mořského prostředí.

Čím se tedy konec posledního glaciálu lišil od těch předchozích? V 60. letech 20. stol. přišel Paul Martin z Arizonské university s teorií, že vymizení velkých zvířat na sklonku poslední doby ledové má na svědomí člověk. Rozšíření předchůdců moderního člověka z Afriky na ostatní kontinenty se dobře shoduje se změnami prostředí ve čtvrtohorách. Na konci poslední doby ledové ovládal člověk efektivní lovecké techniky a od té doby se stává predátorem, ohrožujícím všechna ostatní zvířata. Právě v Americe a v Austrálii došlo k rychlému vymizení některých velkých savců v relativně krátké době po příchodu člověka (v Americe 70–80 % velkých savců – mamuti, mastodonti, velbloudi, lenochodi a koně; v Austrálii 86 %). Tato vysoká čísla jsou vysvětlována přílišnou důvěřivostí zvířat, která nebyla na pravěkého lovice a jeho techniky lovu zvyklá. Naproti tomu v Evropě a Africe vymřel na konci posledního glaciálu podstatně menší počet velkých savců. Přívrženci teorie o dominantní roli člověka-lovice to vysvětlují tím, že v Africe a Evropě žila zvířata s člověkem po dlouhou dobu společně, a proto se většina velkých savců držela od pravěkých lovců v bezpečné vzdálenosti. V Evropě se dnešních dnů nedožili kromě mamutů například nosorožci nebo jeskynní medvědi, hyeny a lvi. Na jižní Moravě, u Přerova anebo Krakova byly v okolí pravěkých tábořišť nalezeny kosti stovek mamutů, ulovených člověkem. Nemoci, přinášené lidmi a dalšími živočichy do nových oblastí, mohly sehrát negativní roli ve zdravotním stavu místní zvěře. Za příčinu vymírání na konci poslední doby ledové lze s největší pravděpodobností považovat globální změnu prostředí, která byla lokálně zesílena loveckými aktivitami pravěkého člověka.

Klimatická současnost

Pro současnou dobu meziledovou jsou charakteristické jasné přírodní limity. Globální teplota je relativně vysoká a hladiny světových oceánů jsou vysoko v důsledku poměrně malého rozšíření kontinentálních ledovců. Atmosféra z důvodu vysoké vlhkosti obsahuje zvýšenou koncentraci skleníkového plynu vodní páry i dalších skleníkových plynů, a to kyslíčniku uhličitého, který uniká z teplé mořské vody (svého největšího rezervoáru), a dále i dalšího skleníkového plynu (metanu) v důsledku jeho úniku z částečně rozmrzlého permafrostu, který je jeho největším zdrojem.

V geologické minulosti byly často změny ze skleníkových na ledová období provázeny hromadným vymíráním některých živočišných druhů, trvajícím miliony let. Lidstvo nemá k dispozici tolik času, aby si příroda se vzniklou situací poradila sama. Dnešní globální klimatické problémy se v první řadě týkají právě našeho druhu, jehož počet jedinců se na naší planetě neustále zvyšuje. Každý týden přibývá na Zemi 2 miliony nových lidí. Nevhodné zemědělské postupy vedou často k erozi a degradaci půdy.

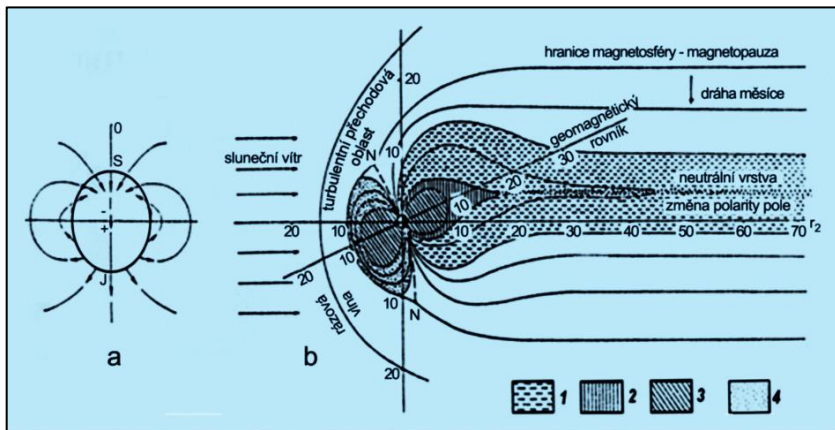
Modelovým příkladem může být přírodní historie severní Afriky. Na konci poslední doby ledové měla Sahara v důsledku nedostatku srážek větší rozlohu a sahala dále k jihu než dnes. Během holocenního klimatického optima změny v systému atmosférického proudění přinášely hojnost srážek a Sahara se změnila v zelenou zahradu se spoustou jezer. Zelené savany byly obývány mnoha zvířaty a také lidmi (rytiny na skalách v pohoří Tassili, dnes uprostřed nehostinné pouště). Zhruba před 5000 lety vysychání způsobilo rozšíření pouště všemi směry. Během několika tisíc let zmizela vegetace a s ní i půda. Tento proces trvá do dnešních dnů a je v některých oblastech ještě urychlen činností člověka. Např. v oblasti Sahelu došlo ve vlhkých letech v první třetině 20. stol. k nárůstu počtu obyvatelstva. Zvýšená potřeba palivového dříví vedla k rozsáhlému odlesnění a k intenzivnímu pastevectví. Následná eroze a degradace půdy přeměnily území na poušť.

Na druhé straně oteplení ve 20. stol. může souviset s narůstající sluneční aktivitou. Globální klima se tak může dostávat do rovnováhy po malé době ledové, která skončila ve druhé polovině 19. stol.

Působení fyzikálních podmínek na člověka

Vlivy elektromagnetického pole Země

Magnetosféra Země má výrazně asymetrický tvar, je protažena na noční straně Země v důsledku působení slunečních sil. Stav magnetosféry ovlivňuje cirkulační procesy v atmosféře a určuje tak charakter počasí, chrání biosféru před zhoubným působením tzv. slunečního větru (stálý tok nabitých částic protonů a elektronů vysílaných Sluncem) a ovlivňuje geologické procesy.



Obr. 37: Magnetosféra planety Země: a) starší představa o magnetickém poli Země, b) skutečný tvar magnetosféry Země podle měření v kosmu.

Litosféra je z hlediska vodivosti heterogenní v důsledku rozdílné vodivosti hornin a hlavně existence vysoce vodivých, tektonicky oslabených zón, jejichž účinnost je srovnatelná s vlivy kovových technických sítí (elektrifikované železniční tratě, tramvajová doprava, metro, ocelová potrubí apod.), které ovlivňují elektromagnetické pole Země do vzdálenosti několika metrů až několika set metrů až desítek kilometrů. Vznikající bludné proudy ovlivňují migraci vody (projevy elektroosmózy a elektroforézy) a zesilují korozi. Na poruchových zónách je výrazně snížen měrný odpor v důsledku ionizace pronikajících roztoků. V elektromagnetickém poli způsobuje výrazné změny antropogenní znečištění. Například znečištění ropnými látkami, unikajícími ze Slovaftu v Bratislavě do písků a pískovců Žitného ostrova, způsobuje do obsahu 10–20 % váhových ropných látek pokles elektrického odporu a při vyšším znečištění roste. Při nižším obsahu ropných látek dojde patrně k zahuštění elektrického náboje a při vyšším k přerušení vodivých cest a zvýšení vodivosti horniny. Ke zvýšení vodivosti dochází také s rostoucím časem v důsledku degradace ropných látek biodegradními procesy.

Umělé magnetické anomálie vznikají v magnetickém poli v průmyslových centrech; jsou kladné (koncentrace strojů), nebo záporné (např. vytěžením kovů). K výraznému ovlivnění dochází ve městech v souvislosti s výstavbou železobetonových staveb a železných konstrukcí vůbec, které vytvářejí tzv. Faradayovu klec, jež představuje základní princip ochrany před nepříznivými účinky relativně intenzivního elektromagnetického pole i u obsluh radarů.

Na porušení elektromagnetického pole se významným způsobem v průmyslových centrech podílí i znečištění půd magnetickými částicemi. Umělé elektromagnetické anomálie se souhrnně označují jako *elektromagnetický smog*. Například v Bratislavě byla maximální intenzita Z-složky (vektoru magnetického pole) způsobena městskou elektrickou dopravou v oblasti Starého města. Zde dosahuje hodnot nad 100 nT (intenzita elektromagnetického pole). Maximální hodnoty úrovně elektromagnetického smogu způsobené činností radiových vysílačů UKV a VKV na televizní věži Kamzík jsou v oblasti Dúbravky, Železnej Studienky a na severu Starého města. Nedostatečná znalost vlivů elektromagnetického pole způsobuje např. značné rozdíly ve stanovení hladiny jeho přípustné intenzity v jednotlivých zemích. Například u nás jsou velmi přísné hodnoty 2 Ekvk/V/m a 5,3 ETV/V/m, podobně jako v Rusku, zatímco ve Finsku a Itálii 20 až 30 a v USA a Kanadě 28, resp. 36–43. Podařilo se prokázat, že podle orientace elektromagnetického pole se orientují ptáci a ryby i ostatní živočichové. Srny, jeleni i skot se při odpočinku a spánku orientují přednostně ve směru silokřivek směrem k magnetickému pólu. Také mnozí lidé uvádějí, že lépe spí při takové orientaci těla. Zdá se, že mnohé jevy spojované nesprávně s tzv. geopatogenními zónami souvisí spíše se závislostí na elektromagnetickém poli (například vyšší doживost krav při ustájení ve směru k magnetickému pólu Země). Satelitní snímky také dokazují, že tato orientace nemíří k zeměpísnému, ale skutečně k magnetickému pólu Země.

Orientace magnetického dipólu Země se mění – prohodí se severní a jižní magnetický pól. K poslední takové velké změně polarity došlo před 780 000 roky. Samotný proces přepólování trvá obvykle 7–10 000 let a je provázen výrazným poklesem intenzity magnetického pole Země. Vzhledem k tomu, že od 20. let minulého století je sledováno slábnutí magnetického pole Země, není vyloučeno, že se nacházíme na počátku období, které by mohlo v průběhu několika tisíc let skončit prohozením severního a jižního magnetického pólu země.

Porušení elektromagnetického pole a vznikající anomální zóny způsobují vznik anomálních podmínek životního prostředí. Je prokázáno např. anomální chování velryb a některých dalších savců, poruchy navigace ptáků a dokonce zvýšení nehodovosti v dopravě. Neví se, do jaké míry se na tom podílejí přirozené změny elektromagnetického pole a anomálních zón při elektromagnetických bouřích či při zemětřeseních, a nakolik jsou způsobené lidskou činností.

Radioaktivita a radonový index, ionizující záření a jeho zdravotní rizika

Radioaktivita a radonový index:

Jednotky radioaktivity	
Míra radioaktivity	A
Poločas rozpadu	T
Expoziční rychlost záření	R/h

Aktivita pevných látek:

Becquerel Bq	1 Bq = rozpad 1 atomu/sek. (po franc. fyzikovi A.H.Becquerelovi)
Curie Ci	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ rozpadů za sekundu, tj. $3,7 \times 10^{10}$ Bq
Curie p Ci	1 pCi = triliontina Curie, tj. 0,037 rozpadů/ sek. nebo 2,22/ min.

Aktivita plynů a vod:

Becquerel/m ³ plyny	Bq/ m ³
Becquerel/l vody	Bq/l
Eman (zastarale)	1 E = 10^{10} Ci/l plynné látky % 3,7 Bq/l

Energie pohlcená hmotou:

Gray	1 Gy = 1 joule energie pohlcené 1 kg tkáně
Rad (zast.)	1 rad = 0,01 Gy

Souhrnný dávkový ekvivalent:

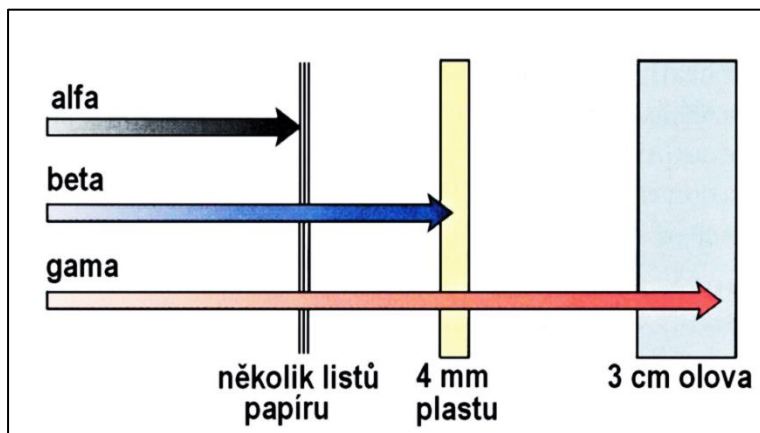
Sievert	Sv souhrnná dávka různých typů radiace
---------	--

Roentgen (zast.) rem 100 rem = 1 Sv
 Milisievert mSv (0,001 Sv)

Kumulace přírodních a umělých zdrojů radioaktivity tvoří *radiační zátěž* obyvatelstva, která v ČR dosahuje v průměru jen 3 mSv ročně. Z přírodních zdrojů jsou významné přirozená radioaktivita hornin a minerálů a dále kosmické záření. Umělými zdroji jsou zejm. důlní činnost, provoz elektráren na fosilní paliva, zkoušky jaderných zbraní, průmyslová hnojiva, uplatnění radionuklidů v průmyslu a lékařská diagnostika, jaderná energetika jen v případě havárie. K celkové zátěži přispívá radon ze základových hornin a z použitých stavebních materiálů. Základem hodnocení je ČN 731001, podle níž se hodnotí objemová aktivita, vedlejší hmotnostní aktivita a dávkový příkon ze vzduchu. Posouzení je nutné pro všechny budovy, v nichž součtová pobytová doba osob je vyšší než 1 000 h/ročně. Pro vodu hromadného zásobování je nutný souhlas hygienika, překračuje-li 222 Bq/l a voda více než 1 000 Bq/l je nepoživatelná. V ČR je výskyt radonu v obytných domech nejčastěji zjištěn v okresech Příbram, Strakonice, Třebíč, Liberec, Jablonec nad Nisou a Karlovy Vary. Níže jsou souhrnně uvedeny termíny a jednotky užívané při měření míry přítomnosti ionizujícího záření – radioaktivity.

Ze zdravotního hlediska je dávka:

- | | |
|-----------------------|---|
| do 100 mSv ročně | – považována za bezpečnou |
| 500 mSv ročně | – zvyšuje riziko vzniku rakoviny |
| 1 Sv ročně | – začínají se projevovat nemoci z ozáření (1 Sv odpovídá přibližně biologickým účinkům vyvolaným gama zářením v dávce 1 Gy) |
| 3 Sv ročně nevolnost, | – vážná nemoc z ozáření, vypadávají vlasy, hrozí neplodnost, |
| 5 Sv ročně | zvracení, do měsíce umírá až 35 % postižených |
| 7 Sv ročně | – dosaženo v Hirošimě, do 1 roku zemře až 60 % postižených |
| | – zasáhlo obyvatelstvo při výbuchu v Černobylu žijící do 30 km od elektrárny |
| 10 Sv ročně | – ozáření zemřou do 7–14 dnů, léčba nemožná |
| 70 Sv ročně | – smrt nastává po několika sekundách |



Obr. 38: Schéma schopnosti záření α , β , γ pronikat hmotou.

Podíl radonu na celkovém ozáření lidského organismu dosahuje 55 %. Přírodním zdrojem radonu 222 je ^{238}U v horninách, kde je přítomen buď v samostatných minerálech (uraninit, uranové slídy-torbernit, autunit) nebo v hlavních – biotit (K-živce) a akcesorních horninotvorných minerálech (zirkon, apatit). Z nich se dostává do podzemních vod a do stavebních materiálů, nejdůležitějším zdrojem však je horninové prostředí. Migraci radonu ve svrchní části litosféry ovlivňuje především propustnost hornin (např. pukliny a zlomy, písky a štěrky), teplota půdy a atmosféry a další klimatické parametry (tlak vzduchu, srážková činnost apod.), tektonické porušení hornin (zlomy). Radon proniká jednak difúzí (pohyb plynu), jednak konvekci, při níž je přenášen např. podzemními vodami.

Do ovzduší se celosvětově dostává asi 13 000 t thoria a 5 000 t uranu ročně převážně v důsledku spalování uhlí. Přesto je to jen vedlejší zdroj radiační zátěže obyvatelstva.

Podle dat OSN z roku 2000 ji tvoří v mSv ročně:

Radiace z přírodních zdrojů:

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| – vdechování radonu z ovzduší | 1,2 mSv/ročně |
| – litosférová radiace | 0,5 mSv/ročně |
| – radiace z potravin | 0,3 mSv/ročně |
| – radiace kosmického původu | 0,4 mSv/ročně |

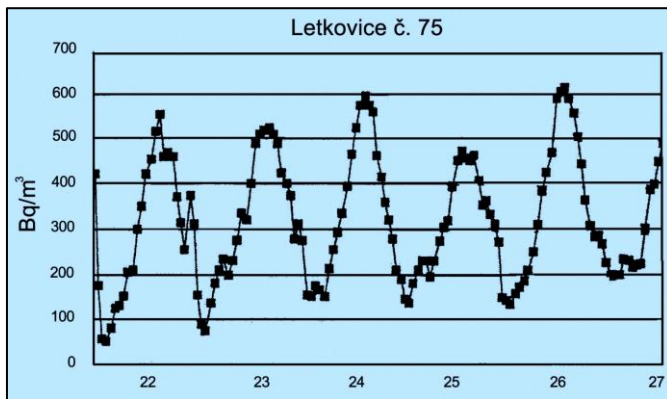
Radiace z antropogenních zdrojů:

- | | |
|----------------------------|------------------|
| – produkce jaderné energie | 0,0002 mSv/ročně |
| – havárie Černobylu | 0,002 mSv/ročně |
| – jaderné zkoušky | 0,005 mSv/ročně |

Základní geologické faktory ovlivňující intenzitu radonových emanací:

- stupeň radioaktivity skalního podloží (vysoký obsah U v granitoidech resp. U-mineralizace)
- stupeň křehkého porušení hornin (migrace Rn vlivem křehkých deformací)
- redistribuce radioaktivních prvků (ochuzení nebo obohacení při deformaci hornin)
- úklon střížné nebo zlomové zóny
- výplň tektonických poruch (průniku plyn brání např. jílovitá nebo karbonátová výplň)
- nadložní sedimenty a půdy (porozita, stupeň kompakce)

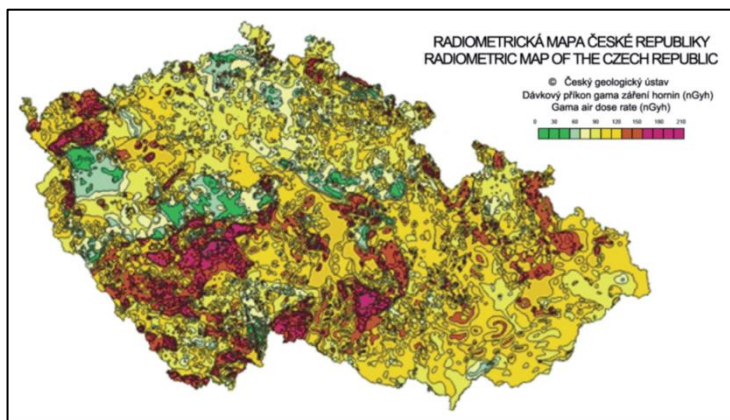
Výběrový průzkum objemové aktivity radonu v bytovém fondu ukázal, že Česká republika patří ke státům s největším podílem ozáření radonem a jeho dceřinými produkty. V ložnici v domku v Petrovicích u Sedlčan přesáhla aktivita radonu 100 Bq, vody z durbachitů v okresech Strakonice, Prachatice a Písek mají až 800 Bq/l ve většině zdrojů a ve východních Čechách z granitů 2–400 Bq/l. Výsledky týdenního měření koncentrace radonu v rodinném domku v Letkovicích ukazují cyklické změny v režimu den a noc, způsobené výkyvy teplot a větráním.



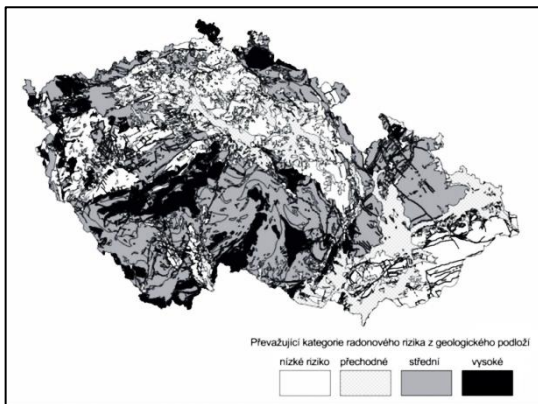
Obr. 39: Cyklické změny koncentrace radonu v rodinném domku v Letkovících v režimu den a noc, způsobené kolísáním teplot a větráním podle měření společnosti.

radon	55 %
přirozené zdroje celkem, kosmické paprsky, gama záření - pozadí, jídlo, pití, Thorium	26 %
lékařské zdroje	18 %
ostatní zdroje celkem tj. zaměstnání, spad, výrobky	1 %
jaderná energetika	0,333 %

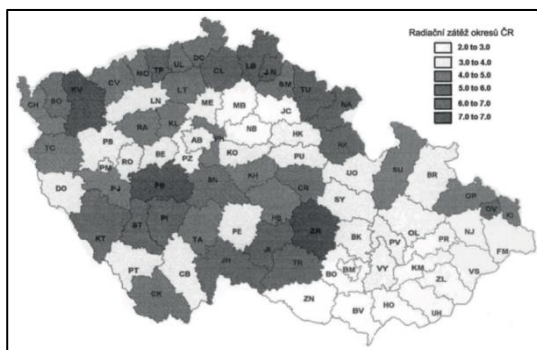
Obr. 40: Odhad složení radiační zátěže obyvatelstva České republiky.



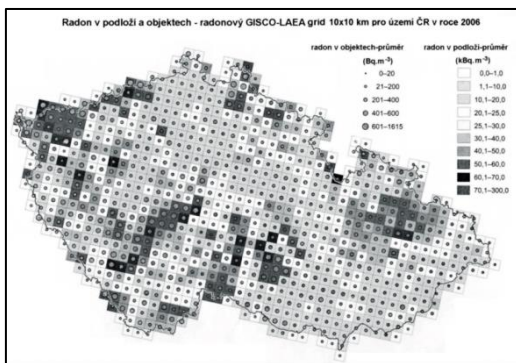
Obr. 41: Radiometrická mapa České republiky. Dávkový příkon gama záření hornin (nGyh).



Obr. 42: Převažující kategorie radonového rizika v České republice z geologického podloží, riziko: nízké, přechodné, střední a vysoké.



Obr. 43: Radiační zátěž obyvatel podle okresů České republiky.



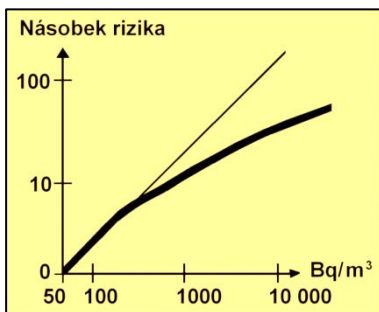
Obr. 44: Radon v podloží a objektech – radonová GISCO-LAEA mřížka 10×10 km pro území ČR v roce 2006

Potraviny obsahují přirozené radioaktivní izotopy draslíku ^{40}K (příp. i U a Th) většinou ve zcela zanedbatelném množství. Zvýšený obsah mohou mít houby, které akumulují radioizotopy (zejm. ^{134}Cs a ^{137}Cs) z radioaktivního spadu z testů jaderných zbraní a případných havárií. K výraznému zvýšení obsahu radioizotopů došlo například po havárii v Černobylu zejména u hřibových hub, lakovky, čechratky podvinuté, naproti tomu u bílých hub (pečárky, holubinky, bedly apod.) byl i v 90. letech jejich obsah zanedbatelný. I tehdy však konzumace např. 10 kg hub ročně tvořila jen desetiny dávky z přirozeného pozadí a lze tedy oprávněně předpokládat, že nepředstavovala žádné reálné zdravotní riziko. Většina hornin v ČR má velmi nízkou přirozenou radioaktivitu, která je charakterizována jako úhrnná aktivita gama. Velmi nízké hodnoty mají vápence, granulity, amfibolity (ekv. U méně než 5). Naopak vysoké obsahy mají z našich hornin hercynské granity, jíly, jílovce a fonolity v Českém středohoří (ekv. U až 20). Největší obsah mají durbachity (Milevsko, Petrovice, Netolice, Knížecí stolec, třebíčský masiv). Zvýšené obsahy radonu jsou časté v jeskyních, do nichž se dostává hlavně ve vodách. Zvýšená akumulace přirozeného původu je i v náplavech některých řek, kde jsou v jemných sedimentech nahromaděny minerály s radioaktivními prvky. (V náplavech horního toku Lužnice je 50–75 g/m^3 zirkonu, monazitu a orthitu.) Obsahy thoria jsou 18 ppm (proti 4–6 ppm v okolních horninách a uranu 7 ppm (1–2 ppm v okolních horninách).

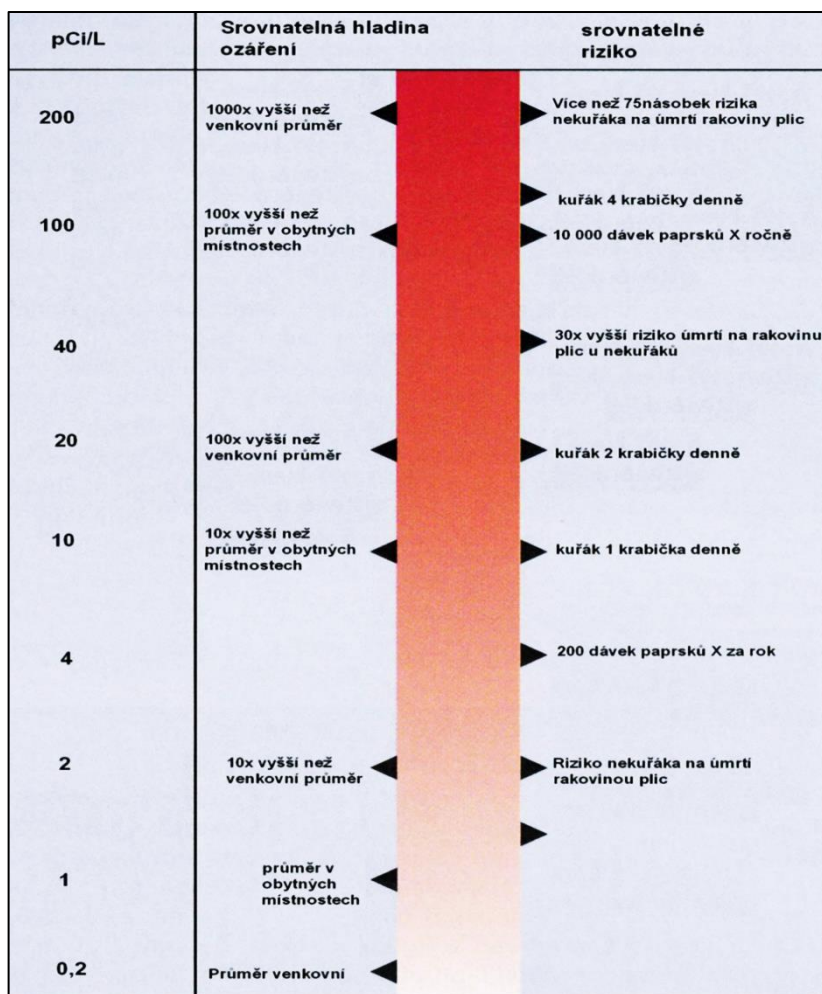
Velmi vysokou radioaktivitu mají v přírodě pouze výskyty radioaktivních minerálů v takové koncentraci, že mohou vzniknout přirozené „reaktory“, v nichž probíhají spontánní reakce. Podle složení produkovaných izotopů byly takové výskyty zjištěny na několika místech v Africe (Oklo v Gabunu) a v Austrálii. V ČR a i jinde se horniny podílejí na radiační zátěži obyvatelstva jen asi 20–30 % (po odečtení vlivů kosmických paprsků), i tak mohou přispívat ke vzniku různých forem rakoviny, pokud se k nim přičítají i vlivy dalších faktorů, k nimž patří:

- anomální koncentrace radonu v bytech a kancelářích, které nejsou pravidelně větrány
- nedodržení bezpečnostních předpisů v zaměstnání, například podceňování vlivu alfa záření laboratorními pracovníky

Významný podíl radioaktivního záření a radonového indexu na vznik chorob dokumentují následující grafy:



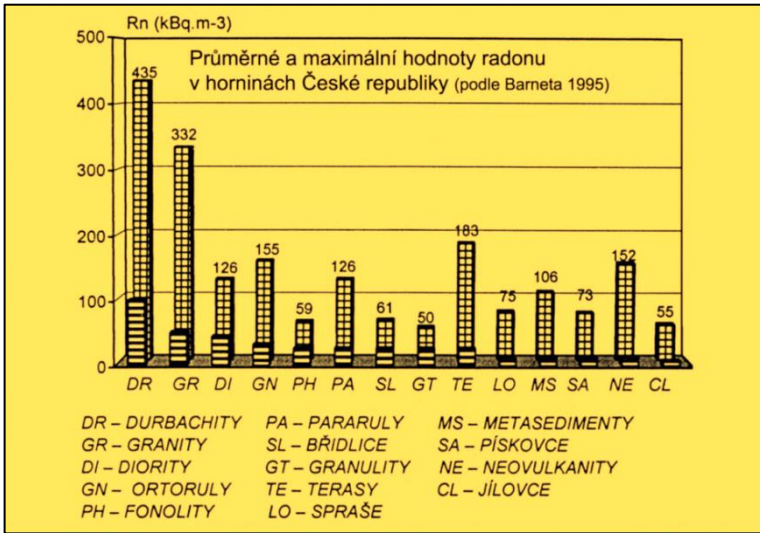
Obr. 45: Násobek rizika vzniku rakoviny plic při vyšších hladinách dceřiných produktů radonu v bytě oproti průměrné hodnotě $50 \text{ Bq}/\text{m}^3$.



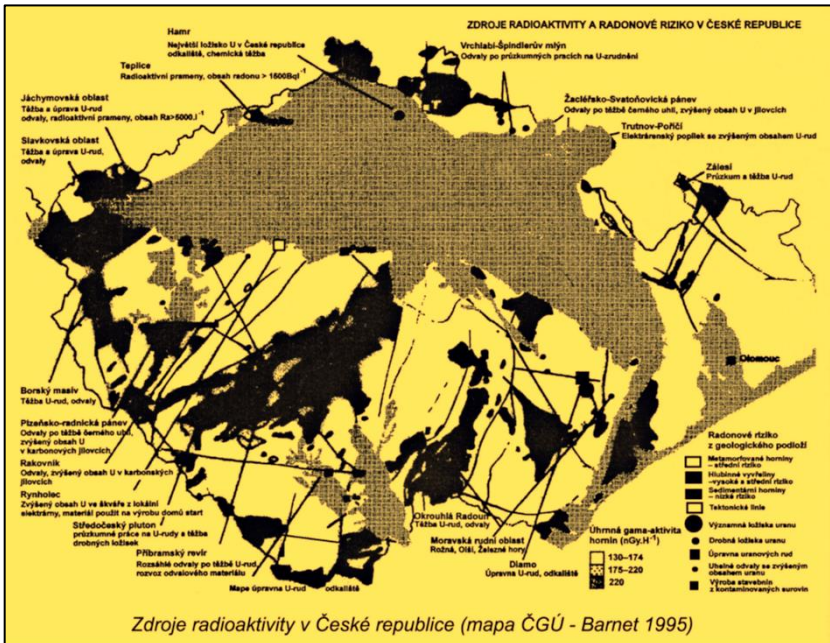
Obr. 46: Srovnání rizika vzniku plicních nádorů v důsledku radonového indexu, kouření a vystavení účinkům paprsků X.

Ke stanovení protiopatření se využívají v ČR mapy radonového indexu a rizik, např.:

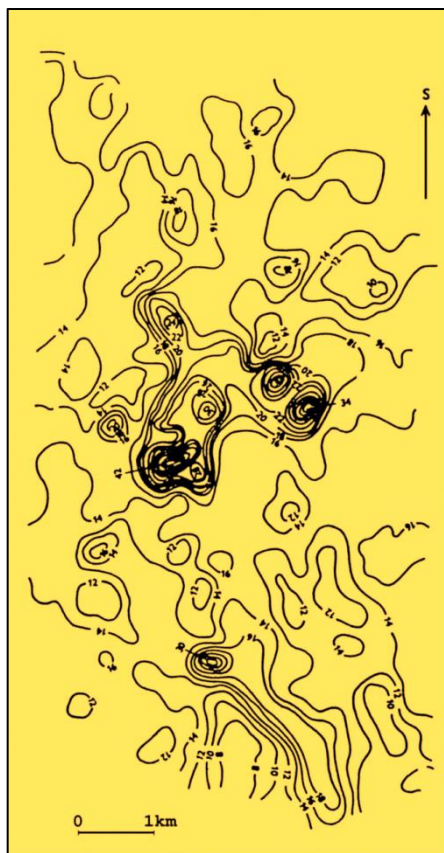
- mapy výskytu hornin s vysokým obsahem radioaktivních prvků a tím produkce radonu
- mapy výskytu umělých a přirozených anomálií - mapy počtu onemocnění podle správních jednotek, které umožňují administrativní opatření (např. výběr oblastí a prodejen soli se zvýšenou příměsí jódu)
- mapy výskytu endemického kretenismu, strumy
- mapy vyššího výskytu či úmrtnosti na zhoubné novotvary



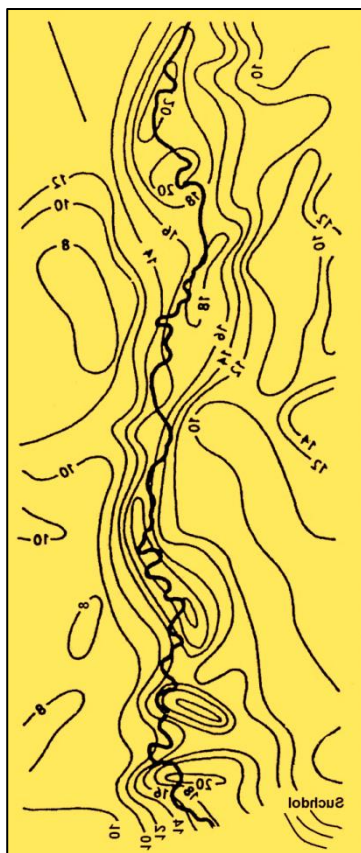
Obr. 47: Průměrné a maximální hodnoty radonu v horninách České republiky.



Obr. 48: Zdroje radioaktivity a radonové riziko v České republice.



Obr. 49: Zvýšené hodnoty radioaktivity (E) na haldách po těžbě uranu v Dolní Rožínce. Čísla v obou mapách označují úhrnnou radioaktivitu γ .



Obr. 50: Zvýšená radioaktivita v údolí Nežárky (E) v důsledku akumulace radioaktivních minerálů (monazit, zirkon, ortit) v říčních sedimentech.

Radioaktivita má i mnohé příznivé účinky. Radioaktivní izotopy cesia se využívají při vyšetřování štítné žlázy jódu. V radonových lázních (Jáchymov) se využívají koupele v radonové vodě v kombinaci s dalšími metodami k léčení nemocí pohybového ústrojí, periferního nervového systému a metabolismu i k regeneraci a posílení systému imunitního.

Ionizující částice jsou emitovány zdrojem záření. K nim patří jednak procesy v atomových jádrech radionuklidů (tj. radioaktivní přeměny či štěpení jejich jader), jednak technickými prostředky urychlované elektrony a ionty atomů (v urychlovačích, rentgenkách, neutronových generátorech aj.). Radionuklidy mají schopnost v důsledku nestability uskupení protonů a neutronů v jejich jádre se samovolně přeměňovat, vysílat přitom ionizující záření a přecházet tím do energeticky nižšího a stabilnějšího stavu. Radionuklidy stejného typu (tj. s definovaným počtem protonů a neutronů v jádře) se přeměňují zákonitým způsobem. Pro praxi ochrany proti ionizujícímu záření je významný poločas jejich přeměny.

Obecně platí, že částice kteréhokoliv ionizujícího záření procházející hmotným prostředím (tedy i vzduchem nebo živou tkání), mu odevzdávají část své energie a podél své dráhy vytvářejí různě velké množství iontových párů (lineární přenos energie). Primární nabitě částice (elektrony, protony, alfa částice, deuterony) ionizujícího záření přímo vytvářejí podél své dráhy (trajektorie) velké množství iontových párů, zatímco nenabitě částice (neutrony, fotony) reagují s látkou řadou rozličných způsobů (fotoelektrický jev, Comptonův rozptyl, tvorba párů, u neutronů radiační záchyt či štěpení jádra, pružný a nepružný rozptyl) a v místě interakce se vytvářejí sekundární nabitě částice (elektrony), které až sekundárně ionizují atomy a molekuly prostředí. V některých případech vznikají v látce sekundární nabitě částice s tak vysokou kinetickou energií, že jsou schopné podél své dráhy dále ionizovat (např. delta elektrony při interakci těžkých nabitých částic s hmotou), dokud jejich energie neklesne na úroveň termického pohybu částic v prostředí. Když už energie primárních a sekundárních nabitých částic nestačí k ionizaci atomů a molekul prostředí, spotřebovává se na zvýšení kinetické energie částic látkového prostředí. Všechna energie ionizujícího záření absorbovaná v látce se takto přemění na tepelnou energii. Účinek ionizujícího záření se na buněčné úrovni projeví klinicky jenom při poškození makromolekuly DNA. DNA tak představuje klíčovou molekulu, terč, který musí být zasažen, jestliže se má objevit účinek. Poškození bílkovin a enzymů může sice alterovat některé buněčné funkce, ale zřídka má závažné důsledky pro makroorganismus, protože buňka při intaktní informaci uložené v DNA většinou rychle obnoví porušenou funkci např. syntézou nových bílkovin. K poškození DNA ionizujícím zářením dochází jednak přímo, ionizací a excitací atomů těchto makromolekul, a jednak nepřímo, radiolýzou vody.

Základní principy ochrany před zářením a monitorování expozice

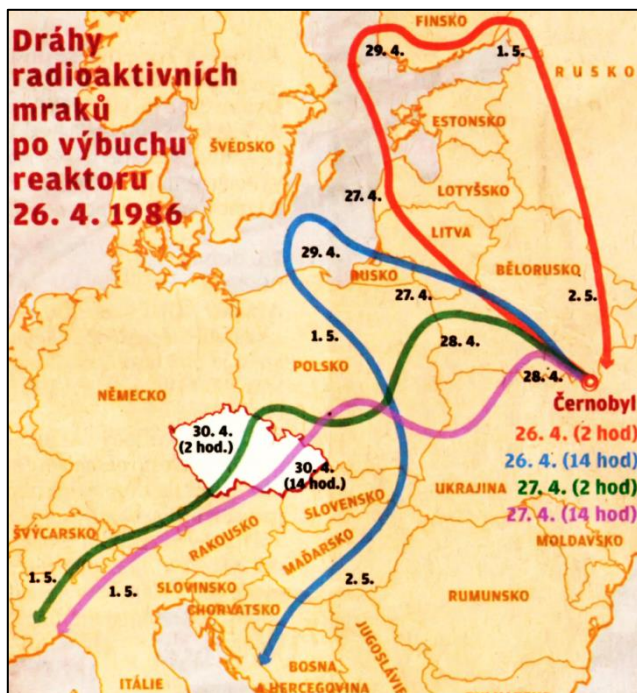
Usměrnování pracovníků a obyvatelstva je určováno soustavou přijatých principů a kritérií ochrany jejich zdraví. Vývoj těchto základních východisek probíhá už několik desetiletí na mezinárodní úrovni. V r. 1994 vydalo společně šest mezinárodních vládních organizací dokument „Basic Safety Standards for Protection against Radiation and for the Safety of Radiation Sources“, který je základem i pro předpisy Evropské unie a v souladu s požadavkem harmonizace našich předpisů s EU i pro zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a jeho prováděcí předpisy. V nich je mj. zakotveno, že státní správa v radiační ochraně je realizována činností Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a jeho regionálními centry. Cílem ochrany je vyloučit organizačními a technickými opatřeními možnost ohrožení pracovníků i obyvatelstva účinky deterministického typu, tj. účinky s prahovou závislostí na dávce, jako jsou akutní celková a lokální poškození, a snížit na přijatelnou úroveň riziko stochastických účinků, tj. indukci zhoubných nádorů a dědičných poškození, pro něž se ryze teoreticky předpokládá existence bezprahového a lineárního vztahu na dávce.

Pracovníci mohou být ozáření za velmi různých expozičních podmínek. Rozeznávají se činnosti, které spočívají v zavádění a provozování zdrojů, jež mohou zvýšit ozáření lidí. V řízení ochrany se zde uplatňuje plánování ochrany a kontrolní mechanismy včetně požadavku nepřekročení platných limitů. Na straně druhé se rozeznávají zásahy (intervence), kde nestandardní situace charakterizovaná vyššími expozičními už existuje, plánování ochrany a nepřekročitelné limity nelze z principu aplikovat a lze uvažovat jen o nápravných opatřeních. V podmínkách pracovišť patří do oblasti zásahů opatření při radiačních nehodách, jiným příkladem zásahů jsou nápravná opatření v dříve postavených budovách s vysokými koncentracemi radonu a produktů jeho přeměny.

Preventivní úsilí, zaměřené na nejnižší reálně dosažitelné úrovni se řídí následujícími principy:

- žádná činnost vedoucí k ozáření lidí se nesmí provozovat, pokud z ní neplyne dostatečný prospěch ozářeným jedincům nebo společnosti, aby se vyrovnala zdravotní újma způsobovaná ozářením (princip zdůvodnění)
- v rámci určité činnosti musí být výše individuálních dávek, počet exponovaných osob a pravděpodobnost expozic (není-li jisté, že k nim dojde) udržovány tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout s uvážením ekonomických a sociálních hledisek (princip optimalizace)
- expozice jednotlivců musí být podřízena dávkovým limitům, představujícím nepřekročitelný strop kontrolovatelné expozice (princip nepřekročení limitů)

Jaderné havárie
Černobyl 1986



Obr. 52: Dráhy radioaktivních mraků po výbuchu reaktoru v Černobylu.