

## Zdroje energie a zdraví

Prof. MUDr. Jaroslav Kotulán, CSc.

### ANOTACE

#### Výroba energie

Zásobování energií je nezbytnou podmínkou uchování a rozvíjení technické a ekonomické úrovně dnešní společnosti. Potřeba energie soustavně roste a s ní i zařízení k její výrobě a transportu.

#### Hlavní zdroje vyráběné energie

- A) Neobnovitelné
  - Uhlé elektrárny
  - Nukleární (atomové) elektrárny
- B) Obnovitelné
  - Vodní elektrárny (v přímořských státech i slapové)
  - Využití solární energie
  - Větrné elektrárny
  - Spalování biomasy
  - Geotermické vrty

Z obnovitelných zdrojů může mít zdravotní význam pouze využití větrné energie a spalování biomasy.

#### Potenciální vlivy na zdraví

##### Uhlé elektrárny

Zdrojem energie je zde spalování uhlí. Hlavním rizikem je znečišťování prostředí zdravotně škodlivými produkty, a) suspendovanými částicemi v ovzduší (prachem, b) plynnými exhalacemi. Při spalování uhlí je produkováno značné množství popele, který většinou zůstává na roštu a je odtud odstraňován, zčásti však v částicích tak jemných, že uletují do komína. V dnešních uhelných elektrárnách je jemný popel zachycován elektrostatickými filtry s vysokou účinností (nad 99%), zbytek je emitován do zevního prostředí jako aerosol velmi jemných částic, tzv. popílek. Zachycovány jsou i toxické plyny, zčásti však rovněž unikají do ovzduší. Ze zdravotně významných je to především oxid siřičitý, neboť každé uhlí obsahuje příměs síry, která se při spalování oxiduje na SO<sub>2</sub>, a oxidy dusíku. O uvedených škodlivinách pevných i plynných blíže pojednává výuková jednotka Znečištění ovzduší a zdraví.

##### Nukleární elektrárny

Zdrojem energie je v nukleárních elektrárnách štěpení těžkých jader atomů uranu ostřelovaných neutrony. Štěpné produkty vyletují s obrovskou kinetickou energií, která se při jejich zbrzdění ve vhodném materiálu (moderátoru) mění na energii tepelnou. Ta je využívána k výrobě páry vedené do turbín, na něž jsou napojeny generátory elektrické energie. Jde o řízenou řetězovou štěpnou reakci, jejíž intenzita je podle potřeby dobře regulovatelná. Moderátorem i chladivem je u většiny dnešních elektráren, včetně českých, obyčejná voda. Zbytkové teplo je odváděno z chladicích věží do ovzduší v podobě čisté vodní páry. Palivem je přírodní uran (oxid uraničitý s převažujícím izotopem <sup>238</sup>U) obohacený o štěpitelný izotop <sup>235</sup>U (na 2-4% celkového množství U).

U nukleárních elektráren není ovzduší zatěžováno skleníkovými nebo toxickými plyny. Přítomné radioizotopy jsou sofistikovanými filtračními a jinými zařízeními téměř úplně zachycovány, a jen zcela nepatrné stopy unikají do ovzduší (tzv. vzdušné výpustě) a do odpadní vody (vodní výpustě). Nukleární elektrárna tak za normálního provozu nepatrně zvyšuje dávkové zátěže v okolním životním prostředí. K nejvýznamnějším radionuklidům, které vznikají při provozu jaderné elektrárny, patří jednak štěpné produkty (vzácné plyny  $^{85}\text{Kr}$  a  $^{133}\text{Xe}$ , dále  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), jednak aktivační korozní produkty ( $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ), a také aktivační produkty chladiva ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) a transurany (zejména  $^{241}\text{Am}$ ).

Expozice obyvatel v okolí nukleární elektrárny je možná šesti základními cestami: a) vdechováním ovzduší s imisemi radionuklidů, b) požíváním potravin v místě vypěstovaných, do nichž mohou být radionuklidy inkorporovány, c) zevním ozářením „z mraku“ („oblaku“), tj. z kontaminovaného ovzduší, d) zevním ozářením z deponitu na povrchu terénu, e) vdechováním resuspendovaných nuklidů z deponitu, f) užíváním kontaminované vody.

Zátěže exponovaného obyvatelstva se počítají jednak jako efektivní dávky  $E$  vyjadřované v sievertch (Sv), resp. obvykle v jejich dílech, mSv nebo  $\mu\text{Sv}$ . Kromě vlivu bezprostřední expozice se počítá i úvazek efektivní dávky  $E(\tau)$ , obvykle na dalších 50 let, vyjadřující následné účinky radionuklidů déleodobě deponovaných v organismu.

V obecné problematice vlivu ionizujícího záření na organismus odkazujeme na výukovou jednotku Ionizující záření.

Východiskem k výpočtu efektivních dávek resp. úvazků efektivních dávek z ovzduší jsou údaje o naměřených o aktivitách přízemních koncentrací radionuklidů v ovzduší ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ), depozicích ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^2$ ) a depozičních příkonech ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Vědeckými podklady, z nichž jsou odvozována rizika plynoucí z ozáření člověka ionizujícím zářením, jsou jednak humánní studie (především osob přeživších výbuchy jaderných zbraní v Hirošimě a Nagasaki a jejich potomků, a také další speciální epidemiologické studie), jednak experimentální studie na zvířatech, zejména myších.

Podle nejnovějšího doporučení ICRP (The International Commission on Radiological Protection) se riziko vyjadřuje odhadem tzv. zdravotní újmy. Tento termín zohledňuje souborně potenciální riziko smrtelných i léčitelných zhoubných novotvarů, poškození potomstva i efekt na zkrácení života. Pro běžnou populaci (mimo pracovníky profesionálně exponované) uvádí koeficient 0,057. Sv $^{-1}$ . To by při celoživotní expozici ročními dávkami 1 Sv znamenalo postižení 5,7 osob ze sta; poněvadž v praxi se roční dávky pohybují v hodnotách o tři řády nižších, vychází zde riziko újmy při dávce 1 mSv újmy v úrovni 5,7 obyvatel ze 100 tisíc.

Pokud jde o limity, jedna z hlavních zásad radiační ochrany stanoví, že všechny expozice musí být udržovány tak nízké, jak je možno s uvážením ekonomických a společenských hledisek dosáhnout (princip optimalizace ozáření). Usiluje se tedy o to, aby ozáření lidí bylo udržováno na nejnižší možné, avšak rozumně dosažitelné úrovni.

Takto vyhodnocené riziko z nukleárních elektráren je za normálního provozu jen stopové a prakticky zanedbatelné. Můžeme to ukázat na naší často diskutované jaderné elektrárně v Temelíně. V nejbližším okolí Temelína se riziko zdravotní újmy pohybuje v řádu  $10^{-6}$ , tj. při celoživotní expozici postižení jednoho člověka z milionu, a se vzdalováním od elektrárny dále

klesá. Jde o matematickou abstrakci, která nemá žádný praktický význam, neboť jen na zhoubné novotvary umírá z milionu cca 250 tisíc obyvatel.

Přitom jde o výpočet silně přeceňující reálnou životní situaci obyvatel, neboť předpokládá, že by posuzovaná osoba celou dobu pobývala v daném místě na otevřeném prostranství (bez korekce na odstínění budovami) a konzumovala jen lokálně vypěstované produkty.

Pozoruhodný pohled na roli vzdušných výpustí NJZ v radiačních zátěžích obyvatelstva může poskytnout i jejich srovnání s vlivy radiačního pozadí. Sečteme-li v oblasti Temelína dávkový příkon z hornin (tzv. terestriální záření), z kosmického záření, z radonu v domech a lékařského ozařování (rtg, radioizotopy), vychází celková efektivní dávka v celkové střední hodnotě 4,2 mSv za rok, zatímco ze vzdušných výpustí jsou to nanejvýš hodnoty kolem jednotek  $\mu\text{Sv}$ , tedy tisíckrát nižší.

Přeprava jaderného paliva se na zvýšení kolektivní dávky pro obyvatele oblasti prakticky neodrazí.

Pokud jde o hodnocení výpustí do vodotečí, zahrnují výpočty rizika šíření radioaktivních látek ve vodním prostředí a z toho odhady vlivu koupání v kontaminované vodě, jízd na člunu, pobytu na nánosu, pobytu na zavlažované půdě, ingesce pitné vody, ingesce ryb žijících v kontaminované vodě, ingesce masa a mléka zvířat napájených kontaminovanou vodou a ingesce zemědělských produktů kontaminovaných závlahami touto vodou. Podle takto provedených výpočtů, vycházejících mj. úmyslně ze zcela nereálného předpokladu užívání říční vody jako pitné, zůstává vypočtené celkové riziko zdravotní újmy z kapalných výpustí přímo pod jejich vyústěním do Vltavy na úrovni řádu  $10^{-6}$  a odpovídá tedy přísným mezinárodním kritériím. Vzhledem k tomu, že skutečné expozice jsou ve srovnání s užitým scénářem nepoměrně nižší, je reálné riziko pro obyvatele i v úseku nejvíce kontaminované části řeky ještě výrazně nižší a tudíž zcela zanedbatelné.

V odborné literatuře i ve veřejnosti vzbudily v posledních desetiletích značný zájem zprávy o zvýšeném počtu (nahromadění, „shlucích“) leukémií a některých dalších zhoubných novotvarů mízní soustavy (ne-Hodgkinových lymfomů) v okolí nukleárních zařízení u dětí, zejména 0 – 4letých, a v některých vzácných případech i mladých lidí do 25 let. Poprvé to bylo v roce 1983 v Anglii v blízkosti obrovského nukleárního konglomerátu v Sellafieldu a později i v blízkosti několika málo dalších nukleárních zařízení. Z nich poutá pozornost zejména okolí atomové elektrárny v Krümmelu v Německé spolkové republice. V žádném z uvedených případů však nebyla přes intenzivní snahy souvislost s činností nukleárních zařízení prokázána. U naprosté většiny ze stovek dalších existujících atomových elektráren nebylo přes četná a detailní šetření v nejrůznějších zemích nic obdobného zjištěno. To platí i o výskytu uvedených zhoubných novotvarů v ČR u dětí v okolí Dukovan a Temelína.

Všechno uvedené platí ovšem pro normální bezporuchový provoz jaderných zařízení. Havárie v Černobylu (1986) a Fukušimě (2011) vedly ovšem k výraznému šíření radionuklidů do okolí a způsobily bezprostřední i následné zdravotní škody. Příčiny těchto havárií jsou ovšem v ČR vyloučené (v Černobylu tuha jako moderátor a diletantské pokusnictví, ve Fukušimě enormně silné zemětřesení a vlna tsunami).

## **Větrné elektrárny**

Hlavním potenciálním zdravotním rizikem pro obyvatelstvo může být hluk produkovaný jednak strojním mechanismem elektrárny, uloženým uvnitř tzv. gondoly (strojovny) v horní části stožáru, jednak obtékáním větru kolem otáčejících se listů rotoru a uvolňováním vzduchových vírů za hranou listů. Jde ovšem o poměrně slabý hlukový zdroj, který by se mohl prakticky uplatnit jen v obytných domech situovaných ve velké blízkosti větrného parku. Může být snižován vhodným konstrukčním řešením.

V některých zahraničních pracích je uváděno i možné psychické rušení z infrazvuku, tedy ze zvukových hladin pod hranicí slyšitelnosti, které jsou u větrných elektráren poměrně silně zastoupeny a snad mohou mít nepříznivý rušivý účinek.

Víceméně jen teoretické je riziko úrazů z odpadající námrazy v zimním období. Námraza se uvolňuje při pomalých vibracích listů a k jejímu sesunutí dochází pod úhlem do 40° od kolmice k povrchu země. V žádném případě nedochází k odmršťování námrazy odstředivou silou do větších vzdáleností. Pozemky pod větrnými elektrárnami jsou v zimním období navštěvovány minimálně. O potenciálním nebezpečí tohoto druhu by mělo být obyvatelstvo blízkých obcí informováno.

## **Spalování biomasy**

Jako biomasa jsou v této souvislosti označovány materiály biologického původu, jako je rostlinná masa pěstovaná na půdě nebo ve vodě, živočišná biomasa, vedlejší organické produkty nebo organické odpady. Základem jsou rostliny, u nás zejména dřevní odpad, kůra, sláma, rychle rostoucí rostliny a dřeviny, zemědělské zbytky a exkrementy užitkových zvířat, odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, energeticky využitelný komunální odpad nebo kaly či plynné produkty z provozu čistíren odpadních vod.

Z hlediska ochrany životního prostředí je zde velmi nízká produkce CO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub>, významnější je produkce oxidů dusíku, které mohou mít ve vyšších koncentracích nepříznivé zdravotní účinky. Občasnou stížností v blízkém okolí spaloven biomasy bývá i obtěžování okolí zápachem.

## **Perspektivní zdroje energie**

V mezinárodním měřítku se intenzivně pracuje na využití nových principů získávání energie. Je to především řízená termonukleární reakce (jaderná fúze), tj. slučování jader dvou izotopů vodíku, deuteria a tritia. Jednalo by se o mimořádně efektivní energetický zdroj. Je inspirován produkcí energie ve Slunci. Široké využití v praxi se očekává do poloviny 21. století.

Pro menší zdroje (automobily aj.) se vyvíjí vodíková energetika (spalování vodíku). Široké využití se předpokládá v příštích desetiletích.

Oba uvedené zdroje jsou pro životní prostředí a pro člověka zcela neškodné, u jaderné fúze je odpadním produktem neaktivní helium, ve vodíkové energetice čistá voda.

## **Transport energie**

Místa spotřeby elektrické energie jsou většinou značně vzdálena od míst její výroby. Důsledkem je nutnost dopravy elektrické energie na velké vzdálenosti. K omezení ztrát během dopravy se v blízkosti elektráren produkovaný proud transformuje na vysoké voltáže a je veden krajinou v nadzemních vedeních velmi vysokého napětí (VVN, u nás 220 kV resp. 110 kV)

nebo zvláště vysokého napětí (ZVN, u nás 400 kV). V okolí těchto vedení se vytváří elektromagnetické (elm) pole.

Nejrůznějším elm polím je dnešní člověk soustavně exponován v souvislosti s rozvojem spotřeby elektřiny, technologickým pokrokem a změnami ve způsobu života, činností různých elektrických přístrojů v domácnostech, TV přijímačů a jejich obrazovek, obrazovek počítačů, mobilních telefonů a také vlivem radiových a televizních vysílačů a přenosové energetické sítě. Dalšími zdroji jsou tramvaje, vlaky, metro, bezpečnostní systémy v obchodech a na letištích (kontroly vstupu do budov, visačky na zboží detekované při východu z obchodů), radar a mnohé jiné.

Elm pole jsou vyvolána elektromagnetickým zářením o různé vlnové délce, kmitočtu a s různým kvantem předávané energie. Čím vyšší je kmitočet, tím kratší je vlnová délka a tím vyšší je i kvantum energie v daném poli. Kmitočty elm záření se vyskytují v mimořádně rozsáhlé škále zahrnující 14 řádů. V praxi jsou proto vedle základní jednotky Hz (1 Hertz = 1 kmit za vteřinu), užívány i jednotky vyšší: kHz (kilohertz, tj. 1000 Hz), MHz (megahertz, tj. 1000 kHz) a GHz (gigahertz, tj. 1000 MHz neboli 1 miliarda kmitů za vteřinu). S růstem kmitočtu rostou i biologické vlivy elm pole.

Dnes je v medicínském výzkumu věnována největší pozornost elm polím s vysokými kmitočty. Studují se především možné vlivy karcinogenní.

Elm pole v okolí VVN a ZVN mají vzhledem k zavedené frekvenci střídavého proudu 50 Hz ve srovnání s elm zářením z jiných zdrojů extrémně nízkou frekvencí a jsou tedy nepoměrně slabší. Kvantum šířené energie je zde nepatrné. Energie elm záření v okolí elektrického vedení je např. milionkrát nižší než u mobilních telefonů. Nejde již v pravém slova smyslu o pole elektromagnetické, jsou uvažována dvě vzájemně navazující pole, elektrické a magnetické. Od 70. let minulého století je však v laické i odborné veřejnosti opakovaně kladena a řešena otázka, zda i tato nízkofrekvenční pole mohou nepříznivě ovlivňovat zdraví.

Podnětem ke zkoumání možných zdravotních vlivů elm záření z vedení VVN a ZVN byly v 70. letech minulého století některé epidemiologické studie naznačující možnou souvislost blízkosti VVN s lehce zvýšeným výskytem dětských leukémií. Na to navázala dlouhá řada dalších výzkumů. Při nízkých expozicích, odpovídajících poměrům v okolí vedení VVN, byly provedeny tisíce laboratorních studií na pokusných zvířatech a tkáňových kulturách, a to bez jasných a jednoznačných závěrů. Efekty, pokud jsou, jsou zjevně malé a nekonzistentní.

Byly vyslovovány určité obavy i v souvislosti s možným rušením funkce implantovaných pacemakerů. Toto riziko bylo ověřováno výpočtem a z nich vyvozen závěr, že i když nelze vyloučit interferenci činností pacemakera, životu nebezpečný vliv takové interference je nepravděpodobný.

V zájmu ochrany zdraví obyvatelstva jsou pro stavby VVN a ZVN stanoveny limity určující v přízemní vrstvě maximální intenzitu elektrického pole  $E$  (v  $\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$ ) a maximální magnetickou indukci  $B$  v jednotkách mT (mikrotesla).

### **Další zdravotní vlivy**

#### **Narušování psychické pohody**

Ve veřejnosti je dnes známo, že vedení vysokého napětí vyzařuje do okolí určité množství elektromagnetického záření. V povědomí jsou různé věcné i zkreslené představy o zdravotních účincích tohoto el. pole, šířené tiskem i dalšími komunikačními médii. Lidé bydlící v blízkosti podobného vedení se proto mnohdy cítí znepokojeni, nepříznivě ovlivněni resp. i ohroženi.

### **Sršivý zvuk vodičů**

Za rušivý prvek by mohly být v některých případech považovány akustické jevy v okolí stožárů s izolátory („sršení“) resp. na vodičích („koróna“). Vznikají na vedení VVN za nepříznivého počasí s mlhami, jinovatkou apod. Za vlhka proto mohou na povrchu fázových vodičů probíhat drobné výboje, které jsou podkladem uvedených jevů

### **Úrazy elektrickým proudem**

Při haváriích vedení (přetržení vodičů, pád sloupů) v souvislosti s vichřicí, námrazou apod. by teoreticky mohlo dojít ke zranění nebo usmrcení osob pohybujících se v blízkosti. Toto riziko je při dodržení stávajících norem zanedbatelné.

*Zdroje energie neobnovitelné a obnovitelné  
nukleární elektrárny  
transport energie*