NOVÝ JADERNÝ ZDROJ V LOKALITĚ DUKOVANY

Vlivy na veřejné zdraví

Objednatel:	ÚJV Řež, a.s., divize ENERGOPROJEKT Praha
Datum:	únor 2017
Zpracovatel:	Amec Foster Wheeler s.r.o.

Záznam o vydání dokumentu

Název dokumentu	**Nový jaderný zdroj v lokalitě Dukovany** Vlivy na veřejné zdraví
Číslo dokumentu	C2010-16-0/Z1
Objednatel	ÚJV Řež, a.s., divize ENERGOPROJEKT Praha
Účel vydání	Final
Stupeň utajení	Bez omezení

Vydání	Popis	Zpracoval/a	Kontroloval/a	Schválil/a	Datum
01	Draft	J. Kotulán	T. Bartoš	P. Vymazal	3. 2. 2017
02	Final	J. Kotulán	T. Bartoš	P. Vymazal	28. 2. 2017

Nahrazuje-li tento dokument předchozí vydání, pak toto musí být zničeno nebo výrazně označeno NAHRAZENO.

Rozdělovník	4 výtisků	ÚJV Řež, a.s., divize ENERGOPROJEKT Praha
	4 CD	ÚJV Řež, a.s., divize ENERGOPROJEKT Praha
	1 výtisk	archiv Amec Foster Wheeler s.r.o.
	1 elektronická kopie	elektronický archiv Amec Foster Wheeler s.r.o.

© Amec Foster Wheeler s.r.o., 2017

Všechna práva vyhrazena. Žádná z částí tohoto dokumentu nebo jakékoliv informace z tohoto dokumentu nesmí být nad rámec smluvního určení vyzrazeny, zveřejněny, reprodukovány, kopírovány, překládány, převáděny do jakékoliv elektronické formy nebo strojově zpracovávány bez písemného souhlasu odpovědného zástupce zpracovatele, firmy Amec Foster Wheeler s.r.o.

Údaje o autorech

Autor/ka:

Prof. MUDr. Jaroslav Kotulán, CSc.

Držitel osvědčení odborné způsobilosti pro oblast posuzování vlivů na veřejné zdraví vydaného rozhodnutím Ministerstva zdravotnictví dle § 19 odst. 1 zákona č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí ve znění zákona č. 93/2004 Sb. a dle navazující vyhlášky č. 353/2004. Rozhodnutí vydáno dne 19.11.2004, č.j. HEM-300-26.8.04/25788, pořadové číslo osvědčení 1/Z/2004. Naposled obnoveno rozhodnutím téhož ministerstva ze dne 19.11.2014, č.j.: MZDR 58908/2014-3/OVZ.

Zemědělská 24, 613 00 Brno

Datum zpracování: 28. 2. 2017

Vedoucí projektu:

Ing. Petr Vymazal

Amec Foster Wheeler s.r.o., Křenová 58, 602 00 Brno
tel: 725 607 970
email: vymazal(at)amecfw.cz

Spolupracovali:

Titul	Jméno	Příjmení	Firma	Telefon	Email
RNDr., Ph.D.	Tomáš	Bartoš	Amec Foster Wheeler s.r.o.	+420 725 607 967	bartos(a)amecfw.cz

Dokument je zpracován textovým editorem MS Word, registrovaným u společnosti Microsoft.

Obsah

1 ÚVOD 7

2 METODICKÝ POSTUP 9

3 RADIAČNÍ VLIVY Z PROVOZU NJZ 11

3.1 Ionizující záření a jeho biologické účinky 11

3.1.1 Radioaktivita a ionizující záření 11

3.1.2 Druhy ionizujícího záření 12

3.1.3 Ozáření zevní a vnitřní 14

3.1.4 Ionizující záření v životním prostředí 15

3.2 Charakteristika vztahu dávky a účinku, limity 16

3.2.1 Pojmy, veličiny, jednotky 16

3.2.2 Účinky ionizujícího záření na živou hmotu 17

3.2.3 Dávky záření 19

3.2.4 Vztah dávky a účinku IZ, limity ozáření 20

3.2.5 Radiační ochrana 21

3.2.6 Radiační vlivy jaderných elektráren na obyvatelstvo 22

3.3 Radiační vlivy stávajícího provozu EDU1-4 na obyvatelstvo 23

3.3.1 Jaderná elektrárna Dukovany a její výpusti 23

3.3.2 Monitorování radiační situace v okolí EDU1-4 23

3.3.3 Expozice obyvatelstva 25

3.3.4 Individuální zátěže ionizujícím zářením z plynných a kapalných výpustí v kritických skupinách 26

3.3.5 Zdravotní stav obyvatelstva 30

3.4 Radiační vlivy NJZ a obyvatelstvo 37

3.4.1 Studie ABmerit 37

3.4.2 Pracovní postupy 40

3.4.3 Vypočtené radiační dávky 42

3.4.4 Zdravotní rizika 49

3.4.5 Radiační pozadí 52

3.4.6 Závěry k radiačním vlivům 53

4 NERADIAČNÍ VLIVY 54

4.1 Identifikace zdravotně významných vlivů 54

4.2 Znečišťování ovzduší 54

4.2.1 Oxid dusičitý 55

4.2.2 Suspendované částice v ovzduší (PM_{10} a $PM_{2,5}$) 57

4.2.3 Benzen 61

4.2.4 Benzo(a)pyren 62

4.2.5 Závěry ke stati o ovzduší 63

4.3 Hluk 63

4.3.1 Určení vztahu dávka – odpověď 64

4.3.2 Hodnocení expozice 65

4.3.3 Charakteristika rizika 67

4.4 Elektrické a magnetické pole 68

4.4.1 Charakteristika elektromagnetických polí 68

4.4.2 Vlivy elektrických a magnetických polí na člověka 70

4.4.3 Standardy, limity, doporučení 72
4.4.4 Další poznatky o vlivech elektrických vedení na obyvatelstvo 73
4.4.5 Posouzení konkrétní situace, porovnání s platnými standardy a limity 74
4.5 Závěry k neradiačním vlivům 75
4.5.1 Ovzduší 75
4.5.2 Hluk 75
4.5.3 Elektrické a magnetické pole 75
5 PSYCHOSOCIÁLNÍ VLIVY 76
6 ÚDAJE O ZDRAVOTNÍCH VLIVECH PŘESAHUJÍCÍCH STÁTNÍ HRANICE 77
7 CHARAKTERISTIKA NEDOSTATKŮ VE ZNALOSTECH A NEURČITOSTI 78
8 CELKOVÉ ZÁVĚRY 79
9 PODKLADY A LITERATURA 80
10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A TERMÍNŮ 82
11 PŘÍLOHY 85

Seznam tabulek

Tab. 1 Nominální rizikové koeficienty (10^{-2} Sv^{-1}) zdravotní újmy pro stochastické účinky po expozici nízkým dávkám záření 21
Tab. 2 Hodnoty součtu efektivních dávek a úvazků efektivních dávek z výpustí do ovzduší v kritické skupině obyvatelstva v roce 2014 28
Tab. 3 Hodnoty součtu efektivních dávek a úvazků efektivních dávek z výpustí do vodotečí v kritické skupině obyvatelstva v roce 2014 28
Tab. 4 Výpočet současného rizika (2014) zdravotní újmy z výpustí EDU1-4 do ovzduší pro člověka, který žil v kritické skupině ve věku 0 – 30 let 29
Tab. 5 Výpočet současného rizika (2014) zdravotní újmy z výpustí EDU1-4 do vodotečí pro člověka, který žil v kritické skupině ve věku 0 – 30 let 30
Tab. 6 Umístění všech sektorů výpočtové zóny pro NJZ 39
Tab. 7 Maximální efektivní dávky na reprezentativní osobu v blízkém okolí NJZ 43
Tab. 8 Nejvyšší celkové radiační dávky na území sousedních států 43
Tab. 9 Vybrané charakteristiky sektorů jižní výseče 44
Tab. 10 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z atmosféry (Sv) v sektorech jižní výseče sledované zóny při alternativě A (NJZ 2x 1200 MW_e, EDU1-4 vyřazování) 44
Tab. 11 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z atmosféry (Sv) v sektorech jižní výseče sledované zóny při alternativě B (NJZ 1x 1750 MW_e, provoz EDU2-4 a EDU1 vyřazovaní) 45
Tab. 12 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z atmosféry (Sv) v sektorech jižní výseče sledované zóny při alternativě C (NJZ 2x 1750 MW_e, EDU1-4 vyřazování) 45
Tab. 13 Seznam hodnocených sektorů v povodí Jihlavy a jejich některé charakteristiky 46
Tab. 14 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z hydrosféry a z atmosféry + hydrosféry (Sv) v sektorech v povodí Jihlavy při alternativě A (NJZ 2x 1200 MW_e, EDU1-4 vyřazování) 47
Tab. 15 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z hydrosféry a z atmosféry + hydrosféry (Sv) v sektorech v povodí Jihlavy při alternativě B (NJZ 1x 1750 MW_e, provoz EDU2-4 a EDU1 vyřazovaní) 47
Tab. 16 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z hydrosféry a z atmosféry + hydrosféry (Sv) v sektorech v povodí Jihlavy při alternativě C (NJZ 2x 1750 MW_e, EDU1-4 vyřazování) 48

Tab. 17 Riziko zdravotní újmy z maximálních efektivních dávek na reprezentativní osobu v blízkém okolí NJZ 50
Tab. 18 Riziko zdravotní újmy z maximálních efektivních dávek a úvazků efektivních dávek v sousedních zemích 51
Tab. 19 Riziko celoživotní zdravotní újmy v sektorech jižní výseče sledované zóny 51
Tab. 20 Riziko celoživotní zdravotní újmy v sektorech povodí Jihlavy k soutoku s Oslavou 52
Tab. 21 Riziko celoživotní zdravotní újmy v sektorech povodí Jihlavy za soutokem s Oslavou 52
Tab. 22 Roční efektivní dávky pro reprezentativní osobu (0-5 km od NJZ) a obyvatele ve vzdálenosti 5-20 km od NJZ....53
Tab. 23 Vybrané referenční body v nejbližším obytném území....54
Tab. 24 Emisemi nejvíce zatížené okrsky v průjezdních obcích 54
Tab. 25 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace oxidu dusičitého (μg.m^{-3})....56
Tab. 26 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – maximální hodinové koncentrace oxidu dusičitého (μg.m^{-3})....56
Tab. 27 Směrné hodnoty a postupné cíle pro suspendované látky v ovzduší: roční průměrné koncentrace (μg.m-^{3}), WHO 2006 58
Tab. 28 Směrné hodnoty a postupné cíle pro suspendované látky v ovzduší: 24hodinové koncentrace (μg.m^{-3}), WHO 2006....58
Tab. 29 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace tuhých látek frakce PM_{10} (μg.m^{-3}) 58
Tab. 30 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – maximální denní koncentrace tuhých látek frakce PM_{10} (μg.m^{-3}) 59
Tab. 31 Počty překročení limitu pro maximální koncentraci PM_{10} 59
Tab. 32 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace tuhých látek frakce $PM_{2,5}$ (μg.m^{-3})....60
Tab. 33 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace benzenu (μg.m^{-3})....61
Tab. 34 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace benzo(a)pyrenu (ng.m^{-3}) 62
Tab. 35 Prahové hodnoty prokázaných účinků hlukové zátěže – denní doba ($L_{Aeq,\ 6\text{-}22\ h.}$) 64
Tab. 36 Prahové hodnoty prokázaných účinků hlukové zátěže – noční doba ($L_{Aeq,\ 22\text{-}6\ h.}$) 64
Tab. 37 Referenční body pro hodnocení hluku z NJZ 65
Tab. 38 Příspěvky ze stacionárních zdrojů k místním hlukovým hladinám v nejbližším obytném území....65
Tab. 39 Hlukové hladiny (dB) v exponovaných průjezdních obcích v denní době v horizontu roku 2029 s účastí výstavby NJZ a bez ní 67
Tab. 40 Referenční úrovně střídavých elektrických a magnetických polí pro expozici všeobecné populace 73

Seznam obrázků

Obr. 1 Síť okruhů a výsečí v okolním území pro dávkové výpočty....28
Obr. 2 Exponované a kontrolní oblasti vybrané pro hodnocení zdravotního stavu 33
Obr. 3 Celková věkově standardizovaná úmrtnost v exponovaných a kontrolních oblastech. Pozn.: SMR = 100,0 označuje celostátní úroveň v ČR....34

Obr. 4 Věkově standardizovaná úmrtnost na srdečně cévní nemoci v exponovaných a kontrolních oblastech. Pozn.: SMR = 100,0 označuje celostátní úroveň v ČR 34
Obr. 5 Věkově standardizovaná úmrtnost na zhoubné nádory v exponovaných a kontrolních oblastech. Pozn.: SMR = 100,0 označuje celostátní úroveň v ČR 35
Obr. 6 Věkově standardizovaná incidence všech druhů nádorů společně v exponovaných a kontrolních oblastech. Pozn.: SIR = 100,0 označuje celostátní úroveň v ČR 35
Obr. 7 Vývoj incidence spontánních potratů v exponovaných a kontrolních oblastech v období 1994 až 2012 36
Obr. 8 Vývoj incidence dětí s nízkou porodní váhou v exponovaných a kontrolních oblastech v období 1994 až 2012 37
Obr. 9 Výpočtová zóna pro NJZ dle programu ESTE AI 38
Obr. 10 Větrná růžice 2014: Rozložení směru větru ve výšce 10 m v lokalitě Dukovany za r. 2014 41
Obr. 11 Změny celkových dávek a úvazků efektivních dávek z atmosféry se vzdáleností od NJZ při jednotlivých alternativách 46
Obr. 12 Změny celkových dávek a úvazků efektivních dávek z hydrosféry se vzdáleností od NJZ při jednotlivých alternativách 49

1 Úvod

Předmětem této studie je posouzení potenciálních zdravotních vlivů Nového jaderného zdroje v lokalitě Dukovany (dále NJZ), včetně všech souvisejících stavebních objektů a provozních souborů pro výrobu a vyvedení elektrické energie, a zdravotních rizik jak radiačních (z efektivních dávek, resp. úvazků efektivních dávek), tak neradiačních (ovzduší, hluk a další relevantní faktory).

Je hodnoceno období provozu i výstavby NJZ, včetně zohlednění spolupůsobícího vlivu existující EDU1-4 a dalších jaderných i nejaderných zařízení v lokalitě.

Při posuzování vlivu jaderné elektrárny (dále JE) na veřejné zdraví musí být hlavní pozornost pochopitelně zaměřena na ionizující záření jakožto potenciální škodlivý faktor spjatý s jejím provozem. Popis a analýza možných vlivů tohoto záření má význam nejen bezprostředně zdravotní, ale i psychologický. V povědomí veřejnosti se ionizující záření někdy jeví jako neviditelné a záludné nebezpečí, které může nejrůznějším skrytým způsobem ohrožovat zdraví i životy lidí. Obavy s tím spojené byly v nedávné historii vystupňovány dvěma haváriemi, v roce 1986 v ukrajinském Černobylu a v roce 2011 v japonské Fukušimě. I sebelépe zabezpečený provoz atomových elektráren tak zůstává pro část veřejnosti skrytou hrozbou a plány na jeho rozšíření se setkávají s odmítavými postoji a reakcemi. Seriózní odborné informace mohou zde přispět k reálnému pohledu na možná rizika, bez jejich podceňování i přeceňování.

Záměr výstavby NJZ vychází ze Státní energetické koncepce, má nahradit uhelné zdroje a v budoucnu postupně i stávající provozovanou jadernou elektrárnu Dukovany (EDU1-4). Záměr NJZ má být umístěn v těsném sousedstvím stávající provozované EDU1-4.

V rámci realizace záměru NJZ mají být vybudovány 1 až 2 nové bloky o čistém elektrickém výkonu do 2400 MW_e. V úvahu přichází několik realizačních alternativ: 1 nebo 2 bloky do 1200 MW_e nebo 1 blok do 1455 MW_e nebo 1 blok do 1750 MW_e. První blok NJZ by měl být uveden do provozu v roce 2035 a druhý (pokud bude) nejpozději do roku 2045. Do dokončení výstavby 2. bloku NJZ nebo nejpozději do roku 2045 se předpokládá i možný souběžný provoz stávající EDU. Při takovém souběhu je celkový výkon limitován kapacitou přenosové sítě, a to hodnotou 3250 MW_e.

Nabízí se řada realizačních alternativ, definitivní výběr dodavatele však není známý a za současné situace ani možný. Pro současné prognostické vyhodnocení radiačních vlivů na obyvatelstvo byly vybrány tři realizační výkonové alternativy:

- A) Provoz NJZ 2 x 1200 MW_e, EDU1-4 vyřazování. Při výpočtu dopadů je aplikován dlouhodobý výhledový průměrný průtok v řece Jihlava pod nádrží Mohelno = 3,3 m^3/s. Tato výkonová alternativa vede k vyšším radiačním vlivům než provoz NJZ 1 x 1200 MW_e a provoz EDU1-4.
- B) Provoz NJZ 1 x 1750 MW_e, provoz EDU2-4 a EDU1 vyřazování. Při výpočtu dopadů je aplikován dlouhodobý výhledový průměrný průtok v řece Jihlava pod nádrží Mohelno = 3,0 m^3/s.
- C) Provoz NJZ 1 x 1750 MW_e, EDU1-4 vyřazování. Při výpočtu dopadů je aplikován dlouhodobý výhledový průměrný průtok v řece Jihlava pod nádrží Mohelno = 3,7 m^3/s.

Všechny další možné realizační alternativy jsou pokryty těmito třemi uvedenými. Nejdůležitější (obalová), s největšími následky, je alternativa první (sub A), která má největší radiační dopady na okolí.

Časový harmonogram projektu je pro případ výstavby jednoho nebo dvou nových reaktorů NJZ, označovaných jako NJZ, předpokládán takto:

- 2025 - 2035: provoz EDU1-4 (do 2000 MW_e), výstavba 1. bloku NJZ, výstavba 2. bloku NJZ
- 2035 - 2045: *nižší výkonová alternativa NJZ (bloky do výkonu 1200 MW_e):*

  provoz EDU1-4 (do 2000 MW_e), provoz 1. bloku NJZ (do 1200 MW_e) a současně výstavba 2. bloku NJZ

  vyšší výkonová alternativa NJZ (blok do výkonu 1750 MW_e):

  provoz EDU2-4 (do 1500 MW_e), provoz 1. bloku NJZ (do 1750 MW_e), vyřazování EDU1
- 2045 - 2105: *nižší výkonová alternativa NJZ (bloky do výkonu 1200 MW_e):*

provoz dvou bloků NJZ (do 2400 MW_e), vyřazování EDU1-4

vyšší výkonová alternativa NJZ (blok do výkonu 1750 MW_e):

provoz jednoho bloku NJZ (do 1750 MW_e), vyřazování EDU1-4

Konzervativně bude uvažován překryv výstavby 1. a 2. bloku NJZ (odstup mezi započetím výstaveb 1 rok).

Podle státní energetické koncepce i národního akčního plánu rozvoje jaderné energetiky je prioritou provozovat co nejdéle za podmínek bezpečného a ekonomického provozu stávající bloky EDU1-4, minimálně do roku 2035-37. Podle doby uvedení jednotlivých bloků EDU1-4 do provozu (v letech 1985 - 87) je to ideálně do roku 2045-47.

Projektová životnost bloků NJZ je 60 let, jak to odpovídá standardním projektům PWR III+ generace.

Spuštění 2. bloku NJZ do provozu je možné až po ukončení provozu všech stávajících bloků EDU1-4. Pro případ, že by bylo nutné vyřadit EDU1-4 z provozu dříve než v roce 2045, je uvažována výstavba obou nových bloků s odstupem jen 1 rok. Vlivy výstavby (především navazující dopravy) jsou v tomto případě největší.

2 Metodický postup

Metodou posouzení zdravotních vlivů je zde riziková analýza (Risk Assessment), založená na postupech vypracovaných a neustále dále rozvíjených americkým Úřadem pro ochranu životního prostředí (US EPA) a v rámci Evropské Unie. Z nich vycházejí i směrnice Ministerstva životního prostředí ČR.

Hodnocení rizika (Risk Assessment) je odborná činnost zaměřená na zjištění povahy a pravděpodobnosti možných nepříznivých účinků, které mohou postihnout člověka a životní prostředí jako důsledek expozice chemickým nebo jiným škodlivinám.

Metodický postup konvenčního hodnocení rizika sestává ze čtyř navazujících kroků:

- **Identifikace nebezpečnosti (Hazard Identification)**

Jde o vstupní kvalitativní seznámení s hodnocenou lokalitou, přítomnými škodlivinami a okolnostmi jejich potenciálního nepříznivého účinku na obyvatelstvo. Základním výstupem tohoto kroku je seznam zdravotně významných škodlivin a zdůvodnění postupu, jímž byly vybrány. Seznam je doplněn popisem základních fyzikálních, chemických a toxikologických vlastností vybraných škodlivin a jejich pohybu a případných přeměn v životním prostředí, cest expozice, působení v organismu člověka a možných zdravotních efektů.

- **Určení vztahu dávka - odpověď (Dose - response Assessment)**

V tomto kroku je identifikován vztah mezi úrovní expozice a velikostí rizika[1]. Nebezpečnost škodliviny je často vyjadřována jako celoživotní riziko při jednotkové expozici.

Z hlediska typu zdravotních efektů se chemické i fyzikální škodliviny dělí do dvou základních kategorií:

- Škodliviny s prahovým účinkem, u nichž se předpokládá, že minimální dávky až do určité úrovně (prahu) nemají žádný nepříznivý efekt. Nad prahovou hodnotou pak závažnost účinku roste s velikostí expozice. Do této skupiny patří většina toxických látek.
- Škodliviny s bezprahovým účinkem, u nichž se předpokládá určitý nepříznivý efekt už od nejnižších dávek. Riziko tak roste s expozicí od její nulové úrovně, závislost dávky a účinku se v oblasti nízkých dávek vesměs považuje za lineární. Do této skupiny je řazena většina karcinogenních látek a také radioaktivní záření

Některé látky mohou mít obojí účinek, prahový i bezprahový (toxický i karcinogenní). V takovém případě vycházíme obvykle z účinku bezprahového, který bývá při nízkých úrovních škodlivin, které jsou v životním prostředí obvyklé, závažnější.

Hodnocení rizika z prahových a bezprahových škodlivin je principiálně odlišné.

U látek s prahovým účinkem je na základě výzkumných prací s pokusnými zvířaty a epidemiologických studií u lidí stanoven příslušný práh, označovaný zkratkou NOAEL. Tento práh je měřítkem toxicity dané látky. Čím je nižší, tím je látka toxičtější. Z hodnoty NOAEL je pak uplatněním bezpečnostního faktoru a faktoru nejistoty odvozena referenční dávka RfD, obvykle o tři i čtyři řády nižší (tj. přísnější) než NOAEL. Referenční dávka je definována jako odhad denní expozice pro lidskou populaci (včetně citlivých skupin), která při celoživotním působení pravděpodobně nezpůsobí poškození zdraví. Při inhalační expozici je stanovována obdobně definovaná referenční koncentrace (RfC).

U látek s bezprahovým účinkem se na základě vědeckého poznání určuje úroveň expozice, která je považována za přijatelnou. Označuje se zkratkou RsD (Risk-specific Dose). Při inhalační expozici se stanovuje obdobně pojatá referenční koncentrace RsC. Rozhodnutí o tom, co je přijatelné, je ovšem kontroverzní záležitost, posuzovaná různě v různých zemích a institucích. Jako nejpřísnější kritérium pro přijatelné riziko se užívá jeden případ zdravotního postižení na milion obyvatel ($1x10^{-6}$, resp. 1E-06), někdy se připouštějí i úrovně méně přísné, až do $1x10^{-4}$. Hodnota RsD resp. RsC je odvozena na základě síly karcinogenního účinku dané látky, tj. strmosti křivky dávka - účinek. Tato síla je charakterizována směrnicí vztahu dávka - odpověď v oblasti nízkých dávek (Slope Factor resp. Cancer Risk Unit). Poněvadž závisí na

[1] Rizikem se zde rozumí matematická pravděpodobnost, se kterou za definovaných podmínek dojde k poškození zdraví, nemoci nebo smrti. Teoreticky se pohybuje od nuly (žádné poškození) k jedné (poškození ve všech případech).

cestě expozice (vstupu do organismu), stanovuje se pro vstup orální (trávicím ústrojím) jako OSF (Oral Slope Factor) resp. pro vstup inhalační (dýchacím ústrojím) jako IUR (Inhalation Unit Risk).

Hodnoty RfD, RfC, RsD a RsC jsou označovány jako expoziční limity. Jejich stanovování je náročným multidisciplinárním vědeckým procesem, jímž se zabývají kompetentní instituce jako US EPA, WHO aj. V našem hodnocení budeme vesměs vycházet z expozičních limitů US EPA. V případě vlivu nízkých dávek ionizujícího záření je postup v principu shodný, jako kritéria jsou používány koeficienty vypracované Mezinárodní komisí pro ochranu před zářením (ICRP).

► **Hodnocení expozice**

Jde o odhad úrovní (dávek) jimiž jsou různé skupiny lidí (subpopulace) exponovány chemickým látkám nebo jiným škodlivým faktorům ze životního prostředí. Stupeň expozice závisí nejen na koncentracích látky ve složkách životního prostředí, ale i na místě pobytu a aktivitě lidí. U inhalačních expozic (vdechováním) záleží např. na tom, kolik času příslušníci jednotlivých subpopulací (včetně rizikových) tráví venku a v budovách, jak intenzivně venku dýchají (při práci resp. sportu), u orálních expozic (požitím) např. na tom, kolik pijí denně vody z místního zdroje, v jakých množstvích konzumují kontaminované potraviny apod. Zpracovávání expozičních podkladů je mimořádně složitou záležitostí, nejobtížnější z celého procesu hodnocení rizika.

► **Charakteristika rizika**

V tomto čtvrtém kroku se předpovídá zdravotní dopad na populaci resp. její dílčí skupiny na základě integrace poznatků o nebezpečnosti jednotlivých látek a údajů o expozici. Pro látky s prahovým účinkem se vypočte expoziční index ER (Exposure Ratio), tj. poměr expozice k příslušnému expozičnímu limitu nebo doporučované referenční úrovni. Je-li ER nižší než 1 je riziko zanedbatelné, je-li větší, je třeba jeho vliv podrobněji analyzovat. U karcinogenních látek se vypočítává riziko na počet obyvatel. Nejpřísnějším uváděným požadavkem je zde riziko v řádu 1E-06, tj. po celoživotní expozici 1 případ onemocnění (resp. úmrtí) na 1 milion exponovaných obyvatel.

K tomuto metodickému přehledu je třeba doplnit, že stanovení rizika popsaným postupem je nezbytné tam, kde pro danou látku v příslušné složce životního prostředí (ovzduší, vodě apod.) není stanoven limit resp. tam, kde tento limit je překročen. Limity jsou většinou vypracovány tak, aby s dostatečnou rezervou zaručovaly zdravotní nezávadnost resp. společensky přijatelnou míru rizika, a jsou-li dodrženy, daná situace z hlediska ochrany zdraví po právní stránce vyhovuje. U některých škodlivin jsou ovšem v odborné literatuře udávány nepříznivé účinky i při úrovních podlimitních. Z chemických škodlivin se to týká především suspendovaných látek v ovzduší, z fyzikálních hluku a ionizujícího záření. V těchto případech může být v rámci EIA vhodné na tyto skutečnosti poukázat. Pokud ale u dané škodliviny nemáme dost přesvědčivé údaje tohoto druhu, pak při dodržených limitech výpočet rizika popsanou metodou Risk Assessment obvykle neprovádíme.

Nový jaderný zdroj v lokalitě Dukovany (NJZ) by mohl ovlivnit veřejné zdraví jednak uvolňováním radionuklidů do ovzduší a do vody (radiační vlivy), jednak znečišťováním ovzduší, hlukem a některými dalšími faktory (včetně navazující dopravy) v době výstavby a v době provozu (neradiační vlivy). Radiační vlivy pojednáme vzhledem k jejich specifické povaze odděleně.

3 Radiační vlivy z provozu NJZ

3.1 Ionizující záření a jeho biologické účinky

3.1.1 Radioaktivita a ionizující záření

Fyzikálním základem vzniku ionizujícího záření je radioaktivita, tj. přirozená nebo uměle navozená schopnost některých nestabilních atomových jader samovolně se přeměňovat, vysílat přitom záření (elektromagnetické nebo korpuskulární) a přecházet tím do energeticky nižšího a stabilnějšího stavu.

Pro bližší objasnění problémů stability jader můžeme vyjít ze známé představy o struktuře atomu, vytvořené na počátku 20. století E. Rutherfordem a N. Bohrem, připomínající náš solární systém. I když je dnes známo, že struktura atomu je složitější, je uvedený model stále užitečnou aproximací k základnímu pochopení struktury atomu. Jádro atomu je tvořeno dvěma typy hmotných částic, nukleonů – pozitivně nabitými protony a elektricky neutrálními neutrony. Hmotnost obou je podobná. Kolem jádra krouží v jednom nebo více stálých vzdálenostních pásmech (energetických hladinách – orbitách) částice podstatně menší se záporným elektrickým nábojem – elektrony. Jsou 1800krát lehčí než neutrony a protony.

Vlastnosti prvku jsou dány počtem protonů v jádře. Tento počet je vyjadřován jako tzv. atomové (protonové) číslo, uváděné dolním indexem vlevo od značky prvku. S rostoucím počtem protonů vzniká pořadí prvků známé z Mendělejevovy periodické soustavy: s jedním protonem vodík 1H, se dvěma helium 2He atd. až k poslednímu přirozenému prvku v této řadě, uranu s 92 protony, 92U. Každý prvek je přitom směsí izotopů, lišících se počtem neutronů, tedy hmotností. Ta je charakterizována tzv. nukleonovým číslem (nazývaným též hmotovým číslo) udávajícím součet počtu protonů a neutronů v jádře. Nukleonové číslo je uváděno jako index nahoře vlevo od značky prvku, např. známý radioaktivní izotop uhlíku, který má na rozdíl od neutrálního uhlíku se 6 protony a 6 neutrony v jádře dva neutrony navíc, je proto označován jako 14C. Jiný používaný způsob označení, který je rovněž využíván v této studii, je C-14. Při slovním vyjádření popisu izotopů se používají výrazy např. uhlík 14, jod 131 apod.

Jádro je udržováno pohromadě mohutnými silami mezi nukleony. Existují ale také síly, které protony vlivem jejich pozitivního náboje navzájem odpuzují. Elektrické pole protonů zasahuje také mimo jádro, ke kterému váže elektrony. Atomy, v nichž je stejný nebo velmi podobný počet protonů a neutronů a uvedené síly jsou v náležité rovnováze, jsou stabilní. Jakákoliv změna v počtu, uspořádání a energii nukleonů může uvedenou rovnováhu rozvrátit. Dochází k tomu v izotopech se zvýšeným nebo sníženým počtem neutronů. Tyto sice mají podobné fyzikální vlastnosti, ale jejich stálost klesá s mírou vzdálení od ideálního poměru počtu nukleonů na kteroukoli stranu. Při větších odlišnostech od uvedeného ideálu jsou izotopy nestabilní a podléhají radioaktivnímu rozpadu. Označujeme je jako radioizotopy resp. radionuklidy. Jsou buď přirozené, nebo uměle vytvořené. Izotopické formy má každý známý prvek, těžší prvky mají tendenci k většímu počtu izotopů. V přírodě existuje 256 nuklidů, které je možno považovat za stabilní a asi 80 radionuklidů. Více než 1000 dalších radionuklidů bylo připraveno uměle.

V radiační fyzice existuje i pojem izomery. Jsou to dva nuklidy, které mají stejný počet protonů i neutronů, ale různé energetické stavy. Vykazují odlišný průběh radioaktivního rozpadu.

Každý radioizotop má tendenci zvýšit svoji stálost změnou počtu svých neutronů nebo protonů (nebo obou). Toho je možno dosáhnout několika cestami: konverzí neutronů na protony, konverzí protonů na neutrony nebo vystřelením alfa částice (2 protony a 2 neutrony). Každá změna jádra spojená s emisí částic nebo energie je označována jako dezintegrace (nebo transformace). Aktivitou rozumíme počet dezintegrací za jednotku času.

Při změně počtu nukleonů (protonů a neutronů) vydává jádro energii v podobě ionizujícího záření. Při změně počtu protonů se mění daný prvek, při změně počtu neutronů je zachován, ale jako izotop. Cesta atomu ke stabilitě může být dlouhá a procházet řadou dílčích kroků, které jsou pro daný nuklid charakteristické a tvoří rozpadovou řadu.

Radioaktivní atomy (radionuklidy) se přeměňují zákonitým způsobem, pro každý je typický určitý postup probíhající určitou rychlostí.

V přírodních radioaktivních prvcích existují tři rozpadové řady s počátečním prvkem radioaktivním a konečným prvkem stabilním:

- řada uran-radiová začíná $^{238}{}_{92}U$ a končí $^{206}{}_{82}Pb$,
- řada aktiniová začíná $^{235}{}_{92}U$ a končí $^{207}{}_{82}Pb$,
- řada thoriová začíná $^{232}{}_{90}Th$ a končí $^{208}{}_{82}Pb$.

Rychlost rozpadu radionuklidů vyjadřujeme jako **poločas rozpadu** (popisovaný obvykle zkratkou T1/2), tj. dobu potřebnou k dezintegraci poloviny radioaktivních atomů přítomných v době, kdy začíná měření. Pro každý radionuklid zůstává jeho poločas konstantní. Postupující rozpad probíhá exponenciálně. Po uplynutí dvou poločasů zbývá 25 % počáteční aktivity, po 7 poločasech méně než 1 %. V první uvedené rozpadové řadě má nejdelší poločas rozpadu U-238, 4,5 miliard let, nejkratší pak radon Rn-222, jehož poločas rozpadu činí jen 3,8 dní.

Při dezintegraci radionuklidu je přebytečná energie emitována jako radioaktivní záření. To může být jednak korpuskulární (alfa a beta), jednak elektromagnetické (gama). Zvláštní formou je záření neutronové. Zářením (radiací) zde rozumíme energii pohybující se ve formě částic nebo vln.

Při interakci s ozařovaným materiálem může radioaktivní záření vyvolat ionizaci. Je to odloučení, vyražení nebo jiné odstranění elektronů z jejich orbitálních drah. Tím se naruší elektricky neutrální atomy, v nichž existuje rovnováha mezi pozitivně nabitými protony v jádře a negativně nabitými elektrony na orbitálních drahách. Výsledkem je na jedné straně vznik volných záporně nabitých elektronů a na straně druhé pozitivně nabitých zbytků atomu. Takto elektricky nevyrovnané části atomu, s převahou kladného nebo záporného elektrického náboje, jsou označovány jako ionty. Radioaktivní záření, které jejich vznik vyvolává, je proto též označováno jako záření ionizující. Negativně nebo pozitivně nabité ionty jsou charakterizovány nestálostí a vyšší reaktivitou a při střetání s jinými látkami v nich mohou vyvolávat chemické nebo elektrostatické změny. Závažné důsledky to může mít v živých tkáních.

Účinek záření závisí na energii, hmotě a náboji částic resp. fotonů. Záření gama má vysokou pronikavost, ale jeho ionizační účinek je ve srovnání s korpuskulárním zářením podstatně slabší, ionizuje „řídce“ (má relativně nízkou měrnou ionizaci, tj. počet vytvořených iontů na jednotku dráhy). Je (spolu s podobně působícím rtg zářením) v odborné literatuře označováno anglickým termínem jako low–LET radiation, záření velmi málo ionizující podél svých drah. Nabité částice korpuskulárního záření mají naopak malou pronikavost a ionizují hustě.

Ionizující záření nemůže být detekováno smysly, k jeho zjištění a hodnocení jsou nezbytné měřicí přístroje. Je možné měřit též ionizaci jakožto důsledek ozáření a tak hodnotit a případně regulovat jeho efekt.

Každé záření nemusí být ionizující. Existuje celá škála dalších typů elektromagnetického záření s vyššími vlnovými délkami, které nevytvářejí elektricky nabité částice. Uvolňují též energii do ozářené hmoty, ale nevytvářejí ionty. Je to kategorie neionizujícího záření, k níž patří (v pořadí klesajících frekvencí a rostoucích vlnových délek) ultrafialové, viditelné a infračervené záření, radar a další mikrovlnné radiace, záření radiových frekvencí aj.

3.1.2 Druhy ionizujícího záření

Základní druhy ionizujícího záření jsou tedy čtyři:

- záření alfa (α),
- záření beta (β),
- záření gama (γ) a rentgenové (rtg),
- záření neutronové.

Záření alfa

Záření alfa je proud α-částic, složených ze dvou protonů a dvou neutronů (jako jádro helia). Ve srovnání s jinými částicemi ionizujícího záření jsou částice alfa nejtěžší a nesou největší (kladný) náboj. Proto mají poměrně nízkou rychlost a malou pronikavost (nízkou penetrační vzdálenost). Šíří se rychlostí asi 2x nižší než světlo, ve vzduchu cestují nanejvýš 10 až 18 cm. Mají tendenci postupovat po přímce a způsobují v malém prostoru velký počet ionizací. Energii přitom vydají během několika cm, pak už pojmou volné elektrony a dále nezpůsobuje ionizaci prostředí. Zastaví je list papíru nebo svrchní vrstva mrtvých buněk na kůži. Externě proto nepředstavují žádné riziko. Nebezpečné jsou, když proniknou do organismu (tj. při vnitřní expozici), v nejbližším okolí dané tkáně silně ionizují. Zvyšují riziko rakoviny, např. při inhalaci zvyšují riziko rakoviny plic. Jejich efekt se přitom soustřeďuje vždy jen na malou tkáňovou oblast. Expozice obyvatelstva k

záření alfa je největší z radonu a jeho dceřiných produktů. Pro ochranu proti zevní kontaminaci je třeba chránit tkáně nekryté kůží – oči a otevřené rány.

Alfa záření vzniká rozpadem atomů, kde je poměr neutronů k protonům příliš nízký. Jedná se vesměs o atomy s vysokým nukleonovým číslem. Mimo některé výjimky mají atomové číslo nejméně 82 (prvek olovo). Patří k nim: americium $^{241}_{95}Am$, plutonium $^{236}_{94}Pu$, uran $^{238}_{92}U$, thorium $^{232}_{90}Th$, radium $^{226}_{88}Ra$, radon $^{222}_{86}Rn$ a polonium $^{210}_{84}Po$. Po vystřelení alfa částice poklesne počet protonů v opuštěném jádře, což vede ke změně atomu na jiný prvek. Např. polonium-210 se vyzářením alfa částice změní v atom olova-206, které je stabilní (neradioaktivní).

Většina zdrojů alfa záření se vyskytuje přirozeně, je to např. uran-238, radium-226 a další radionuklidy rozpadové řady uranu. Jsou přítomny v různých množstvích téměř ve všech horninách, v půdě a vodě. Možnost expozice lidí roste při těžbě minerálů. Vysoké koncentrace jsou v odpadech z těžby uranu.

Záření beta

Záření β (beta) vzniká transformací neutronu na proton nebo protonu na neutron. Podle toho emituje elektron e- a současně neutrino nebo positron e+ a antineutrino. Podle toho se rozlišuje záření β- (záporně nabité elektrony) a podstatně vzácnější β+ (kladně nabité pozitrony). Souborně jsou označovány jako β částice. Pronikavost beta záření je vyšší než u záření alfa, zachytí je ale např. 1 cm plexiskla nebo 1 mm olova. Hmota beta částic je nízká, odpovídá 1/1800 hmoty protonu nebo neutronu. Díky náboji a nízké hmotě se β částice mohou pohybovat ve vzduchu až do vzdálenosti cca 3 m a mohou procházet velmi tenkými vrstvami různých materiálů, např. aluminia. Mohou pronikat několik mm do tkání, a tedy i do živých vrstev kůže a jsou proto rizikem zevním i vnitřním. Mohou být nebezpečné i pro oční čočky. Přes kůži se ale nedostanou dostatečně daleko, aby zasáhly vitální orgány. Beta částice většinou zastaví také oděv. Nejlépe jsou odstiňovány tenkou vrstvou lehkých kovů. Nejčastěji je pro svou dostupnost a mechanické vlastnosti používán hliník.

Když negativně nabité beta částice ztratí svoji energii, chovají se jako každý jiný volný elektron a jsou jak v zevním prostředí, tak i v těle sbírány pozitivními ionty.

Beta částice jsou podobně jako alfa velmi škodlivé uvnitř těla. Některé nuklidy s beta zářením se např. mohou ukládat v kostech. Jestliže je kůže exponována velkým dávkám beta radiace po dlouhou dobu, může dojít ke spálení kůže podobnému tepelným spáleninám. Stále jsou v těle přítomny radionuklidy draslík-40 a uhlík-14, doplňované z potravy a z ovzduší. Tyto jsou ovšem jen slabými beta zářiči. Beta zářiči jsou také některé rozpadové produkty radonu, ale mnohem větším zdravotním rizikem je u nich alfa záření.

Beta zářiče jsou rozsáhle využívány zvláště v lékařské diagnostice, zobrazování a léčení, např. jod-131 k léčení poruch štítné žlázy. K výzkumným účelům je užíván fosfor-32 a stroncium-90. Tritium (H-3) je využíváno při studiu živých organismů, metabolismu léků a hodnocení bezpečnosti nových léků, pro letecké a komerční označování nouzového východu (exit), pro luminiscenční ciferníky, měřidla a náramkové hodinky. Beta zářiče se užívají i v různých technických nástrojích, např. průmyslových měřidlech tloušťky velmi tenkých materiálů. Emiterem záření β je také známý uhlík-14 (s poločasem rozpadu 5 730 let) používaný k datování stáří archeologických nálezů starých až cca 50 000 let radiokarbonovou metodou.

Před časem bylo hlavním lidmi vyrobeným beta zářičem stroncium-90 z radioaktivního spadu po pokusech s nukleárními zbraněmi od 50. do začátku 90. let minulého století. Většina tohoto stroncia se už rozpadla. Atomové testy také uvolnily do životního prostředí velká množství cesia-137. I když vyzařuje také beta částice, gama záření je u něj závažnější. Část tohoto Cs-137 zůstává ještě v prostředí, ale většina už též vyzářila.

Záření beta je často doprovázeno zářením gama. Pokud vyzáření beta částice nezbaví jádro přebytečné energie, pak jádro vyzáří zbývající energii ve formě gama fotonu.

Záření gama (a záření rentgenové)

Záření gama (γ) je elektromagnetické vlnění vysoké frekvence. Gama paprsek je balíček elektromagnetické energie, tzv. foton, čistá energie, která nemá žádnou klidovou hmotnost ani žádný náboj. V mnohém se tak podobá viditelnému záření, ale má mnohem více energie. Fotony gama mají cca 10tisíckrát více energie než fotony ve viditelné části elektromagnetického spektra. Díky těmto svým vlastnostem (vysoká energie, bez hmoty, bez náboje) se pohybují rychlostí světla a než vydají svou energii, mohou ve vzduchu urazit stovky a tisíce metrů. Gama záření existuje pouze po dobu, kdy má energii. Jakmile ji vyčerpá, ať ve vzduchu nebo v pevných materiálech, přestává existovat.

Fyzikální povahou je gama zářením zcela shodné záření rentgenové (rtg). Jisté odlišnosti jsou pouze ve vlnových délkách. Gama záření je v oblasti vlnových délek kolem nebo pod 10^{-12} m, rtg záření označované jako tvrdé 10^{-12} m až 10^{-11}, rtg záření měkké 10^{-11} m až 10^{-10} m. Rentgenové záření má tedy vlnové délky spíše kratší, ale s vlnovými délkami gama záření se poměrně rozsáhle překrývá. Rozdíl mezi obojím zářením je dán především jejich původem: gama záření je přirozeným produktem rozpadu atomového jádra některých nestálých atomů, rtg záření vzniká změnami v orbitálních pozicích elektronů. Vyrábí se uměle v Röntgenově trubici („rentgence“) vysokoenergetickým proudem elektronů produkovaných katodou a narážejících na povrch wolframové anody, která je zabrzdí a přitom produkuje rtg záření.

Gama záření i rtg záření mají velmi vysokou pronikavost, mohou procházet mnoha druhy materiálů, včetně lidských tkání. Jako bariéry ke zpomalení nebo zastavení gama fotonů se používají tlusté štíty z kovů velké hustoty (např. z olova) nebo ze slitin takových kovů. Uplatňují se i jiné husté materiály. Např. 6 cm hustého betonu absorbuje přibližně 50 % typických gama paprsků. Stejně efektivní je vrstva 13 cm vody.

Zdroje gama záření často produkují současně i záření beta a v menší míře i alfa.

Primárními zdroji expozice lidí gama záření jsou přirozeně se vyskytující radionuklidy, zvláště draslík (kalium)-40 (v půdě, ve vodě, a také v mase a jiných potravinách), a dále radium užívané v nukleární medicíně. Expozice gama nebo rtg záření je většinou zevní. Nuklidy emitující gama záření však mohou být i vdechnuty, požity s vodou nebo potravou a stát se tak zdroji vnitřními. Ozařují v těle mnohem širší okolí než alfa nebo beta. Primárním nebezpečím pro populaci je gama záření při radiačních mimořádných událostech. Také nemoc z ozáření je většinou způsobena gama zářením.

Zdroje záření gama mají široké praktické využití. V technice jsou výhodné tím, že pronikají mnoha různými materiály a nezpůsobují přitom jejich radioaktivitu. Tři nejužívanější jsou kobalt-60 (léčení rakoviny, sterilizace zdravotnického vybavení v nemocnicích, pasterace některých potravin a koření, měření tloušťky kovu v ocelárnách, aj.), cesium-137 (k léčení rakoviny, měření toku kapalin, pro průzkum podzemních vrstev a ropných vrtů, měření hustoty půdy v místech výstavby, ověřování správného naplnění obalů, aj.) a technecium-99m (pro diagnostické studie, zobrazování mozku, kosti, jater, sleziny a ledvin a také pro studie krevního proudu, aj.).

Neutronové záření

Vedle alfa, beta a gama záření, která jsou nejčastějším produktem radioaktivního rozpadu, vyzařují nestálá jádra nadbytečnou energii i jinak, např. vystřelováním neutronů. Neutronové záření je proud volně se pohybujících neutronů. Nemají náboj a mají hmotu zhruba stejnou jako protony. Mohou varírovat od vysokorychlostních a vysoce energetických částic až po částice s nízkou rychlostí a nízkou energií (označované jako termální neutrony). Cestují prostorem samostatně, a to ve volném ovzduší až do 1 km, mají vysokou pronikavost, snadno pronikají i do lidského těla. Ztrácejí svoji energii většinou kolizí s protony vodíkových atomů.

Neutronové záření silně ionizuje, a to nepřímo. Když neutron ztratí dost energie, může být zachycen jádrem a daný atom se tím stane radioaktivním. Ten pak emituje alfa, beta nebo gama záření. Těžké atomy, jako olovo, nejsou pro odstínění neutronů dost účinné. Nejlepšími stínícími materiály jsou takové, které obsahují atom vodíku, např. voda, a také polyetylen a beton. Externí ozáření neutrony je vážnou hrozbou při nukleárním výbuchu. Může být nebezpečné i v profesionálním prostředí jaderných zařízení. V běžném prostředí lidí je vzácné.

Neutronové záření je využíváno k výzkumu subatomárních struktur hmoty. Na pracovištích s nebezpečím explozí je také užíváno jako součást technologie k vyšetřování přítomnosti výbušných a jinak nebezpečných substancí. V lékařství se neutronové záření užívá k produkci lékařských izotopů a také přímo jako součást některých terapeutických postupů.

3.1.3 Ozáření zevní a vnitřní

Ozáření zdrojem umístěným vně těla označujeme jako ozáření zevní (externí). V tomto případě tělo absorbuje radiaci jen po dobu expozice uvedenému zdroji a jenom v těch částech těla, které jsou tomuto zdroji vystaveny. Externí radiace může přicházet jednak ze vzdáleného zdroje, jednak z kontaminace kůže nebo oděvu. Všeobecně platí, že největší dávky externího radioaktivního záření dostává kůže. Dávka do hlubších tkání, pokud je ozářeno celé tělo, je označována jako dávka celotělová. Zevnímu záření je možno čelit odstíněním nebo opuštěním ozářeného prostoru.

Pokud jsou zdroje umístěny uvnitř organismu, jedná se o ozáření vnitřní. Přirozeným zdrojem vnitřního ozáření člověka jsou především draslík-40, uhlík-14 a radionuklidy rozpadových řad uranu a thoria. Tyto pocházejí z běžného životního prostředí a jsou v těle přítomny v rovnovážné koncentraci. Míra tohoto přírodního vnitřního ozáření může být značně zvýšena v místech zvýšeného výskytu radonu.

Při antropogenní kontaminaci životného prostředí uměle produkovanými radionuklidy může dojít k nárůstu vnitřního ozáření, pokud pronikají do těla inhalací, ingescí nebo poraněním. Vnitřní ozáření je nebezpečnější než zevní tím, že před ním není úniku a neposkytuje možnosti odstínění. Určitý ochranný význam mohou mít léky urychlující vylučování radionuklidů z těla, resp. zabraňující uložení radionuklidů v těle.

Podle druhu mohou být radionuklidy zadrženy v tkáních nebo vyloučeny močí či stolicí. Podle charakteru pohybu a metabolismu daného prvku mohou být zdroje vnitřního ozáření v těle různě rozptýleny v rozsáhlejších oblastech organismu nebo naopak koncentrovány v určitém orgánu (např. jod-131 ve štítné žláze, stroncium-90 v kostech aj.).

3.1.4 Ionizující záření v životním prostředí

V běžném životním prostředí působí dvojí typ IZ:

- záření přírodní,
- záření umělé.

Záření přírodní

Přírodní záření je trojího druhu:

- záření kosmické,
- záření terestriální,
- vnitřní ozáření přírodními radionuklidy.

Způsobuje největší část celkového ozáření obyvatelstva. Je nevyhnutelně spjato se životním prostředím a člověk nemá proti němu možnosti ochrany nebo obrany.

Kosmické záření má dvojí původ. Jednak ze slunce, jednak z hlubinných oblastí vesmíru (záření galaktické). Sluneční komponenta kosmického záření pochází především ze slunečních erupcí. V rozhodující míře je tvořeno protony. Galaktické kosmické záření se skládá také převážně z protonů, ale také z jader helia a ve stopách z těžších jader prakticky všech prvků periodické soustavy a elektronů. Zatímco úroveň galaktického záření je stálá, sluneční komponenta skokově narůstá při slunečních erupcích.

Kosmické záření proniká do vysokých vrstev zemské atmosféry, která působí jako ochranná zástěna a podstatně redukuje záření, které dopadá na povrch Země. V atmosféře kosmické záření reaguje s jejími částicemi, atomy a molekulami. Vzniká při tom sekundární vysokoenergetické záření, které tvoří mezony, neutrony, protony, a zčásti i záření gama. Je to tzv. sekundární složka kosmického záření. Na Zemi se tak dostávají jeho vlivem tzv. kosmogenní radionuklidy, tritium (H-3), uhlík-14, beryllium-10, sodík-22 aj.

Radionuklid C-14 se neustále vytváří interakcí neutronů kosmického záření s oxidem uhličitým v atmosféře. V průběhu života je doplňován do organismů z okolního prostředí. Veškerá organická hmota (rostlinná i živočišná) obsahuje proto radioaktivní uhlík C-14. Po smrti se jeho doplňování zastaví. Na této skutečnosti je založeno určování stáří organických materiálů z archeologických nálezů tzv. uhlíkovou (radiokarbonovou) metodou.

Intenzita kosmického záření na povrchu Země je závislá na nadmořské výšce (s rostoucí výškou stoupá plynule asi do vzdálenosti 20 km) a také na zeměpisné šířce. Má vliv na celou populaci, ale zvláště významně se podílí na ozáření osob v letadlech a kosmických lodích.

Průměrná dávka z kosmického záření je v nížinných zeměpisných polohách kolem 0,3 mSv za rok. Mnohem vyšší dávky, až do 1,4 mSv/rok, dostávají lidé žijící ve vyšších polohách.

Terestriální záření vzniká rozpadem radioaktivních prvků v horninách geologického podloží a v půdě (uran 238, uran 235, thorium 232 a jejich rozpadové produkty - radioizotopy bizmutu, aktinia, polonia, radia, olova, ruthenia, thalia aj.). Nejrozšířenějším produktem je radioizotop draslíku K-40, běžně přítomný i v potravinách (desítky až stovky Bq/kg). Množství radioaktivních prvků je geograficky rozmanité v závislosti na geologickém podloží. Značné jsou proto i rozdíly v úrovni terestriálního záření. Tak např. v USA dávkové

příkony tohoto typu radiace pro tělo mohou kolísat přibližně mezi 0,15 a 1,4 mSv/rok. Průměr činí přibližně 0,4 mSv/rok.

Expozice obyvatel terestriálním radionuklidům může být zvyšována některými průmyslovými činnostmi (těžba a zpracování uranu aj.).

Významnou komponentou terestriálního záření je radon (Rn-222), radioaktivní plyn uvolňovaný v geologickém podloží jako rozpadový produkt uranové řady. Půdou stoupá vzhůru a proniká na zemský povrch. Ve volném terénu je ředěn vzdušnými proudy, takže jeho koncentrace ve volném ovzduší je nízká a zdravotně nevýznamná. Dostává-li se však do budov, může se ve vnitřních prostorách kumulovat a dosahovat vyšší koncentrace. Týká se to staveb, které nejsou dokonale izolovány od podloží.

Vnitřní ozáření způsobují přírodní radionuklidy přítomné v těle. Jsou to malá množství především draslíku-40, uhlíku-14, a také dalších radionuklidů rozpadových řad uranu a thoria. Vyskytují se v těle v rovnovážné koncentraci v důsledku neustálého vstupu z potravin, vody a vzduchu na straně jedné a metabolického vylučování na straně druhé.

Průměrná hodnota efektivní dávky z přírodních zdrojů pro státy Evropské unie je 2,2 mSv za rok. V České republice se v závislosti na charakteru podloží významně projevuje příspěvek radonu a jeho dceřiných produktů. Průměrná efektivní dávka z ozáření z přírodního pozadí je proto u nás vyšší, na úrovni 3,4 mSv za rok.

Záření umělé

K nevyhnutelné dávce IZ z přírodního pozadí přistupuje dále expozice lidí v důsledku ozáření z různých umělých antropogenních zdrojů. Ionizující záření dnes nachází široké uplatnění v různých oblastech lidské činnosti a podílí se tak na celkovém ozáření obyvatelstva. K nejvýznamnějším zdrojům patří z tohoto hlediska zdroje zdravotnické, rentgen a radioizotopy využívané k diagnostickým a terapeutickým účelům. Odhaduje se, že na 1 obyvatele připadá průměrně 1 rtg diagnostika ročně a celotělová dávka z těchto procedur může dosáhnout až 1,5 mSv/rok.

Nepatrně přispívají různé materiály obsahující stopy radioizotopů, např. stavební materiály, těžba rud, fosfátová umělá hnojiva, popílek z tepelných elektráren, výpusti atomových elektráren, dále svítící barvy na ciferníících různých přístrojů, záření emitující komponenty televizních a počítačových obrazovek, různé přístroje, detektory kouře, startéry ve svítidlech, tyristory, a jiné spotřební výrobky. V dřívější době, zejména v 60. letech minulého století, byl významným antropogenním zdrojem i globální radioaktivní spad v důsledku zkoušek atomových zbraní. Po ústupu masového výskytu zkoušek záření z tohoto zdroje značně pokleslo. Obdobně se na celkovém ozáření může podílet i spad z havárií jaderných elektráren.

3.2 Charakteristika vztahu dávky a účinku, limity

3.2.1 Pojmy, veličiny, jednotky

Z pojmů a jednotek z oboru radiologie a radiační ochrany zde uvedeme jen několik základních, které v této studii používáme.

Aktivita charakterizuje sílu zdroje záření, množství radioaktivity (frekvenci radiových přeměn) v daném vzorku materiálu. Je definována jako počet radioaktivních přeměn v definované hmotě zdroje za jednotku času. Jednotkou SI aktivity je **Becquerel (Bq)**, tj. takové množství radioaktivity, kdy dochází k jedné radioaktivní přeměně za sekundu.

Dříve byla a v některých zemích je zčásti dosud používána jednotka 1 curie (Ci). Přepočet: 1Ci = 3,7 x10^{10} Bq, 1 Bq = 2,7 x 10^{-11} Ci.

Dávka (absorbovaná dávka) je základní fyzikální veličinou pro radiologickou ochranu. Charakterizuje stav ozářené hmoty. Je to hmotnostní hustota energie předané ionizujícím zářením ozářené látce (u živých organismů tkáni) a v ní absorbované, resp. průměr distribuce energie uložené v objemu tkáně. V každém bodě látky je dobře definována. Jednotkou v soustavě SI je **Gray (Gy)**, 1 Gy = 1 joule/kg látky (tkáně).

Starší jednotkou je **rad** (absorbed dose of radiation). Přepočet: 1 rad = 0,01 Gy, 1 Gy = 100 rad. Pro záření rtg a gama byla užívána též jednotka rentgen, také röntgen či roentgen **(R)**. Přepočet je zde složitější, neboť absorbovaná dávka závisí na materiálu a typu záření. Například lidské tělo při expozici 1 rentgenu záření gama absorbuje dávku přibližně 1 rad (0,01 Gy).

Ekvivalentní dávka je veličina, umožňující vyjadřovat biologické účinky různých druhů záření a jejich směsí jednotným, srovnatelným způsobem. Reakce živých tkání exponovaných různým druhům záření není totiž přímo úměrná fyzikální dávce D. Hustě ionizující korpuskulární záření (alfa, beta) v nich má při stejné dávce podstatně vyšší účinky. Tyto rozdíly relativní biologické účinnosti jsou pro jednotlivé druhy záření vyjádřeny jakostním činitelem Q. Jeho pomocí je pak stanovován dávkový ekvivalent H, který převádí biologickou účinnost záření různých radionuklidů na společného jmenovatele a umožňuje z tohoto hlediska jejich srovnávání. Dávkový ekvivalent je dán vztahem H = Q x D.

Jednotkou dávkového ekvivalentu, tedy ekvivalentní dávky, je **Sievert (Sv)**. V případě záření gama je jeho hodnota shodná s Gy (jakostní činitel je pro gama záření roven 1), u korpuskulárního záření je při stejné dávce vyšší. Charakterizuje jednotně biologické účinky záření pro libovolné radionuklidy a jejich kombinace. Není přímo měřitelná, odvozuje se výpočtem. V ochraně před zářením je to jednotka nejčastěji používaná. Je poměrně velká, v praxi se obvykle pracuje s jejími díly, milisieverty (mSv) nebo mikrosieverty (µSv).

Starší jednotkou je **rem** (Roentgen equivalent man). Přepočet: 1 rem = 0,01 Sv; 1 Sv = 100 rem.

Efektivní dávka bere v úvahu podíl jednotlivých ozářených tkání na celkovém ozáření těla. Je váženým součtem ekvivalentních dávek na všechny ozářené tkáně a orgány, neboť různé tkáně jsou různě radiosenzitivní z hlediska pravděpodobnosti karcinogenních účinků. Umožňuje vyjádřit jediným číslem radiační zátěž těla při nerovnoměrném ozáření jeho částí, jak je tomu při lékařské aplikaci ionizujícího záření a mnohdy také v profesionálních expozicích. Při rovnoměrném ozáření celého těla určitým druhem záření je efektivní dávka shodná s dávkou ekvivalentní. Jednotkou je i zde **Sievert (Sv)**.

Kolektivní efektivní dávka - osoba-Sv součet efektivních dávek všech jednotlivců v určité skupině. Má význam např. při prognóze zdravotního dopadu různých variant radiačních projektů na obyvatelstvo.

Úvazek efektivní dávky E(τ)[2], popř. úvazek ekvivalentní dávky HT(τ) je časový integrál příkonu efektivní dávky, popř. ekvivalentní dávky po dobu τ od příjmu radionuklidu. Užívá se při hodnocení dopadu vnitřního ozáření, které na rozdíl od zevního nekončí zastavením expozice, ale pokračuje ještě po řadu dalších let, někdy i velmi dlouho (závisí na efektivním poločasu rozpadu přijatých a v těle setrvávajících radionuklidů). Není-li uvedeno jinak, pro celoživotní expozici se obvykle počítá doba 50 let pro příjem radionuklidů u dospělých a období do 70 let věku pro příjem radionuklidů u dětí. Obdobně je definován také úvazek kolektivní efektivní, popř. ekvivalentní dávky. Jednotkou je i zde **Sievert (Sv)**.

Celková dávka je součet externích a interních dávek včetně úvazků efektivních dávek.

Dávkový příkon (Dose Rate) je rychlost, při níž člověk přijal (nebo by přijal) radiační dávku nebo dávkový ekvivalent. Je to míra intenzity radiační dávky. Obvykle užívané míry ekvivalentní dávky jsou: µSv /hod, µSv/týden, mSv/týden, mSv/čtvrtletí, mSv/rok.

Radioaktivní kontaminace je znečištění jakéhokoli materiálu či jeho povrchu, prostředí nebo osoby radioaktivní látkou všude, kde to není záměrné nebo žádoucí. Kontaminován může být vzduch, voda, povrchy, půda, rostliny, budovy, živočichové i lidé. V případě lidského těla může jít o zevní kontaminaci kůže, nebo kontaminaci vnitřní, nebo obojí. Lidé si nemusí být kontaminace vědomi. Může se přenášet i na jiné osoby, např. prostřednictvím oděvu, u vnitřně kontaminovaných prostřednictvím sekretů.

3.2.2 Účinky ionizujícího záření na živou hmotu

3.2.2.1 Účinky biologické

Jestliže ionizující záření proniká do živé hmoty, dostává se do kolizí s přítomnými atomy a uvádí je do stavu excitace a zejména odlučuje elektrony z tělesných atomů. Následuje disociace molekul, tvorba iontů a následná tvorba radikálů. Vzhledem k tomu, že k nejčastěji se vyskytujícím molekulám patří voda (H_2O), patří k běžným důsledkům ozáření vznik kationtů H+, hydroxylových aniontů OH-, a za přítomnosti kyslíku k tvorbě dalších nestabilních molekul, např. peroxidu vodíku H_2O_2, atomárního kyslíku O_2, HO_2 aj. Jde o tzv. volné radikály, které reagují s buňkami v tkáni, narušují chemické vazby a tím buňky poškozují.

V případě buněk, které mají v tkáních a v těle významnou řídící nebo regulující funkci, může jejich chemické narušení mít i závažné důsledky. Zvláště závažné může být poškození DNA, nositelky dědičných vlastností buňky i celého organismu.

[2] je řecké písmeno tau

Molekula DNA je na běžné molekulární poměry mimořádně veliká, stočená do velmi dlouhé šroubovice, složené v podlouhlých i v optickém mikroskopu viditelných útvarech, tzv. chromosomech. Poškození DNA zářením může být proto v mikroskopu viditelné jako tvarové změny, překřížení nebo zlomy chromosomů. Je na tom založena i metoda hodnocení uvedených tvarových změn, tzv. chromosomových aberací v lymfocytech. Jejich zjišťování v mikroskopickém obraze může být využito jako jedna z metod průkazu dotčení organismu ionizujícím zářením.

Kromě DNA, jejíž poškození ionizujícím zářením má nejzávažnější účinky, mohou být ozářením poškozeny i jiné komponenty molekul nebo buněk, jako jsou lipidy, enzymy a jiné bílkoviny, buněčné membrány, mitochondrie aj.

Ozářené buňky při těžším poškození uhynou, při mírnějším mohou přežívat v pozměněném stavu, dochází k jejich tzv. mutaci. Jde-li o buňku somatickou, z tělesných tkání, může být mutována způsobem, který umožní její postupnou proměnu v buňku rakovinnou, která při dělení tuto vlastnost přenáší na buňky dceřiné. Na tomto základě tak mohou v tkáních vznikat ložiska budoucího rozvoje zhoubného nádoru. Pokud je postižena buňka zárodečná, a podílela-li se na oplodnění, přenesou se její pozměněné vlastnosti na potomstvo a na další generace. Důsledkem mohou být vrozené vady.

K ionizujícímu záření jsou buňky obzvláště citlivé ve fázi dělení. Proto jsou k radiačnímu poškození více náchylné (radiosenzitivní) tkáně, v nichž stále a intenzivně probíhá dělení buněk. Jsou to zejména krvetvorné orgány (kostní dřeň aj.) a pohlavní žlázy.

3.2.2.2 Účinky zdravotní

Při expozici lidského těla ionizující záření atakuje zasažené atomy a molekuly a mění jejich vlastnosti. Může tak ohrožovat zdraví. Vzhledem k rozsáhlým výzkumným studiím obyvatel japonských měst Hirošima a Nagasaki, kteří přežili výbuchy atomových bomb, a jejich potomků, a také lidí exponovaných při haváriích (včetně Černobylu), jsou dnes poměrně dobře známé účinky vysokých jednorázových dávek ionizujícího záření. Dlouhodobé až celoživotní ovlivnění velmi malými dávkami, jimž jsme běžně vystaveni v životním prostředí, nemůže být detekováno přímo, je odvozováno extrapolací ukazatelů účinků dávek vyšších.

Nepříznivé účinky ionizujícího záření na člověka dělíme do dvou skupin:

- deterministické,
- stochastické.

Deterministické jsou účinky s přímým poškozením tkání (např. záněty kůže, zákal oční čočky, akutní **nemoc z ozáření**). Dostavují se po vysokých dávkách. Mají práh, nad nímž závažnost poškození a ochabování regeneračních schopností roste s dávkou. Pod prahovou hodnotou se neprojevují. Často, ale ne vždy, mají akutní povahu a dostavují se brzy po ozáření.

Nejzávažnějším důsledkem deterministických účinků vysokých dávek IZ je nemoc z ozáření. Hromadně se vyskytovala po výbuchu atomových bomb v Hirošimě a Nagasaki, v malém počtu případů také u přítomných pracovníků a prvních hasičů při haváriích atomových elektráren v Černobylu a Fukušimě. Byla by těžkou hrozbou pro obyvatelstvo v případě válečného použití atomových zbraní. Nastupuje při ozáření dávkami 0,5 až 1 Gy a vyššími. Jde o těžké onemocnění, často smrtelné, postihující různé orgány, zejména trávicí ústrojí, kostní dřeň (krvetvorbu) a centrální nervstvo. V těžkých případech nemocní umírají během několika týdnů, většinou v důsledku destrukce kostní dřeně, infekcí (ze ztráty imunity) a vnitřního krvácení. Pokud přežijí, trvá vyléčení od několika týdnů do dvou let.

Deterministický vliv zvýšených akutních dávek záření se může projevit i méně těžkým poškozením, záněty kůže (často obtížně léčitelnými), chronickými zánětlivými změnami kůže a také zákalem oční čočky.

Stochastické účinky jsou charakteristické pro vznik zhoubných nádorů a dědičného poškození. Mohou se projevit nejen při vysokých, ale i při nízkých dávkách. Podle obecně přijímaného konzervativního názoru, aplikovaného pro účely radiační ochrany, jsou považovány za bezprahové a účinek za narůstající lineárně s dávkou. Tento tzv. LNT model není všeobecně přijímán, pro praxi je však účelnou koncepcí. S dávkou neroste závažnost poškození ale pravděpodobnost jeho vzniku. Stochastické účinky jsou časově odložené, projeví se až po určité době od ozáření (často až po letech).

Nejzávažnějším škodlivým důsledkem stochastických účinků IZ je vznik **zhoubných nádorů**. Jde o opožděný efekt, klinické stádium nádoru se vyvine až po poměrně dlouhé latenci, obvykle 5 až 15 let, a v některých případech i mnohem delší. Během této doby může organismus uplatnit různé reparační procesy, např. opravy poškozených molekul nebo usmrcení narušených buněk. V Hirošimě a Nagasaki byly

nejčastější formou vyvolaného zhoubného bujení leukémie, v Černobylu zhoubné nádory štítné žlázy, hlavně u dětí. Karcinogenní účinek je prokázán u velkých dávek IZ, u malých dávek (pod 100 mSv) se pouze předpokládá.

Rakovinu vzniklou jako důsledek vlivu IZ nelze patologicky odlišit od ostatních nádorů vzniklých z jiné příčiny. Obecně není možné s určitostí stanovit, zda stochastický radiační efekt, jako je rozvoj nádoru, je důsledkem radiační expozice. U většiny případů je možno pouze odhadnout, že ionizující záření bylo přispívajícím faktorem. Léčení nádorů a jiných onemocnění, o nichž předpokládáme, že pocházejí z ionizujícího záření, se neliší od léčení téže nemocí, vzniklých z jiných příčin.

U pokusných zvířat jsou prokázány v důsledku ozáření IZ i dědičné choroby, u lidí nebyl takový vliv IZ doložen.

Vysoké dávky záření postihují u pokusných zvířat vyvíjející se embryo a plod a vyvolávají vrozené vady. Z experimentálních výsledků se předpokládá, že pro tento účinek existuje práh kolem 100 mGy. Podle současných vědeckých poznatků se u malých dávek záření (pod 100 mGy) tento typ účinku nepředpokládá.

Při posuzování nebezpečnosti vnitřního ozáření je důležitým kritériem fyzikální poločas rozpadu daného radionuklidu, který charakterizuje délku jeho působení, pokud by setrvával v těle. U živočichů a také u člověka ovšem organismus s radionuklidy jedná jako se základními prvky, z nichž jsou odvozeny. Jsou-li biogenní, probíhá určitým způsobem jejich látková výměna. Poté co vstoupily do těla vdechnutím, požitím, absorpcí přes kůži nebo otevřenou ranou, mohou se začleňovat do tkání nebo kolovat v tělesných tekutinách. Při obměně tkání a v rámci metabolismu mohou být vylučovány potem, močí a stolicí. Pokud je tato látková výměna dostatečně rychlá, zbaví se organismus radionuklidu dříve, než by odpovídalo jeho vymření podle fyzikálního poločasu. Rozhodující je zde **biologický poločas**, tj. doba, za niž se z těla vyloučí polovina přijatého radionuklidu. Je stanovován také **efektivní poločas**, který zahrnuje jak radioaktivní fyzikální, tak i biologický poločas. Je používán při výpočtu dávky obdržené z vnitřního zdroje radioaktivity. Tak např. známý radionuklid ze spadu po pokusech atomových zbraní a po haváriích jaderných elektráren, cesium-137, má fyzikální poločas 30 let a efektivní poločas 70 dní.

3.2.3 Dávky záření

Uvedli jsme již, že základní fyzikální veličinou pro radiologickou ochranu je absorbovaná dávka. Především na její velikosti je závislý biologický a zdravotní účinek. Dobře jsou prozkoumány, především z Hirošimy a Nagasaki, efekty jednorázových akutních velkých dávek. Pro praxi radiační ochrany obyvatelstva jsou však za normálních podmínek významnější dlouhodobě, resp. celoživotně působící chronické malé dávky, jimž jsme běžně vystaveni jednak z přírodních a jednak z antropogenních zdrojů. Předmětem vysoké vědecké pozornosti jsou proto v radiobiologii účinky malých dávek IZ.

3.2.3.1 Charakteristika a zvláštnosti malých dávek IZ

Jako malé dávky jsou označovány dávky záření, které nevyvolávají bezprostřední (deterministické) účinky, ale pouze účinky stochastické, tj. zvyšování pravděpodobnosti výskytu pozdních efektů (zhoubných nádorů aj.). Pro řídce ionizující záření jsou sem obvykle řazeny dávky do 100 mGy, pro hustě ionizující záření do 50 mGy.

Základní obtíží při posuzování účinků malých dávek záření je skutečnost, že efekty nemohou být prokazovány přímo, neboť jsou velmi malé a nelze je dobře oddělit od efektu jiných, mnohem působivějších rakovinotvorných faktorů. Jsou proto odvozovány z výsledků humánních epidemiologických studií osob vystavených vysokým dávkám, často jednorázově (v Hirošimě aj.). Zjištěné účinky vysokých dávek jsou pak extrapolovány do dávek nízkých a velmi dlouhodobě, až celoživotně působících, což vnáší do výsledků značnou míru nejistot, které trvají i při použití některých navržených a užívaných matematických korekcí.

Další nejistoty vyplývají z nemožnosti stanovit závislost mezi dávkou od 0 do 100 mSv a jejím stochastickým účinkem. Pro praxi je všeobecně přijímán nejjednodušší výše již zmíněný LNT model, tj. bezprahový účinek a lineární závislost. Pro jeho platnost však nejsou žádné důkazy a existují i hypotézy o jiných modelech.

Principiálně odlišná je hypotéza o příznivém účinku malých dávek (tzv. radiační hormese), doložená některými experimentálními poznatky. Podle některých publikovaných studií roste po ozáření velmi nízkými dávkami u buněk jejich adaptační, resp. reparační schopnost vůči radiačnímu poškození dávkami vyššími. Všeobecné akceptování teorie hormese by zcela změnilo pohled na potřebná ochranná opatření, neboť velmi nízké dávky by mohly být považovány nikoli za škodlivé, ale naopak za užitečné. Studie, které tuto představu podporují, nejsou však v současné době rozhodujícími autoritami považovány za přesvědčivé.

S ohledem na uvedené nedostatky a nejistoty současného stavu vědeckého poznání je nutno chápat všechny prognostické výpočty účinků malých dávek v populaci jako přijatelné aproximace, nikoli jako vědecky pevně doložená fakta. Platí to např. i o koeficientech uvedených níže (tabulka 1).

Studiem malých dávek záření a ochranou před nimi se (kromě jiného) podrobně zabývá mezinárodní komise pro radiační ochranu ICRP (The International Commission on Radiological Protection), nezávislá nevládní organizace, založená v roce 1928. Soustavně zpracovává nové vědecké poznatky z oboru radiologie a využívá je ke stanovování preventivních zásad ochrany před riziky spjatými s ionizujícím zářením, uměle produkovaným i přírodním. Spojuje nejvýznamnější světové odborníky v této oblasti. Požívá v tomto směru vysokou mezinárodní autoritu.

Po celou dobu své existence vydává ICRP svá doporučení. Na základě aktuálních vědeckých poznatků v nich postupně rozvíjí radiační diagnostiku, upřesňuje používané jednotky a zdokonaluje postupy a požadavky radiační ochrany. Všechny mezinárodní standardy a národní regulační aktivity v oboru radiační ochrany jsou založeny na doporučeních ICRP.

Zmíníme zde dvě poslední významná doporučení ICRP. Je to především doporučení č. 60 z roku 1990. Byly v něm, hlavně na základě nových poznatků z pokračujících studií zdravotního vývoje 90 tisíc Japonců přeživších výbuchy atomových bomb, podstatně modernizovány přístupy k radiační ochraně, zpřísněny limity ozáření, zavedeno nové chápání radiačního zdravotního poškození, zahrnující rakovinu fatální (vedoucí k smrti), dědičné poškození i rakovinu nefatální. Výrazně v něm byly zvýšeny dřívější koeficienty rizika.

V roce 2007 bylo přijato nové doporučení ICRP č. 103, které nahradilo, resp. upravilo údaje doporučení z toku 1990. Je to velmi rozsáhlý rozbor nových poznatků a jejich důsledků (kniha o 332 stranách). Aplikuje nová vědecká zjištění a trendy z oblasti radiofyziky. Upřesňuje hodnoty užívaných radiačních a tkáňových váhových faktorů na určování ekvivalentní a efektivní dávky. Všechny své závěry podrobně vědecky dokládá, odůvodňuje a argumentuje. Zachovává a dále zdokonaluje hlavní principy radiační ochrany: odůvodnitelnost, optimalizaci a limitování ozáření. K zabezpečení principu limitování pro všechny relevantní zdroje ozáření zavádí mezní dávky a referenční úrovně pro plánované i havarijní situace (dose and risk constraints). Při plánování jaderných zařízení plní v ČR tuto funkci tzv. autorizované limity (viz níže).

3.2.4 Vztah dávky a účinku IZ, limity ozáření

V této studii se nezabýváme hlouběji otázkami nemoci z ozáření při extrémně vysokých jednorázových dávkách IZ, ale pouze dlouhodobými účinky dávek malých, s nimiž se obyvatelstvo Země běžně a soustavně setkává. Zaměřujeme se tedy pouze na účinky stochastické. Vědeckými podklady, z nichž jsou odvozována rizika plynoucí z ozáření člověka ionizujícím zářením, jsou jednak humánní studie (především již zmíněné sledování osob přeživších výbuchy jaderných zbraní v Hirošimě a Nagasaki a jejich potomků, dále studie ozářených osob po havárii v Černobylu, horníků uranových dolů, lidí exponovaných radonu a jeho produktům v „radonových“ domech), jednak experimentální studie na zvířatech, zejména myších. Ze studií v Hirošimě a Nagasaki např. vyplynul donedávna používaný koeficient rizika úmrtí na zhoubný nádor pro obyvatelstvo 5.10^{-2} Sv^{-1}, tj. při dávce 1 Sv ze 100 obyvatel 5 úmrtí, při dávce 1 mSv pak 5 případů ze 100 000 obyvatel, atp.

I když výše uvedený LNT model stochastických účinků nízkých dávek záření zůstává vědecky přijatelnou koncepcí pro praxi radiační ochrany, nelze jej jednoznačně prokázat. Vzhledem k této nejistotě nepovažuje ICRP ve svém posledním doporučení (2007) za vhodné vypočítávat pro účely plánování v oblasti veřejného zdraví hypotetické počty nádorů, které by mohly vyplynout z velmi nízkých dávek záření velkým počtům obyvatel za velmi dlouhé časové období.

Místo toho komise ICRP zpracovala na základě nejmodernějších vědeckých poznatků koeficienty pro odhad tzv. zdravotní újmy[3]. Koeficienty zohledňují souborně potenciální riziko smrtelných i léčitelných zhoubných novotvarů, poškození potomstva a efekt na zkrácení života. ICRP sem zahrnuje i poškození dědičné, přenesené na děti, i když u člověka nebylo prokázáno. Činí tak z předběžné opatrnosti vzhledem k tomu, že u pokusných zvířat existují v tomto směru přesvědčivé důkazy. První řádek tabulky se vztahuje k obyvatelstvu vcelku (včetně dětí), druhý k profesionálně exponovaným dospělým pracovníkům. Pro naše

[3] Zdravotní újma (angl. detriment) je dle ICRP „celkové poškození zdraví“, k němuž došlo v exponované skupině a u jejích potomků v důsledku skupinové expozice ke zdroji radiace. Je to mnohorozměrný pojem. Jeho základními komponentami jsou tyto stochastické kvantity: pravděpodobnost vyvolaného smrtelného novotvaru, vážená pravděpodobnost vyvolaného vyléčitelného novotvaru, vážená pravděpodobnost těžkých dědičných důsledků a zkrácení života v důsledku poškození.“

následující výpočty budeme vypočítávat riziko zdravotní újmy pro celkovou populaci, tedy s použitím koeficientu
0,057 Sv^{-1}.

Tab. 1 Nominální rizikové koeficienty (10^{-2} Sv^{-1}) zdravotní újmy pro stochastické účinky po expozici nízkým dávkám záření

Exponovaná populace	Novotvary	Dědičné efekty	Celkem
Celkem	5,5	0,2	5,7
Dospělí	4,1	0,1	4,2

Z poznatků o stochastických účincích ionizujícího záření na člověka jsou odvozeny i používané limity. Vzhledem k výše zmíněnému bezprahovému modelu účinků nelze stanovit úrovně, které by zabezpečily úplnou neškodnost záření, neboť i minimální dávky vyvolávají biologické účinky (ovšem rovněž minimální). Řešením je zde koncepce tzv. přijatelného rizika, tj. zabezpečení tak nízké pravděpodobnosti účinků, kterou lze ze zdravotního a společenského hlediska ještě akceptovat. Hlediska jsou zde samozřejmě velmi přísná.

Jednou z hlavních zásad radiační ochrany je, 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.

Limity pro omezování ozáření jsou podle vyhlášky SÚJB č. 422/2016 Sb. děleny do tří skupin:

- obecné limity pro obyvatele,
- limity pro radiačního pracovníka,
- limity pro žáka a studenta.

Vzhledem k zaměření tohoto textu na ochranu obyvatelstva se v dalším budeme zabývat pouze limity obecnými.

Základní ***obecný limit*** stanovený pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření činí podle výše uvedené vyhlášky (v souladu s doporučením ICRP) ***1 mSv za kalendářní rok***. Vztahuje se na průměrné vypočtené ozáření v kritické skupině obyvatel, a to pro všechny cesty ozáření ze všech zdrojů ionizujícího záření. Limitem ozáření je kvantitativní ukazatel pro omezení celkového ozáření fyzické osoby z činností **v rámci plánovaných expozičních situací** dle definice uvedených v atomovém zákoně. Limitům ozáření nepodléhá lékařské ozáření a do vyhodnocení limitů se nezapočítává ozáření z přirozeného pozadí.

Podle atomového zákona je dávkovou optimalizační mezí pro celkové výpusti radioaktivních látek průměrná efektivní dávka ***250 µSv za kalendářní rok*** u příslušné kritické skupiny obyvatel, u jaderných energetických zařízení z toho ***200 µSv*** pro výpusti do ovzduší a ***50 µSv*** pro výpusti do vodotečí.

Vedle toho jsou při plánování výstavby nových významných zdrojů podle vyhlášky SÚJB č. 422/2016 Sb. stanovovány jako závazné kvantitativní ukazatele ***autorizované limity,*** zpravidla jako výsledek optimalizace radiační ochrany, pro jednotlivou radiační činnost nebo jednotlivý zdroj ionizujícího záření, a to Státním úřadem pro jadernou bezpečnost v příslušném povolení. Mohou být přísnější než výše uvedené optimalizační meze. Při rozšiřování atomových elektráren je pro každý nový zdroj uskutečněno nové řízení pro stanovení nových autorizovaných limitů. Odpovídají požadavku stanovení omezujících dávek (dose constraint) podle doporučení ICRP z roku 2007.

K otázce popsaných limitů pro omezování ozáření je nutno poznamenat, že v radiační ochraně se klade důraz především na optimalizaci a potlačuje se role limitování dávek. Při důsledně prováděné optimalizaci, tj. stlačení dávek na nejnižší rozumně dosažitelnou mez, nebývá uplatňování limitů nutné, běžně jsou udržovány úrovně podlimitní.

3.2.5 Radiační ochrana

Významnou komponentou ochrany veřejného zdraví je ochrana radiační, jejímž cílem je zabezpečit adekvátní úroveň ochrany zdraví, a to i při využívání zdrojů záření a jaderné energie pro technické a hospodářské účely. Význam radiační ochrany v moderní době narůstá s rozšiřováním zdrojů IZ ve zdravotnictví, v průmyslu a rozvíjené jaderné energetice. Ve všech těchto případech jsou kladeny přísné požadavky na bezpečnost zdrojů záření, ochranu zdraví pracovníků i na ochranu obyvatelstva.

3.2.5.1 Principy radiační ochrany

V poslední zprávě č. 103 ICRP směřuje k tomu, aby její doporučení byla aplikována na všechny zdroje a na všechny jednotlivce exponované záření ve třech základních typech expozičních situací, které zahrnují všechny myslitelné okolnosti. Počítá se k nim:

- plánované expoziční situace - zahrnují záměrné zavádění a provoz zdrojů,
- nehodové expoziční situace, které se mohou vyskytnout během provádění plánovaných situací,
- existující expoziční situace, které již existují, když se rozhoduje o jejich regulaci.

Proto je v posledním doporučení ICRP z roku 2007 nově formulován jediný soubor principů, který lze použít stejně pro expoziční situace plánované, nehodové i pro existující.

Jsou to:

Princip oprávněnosti (justification)

Činnost vedoucí k ozáření lidí je možno provádět pouze je-li oprávněná, což je v této souvislosti chápáno jako činnost, při níž zdravotní újma, která může být zářením způsobena, je vyvážena předpokládaným přínosem pro jednotlivce nebo pro společnost. Odůvodnění musí být provedeno před prvním zavedením jakékoliv radiační aktivity do praxe a také při získání nových poznatků o působení a účincích dané aktivity. Každé rozhodnutí, které mění radiační expozici, by mělo být víc dobré než škodlivé.

Princip optimalizace ochrany

Tj. stanovení, jaká úroveň ochrany a bezpečnosti zaručí dané expozice a také pravděpodobnost a velikost potenciálních expozic tak nízko, jak je rozumně dosažitelné při zohlednění ekonomických a sociálních faktorů. Pro tuto zásadu je též užívána zkratka ALARA, akronym pro „As Low As Reasonably Achievable“ (tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout), jakožto požadavek vynakládat rozumné úsilí k udržení expozic ionizujícímu záření tak hluboko pod limitem, jak je prakticky možné a konsistentní s účelem, pro nějž je daná aktivita vykonávána, a to při zohlednění stavu technologie, prospěchu pro veřejné zdraví a bezpečnost a účelnosti daného užití nukleární energie ve veřejném zájmu.

Princip využití dávkových limitů

Každý, kdo koná činnosti vedoucí k ozáření, je povinen omezovat radiaci tak, aby ozáření žádné exponované osoby nepřekročilo stanovené limity. Celková dávka pro kteréhokoliv jednotlivce z regulovaných zdrojů v plánovaných expozičních situacích (kromě medicínských) nesmí překročit příslušné limity.

První dva uvedené principy jsou vztaženy ke zdroji a používají se ve všech expozičních situacích, třetí je vztažen k jednotlivcům a používá se v plánovaných expozičních situacích.

3.2.5.2 Radiační bezpečnost

Širším aspektem ochrany před radioaktivním zářením je zajišťování radiační bezpečnosti. Tento okruh problémů byl mezinárodně řešen v rámci IAEA (Mezinárodní agentury pro atomovou energii) a výsledky publikovány jako “IAEA Safety Standards, Fundamental Safety principles“ (2006), jakožto doporučení pro všechny provozovatele jaderných zařízení a jejich řídící a dohlédací orgány

Pro radiační bezpečnost je zde formulováno 10 hlavních principů. Kromě principů uvedených výše v rámci výkladu o radiační ochraně (oprávněnost, optimalizace, využití limitů) je zde postulován princip odpovědnosti za bezpečnost, stanovena úloha vlád, princip vedení a správy bezpečnosti, princip ochrany současné i příštích generací, prevence nehod, připravenost na mimořádné události a péče o snížení existujících nebo neregulovaných radiačních rizik.

Podrobnější výklad uvedených bezpečnostních principů by již značně vybočoval z rámce této studie.

3.2.6 Radiační vlivy jaderných elektráren na obyvatelstvo

V jaderné elektrárně vznikají radioaktivní látky dvěma způsoby:

- štěpením jaderného paliva,
- aktivací různých materiálů působenou neutrony (konstrukčních materiálů, paliva, příměsí v chladivu primárního okruhu, v moderátoru, v palivu apod.).

Vznikají zde tedy produkty štěpné a produkty aktivační. Při záchytu neutronů konstrukčními materiály je emitováno i záření gama.

I když před vypouštěním procházejí plynná a kapalná technologická média dokonale propracovaným a mimořádně účinným systémem čištění, přece jen nepatrné stopy radionuklidů musí být řízeně vypouštěny dle platných povolení jednak do ovzduší (plynné výpusti), jednak do odpadních vod (kapalné výpusti). Šíří se do okolí a zvyšují tak i za bezporuchového provozu jaderné elektrárny nepatrně kontaminaci okolního životního prostředí. Tyto zátěže jsou soustavně monitorovány a vyhodnocovány.

K nejvýznamnějším radionuklidům unikajícím do ovzduší patří jednak štěpné produkty (vzácné plyny Kr-85 a Xe-133, a dále I-131, I-133, Sr-90, Cs-134, Cs-137), jednak aktivační a korozní produkty (Cr-51, Fe-55, Mn-57, Co-60, Ni-59, Zn-65, Ag-110m), dále také aktivační produkty chladiva (H-3, C-14) a z pohledu současných PWR i vzduchu v šachtě reaktoru (Ar-41) a ve velmi nízkých aktivitách transurany (zejména Am-241, Pu-239). Odpadní vody obsahují především tritium a v malé míře i některé aktivační a případně i štěpné produkty.

3.3 Radiační vlivy stávajícího provozu EDU1-4 na obyvatelstvo

3.3.1 Jaderná elektrárna Dukovany a její výpusti

Jaderná elektrárna Dukovany (EDU1-4) sestává ze čtyř bloků (č. 1 až 4), každý z nich o elektrickém výkonu cca 500 MW_e. Vzdušné výpusti jsou vyváděny ventilačními komíny nad jednotlivé bloky, vodní výpusti s odpadními vodami do řeky Jihlavy.

Výpustí se rozumí „kapalná nebo plynná látka vypouštěná do ŽP, která obsahuje radionuklidy v množství nepřevyšujícím uvolňovací úrovně nebo vypouštěná do ŽP za podmínek uvedených v povolení k uvádění radionuklidů do ŽP“.

Jako výpusti plynné označujeme v praxi souhrn radionuklidů unikajících z JE do okolního vzdušného prostředí a jako výpusti kapalné obdobně souhrn radionuklidů unikajících z JE s odpadními vodami do vod povrchových.

Plynné výpusti EDU1-4 jsou obsaženy především ve vzdušninách vypouštěných ventilačními komíny. Pocházejí z místností kontrolovaného pásma (hlavních výrobních bloků a budovy aktivních pomocných provozů) větraných systémem speciální vzduchotechniky.

Složení plynných výpustí EDU1-4 můžeme demonstrovat na výsledcích monitorování v roce 2014. Z celkově sledovaných 32 radionuklidů mělo 16 hodnotu prakticky nulovou, měřitelné hodnoty byly zjištěny ze vzácných plynů pro Ar-41, Xe-133 a Xe-135, z aerosolů Cr-51, Mn-54, Co-58, Fe-59, Co-60, Zr-95, Nb-95, Ag-110m, Sb-124 a Cs-137, z ostatních I-131, H-3 (tritium) a C-14.

Výpusti kapalné jsou obsaženy v průmyslových odpadních vodách EDU1-4 (odluhy chladících vod, odpadní vody z neutralizace a nespecifické vody ze sekundárního okruhu). Po vyčištění se odpadní voda z EDU1-4 vypouští výsledným sběračem do záchytné nádrže na Skryjském potoce, který je zaústěn do vodního díla Dalešice nádrže Mohelno na řece Jihlavě.

V rámci monitorování kapalných výpustí bylo v roce 2014 sledováno celkem 22 radionuklidů, z toho 15 s výsledky prakticky nulovými. V měřitelných množstvích bylo zjištěno především tritium (H-3), a dále v malé míře Mn-54, Co-58, Co-60, Ag-110m, Cs-134 a Cs-137.

Pro obojí výpusti EDU1-4 jsou stanoveny autorizované limity, jejichž dodržování je soustavně kontrolováno.

Při hodnocení vlivu stávajícího provozu EDU1-4 na veřejné zdraví vycházíme ze studie „Zhodnocení zdravotních rizik pro obyvatelstvo v okolí jaderné elektrárny Dukovany z výpustí radioaktivních látek do ovzduší a vodotečí včetně prognózy rizik pro období prodlouženého provozu elektrárny. J. Kotulán, Amec s.r.o., Brno, únor 2015“.

3.3.2 Monitorování radiační situace v okolí EDU1-4

Ke kontrole dodržování povolených výpustí a k včasnému zjištění případných úniků slouží radiační kontrola okolí soustavným a všestranným monitorováním. Je uskutečňováno sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole záření a výskyt umělých radionuklidů v životním prostředí. Pro účely tohoto monitorování byla zřízena samostatná Laboratoř radiační kontroly okolí (LRKO) v Moravském Krumlově. Z prováděného provozního monitorování jsou pravidelně vydávány

čtvrtletní a roční zprávy, které jsou předávány státnímu dozoru a výsledky monitorování jsou k dispozici veřejnosti v rámci výročních zpráv SÚJB.

Úroveň výpustí se pochopitelně odráží v kontaminaci okolního prostředí. Pro informaci o výsledcích kontrolní činnosti zde uvedeme přehled výsledků z let 1984 až 2013.

Plošné aktivita umělých radionuklidů v atmosférických **spadech** (v šesti bodech v okolí EDU1-4): vliv provozu elektrárny nebyl za celé uvedené období zaznamenán. Hodnoty některých radionuklidů byly přechodně zvýšeny v roce 1986 v důsledku havárie v Černobylu.

Objemové aktivity umělých radionuklidů v **aerosolech** ovzduší (včetně plynného radiojódu) v šesti bodech v okolí EDU1-4: některá přechodná zvýšení byla důsledkem havárií v Černobylu, Fukušimě a některých dalších jaderných havárií v zahraničí. Vliv provozu EDU1-4 nebyl zaznamenán.

Objemové aktivity umělých radionuklidů v **srážkových vodách** v šesti bodech v okolí EDU1-4: vliv EDU1-4 nebyl zaznamenán.

Objemové aktivity umělých radionuklidů v **povrchových vodách** (ve vybraných profilech řeky Jihlavy a z vodních toků neovlivněných kapalnými výpustěmi. V řece Jihlavě jsou zvýšeny hodnoty tritia, v souladu s očekávanými projektovými hodnotami. Kromě období 1991 až 1995, kdy naměřené hodnoty přesahovaly 100 $Bq.l^{-1}$ (116 -147 $Bq.l^{-1}$) se po celé ostatní sledované období pohybovaly vesměs mezi 30 a 50 $Bq.l^{-1}$ (průměr 32,2 $Bq.l^{-1}$). Jiné vlivy provozu EDU1-4 nebyly zaznamenány.

Objemové aktivity umělých radionuklidů v pitných vodách ze studní ležících blízko řeky Jihlavy (v obcích Hrubšice, Kordula, Ivančice, Vémyslice, Višňové, Dukovany, Řeznovice, Rouchovany, Mohelno, M. Bránice, vodovod Ivančice, vodovod M. Bránice): Zvýšeny jsou hodnoty tritia, v souladu s očekávanými projektovými hodnotami. Aktivity jsou nízké, pohybují se cca od 10 do 50 Bq.l-1 (průměr 22,9 Bq.l-1). Expozice ionizujícímu záření z pití vody těchto studní je tedy minimální, ve srovnání s jinými působícími zdroji záření (přírodního a umělého) je zanedbatelná. Jiné vlivy provozu EDU1-4 nebyly zaznamenány.

Objemové aktivity umělých radionuklidů v podzemních vodách z vrtů z areálu EDU1-4a blízkého okolí: trvale nacházeny zvýšené hodnoty tritia. S výjimkou poměrně vyšších aktivit v letech 1995, 1996 a 2005 (150,9; 87,4; 132,9 Bq.l-1) se hodnoty pohybují mezi cca 10 a 50 Bq.l-1 (průměr 35,3 Bq.l-1). Nedosahují hodnot vyšetřovacích úrovní dle monitorovacího programu. Jiný projev vlivu EDU1-4 nebyl zaznamenán.

Objemové aktivity umělých radionuklidů v **mléce** z blízkého zemědělského družstva: vliv provozu EDU1-4nebyl zaznamenán. Některá přechodná zvýšení byla důsledkem havárie v Černobylu.

Příkon dávkového ekvivalentu **záření gama** ve vybraných bodech okolí EDU1-4: vliv elektrárny nebyl zaznamenán. Přechodné zvýšení v roce 1986 bylo způsobeno havárií v Černobylu.

Úrovně **plošných aktivit** umělých radionuklidů (záření gama ve vybraných bodech v okolí EDU): vliv provozu EDU1-4 nebyl zaznamenán.

Úrovně měrných aktivit umělých radionuklidů v **zemědělských plodinách** odebíraných ve vybraných profilech v okolí EDU1-4**.** Přechodné zvýšení radioaktivity bylo zjištěno po havárii v Černobylu. Vliv EDU1-4nebyl zaznamenán

Měrná aktivita umělých radionuklidů v **rybách** odebíraných ve vybraných profilech v okolí EDU1-4: vliv provozu EDU1-4 nebyl za dobu provozu EDU1-4 zaznamenán.

Měrná aktivita umělých radionuklidů v **sedimentech povrchových vod** ve vybraných profilech v okolí EDU1-4: vliv provozu EDU1-4 nebyl za dobu provozu EDU1-4 zaznamenán.

Měrná aktivita umělých radionuklidů v **půdách** z vybraných profilů v okolí EDU: vliv provozu EDU1-4 nebyl za dobu provozu EDU1-4 zaznamenán.

Souhrnně můžeme tedy konstatovat, že mimo zvýšený obsah tritia v řece Jihlavě, ve studních v její blízkosti a v podzemních vodách areálu EDU1-4 a jeho nejbližšího okolí nebylo zvýšení obsahu radioaktivních látek z výpustí EDU1-4 v okolí měřitelné. Zmíněné aktivity tritia odpovídají očekávaným projektovým hodnotám. Obsah radioaktivních látek ve výpustích v žádném případě nepřekročil limitní hodnoty stanovené v dokumentu SÚJB "A04 - Limity a podmínky pro normální provoz JE Dukovany ".

Vzhledem k tomu, že tritium se jako jediný nuklid pocházející z výpustí EDU1-4 vyskytuje v některých komponentách životního prostředí, a jako takové někdy budí zvýšený zájem veřejnosti, připojujeme zde několik poznámek k jeho původu a povaze.

Zatímco naprostá většina radioizotopů je čistícími procesy v jaderných elektrárnách zadržována, izotop vodíku H-3 - tritium je jedním z mála radionuklidů, který nelze z radioaktivních vod oddělit. Spojuje se s kyslíkem v tritiovou vodu (HTO), která má téměř stejné chemické, fyzikální a další vlastnosti jako obyčejná destilovaná voda, a proto neexistuje způsob jak ji od obyčejné vody oddělit. Tritium je proto zdrojem převážné části aktivity ve vyčištěných kapalných odpadech jaderných elektráren. Kontaminace jsou ovšem velmi nízké. I kdyby obyvatel pokrýval celoroční spotřebu pitné vody pouze vodou s aktivitou tritia kolem 100 $Bq.l^{-1}$ byl by roční příjem tritia u takto exponovaného člověka na úrovni kolem 1 μSv což je hodnota 50 x nižší než dávková optimalizační mez pro výpusti do vodotečí stanovená atomovým zákonem.

Pro informaci připojujeme ještě základní charakteristiky tritia.

Tritium (^3H, H-3) bývá v laických debatách uváděno jako významný faktor škodlivých vlivů jaderných elektráren. Je to izotop vodíku, vodík s jedním protonem a dvěma neutrony (zatímco jádro normálního vodíku sestává jen z jednoho protonu). Za běžného tlaku a teploty je to plyn. Vzniká v reaktoru v důsledku aktivace deuteria (H-2), lithia a boru a také jako štěpný produkt přímo v palivu. Deuterium (vodík s jedním neutronem) se běžně nachází ve vodě (0,015 %), lithium a bor jako příměsi v chladivu. Tritium je slabě radioaktivní beta zářič s malou pronikavostí záření, zastaví je již 6 mm silná vrstva vzduchu. Přirozeně vzniká v horních vrstvách atmosféry vlivem kosmického záření, když kosmické paprsky narážejí na vzdušné molekuly. Uměle je produkováno v atomových reaktorech a také při explozích jaderných zbraní. Má fyzikální poločas 12,3 let, ale efektivní poločas jen 12 dní v důsledku rychlé metabolické obměny vody, jejíž je příměsí. Vzhledem ke slabému záření a rychlému vylučování z těla patří k nejméně nebezpečným radioizotopům. Technicky se využívá v autoluminiscenčních materiálech, jako jsou značky východu z budov, číselníky v letectví, ručičky na měřidlech a náramkových hodinkách, luminiscentní barvy, a také při biologickém výzkumu.

Studie Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M. (dále jen VÚV TGM) -Posouzení NEK-RP pro tritium, 2015, podává mezinárodní přehled limitů (směrných hodnot) platných pro obsah tritia v pitné vodě. Tyto hodnoty jsou překvapivě rozmanité, od směrné hodnoty pro „vodu pro lidskou potřebu“ 100 $Bq.l^{-1}$ v EU a většině států Evropy (včetně ČR) k 30000 $Bq.l^{-1}$ ve Finsku, přes limit pro pitnou vodu 10 000 $Bq.l^{-1}$ (WHO) aj. Jak jsme uvedli výše, v pitných vodách ze studní ležících blízko řeky Jihlavy jsou aktivity tritia nízké, v rozmezí cca od 10 do 50 $Bq.l^{-1}$, tedy spolehlivě pod nejpřísnějšími limity či směrnými hodnotami.

3.3.3 Expozice obyvatelstva

Po zhruba třicetiletém provozu EDU1-4 je účelné posoudit, zda a do jaké míry může být organismus okolních obyvatel dotčen trvajícími emisemi z plynných a kapalných výpustí EDU1-4. K takovému hodnocení je třeba ovšem znát nejen radioaktivitu jednotlivých složek životního prostředí, ale také zevní a vnitřní dávky ze záření, jemuž byli lidé vystaveni. Na základě těchto dávek je pak možno vypočítat výsledné zdravotní riziko. Těmito postupy zde vyhodnotíme současné riziko okolních obyvatel, a to jednak těch, kteří zažili celou dobu provozu EDU1-4 již jako dospělí, jednak těch, kteří se v době zahájení provozu narodili a prožili zde i svoje dětství.

3.3.3.1 Kvantifikace stochastických zdravotních účinků IZ

Předpokládá se, že v oblasti nízkých dávek je stochastický efekt záření úměrný součtu efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků ekvivalentních dávek z ozáření vnitřního. Nejde o hodnoty přímo měřitelné. Odvozují se výpočtem z naměřených (resp. v budoucnu předpokládaných) úrovní absorbovaných dávek jejich korekcí podle povahy zúčastněných radioizotopů.

Výpočty tohoto druhu jsou nezbytné pro ochranu obyvatelstva v rámci hodnocení plánovaných expozičních situací při přípravách stavby nebo chystaném rozšiřování jaderných elektráren. Na základě znalosti technických parametrů nových zdrojů a předpokládaných plynných výpustí (úniků stopových množství radionuklidů do ovzduší) je možno pomocí rozptylových studií stanovit pro zvolené body a pásma okolního prostředí aktivity přízemních koncentrací radionuklidů v ovzduší ($Bq.m^{-3}$) a depoziční příkony ($Bq.m^{-2}.s^{-2}$). U kapalných výpustí lze obdobně stanovit aktivitu podle ředění odpadní vody elektrárny v příslušném recipientu. Použité expoziční scénáře v prostředí ovlivněném plynnými výpustěmi musí zahrnovat šest cest expozice:

- vdechování ovzduší s imisemi radionuklidů,
- zevní ozáření „z mraku“ („oblaku“), tj. působení vzdušných radionuklidů na tělo zvenčí,
- zevní ozářením z depozitu na povrchu terénu,

- vdechování resuspendovaných nuklidů z depozitu,
- požívání potravin v místě vypěstovaných,
- požívání kontaminované vody.

U vody recipientů odpadních vod jaderných elektráren musí být rovněž zohledněny všechny potenciální cesty expozice, a to:

- ingesce pitné vody, která by mohla být vodou recipientu ovlivněna,
- ingesce ryb žijících v kontaminované vodě,
- ingesce masa a mléka zvířat napájených kontaminovanou vodou,
- ingesce zemědělských produktů kontaminovaných závlahami,
- koupání v kontaminované vodě,
- jízdy na člunu,
- pobyt na nánosu,
- pobyt na zavlažované půdě.

Podle těchto scénářů jsou pomocí podrobných počítačových modelů stanovovány individuální absorbované dávky a z nich roční efektivní dávky a úvazky efektivních dávek pro přítomné obyvatele. Z nich je pak možno dospět ke stanovení individuálního rizika zdravotní újmy použitím koeficientu 0,057 Sv^{-1} dle posledního doporučení ICRP (viz 3.2.4, tab. 1). Nominální rizikové koeficienty jsou pak odvozeny průměrováním odhadů celoživotních rizik podle pohlaví a věku expozice v reprezentativních populacích.

Při předpovědi účinků ozáření obyvatelstva a při prováděných kontrolách dodržení limitů se věnuje zvláštní pozornost tzv. reprezentativní osobě. Atomovým zákonem (§ 2, písm. J) je definována jako „jednotlivec z obyvatelstva zastupující modelovou skupinu fyzických osob, které jsou z daného zdroje a danou cestou nejvíce ozařovány“.

Předpovědi zdravotních rizik nejsou ovšem exaktní, jsou zatíženy některými nejistotami:

- statistickou pravděpodobností,
- extrapolací z velkých dávek na malé, u nichž nejsou o efektu přímé doklady,
- přenosem výsledků na jinou populaci,
- interakcí s jinými karcinogenními rizikovými faktory (kuřáctví u rakoviny plic, reprodukční historie u rakoviny prsu, aj.),
- relativní biologickou účinností ve vztahu k radiacím různé kvality,
- existencí možného prahu karcinogenního rizika u velmi nízkých dávek aj.

Vzhledem k trvajícím nejistotám o zdravotních účincích nízkých dávek autoři posledně publikovaného doporučení ICRP (z roku 2007) nepokládají za vhodné kalkulovat pro účely plánování veřejného zdraví hypotetické počty případů rakoviny nebo dědičných efektů, které by mohly být spjaty s velmi nízkými radiačními dávkami přijímanými velkými počty lidí po velmi dlouhou dobu.

3.3.4 Individuální zátěže ionizujícím zářením z plynných a kapalných výpustí v kritických skupinách

Přijaté dávky radioaktivního záření není možno u lidí stanovit přímým měřením, jsou odvozovány z úrovní zevního ozáření v jejich životních podmínkách a z odhadu druhu a množství radionuklidů, které vstoupily do jejich organismu. Jedná se o různé zdroje zevního ozáření a desítky radioizotopů, a to v různých lokalitách blízkého obytného území v závislosti na jejich vzdálenosti od EDU1-4, převládajícím směru větru a dalších místních meteorologických a jiných podmínkách. Takové výpočty by byly prakticky neuskutečnitelné tradičními početními postupy, jsou řešitelné pouze s použitím náročných počítačových programů.

Při pravidelném hodnocení vlivu provozované elektrárny na obyvatelstvo v okolí EDU1-4 je používán výpočetní program RDEDU, vypracovaný pro ČEZ výzkumným ústavem VUJE, Trnava, v roce 1996 a poté

postupně zdokonalovaný. V roce 2013 prošel s pozitivním výsledkem opakovaným schvalovacím procesem v odborné hodnotící komisi SÚJB. Program bilancuje ročních výpusti s cílem ověřit dodržení limitu efektivních dávek a úvazků efektivních dávek stanoveného SÚJB. Výsledky za každý rok jsou předkládány v ročních zprávách „Radiační situace v okolí JE Dukovany“.

V programu jsou vyhodnocovány tři základní cesty:

- prostřednictvím atmosféry: vnější ozáření z oblaku, vnější ozáření z kontaminovaného zemského povrchu, vnitřní ozáření při inhalaci, vnitřní ozáření z ingesce zemědělských produktů kontaminovaných atmosférickým spadem,
- prostřednictvím hydrosféry: vnější ozáření od nánosů a při pobytu na pláži, vnitřní ozáření z ingesce pitné vody, vnitřní ozáření z ingesce ryb, vnitřní ozáření z ingesce zemědělských produktů kontaminovaných závlahami,
- potravinovými řetězci.

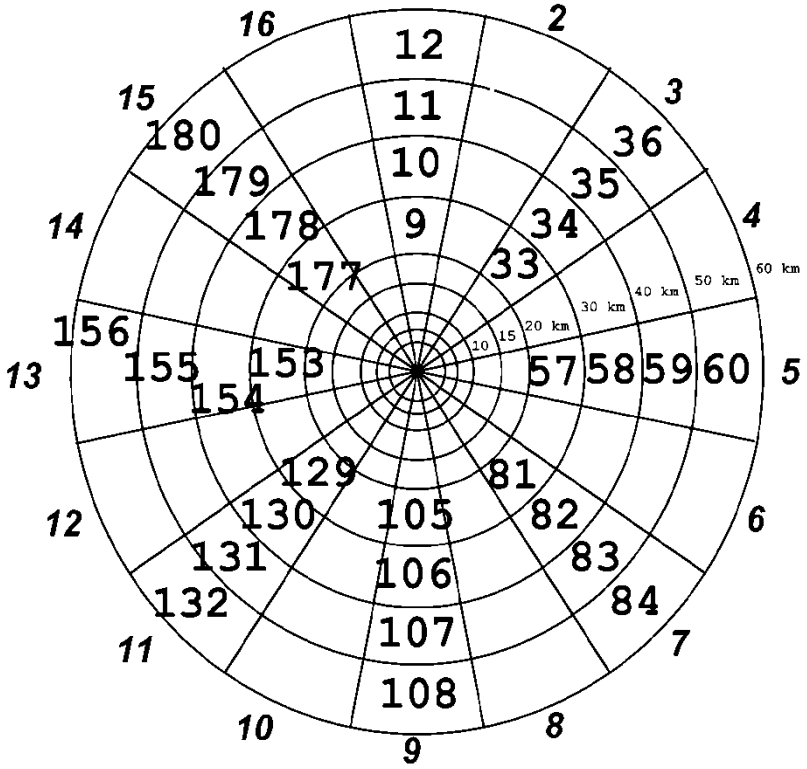
Šíření radioizotopů vzdušným prostředím je vyhodnocováno se zohledněním řady faktorů, které toto šíření podmiňují nebo modifikují, jako jsou, meteorologické podmínky (rychlost a směr větru, intenzita atmosférických srážek aj.), nadmořské výšky zdroje a bodů výpočtu, drsnost zemského povrchu aj.

Pro šíření radioaktivních látek ve vodním prostředí je hodnoceno vypouštění radioaktivních látek do povrchových vod a vztahy umožňující konzervativní odhad objemové aktivity radioaktivních látek v řekách, vodních nádržích a nánosech. Je zpracován model šíření radioaktivních látek v systému vodních nádrží Dalešice-Mohelno.

Přenos radionuklidů v potravinových řetězcích po kontaminaci z atmosféry, resp. ze zavlažování je počítán modifikovanou verzí modelu vypracovaného v Centru hygieny záření Státního zdravotního ústavu Praha (nyní SÚRO Praha). Bere mj. v úvahu depozice radionuklidů na listové ploše rostlin, transport radionuklidů do rostlin listovou cestou, u vepřového masa též kontaminaci radioizotopy cesia (z krmiva) a samozřejmě spotřebu potravin v obyvatelstvu.

Jako doba kumulace radionuklidů na zemském povrchu je v souladu s mezinárodně užívanou metodikou uvažován u efektivních dávek vždy 1 rok, u dávkových úvazků potom 50 let (dospělí) nebo 70 let (děti). Efektivní dávka z vnějšího ozáření, resp. dávkový úvazek z vnitřního ozáření (Sv) se určuje jako součet součinů ekvivalentní dávky HT a tkáňového váhového faktoru wT ve všech tkáních a orgánech těla.

Šíření radioaktivních látek v atmosféře je početně vyhodnocováno v okruhu do 60 km kolem středu elektrárny v síti dané 16 výsečemi (po 22,5^0) dle světových stran a v každé z nich díly dvanácti mezikruží vymezenými vzdálenostmi od EDU1-4 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 50 a 60 km (obrázek 1). Vzniká tak síť celkem 192 sektorů a pro každý z nich program RDEDU uvádí dávkové výpočty. Zóny jsou číslovány od severu a podle rostoucích vzdáleností ve směru hodinových ručiček.



Obr. 1 Síť okruhů a výsečí v okolním území pro dávkové výpočty

Pro plynné i kapalné výpusti SÚJB stanovil kritické skupiny obyvatelstva ve smyslu zákona č. 18/1997 Sb. Kritická skupina pro uvádění radionuklidů do ŽP formou výpustí do ovzduší jsou obyvatelé žijící do vzdálenosti 5 km od EDU1-4 (Rozhodnutí SÚJB čj.12135 z 3. 5. 2007). Osídlená zóna s kritickou skupinou obyvatelstva se může v jednotlivých letech lišit v závislosti na převažujících meteorologických podmínkách.

Jako kritická skupina obyvatel z hlediska kapalných výpustí byli stanoveni obyvatelé žijící v zóně 41 výše uvedené sítě do vzdálenosti 10 km od místa výpusti do recipientu, tj. v obci Lhánice (Rozhodnutí SÚJB čj. 12136 z 25. 4. 2007).

Kritickým jedincem je pro účely studie fiktivní jedinec, který po celou hodnocenou dobu každý rok obdrží historicky zaznamenané maximum součtu efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazku efektivních dávek z vnitřního ozáření z výpustí do ovzduší a do vodotečí.

Výsledné dávky z vzdušných výpustí EDU1-4 dosažené popsaným programem pro rok 2014, s dělením pro jednotlivé věkové skupiny, uvádíme v tabulce 2. Kritickou skupinou s nejvyšší hodnotou součtu efektivních dávek a úvazků efektivních dávek byli v uvedeném roce obyvatelé obce Rešice (zóna č. 88). Jedná se hodnoty na úrovni setin µSv, tedy o 3 řády (1000x) nižší než stanovený limit (40 µSv).

Tab. 2 Hodnoty součtu efektivních dávek a úvazků efektivních dávek z výpustí do ovzduší v kritické skupině obyvatelstva v roce 2014

Věk let	Sv
0 - 1	1,687E-08
1 - 2	2,011E-08
2 - 7	2,030E-08
7 - 12	2,012E-08
12 - 17	1,808E-08
dospělí	1,832E-08

Obdobné výsledky vztahující se k výpustím do vodotečí uvádíme v tabulce 3. Jedná se o hodnoty na úrovni jedné až dvou jednotek µSv, tedy spolehlivě pod úrovní stanoveného limitu (6 µSv). Pokud jde o radionuklidové složení uvedených výpustí, je to téměř výlučně tritium. Ostatní radioizotopy se na uvedených dávkách podílejí jen několika procenty.

Tab. 3 Hodnoty součtu efektivních dávek a úvazků efektivních dávek z výpustí do vodotečí v kritické skupině obyvatelstva v roce 2014

Věk let	Sv
0 - 1	2,914E-06
1 - 2	2,262E-06
2 - 7	2,586E-06
7 - 12	1,981E-06
12 - 17	1,596E-06
dospělí	2,348E-06

Výsledky uvedené v tabulkách 2 a 3 jsou podkladem pro kvantitativní vyhodnocení zdravotních rizik.

3.3.4.1 Individuální zdravotní rizika dospělých s omezenou dobou expozice

Při následujícím hodnocení zdravotních rizik v okolí jaderné elektrárny Dukovany postupujeme podle podkladů ICRP (viz 3.2.4, tabulka 1).

Na tomto místě hodnotíme riziko obyvatel, kteří žijí v nejbližším okolí EDU1-4 po celých 30 let jeho činnosti jako dospělí. Jako každoroční dávku užijeme konzervativně výsledek z roku 2014 jako obálkový pro hodnocení celého 30 letého uplynulého provozu EDU1-4.

U výpustí do ovzduší se riziko zdravotní újmy rovná součinu výsledné roční dávky (součtu efektivní dávky a úvazku efektivní dávky), tj. 1,832E-08 Sv, počtu let expozic, tj. 30 a v tabulce uvedeného koeficientu pro obyvatelstvo, tj. 0,057. Sv^{-1}. Riziko z výpustí do ovzduší tedy činí v nejvíce exponované (kritické) skupině obyvatel **3,13E-08.**

Riziko z výpustí do vodotečí vypočteme obdobně jako součin 2,348E-06 x 30 x 0,057, tj.**4,02E-06.**

Uvedené riziko zdravotní újmy z výpustí do vodotečí znamená, že z milionu lidí exponovaných dané úrovni záření by 4 utrpěli zdravotní újmu. Jestliže bychom pro jednoduchost uvažovali, že v lokalitě dané kritické skupiny žije 1000 lidí, znamenalo by to zdravotní újmu u 0,004 lidí, nebo jinak řečeno 4 případy zdravotní újmy za 400 let. Je zřejmé, že jde o riziko nicotné, spíše matematickou abstrakci bez jakéhokoli praktického významu.

Riziko z výpustí do ovzduší je ještě o 2 řády nižší.

3.3.4.2 Individuální zdravotní rizika při celoživotní expozici

Jako druhý model si představíme člověka, který se v roce zahájení činnosti EDU1-4 narodil a celé své dětství, dospívání a pak část dospělosti do 30 let věku prožil jako člen kritické skupiny. Zde musíme vzít v úvahu, že v některých obdobích dětského věku jsou celkové roční dávky (součty efektivních dávek a úvazků efektivních dávek) za jinak stejných podmínek vyšší než u dospělých. Tyto celkové dávky musíme započítat pro počet let života v daném věkovém období. Postup těchto výpočtů pro výpusti do ovzduší prezentujeme v tabulce 4.

Tab. 4 Výpočet současného rizika (2014) zdravotní újmy z výpustí EDU1-4 do ovzduší pro člověka, který žil v kritické skupině ve věku 0 – 30 let

Věk let	A	B	C
	Sv	Let života	A x B x 0,057
0 - 1	1,687E-08	1	9,616E-10
1 - 2	2,011E-08	1	1,146E-09
2 - 7	2,030E-08	5	5,786E-09
7 - 12	2,012E-08	5	5,734E-09
12 - 17	1,808E-08	5	5,153E-09
dospělí	1,832E-08	13	1,358E-08
Celkem			**3,235E-08**

Obdobně budeme postupovat u téhož modelového člověk při hodnocení jeho zdravotního rizika z výpustí EDU1-4 do vodotečí (tabulka 5).

Tab. 5 Výpočet současného rizika (2014) zdravotní újmy z výpustí EDU1-4 do vodotečí pro člověka, který žil v kritické skupině ve věku 0 – 30 let

Věk let	A	B	C
	Sv	Let života	A x B x 0,057
0 - 1	2,914E-06	1	1,661E-07
1 - 2	2,262E-06	1	1,289E-07
2 - 7	2,586E-06	5	7,370E-07
7 - 12	1,981E-06	5	5,646E-07
12 - 17	1,596E-06	5	4,549E-07
dospělí	2,348E-06	13	1,740E-06
Celkem			**3,791E-06**

Srovnáním s výše uvedenými výsledky u člověka, který celé období činnosti EDU1-4 prožil v kritické skupině v dospělosti (ve výpustích riziko zdravotní újmy 3,13E-08 resp. tj.4,02E-06) vidíme, že se odlišují jen nepatrně, jsou stejného řádu a tedy obdobně zcela bezvýznamné.

3.3.5 Zdravotní stav obyvatelstva

Druhým možným pohledem na případné zdravotní vlivy dosavadního provozu EDU1-4 je posouzení zdravotního stavu obyvatelstva a jeho vývoje v době provozu elektrárny. Takové posouzení bylo podrobně provedeno a výsledky byly publikovány ve „Studii vývoje zdravotního stavu obyvatelstva v zájmové oblasti Jaderné elektrárny Dukovany“ (J. Kotulán, Amec s.r.o., Brno, březen 2015). Cílem této studie bylo ověřit, zda činnost EDU1-4 neovlivnila zdraví obyvatel blízkého okolí. Případný zdravotní dopad téměř třicetiletého provozu, zahájeného postupně po jednotlivých reaktorech v letech 1985 – 1987, by se za tuto dobu musel již projevit v důsledku kumulace dílčích účinků a dostatečného časového intervalu i pro případné vlivy karcinogenní.

3.3.5.1 Metody a soubory

Výběr ukazatelů zdraví a metody, které jsou používány v uvedené studii, jsou obdobou metod užívaných ve výše popsané starší studii z roku 1996 a v rámci dlouhodobého monitorování zdravotního stavu obyvatelstva v zájmové oblasti Elektrárny Temelín (Kotulán, 2014).

Zvolené postupy byly vedeny těmito úvodními úvahami:

EDU1-4 by teoreticky mohla ovlivnit okolní obyvatelstvo dvojím způsobem:

- ionizujícím zářením radionuklidů uvolňovaných do životního prostředí ze vzdušných a kapalných výpustí,
- účinky na psychiku lidí, navozením pocitů znepokojení a duševních tenzí spjatých *v blízkosti elektrárny s obavami z možných nepříznivých účinků a rizik.*

Význam mají ukazatele takových stránek zdraví, které by mohly být uvedenými vlivy EDU1-4 potenciálně dotčeny. Je to výskyt zhoubných novotvarů (se zvláštním zaměřením na zhoubné bujení mízní a krvetvorné tkáně), výskyt srdečně cévních onemocnění a dále výskyt poruch populačního reprodukčního procesu (plození dětí). Kromě toho je vhodné soustavně vyhodnocovat úmrtnost, jakožto základní srovnávací zdravotní ukazatel.

Přímé vyšetřování dostatečně velkých reprezentativních vzorků obyvatel by bylo neúměrně finančně a organizačně náročné a přitom by nepřineslo žádoucí efekt vzhledem k jemnosti potenciálních zdravotních účinků a k četným a nesnadno uchopitelným matoucím faktorům (confounders) v životních podmínkách lidí. Je proto vhodnější orientovat se na takové ukazatele zdraví, které jsou dostupné pro velké populační skupiny, a to i zpětně, z celostátních podkladů a databází rutinní demografické a zdravotnické statistiky. S jejich využitím lze souhrnně hodnotit všechny obyvatele vybraných oblastí.

Vzhledem k obecně nízké incidenci úmrtí (cca 1,2 % obyvatelstva za rok) a zhoubných novotvarů (u nejčastějších druhů cca 0,1% za rok) a k potřebě posuzovat odděleně muže a ženy je statistické

hodnocení dobře možné jen u dostatečně početných populačních skupin. Pro roční hodnocení celkové úmrtnosti by měly hodnocené populační skupiny mít řádově alespoň 5000 obyvatel (tj. cca 30 zemřelých mužů a 30 zemřelých žen za rok) a pro hodnocení dílčích ukazatelů úmrtnosti a incidence novotvarů ještě mnohem více.

Statisticky lépe vyhovující počty případů bude možno dosahovat souhrnným hodnocením víceletých období.

K detekci případných vlivů elektrárny bude vhodné vymezit dvě exponovaná pásma (bližší a vzdálenější) kolem EDU1-4 a nálezy z těchto pásem srovnat s analogickými nálezy alespoň dvou vzdálenějších kontrolních oblastí s pokud možno podobným sociálním, ekonomickým a kulturním zázemím.

3.3.5.2 Zdravotní charakteristiky

K hodnocení zdravotního stavu byly užity tyto charakteristiky:

Úmrtnost je ve zprávě zhodnocena za období od roku 1994 do roku 2013 (poslední dostupný rok). Vedle úmrtnosti celkové (všechny příčiny smrti) je posouzena zvlášť též úmrtnost na choroby srdečně cévní a na zhoubné novotvary. Jde o dvě nejčastější příčiny smrti, z nichž první má určitý vztah ke stresům a druhá by mohla mít vztah k ionizujícímu záření. Kromě souhrnných hodnot pro všechny věkové skupiny speciálně hodnotíme též úmrtnost v produktivním věku (20 - 64 let), která v některých směrech odráží vlivy životních podmínek citlivěji než úmrtnost celková, zahrnující i starší věkové vrstvy.

Vcelku tedy bylo hodnoceno 6 ukazatelů úmrtnosti:

Úmrtnost (všechny věkové skupiny):

1. *Celkem (všechna úmrtí)*
2. *Na srdečně cévní (kardiovaskulární) choroby*
3. *Na zhoubné novotvary*

Úmrtnost v produktivním věku:

4. *Celkem (všechna úmrtí)*
5. *Na srdečně cévní (kardiovaskulární) choroby*
6. *Na zhoubné novotvary.*

Incidence (výskyt nových případů za rok) zhoubných nádorů, jednak všech druhů společně, jednak vybraných nádorů častěji se vyskytujících a nádorů, které by mohly mít vztah k ionizujícímu záření. Hodnocení je provedeno z ročních podkladů pro období 1994 až 2010. Seznam sledovaných nádorů je doplněn kódy podle kódu mezinárodní klasifikace nemocí podle 10. revize platné od roku 1995:

- všechny zhoubné novotvary společně kromě „jiných kožních“ (kód C00 až C97 minus C44),
- zhoubné novotvary tlustého střeva, konečníku, rektosigmoideálního spojení a řiti (kód C18 až C21),
- zhoubné novotvary prsu (kód C50) - jen ženy,
- zhoubné novotvary močového ústrojí (kód C64 až C68),
- zhoubné novotvary mízní, krvetvorné a příbuzné tkáně (kód C81 až C96).

Při srovnání úmrtnosti i incidence nádorů v různých oblastech by mohly být na závadu odlišnosti ve věkové struktuře. Kde je větší podíl starších ročníků, je přirozeně vyšší počet úmrtí i zhoubných nádorů. Proto jsou u obojích ukazatelů hrubé počty korigovány tzv. věkovou standardizací a vyjádřeny poměrnými charakteristikami SMR u úmrtnosti a SIR u incidence zhoubných nádorů

Incidence projevů narušené reprodukce (plození dětí) je za období 1994 až 2013 hodnocena dvěma charakteristikami:

- Index výskytu samovolných potratů (v přepočtu na 1000 živě narozených).
- Index výskytu dětí s porodní váhou pod 2500 g (v přepočtu na 1000 živě narozených).

3.3.5.3 Sledované oblasti

Šetření je prováděno jednak v blízkém okolí EDU1-4 („exponovaných“ oblastech), jednak v oblastech vzdálenějších, ale jinak srovnatelných („kontrolních“). Počty jejich obyvatel v dalším textu uvádíme dle údajů posledního Sčítání lidu, tedy k 25. 3. 2011.

Exponované oblasti

Za exponovanou oblast považujeme množinu obcí do vzdálenosti cca 10 km od EDU. Na tomto území by se musely projevit případné nepříznivé účinky existence a provozu EDU1-4 (vliv uvolňovaných radionuklidů, psychické tenze spojené s obavami ze škodlivých účinků EDU1-4 resp. možnosti vzniku havárie). Ve větších vzdálenostech by uvedené vlivy byly již méně výrazné nebo žádné.

S ohledem na případný psychický vliv dělíme exponovanou oblast ještě na dvě části: bližší (E1) a vzdálenější (E2).

Bližší exponovaná oblast (E1), do vzdálenosti cca 6 km, je v okruhu přímé a poměrně detailní viditelnosti chladicích věží EDU1-4, při níž lze předpokládat i trvalé povědomí lidí, že žijí v její bezprostřední blízkosti. Jde o obce natolik blízké, že případný vliv záření by se zde musel rovněž projevit.

Oblast zahrnuje 11 administrativních obcí a 13 sídel, přísluší k okresům Třebíč a Znojmo. V roce 2011 v nich bydlelo 7 194 obyvatel.

Vzdálenější exponovaná oblast (E2) jsou obce umístěné na území zhruba tvaru mezikruží mezi zevním okrajem E1 a zevním okrajem celé exponované oblasti. Zahrnuje 32 administrativních obcí a 38 sídel. Obce přísluší do okresů Třebíč, Znojmo a Brno - venkov. V roce 2011 v oblasti celkově bydlelo 10 124 obyvatel.

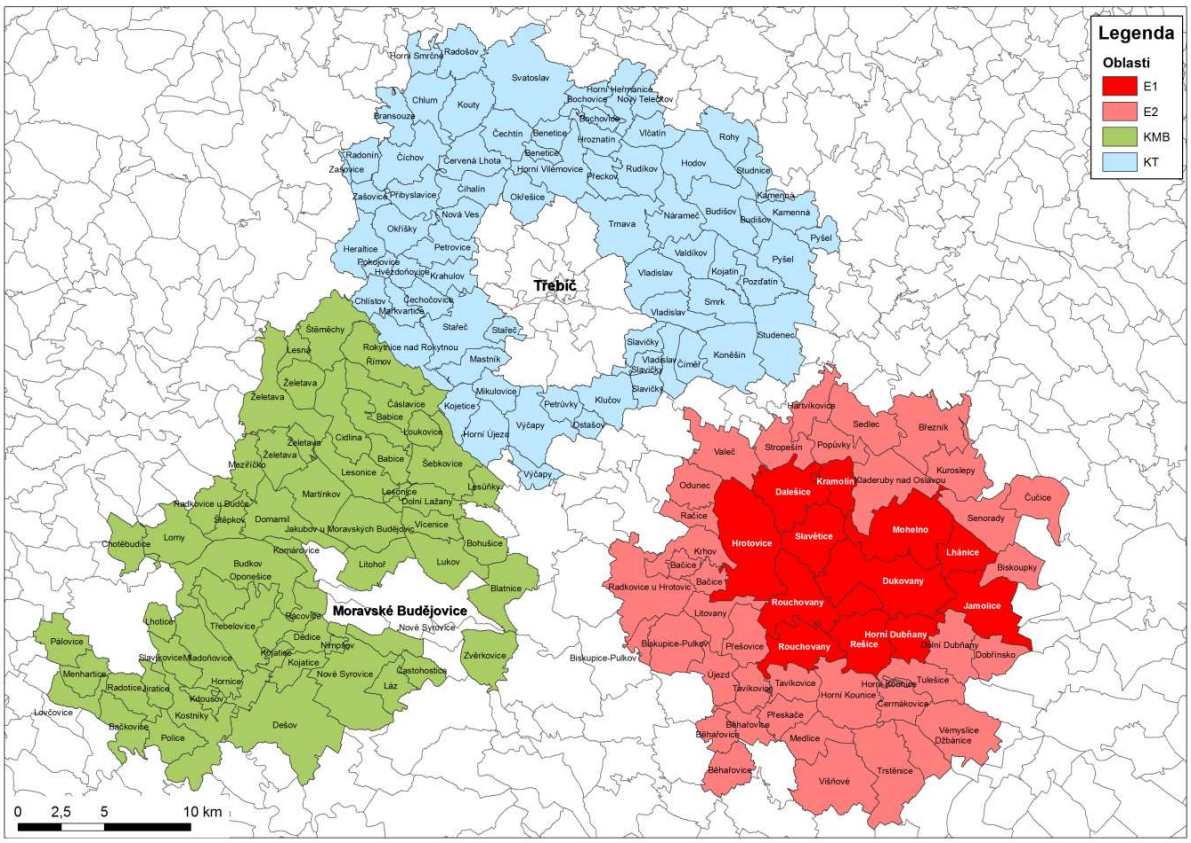
Pro účely některých hodnocení jsme též spojili bližší a vzdálenější oblast (E1 + E2) jako celkovou exponovanou oblast (EC) se 17 318 obyvateli v roce 2011.

Kontrolní oblasti:

Kontrolní oblast Třebíčsko (KT) je množina sídel situovaných přibližně v kruhu kolem města Třebíče (bez města Třebíč). Zahrnuje 60 administrativních obcí a 82 sídel, vše přísluší k okresu Třebíč. V roce 2011 v nich bydlelo 20 533 obyvatel.

Kontrolní oblast Moravskobudějovicko (KMB) byla zvolena v jihozápadním cípu okresu Třebíč s největším městem Moravské Budějovice. V zájmu zachování srovnatelného venkovského charakteru nebyla do ní zařazena města Moravské Budějovice, Jaroměřice nad Rokytnou a Jemnice. Tato oblast zahrnuje 51 administrativních obcí a 67 sídel, vše přísluší k okresu Třebíč. V roce 2011 v nich bydlelo 13 686 obyvatel.

Kartograficky jsou tato území znázorněna na obrázku 2.



Obr. 2 Exponované a kontrolní oblasti vybrané pro hodnocení zdravotního stavu

3.3.5.4 Výsledky a závěry

V úvahách o případných zdravotních vlivech vycházíme ze skutečnosti, že sledované období zahrnuje dobu již dříve zahájené a v hodnocené době již víceméně ustálené činnosti EDU1-4, která, pokud by ovlivňovala obyvatelstvo, musela vykazovat ustálené a trvající efekty, nikoli krátkodobé výkyvy a změny. Další stránkou tohoto období je skutečnost, že okolní obyvatelstvo již existenci a činnosti elektrárny přivyklo, přijímá ji jako součást svého prostředí a odpadly, nebo přinejmenším jsou silně utlumeny někdejší stresy spjaté s šířenými fámami o škodlivých vlivech a nebezpečích z elektrárny. Nehrají zde tedy zřejmě již takovou roli psychické tenze, které by u nových elektráren mohly zejména v prvních letech psychologicky i zdravotně nepříznivě působit.

Zvláštní pozornost při hodnocení výsledků je v citované studii věnována zdravotnímu stavu obyvatel nejbližšího okolí elektrárny (oblast E1), do níž spadají obce Mohelno, Lhánice, Dukovany, Jamolice, Horní Dubňany, Rešice, Rouchovany, Slavětice, Hrotovice, Dalešice a Kramolín. Z odlišností od rovnoměrného rozložení ukazatelů zdravotního stavu v oblastech jsou pro nás z hlediska možných vlivů EDU1-4 nevýznamnější vztahy: a) bližší exponované oblasti (E1) ke vzdálenější (E2), b) bližší exponované oblasti (E1) k oblastem kontrolním (KMB a KT), c) vývojové trendy v oblasti E1.

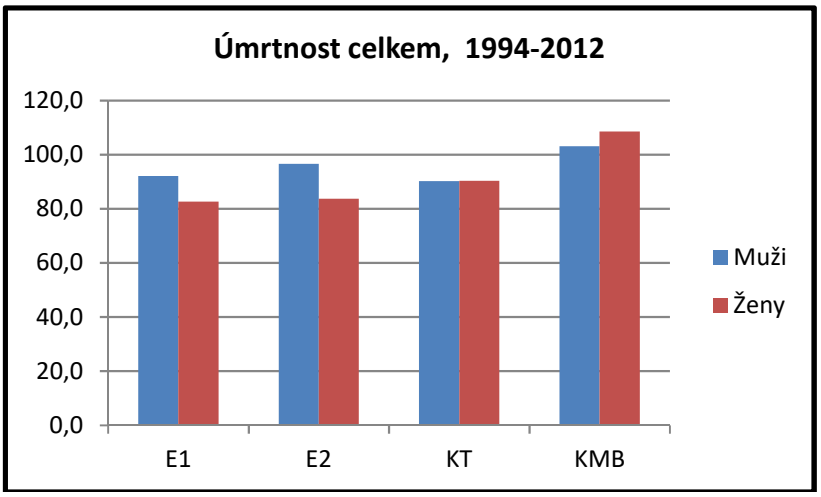
Nepříznivé vlivy EDU1-4 by se musely především projevit více v jeho bezprostřední blízkosti, tedy v oblasti E1, než v oblasti vzdálenější, E2. Takové vztahy však nebyly ve studii zjištěny, resp. prokázány. Pokud se numerické rozdíly tohoto typu vyskytly, byly vždy projevem krátkodobých výkyvů, nikoli trvalejších tendencí, a vyskytovaly se nejen v oblastech exponovaných, ale i kontrolních.

Z podrobně dokumentovaných výsledků citované studie zde vybereme jen ty hlavní.

Úmrtnost

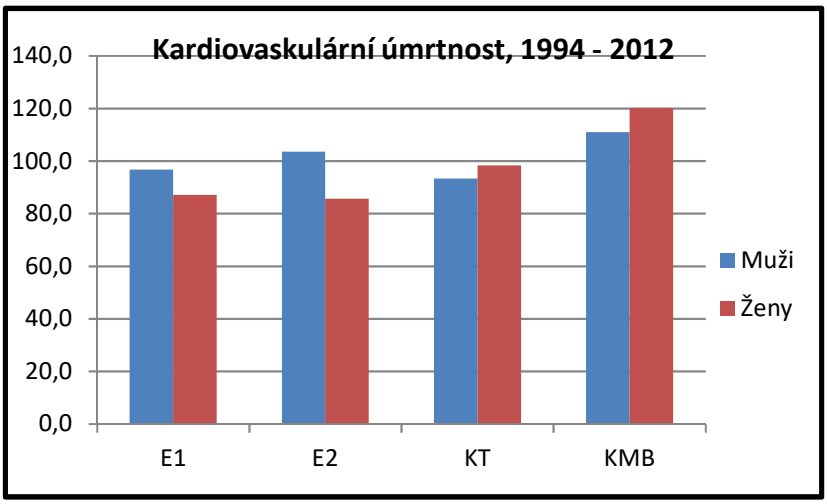
Standardizované úmrtnostní indexy (obrázek 3) jsou u mužů nejvyšší v kontrolní oblasti KMB, a to statisticky významně nad úmrtností v bližší exponovaní oblasti E1. U žen jsou výsledky obdobné, ale ještě výraznější, obě exponované oblasti mají úmrtnost statisticky významně nižší než oblasti kontrolní. Uvedené výsledky

tedy prokazují, že zdravotní stav hodnocený celkovou úmrtností je příznivější v blízkém okolí elektrárny než v oblastech vzdálenějších.

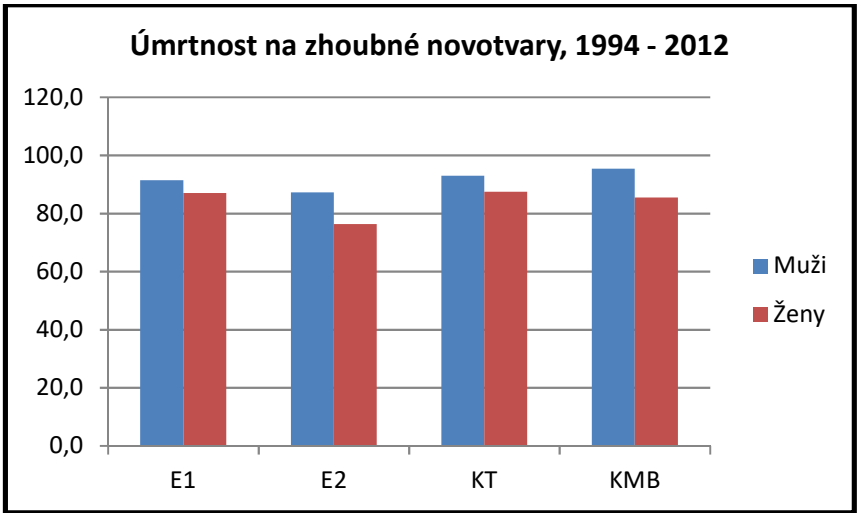


Obr. 3 Celková věkově standardizovaná úmrtnost v exponovaných a kontrolních oblastech. Pozn.: SMR = 100,0 označuje celostátní úroveň v ČR

V úmrtnosti na nemoci srdečně cévní (obrázek 4) a na zhoubné novotvary (obrázek 5) se se rovněž neprojevily žádné známky případného nepříznivého vlivu EDU. Nebyly zjištěny ani u žádného z ukazatelů úmrtnosti v produktivním věku.



Obr. 4 Věkově standardizovaná úmrtnost na srdečně cévní nemoci v exponovaných a kontrolních oblastech. Pozn.: SMR = 100,0 označuje celostátní úroveň v ČR



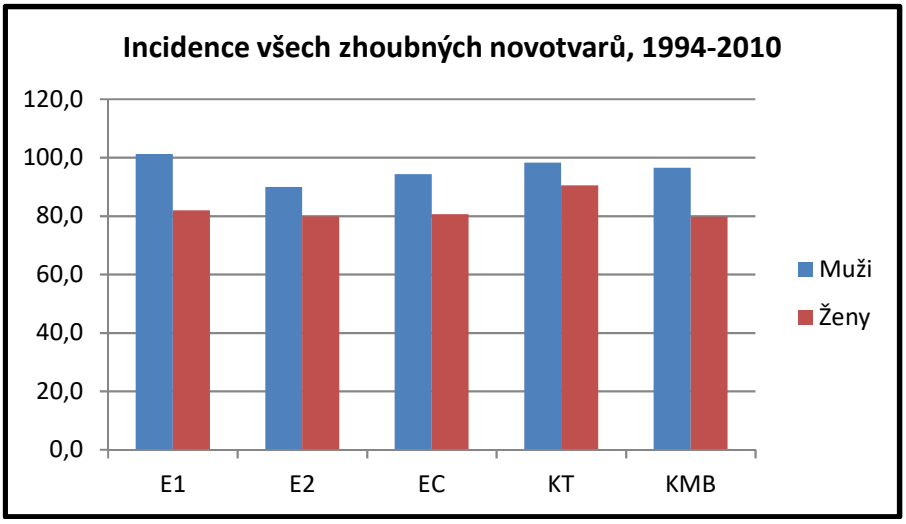
Obr. 5 Věkově standardizovaná úmrtnost na zhoubné nádory v exponovaných a kontrolních oblastech. Pozn.: SMR = 100,0 označuje celostátní úroveň v ČR

Zhoubné novotvary

Onemocnění označované v běžné řeči jako rakovina je charakterizováno ložisky abnormálně rychle rostoucích zvrhlých buněk, které ztratily vlastnosti normálních buněk příslušné tkáně a schopnost koordinace s ostatními buňkami. Zvětšující se ložisko je běžně označováno jako nádor resp. ve vědecké literatuře novotvar (podle vědeckého názvu neoplazma).

Rakovinotvorný (karcinogenní) proces začíná vždy v jediné buňce určité tkáně, která byla poškozena některým rakovinotvorným faktorem, většinou chemickým (karcinogeny – rakovinotvorné látky) ale v části případů i vlivy fyzikálními (ionizují záření, ultrafialové záření) nebo biologickými (virusy, mikroby, paraziti). I když je popsaný princip pro naprostou většinu nádorů shodný, nejedná se o jednotnou nemoc. Nádory vzniklé v různých tkáních mají nejen různé vlastnosti a příznaky, ale i různé příčinné faktory v životních podmínkách. Vcelku tak existuje několik set různých typů nádorů, které je nutno považovat za samostatné, vzájemně značně nezávislé nemoci.

Incidenci všech zhoubných nádorů společně v exponovaných a kontrolních oblastech je znázorněna na obrázku 6. U mužů jsou indexy incidence ve všech oblastech úrovni v blízkosti celostátní úrovně (=100 %), rozdíly mezi nimi nejsou statisticky významné. U žen jsou hodnoty SIR ještě nižší, ve všech oblastech statisticky významně pod celostátní úrovní. Rozdíly mezi nimi nejsou většinou signifikantní, jen SIR celkové exponované oblasti EC je významně nižší než v kontrolní oblasti KT.



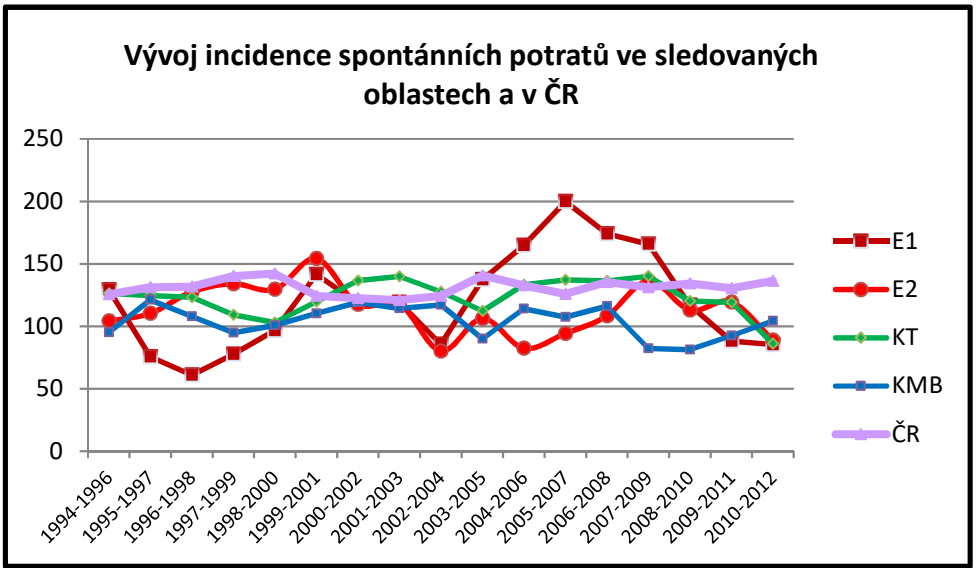
Obr. 6 Věkově standardizovaná incidence všech druhů nádorů společně v exponovaných a kontrolních oblastech. Pozn.: SIR = 100,0 označuje celostátní úroveň v ČR

Obdobně negativní jsou z hlediska možných vlivů EDU1-4 také incidence jednotlivých hodnocených druhů nádorů, tj. tlustého střeva a konečníku, prsu žen, orgánů močového ústrojí ani u nádorů mízní, krvetvorné a příbuzné tkáně.

Obzvláštní význam má zjišťování zmnoženého výskytu (tzv. shluků) leukémií a ne-Hodgkinových lymfomů v dětském věku, které byly zjištěny v okolí několika zahraničních jaderných zařízení. V citované studii je podrobně hodnocen výskyt jednotlivých případů v jednotlivých oblastech a jednotlivých letech a srovnán i s výsledky celostátními. Výskyt leukémií přepočtený na 1000 dětí činí v exponovaných oblastech 0,013 případů, v kontrolních oblastech 0,014 případů. Výskyt je tedy prakticky shodný, rozdíl není statisticky významný. Neliší se významně ani od incidence celostátní, numericky je dokonce o něco nižší. Je tedy možno konstatovat, že shlukování dětských leukémií, popisované v blízkosti některých zahraničních jaderných zařízení, se v okolí EDU1-4 neprojevilo.

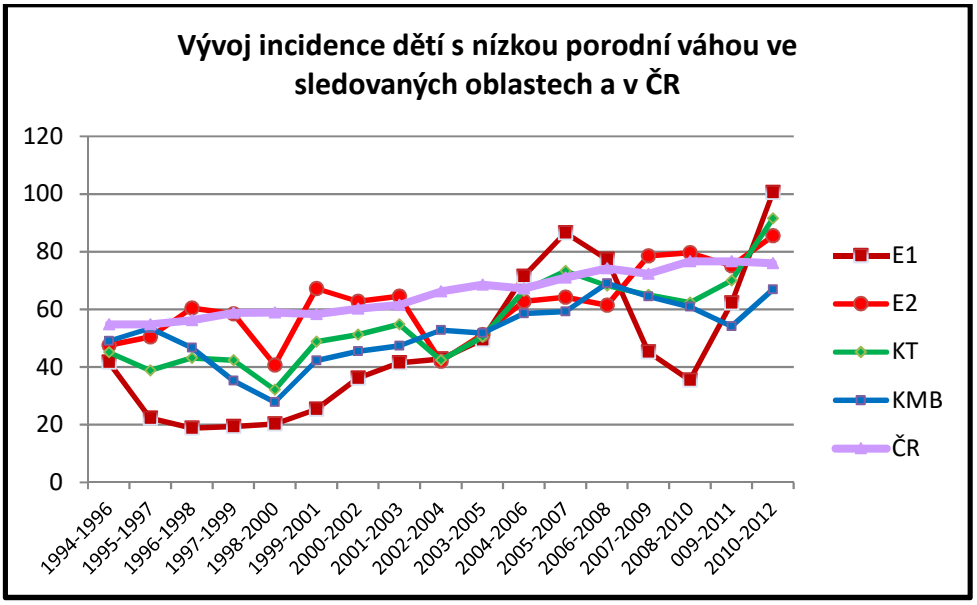
Znaky narušení reprodukčního procesu

Vývoj incidence spontánních potratů je znázorněn na obrázku 7. Je z něj zřejmé, že se zde nejedná o žádné soustavnější trendy, ale o nepravidelné kolísání, dané zřejmě jednak pravděpodobnostními nahodilostmi, jednak změnami blíže těžko zjistitelných místních podmínek, včetně např. i způsobu a pečlivosti záznamnictví. Dobře je to viditelné např. na křivce vývoje potratovosti v oblasti E1, která třikrát klesá k úrovním kolem 60 až 85 a dvakrát vysoko stoupá, v jednom případě k extrémně vysoké úrovni 200. Nemůže se tedy jednat o žádný soustavný a trvalý vliv, např. EDU1-4. V grafu jsou pro srovnání zakresleny i hodnoty incidencí spontánních potratů pro celou ČR. Má samozřejmě vyrovnanější průběh, index incidence varíruje zhruba v rozmezí 120 až 140. Všechny sledované oblasti, exponované i kontrolní, mají po většinu sledovaného období úroveň nižší, a tedy z celostátního hlediska příznivou. Statisticky signifikantní rozdíly mezi oblastmi se objevují jen ojediněle a nepravidelně, v místech největších výkyvů hodnot jednotlivých oblastí. Pro interpretaci výsledků nemají žádný význam.



Obr. 7 Vývoj incidence spontánních potratů v exponovaných a kontrolních oblastech v období 1994 až 2012

Vývoj **výskytu dětí s nízkou porodní váhou** je zřejmý z obrázku 8. Pro srovnání jsou i zde zakresleny též údaje pro celou ČR. Celostátně se zde projevuje soustavný celostátní růst incidencí. Všechny oblastní křivky vykazují obdobný vzestupný trend, probíhají ovšem méně pravidelně, zejména v oblasti E1, kde je vysoká míra kolísání dána nízkým počtem případů. Křivky jednotlivých oblastí, exponovaných i kontrolních, jsou v naprosté většině (až na několik výjimečných krátkodobých vzestupů) položeny níže než celostátní a ukazují tak celkově příznivější situaci ve sledovaném území. Statisticky významné rozdíly mezi oblastmi se objevují jen ojediněle a nepravidelně, v místech největších výkyvů hodnot oblasti E1. Pro interpretaci výsledků jsou bezvýznamné.



Obr. 8 Vývoj incidence dětí s nízkou porodní váhou v exponovaných a kontrolních oblastech v období 1994 až 2012

3.3.5.5 Závěr

Celkově můžeme výsledky studie uzavřít konstatováním, že v žádném z použitých ukazatelů zdravotního stavu obyvatelstva nebyl nepříznivý vliv EDU1-4 zjištěn.

3.4 Radiační vlivy NJZ a obyvatelstvo

3.4.1 Studie ABmerit

V této kapitole se soustředíme na tři základní výkonové alternativy možných kombinací nových reaktorů v lokalitě Dukovany vyjmenovaných v úvodu, kde je tento výběr též odůvodněn. Cílem je kvantitativní vyhodnocení vlivu provozních stavů NJZ na celoživotní riziko zdravotní újmy dle ICRP pro reprezentativní osoby žijící v jeho blízkosti a pro nejvíce ovlivněné obyvatele v přeshraničních oblastech Rakouska a Slovenska[4]. Opíráme se zde o podrobné studie šíření radionuklidů z výpustí NJZ a jejich efektu na dávkách záření pro exponované obyvatelstvo, zpracované firmou ABmerit (Trnava, 2016 a,b).

K řešení sledových problémů byl v uvedené studii použit výpočetní **program ESTE Annual Impacts** (ESTE AI) sloužící k hodnocení radiologických dopadů běžného provozu jaderných zařízení na okolí. Je schválený Úřadem veřejného zdravotnictví SR (ÚVZ SR) jako certifikovaný nástroj na výpočet vlivu provozu jaderných zařízení. Používá jej Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) k verifikačním výpočtům radiačních dopadů provozu jaderných zařízení Dukovany a Temelín.

Program počítá dopady výpustí do ovzduší a do vodotečí, v případě výpustí do ovzduší umožňuje zadat výpusť a počítat šíření radionuklidů z různých bodů v lokalitě (například z ventilačních komínů nebo chladicích věží). Metodické postupy a algoritmy programu uvažují všechny potenciální cesty ozáření a velké množství radionuklidů v potenciální výpusti.

Program ESTE AI pracuje s výpočetní zónou do vzdálenosti 100 km od NJZ. K výpočtu průměrných koncentrací v ovzduší způsobených běžným provozem je použit předpoklad konstantních meteorologických parametrů pro šíření výpustě ve výpočetní zóně, tj. směr větru, rychlost větru, kategorie stability, výška směšovací vrstvy, intenzita srážek je konstantní od okamžiku výpustě z ventilačního komína resp. chladící věže až do vzdálenosti 100 km od místa výpustě. Umožňuje tak stanovit a prezentovat dopady výpustí do ovzduší, z výpustí do vodotečí a sumárně ze všech výpustí. V lokalitě Dukovany tak lze vyhodnocovat vliv

[4] Jakékoliv zaznamenatelné radiační vlivy provozních stavů NJZ jsou na ostatní země v soulady s výsledky této studie vyloučeny.

jednotlivých výpustí v lokalitě (ventilační komín 12, ventilační komín 34, chladící věže 12 a chladící věže 34) a výpustí do vodotečí (přes vyústění do vodní nádrže Mohelno). Program umožňuje vyhodnocovat též dopady na sousední státy, které se nachází v kruhu s poloměrem 100 km kolem NJZ (Rakousko, Slovensko) a vliv tzv. globálních nuklidů (Kr-85, H-3, C-14) i na obyvatelstvo Německa a Polska.

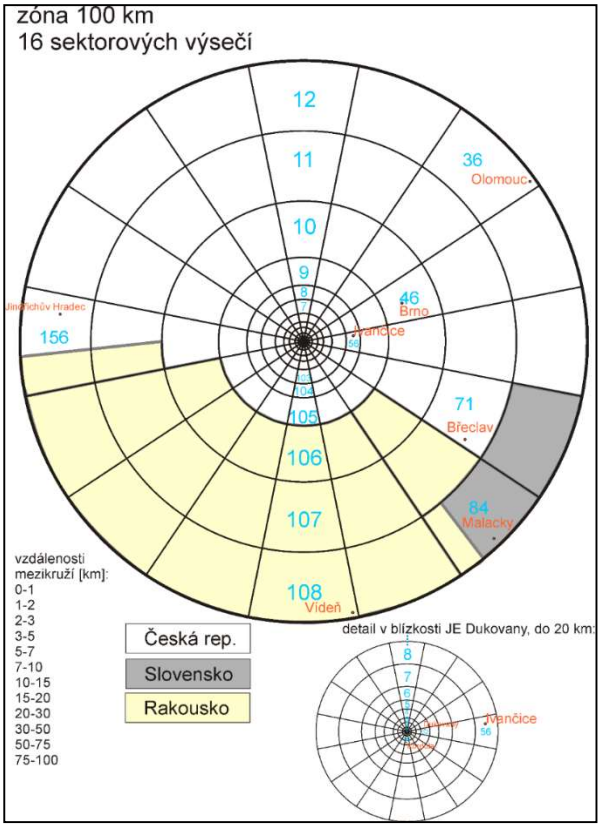
Program umožňuje najit a identifikovat reprezentativní osobu resp. kritickou skupinu obyvatel (viz níže) pro různé cesty ozáření, stanovuje individuální efektivní dávky a 50leté nebo 70leté úvazky efektivních individuálních dávek, stanovuje dávky na průměrného obyvatele a z nich počítá kolektivní dávky.

K výpočtům průměrných koncentrací v ovzduší způsobených běžným provozem je použit předpoklad konstantních meteorologických parametrů pro šíření výpustě ve výpočetní zóně, tj. směr větru, rychlost větru, kategorie stability, výška směšovací vrstvy; intenzita srážek je konstantní od okamžiku výpustě z ventilačního komína resp. chladící věže až do vzdálenosti 100 km od místa výpustě.

Model a výpočet šíření výpustí do vodotečí a na výpočet objemových koncentrací ve vodě pro lokalitu Dukovany předpokládá konstantní objem vody v nádrži Mohelno a dále využívá data o průměrném průtoku v řece Jihlava pod nádrží Mohelno, resp. v dalších bodech podél toku až po soutok s řekou Morava.

Výpočtová zóna je stanovena metodami danými programem ESTE AI, který počítá a znázorňuje dopady do výpočetní sítě v kruhu s poloměrem 100 km. Zóna je rozdělena do 16 pravidelných výsečí a 12 mezikruží. Střed sítě je v patě ventilačního komínu VK12 EDU1-4. Uvedenou síť znázorňuje obrázek 9 převzatý z citované studie firmy ABmerit. Sektory jsou číslovány od severní výseče směrem od středu k periferii a pak obdobně v dalších výsečích postupně ve směru hodinových ručiček. Celkem je to 192 sektorů. Na obrázku jsou uvedena i rozmezí vzdáleností jednotlivých mezikruží od středu a poloha vybraných měst: sektor č. 36 Olomouc, č. 46 Brno, č. 56 Ivančice, č. 71 Břeclav, č. 84 Malacky, č. 108 Vídeň, č. 156 Jindřichův Hradec. Barevně jsou označeny sektory situované v sousedních zemích, Slovensku a Rakousku.

Tabulkový přehled všech sektorů uvádíme dle citované studie ABmerit na tabulce 6. V řádcích jsou jednotlivé výseče s označením světové strany, ve sloupcích vzdálenosti jednotlivých pásem od NJZ v km. V polích tabulky jsou všechna čísla 192 sektorů. Pole vybarvená žlutě označují sektory obydlené (když uvnitř sektoru leží definiční bod obce, resp. se v něm nachází zastavěné území obce nebo usedlosti). Nebarevné sektory jsou neobydlené



Obr. 9 Výpočtová zóna pro NJZ dle programu ESTE AI

Tab. 6 Umístění všech sektorů výpočtové zóny pro NJZ

Vzdál.	0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-10	10-15	15-20	20-30	30-50	50-75	75-100
Směr												
S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SSV	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SV	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
SVV	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
V	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
VJV	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
JV	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
JVJ	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
J	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
JJZ	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
JZ	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
JZZ	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
Z	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
ZSZ	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
SZ	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
SZS	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192

Výpočty radiačních dávek v jednotlivých sektorech jsou v citované studii většinou orientovány na tzv. **reprezentativní osoby**. Pod tímto pojmem se rozumí v souladu s definicí dle atomového zákona jedinec z veřejnosti, který je vystaven působení záření jako člen veřejnosti (ne profesně v jaderném zařízení), a který je, nebo může být, v důsledku výpustí radionuklidů do ovzduší a vodotečí z celé populace nejvíce ozářen. Reprezentativní osoba žije někde v okolí jaderného zařízení. Protože radiologické dopady provozních výpustí mohou být ovlivněny různými jevy (množstvím vypouštěných radionuklidů, způsobem jejich uvedení do životního prostředí, nuklidovým složením výpustí, meteorologickou situací, průtokem ve vodotečích aj.), může být i reprezentativní osoba v různých situacích různá. Identifikace reprezentativní osoby se řeší prostřednictvím modelu životného prostředí v okolí jaderného zařízení a modelových výpočtů radiačních dopadů způsobených jeho provozem, někdy i v kombinaci s výsledky monitorování radiačních parametrů v životním prostředí a s průzkumem zvyklostí a návyků exponovaných obyvatel.

Program ESTE AI vyhodnocuje velmi podrobně možné cesty ozáření, a to:

- Ozáření z mraku (externí)/dávka
- Ozáření z depozitu (externí)/dávka
- Inhalace objemové aktivity/dávka (pro jednotlivé věkové kategorie)
- Ingesce (pro jednotlivé věkové kategorie):
  - Listová zelenina – člověk (přímá ingesce)
  - Ostatní zemědělské produkty člověk (přímá ingesce)
  - (obilniny, brambory, ovoce, vinná réva, chmel)
  - Čerstvá pastva – kráva – mléko – člověk
  - Krmená ve stáji – kráva – mléko – člověk

- Čerstvá pastva – koza – mléko – člověk
- Krmená ve stáji – koza – mléko – člověk
- Čerstvá pastva – kráva – maso – člověk
- Krmená ve stáji – kráva – maso – člověk
- Pitná voda – člověk (přímá ingesce)
- Krmená ve stáji obilninou – prase – maso – člověk
- Krmená ve stáji obilninou – drůbež – maso – člověk
- Krmená ve stáji obilninou – drůbež – vejce – člověk
- Zavlažovaná listová zelenina – člověk (přímá ingesce)
- Zavlažované ostatní zemědělské produkty člověk (přímá ingesce)
- (obilniny, brambory, ovoce, vinná réva, chmel)
- Zavlažovaná čerstvá pastva – kráva – mléko – člověk
- Zavlažovaná krmená ve stáji – kráva – mléko – člověk
- Zavlažovaná čerstvá pastva – koza – mléko – člověk
- Zavlažovaná krmená ve stáji – koza – mléko – člověk
- Zavlažovaná čerstvá pastva – kráva – maso – člověk
- Zavlažovaná krmená ve stáji – kráva – maso – člověk
- Zavlažovaná obilninou krmená ve stáji – prase – maso – člověk
- Krmená ve stáji obilninou zavlažovanou – drůbež – maso – člověk
- Krmená ve stáji obilninou zavlažovanou – drůbež – vejce – člověk
- Voda (řeka) – ryba – maso – člověk
- Voda (řeka) – pije kráva – mléko – člověk
- Voda (řeka) – pije kráva – maso – člověk
- Voda (řeka) – pije prase – maso – člověk
- Voda (řeka) – pije drůbež – maso – člověk
- Voda (řeka) – pije drůbež (vejce) – vejce – člověk

- Koupání v řece
- Veslování na řece
- Pobyt na břehu (rybář)

3.4.2 Pracovní postupy

Cílem uvedené studie bylo provést pro účely dokumentace EIA stanovení radiologických dopadů z výpustí radioaktivních látek do ovzduší a vodních toků z NJZ, a to i v souběhu s provozem nebo vyřazováním EDU1-4 a dalších jaderných zařízení v lokalitě, a navrhnout množství vypouštěných radioaktivních látek do ovzduší a do vodotečí z NJZ tak, aby byly naplněny legislativní požadavky stanovené atomovým zákonem (zákon č. 263/2016 Sb.) a vyhláškou SÚJB č.422/2016 Sb.

Rozhodujícím kritériem je zde optimalizační mez podle atomového zákona: maximální roční dávky na reprezentativní osobu 200 µSv z výpustí do ovzduší a 50 µSv z výpustí do vodotečí. Všechny výpočty ve studii proto vyúsťují do stanovování individuální efektivní dávky a úvazku efektivní dávky v hodnocených situacích a lokalitách

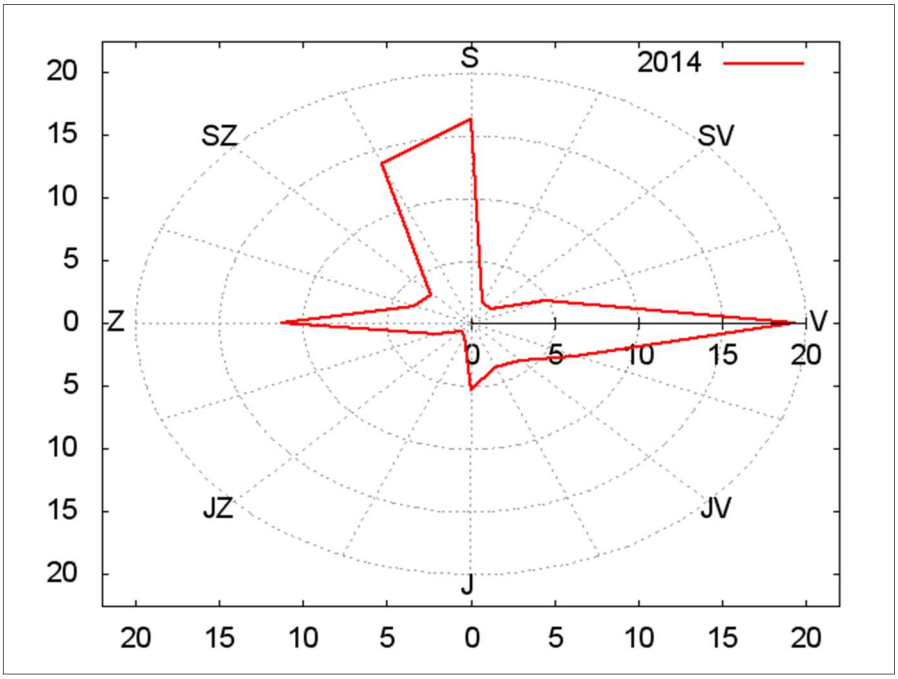
Řešení bere v úvahu skutečnost, že v zájmovém území NJZ jsou radiační dávky pro obyvatelstvo z výpustí do ovzduší relativně nízké a posazené hluboko pod stanovenými limity. Na druhé straně radiační dávky z výpustí do vodotečí jsou vlivem vypouštěného tritia poměrně vysoké a mohly by hrozit překročením limitu.

Proto byly analyzovány též možnosti převádění části tritia do ovzduší přes ventilační komíny a chladící věže NJZ.

Pro plánované analýzy byla zpracována řada **vstupních podkladů**.

Především byly stanoveny obálkové, tedy maximální hodnoty **ročních provozních výpustí** referenčních typů reaktorů na základě údajů dodavatelů pro výkonové alternativy 2 x 1200 MW_e a 1 x 1750 MW_e, a to u výpustí do vodoteče pro 44 nuklidů a u výpustí do ovzduší pro 91 nuklidů.

Na základě analýzy meteorologických údajů v lokalitě Dukovany z let 2012, 2013 a 2014 a provedených citlivostních výpočtů bylo rozhodnuto použít jako **meteorologické podmínky** pro hodnocení dopadů NJZ a pro potřeby EIA meteorologickou situaci (směr a rychlost větru 10 m nad terénem, intenzita srážek a kategorie stability) za r. 2014, které vedou k vyšším dávkám v nejbližších obydlených oblastech i v nejbližších oblastech v Rakousku. Větrnou růžici uvádíme na obrázku 10.



Obr. 10 Větrná růžice 2014: Rozložení směru větru ve výšce 10 m v lokalitě Dukovany za r. 2014

Dále byly vyhodnoceny **průtoky ve vodotečích** v pěti profilech na řece Jihlavě při různých úrovních odtoku z nádrže Mohelno.

Byla soustředěna **podkladová statistická data** pro analýzy a výpočty z ČR, Slovenska, Rakouska, Německa a Polska.

Jako jeden z podkladů pro vyhodnocení potenciálního přívodu nuklidů potravou byl zpracován **spotřební koš** pro ČR, SR a Rakousko.

Při budoucí realizaci záměru mohou být celkové radiační dopady NJZ ovlivněny některými parametry, jejichž stav není zatím známý: průtoky v řece Jihlavě, potřebná míra převádění aktivity tritia do vzdušných výpustí, počet chladících věží a výšek ventilačních komínů, souběh vyřazování stávajících bloků. Pro tyto parametry a jejich vliv na výsledné radiační dávky u různých variací zdrojů byly provedeny podrobné **citlivostní analýzy** umožňující předpověď ovlivnění výsledků zmíněnými faktory.

Pro výpočet celoživotních dávek se vycházelo ze stanovení průměrných ročních individuálních dávek. Roční průměrné individuální dávky se skládají z dávky v důsledku výpustí do ovzduší a dávky v důsledku výpustí do vodotečí. Pro výpočet průměrné roční individuální dávky z výpustí do ovzduší byly, z výše uvedených důvodů, použity meteorologické podmínky roku 2014. Pro výpočet průměrné roční individuální dávky z výpustí do vodotečí byly stanoveny průměrné průtoky v řece Jihlava, které spolu s velikosti výpustí mají na velikost dávky určující vliv. Průměrný roční průtok byl stanoven VÚV TGM na základě dlouhodobé (84 leté)

měřené průtokové řady v řece Jihlava při zohlednění výkonové alternativy NJZ (kdy velikost výkonu má vliv na velikost odparu chladicích věžích a zůstatkový průtok v řece Jihlavy) a klimatického scénáře s předpokládaným nárůstem průměrné teploty o 2 °C do roku 2100.

Pro provoz NJZ se předpokládalo, že stejně jako pro provozovanou elektrárnu (EDU1-4), bude i nadále docházet k samovolnému převodu části kapalných výpustí H-3 a C-14 (cca 20 %) do ovzduší prostřednictvím odparu doplňované chladicí vody z vodní nádrže Mohelno. S tímto předpokladem byl upraven obálkový zdrojový člen výpustí do vodotečí dle údajů dodavatelů pro NJZ (a stejný předpoklad byl uplatněn i pro provozovanou EDU1-4 resp. EDU2-4 pro maxima výpustí do vodotečí).

Pro výpusti do ovzduší byl uplatněn konzervativní předpoklad, že teoreticky lze do ovzduší převést celý objem kapalných výpustí. Zdrojový člen výpustí do ovzduší z provozu NJZ pro výpočty průměrných a celoživotních dávek byl tedy pro všechny výpočtové alternativy navýšen tak, že k obálkovým hodnotám výpustí do ovzduší dle údajů dodavatelů NJZ byly připočítána celá výpusť do vodotečí v kompletním radionuklidovém složení. Toto opatření zajistí, že i kdyby v budoucnu vznikla potřeba vyššího, než předpokládaného převodu kapalných výpustí do ovzduší (například z důvodu mimořádně nízkého průtoku v řece Jihlava a nutnosti optimalizace výpustí do vodotečí) nebudou výpusti do ovzduší nikdy vyšší, než ty které byly uvažovány při výpočtu dávek v dokumentaci EIA.

S těmito základními předpoklady byly vykonány finální analýzy pro stanovení průměrné roční a celoživotní dávky.

3.4.3 Vypočtené radiační dávky

Rozsáhlé a podrobné výpočty ve studii ABmerit směřují k vyhledání reprezentativní osoby a sektoru, v němž se nachází pro nejrůznější potenciální nové reaktory a jejich kombinace za různých podmínek (říčních průtoků, různé míry převádění radionuklidů z výpustí vodních do výpustí vzdušných, různých fází souběhu bloků
EDU1-4 aj.

Reprezentativní osoba je pro účely těchto výpočtů definována těmito parametry:

- celou inhalační spotřebu vzduchu hradí v místě svého bydliště při průměrné rychlosti dýchání,
- není nijak stíněna proti dávce „z mraku“, jako by stále pobývala venku, vně budov,
- z potravin vyrobených v daném sektoru uhrazuje veškerou spotřebu listové zeleniny a 75 % ostatních zemědělských produktů; „zavlažovanými potravinami kryje maximálně 50 % své spotřeby,
- část své spotřeby mléka (50 % spotřeby mléka v dané věkové kategorii) hradí z mléka krav, které jsou napájeny vodou z přilehlé řeky Jihlavy a pasou se na pastvinách zavlažovaných vodou z přilehlé řeky Jihlavy,
- všechnu spotřebu pitné vody kryje ze studny nebo vodního zdroje, do kterého prosakuje voda z řeky Jihlavy, a který není ředěn jinou, výpustěmi neovlivněnou vodou,
- celou spotřebu rybího masa hradí z ryb, které žijí celý život v přilehlé řece Jihlavě
- koupá se 100 hodin ročně v řece Jihlavě v okolí bydliště (u sídel při břehu řeky, věk nad 2 roky),
- pobývá 200 hodin ročně na břehu řeky Jihlavy (rybář) v okolí bydliště (u sídel při břehu řeky, věk nad 2 roky),
- veslováním tráví 100 hodin ročně na řece Jihlavě v okolí bydliště (u sídel při břehu řeky, věk nad 2 roky).

Dopad na reprezentativní osoby je vyjádřen roční efektivní dávkou a úvazkem efektivní dávky, a to i odděleně podle věkových skupin. Zvlášť jsou hodnoceny účinky výpustí do vodotečí, výpustí do ovzduší a jejich součtem i účinky celkové. Výsledné hodnocení je tak založeno na zjištění nejvyšší existující radiační dávky a sektoru, v němž se tato radiační zátěž vyskytuje. Tento přístup umožňuje poměrně dobré hodnocení blízkého okolí NJZ, neboť tam se nejvíce zatížené sektory především nacházejí.

V rámci studie ABmerit byly vypočteny byly i kolektivní dávky. Ty zde necitujeme a nekomentujeme. Patří k podkladům pro plánování a volbu NJZ, obecnou úroveň dopadu na zdraví obyvatelstva však nevyjadřují.

Základní údaje o radiačních dávkách pro reprezentativní osoby v 10 obcích resp. městech v blízkém okolí NJZ prezentujeme na tabulce 7. Uvádí vypočtené maximální efektivní dávky na reprezentativní osobu (Sv) pro 3 alternativy volby NJZ a souběhu vyřazování stávajících bloků EDU1-4:

- A) Provoz NJZ 2 x 1200 MW_e, EDU1-4 vyřazování. Při výpočtu dopadů je aplikován průtok v řece Jihlava pod nádrží Mohelno = 3,3 m^3/s.
- B) Provoz NJZ 1 x 1750 MW_e, provoz EDU2-4 a EDU1 vyřazování. Při výpočtu dopadů je aplikován průtok v řece Jihlava pod nádrží Mohelno = 3,0 m^3/s
- C) Provoz NJZ 1 x 1750 MW_e, EDU1-4 vyřazování. Při výpočtu dopadů je aplikován průtok v řece Jihlava pod nádrží Mohelno = 3,7 m^3/s.

Tab. 7 Maximální efektivní dávky na reprezentativní osobu v blízkém okolí NJZ

Lokalita	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
	Sektor	Max. (Sv)	Sektor	Max. (Sv)	Sektor	Max. (Sv)
Mohelno	28	2,38E-05	28	2,16E-05	28	1,64E-05
Dukovany	52	2,80E-05	52	2,37E-05	52	1,84E-05
Horní Dubňany	64	2,14E-06	64	1,21E-06	64	1,17E-06
Rešice	88	6,32E-06	88	4,02E-06	88	3,89E-06
Kordula	99	1,28E-05	99	7,29E-06	99	7,14E-06
Rouchovany	136	3,22E-06	136	1,79E-06	1 36	1,72E-06
Šemíkovice	124	2,57E-06	124	1,33E-06	124	1,30E-06
Slavětice	172	2,84E-06	172	1,45E-06	172	1,41E-06
Ivančice	56	2,34E-05	56	2,10E-05	56	1,57E-05
Moravské Bránice	57	6,90E-06	57	5,71E-06	57	4,96E-06

Pozn.: Alternativa A, B, C viz text

Max.(Sv) … maximální efektivní dávka na reprezentativní osobu (Sv)

V citované zprávě ABmerit jsou i významné informace o radiačních dopadech na sousední státy. V hodnoceném okruhu do 100 km od NJZ jsou to Rakousko a Slovensko. Základní údaje prezentujeme v tabulce 8. V sektoru s nejvyšší celkovou dávkou v Rakousku (sektor č. 83 – řeka Dyje) leží obce Wilhelmsdorf a Poysdorf, na Slovensku obdobně sektor č. 84 (řeka Morava) s obcemi Gajary a Malacky.

Tab. 8 Nejvyšší celkové radiační dávky na území sousedních států

Země	Sektor	Efektivní dávka a úvazek ef. dávky (Sv)		
		Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Rakousko	**83**	1,70E-06	1,47E-06	1,34E-06
Slovensko	**84**	1,62E-06	1,41E-06	1,29E-06

Pro informace o radiačních dávkách v širším území hodnoceného stokilometrového okruhu nám firma ABmerit poskytla na vyžádání údaje o dalších, v citované zprávě neuvedených sektorech (ABmerit, prosinec 2016), v souvislé řadě sektorů jednak ve zvolené výseči směr jih - Rakousko, jednak v relevantním povodí řeky Jihlavy a navazujících povrchových toků. Z hodnocené zóny jsme konzervativně vybrali právě výseč směřující k jihu (sektory č. 97 až 108), neboť při převaze větru ze severních směrů (viz větrnou růžici v kapitole 3.4.2) zde můžeme předpokládat nejsilnější šíření radionuklidů do větších vzdáleností. Výseč

zasahuje ve značném rozsahu do Rakouska, až po sv. okraj Vídně v sektoru č. 108. Informace o povodí Jihlavy zahrnují řadu sektorů od nádrže Mohelno (sektor č. 28) až k řece Moravě v oblasti Hodonína (sektor č. 71).

Sektory hodnocené jižní výseče blíže charakterizujeme, mj. uvedením příkladu obce v nich obsažené v tabulce 9. Jsou zpracovány pro tři výše uvedené alternativy A, B a C. K posouzení trendu šíření radionuklidů z výpustí do ovzduší vybíráme zde pouze údaje o dopadech atmosférických. Výsledky pro alternativu A jsou prezentovány v tabulce 10, pro alternativu B v tabulce 11 a pro alternativu C v tabulce 12. Sektory 97, 98 a 100 jsou neobydlené.

Tab. 9 Vybrané charakteristiky sektorů jižní výseče

Sektor č.	Vzdál. od NJZ km	Státní území	Např. sídlo
97	**0-1**	ČR	neobydlen
98	**1-2**	ČR	neobydlen
99	**2-3**	ČR	Kordula
100	**3-5**	ČR	neobydlen
101	**5-7**	ČR	Horní Kounice
102	**7-10**	ČR	Medlice
103	**10-15**	ČR	Horní Dunajovice
104	**15-20**	ČR	Žerotice
105	**20-30**	ČR	Tasovice
106	**30-50**	ČR - Rak.	Dyjákovičky, Hadres
107	**50-75**	Rakousko	Hollabrunn
108	**75-100**	Rakousko	Vídeň

Tab. 10 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z atmosféry (Sv) v sektorech jižní výseče sledované zóny při alternativě A (NJZ 2x 1200 MW_e, EDU1-4 vyřazování)

Sektor	Věk let					
č.	**0-1**	**1-2**	**2-7**	**7-12**	**2-17**	**nad 17**
97	5.68E-06	6.53E-06	7.07E-06	6.94E-06	6.77E-06	6.79E-06
98	1.21E-05	1.39E-05	1.51E-05	1.48E-05	1.45E-05	1.45E-05
99	1.03E-05	1.18E-05	1.28E-05	1.26E-05	1.23E-05	1.23E-05
100	8.71E-06	1.01E-05	1.10E-05	1.07E-05	1.05E-05	1.05E-05
101	6.41E-06	7.46E-06	8.15E-06	7.98E-06	7.77E-06	7.78E-06
102	4.79E-06	5.61E-06	6.15E-06	6.02E-06	5.85E-06	5.87E-06
103	3.37E-06	3.99E-06	4.39E-06	4.29E-06	4.17E-06	4.18E-06
104	2.28E-06	2.73E-06	3.01E-06	2.95E-06	2.86E-06	2.87E-06
105	9.73E-07	1.17E-06	1.29E-06	1.26E-06	1.22E-06	1.23E-06
106	3.21E-07	3.95E-07	4.36E-07	4.28E-07	4.19E-07	4.23E-07
107	1.56E-07	1.97E-07	2.19E-07	2.15E-07	2.12E-07	2.15E-07

108	9.07E-08	1.16E-07	1.29E-07	1.27E-07	1.25E-07	1.27E-07

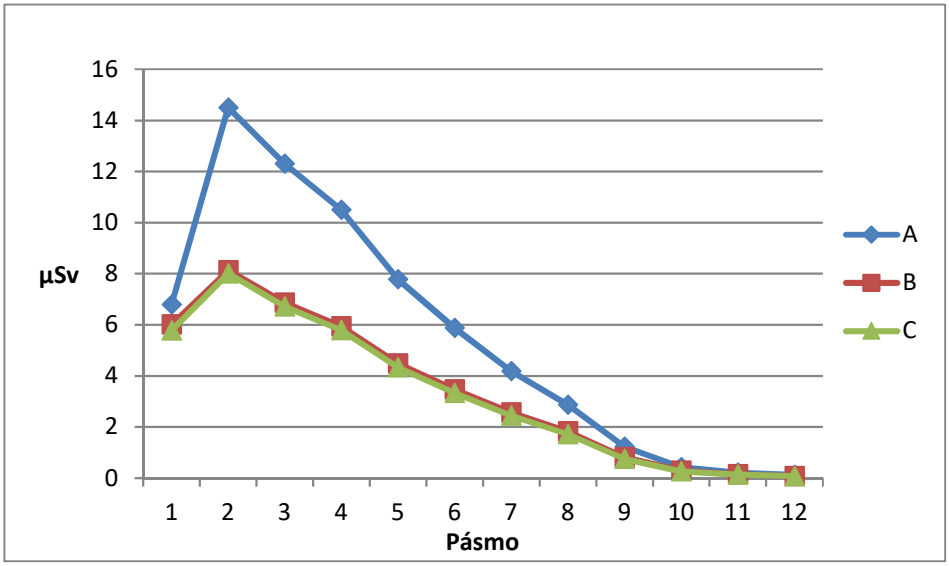
Tab. 11 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z atmosféry (Sv) v sektorech jižní výseče sledované zóny při alternativě B (NJZ 1x 1750 MW_e, provoz EDU2-4 a EDU1 vyřazovaní)

Sektor	Věk let					
č.	**0-1**	**1-2**	**2-7**	**7-12**	**2-17**	**nad 17**
97	4.59E-06	5.67E-06	6.36E-06	6.21E-06	5.98E-06	6.01E-06
98	6.23E-06	7.69E-06	8.64E-06	8.42E-06	8.10E-06	8.13E-06
99	5.23E-06	6.48E-06	7.29E-06	7.11E-06	6.83E-06	6.87E-06
100	4.51E-06	5.60E-06	6.31E-06	6.15E-06	5.91E-06	5.94E-06
101	3.38E-06	4.22E-06	4.75E-06	4.64E-06	4.45E-06	4.48E-06
102	2.60E-06	3.26E-06	3.68E-06	3.59E-06	3.44E-06	3.47E-06
103	1.91E-06	2.41E-06	2.73E-06	2.67E-06	2.55E-06	2.57E-06
104	1.35E-06	1.71E-06	1.94E-06	1.90E-06	1.82E-06	1.83E-06
105	5.91E-07	7.54E-07	8.53E-07	8.37E-07	8.01E-07	8.09E-07
106	1.99E-07	2.61E-07	2.95E-07	2.90E-07	2.81E-07	2.86E-07
107	1.02E-07	1.37E-07	1.55E-07	1.53E-07	1.49E-07	1.52E-07
108	6.21E-08	8.41E-08	9.49E-08	9.40E-08	9.14E-08	9.35E-08

Tab. 12 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z atmosféry (Sv) v sektorech jižní výseče sledované zóny při alternativě C (NJZ 2x 1750 MW_e, EDU1-4 vyřazování)

Sektor	Věk let					
č.	**0-1**	**1-2**	**2-7**	**7-12**	**2-17**	**nad 17**
97	4.42E-06	5.45E-06	6.12E-06	5.97E-06	5.75E-06	5.77E-06
98	6.16E-06	7.58E-06	8.52E-06	8.29E-06	7.98E-06	8.01E-06
99	5.13E-06	6.35E-06	7.14E-06	6.95E-06	6.68E-06	6.71E-06
100	4.42E-06	5.47E-06	6.16E-06	6.00E-06	5.77E-06	5.79E-06
101	3.29E-06	4.09E-06	4.61E-06	4.50E-06	4.32E-06	4.34E-06
102	2.52E-06	3.14E-06	3.54E-06	3.45E-06	3.31E-06	3.33E-06
103	1.83E-06	2.30E-06	2.60E-06	2.53E-06	2.43E-06	2.44E-06
104	1.28E-06	1.61E-06	1.82E-06	1.78E-06	1.70E-06	1.71E-06
105	5.54E-07	6.99E-07	7.91E-07	7.73E-07	7.40E-07	7.45E-07
106	1.85E-07	2.40E-07	2.71E-07	2.66E-07	2.58E-07	2.61E-07
107	9.46E-08	1.26E-07	1.42E-07	1.39E-07	1.36E-07	1.38E-07
108	5.74E-08	7.66E-08	8.63E-08	8.49E-08	8.26E-08	8.41E-08

Srovnání trendu změn radiačních dávek z atmosféry se vzdáleností od NJZ u jednotlivých alternativ znázorňujeme na obrázku 11. Pro přehlednost jsme vybrali jen dávky pro dospělé, které považujme za nejvýznamnější a vyjadřujeme je v µSv. Do druhého pásma (1-2km) u všech alternativ stoupají, první je „ve stínu“. Poté následuje soustavný pokles k praktické nule v 10. pásmu (15-20 km). Počáteční vzestup je vyšší u alternativy A, u alternativ B a C je nižší a průběh prakticky shodný. Všechny tyto rozdíly mají ovšem zanedbatelný význam, pohybují se v úrovních nejméně o dva řády nižších než přírodní záření.



Obr. 11 Změny celkových dávek a úvazků efektivních dávek z atmosféry se vzdáleností od NJZ při jednotlivých alternativách

Pro stejné tři alternativy NJZ A, B a C jsou zpracovány i vybrané sektory sledující povodí řeky Jihlavy. V tabulce 13 uvádíme jejich seznam, vzdušnou vzdálenost od NJZ a přibližné umístění v povodí (vybraný místí údaj). Poněvadž vzdálenější sektory jsou značně rozsáhlé, mají údaje o umístění v tabulce jen hrubě orientační povahu. Vypouštíme dva neobydlené sektory, č. 14 a č. 27 (vodní nádrž Mohelno a první úsek řeky pod ní).

Tab. 13 Seznam hodnocených sektorů v povodí Jihlavy a jejich některé charakteristiky

Sektor č.	Směr výseče	Vzdál. *)	Umístění
28	sv.	3-5	Mohelno
41	svv.	5-7	Lhánice
54	v.	7-10	Biskoupky
56	v.	15-20	Ivančice, soutok Jihlavy s Oslavou
57	v.	20-30	řeka Jihlava, Moravské Bránice
69	vjv.	20-30	Jihlava, Pohořelice
70	vjv.	30-50	Svratka, Vranovice
71	vjv.	50-75	řeka Morava, Hodonín

*) vzdušná vzdálenost od NJZ (cca km)

Ke specifikaci radiačních dávek z výpustí do vodoteče vybíráme do následujících tabulek jednak pouhé radiační dávky z hydrosféry jednak dávky celkové, součty dávek z atmosféry i z hydrosféry. První nám slouží k posouzení role dávek z hydrosféry v celkové radiační zátěži, druhé k hodnocení zdravotních efektů v daných sektorech. Výsledky pro alternativu A jsou prezentovány v tabulce 14, pro alternativu B v tabulce 15 a pro alternativu C v tabulce 16.

Tab. 14 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z hydrosféry a z atmosféry + hydrosféry (Sv) v sektorech v povodí Jihlavy při alternativě A (NJZ 2x 1200 MW_e, EDU1-4 vyřazování)

Sektor č.		Věk let					
		0-1	1-2	2-7	7-12	2-17	nad 17
28	H	2.12E-05	2.17E-05	2.24E-05	1.92E-05	1.75E-05	2.24E-05
	H+A	2.24E-05	2.31E-05	2.38E-05	2.06E-05	1.89E-05	2.38E-05
41	H	2.12E-05	2.17E-05	2.20E-05	1.89E-05	1.72E-05	2.19E-05
	H+A	2.30E-05	2.37E-05	2.43E-05	2.11E-05	1.93E-05	2.41E-05
54	H	2.12E-05	2.16E-05	2.20E-05	1.88E-05	1.71E-05	2.18E-05
	H+A	2.36E-05	2.44E-05	2.51E-05	2.18E-05	2.00E-05	2.48E-05
56	H	2.11E-05	2.16E-05	2.19E-05	1.88E-05	1.71E-05	2.18E-05
	H+A	2.22E-05	2.29E-05	2.34E-05	2.02E-05	1.85E-05	2.32E-05
57	H	6.01E-06	6.10E-06	6.22E-06	5.31E-06	4.84E-06	6.18E-06
	H+A	6.52E-06	6.72E-06	6.90E-06	5.98E-06	5.49E-06	6.83E-06
69	H	6.00E-06	6.07E-06	6.20E-06	5.29E-06	4.83E-06	6.16E-06
	H+A	6.16E-06	6.28E-06	6.42E-06	5.51E-06	5.04E-06	6.38E-06
70	H	5.99E-06	6.05E-06	6.18E-06	5.28E-06	4.81E-06	6.15E-06
	H+A	6.06E-06	6.14E-06	6.28E-06	5.37E-06	4.90E-06	6.24E-06
71	H	1.47E-06	1.24E-06	1.41E-06	1.24E-06	1.16E-06	1.56E-06
	H+A	1.51E-06	1.29E-06	1.46E-06	1.29E-06	1.21E-06	1.61E-06

Pozn.: H … dávky jen z hydrosféry
H+A … celkové dávky z atmosféry + z hydrosféry

Tab. 15 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z hydrosféry a z atmosféry + hydrosféry (Sv) v sektorech v povodí Jihlavy při alternativě B (NJZ 1x 1750 MW_e, provoz EDU2-4 a EDU1 vyřazovaní)

Sektor č.		Věk let					
		0-1	1-2	2-7	7-12	2-17	nad 17
28	H	2.05E-05	1.77E-05	2.01E-05	1.76E-05	1.58E-05	2.08E-05
	H+A	2.10E-05	1.85E-05	2.10E-05	1.84E-05	1.66E-05	2.16E-05
41	H	2.04E-05	1.77E-05	1.97E-05	1.71E-05	1.54E-05	2.01E-05
	H+A	2.14E-05	1.88E-05	2.10E-05	1.84E-05	1.66E-05	2.14E-05
54	H	2.04E-05	1.76E-05	1.96E-05	1.71E-05	1.53E-05	2.00E-05
	H+A	2.16E-05	1.92E-05	2.14E-05	1.88E-05	1.70E-05	2.17E-05
56	H	2.04E-05	1.75E-05	1.96E-05	1.70E-05	1.53E-05	2.00E-05
	H+A	2.10E-05	1.83E-05	2.05E-05	1.79E-05	1.61E-05	2.08E-05
57	H	5.41E-06	4.63E-06	5.19E-06	4.49E-06	4.03E-06	5.28E-06
	H+A	5.71E-06	5.02E-06	5.63E-06	4.92E-06	4.45E-06	5.69E-06

69	H	5.40E-06	4.62E-06	5.17E-06	4.48E-06	4.02E-06	5.26E-06
	H+A	5.50E-06	4.75E-06	5.32E-06	4.62E-06	4.16E-06	5.40E-06
70	H	5.40E-06	4.60E-06	5.16E-06	4.46E-06	4.01E-06	5.24E-06
	H+A	5.44E-06	4.66E-06	5.23E-06	4.53E-06	4.07E-06	5.30E-06
71	H	1.44E-06	1.19E-06	1.38E-06	1.18E-06	1.06E-06	1.40E-06
	H+A	1.46E-06	1.22E-06	1.41E-06	1.22E-06	1.10E-06	1.44E-06

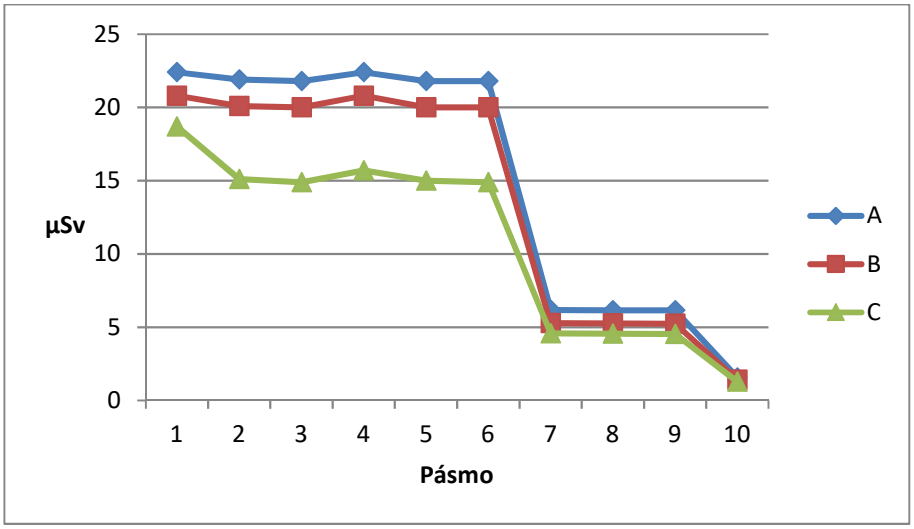
Pozn.: H … dávky jen z hydrosféry
H+A … celkové dávky z atmosféry + z hydrosféry

Tab. 16 Celkové efektivní dávky a úvazky efektivních dávek z hydrosféry a z atmosféry + hydrosféry (Sv) v sektorech v povodí Jihlavy při alternativě C (NJZ 2x 1750 MW_e, EDU1-4 vyřazování)

Sektor č.		**Věk let**					
		0-1	**1-2**	**2-7**	**7-12**	**2-17**	**nad 17**
28	H	1.46E-05	1.30E-05	1.47E-05	1.31E-05	1.19E-05	1.57E-05
	H+A	1.52E-05	1.38E-05	1.55E-05	1.39E-05	1.27E-05	1.64E-05
41	H	1.46E-05	1.30E-05	1.44E-05	1.27E-05	1.16E-05	1.51E-05
	H+A	1.55E-05	1.41E-05	1.57E-05	1.40E-05	1.28E-05	1.63E-05
54	H	1.45E-05	1.29E-05	1.43E-05	1.26E-05	1.15E-05	1.50E-05
	H+A	1.57E-05	1.44E-05	1.60E-05	1.43E-05	1.31E-05	1.66E-05
56	H	1.45E-05	1.28E-05	1.43E-05	1.26E-05	1.14E-05	1.49E-05
	H+A	1.51E-05	1.36E-05	1.51E-05	1.34E-05	1.23E-05	1.57E-05
57	H	4.47E-06	3.94E-06	4.38E-06	3.85E-06	3.51E-06	4.58E-06
	H+A	4.75E-06	4.30E-06	4.79E-06	4.25E-06	3.89E-06	4.96E-06
69	H	4.46E-06	3.92E-06	4.36E-06	3.83E-06	3.49E-06	4.56E-06
	H+A	4.56E-06	4.04E-06	4.50E-06	3.97E-06	3.62E-06	4.69E-06
70	H	4.46E-06	3.90E-06	4.35E-06	3.82E-06	3.48E-06	4.54E-06
	H+A	4.50E-06	3.95E-06	4.41E-06	3.88E-06	3.54E-06	4.60E-06
71	H	1.25E-06	1.05E-06	1.22E-06	1.06E-06	9.72E-07	1.28E-06
	H+A	1.28E-06	1.08E-06	1.26E-06	1.09E-06	1.00E-06	1.31E-06

Pozn.: H … dávky jen z hydrosféry
H+A … celkové dávky z atmosféry + z hydrosféry

Trendy změn se vzdáleností od NJZ jsou u dávek z hydrosféry samozřejmě odlišné od dávek vzdušných (obrázek 11). Počáteční dávka je zde vyšší a setrvává prakticky na nezměněné úrovni až do 6. pásma (před soutok Jihlavy s Oslavou. Potom prudce klesá a na dosažené podstatně nižší úrovni dlouho setrvává, až do soutoku s řekou Dyje, kdy se projeví další silné ředění. Při alternativě C se dávky z hydrosféry až do soutoku s Oslavou pohybují a nižší úrovni než v alternativách A a B.



Obr. 12 Změny celkových dávek a úvazků efektivních dávek z hydrosféry se vzdáleností od NJZ při jednotlivých alternativách

Poněvadž jde jen o dávky z hydrosféry, které se v efektu na zdraví sčítají s dávkami z atmosféry, je zde zřejmé, že se zde na rozdíl od všech ostatních sektorů sledované zóny vedle dávek z atmosféry uplatní i dávky z hydrosféry. Jsou podstatně vyšší. Z tabulek je přitom zřejmé, že přírůstek z atmosféry je zde nepatrný a dávku z hydrosféry prakticky nezmění. Sektory v povodí Jihlavy od nádrže Mohelno po soutok Jihlavy s Oslavou jsou tedy radiačně zatížené daleko více než kterékoliv jiné sektory sledované zóny.

3.4.4 Zdravotní rizika

V předchozí kapitole jsou soustředěny nejvýznamnější údaje ze zprávy ABmerit (2016a) o efektivních dávkách a úvazcích efektivních dávek ve významných sektorech posuzované zóny. V této kapitole posoudíme zdravotní význam uvedených dávek, a to v pořadí, jak byly výše prezentovány.

Cílem výpočtů je odhad nakumulované celoživotní zátěže dospělého člověka, který by žil v daném území za teoretického předpokladu, že by se radiační podmínky popsané v daném roce v dalších letech neměnily (kromě, byť nepatrně, rostoucí hmotnostní aktivity deponovaných nuklidů v půdě a s ní související aktivity složek životního prostředí a komodit potravních řetězců, což je do výpočtů zahrnuto).

Metodickým základem pro hodnocení rizika je výše (kapitola 3.2.4) citovaná zpráva Mezinárodní komise pro ochranu před zářením (ICRP) z roku 2007. Je zaměřena zejména na nízké dávky záření, tj. efektivní dávky do zhruba 100 mSv (nebo absorbované dávky do zhruba 100 Gy low-LET radiace) působící jako jednotlivá dávka nebo dávka za rok akumulovaná. Jak již bylo v dané stati uvedeno a zdůvodněno, zmíněná zpráva ICRP doporučuje vyhodnocovat riziko tzv. zdravotní újmy pomocí nově stanovených koeficientů (viz kapitolu 3.2.4, tabulku 1).

Efektivní dávky a úvazky efektivních dávek vypočtené ve studiích ABmerit představují vesměs roční radiační zátěže. Jestliže vyjdeme z konzervativního předpokladu 70leté expozice všech obyvatel během jejich života, rovnají se kumulované celoživotní zátěže sedmdesátinásobku uvedených dávek ročních.

Vzhledem k tomu, že radiační zátěže mohou být v dětském věku jiné než u dospělých, a tím mohou být ovlivněny celoživotní odhady zdravotního dopadu, vycházíme u výsledků, kde byly výpočty efektivních dávek a úvazků efektivních dávek pro jednotlivé věkové vrstvy dětského věku (věk 0-1 let, 1-2 roky, 2-7 let, 7-12 let, 12-17 let) i z těchto věkových zvláštností. Z tabulek vidíme, že roční efektivní dávky a úvazky efektivních dávek jsou u dětí poněkud vyšší než u dospělých, rozdíly jsou však jen malé a zjevně nemohou výše uvedený celkový výsledek celoživotních zdravotních rizik významným způsobem změnit. Přesto je ve snaze o dosažitelnou přesnost pro výpočty použijeme.

U publikovaných maximálních efektivních dávek sčítáme roční efektivní dávky a úvazky efektivních dávek za 70 let života. Jestliže tento postup upřesníme zahrnutím dětských údajů, přispějí k celoživotní zátěži věkové skupiny 0-1 rok a 1-2 léta jedním rokem, skupiny 2-7 let, 7-12 let a 12-17 let po 5 letech. Na dospělý věk pak zbývá 53 let. Uvedenými počty let násobíme údaje o dávkách a úvazcích příslušných věkových skupin a ke zjištění celoživotní zátěže je sčítáme a násobíme výše popsaným koeficientem 0,057.

3.4.4.1 Maximální efektivní dávky na reprezentativní osobu v blízkém okolí NJZ

Výše popsaným způsobem zhodnotíme zdravotní riziko z uvedených maximálních efektivních dávek na reprezentativní osobu v blízkém okolí NJZ, uvedených v tabulce 7. Výsledky prezentujeme v tabulce 17.

Tab. 17 Riziko zdravotní újmy z maximálních efektivních dávek na reprezentativní osobu v blízkém okolí NJZ

Lokalita	Sektor	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Max Sv	Újma	Max Sv	Újma	Max Sv	Újma
Mohelno	28	2,38E-05	9,50E-05	2,16E-05	8,62E-05	1,64E-05	6,54E-05
Dukovany	52	2,80E-05	1,12E-04	2,37E-05	9,46E-05	1,84E-05	7,34E-05
Horní Dubňany	64	2,14E-06	8,54E-06	1,21E-06	4,83E-06	1,17E-06	4,67E-06
Rešice	88	6,32e-06	2,52E-05	4,02E-06	1,60E-05	3,89E-06	1,55E-05
Kordula	99	1,28E-05	5,11E-05	7,29E-06	2,91E-05	7,14E-06	2,85E-05
Rouchovany	136	3,22E-06	1,28E-05	1,79E-06	7,14E-06	1,72E-06	6,86E-06
Šemíkovice	124	2,57E-06	1,03E-05	1,33E-06	5,31E-06	1,30E-06	5,19E-06
Slavětice	172	2,84E-06	1,13E-05	1,45E-06	5,79E-06	1,41E-06	5,63E-06
Ivančice	56	2,34E-05	9,34E-05	2,10E-05	8,38E-05	1,57E-05	6,26E-05
Moravské Bránice	57	6,90E-06	2,75E-05	5,71E-06	2,28E-05	4,96E-06	1,98E-05

Pozn.: Max Sv …maximální efektivní dávka
Újma … riziko zdravotní újmy za 70 let života (Max Sv x 70 x 0,057)

Pro riziko zdravotní újmy není stanoven žádný limit ani doporučená úroveň. Je zde věcí rozhodujících orgánů, aby vycházely z principů doporučených ICRP, referovaných výše (kapitola3.2.4), principu justifikace a principu optimalizace. Musí být bedlivě zváženo, zda očekávaná zdravotní újma je vyvážena předpokládaným přínosem pro jednotlivce nebo pro společnost a zodpovědně hledány možnosti snížení dávek na nejnižší rozumně dosažitelnou úroveň (ALARA).

Takové úvahy o žádoucí optimalizaci jsou ovšem zbytečné tam, kde se riziko pohybuje na úrovni 1.10^{-6} (v jednotkách řádu E-06). Jednotka na této úrovni totiž udává za 70letý život pravděpodobnost zdravotní újmy jednoho člověka z 1 milionu lidí stejně exponovaných. Na zhoubné populaci umírá v naší populaci zhruba ¼ lidí, tj. z milionu cca 250 tisíc. Jeden vypočtený případ zdravotní újmy se mezi nimi zcela ztrácí. Není to již reálné riziko, ale spíše jen matematická abstrakce, která nemá s reálným životem nic společného. Do značné míry platí totéž i o úrovních jednotek E-05, tedy po celoživotní expozici pravděpodobnost postižení jednotlivce ve stotisícové populaci.

Bližší pozornost zaslouží zdravotní újmy a úrovni E-04. I když je to rovněž riziko velmi malé (1 případ z 10 000), je už vhodné uvážit, zda neexistují cesty ke snížení dávek alespoň o 1 řád. V našem případě se to týká sektorů, které jsou na této úrovni, nebo se k ní těsně blíží, při alternativě A i B Mohelno, Dukovany a Ivančice. Ve skutečnosti pouze Ivančice a okolí výše po toku při řece Jihlava (Hrubšice, Biskoupky), neboť v katastrech obcí Mohelno a Dukovany nezasahují obydlené oblasti až k řece Jihlava, resp. nejsou zásobovány pitnou vodou z řeky Jihlavy, která představuje hlavní cestu ozáření. Řešení musí vycházet z dobré znalosti místní situace a potenciálních možností. Při alternativě C jsou hodnoty zdravotního rizika poněkud příznivější.

3.4.4.2 Nejvyšší celkové radiační dávky na území sousedních států

V citované studii ABmerit byly vypočteny i nejvyšší efektivní dávky a úvazky efektivních dávek v Rakousku (byly nalezeny v sektoru 53) a na Slovensku (v sektoru 84). Uvedli jsme je v tabulce 8. Celoživotní zdravotní újmy zde vypočteme stejným postupem jako v předchozím případě (dávka x 70 x 0,057). Výsledky uvádíme v tabulce 18. Zůstávají v řádu $1:10^{-6}$ a po zdravotní stránce tedy plně vyhovují. Ze skutečnosti, že se jedná o hodnoty maximální, vyplývá, že radiační dopady ve všech ostatních sektorech na území daného státu budou ještě nicotnější.

Tab. 18 Riziko zdravotní újmy z maximálních efektivních dávek a úvazků efektivních dávek v sousedních zemích

Země	Sektor	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Max Sv	Újma	Max Sv	Újma	Max Sv	Újma
Rakousko	83	1,70E-06	6,78E-06	1,47E-06	5,87E-06	1,34E-06	5,35E-06
Slovensko	84	1,62E-06	6,46E-06	1,41E-06	5,63E-06	1,29E-06	5,15E-06

Pozn.: Max Sv …maximální efektivní dávka
Újma … riziko zdravotní újmy za 75 let života (Max Sv x 70 x 0,057)

3.4.4.3 Riziko zdravotní újmy v sektorech jižní výseče sledované zóny

Z údajů o radiačních dávkách v sektorech jižní výseče, uvedených v tabulkách 10, 11 a 12 jsme vypočetli celoživotní zdravotní rizika výše popsaným způsobem i s využitím dávek vypočtených jednotlivá období dětského věku. Výpočet je prezentován v Příloze v tabulkách P1, P2 a P3.

Přehled výsledků uvádíme v tabulce 19. Jde o sektory, kde radiační dávky pocházejí z atmosféry, hydrosféra se uplatňuje nanejvýš jen zanedbatelným minimem. Rizika jsou od počátku, od nejbližších neobydlených sektorů, v řádu 1:10^{-5} a zdravotně tedy vyhovují. Poněvadž jde o výseč, která vzhledem k užité větrné růžici zřejmě patří k nejzatíženějším, můžeme souhrnně konstatovat, že všechny alternativy NJZ jsou z hlediska výpustí do atmosféry z hlediska zdravotních dopadů na obyvatelstvo dobře přijatelné. Rozdíly mezi alternativami jsou po této stránce jen malé a nepodstatné.

Tab. 19 Riziko celoživotní zdravotní újmy v sektorech jižní výseče sledované zóny

Sektor	Výkonová alternativa NJZ		
	A	B	C
97	2,71E-05	2,41E-05	2,31E-05
98	5,79E-05	3,26E-05	3,20E-05
99	4,92E-05	2,74E-05	2,69E-05
100	4,20E-05	2,37E-05	2,32E-05
101	3,11E-05	1,79E-05	1,90E-05
102	2,35E-05	1,39E-05	1,34E-05
103	1,67E-05	1,03E-05	9,77E-06
104	1,15E-05	7,32E-06	6,84E-06
105	4,91E-06	3,23E-06	2,98E-06
106	1,68E-06	1,14E-06	1,04E-06
107	8,54E-07	6,04E-07	5,48E-07
108	5,04E-07	3,70E-07	3,34E-07

3.4.4.4 Riziko zdravotní újmy v sektorech povodí Jihlavy

Z údajů o efektivních dávkách a úvazcích efektivních dávek z atmosféry + hydrosféry (Sv) v sektorech v povodí Jihlavy, uvedených v tabulkách 14, 15 a 16 jsme vypočetli celoživotní zdravotní riziko rovněž s využitím údajů pro dětský věk. Výpočet je prezentován v příloze v tabulkách P4, P5 a P6, přehled výsledků je soustředěn na tabulkách 20 a 21.

Tab. 20 Riziko celoživotní zdravotní újmy v sektorech povodí Jihlavy k soutoku s Oslavou

Sektor	Alternativa NJZ		
	A	B	C
28	9,25E-05	8,35E-05	6,32E-05
41	9,39E-05	8,29E-05	6,30E-05
54	9,16E-05	8,42E-05	6,42E-05
56	9,04E-05	8,06E-05	6,07E-05

Relativně vyšší riziko zdravotní újmy, s nímž se setkáváme v nejbližším okolí NJZ setrvává na obdobné úrovni podél toku řeky Jihlavy až k soutoku Jihlavy s Oslavou (tabulka 20). Celoživotní riziko se zde pohybuje v horní oblasti pravděpodobnosti $1{:}10^{-5}$ resp. při její hranici s pásmem $1{:}10^{-4}$. Jedná se stále o riziko jednotek případů z populace 100 000 obyvatel, tedy stále ještě akceptovatelné.

Za uvedeným soutokem ztrácí už riziko zdravotní újmy z hydrosféry na významu, úrovně celkového rizika jsou obdobná jako v jiných stejně vzdálených sektorech sledované zóny (tabulka 21).

Tab. 21 Riziko celoživotní zdravotní újmy v sektorech povodí Jihlavy za soutokem s Oslavou

Sektor	Alternativa NJZ		
	A	B	C
57	2,66E-05	2,21E-05	1,92E-05
69	2,48E-05	2,09E-05	1,81E-05
70	2,43E-05	2,05E-05	1,77E-05
71	6,15E-06	5,57E-06	5,05E-06

3.4.5 Radiační pozadí

Pozoruhodný pohled na roli vzdušných i kapalných výpustí NJZ a EDU1-4 v radiačních zátěžích obyvatelstva může poskytnout i jejich srovnání s vlivy radiačního pozadí. Vyjdeme zde z údajů publikovaných ve Zprávě ČVUT (květen 2015). Je souhrnem informací, výpočtů a odborných odhadů jednotlivých komponent roční efektivní dávky pro reprezentativní osobu a obyvatele ve vzdálenosti 5 – 20 km od NJZ. Vyhodnocuje expozice ze všech významných zdrojů, včetně přírodních. Reprezentativní osoba je zde definována jako obyvatel s trvalým bydlištěm v pásmu do vzdálenosti 5 km od objektu JE (s vyloučením pracovníků JE, u kterých připadají v úvahu i profesní expozice).

Příspěvky stanovené poměrně přesně detailním laboratorním a in situ měřením anebo odhadnuté (např. příspěvek K-40, inhalace mimo Rn a Th) uvádíme v tabulce 22. V případě inhalace radonu byl použit pro výpočet efektivní dávky průměr z hodnot stanovených v předchozích letech v rámci radonového programu a hodnot nově naměřených, aby do výpočtu bylo zahrnuto co největší množství proměřených objektů. Do tabulky není zahrnut výsledek výpočtu ozáření reprezentativní osoby od transportu radioaktivního odpadu či radioaktivních látek, neboť je řádově menší než ostatní uvedené hodnoty. Tento příspěvek je pouze teoretický, v praxi bude v podstatě nulový.

Tab. 22 Roční efektivní dávky pro reprezentativní osobu (0-5 km od NJZ) a obyvatele ve vzdálenosti 5-20 km od NJZ

Zdroj ozáření	Do 5 km		5-20 km	
	mSv/rok	%	mSv/rok	%
Mimo EDU				
kosmické	0,264	6,33	0,278	5,50
terestrické	0,068	1,63	0,076	1,51
vnitřní	0,44	10,55	0,3	5,94
lékařské	0,8	19,18	0,8	15,84
radon	2,3	55,16	3,12	61,78
Ostatní *)	0,295	7,07	0,473	9,37
EDU1-4				
výpustě	0,0027	0,06	0,0027	0,05
Celkem	4,17	100	5,05	100

*) jaderný spad, inhalace, ingesce, spotřební zboží, kosmogenní radionuklidy aj.

Tabulka ukazuje, že roční efektivní dávka pro reprezentativní osobu je 4,17 mSv a pro obyvatele ve vzdálenosti 5 - 20 km 5,05 mSv. Obě hodnoty leží nad odhadovaným průměrným ozářením v ČR, které se pohybuje cca okolo 3,5 mSv. Hlavní komponentou jsou příspěvky od radonu, lékařského ozáření, kosmického záření přírodních radionuklidů v horninách (terestrické záření).

Uvedené roční efektivní dávky, 4,17 mSv a 5,05 mSv odpovídají celoživotnímu riziku (za 70 let) 1,66E-2 a 2,01E-2. To podle současných poznatků znamená, že přírodní a další ionizující záření z jiných zdrojů než z EDU1-4 a NJZ způsobí u obyvatelstva trvale sídlícího v této oblasti na každých 100 obyvatel zdravotní újmu u přibližně 2 lidí.

Příspěvek EDU1-4 je vzhledem k ostatním komponentám naprosto zanedbatelný. Pokud by dlouhodobě působil na uvedené úrovni, představoval by podle podkladů zprávy ČVUT v obou srovnávaných oblastech celoživotní riziko 1.08 x 10^{-5}, tedy riziko o 3 řády, tj. tisíckrát nižší. Přitom je zřejmé, že ozáření, způsobené popsanou realizací NJZ, by stanovené roční efektivní dávky pro representativního jedince ani pro obyvatele ve větších vzdálenostech než 5 km od NJZ nezměnilo.

3.4.6 Závěry k radiačním vlivům

- I při velmi konzervativním scénáři životních podmínek reprezentativní osoby se celoživotní riziko zdravotní újmy z výpustí do ovzduší pohybuje pro reprezentativní osobu (dříve kritickou skupinu obyvatel) v případě všech tří posuzovaných výkonových alternativ nových zdrojů řádově na úrovni 10^{-5} a nižších. Tato míra rizika je po zdravotní stránce dobře přijatelná.
- Nejvíce radiačně zatíženým územím je nejbližší okolí NJZ a pobřežní pás řeky Jihlavy od nádrže Mohelno k soutoku Jihlavy s Oslavou v Ivančicích. I tam se stále ještě jedná o celoživotní riziko jednotek případů z populace 100 000 obyvatel, tedy riziko akceptovatelné.
- Porovnání s radiačním pozadím v dané oblasti ukázalo, že ve srovnání s ostatním ionizujícím zářením je příspěvek NJZ k celoživotnímu riziku zdravotní újmy zcela zanedbatelný.

4 Neradiační vlivy

V této části studie posuzujeme potenciální vlivy NJZ na obyvatelstvo znečišťováním ovzduší, hlukem a dalšími neradiačními faktory, a to v průběhu výstavby a poté v době provozu.

4.1 Identifikace zdravotně významných vlivů

Výstavba a provoz NJZ může na obyvatelstvo působit jednak přímo z areálu, jednak navazující dopravou, a to hlavně znečišťováním ovzduší a hlukem, případně i dalšími rušivými faktory automobilového provozu. Nepříznivý vliv by mohla mít i elektromagnetická (elm) pole v blízkosti vedení vysokého napětí.

Jiné významné neradiační vlivy na veřejné zdraví zde nepřicházejí v úvahu.

Z uvedených důvodů zde pro období výstavby a období provozu posoudíme a) ovzduší, b) hluk, c) elektrické a magnetické pole.

4.2 Znečišťování ovzduší

Při hodnocení vlivu znečištěného ovzduší vycházíme z rozptylové studie zpracované firmou Amec Foster Wheeler s.r.o. (RNDr. T. Bartoš, Ph.D., Brno říjen 2016), která řeší vliv všech stacionárních, liniových a plošných zdrojů jednak z provozu NJZ, jednak z jeho výstavby. Hodnocen je i vliv vyvolané automobilové dopravy.

Výpočty jsou provedeny metodou „SYMOS 97“ verze 2013, a to pro obdélníkovou oblast o rozměrech 15 x 12 km v síti výpočtových bodů s krokem 500 m ve výšce cca 1,5 m nad terénem. V blízkosti posuzovaného záměru, ve vnitřní oblasti o rozměrech 4 x 4 km, byla uvedená síť doplněna hustší sítí referenčních bodů s krokem 200 m. Doplnění referenčních bodů bylo provedeno také podél všech posuzovaných tras, a to ve vzdálenosti 0 m, 100 m, 250 m a 500 m.

Hodnocenými škodlivinami jsou oxid dusičitý, suspendované částice v ovzduší PM_{10} i $PM_{2,5}$, benzen a benzo(a)pyren. Tento výběr vyhovujícím způsobem charakterizuje zdravotně významné znečištění z relevantních stacionárních zdrojů i z vyvolané automobilové dopravy.

Výsledky výpočtů imisních charakteristik jsou prezentovány kartograficky pomocí izolinií a kromě toho i číselně ve vybraných referenčních bodech, charakterizujících jednak nejbližší obytná území v okolí areálu, exponovaná stacionárním zdrojům a v době výstavby.

Tab. 23 Vybrané referenční body v nejbližším obytném území

Bod č.	Adresa	Vzdálenost *)
1	Slavětice č. p. 51	1,5 km
2	Dukovany č. p. 270	1,8 km
3	Rouchovany č. p. 410	2,6 km
4	Kordula č. p. 170	2,1 km
5	Mohelno č. p. 327	3,6 km

*) přibližná vzdálenost od nebližšího zdroje v m

Tab. 24 Emisemi nejvíce zatížené okrsky v průjezdních obcích

Označení	Obec	Komunikace
S	Slavětice	II/152
D	Dukovany	II/392
R	Rouchovany	II/396
J	Jamolice	II/152
H	Hrotovice	II/152

Označení	Obec	Komunikace
K	Kramolín	III/39218
M	Mohelno	II/392

Znečišťujícím vlivům probíhajících prací (tabulka 23), jednak nejvíce exponované obytné okrsky v obcích zatížených navazující dopravou (označené písmeny, tabulka 24).

V následujícím hodnocení zdravotních vlivů znečištěného ovzduší budeme vycházet především z imisních údajů pro uvedené referenční body, neboť výstižně charakterizují nejvíce zatížené obytné prostředí.

Jako zdroje znečištění v době provozu jsou do výpočtů rozptylové studie zahrnuty:

- automobilová doprava (pro časové horizonty let 2027, 2029 a 2034)
- stacionární zdroje (dieselagregáty aj.) pro stávající a pro výhledový stav,
- činnost při výstavbě pro roky 2027 (terénní úpravy a výkopové práce) a 2029 (nejvyšší zatížení automobilovou dopravou); vybrána výstavba nižší výkonové alternativy (2 nové bloky se 2 chladicími věžemi na blok), která představuje nejvyšší možné nároky a tudíž i nejvýznamnější vliv na kvalitu ovzduší.

Výpočty jsou provedeny pro stávající stav a pro pět výhledových scénářů:

- Rok 2027 bez vlivu realizace NJZ,
- Rok 2027 s realizací NJZ (období hrubých terénních úprav),
- Rok 2029 bez vlivu realizace NJZ,
- Rok 2029 s realizací NJZ (období výstavby),
- Rok 2034 (období provozu NJZ).

Ve výhledových scénářích (roky 2027, 2029 a 2034) jsou vyhodnoceny jak příspěvky vyvolané realizací NJZ, tak změny celkové imisní situace.

Pro popis stávající imisní zátěže lokality byly v rozptylové studii využity údaje ČHMÚ za roky 2011 – 2015 (síť 1x1 km). Pro maximální krátkodobé koncentrace NO_2, které nejsou v uvedeném zdroji zpracovány, byla využita data z imisního monitoringu (ČHMÚ).

4.2.1 Oxid dusičitý

Oxid dusičitý (NO_2) patří k nejvýznamnějším a nejvíce sledovaným škodlivinám výfukových plynů. Ve spalovacích motorech je uvolňován oxid dusnatý (NO), který se vlivem ozonu a slunečního záření postupně oxiduje na NO_2, přičemž rychlost této reakce značně závisí na okolních podmínkách v atmosféře. Směs těchto dvou plynů je označována souborným názvem oxidy dusíku (NO_x). Je nejen součástí výfukových plynů, ale i emisí z každého spalování. Její škodlivější součástí je NO_2, plyn palčivého, dusivého zápachu. Čichově začíná být patrný od koncentrací 200 - 400 $\mu g.m^{-3}$.

Oxid dusičitý je za přítomnosti uhlovodíků a ultrafialového záření (letní smog) hlavním zdrojem potenciálně toxického troposférického ozonu a dále nitrátových aerosolů, které jsou významnou frakcí jemných suspendovaných částic v ovzduší ($PM_{2,5}$).

Účinky vyšších koncentrací NO_2 na lidský organismus jsou jednak chronické, jednak akutní. Při dlouhodobém vdechování zvyšují výskyt nemocí dolních dýchacích cest a jejich projevů. Akutní účinky se projeví u vysokých dávek již po krátké expozici nepříznivým ovlivněním dýchacích funkcí a drážděním očí.

V mnoha epidemiologických studiích byl NO_2 užíván jako ukazatel směsi škodlivin ze spalování, zejména ze silničního provozu. Zdravotní efekty v těchto studiích jsou pak přičítány i účasti jiných produktů spalování, jejichž účinky lze těžko od účinků NO_2 odlišit, jako jsou suspendované částice (speciálně ultrajemné), oxid dusnatý nebo benzen.

4.2.1.1 Vyhodnocení vztahu dávka – odpověď

Při dlouhodobém vdechování zvýšených koncentrací oxidu dusičitého nejcitlivější reagují astmatici. Z epidemiologických studií vyplynulo, že bronchitické projevy u astmatických dětí při zvyšování průměrných

ročních koncentrací oxidu dusičitého rostou. I při zvýšených ročních koncentracích NO_2, jaké jsou celkem běžné v zevním ovzduší evropských a severoamerických měst, bylo u dětí zjištěno zpomalení rozvoje plicních funkcí.

Pokud jde o krátkodobé účinky, pokusná vyšetření opakovaně ukázala, že zdraví lidé nejsou při krátkodobém (dvouhodinovém) vdechování dotčeni koncentrací NO_2 pod 1 ppm (1880 $\mu g.m^{-3}$). Při koncentracích 3000 - 9000 $\mu g.m^{-3}$ nastupují změny plicních funkcí (vzestup dýchacího odporu) u zdravých osob po 10 - 15 minutách. U lidí trpících zánětem průdušek se dýchací funkce zhoršují při 3000 $\mu g.m^{-3}$ již po 5 minutách. V toxikologických studiích byly zjištěny akutní zdravotní účinky při hodinových expozicích nad 500 $\mu g.m^{-3}$ NO_2. Přímé účinky NO_2 na plicní funkce astmatiků byly popsány u hodinových koncentrací nad 560 $\mu g.m^{-3}$ a již od koncentrací 200 $\mu g.m^{-3}$ bylo možno speciálním vyšetřením nalézt počínající růst reaktivity bronchů. Jiné laboratoře však účinek tak nízkých koncentrací u astmatiků nepotvrdily.

Směrná hodnota WHO pro NO_2 činí 40 $\mu g.m^{-3}$ u ročního průměru a 200 $\mu g.m^{-3}$ u hodinového průměru. Tyto koncentrace byly převzaty i do zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší jako limity závazné v ČR s tím, že uvedený hodinový průměr nesmí být překročen více než 18 x za kalendářní rok.

4.2.1.2 Hodnocení expozice

Expozice obyvatel je dána místními imisními koncentracemi. Průměrné roční imisní koncentrace NO_2 v hodnocených časových horizontech uvádíme v tabulce 25, maximální hodinové koncentrace v tabulce 26.

Tab. 25 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace oxidu dusičitého ($\mu g.m^{-3}$)

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
Blízkém okolí EDU							
1	9.6	9.1	9.2	9.1	9.4	9.0	9.1
2	10.0	9.7	9.7	9.7	9.9	9.7	9.7
3	9.8	9.5	9.5	9.5	9.7	9.5	9.5
4	10.1	9.9	10.0	9.9	10.1	9.9	9.9
5	9.9	9.8	9.8	9.8	9.9	9.8	9.8
V průjezdních obcích							
S	9.8	8.4	8.5	8.4	9.0	8.3	8.7
D	10.1	9.7	9.8	9.7	9.9	9.7	9.7
R	9.8	8.9	9.0	8.9	9.4	8.9	9.2
J	10.3	8.8	9.0	8.8	9.5	8.8	9.0
H	11.8	10.8	10.8	10.8	11.0	10.7	10.8
K	9.4	9.1	9.1	9.1	9.2	9.1	9.1
M	11.6	11.3	11.3	11.3	11.4	11.3	11.3

Pozn.: 1. Platný imisní limit 40,0 $\mu g.m^{-3}$

Tab. 26 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – maximální hodinové koncentrace oxidu dusičitého ($\mu g.m^{-3}$)

Bod	DGS *)	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
Blízkém okolí EDU							
1	25	69.0	86.0	69.0	79.0	69.0	72.0
2	10	70.0	75.0	70.0	79.0	70.0	72.0
3	8	75.0	85.0	75.0	78.0	75.0	76.0
4	7	79.0	84.0	79.0	83.0	78.0	79.0
5	10	78.0	82.0	78.0	82.0	78.0	79.0
V průjezdních obcích							

S	18	55.0	68.0	50.0	70.0	50.0	55.0
D	9	72.0	75.0	72.0	80.0	72.0	73.0
R	8	73.0	82.0	72.0	77.0	72.0	73.0
J	6	57.0	58.0	55.0	68.0	55.0	57.0
H	14	69.0	70.0	69.0	75.0	69.0	71.0
K	16	75.0	77.0	75.0	81.0	75.0	76.0
M	6	75.0	79.0	74.0	77.0	74.0	75.0

Pozn, 1: Platný imisní limit 200,0 µg.m^{-3}
2: Stávající stav pozadí odhadnut na 80,0 µg.m^{-3}
3: *) příspěvek k maximální hodinové koncentrace vlivem zkoušky SBO DG EDU1-4

4.2.1.3 Charakteristika rizika

Z tabulky 25 je zřejmé, že v žádném z referenčních bodů a v žádném období nepřekročí příspěvek NJZ v součtu se stávajícím pozadím stanovený limit 40 µg.m^{-3}. Nejvyšší vyskytující se příspěvek 0,7 µg.m^{-3} je vypočten v Jamolicích. Spolu s pozadím však výhledové koncentrace při obytné zástavbě představují úrovně do 30 % stanoveného limitu.

Obdobné je hodnocení maximálních hodinových imisních koncentrací NO2 (tabulka 26). Nejvyšší příspěvek, který se zde vyskytuje, je 13,0 µg.m^{-3} v Jamolicích. V součtu s pozadím budou příspěvky vytvářet celkovou imisní koncentraci do 86 µg.m^{-3}, tj.43 % stanoveného limitu.

Můžeme tedy konstatovat, že v exponovaném obytném území jsou příspěvky NJZ k průměrným ročním i maximálním hodinovým koncentracím oxidu dusičitého ve všech hodnocených časových horizontech zdravotně bezvýznamné.

4.2.2 Suspendované částice v ovzduší (PM_{10} a $PM_{2,5}$)

Kromě znečišťujících plynů se v ovzduší běžně vyskytují i suspendované částice (airborne particulate matter) různého typu, velikosti a původu. Jejich zdravotní účinky závisí především na jejich chemických, fyzikálních a případně biologických vlastnostech. Významná je kromě toho i jejich velikost. Částečky nad 100 µm se téměř úplně zachytí v horních dýchacích cestách, nepronikají do dolních cest a jsou tedy zdravotně méně významné. V ovzduší se dlouho neudrží, relativně rychle sedimentují. S klesající velikostí pak narůstá doba jejich setrvávání v ovzduší a podíl částic, které pronikají do plic. Po zdravotní stránce jsou v dosavadní praxi nejvíce sledovány částice o průměru do 10 µm. Ty jsou při hlubším zkoumání dále tříděny na částice hrubé, o průměru od 10 do 2,5 µm, a jemné, o průměru 2,5 µm a nižším. Bývají označovány zkratkou PM (particulate matter) s indexem podle horní hranice jejich rozměrů, tedy jako PM_{10} resp. $PM_{2,5}$. [5] Mohou to být pevné látky i kapénky kapalin. U nás často užívané souhrnné označení „tuhé znečišťující látky“ (TZL) je proto nepřesné.

Ve frakci PM_{10} se obvykle nachází prach, pyl, spóry, popílek a částice rostlin nebo hmyzu. Vzniká především při mechanických procesech, jako jsou stavební práce a při zpětném zvířování prachu dopravními prostředky a větrem. Vzhledem k měření pomocí filtru je v této třídě obsažena i kategorie částic menších, jemných ($PM_{2,5}$), k nimž patří mj. i sekundárně vytvořené aerosoly (konverzí plynů na částice). Pocházejí převážně ze spalovacích procesů. Mohou obsahovat těžké kovy, uhlíkaté látky včetně karcinogenních, nitrity, sírany aj. Částice z frakce $PM_{2,5}$, a zejména při rozměrech pod 1µm, pronikají v 90 i více procentech do plicních sklípků a ovlivňují jejich stěny. Obsažené škodliviny zde snadno pronikají do krevního oběhu. Frakce $PM_{2,5}$ je proto právem považována za zdravotně významnější než PM_{10}.

Poměr hrubých a jemných částic může být v různých městech a lokalitách různý. Běžně se udává poměr $PM_{2,5}$/ PM_{10} jako 0,5, ve městech vyspělých zemí se pohybuje v rozmezí 0,5 – 0,8.

4.2.2.1 Vyhodnocení vztahu dávka odpověď

Studie zaměřené na krátkodobé (24hodinové) i dlouhodobé (roční) expozice, prokazují nepříznivý účinek suspendovaných částic ovzduší na funkci a zdraví dýchacího ústrojí a také na systém srdečně cévní. Při zvýšených expozicích byla opakovaně zjišťována zvýšená úmrtnost, zvýšený počet případů přijetí

[5] Ve specializované literatuře jsou někdy rozlišovány i částice ultrajemné s průměrem do 0,1 µm ($PM_{0,1}$)

k hospitalizaci a další důsledky. V citlivosti ke škodlivým vlivům suspendovaných částic jsou mezi lidmi veliké rozdíly. Obecně jsou citlivější lidé staří, děti a zejména pak pacienti postižení respiračními a kardiovaskulárními chorobami. Obzvláště citliví jsou astmatici.

Veliká proměnlivost suspendovaných částic co do chemického i velikostního složení a také zmíněné veliké rozdíly v citlivosti lidí velmi ztěžují vědecky zdůvodněné stanovování limitů. U obou zmíněných frakcí nebylo snadné najít u městského typu částic práh, pod nímž není nikdo dotčen. U jemných částic ($PM_{2,5}$) je předpokládán nepříliš nad koncentrací 3 – 5 $\mu g.m^{-3}$. Nelze zaručit, že jakýkoliv limit může spolehlivě ochránit každého člověka před všemi možnými nepříznivými zdravotními efekty. Snahou musí být snižování prašnosti na dosažitelné minimum. Limity, pokud jsou uváděny, jsou tedy spíše konvencí, která připouští u obzvláště citlivých lidí určitou malou míru nepříznivých vlivů.

Na základě rozboru moderní vědecké literatury uvádí WHO pro dlouhodobé působení (roční průměry) ve frakci $PM_{2,5}$ směrnou hodnotu 10 $\mu g.m^{-3}$, která je prakticky dosažitelná a přitom významně snižuje zdravotní rizika. Doporučuje k ní docházet podle místních možností soustavou postupných cílů, které přehledně uvádíme v tabulce 27. Uvádí i ekvivalenty zatím častěji používané charakteristiky PM_{10}.

Tab. 27 Směrné hodnoty a postupné cíle pro suspendované látky v ovzduší: roční průměrné koncentrace ($\mu g.m^{-3}$), WHO 2006

	PM_{10}	$PM_{2,5}$	Komentář
Cíl 1	70	35	Riziko úmrtnosti o cca 15 % vyšší než při úrovni AQG.
Cíl 2	50	25	Riziko předčasné úmrtnosti o cca 6 % nižší než u cíle 1 [1]).
Cíl 3	30	15	Riziko úmrtnosti o cca 6 % nižší než u cíle 2 [1]) .
AQG [2])	**20**	**10**	Základní směrná hodnota

1) Kromě jiných nepříznivých účinků na zdraví
2) Směrná hodnota (air quality guideline)

U krátkodobých (24hodinových) expozic se ve směrnicích WHO uvádí růst úmrtnosti o cca 0,5 % za každý vzestup o 10 $\mu g.m^{-3}$ PM_{10} v denní koncentraci. U koncentrace 150 $\mu g.m^{-3}$ se tak předpokládá zhruba pětiprocentní růst denní úmrtnosti. I zde jsou vypracovány postupné cíle (tabulka 28).

Tab. 28 Směrné hodnoty a postupné cíle pro suspendované látky v ovzduší: 24hodinové koncentrace ($\mu g.m^{-3}$), WHO 2006

	PM_{10}	$PM_{2,5}$	Komentář
Cíl 1	150	75	Riziko krátkodobé úmrtnosti o cca 5 % vyšší než při AQG.
Cíl 2	100	50	Riziko krátkodobé úmrtnosti o cca 2,5 % vyšší než při AQG.
Cíl 3	75	37,5	Riziko krátkodobé úmrtnosti o cca 1,2 % vyšší než při AQG.
AQG [1])	**50**	**25**	Založeno na vztahu mezi 24hod. a ročními úrovněmi PM

1) Směrná hodnota (air quality guideline)

U nás platí limit stanovený zák. č. 201/2012 Sb., který činí pro průměrné roční koncentrace PM_{10} 40 $\mu g.m^{-3}$ a pro 24hodinový imisní průměr 50 $\mu g.m^{-3}$ s tím, že nesmí být překročen více než 35 x za kalendářní rok. Limit pro průměrnou roční koncentrace $PM_{2,5}$ je stanoven ve výši 25 $\mu g.m^{-3}$.

4.2.2.2 Vyhodnocení expozice

Imisní koncentrace suspendovaných látek v hodnocených časových horizontech uvádíme v tabulkách 29 (průměrné roční PM_{10}), 30 (maximální denní PM_{10}) a 31 (průměrné roční $PM_{2,5}$).

Tab. 29 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace tuhých látek frakce PM_{10} ($\mu g.m^{-3}$)

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
Blízké okolí EDU							
1	19.8	19.8	23.1	19.8	20.4	19.8	19.7
2	20.7	20.7	22.7	20.7	21.2	20.7	20.7
3	21.0	21.0	23.0	21.0	21.7	21.0	21.0

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
4	20.9	20.9	24.0	20.9	21.8	20.9	20.9
5	20.7	20.7	21.2	20.7	20.8	20.7	20.7
V průjezdních obcích							
S	20.0	19.9	22.3	19.9	20.3	19.9	19.8
D	22.2	22.2	23.7	22.2	22.6	22.2	22.2
R	21.1	21.1	23.3	21.1	22.1	21.1	21.0
J	22.1	22.0	22.3	22.0	22.2	22.0	21.9
H	22.6	22.5	23.1	22.5	22.7	22.5	22.5
K	19.9	19.9	20.3	19.9	20.3	19.9	19.9
M	22.4	22.4	22.9	22.4	22.6	22.4	22.4

Pozn.: 1. Platný imisní limit 40,0 µg.m^{-3}

Tab. 30 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – maximální denní koncentrace tuhých látek frakce PM_{10} (µg.m^{-3})

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
Blízké okolí EDU							
1	70,0	69.6	880	69.6	132	69.5	71.2
2	70,0	70.0	540	70.0	126	70.0	70.6
3	70,0	70.2	550	70.2	106	70.3	70.9
4	70,0	70.2	370	70.2	92	70.2	70.6
5	70,0	70.1	340	70.1	93	70.1	70.6
V průjezdních obcích							
S	70,0	68.8	750	68.8	115	68.7	68.8
D	70,0	70.3	420	70.3	100	70.4	71.0
R	70,0	70.1	520	70.1	102	70.2	70.7
J	70,0	68.5	230	68.5	88	68.4	68.0
H	70,0	69.5	350	69.5	85	69.4	70.6
K	70,0	70.3	280	70.3	83	70.3	72.0
M	70,0	70.2	230	70.2	81	70.3	70.9

Pozn.: 1. Platný imisní limit 50,0 µg.m^{-3}

Tab. 31 Počty překročení limitu pro maximální koncentraci PM_{10}

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
Blízké okolí EDU							
1	8	16	8	9	8	8	8
2	10	15	10	11	10	10	10
3	10	16	10	12	10	10	10
4	10	19	10	12	10	10	10
5	10	11	10	10	10	10	10
V průjezdních obcích							
S	8	14	8	9	8	8	8
D	14	18	14	15	14	14	14
R	11	17	11	13	11	10	11

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
Blízké okolí EDU							
J	13	14	13	14	13	13	13
H	14	16	14	15	14	14	14
K	8	9	8	9	8	8	8
M	14	15	14	15	14	14	14

Pozn.: Platný imisní limit: překročení maximálně 35x za rok

Tab. 32 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace tuhých látek frakce $PM_{2,5}$ (µg.m^{-3})

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
Blízké okolí EDU							
1	15.9	15.9	16.2	15.9	16.0	15.9	15.9
2	16.6	16.6	16.8	16.6	16.7	16.6	16.6
3	16.9	16.9	17.1	16.9	17.1	16.9	16.9
4	16.7	16.7	17.0	16.7	16.9	16.7	16.7
5	16.5	16.5	16.6	16.5	16.5	16.5	16.5
V průjezdních obcích							
S	16.0	16.0	16.1	16.0	16.1	15.9	15.9
D	17.4	17.4	17.5	17.4	17.5	17.4	17.4
R	17.0	17.0	17.2	17.0	17.2	17.0	17.0
J	17.7	17.6	17.7	17.6	17.7	17.6	17.6
H	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
K	15.9	15.9	15.9	15.9	16.0	15.9	15.9
M	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8

Pozn.: 1. Platný imisní limit 25,0 µg.m^{-3}

4.2.2.3 Charakteristika rizika

Jak ukazuje tabulka 29, příspěvky záměru k průměrným ročním koncentracím PM_{10} se pohybují na úrovni cca 3 µg.m^{-3} a v součtu s pozadím pak nejvýše 24,0 µg.m^{-3} tj. 60 % stanoveného limitu. Ze srovnání s tabulkou 27 vyplývá, že uvedená úroveň se nachází jen mírně nad základní směrnou hodnotou WHO. Taková je již v současnosti a bez velkých bez velkých změn pak setrvává ve všech hodnocených časových horizontech a kombinacích. NJZ ji významně neovlivňuje.

Příspěvky NJZ k průměrným ročním imisním koncentracím $PM_{2,5}$ ve sledovaném obytném území (tabulka 32) jsou ve vztahu k limitu velmi nízké, v součtu s pozadím dosahují do 18 µg.m^{-3} (tj. 72 % limitu). Jsou tedy mírně nad úrovní třetího postupného cíle WHO (tabulka 27). I zde ovšem platí, že jde o situaci přítomnou již v současnosti a trvající i do hodnocené budoucnosti, a že NJZ ji prakticky neovlivňuje.

Závažnější jsou údaje o maximálních krátkodobých (24hodinových) koncentracích PM_{10} (tabulka 30). Současný stav je tam nadlimitní (o 40%) a udržuje se na obdobné úrovni i v budoucích časových horizontech, pokud tam nepůsobí výstavba NJZ. Odpovídá postupnému cíli 3 dle WHO (viz tabulku 28) s tím, že oproti základní směrné hodnotě 50 µg.m^{-3} zvyšuje krátkodobou úmrtnost o 1,2 %. Příspěvky z výstavby záměru danou situaci značně zhorší, zejména v horizontu roku 2027 (terénní a výkopové práce) a v menší míře v roce 2029 (nejvyšší zatížení automobilovou dopravou). V roce 2027 se maximální krátkodobé imise PM_{10} v nejbližším obytném území např. pohybují na úrovních 340 až 880 µg.m^{-3} (tj, cca 7-násobku až 18-násobku stanoveného limitu). Jde o velmi vysoké hodnoty, autor k tomu na vyžádání doplnil i údaje o počtu překročení limitu za rok (tabulka 31). Podle tohoto kritéria by ve všech referenčních bodech měl být dodržen požadavek zákona č. 201/2012 Sb.

K uvedeným vysokým hodnotám krátkodobých maximálních koncentrací PM_{10} autor studie uvádí, že jsou především (až z 90 %) důsledkem přepravy zeminy. Doporučil některá opatření (především zpevnění staveništních komunikací a jejich pravidelné skrápění a čištění, a dále omezení rychlosti na staveništi), jejichž uplatněním je možno očekávat významnou redukci emisí a snížení příspěvku k maximálním denním koncentracím u nejbližší obytné zástavby na úroveň cca 50-100 $\mu g.m^{-3}$ a využitím dalších opatření i pod 50 $\mu g.m^{-3}$.

Tyto vývody je možno přijmout a požadovat v daném období ozvláštní důslednost a kontrolu doporučených opatření. Je to dobře akceptovatelné mj. i proto, že dny s rizikem vysokých maximálních koncentrací se budou vyskytovat spíše jen výjimečně, v obdobích s obzvláště nepříznivou kombinací meteorologických podmínek.

4.2.3 Benzen

Benzen (C_6H_6) je čirá, bezbarvá, těkavá a hořlavá kapalina výrazného aromatického zápachu, s bodem varu 80,1°C. V životním prostředí je všudypřítomný, vzniká při každém hoření paliv, je součástí výfukových plynů a v relativně značném množství je obsažen v tabákovém kouři (kuřák 20 cigaret denně vdechne denně 10x více benzenu než běžný obyvatel z městského ovzduší). V motorovém benzinu je přítomný v množství mezi 0,5 a 2 %.

Ve vysokých koncentracích benzen dráždí oči, sliznice dýchacích cest a kůži a při akutních dávkách působí toxicky na centrální nervstvo. Při chronických expozicích vysokým dávkám utlumuje tvorbu krvinek v kostní dřeni. Z epidemiologických studií u pracovníků dlouhodobě vystavených zvýšeným koncentracím benzenu (dříve v kožedělném a gumárenském průmyslu) se usuzuje, že dlouhodobé vdechování nízkých dávek má kumulativní účinek a zvyšuje riziko akutní myeloidní leukémie. Americký úřad pro ochranu životního prostředí (US EPA) i mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) řadí benzen mezi lidské karcinogeny.

4.2.3.1 Vyhodnocení vztahu dávka odpověď

U nás platný imisní limit roční průměrné koncentrace benzenu v zevním ovzduší je podle výše uvedeného vládního nařízení 5 $\mu g.m^{-3}$.

K provedení rizikové analýzy jsou k dispozici koeficienty publikované americkým úřadem pro ochranu životního prostředí (US EPA), který uvádí odhad inhalačního jednotkového rizika v rozmezí 7,1 x 10^{-3} až 2,5 x 10^{-2} na 1 ppm (3,19 $mg.m^{-3}$) benzenu v ovzduší, což v přepočtu představuje UR 2,2 až 7,1. 10^{-6} na 1 $\mu g.m^{-3}$. Tato hodnota znamená, že kdyby 1 milion lidí celoživotně vdechoval ovzduší s koncentrací 1 $\mu g.m^{-3}$ benzenu, zemřelo by z nich navíc 2,2 až 7,1 osob na leukémii. K tomu US EPA v komentáři uvádí, že skutečné riziko z expozice benzenu nelze v současné době stanovit vzhledem k nejistotám v expozičních scénářích při nízkých koncentracích a k nedostatečným znalostem o mechanismu působení. Tím se zdůvodňuje, že koeficienty nejsou stanoveny jedním číslem, ale rozmezím, a zdůrazňuje se, že všechny hodnoty uvnitř uvedeného rozmezí mají stejnou vědeckou validitu.

WHO (2000) uvádí pro expozici 1 $\mu g.m^{-3}$ benzenu celoživotní riziko leukémie 6 x 10^{-6}.

4.2.3.2 Vyhodnocení expozice

Poněvadž v případě benzenu jde o chronické kumulativní působení, nemá zde smysl hodnotit krátkodobá maxima, rozhodující jsou roční průměry. Jejich vypočtené hodnoty pro výše popsané referenční body v posuzované lokalitě uvádíme v tabulce 33.

Tab. 33 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace benzenu ($\mu g.m^{-3}$)

Bod	Současn. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
Blízké okolí EDU							
1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
V průjezdních obcích							
S	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
D	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
R	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
J	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
H	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
K	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
M	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

Pozn.: 1. Platný imisní limit 5 $\mu g.m^{-3}$

4.2.3.3 Charakteristika rizika

Z tabulky 33 vidíme, že v součtu imisních koncentrací benzenu místního pozadí a příspěvků z NJZ se výsledné zátěže místních obyvatel benzenem pohybují v úrovních blízkých 26 % stanoveného limitu. Jsou proto ze zdravotního hlediska dobře přijatelné. NJZ ji významně neovlivňuje.

4.2.4 Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren (BaP) je nejznámějším a nejlépe prozkoumaným reprezentantem skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU). Jde o velkou skupinu organických sloučenin se dvěma nebo více kondenzovanými benzenovými jádry.

Jsou to látky relativně málo rozpustné ve vodě, v ovzduší se adsorbují na pevné částice. Tvoří se hlavně v důsledku pyrolýzních procesů, zejména při neúplném spalování organických materiálů. Do životního prostředí proto pronikají zejména v souvislosti s výrobou koksu, spalováním uhlí při individuálním vytápění i v průmyslu, a také s výfukovými plyny motorových vozidel. Vysoké koncentrace PAU jsou též obsaženy v tabákovém kouři. V ovzduší bylo identifikováno na 500 PAU, většina v literatuře uváděných měření však byla provedena na BaP a několika málo dalších reprezentantech této skupiny. V ovzduší evropských měst jsou koncentrace BaP uváděny nejčastěji v rozmezí cca 1 až 10 $ng.m^{-3}$. Vdechování PAU může podle literárních údajů přispívat ke vzniku rakoviny plic.

4.2.4.1 Vyhodnocení vztahu dávka odpověď

Imisní limit pro BaP je u nás podle zákona č. 201/2012. stanoven pro roční průměr, a to v hodnotě 1 $ng.m^{-3}$.

Rizikové koeficienty pro inhalační benzo(a)pyren nejsou mezinárodními institucemi zpracovány.

4.2.4.2 Vyhodnocení expozice

Vypočtené průměrné roční imisní koncentrace benzo(a)pyrenu ve sledovaných referenčních bodech uvádíme v tabulce 34.

Tab. 34 Výsledky změny imisní zátěže pro vybrané výpočtové body – průměrné roční koncentrace benzo(a)pyrenu ($ng.m^{-3}$)

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
Blízké okolí EDU							
1	0.44	0.44	0.44	0.44	0.45	0.44	0.44
2	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
3	0.55	0.55	0.55	0.55	0.56	0.55	0.55
4	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
5	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
V průjezdních obcích							
S	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

Bod	Součas. stav	2027 bez NJZ	2027 s NJZ	2029 bez NJZ	2029 s NJZ	2034 bez NJZ	2034 s NJZ
D	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
R	0.56	0.56	0.56	0.56	0.57	0.56	0.56
J	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
H	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
K	0.43	0.43	0.43	0.43	0.44	0.43	0.43
M	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72

Pozn.: 1. Platný imisní limit 1 $ng.m^{-3}$

4.2.4.3 Charakteristika rizika

Z tabulky 34 vyplývá, že příspěvky záměru k průměrným ročním imisním koncentracím BaP jsou v součtu s pozadím již v současnosti podlimitní (do 72 % stanoveného limitu), tuto úroveň si zachovávají i ve všech hodnocených budoucích časových horizontech, přičemž účast záměru tento stav významně neovlivňuje. I ve vztahu ke koncentracím BaP je tedy možno záměr ze zdravotního hlediska akceptovat.

4.2.5 Závěry ke stati o ovzduší

Celkově je možno ke znečišťování ovzduší vlivem záměru konstatovat, že u většiny hodnocených škodlivin zůstávají jejich koncentrace v ovzduší v době výstavby i v době provozu v součtu s pozadím podlimitní. Výjimkou jsou nadlimitní maximální krátkodobé koncentrace PM_{10} v některých fázích výstavby záměru. Vzhledem k vzácnosti jejich výskytu a očekávané účinnosti navržených opatření je možno i tyto zátěže ze zdravotního hlediska akceptovat.

4.3 Hluk

Hluk patří k typickým a závažným škodlivým faktorům životního prostředí vyspělých zemí. Již hladiny hluku pohybující se v blízkosti základních limitů působí na celou exponovanou populaci. Dnes je tak dotčena značná část obyvatelstva našich měst. Mezi lidmi jsou však velké rozdíly citlivosti na hluk v závislosti na individuálních vlastnostech nervového systému, zdravotním stavu, věku aj. Výskyt osob vysloveně senzitivních na hluk se v naší populaci odhaduje na 5 až 8 %. Na druhé straně existuje obdobně velká skupina lidí ke hluku relativně odolných. U zbytku populace stoupá účinek s rostoucí intenzitou hluku (ovšem i v závislosti na řadě dalších faktorů). Rušivé působení hluku má poněkud odlišné účinky v době denní a v době noční.

Zvýšené úrovně **denního hluku** působí především na nervový systém a psychiku člověka. Touto cestou se při intenzivním vlivu mohou podílet i na psychosomatických poruchách. Vyvolávají

- rušení, jestliže interferují s nějakou činností nebo odpočinkem (duševní prací, řečovou komunikací, spánkem aj.),
- rozmrzelost, tj. pocit nepohody, odpor a nelibost, vznikající při nuceném vnímání zvuků, k nimž má jedinec zamítavý postoj,
- pocit obtěžování nepřípustným ovlivňováním životního prostředí a osobních a skupinových práv,
- změny sociálního chování (v hlučném prostředí klesá ohleduplnost, ochota poskytnout pomoc a schopnost spolupracovat, roste celková podrážděnost a agresivita).

Subjektivní pocit rozmrzelosti z hluku a obtěžování hlukem je dán emoční složkou vnímání. Podrážděnost, která v této souvislosti vzniká, vede k pocitu dyskomfortu až odporu, důsledkem je zhoršení psychické pohody. Emocionální prožitek není principiálně vázán na intenzitu hlukového podnětu. Pocity obtěžování se však vyskytují častěji v prostředí s vyššími hladinami hluku.

Přímé zdravotní účinky (na oběhový systém, na sluch aj.) nastupují až při vyšších intenzitách. Ekvivalentní hladina 65 dB v denní době představuje krajní mez pro obytné prostředí sídelního útvaru z hlediska přímých zdravotních rizik. Příznivé akustické klima z hlediska akustické pohody pro regeneraci pracovní schopnosti je dáno ve venkovním prostoru pro pobyt lidí ekvivalentní hladinou nižší než 50 až 55 dB. Při vyšších hodnotách dochází k výše popsanému rušení psychické pohody.

Ani při dodržení základního limitu 50 dB není zajištěna plná ochrana citlivých lidí, asi 10 % osob i tak zažívá pocit rozmrzelosti z hluku.

Zvýšené hladiny **nočního hluku** se dotýkají exponovaného obyvatelstva tím, že narušují usínání a kvalitu i délku spánku. Účinek závisí na individuální citlivosti lidí, která je značně rozdílná, diference v ovlivnění zvukovými podněty činí až 25 i 30 dB. Vedle konstitučních zvláštností se zde uplatňuje též věk, směrem ke stáří se vnímavost k rušení spánku značně zvyšuje; určitou ochranou ve stáří je na druhé straně snižování sluchové ostrosti. Význam má i frekvenční šíře hluku, širokopásmový hluk působí intenzivněji. S rostoucí intenzitou hluku procento postižených narůstá. Na druhé straně se u některých lidí citlivost může snížit postupným návykem.

Klidný a nerušený spánek je přitom považován za nezbytnou podmínku uchování zdraví a tělesné i duševní výkonnosti. Jeho kvalita je hlukem postihována, i když se dotčený člověk neprobudí (resp. si není krátkodobého probuzení vědom), spánek je však méně hluboký a jsou omezeny spánkové fáze, které jsou nejvýznamnější pro regeneraci sil (SWS a REM). Pokud si člověk probuzení uvědomí, dostavují se mnohdy obtíže s opětovným usnutím a s tím spojená rozmrzelost a pocit zdravotní újmy. V experimentech byla po takové noci v následujícím dnu prokázána snížená pozornost, výkonnost a schopnost soustředění. Hladina hluku v ložnici, která prokazatelně nemění vlastnosti spánku, je 35 - 37 dB(A), nad touto úrovní již nastupuje rušení.

Z důvodů uvedených literárních poznatků vycházíme v dalším hodnocení jednoznačně ze základních limitů ekvivalentních hlukových hladin, tj. 50 dB ve dne a 40 dB v noci. Zvyšující korekce, umožňované stávajícími předpisy (nařízení vlády č. 272/2011 Sb., v platném znění), mají význam právní, nikoli fyziologický. Lidé jsou hlukem určité úrovně obtěžováni nezávisle na tom, zda v daném místě byla korekce povolena či nikoli.

4.3.1 Určení vztahu dávka – odpověď

Pro měření a prognózu rušivých a zdravotně škodlivých účinků hluku existuje řada metod, včetně poměrně složitých postupů matematických. Pro praxi dobře vyhovuje přehled prahových hodnot hlukové expozice z venkovního prostoru pro ty nepříznivé účinky hluku, které se dnes považují za dostatečně prokázané. Tyto prahové hodnoty udává (podle podkladů WHO) Autorizační návod SZÚ k hodnocení zdravotního rizika expozice hluku (Praha, 2007). Uvádíme je pro denní dobu v tabulce 35, pro noční dobu v tabulce 36.

Tab. 35 Prahové hodnoty prokázaných účinků hlukové zátěže – denní doba ($L_{Aeq,\ 6\text{-}22\ h.}$)

Nepříznivý účinek	dB					
	<50	50-55	55-60	60-65	65-70	70+
Sluchové postižení						
Zhoršené osvojení řeči a čtení u dětí						
Ischemická choroba srdeční						
Zhoršená komunikace řečí						
Silné obtěžování						
Mírné obtěžování						

Tab. 36 Prahové hodnoty prokázaných účinků hlukové zátěže – noční doba ($L_{Aeq,\ 22\text{-}6\ h.}$)

Nepříznivý účinek	dB					
	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60+
Zhoršená nálada a výkon násled. den						

Subj. vnímaná horší kvalita spánku						
Zvýšené užívání sedativ						
Obtěžování hlukem						

4.3.2 Hodnocení expozice

V této stati vycházíme z hlukové studie (Amec Foster Wheeler, říjen 2016). Posuzuje jednak pozaďovou (stávající) hlukovou situace dotčeného území, jednak předpokládané hlukové vlivy spojené s provozem stacionárních, liniových i plošných zdrojů hluku během výstavby i provozu NJZ. Hodnotí hlukové hladiny jednak v nejbližším okolí NJZ (tabulka 37), jednak v průjezdních obcích.

Tab. 37 Referenční body pro hodnocení hluku z NJZ

Bod	Umístění
1	Dukovany č. p. 270
2	Slavětice č. p. 51
3	Kordula č. p. 153
4	Rouchovany č. p. 284
5	Mohelno č. p. 327

Výsledky jsou uvedeny jednak numericky v uvedených referenčních bodech, jednak ve velmi podrobných hlukových mapách. Zde využijeme údaje o referenčních bodech, neboť dostatečně výstižně charakterizují hlukové zátěže v exponovaných chráněných územích.

Hluková studie vyhodnocuje zdroje stacionární (chladicí věže, strojovny, transformátory, diesel-generátorové stanice, nízkotlakou kompresní stanici aj.), dále automobilovou dopravu na areálových/účelových komunikacích i automobilovou dopravu na veřejné komunikační síti, a to vše v současnosti a výhledově ve zvolených časových horizontech. Speciálně jsou pak jako zdroj hluku vyhodnoceny činnosti při výstavbě.

Výsledky jsou prezentovány ve třech samostatných kapitolách: hluk z provozu elektrárny, hluk ze stavební činnosti a hluk z dopravy na veřejných komunikacích.

4.3.2.1 Hluk z provozu elektrárny

Přehled hlukových hladin z provozu stacionárních zdrojů v nejvíce dotčeném chráněném venkovním prostoru staveb nejbližší obytné zástavby, charakterizovaném referenčními body, v různých časových fázích uvádíme v tabulce 38.

Tab. 38 Příspěvky ze stacionárních zdrojů k místním hlukovým hladinám v nejbližším obytném území

Bod *)	Stávající stav		Výhledový stav		NJZ + EDU1-4	
	Den	Noc	Den	Noc	Den	Noc
1-1	30,9	30,9	19,5	19,5	35,8	35,5
1-2	31,2	31,2	19,0	19,0	36,0	35,7
2-1	33,5	33,5	40,9	38,4	39,1	38,8
3-1	26,8	26,9	25,1	25,1	34,9	34,3
4-1	29,0	29,0	33,4	33,4	34,6	34,6
5-1	23,4	23,4	18,0	18,0	31,5	31,2
5-2	23,6	23,6	18,3	18,3	31,6	31,3

Pozn.: *) číslo bodu - podlaží

Ve sloupci Stávající stav jsou vyhodnoceny vlivy zdrojů hluku z areálu EDU1-4 včetně rozvodny Slavětice a neveřejných areálových komunikací.

Ve sloupci Výhledový stav vychází výpočet z uspořádání objektů NJZ dle základního generelu. Hluk z provozu EDU1-4 zde není zahrnut. I zde byla zohledněna rozvodna Slavětice (po jejím rozšíření) a pohyb vozidel na neveřejných areálových komunikacích. Kromě základního generelu počítány 4 alternativy odlišného uspořádání chladicích věží. Všechny produkují hlukové hladiny nižší než základní generel, proto je zde blíže nekomentujeme. Byl vyhodnocen i vliv možné změny výškového umístění věží až o 5 m. Je zanedbatelný.

V posledním sloupci tabulky NJZ + EU1-4 jde o vyhodnocení dopadu přechodného stavu souběhu stávající elektrárny s jedním novým výrobním blokem se 2 chladicími věžemi, včetně rozšířené rozvodny Slavětice.

4.3.2.2 Hluk ze stavební činnosti

Ve stavební činnost při výstavbě NJZ hluková studie rozlišuje dvě akusticky nejvýznamnější etapy: období hrubých terénních úprav s významnými přesuny ornice a zeminy, a samotnou výstavbu NJZ, charakterizovanou intenzivními betonářskými pracemi.

Akusticky nejnáročnější bude období hrubých terénních úprav v důsledku nasazení mechanizace při těžbě a dopravě zeminy. Působit bude i vysoká obrátkovost nákladních vozidel při odvozu zeminy na deponii. Produkované příspěvky záměru k místním hlukovým hladinám se v nejbližším obytném území pohybují v blízkosti úrovně 50 dB nebo pod ní.

Výpočty příspěvků záměru k místním hlukovým hladinám v navazujícím období betonáže jsou příznivější, v nejbližším obytném území se pohybují na úrovních cca 35 až 45 dB. Vcelku příznivou situaci neovlivní ani uvažované možnosti návozu materiálů na výstavbu.

4.3.2.3 Hluk z dopravy na veřejných komunikacích

Hluková studie hodnotí hlukové zátěže exponovaných obytných domů v průjezdních obcích, v nichž je možno v době výstavby NJZ očekávat zvýšení dopravních frekvencí. Celkem je vyhodnoceno 153 referenčních bodů v 44 obcích (Branišovice, Březník, Dalešice, Dobelice, Dolní Kounice, Dukovany, Horní Dubňany, Hostěradice, Míšovice, Hrotovice, Ivančice, Jamolice, Jinošov, Kožichovice, Kramolín, Kralice, Kuroslepy, Moravské Bránice, Mohelno, Moravský Krumlov, Myslibořice, Náměšť nad Oslavou, Neslovice, Olbramovice, Petrovice, Pohořelice, Polánka, Prosiměřice, Račice, Rešice, Rouchovany, Rybníky, Sedlec, Slavětice, Suchohrdly, Tetčice, Třebenice, Třesov, Tulešice, Valeč, Vémyslice, Vícenice, Vítonice).

Údaje o hlukových zátěžích v období největšího nárůstu automobilové dopravy (2029 s výstavbou NJZ) přitom ukázaly, že většina uvedených obcí nebude vlivem záměru významně dotčena (viz tabulku 26 v hlukové studii). Z dalšího hodnocení proto vypouštíme obce, u nichž byl pro dané období vypočten nárůst hlukových hladin do 1,5 dB. Tento rozdíl považujeme za bezvýznamný, sotva se dá rozlišit smyslově nebo mírou zdravotního účinku a je v rámci obvyklé chyby měření. Jsou to obce Branišovice, Dalešice, Hostěradice, z Ivančic body 3-1, 3-2, 5-1, 6-1 a 6-2, Jinošov, Kožichovice, Kuroslepy, Moravský Krumlov, Myslibořice, Náměšť nad Oslavou, Neslovice, Olbramovice, Petrovice, Pohořelice, Prosiměřice, Račice, Suchohrdly, Tetčice, Třebenice, Valeč a Vítonice.

Další hodnocení tak orientujeme na 21 více hlukové zatížených obcí (Březník, Dobelice, Dolní Kounice, Dukovany, Horní Dubňany, Hrotovice, Ivančice, Jamolice, Kramolín, Kralice, Moravské Bránice, Mohelno, Polánka, Rešice, Rouchovany, Sedlec, Slavětice, Třesov, Tulešice, Vémyslice a Vícenice) s celkem 98 referenčními body.

Předmětem našeho zájmu není samotná úroveň hlukových hladin v jednotlivých lokalitách, ale především míra změny, kterou vyvolají činnosti spjaté se záměrem NJZ. Pozoruhodné je zde jednak období výstavby, jednak období provozu po dokončené realizaci.

V **období výstavby** je možno nejvyšší hlukové zátěže z dopravy očekávat v uvažovaném horizontu roku 2029. Přehled základních relevantních údajů o tomto období uvádíme v tabulce 39, a to jen pro denní dobu, na denní dobu budou omezeny aktivity spjaté s výstavbou NJZ. U jednotlivých obcí uvádíme rozpětí hlukových hladin, které se vyskytovaly v jejich jednotlivých referenčních bodech a v poslední sloupci rozpětí změn vyvolaných výstavbou

Tab. 39 Hlukové hladiny (dB) v exponovaných průjezdních obcích v denní době v horizontu roku 2029 s účastí výstavby NJZ a bez ní

Obec	Bez NJZ	S NJZ	Rozdíl od:do
Březník	59,6-61,5	61,3-63,1	+1,6 : +1,7
Dobelice	66,0	69,3-69,4	+3,3 : + 3,4
Dolní Kounice	64,6-67,3	66,7-69,9	+2,1 : +2,6
Dukovany	60,4-63,3	63,4-66,2	+2,9 : +3,0
Horní Dubňany	58,7-62,4	61,8-65,6	+3,1 : +3,2
Hrotovice	60,5-67,8	62,0-69,3	+1,4 : +1,6
Ivančice	67,4-73,2	69,4-74,8	+1,6 : +2,0
Jamolice	63,7-66,8	67,6-70,7	+3,9 : +4,0
Kramolín	49,5-59,4	53,3-64,1	+3,8 : 4,7
Kralice	59,5-62,9	61,3-63,8	+0,9: +1,8
Moravské Bránice	67,7-69,5	70,0-71,4	+ 1,7 : +2,1
Mohelno	56,3-62,9	58,2-63,6	+1,9
Polánka	62,6-65,7	65,2-69,4	+1,1 : +3,7
Rešice	60,3-62,2	66,1-68,0	+5,8
Rouchovany	57,6-64,0	63,3-68,0	+3,8 : +5,8
Sedlec	61,8	65,5	+3,2
Slavětice	64,4-69,2	67,6-72,5	+2,9 : +3,3
Třesov	58,7-59,3	61,7-62,1	+2,8 : +3,0
Tulešice	60,7-63,8	65,0-68,0	+4,2 : +4,4
Vémyslice	61,7-65,5	65,6-68,4	+2,9 : +3,9
Vícenice	61,3-61,4	64,4-64,5	+3,1

Pokud jde o **období provozu**, z výpočtů o hlukových hladinách s NJZ a bez něj v časovém horizontu 2034 uvedených v hlukové studii vyplývá, že účast NJZ zvýší místní hlukové hladiny v obcích nanejvýš o několik desetin dB. Takový posun postrádá jakýkoliv zdravotní význam, a proto jej zde popisem změn v jednotlivých obcích nedokládáme.

4.3.3 Charakteristika rizika

Hlukové příspěvky **ze stacionárních zdrojů** (tabulka 38) jsou ve všech hodnocených kombinacích nízké a nemohou celkovou úroveň místních hlukových zátěží (přičtením k pozadí) ovlivnit. Nemají proto zdravotní význam.

Hluk **ze stavební činnosti**, jak jsme uvedli výše, produkuje příspěvky k místním hlukovým hladinám se v nejbližším obytném v blízkosti úrovně 50 dB nebo pod ní. Pokud je místní hlukové pozadí podlimitní, což lze předpokládat, budou uvedené příspěvky zdravotně dobře přijatelné, a to tím spíše, že půjde o zátěže přechodné a krátkodobé.

Ještě příznivější výsledky vyplývají z výpočtů o období betonáže.

Závažnější situaci zjišťujeme v průběhu výstavby v souvislosti s **dopravou na veřejných komunikacích** v exponovaných průjezdních obcích. Především zde v části obcí nacházíme poměrně vysoké hlukové zátěže i bez účasti NJZ. Týká se to především Ivančic s hladinami až 73,2 dB, Moravských Bránic (až 69,5 dB), Slavětic (až 62,9 dB), Hrotovic (až 67,8 dB) a Dolních Kounic (až 67,3 dB). Porovnání s tabulkou 35 nám ukáže, že zde již začíná pásmo přímých zdravotních účinků (riziko ischemické choroby srdeční). I když jsou v těchto obcích příspěvky výstavby NJZ relativně malé, posouvají hlukové hladiny uvnitř zmíněného kritického pásma. V těchto obcích by měla být zvláště pečlivě uplatněna ochranná opatření (úpravy vozovky, zvýšení plynulosti a snížení rychlosti jízdy aj.). V ostatních případech nevelké příspěvky výstavby NJZ

vesměs nezmění umístění dané lokality v určitém pásmu obtěžování hlukem. Vzhledem k tomu, že se jedná o přechodné vlivy, může to být po zdravotní stránce přijatelné.

4.4 Elektrické a magnetické pole

4.4.1 Charakteristika elektromagnetických polí

Různé zdroje, přírodní i člověkem vytvořené, šíří elektromagnetické záření do svého okolí. Prostor zaujatý tímto zářením je označován jako elektromagnetické (ELM) pole. Existuje mnoho druhů takových polí, vzájemně odlišných svým charakterem a svými účinky. Jejich vlastnosti jsou dány charakteristikami produkovaného záření.

Elektromagnetická pole sestávají z elektrických (E) a magnetických (H) vln, společně se šířících rychlostí světla. Jsou charakterizována frekvencí (kmitočtem) a vlnovou délkou. Frekvence je dána počtem oscilací za definovanou dobu, jednotkou je Hz (1 cyklus za sekundu). Vlnová délka je vzdálenost, kterou vlna urazí během jedné oscilace (resp. cyklu)

Čím vyšší je kmitočet, tím kratší je vlnová délka a tím vyšší je i kvantum energie v daném poli. Spektrum ELM záření je spojité a vyznačuje se obrovským rozpětím. V praxi jsou proto vedle základní jednotky Hz 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. Spektrum ELM polí zahrnuje pásma od několika desítek Hz v okolí vodičů běžně užívaného střídavého proudu přes pásma s frekvencí do desítek GHz, dále infračervené záření, viditelné záření, UV záření až k rentgenovým paprskům a gama záření s frekvencí do 10^{22} Hz. Ve stejném směru, opět v obrovském rozpětí klesá i vlnová délka, od 6000 km při frekvenci běžné sítě střídavého proudu (50 Hz) až po $6x10^{-12}$ m u rtg a gama záření.

Elektrické pole je produkováno napětím, které uvádí do pohybu elektrony po vodiči (drátu). S rostoucím napětím roste jeho intenzita. Měří se ve voltech na metr (V/m). Nejintenzivnější je elektrické pole v blízkosti zdroje, s rostoucí vzdáleností od zdroje klesá. Stíní je běžné stavební materiály, zemina aj.

Magnetické pole vzniká vlivem toku proudu skrze drát nebo elektrické zařízení a sílí s růstem proudu. Intenzita magnetického pole rovněž rychle klesá s rostoucí vzdáleností od zdroje. Magnetické pole se měří v jednotkách ampér na metr (A/m), ale obvykle se vyjadřuje jako odpovídající magnetická indukce měřená v jednotkách tesla (T), resp. jejích dílech militesla (mT) nebo mikrotesla (μT), tj. miliontinách tesla. Většina běžných materiálů je neodstíní.

Elektrická pole jsou produkována bez ohledu na to, zda je zařízení zapnuto (pokud je připojeno k síti), zatímco magnetická pole vznikají, jen když prochází proud, což obvykle vyžaduje zapnout zařízení. Dálková vedení velmi vysokého napětí (VVN) produkují magnetické pole neustále, protože v nich stále teče proud. Elektrická pole jsou snadno odstíněna nebo oslabena zdmi nebo jinými objekty, zatímco magnetické pole může procházet budovou, živými bytostmi a většinou ostatních materiálů.

Podle frekvencí jsou ELM pole v praxi tříděna do jednotlivých pásem. Předmětem zvýšeného zájmu jsou dvě základní kategorie:

- Vysokofrekvenční ELM pole (rtg a gama záření) nad 30 PHz (1 PHz – petahertz = 10^{15} Hz). Má vysokou míru energie a na své dráze narušuje atomy odstraněním části elektronů z orbitálních drah, čímž vznikají elektricky nevyvážené zbytky atomů s převahou kladného nebo záporného náboje, tzv. ionty. Proto je toto záření označováno jako ionizující. Je ze zdravotního hlediska vysoce rizikové, neboť tvorba iontů může vážně narušovat životní pochody v buňkách.
- ELM pole s nízkou a střední frekvencí (do 300 GHz neboli 300 miliard Hz). Při průchodu toto záření hmotou atomy neionizuje, proto bývá označováno též jako neionizující. Pokud je známo, nepoškozuje přímo živou hmotu.

  Druhá uvedená skupina bývá v literatuře dále dělena, obvykle do čtyř skupin:

  - ELM pole s extrémně nízkou frekvencí (ENF ELM pole) 1 – 300 Hz. Jsou produkována běžně užívaným střídavým elektrickým proudem.
  - ELM pole se střední (intermediate) frekvencí od 300 Hz do 100 kHz. K nejběžnějším zdrojům patří indukční ohřev na kuchyňských plotnách, monitory počítačů a televizory, elektrické lokomotivy, v průmyslu zařízení pro dielektrický a indukční ohřev, komunikační zařízení aj.

- ELM pole radiofrekvenční od 100 kHz do 1 GHz. Nejběžnějšími zdroji jsou bezdrátová telekomunikační zařízení jako mobilní telefony, měřiče vzdáleností a přenosné bezdrátové aparáty jako tabletové nebo laptopové počítače. K dalším běžným zdrojům radiofrekvenční radiace patří radiové a televizní signály (AM a FM), radar, satelitní stanice, zobrazování magnetickou resonancí, anténní věže pro mobilní telefony, televizní a počítačové obrazovky (kromě některých obrazovek s tekutými krystaly; moderní počítače mají vodivé obrazovky, které redukují statická pole z obrazovky k normálním hladinám pozadí), dále místní bezdrátové sítě, běžně známé jako Wi-Fi, digitální měřiče spotřeby elektřiny a plynu aj.
- ELM pole mikrovlnná od 1 GHz do 300 GHz, nejběžnějším zdrojem jsou kuchyňské mikrovlnné trouby

Při vysokých kmitočtech (mikrovlnné a radiové frekvence) jsou elektrická a magnetická pole obvykle posuzována jako komplex, jako složky elektromagnetické vlny vytvářené střídavě elektrickým a magnetickým polem. Jejich síla se vyjadřuje jako tzv. výkonová hustota ELM pole ve W/m^2 nebo mW/cm^2.

Elektromagnetická pole všech frekvencí jsou jedním z nejběžnějších a nejrychleji narůstajících faktorů životního prostředí. Dnešní člověk je neustále vystaven ELM polím s různými vlastnostmi i biologickými účinky v souvislosti s 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), radar a mnohé jiné. Jejich množství a rozmanitost s technologickým pokrokem dále poroste. V této rozsáhlé a rozmanité změti ELM polí, jimž jsme neustále exponováni, tvoří pole kolem vedení VVN, která jsou předmětem našeho zájmu, jen nepatrný a vesměs zanedbatelný příspěvek.

Elektromagnetická pole **kolem vedení vysokého napětí** jsou **pole s extrémně nízkou frekvencí (dále ENF ELM pole)**. Jejich kmitočet je dán frekvencí střídavého proudu 50 Hz. Kvantum šířené energie je zde nepatrné. Ukáže to např. srovnání s mobilními telefony. Jimi produkovaná ELM pole mají vlnovou délku 30 cm, zatímco nízkofrekvenční pole (kolem vedení elektrického proudu, včetně vysokého napětí) mají vlnovou délku 6000 km. Energie ELM záření v okolí elektrického vedení je milionkrát nižší než u mobilních telefonů.

Vzhledem k mimořádné vlnové délce nejde u ENF ELM polí již v pravém slova smyslu o pole elektromagnetické, jsou uvažována dvě vzájemně navazující pole, elektrické a magnetické. Pole tohoto druhu vznikají při výrobě, přenosu, distribuci a využívání elektřiny a setkáme se s nimi nejen v blízkosti vedení vysokého napětí, ale i elektrických kabelů, nízkonapěťového elektrického vedení k domům, elektroinstalací v domech a elektrických přístrojů používaných v domácnostech (holicí strojky, fény na vlasy a mnohé jiné) a v kancelářích.

Elektrická pole vznikají v souvislosti s napětím (i bez průtoku proudu). Čím vyšší je napětí, tím silnější bude vzniklé pole, a to nezávisle na protékajícím proudu. Magnetická pole vznikají průtokem elektrického proudu. Jestliže tedy vodičem protéká elektrický proud, mění se magnetické pole podle jeho spotřeby, zatímco elektrické pole zůstává konstantní. Vcelku platí, že intenzita elektrického pole roste s napětím, intenzita magnetického pole s průtokem elektrického proudu.

Vliv elektrických polí je možno snížit stíněním, zejména kovovými materiály. Elektrické pole je deformováno jakýmkoli vodivým předmětem, od vegetace až po zástavbu, neproniká lidským tělem. Působení elektrických polí vznikajících v blízkosti vedení vysokého napětí je výrazně redukováno stěnami, budovami a stromy. Jsou-li kabely pod zemí, elektrické pole se nad povrchem země neprojevuje. Naopak magnetická pole nejsou působením stromů, stěn nebo budov stíněna. Prochází beze změny všemi organickými látkami, většinou hornin (včetně stavebních materiálů) a většinou kovů. Při vedení kabelu pod zemí se proto jeho magnetické pole neovlivní. Deformují je pouze feromagnetické látky (železo, kobalt, nikl) a jejich slitiny.

4.4.1.1 Vedení vysokého napětí

Mezi vodičem pod napětím a zemí se vytváří elektrické pole. Jestliže vodičem protéká proud, vzniká v jeho okolí i pole magnetické. Elektrické pole kolem vedení vysokého napětí obvykle zůstává konstantní, kdežto magnetické pole kolísá podle odběru proudu. Obojí tato pole dosahují maximální velikost v místě největšího přiblížení vodičů k terénu, tj. v místě největšího průhybu vodičů mezi stožáry, směrem ke stožárům jejich intenzita značně klesá a u stožárů dosahuje minima. Rychle klesá také v bočním směru (kolmo k ose vedení).

Velikost elektrického a magnetického pole pod vedením vysokého napětí závisí na

- hladině napětí a intenzitě proudu,
- typu stožáru a uspořádání fází v jeho hlavě,
- výšce vodičů nad zemí,
- vzdálenosti od osy vedení.

4.4.2 Vlivy elektrických a magnetických polí na člověka

Užívání elektřiny a elektrických zařízení se ve 20. století stalo nedílnou součástí každodenního života. Na pracovištích, ve veřejném prostoru i v domácnostech jsme obklopeni různými typy elektrických vedení a neustále exponováni jejich elektromagnetickým polím.

Od 60. let minulého století roste i zájem o možné zdravotní dopady těchto expozic. Jsou zkoumány účinky všech druhů ELM polí včetně polí s velmi nízkou frekvencí. Těmto otázkám se soustavně věnuje mj. i Světová zdravotnická organizace, pod jejímž vedením byl v roce 1996 připraven projekt mezinárodního výzkumu potenciálních zdravotních rizik z ELM polí a jejich zdrojových technologií. Řídící pracovní skupina vydává periodicky zprávy o dosažených výsledcích.

Prvním podnětem k úvahám o možných škodlivých účincích ELM polí na člověka byla epidemiologická studie dvou amerických autorů, N. Wertheimerové a E. Leepera z roku 1979, z níž vyplývalo, že v blízkosti vedení vysokého napětí byla vyšší incidence dětských leukémií. Na to navázala dlouhá řada dalších studií. Byly publikovány tisíce vědeckých prací s různými, často vzájemně si odporujícími výsledky, v poloodborných a laických časopisech bylo šířeno i mnoho spekulací o účincích nepříznivých (nevolnost, poruchy spánku, migréna, rakovina aj.) i příznivých (zlepšení intelektuální výkonnosti, všeobecné léčebné efekty). Valná většina výzkumů byla přitom zaměřena na záření vysokofrekvenční, které může při vyšších intenzitách lidský organismus skutečně ovlivnit.

Poškození lidského organismu při přímém působení elektrických polí do 20 kV/m se považuje za vyloučené. Podobně nelze očekávat ani nepříznivé ovlivnění lidského organismu magnetickými poli 50 Hz do indukce 5 mT (tj. 5000 μT). Nejsou také známy žádné toxikologické resp. rakovinotvorné mechanismy, jimiž by tato slabá pole mohla stav buněk a tkání nepříznivě ovlivnit.

Přes uvedené skutečnosti, podle nichž se vlivy vedení vysokého napětí jeví jako bezvýznamné, vědecké výzkumy a diskuse v této oblasti stále pokračují.

ELM pole ovlivňuje živé tkáně tím, že do nich zavádí elektrická pole a proudy. Intenzita těchto zaváděných proudů je ovšem v běžně se vyskytujících životních podmínkách nižší než fyziologické proudy přítomné v lidském těle. Dosavadní vědecké poznatky o zdravotních účincích elektrických polí ukazují, že expozice do 20 kV/m mají jen malé účinky bez zdravotních důsledků. V pokusech na zvířatech nebyly zjištěny žádné účinky elektrických polí na reprodukci a vývoj ani při intenzitách nad 100 kV/m.

Tělo člověka i zvířat významně narušuje prostorovou distribuci nízkofrekvenčního elektrického pole. Při nízkých frekvencích je tělo dobrým vodičem. Na jeho povrchu jsou indukovány oscilující náboje a ty produkují uvnitř těla proudy. Při frekvenci 50-60 Hz je indukované elektrické pole podstatně menší než elektrické pole externí.

Několikahodinová expozice dobrovolníků magnetickým polím do 5 mT měla jen malé efekty na výsledky klinických a fyziologických testů (složení krve, ekg, tep, krevní tlak, tělesnou teplotu aj.).

Neexistuje přesvědčivý důkaz, že by elektrické pole přímo poškozovalo biologické molekuly, včetně DNA. Je proto nepravděpodobné, že by mohlo iniciovat karcinogenní proces. Nadále však probíhají studie o možnostech, že expozice ELM polím se může podílet na další fázi karcinogenéze, tzv. promoci.

Nejnovější studie na zvířatech neukázaly vztah expozice ELM záření k incidenci nádorů.

Vědecká literatura o vlivu ELM polí s extrémně nízkou frekvencí je rozsáhlá a s výsledky v mnoha směrech nejednotnými. Vybrané příklady uvádíme v seznamu literatury. Čas od času jsou ve vědeckých komisích a institucích prováděna souhrnná kritická hodnocení dosažených poznatků. K hodnocení zdravotních vlivů ENF ELM polí zde použijeme několik takových souhrnných hodnocení z poslední doby. Je to především rozsáhlá souhrnná zpráva (288 stran) vědecké komise pro nová a nově identifikovaná zdravotní rizika, zaměřená na potenciální zdravotní efekty expozice ELM polím (SCENIHR 2015), dále pojednání o ELM polích a rakovině vydané americkým Národním ústavem pro rakovinu (National Cancer Institute) a

revidované v dubnu 2016 (NIH National Cancer Institute 2016) a materiál Světové zdravotnické organizace o ELM polích (WHO 2016).

Četné epidemiologické studie a souborné přehledy vědecké literatury vyhodnotily možné asociace mezi neionizujícími ELM poli a rizikem rakoviny u dětí. Většina výzkumu se soustředila na leukémie a mozkové nádory, dva nejčastější typy dětské rakoviny. Byly zkoumány asociace těchto nádorů s životem blízko vedení vysokého napětí, s magnetickými poli v domácnosti a s expozicí rodičů k vysokým úrovním magnetických polí na pracovišti. Nebyl nalezen žádný konzistentní průkaz souvislostí.

Druhou možnou cestou expozice dětí magnetickým polím je z domácích elektrických aparátů a zařízení. Ačkoliv magnetická pole v blízkosti těchto zařízení jsou vyšší než u dálkového vedení, příspěvky k celkové expozici jsou však nižší, většina zařízení se zapíná jen nakrátko. Studie rovněž nepodaly konzistentní důkaz asociací s dětskými leukémiemi,

Ve vztahu ke zdraví jsou zde obvykle studována pole magnetická. Nízkofrekvenční elektrická pole nepronikají hluboko do těla, ale vytvářejí na jeho povrchu elektrický náboj. Ten neovlivňuje zdraví, ale u silných polí střídavého proudu může obtěžovat tím, že citliví lidé mohou vnímat naježení chloupků na kůži.

Nízkofrekvenční magnetická pole naopak pronikají do těla, kde se jejich vlivem vytvářejí cirkulující proudy. Pokusy na lidských dobrovolnících ukázaly, že při velmi silných expozicích nad 3 mT (tj. 3000 μT), s nimiž se setkáváme pouze v profesionálním prostředí (např. při indukčním ohřevu nebo sváření elektrickým obloukem), mohou podnítit některé biologické procesy, např. v sítnici (dojem vidění slabých světélkujících bodů), nad 20 mT může už docházet při náročné zrakové práci k omylům, při 60 mT nastupují bolesti hlavy a další obtíže. Jde ovšem o úrovně o 3 - 4 řády vyšší, než se mohou vyskytnout v okolí vedení vysokého napětí.

SCENIHR ve výše citovaném podrobném přehledu o ENF ELF polích uzavírá, že stávající studie neposkytují přesvědčivý důkaz kauzální souvislosti mezi expozicí ELM polím a subjektivně uváděnými symptomy. Některé nové epidemiologické studie sice ve shodě se staršími nálezy referují o rostoucím riziku dětských leukémií s odhadnutými průměrnými denními expozicemi od 0,3 do 0,4 μT. Nebyly však zjištěny žádné mechanismy takového působení a není zde ani opora ve studiích experimentálních, jimiž by bylo možno tyto nálezy podepřít, což spolu s nedostatky v epidemiologických studiích neumožňuje kauzální vysvětlení. Studie zkoumající možné efekty ELM polí z vedení elektřiny na EEG v bdělém stavu mají příliš nejednotné výsledky ve vztahu k užitým polím, trvání expozice a počtu snímaných svodů a také ke statistickým metodám, takže z nich nelze vyvozovat spolehlivé závěry. Totéž platí o projevech ovlivněné dráždivosti mozkové kůry.

Epidemiologické studie nepodávají přesvědčivé důkazy ani o rostoucím riziku neurovegetativních onemocnění, včetně demencí ve vztahu k expozici polí kolem elektrických vedení. Neposkytují ani doklady pro narušování těhotenství. Studie o efektech na zdraví dětí ve vztahu k expozicím jejich matek během těhotenství jsou metodicky pochybné a vyžadují ověření. Nové studie neprokazují ani efekt ELM polí na reproduktivní funkce u lidí. Epidemiologické studie radiofrekvenčních expozic rovněž neukazují vzestup mozkových nádorů nebo jiných nádorů hlavy a krku.

V souvislosti s uvedenými výsledky je nutno upozornit na četná úskalí spojená s používáním epidemiologických metod. Jejich principem je průkaz, že v populaci exponované je výskyt sledovaného efektu vyšší než v populaci neexponované. Už výběr uvedených populací je spojen s řadou problémů, protože v ideálním případě by se neměly navzájem lišit ničím jiným než zkoumanou expozicí. To nelze v reálné terénní situaci prakticky dosáhnout, protože v obou souborech bývají přítomné i jiné vlivy působící na zkoumanou incidenci, vlivy obvykle nerozpoznané a většinou i nerozpoznatelné. Dalšími úskalími jsou náležitý sběr podkladů, úplnost šetření, volba a aplikace statistických metod a mnohé jiné. Všeobecně je přijímán názor, že epidemiologická studie, ani když předkládá statisticky významné výsledky, nemůže sama o sobě prokázat kauzální souvislosti. Z literatury je známa řada těžkých omylů při interpretaci získaných výsledků, kdy asociace se jeví opačně než kauzální vztah. Proto je nutno výsledky epidemiologických studií přijímat s krajní obezřetností a o kauzalitě začít uvažovat až v případě shody epidemiologických nálezů s výsledky laboratorními a experimentálními.

U dětských leukémií je dalším specifickým problémem skutečnost, že jejich rozložení v populaci není rovnoměrné, střídají se okrsky s incidencí vyšší a nižší. Tato skutečnost byla např. příčinou dlouho tradovaných chybných údajů o vlivu jaderných elektráren na zdraví dětí.

Jak jsme již uvedli výše, byly vyslovovány určité obavy i v souvislosti s možným rušením funkce implantovaných elektrických přístrojů k regulaci srdečního rytmu (tzv. pacemakerů). Nejhorší možná situace

rušení pacemakeru při pobytu pod vedením vysokého napětí byla ověřována výpočtem (Scholten a spol., 2004). Byl vyvozen závěr, že i když nelze vyloučit interferenci ELM pole vedení VVN s činností srdečního pacemakeru, životu nebezpečný vliv takové interference je nepravděpodobný. Definitivní odpověď ovšem mohou dát až studie pacientů s všitým pacemakerem.

4.4.3 Standardy, limity, doporučení

Při posuzování potenciálních vlivů ELM polí můžeme vycházet z limitů doporučených ICNIRP (Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením). Je to nevládní komise nezávislých vědeckých expertů, úzce spolupracující se Světovou zdravotnickou organizací (WHO), která vyhodnocuje z celého světa vědecké výsledky o možných účincích ELM záření, šíří je a vypracovává směrnice s doporučenými limity expozice. Poslední byly vydány v roce 2010 (ICNIRP 2010). Stanovené limity pro elektrická a magnetická pole mají zaručit ochranu vůči všem známým nepříznivým účinkům na zdraví pro zaměstnance na pracovištích i pro obecnou populaci. Podrobně je zdůvodněn postup při zpracování směrnice. Jedním z kritérií jsou např. přechodné reakce nervového systému (obvodového i centrálního) a také oční sítnice. Je podán přehled přímých i nepřímých účinků ELM polí, jsou vyhodnoceny výsledky laboratorních i epidemiologických studií. Tyto podkladové studie byly vybrány podle kvality, hodnoceny byly, jen pokud přinášely hodnověrné vědecké důkazy. Možnými efekty expozice *elektrickým* ELM polím s nízkou frekvencí jsou dobře definované biologické reakce, od pocitů rozmrzelosti k povrchovým efektům elektrického náboje. Jedinými dobře prokázanými efekty u dobrovolníků vystavených nízkofrekvenčním *magnetickým* polím je stimulace centrálních i periferních nervových tkání, indukce záblesků na sítnici a vnímání slabého mihotavého světla na periferii zorného pole. Sítnice je součástí nervového systému a je vhodným modelem pro navozené celkové efekty elektrických polí v CNS.

Byly zohledněny publikované výsledky o možných efektech na neuroendokrinní systém, neurodegenerativní poruchy (nebyl potvrzen vztah k Parkinsonově nemoci, mnohočetné skleróze ani k Alzheimerově chorobě), srdečně cévní choroby (vztahy k nízkofrekvenčním polím jsou při expozičních úrovních, které se vyskytují v pracovním i běžném životním prostředí nepravděpodobné). Dále je konstatováno, že epidemiologické studie neprokázaly ani asociaci mezi expozicí matek a otců k ENF ELM polím a nepříznivým reproduktivním procesům.

Značná pozornost je ve zdůvodnění limitů věnována možným souvislostem s výskytem rakoviny. Uvádí se, že značný počet epidemiologických zpráv, publikovaných hlavně v 80. a 90. letech minulého století, indikoval, že dlouhodobá expozice k magnetickým polím s frekvencí 50-60 Hz s intenzitou pod limity vydanými ICNIRP v roce 1998 mohou být asociovány s rakovinou. U dospělých se vztahy k různým typům nádorů nepotvrdily. U dětských leukémií je situace poněkud jiná. Dvě spojené analýzy (Ahlbom et.al.2000; Greenland et al. 2000) indikují, že může existovat zvýšené riziko pro průměrné expozice překračující 0,3 až 0,4 μT. Sami autoři těchto analýz však zdůrazňovali, že jejich výsledky nemohou být interpretovány jako projev kauzálního vztahu mezi magnetickými poli a dětskou leukémií. Nebyly identifikovány žádné biofyzikální mechanismy a experimentální výsledky z laboratorních studií a pokusů na zvířatech nepodporují názor, že expozice magnetickým polím s frekvencí 50-60 Hz je příčinou dětských leukémií. Většina studií na modelech hlodavců ukazuje nulový efekt na leukémie, lymfomy a jiné nádory. Studie vlivu ENF ELM na buňky nevykázaly indukci genotoxicity v polích pod 50 mT.

Vzhledem k nejistotám obsaženým ve vědeckých údajích byly při tvorbě limitů užity redukční faktory.

Protože stávající vědecké poznatky sice jen mírně naznačují, ale neprokazují, že by ELM pole vyskytující se v našem běžném životním prostředí, mohlo mít nepříznivé zdravotní dopady, nejsou pro všeobecnou populaci požadována žádná specifická ochranná opatření.

Výsledné doporučení pro frekvence ENF ELM uvádíme v tabulce 40:

Tab. 40 Referenční úrovně střídavých elektrických a magnetických polí pro expozici všeobecné populace

Frekvenční rozpětí (Hz)	Intenzita elektrického pole E (kV m^{-1})	Intenzita magnetického pole H (A m^{-1})	Magnetická indukce B (T)
25 −50	5	1.6 x10^2	2 x 10^{-4}
50 −400	2.5 x10^2/f	1.6 x10^2	2 x 10^{-4}

Pozn.: f … frekvence v Hz

V komentáři se konstatuje, že ve speciálních expozičních situacích je třeba limity upřesňovat prostorovým průměrováním expozic jednotlivých částí těla. Zdůrazňuje se, že dodržení předkládaných hodnot uvedených ve směrnici nemusí nutně vyloučit interferenci s lékařskými pomůckami, jako jsou kovové protézy, srdeční pacemakery a implantované defibrilátory nebo kochleární implantáty. Interference s pacemakery se může objevit i u polí podlimitních.

Ke směrnici je připojeni komentář k možným dlouhodobým účinkům ENF ELM polí. Ve výše zmíněných epidemiologických studiích bylo opakovaně zjišťováno, že chronické každodenní expozice k ENF magnetickým polím (nad 0,3 až 0,4 μT) z elektrických vedení je asociována s rostoucím rizikem dětských leukémií. IARC taková pole klasifikoval jako snad karcinogenní (*possibly carcinogenic*). Příčinný vztah však u této asociace nebyl zjištěn a stejně ani ve vztahu takového pole k jiným dlouhodobým efektům. Neprokázaná příčinnost ovšem znemožňuje přijetí těchto výsledků jako jednoho z podkladů tvorby limitů.

U nás platí Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Upravuje nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do 1,7.10^{15} Hz pro zaměstnance a fyzické osoby v komunálním prostředí, způsob jejich zjišťování, hodnocení expozice a opatření k ochraně zdraví zaměstnanců. Uvádí nejvyšší přípustné hodnoty definované jako mezní hodnoty, které vycházejí přímo z prokázaných účinků na zdraví a z údajů o jejich biologickém působení a jejichž nepřekročení zaručuje, že zaměstnanci a fyzické osoby v komunálním prostředí, exponované neionizujícímu záření, jsou chráněny proti všem jeho známým přímým biofyzikálním a nepřímým účinkům. Dále uvádí také referenční hodnoty velikosti přímo měřitelných parametrů neionizujícího záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do 3.10^{11} Hz (intenzita elektrického pole, magnetická indukce, hustota zářivého toku a kontaktní proud), které slouží k jednoduššímu prokazování nepřekročení nejvyšších přípustných hodnot.

Podle tohoto nařízení ve frekvenčním pásmu od 0 Hz do 300 Hz nesmí velikost modifikované intenzity elektrického pole indukovaného v tkáni E_{mod} (t) v žádném časovém okamžiku překročit pro fyzické osoby v komunálním prostředí hodnotu 0,2 V.m^{-1}. Vládní nařízení č. 291/2015 Sb. uvádí i řadu dalších dílčích stanovení a k nim i náročné výpočetní postupy. Zde je nebudeme dále rozvádět, neboť v případě posuzovaného vedení jsou nejbližší chráněné obytné prostory natolik vzdálené, že k reálné expozici obyvatelstva nedochází.

4.4.4 Další poznatky o vlivech elektrických vedení na obyvatelstvo

4.4.4.1 Sršivý zvuk vodičů

Za rušivý prvek by mohly být v některých případech považovány akustické jevy, které vznikají za nepříznivého počasí s mlhami, jinovatkou apod. v okolí stožárů s izolátory („sršení“ na stožárech a „koróna“ mezi stožáry). Výsledky měření prováděných v okolí různých vedení VVN ukázaly, že i za extrémních podmínek je v bezprostřední blízkosti vedení možné očekávat dodržení základního hygienického limitu pro noční dobu (40 dB).

4.4.4.2 Rušení rozhlasového a televizního příjmu

Rušení rádiového a televizního signálu patří k dalším potenciálním nepříznivým efektům vedení VVN. Tento efekt je závislý na celé řadě místních podmínek (poloha vysílače, charakteristiky vedení a přijímací antény aj.) a proto jej pro konkrétní lokality nelze spolehlivě předpovědět. Pokud se objeví stížnosti, je třeba provést proměření a podle výsledku realizovat opatření, která zajistí dobrou kvalitu příjmu.

4.4.4.3 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 bývá minimalizováno speciálním zpevněním vedení v blízkosti obytného území a v místech křížení silnic, železničních tratí apod.

4.4.4.4 Narušování psychické pohody

Ve veřejnosti je dnes známo, že vedení vysokého napětí vyzařuje do okolí určité množství elektromagnetického záření. V povědomí lidí jsou různé věcné i zkreslené představy o zdravotních účincích ELM záření, šířené tiskem i dalšími komunikačními médii.

Lidé pohybující se v blízkosti podobného vedení se proto mnohdy cítí zneklidněni, nepříznivě ovlivněni resp. i ohroženi. V případě závažnějších projevů takových obav bývá žádoucí kontakt s představiteli dotčených obcí a jejich prostřednictvím i s obyvatelstvem, objasňování povahy a účinků ELM polí a rozptylování neodůvodněných obav, případně i provedením verifikačních měření.

Určitý nepříznivý psychologický význam může mít u lidí s estetickým cítěním pro krajinu i skutečnost, že vedení vysokého napětí narušuje do určité míry její obraz, zejména pokud jde o novou trasu, na níž předtím žádné vedení nebylo. Tento účinek je sotva ovlivnitelný, nelze než spoléhat na postupný návyk a smíření s novým stavem.

4.4.5 Posouzení konkrétní situace, porovnání s platnými standardy a limity

Součástí záměru je jednak nadzemní vedení z NJZ do transformovny Slavětice, jednak dvojité podzemní kabelového vedení jakožto rezervní možnost napájení vlastní spotřeby NJZ z transformovny Slavětice.

4.4.5.1 Nadzemní vedení

Předmětem záměru je jednoduché nadzemní vedení 400 kV k vyvedení výkonu z NJZ do transformovny Slavětice. Pro uvolnění prostoru pro realizaci záměru bude provedena přeložka dvou stávajících nadzemních vedení. Vzniknou některé kritické profily souběhu dvou vedení, popsané podrobně v dokumentaci.

V kritickém profilu půjde o 2 vedení 420 kV v osové vzdálenosti 50 m.

ELM pole v kritickém profilu souběhu vedení V483 a V884 (JE Dukovany a Rz 400 kV Slavětice) bylo provedeno firmou EGU – HV Laboratory a.s (2016a). Při výpočtu byl uvažován nejhorší možný sled fází. Výsledky byly posouzeny dle nového Nařízení vlády č. 291/2015 Sb.

Výsledkem výpočtů je požadavek na minimální výšku spodních fázových vodičů nad zemí, který podle citovaného nového vládního nařízení vychází na 7,5 m, což plně vyhovuje platné normě pro výstavbu venkovních vedení (předepsána minimální vzdálenost živých částí vedení 400 kV od prostého terénu 8 m).

Nové vládní nařízení výrazně změkčuje požadavky, podle dřívějšího nařízení vlády 1/2008 Sb.) by byla požadována minimální výška vodičů 13,1 m. Zpracovatel posudku považuje výšku nejnižších vodičů nad terénem 7,5 m resp. 8 m za nevhodně malou a považuje za žádoucí uvážit i další aspekty: potřebnou vzdálenost fázových vodičů pro pohyb techniky pod vedením, jiskrové výboje mezi osobami a vodivými prvky spojenými se zemí (kovové konstrukce, vegetace apod.). Doporučuje minimální výšku vodičů odpovídající požadavkům uvedeného staršího vládního nařízení.

Z hlediska vlivu na veřejné zdraví nelze tuto otázku řešit, neboť vzhledem ke značným vzdálenostem nejbližších obytných území je z hlediska možných chronických účinků bezpředmětná. Na občasné chodce v blízkosti vedení může snad malá výška vodičů psychicky nepříznivě působit zvýšením obav z neznámého nebezpečí, které v blízkosti vedení VVN předpokládají.

4.4.5.2 Podzemní vedení

Možnost rezervního napájení vlastní spotřeby NJZ z transformovny Slavětice má být zajištěna dvojitým podzemním kabelovým vedením 2x110 kV (4 vedení v minimální hloubce 1,3 m). V rámci realizace dle projektu vznikne zde kritický profil N2 souběhu čtyř podzemních kabelových vedení 110 kV.

ELM pole v okolí tohoto podzemního vedení bylo odborně vyhodnoceno firmou EGU – HV Laboratory a.s (2016b). Velikost magnetického pole v okolí kabelu je dána především vzdáleností od kabelu, sledem fází a provedením uzemnění pláště kabelu. Výpočet byl proveden pro maximální uvažovanou zátěž 800 A. Pro pořadí fází byl užit nejméně příznivý případ. Vzhledem k vodivému plášti kabelů je pro posouzení limitů podstatná pouze magnetická složka elektromagnetického pole.

Z výsledků vyplynulo, že nebyla překročena referenční hodnota magnetického pole 200 µT ve smyslu nařízení vlády 291/2015 Sb. Protože výpočty byly provedeny pro nejhorší možné uspořádání sledu fází a nejhorší uzemnění pláště, bude při jiné konfiguraci hodnota magnetické indukce vždy nižší než vypočtená maximální hodnota 128 µT pro výšku 0,2 m nad zemí.

Při úvahách o potenciálních efektech plánovaného podzemního vedení je přitom nutno mít na zřeteli, že tyto kabely nebudou v běžném provozu, uvažované maximální proudové zatížení 800 A je konzervativně předpokládáno do 20 minut během 10 let.

4.4.5.3 Nejbližší obytné území

Posuzované nadzemní a podzemní vedení probíhá volnou krajinou, v jejich blízkosti se nevyskytují obytné budovy. Nejbližším obytným územím je osada Bažantnice (patří ke Slavěticím), jižně od existující rozvodny ve vzdálenosti asi 600 m od nadzemního vedení a asi 120 m od vedení podzemního. Chronické vlivy ELM polí z posuzovaného vedení zde tedy nepřicházejí v úvahu. Významně se neuplatní ani jiné možné negativní vlivy jako sršivý zvuk vodičů, rušení rozhlasového a televizního signálu nebo narušování psychické pohody. Po krajinářské stránce není posuzované vedení novým faktorem, po léta zde existuje vedení dosavadní.

4.5 Závěry k neradiačním vlivům

4.5.1 Ovzduší

Údaje z rozptylových studií ukazují, že vlivy na znečišťování ovzduší ze staveniště i z navazující dopravy budou většinou zdravotně přijatelné. Celkově je možno konstatovat, že u většiny hodnocených škodlivin zůstávají jejich koncentrace v ovzduší v době výstavby i v době provozu v součtu s pozadím podlimitní. Jedinou výjimkou jsou zvýšené maximální krátkodobé koncentrace PM_{10} v některých fázích výstavby záměru. Vzhledem k vzácnosti jejich výskytu a očekávané účinnosti navržených opatření je možno i tyto zátěže ze zdravotního hlediska akceptovat.

V průběhu výstavby bude nutné realizovat na staveništi a na průjezdu obcemi protiprašná opatření (skrápění ploch, kropení vozovky, čištění vozidel před výjezdem ze staveniště, zabránění úsypům materiálu během jízdy, zvyšování plynulosti jízdy vozidel vhodnou regulací aj.). Tato opatření budou zvláště důležitá ve dnech s nevhodnými meteorologickými podmínkami (suché a větrné počasí).

4.5.2 Hluk

Hlukové příspěvky ze stacionárních zdrojů a ze stavební činnosti budou v blízkém obytném území relativně malé a zdravotně nevýznamné, Závažnější situaci zjišťujeme v průběhu výstavby v souvislosti s dopravou na veřejných komunikacích v některých průjezdních obcích. Zejména se to týká obcí Ivančic, Moravských Bránic, Slavětic, Hrotovic a Dolních Kounic, kde jsou poměrně vysoké hlukové zátěže i bez účasti NJZ . V těchto obcích by měla být zvláště pečlivě uplatněna ochranná opatření (úpravy vozovky, zvýšení plynulosti a snížení rychlosti jízdy aj.). V ostatních případech nevelké příspěvky výstavby NJZ vesměs nezmění umístění dané lokality v určitém pásmu obtěžování hlukem. Vzhledem k tomu, že se jedná o přechodné vlivy, může to být po zdravotní stránce přijatelné.

4.5.3 Elektrické a magnetické pole

Vzhledem k velké vzdálenosti obytných domů od posuzovaného vedení vysokého napětí nebudou dotčeny zájmy veřejného zdraví.

5 Psychosociální vlivy

Po psychické stránce by mohly u obyvatelstva v blízkém okolí rušivě působit obavy z blízkosti EDU1-4 a s ní spjatých potenciálních rizik z ozáření a případných havárií. Podle provedených průzkumů k tomu ale zřejmě nedochází nebo přinejmenším to nehraje významnou roli.

První psychologické šetření v okolí EDU1-4 bylo provedeno již v roce 1995 (Kotulán a spol. 1996), a to na reprezentativních vzorcích dospělých obyvatel dvou blízkých obcí, Dukovan a Rouchovan, jakožto exponovaného souboru, a dvou obcí z jižní části okresu Brno-venkov, Mělčan a Těšan, jakožto souboru srovnávacího. Uvedené soubory obyvatel byly vyšetřeny řízeným rozhovorem pomocí dotazníku umožňujícího hodnocení čtyř základních osobnostních charakteristik, a to a) úrovně aktuálních životních stresů, b) osobní náchylnosti uvalovat na sebe stres, c) schopnosti zvládání životních situací, d) osobní citlivosti. Pokud by platila hypotéza o nepříznivém vlivu EDU1-4, měly by být v uvedených charakteristikách výsledky v souboru exponovaném méně příznivé než ve srovnávacím.

Výsledky však byly z uvedeného hlediska jakoby paradoxní. Všechny statisticky významné rozdíly v položkách dotazníku mezi oběma soubory svědčily ve prospěch souboru exponovaného. Psychická pohoda byla tedy v okolí EDU1-4 v uvedených charakteristikách příznivější. Bylo konstatováno, že obyvatelé oblasti jaderné elektrárny dovedou s tímto domnělým ohrožením žít, čelí mu intenzívní aktivitou, disponují systémem konstruktivních způsobů zvládání této možné hrozby, jsou citově vyrovnanější a zvládnutější než lidé srovnávané kontrolní skupiny.

Autoři uzavírají vysloveným předpokladem, že existence jaderné elektrárny v životním prostředí má vliv na osobnost, na sociálně psychologické projevy lidí i na jejich psychickou rovnováhu. Proti očekávání lidé žijící v exponované oblasti projevují produktivní způsoby zpracování, které jsou natolik komplexní a interindividuálně pestré, že je nelze kvalifikovat ani jako kompenzaci, ani jako „strkání hlavy do písku“, ale jako adekvátní zpracování této životní situace.

Druhé psychologické šetření bylo provedeno v roce 2015 agenturou INRES (Sadílek a spol., 2015). Metodicky byl aplikován stejný postup, jaký autoři užili při obdobných šetřeních v oblasti Elektrárny Temelín v letech 2000, 2002, 2004 a 2011. Dotazník byl konstruován tak, aby umožňoval hodnotit neuroticismus, tzv. lži skór, depresivní symptomatologii, lokalizaci kontroly, životní spokojenost, prožívaný strach a obavy a schopnost sebeuplatnění. Do výzkumu bylo zařazeno celkem 1110 respondentů, z nich 550 bylo z exponovaných oblastí E1 a E2 (viz kapitola 3.3.5) a 560 z východočeského regionu.

Matematicko-statistická analýza dat pořízených v rámci výzkumu jednoznačně prokázala, že existence a provoz Jaderné elektrárny Dukovany nemá negativní vliv na sledované psychologické charakteristiky obyvatelstva, žijícího v jejím bezprostředním okolí. Tato populace dosahuje ve srovnání s kontrolním souborem lepších výsledků, což konkrétně znamená, že je méně neurotická, sebevědomější, méně depresivní, více si věří a je v životě více spokojená. Analýzy jednoznačně prokázaly, že tyto psychologické charakteristiky jsou ve významné míře ovlivňovány takovými ukazateli, jako je pohlaví, věk, výše příjmu, konkrétní prožitek apod. Samotná existence EDU1-4 tyto psychologické charakteristiky významněji neovlivňuje.

Potvrdily se tak tendence zjištěné v jiných výzkumech a u jiných skupin obyvatelstva. Ty rovněž ukazují na významný vliv pohlaví, věku, příjmu, zaměstnání a jiných běžných faktorů na formování psychologických charakteristik. Tyto tendence jsou u obyvatel žijících v exponovaných oblastech podobné. Znamená to, že tito obyvatelé přijímají existenci a provoz EDU1-4 jako realitu, se kterou počítají a vnímají ji jako akceptovatelnou a únosnou. Přestože nelze tuto relativně vysokou úroveň kvality duševního života populace v okolí EDU1-4 považovat za jednou provždy danou a neměnnou, jde o příznivý trend. Ten je nepochybně závislý na bezporuchovém provozu EDU1-4 a na bezpečnosti jaderné energetiky jako celku. Pokud tedy bude provoz EDU1-4 a NJZ probíhat bez mimořádných událostí jako rutinní a stabilizovaný, nebude mít existence EDU1-4 a NJZ ani v budoucnosti na psychologické charakteristiky obyvatelstva negativní vliv.

Závěry obou studií se tedy shodují a potvrzují, že existencí a blízkostí elektrárny nejsou narušovány významné osobnostní rysy ani psychická vyrovnanost a pohoda.

6 Údaje o zdravotních vlivech přesahujících státní hranice

Nejbližší sousední země Rakousko a Slovensko budou dostávat na své území stopová kvanta radionuklidů z výpustí NJZ do ovzduší. Jedná se o úrovně nepatrné, nicotné, neměřitelné, jen matematicky odvozené. Byly podrobně popsány v kapitole 3.4.3. a vyhodnoceny v kapitole 3.4.4. Vlivy výpustí NJZ do ovzduší na ostatní státy budou zcela zanedbatelné. Z hlediska kapalných výpustí bude vlivem provozu NJZ docházet k nevýznamnému ovlivnění hraniční řeky Dyje a dále i řeky Moravy, která na svém dolním toku tvoří hranici mezi Rakouskem a Slovenskem. Zdravotní rizika pro obyvatele žijících podél toku řeky Dyje a Moravy zůstávají v řádu $1:10^{-6}$ a po zdravotní stránce tedy plně vyhovují. Po naředění s vodou řeky Dunaje se sníží dále o víc než jeden řád. Pro ostatní obyvatele Rakouska a Slovenska, stejně jako pro obyvatele ostatních blízkých států, k vlivům v důsledku kapalných výpustí z NJZ nedochází.

7 Charakteristika nedostatků ve znalostech a neurčitosti

V současné fázi přípravy stavby jsou poskytované podklady a informace dostatečné. Neurčitosti jsou nezbytně dány nedokonalostí současného vědeckého poznání a dostupnou mírou přesnosti podkladů a používaných metod.

8 Celkové závěry

NJZ se za provozních stavů nedotkne rozpoznatelným způsobem zdraví obyvatelstva. I při velmi konzervativně pojatém přístupu se v kritické skupině obyvatel pohybuje celoživotní riziko zdravotní újmy z provozních radioaktivních výpustí řádově na úrovni $1:10^{-5}$ a nižší, a to pro kteroukoli uvažovanou výkonovou alternativu NJZ za celou dobu provozu NJZ včetně zohlednění spolupůsobícího účinku EDU1-4 a je tedy po zdravotní stránce přijatelné. Oproti místnímu pozadí je již v blízkém obytném území o 3 řády nižší.

Přeshraniční vlivy nejsou spojeny se žádnými zdravotními problémy, případné imise radionuklidů ze vzdušných výpustí NJZ jsou nicotné a z hlediska potenciálního zdravotního dopadu zcela zanedbatelné a vlivy kapalných výpustí jsou nevýznamné.

Mírné a časově přechodné rušivé vlivy v průběhu výstavby jsou zdravotně přijatelné a zčásti potlačitelné ochrannými opatřeními.

V Brně dne 28. února 2017

9 Podklady a literatura

Podklady

1. Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v platném znění.
2. Zákon č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí v platném znění.
3. Zákon č.263/2016 Sb., atomový zákon v platném znění.
4. Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně.
5. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší v platném znění.
6. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb.
7. Autorizační návod (AN 15/04, verze 2) k hodnocení zdravotního rizika expozice hluku. Státní zdravotní ústav, Praha, leden 2007.
8. Zhodnocení zdravotních rizik pro obyvatelstvo v okolí jaderné elektrárny Dukovany z výpustí radioaktivních látek do ovzduší a vodotečí včetně prognózy rizik pro období prodlouženého provozu elektrárny. J. Kotulán, Amec s.r.o., Brno, únor 2015.
9. Studie vývoje zdravotního stavu obyvatelstva v zájmové oblasti Jaderné elektrárny Dukovany. J. Kotulán, Amec s.r.o. („Nový jaderný zdroj v lokalitě EDU, Dílčí část 3, Dílčí plnění 13“), Brno, březen 2015.
10. Kotulán, J., Smékal, V., Roth, Z., Petlan, I.: Zdravotní stav obyvatelstva v oblasti vlivu energetické soustavy Dukovany - Dalešice. Přírodovědný sborník Západomoravského muzea v Třebíči (Acta sci.nat.musei Moraviae occid.), 24, 1996, s. 45 – 112.
11. Kotulán, J.: Zdravotní stav obyvatelstva v oblasti vlivu jaderné elektrárny Temelín. Masarykova univerzita, Brno, říjen 2014.
12. Radiologické dopady normálního provozu NJZ EDU pro výkonovou alternativu do 2400 MWe. ABmerit, Trnava, září 2016a
13. Sadílek, P.: Nový jaderný zdroj v lokalitě Dukovany. Psychický stav obyvatel. Amec Foster Wheeler, prosinec 2015..
14. Shrnutí – stanovení radiologických dopadů z výpustí a látek do ovzduší a vodních toků z NJZ EDU, EDU 1-4 a dalších jaderných zařízení v lokalitě pro dokumentaci EIA a vykonání citlivostní analýzy na změnu vstupních parametrů výpočtu, ABmerit, Trnava, září 2016b.
15. Doplnění tabulek s dávkami z atmosférických a hydrosférických výpustí pro sektory „Výsek“ a „Povodí“. ABmerit, Trnava, prosinec 2016.
16. DPS –Studie radiační situace v okolí elektrárny Dukovany. Zhodnocení možností ozáření. VUT, FJFI, Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, Praha, květen 2015.
17. Nový jaderný zdroj v lokalitě Dukovany. Podrobná rozptylová studie. Amec Foster Wheeler s.r.o., RNDr. Tomáš Bartoš, Ph.D., Brno říjen 2016
18. Nový jaderný zdroj v lokalitě Dukovany. Podrobná hluková studie. Amec Foster Wheeler s.r.o., říjen 2016.
19. Zpracování podpůrných technických zpráv pro účely stanovení podmínek pro umístění NJZ v lokalitě Dukovany z hlediska radioaktivních kapalných výpustí. DP2 - Posouzení NEK-RP pro tritium. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, E. Hanslík, Praha, duben 2015
20. Vliv elektrického/magnetického pole na zdraví a životní prostředí, určení minimální výšky vodičů souběhu vedení V483 a V884 s osovou vzdáleností 50 m podle NV 291/2015 Sb. EGU – HV Laboratory a.s., Praha – Běchovice, červenec 2016a.

21. Vliv el. mag. pole na zdraví a životní prostředí, výpočet parametrů vedení pro dodržení hyg. limitů pro souběh podzemních kabelových vedení 110 kV rezervního napájení vlastní spotřeby NJZ EDU. EGU – HV Laboratory a.s., Praha – Běchovice, červenec 2016b.

Literatura

22. Ahlbom A., Day, N., Feychting, M. et al.: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br. J. Cancer, 83, 692-8, 2000.

23. Ahrens, W., Pigeon, I. (ed.): Handbook of epidemiology. Springer, Berlin – Heidelberg – New York 2005, 1618

24. Babisch, W.: Noise and Health. Environmental Health Perspectives. Research Triangle Park: 2005, Vol. 113, Iss. 1, pp. A14 – 15.

25. Berglund B, Lindval, T. (ed.): Community noise. J. Snabbtryck, Stockholm 1995, 232 pp.

26. Bithell, J.F, Keegan, T.J., Kroll, M.E., Murphy, M.F.G., Vincent, T.J.: Childhood leukaemia near British nuclear installations: Methodical issues and recent results. Radiation Protection Dosimetry 2008;132(2):191-197.

27. Board on Radiation Effects Research: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR VII Phase 2. The National Academic Press, Washington, D.C 2006.

28. COMARE (Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment), tenth report: The incidence of childhood cancer around nuclear installations. Crown 2005. Dostupné z http://www.comare.org.uk

29. IAEA Safety Standards, Fundamental Safety principles“ (2006).

30. ICNIRP International Commission on Non-ionizing Radiation Protection: Exposure Limits. http://www.icnirp.com resp. http://www.icnirp.de.

31. ICRP (The Internal Commission on Radiological Pritection): The 2007 Recommendations of the Interbnnational Commission on Radiological Protection. Publication 103. Elsevier Ltd. 2007, 332 pp.

32. Kotulán, J., Zdravotní stav obyvatelstva v oblasti vlivu jaderné elektrárny Temelín. Masarykova univerzita, Brno, listopad 206

33. Miedema H.M., Passchier-Vermeer W., Vos H.: Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. TBO Inro report 2002-59, Delft, January 2003.

34. NIH National Cancer Institute: Electromagnetic Fields and Cancer. Reviewed: April 4, 2016. Available at http://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/radiation/electromagnetic-fields-fact-sheet

35. Státní ústav radiační ochrany (SÚRO), Praha: Přírodní radioaktivita a problematika radonu. Dostupné na www.suro.cz/cz/prirodnioz

36. Salome C.M. et al.: Effect of nitrogen dioxide and other combustion products on asthmatic subjects in a home-like environment. Eur Respir J. 1996, 9, 910 - 918.

37. SCENHIR(Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks): Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission, 2015.

38. TNO Prevention and Health. Annoyance from Transportation Noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL, and their confidence intervals. Dostupné na http://www.health.tno.nl/

39. United States Environental Protection Agency: Integrated Risk Information Systém. Dostupné na: http://www.epa.gov/

40. UNSCEAR: Report of United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. 2000. Dostupné na http://www.unscear.org/.

41. World Health Organization: Air quality guidelines for Europe. Copenhagen 2000, 426 pp.

10 Seznam použitých zkratek a termínů

Zkratka	Definice
ALARA	„As Low AS Reasonably Achievable“ (tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout), zkratka pro princip optimalizace ochrany před zářením
ALL	akutní lymfatické leukémie
BaP	benzo/a/pyren
Bq (Becquerel)	je taková aktivita radioaktivní látky, při níž dojde k jednomu rozpadu atomového jádra za sekundu
ca	carcinoma (rakovina)
COMARE	Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (UK), Výbor pro lékařské aspekty záření
DNA	deoxyribonukleová kyselina v buněčném jádře, nositelka dědičných vlastností
EDU1-4	Jaderná elektrárna Dukovany (stávající provozovaná elektrárna)
elm	elektromagnetický
etiologie	nauka o vzniku a příčinách chorob
expozice	kontakt mezi chemickým, fyzikálním nebo biologickým činitelem a zevní hranicí organismu
IAEA	International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii)
IARC	International Agency for Research of Cancer (Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny)
ICRP	The International Commission on Radiological Protection (Mezinárodní komise pro ochranu před zářením)
incidence	počet nových případů nemoci za rok přepočtený na počet (obvykle100.000) obyvatel téže kategorie
INES	The International Nuclear Event Scale (Mezinárodní stupnice jaderných událostí) je osmistupňová škála, zavedená v roce 1990 pro posuzování poruch a havárií jaderných zařízení. Zavedly ji Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA) a Agentura pro jadernou energii OECD
ingesce	přívod trávicím ústrojím
inhalace	přívod dýchacím ústrojím
ischemická choroba srdeční	nedostatečné krevní zásobení srdečního svalu, nejznámějším projevem je srdeční infarkt
IZ	ionizující záření
JE	jaderná elektrárna, jaderné elektrárny
karcinogeneze	proces vedoucí od prvotního poškození buňky (iniciace) k jejím postupným přeměnám a množení až po buňky nádorové a vznik klinicky zjistitelného nádoru; trvá řadu let, často 10 – 15, ve výjimečných případech až 40 let
karcinogenní	rakovinotvorný
kardiovaskulární	srdeční a cévní
LET	Linear Energy Transfer (lineární přenos energie)
leukémie	zhoubné bujení bílých krvinek; podle druhu postižených krvinek a prudkosti průběhu se rozlišují základní čtyři typy leukémií
low-LET radiation (low Linear Energy Transfer.)	záření rtg a gama, která velmi málo ionizují podél svých drah
LNHL	leukémie a ne-Hodgkinovy lymfomy

Zkratka	Definice
LNT model (linear-non-threshold model)	koncepce, podle níž při nízkých dávkách ionizujícího záření je jejich působení bezprahové a roste lineárně s dávkou
lymfocyty	druh bílých krvinek
mutace	chemická změna dědičné hmoty (DNA, chromosomů) přenášená na potomstvo
MW_e	elektrický megawatt; elektrický výkon JE v megawattech (na rozdíl od výkonu tepelného, MW_t, který je nižší
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements (USA)
ne-Hodgkinovy lymfomy	zvláštní forma zhoubného bujení mízní tkáně
NHL	ne-Hodgkinovy lymfomy
NJZ	nový jaderný zdroj
JZ	jaderné zařízení
PM_{10}	suspendované částice v ovzduší o rozměrech do 10 μm
$PM_{2,5}$	suspendované částice v ovzduší o rozměrech do 2,5 μm
potraty spontánní	samovolné (na rozdíl od potratů uměle navozených)
PWR	tlakovodní reaktor
radionuklidy	též radioizotopy, látky s nestálými atomovými jádry, které vysílají ionizující záření
referenční	dávka, koncentrace apod., která ani při celoživotní expozici pravděpodobně nevyvolá v populaci (včetně citlivých podskupin) riziko nepříznivých účinků
riziko	matematická pravděpodobnost poškození
rtg	rentgen, rentgenový
SI	soustava SI (z francouzského Le Système International d'Unités) je mezinárodně dohodnutá soustava jednotek fyzikálních veličin, odvozených ze sedmi jednotek základních (metr, kilogram, sekunda, kelvin, ampér, kandela, mol). Vznikla v roce 1960, v ČR je pro subjekty a orgány státní správy povinná od roku 1990
SIR	Standadized Incidence Rate (standardizovaný index výskytu nádorů)
SMR	Standardized Mortality Ratio (standardizovaný index úmrtnosti)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost (Praha)
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany (Praha)
Sv	je jednotka převádějící dávku ionizujícího záření absorbovanou z různých zdrojů na společného jmenovatele a umožňující tak srovnávání biologického efektu z rozmanitých kombinací zúčastněných zdrojů
TNT	trinitrotoluen (trhavina)
T1/2	zkratka pro poločas rozpadu radionuklidů
újma zdravotní	angl. detriment, něm, Schadenmass je dle ICRP „celkové poškození zdraví, k němuž došlo v exponované skupině a u jejích potomků v důsledku skupinové expozice ke zdroji radiace. Je to mnohorozměrný pojem. Jeho základními komponentami jsou tyto stochastické kvantity: pravděpodobnost vyvolaného smrtelného novotvaru, vážená pravděpodobnost vyvolaného vyléčitelného novotvaru, vážená pravděpodobnost těžkých dědičných důsledků a zkrácení života v důsledku poškození
úvazek efektivní dávky	angl.. committed effective dose, něm. effektive Folgedose, časový integrál příkonu efektivní dávky, popř. ekvivalentní dávky po dobu od příjmu radionuklidu; zohledňuje skutečnost, že radionuklid přítomný v těle nepůsobí jen v roce vstupu, ale případně i po mnoho dalších let
US EPA	United States Environmental Protection Agency (Úřad USA pro ochranu životního prostřdí)

Zkratka	Definice
VVER	Vodo-vodní energetický reaktor (typ PWR vyráběny v Rusku)
výpusť	„kapalná nebo plynná látka vypouštěná do ŽP, která obsahuje radionuklidy v množství nepřevyšujícím uvolňovací úrovně nebo vypouštěná do ŽP za podmínek uvedených v povolení k uvádění radionuklidů do ŽP“
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)
ŽP	životní prostředí

11 Přílohy

Tab. P1:Výpočet rizika zdravotní újmy v sektorech jižní výseče, alternativa A

Sektor		Věk let						
č.	**Doba**	**0-1**	**1-2**	**2-7**	**7-12**	**2-17**	**nad 17**	**70 let**
97	Sv/rok	5,68E-06	6,53E-06	7,07E-06	6,94E-06	6,77E-06	6,79E-06	
	R [-]	3,24E-07	3,72E-07	2,01E-06	1,98E-06	1,93E-06	2,05E-05	2,71E-05
98	Sv/rok	1,21E-05	1,39E-05	1,51E-05	1,48E-05	1,45E-05	1,45E-05	
	R [-]	6,90E-07	7,92E-07	4,30E-06	4,22E-06	4,13E-06	4,38E-05	5,79E-05
99	Sv/rok	1,03E-05	1,18E-05	1,28E-05	1,26E-05	1,23E-05	1,23E-05	
	R [-]	5,87E-07	6,73E-07	3,65E-06	3,59E-06	3,51E-06	3,72E-05	4,92E-05
100	Sv/rok	8,71E-06	1,01E-05	1,10E-05	1,07E-05	1,05E-05	1,05E-05	
	R [-]	4,96E-07	5,76E-07	3,14E-06	3,05E-06	2,99E-06	3,17E-05	4,20E-05
101	Sv/rok	6,41E-06	7,46E-06	8,15E-06	7,98E-06	7,77E-06	7,78E-06	
	R [-]	3,65E-07	4,25E-07	2,32E-06	2,27E-06	2,21E-06	2,35E-05	3,11E-05
102	Sv/rok	4,79E-06	5,61E-06	6,15E-06	6,02E-06	5,85E-06	5,87E-06	
	R [-]	2,73E-07	3,20E-07	1,75E-06	1,72E-06	1,67E-06	1,77E-05	2,35E-05
103	Sv/rok	3,37E-06	3,99E-06	4,39E-06	4,29E-06	4,17E-06	4,18E-06	
	R [-]	1,92E-07	2,27E-07	1,25E-06	1,22E-06	1,19E-06	1,26E-05	1,67E-05
104	Sv/rok	2,28E-06	2,73E-06	3,01E-06	2,95E-06	2,86E-06	2,87E-06	
	R [-]	1,30E-07	1,56E-07	8,58E-07	8,41E-07	8,15E-07	8,67E-06	1,15E-05
105	Sv/rok	9,73E-07	1,17E-06	1,29E-06	1,26E-06	1,22E-06	1,23E-06	
	R [-]	5,55E-08	6,67E-08	3,68E-07	3,59E-07	3,48E-07	3,72E-06	4,91E-06
106	Sv/rok	3,21E-07	3,95E-07	4,36E-07	4,28E-07	4,19E-07	4,23E-07	
	R [-]	1,83E-08	2,25E-08	1,24E-07	1,22E-07	1,19E-07	1,28E-06	1,68E-06
107	Sv/rok	1,56E-07	1,97E-07	2,19E-07	2,15E-07	2,12E-07	2,15E-07	
	R [-]	8,89E-09	1,12E-08	6,24E-08	6,13E-08	6,04E-08	6,50E-07	8,54E-07
108	Sv/rok	9,07E-08	1,16E-07	1,29E-07	1,27E-07	1,25E-07	1,27E-07	
	R [-]	5,17E-09	6,61E-09	3,68E-08	3,62E-08	3,56E-08	3,84E-07	5,04E-07

Pozn.: Sv/rok …efektivní dávka a úvazek za rok (převzato z tabulky 10)
R [-]…. riziko zdravotní újmy [bezrozměrná veličina] - roční dávka x počet let života x koeficient rizika

Tab. P2:Výpočet rizika zdravotní újmy v sektorech jižní výseče, alternativa B

Sektor		Věk let						Suma
č.	Doba	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	nad 17	70 let
97	Sv/rok	4,59E-06	5,67E-06	6,36E-06	6,21E-06	5,98E-06	6,01E-06	
	R [-]	2,62E-07	3,23E-07	1,81E-06	1,77E-06	1,70E-06	1,82E-05	2,41E-05
98	Sv/rok	6,23E-06	7,69E-06	8,64E-06	8,42E-06	8,10E-06	8,13E-06	
	R [-]	3,55E-07	4,38E-07	2,46E-06	2,40E-06	2,31E-06	2,46E-05	3,26E-05
99	Sv/rok	5,23E-06	6,48E-06	7,29E-06	7,11E-06	6,83E-06	6,87E-06	
	R [-]	2,98E-07	3,69E-07	2,08E-06	2,03E-06	1,95E-06	2,07E-05	2,74E-05
100	Sv/rok	4,51E-06	5,60E-06	6,31E-06	6,15E-06	5,91E-06	5,94E-06	
	R [-]	2,57E-07	3,19E-07	1,80E-06	1,75E-06	1,68E-06	1,79E-05	2,37E-05
101	Sv/rok	3,38E-06	4,22E-06	4,75E-06	4,64E-06	4,45E-06	4,48E-06	
	R [-]	1,93E-07	2,41E-07	1,35E-06	1,32E-06	1,27E-06	1,35E-05	1,79E-05
102	Sv/rok	2,60E-06	3,26E-06	3,68E-06	3,59E-06	3,44E-06	3,47E-06	
	R [-]	1,48E-07	1,86E-07	1,05E-06	1,02E-06	9,80E-07	1,05E-05	1,39E-05
103	Sv/rok	1,91E-06	2,41E-06	2,73E-06	2,67E-06	2,55E-06	2,57E-06	
	R [-]	1,09E-07	1,37E-07	7,78E-07	7,61E-07	7,27E-07	7,77E-06	1,03E-05
104	Sv/rok	1,35E-06	1,71E-06	1,94E-06	1,90E-06	1,82E-06	1,83E-06	
	R [-]	7,70E-08	9,75E-08	5,53E-07	5,42E-07	5,19E-07	5,53E-06	7,32E-06
105	Sv/rok	5,91E-07	7,54E-07	8,53E-07	8,37E-07	8,01E-07	8,09E-07	
	R [-]	3,37E-08	4,30E-08	2,43E-07	2,39E-07	2,28E-07	2,44E-06	3,23E-06
106	Sv/rok	1,99E-07	2,61E-07	2,95E-07	2,90E-07	2,81E-07	2,86E-07	
	R [-]	1,13E-08	1,49E-08	8,41E-08	8,27E-08	8,01E-08	8,65E-07	1,14E-06
107	Sv/rok	1,02E-07	1,37E-07	1,55E-07	1,53E-07	1,49E-07	1,52E-07	
	R [-]	5,81E-09	7,81E-09	4,42E-08	4,36E-08	4,25E-08	4,60E-07	6,04E-07
108	Sv/rok	6,21E-08	8,41E-08	9,49E-08	9,40E-08	9,14E-08	9,35E-08	
	R [-]	3,54E-09	4,79E-09	2,70E-08	2,68E-08	2,60E-08	2,82E-07	3,70E-07

Pozn.: Sv/rok …efektivní dávka a úvazek za rok (převzato z tabulky 11)
R [-]…. riziko zdravotní újmy [bezrozměrná veličina] - roční dávka x počet let života x koeficient rizika

Tab. P3:Výpočet rizika zdravotní újmy v sektorech jižní výseče, alternativa C

Sektor		Věk let						Suma
č.	Doba	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	nad 17	70 let
97	Sv/rok	4,42E-06	5,45E-06	6,12E-06	5,97E-06	5,75E-06	5,77E-06	
	R [-]	2,52E-07	3,11E-07	1,74E-06	1,70E-06	1,64E-06	1,75E-05	2,31E-05
98	Sv/rok	6,16E-06	7,58E-06	8,52E-06	8,29E-06	7,98E-06	8,01E-06	
	R [-]	3,51E-07	4,32E-07	2,43E-06	2,36E-06	2,27E-06	2,42E-05	3,20E-05
99	Sv/rok	5,13E-06	6,35E-06	7,14E-06	6,95E-06	6,68E-06	6,71E-06	
	R [-]	2,92E-07	3,62E-07	2,03E-06	1,98E-06	1,90E-06	2,03E-05	2,69E-05
100	Sv/rok	4,42E-06	5,47E-06	6,16E-06	6,00E-06	5,77E-06	5,79E-06	
	R [-]	2,52E-07	3,12E-07	1,76E-06	1,71E-06	1,64E-06	1,75E-05	2,32E-05
101	Sv/rok	3,29E-06	4,09E-06	4,61E-06	4,50E-06	4,32E-06	4,34E-06	
	R [-]	2,52E-06	3,14E-06	3,54E-06	3,45E-06	3,31E-06	3,04E-06	1,90E-05
102	Sv/rok	2,52E-06	3,14E-06	3,54E-06	3,45E-06	3,31E-06	3,33E-06	
	R [-]	1,44E-07	1,79E-07	1,01E-06	9,83E-07	9,43E-07	1,01E-05	1,34E-05
103	Sv/rok	1,83E-06	2,30E-06	2,60E-06	2,53E-06	2,43E-06	2,44E-06	
	R [-]	1,04E-07	1,31E-07	7,41E-07	7,21E-07	6,93E-07	7,38E-06	9,77E-06
104	Sv/rok	1,28E-06	1,61E-06	1,82E-06	1,78E-06	1,70E-06	1,71E-06	
	R [-]	7,30E-08	9,18E-08	5,19E-07	5,07E-07	4,85E-07	5,16E-06	6,84E-06
105	Sv/rok	5,54E-07	6,99E-07	7,91E-07	7,73E-07	7,40E-07	7,45E-07	
	R [-]	3,16E-08	3,98E-08	2,25E-07	2,20E-07	2,11E-07	2,25E-06	2,98E-06
106	Sv/rok	1,85E-07	2,40E-07	2,71E-07	2,66E-07	2,58E-07	2,61E-07	
	R [-]	1,05E-08	1,37E-08	7,72E-08	7,58E-08	7,35E-08	7,89E-07	1,04E-06
107	Sv/rok	9,46E-08	1,26E-07	1,42E-07	1,39E-07	1,36E-07	1,38E-07	
	R [-]	5,39E-09	7,18E-09	4,05E-08	3,96E-08	3,88E-08	4,17E-07	5,48E-07
108	Sv/rok	5,74E-08	7,66E-08	8,63E-08	8,49E-08	8,26E-08	8,41E-08	
	R [-]	3,27E-09	4,37E-09	2,46E-08	2,42E-08	2,35E-08	2,54E-07	3,34E-07

Pozn.: Sv/rok …efektivní dávka a úvazek za rok (převzato z tabulky 12)
R [-]…. riziko zdravotní újmy [bezrozměrná veličina] - roční dávka x počet let života x koeficient rizika

Tab. P4: Výpočet rizika zdravotní újmy v sektorech povodí Jihlavy, alternativa A

Sektor		Věk let						Suma
č.	Doba	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	nad 17	70 let
28	Sv/rok	2,24E-05	2,31E-05	2,38E-05	2,06E-05	1,89E-05	2,38E-05	
	R [-]	1,28E-06	1,32E-06	6,78E-06	5,87E-06	5,39E-06	7,19E-05	9,25E-05
41	Sv/rok	2,30E-05	2,37E-05	2,43E-05	2,11E-05	1,93E-05	2,41E-05	
	R [-]	1,31E-06	1,35E-06	6,93E-06	6,01E-06	5,50E-06	7,28E-05	9,39E-05
54	Sv/rok	2,36E-05	2,44E-05	2,51E-05	2,18E-05	2,00E-05	2,48E-05	
	R [-]	1,35E-06	1,39E-06	7,15E-06	3,45E-06	3,31E-06	7,49E-05	9,16E-05
56	Sv/rok	2,22E-05	2,29E-05	2,34E-05	2,02E-05	1,85E-05	2,32E-05	
	R [-]	1,27E-06	1,31E-06	6,67E-06	5,76E-06	5,27E-06	7,01E-05	9,04E-05
57	Sv/rok	6,52E-06	6,72E-06	6,90E-06	5,98E-06	5,49E-06	6,83E-06	
	R [-]	3,72E-07	3,83E-07	1,97E-06	1,70E-06	1,56E-06	2,06E-05	2,66E-05
69	Sv/rok	6,16E-06	6,28E-06	6,42E-06	5,51E-06	5,04E-06	6,38E-06	
	R [-]	3,51E-07	3,58E-07	1,83E-06	1,57E-06	1,44E-06	1,93E-05	2,48E-05
70	Sv/rok	6,06E-06	6,14E-06	6,28E-06	5,37E-06	4,90E-06	6,24E-06	
	R [-]	3,45E-07	3,50E-07	1,79E-06	1,53E-06	1,40E-06	1,89E-05	2,43E-05
71	Sv/rok	1,51E-06	1,29E-06	1,46E-06	1,29E-06	1,21E-06	1,61E-06	
	R [-]	8,61E-08	7,35E-08	4,16E-07	3,68E-07	3,45E-07	4,86E-06	6,15E-06

Pozn.: Sv/rok …efektivní dávka a úvazek za rok (převzato z tabulky 14)
R [-]…. riziko zdravotní újmy [bezrozměrná veličina] - roční dávka x počet let života x koeficient rizika

Tab. P5: Výpočet rizika zdravotní újmy v sektorech povodí Jihlavy, alternativa B

Sektor		Věk let						Suma
č.	Doba	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	nad 17	70 let
28	Sv/rok	2,10E-05	1,85E-05	2,10E-05	1,84E-05	1,66E-05	2,16E-05	
	R [-]	1,20E-06	1,05E-06	5,99E-06	5,24E-06	4,73E-06	6,53E-05	8,35E-05
41	Sv/rok	2,14E-05	1,88E-05	2,10E-05	1,84E-05	1,66E-05	2,14E-05	
	R [-]	1,22E-06	1,07E-06	5,99E-06	5,24E-06	4,73E-06	6,46E-05	8,29E-05
54	Sv/rok	2,16E-05	1,92E-05	2,14E-05	1,88E-05	1,70E-05	2,17E-05	
	R [-]	1,23E-06	1,09E-06	6,10E-06	5,36E-06	4,85E-06	6,56E-05	8,42E-05
56	Sv/rok	2,10E-05	1,83E-05	2,05E-05	1,79E-05	1,61E-05	2,08E-05	
	R [-]	1,20E-06	1,04E-06	5,84E-06	5,10E-06	4,59E-06	6,28E-05	8,06E-05
57	Sv/rok	5,71E-06	5,02E-06	5,63E-06	4,92E-06	4,45E-06	5,69E-06	
	R [-]	3,25E-07	2,86E-07	1,60E-06	1,40E-06	1,27E-06	1,72E-05	2,21E-05
69	Sv/rok	5,50E-06	4,75E-06	5,32E-06	4,62E-06	4,16E-06	5,40E-06	
	R [-]	3,14E-07	2,71E-07	1,52E-06	1,32E-06	1,19E-06	1,63E-05	2,09E-05
70	Sv/rok	5,44E-06	4,66E-06	5,23E-06	4,53E-06	4,07E-06	5,30E-06	
	R [-]	3,10E-07	2,66E-07	1,49E-06	1,29E-06	1,16E-06	1,60E-05	2,05E-05

71	Sv/rok	1,46E-06	1,22E-06	1,41E-06	1,22E-06	1,10E-06	1,44E-06	
	R [-]	8,32E-08	6,95E-08	4,02E-07	3,48E-07	3,14E-07	4,35E-06	5,57E-06

Pozn.: Sv/rok …efektivní dávka a úvazek za rok (převzato z tabulky 15)
R [-]…. riziko zdravotní újmy [bezrozměrná veličina] - roční dávka x počet let života x koeficient rizika

Tab. P6:Výpočet rizika zdravotní újmy v sektorech povodí Jihlavy, alternativa C

Sektor		**Věk let**						**Suma**
č.	**Doba**	**0-1**	**1-2**	**2-7**	**7-12**	**12-17**	**nad 17**	**70 let**
28	Sv/rok	1,52E-05	1,38E-05	1,55E-05	1,39E-05	1,27E-05	1,64E-05	
	R [-]	8,66E-07	7,87E-07	4,42E-06	3,96E-06	3,62E-06	4,95E-05	6,32E-05
41	Sv/rok	1,55E-05	1,41E-05	1,57E-05	1,40E-05	1,28E-05	1,63E-05	
	R [-]	8,84E-07	8,04E-07	4,47E-06	3,99E-06	3,65E-06	4,92E-05	6,30E-05
54	Sv/rok	1,57E-05	1,44E-05	1,60E-05	1,43E-05	1,31E-05	1,66E-05	
	R [-]	8,95E-07	8,21E-07	4,56E-06	4,08E-06	3,73E-06	5,01E-05	6,42E-05
56	Sv/rok	1,51E-05	1,36E-05	1,51E-05	1,34E-05	1,23E-05	1,57E-05	
	R [-]	8,61E-07	7,75E-07	4,30E-06	3,82E-06	3,51E-06	4,74E-05	6,07E-05
57	Sv/rok	4,75E-06	4,30E-06	4,79E-06	4,25E-06	3,89E-06	4,96E-06	
	R [-]	2,71E-07	2,45E-07	1,37E-06	1,21E-06	1,11E-06	1,50E-05	1,92E-05
69	Sv/rok	4,56E-06	4,04E-06	4,50E-06	3,97E-06	3,62E-06	4,69E-06	
	R [-]	2,60E-07	2,30E-07	1,28E-06	1,13E-06	1,03E-06	1,42E-05	1,81E-05
70	Sv/rok	4,50E-06	3,95E-06	4,41E-06	3,88E-06	3,54E-06	4,60E-06	
	R [-]	2,57E-07	2,25E-07	1,26E-06	1,11E-06	1,01E-06	1,39E-05	1,77E-05
71	Sv/rok	1,28E-06	1,08E-06	1,26E-06	1,09E-06	1,00E-06	1,31E-06	
	R [-]	7,30E-08	6,16E-08	3,59E-07	3,11E-07	2,85E-07	3,96E-06	5,05E-06

Pozn.: Sv/rok …efektivní dávka a úvazek za rok (převzato z tabulky 16)
R [-]…. riziko zdravotní újmy [bezrozměrná veličina] - roční dávka x počet let života x koeficient rizika