



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

Využití SW ESTE AI k návrhu optimální strategie  
likvidace  $^3\text{H}$  produkovaného 5 bloky JE Dukovany

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: [Ochrana obyvatelstva](#)

**Autor:** Bc. Ondřej Chochola, DiS.

**Vedoucí práce:** Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

České Budějovice 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „*Využití SW ESTE AI k návrhu optimální strategie likvidace <sup>3</sup>H produkovaného 5 bloky JE Dukovany*“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské/diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské/diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 9.8.2017 .....

### **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D. za ochotu a pomoc při vedení mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Všem mým kolegům, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli, a pomáhali konzultovat odbornou stránku této diplomové práce a také za schovívavost a trpělivost, která byla během přípravy a zpracování potřeba. Chtěl bych také poděkovat zaměstnancům Státního úřadu pro jadernou bezpečnost za poskytnutí cenných dat a zejména pak poskytnutí aplikace ESTE AI, bez níž by nebylo možné naplnit cíle této práce. Na závěr patří také obrovský dík mé přítelkyni a celé mé rodině za trpělivost a veškerou podporu po celou dobu mých studií.

# Využití SW ESTE AI k návrhu optimální strategie likvidace $^3\text{H}$ produkovaného 5 bloky JE Dukovany

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vlivem výpustí Jaderné elektrárny Dukovany a posouzením dopadů na obyvatelstvo a životní prostředí v okolí elektrárny. V práci je shrnuta problematika výpustí radioaktivního uhlíku  $^{14}\text{C}$ , ale zejména je věnována pozornost výpustem radioizotopu vodíku  $^3\text{H}$  (tritia), kvůli jeho chemicko-fyzikální podstatě a jeho výskytu v chladicím médiu (lehké vodě) využívaným tímto typem jaderné elektrárny.

V práci je popsán současný stav dukovanské elektrárny, zejména stávající výpusti radioaktivních látek do okolí jaderné elektrárny, jak do ovzduší, tak i výpusti do vodního toku. Rozebrána je také problematika dostavby nových bloků elektrárny Dukovany a vliv předpokládaných výpustí na obyvatelstvo při souběžném provozu stávajících bloků a bloků plánovaných, zejména pak ve vztahu k  $^3\text{H}$  vypouštěného do vodoteče.

V práci jsou, za pomoci aplikace ESTE Annual Impacts, určeny jednotlivé skupiny obyvatel, které jsou z výpustí ozařovány nejvíce (tzv. reprezentativní osoba). Na základě současných výpustí Jaderné elektrárny Dukovany a výpustí plánovaných bloků jsou v práci stanoveny roční efektivní dávky reprezentativní osobě a porovnány s požadavky vyplývajícími z právních předpisů upravujících podmínky mírového využívání jaderné energie a z vodohospodářské legislativy. Na základě získaných výsledků je doporučeno, jakým způsobem lze optimálně likvidovat radioaktivní látky, aby nedošlo k překročení uvedených limitů. V závěru práce odpovídá na výzkumnou otázku: Jaké dopady na obyvatelstvo, resp. reprezentativní osobu, budou mít výpusti Jaderné elektrárny Dukovany po plánované dostavbě nového jaderného zdroje, zejména pak ve vztahu k výpustem tritia  $^3\text{H}$  do vodoteče a jakými opatřeními lze takovéto výpusti optimalizovat ve vztahu k míře ozáření obyvatel?

## Klíčová slova

Jaderná elektrárna; kapalně výpusti; výpusti do ovzduší;  $^3\text{H}$ ;  $^{14}\text{C}$ ; aktivita; efektivní dávka; reprezentativní osoba; ESTE AI

# **Application of the SW ESTE AI for the recommendation on an optimal strategy of liquidation $^3\text{H}$ produced by 5 blocks of the NPP Dukovany**

## **Abstract**

This thesis deals with the influence of the discharges of the Dukovany Nuclear Power Plant (“Dukovany NPP”) and the assessment of impacts on the population and the vicinity of the power plant. The thesis summarizes the issues of tritium  $^3\text{H}$  discharges into waterways and partially deals with the  $^{14}\text{C}$  discharges. Attention is paid especially to the radioisotope of hydrogen  $^3\text{H}$ , due to its chemical and physical form and its presence in the cooling medium (light water) used by that type of nuclear power reactor.

The thesis also contains a description of the current state of the Dukovany NPP, especially the existing discharges of the radioactive substances to the surroundings of the nuclear power plant, both to the air and into the waterway. Also was discussed the issue of the new planned blocks of the Dukovany NPP and impacts of the projected discharges on the population during the simultaneous operation of the existing blocks and the planned blocks, again in relation to the  $^3\text{H}$  discharged into the waterway.

The application ESTE AI was used for the determination of individual groups of inhabitants who are most exposed to the radioactive discharges (also called representative person). Based on the current discharges of the Dukovany NPP and the planned blocks discharges were determined the annual effective doses for a representative person. The doses were compared with the legislation on the conditions for the peaceful use of nuclear energy requirements and then with the water management legislation. In order to avoid exceeding these limits were set up recommendations how to dispose of radioactive substances optimally. The thesis answer to the research question: What impacts on the population will have discharges of the Dukovany NPP after the construction of a new nuclear source, especially in relation to the discharges of the  $^3\text{H}$  into the waterway and which measures will must be applied on the optimization of the inhabitants doses.

## **Key words**

Nuclear power plant; liquid discharges; atmospheric discharges;  $^3\text{H}$ ;  $^{14}\text{C}$ ; activity; effective dose; representative person; ESTE AI

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>7</b>
<b>1 Teoretická část</b>	<b>8</b>
1.1 Základní jednotky, veličiny a použité pojmy	8
1.1.1 Základní jednotky a veličiny	8
1.1.2 Použité pojmy	10
1.2 Jaderná elektrárna Dukovany	11
1.2.1 Základní informace	12
1.2.2 Dostavba nových bloků Jaderné elektrárny Dukovany	13
1.3 Radionuklidy vypouštěné jadernou elektrárnou a mechanismus jejich vzniku	13
1.3.1 Výpusti do ovzduší	14
1.3.2 Kapalné výpusti	15
1.3.3 Radionuklidové složení výpustí	15
1.3.4 Popis nejvýznamnějších vypouštěných radionuklidů	17
1.4 Omezení vypouštění radionuklidů do životního prostředí vyplývající z právních předpisů	20
1.4.1 Autorizovaný limit a dávkové optimalizační meze	20
1.4.2 Vodohospodářská omezení	21
1.5 Charakteristika nového jaderného zdroje	23
1.6 Program ESTE AI	24
1.6.1 Základní informace o aplikaci ESTE AI	25
1.6.2 Koncept reprezentativní osoby a vztah k ESTE AI	27
1.6.3 Obecný postup při stanovení odhadu ozáření reprezentativní osoby	29
1.6.4 Předpoklady výpočtu dávek na reprezentativní osobu	30
<b>2 Cíl práce a výzkumná otázka</b>	<b>32</b>
2.1 Cíl práce	32
2.2 Výzkumná otázka	32
<b>3 Metodika</b>	<b>33</b>
3.1 Postup použití programu ESTE AI	35
3.1.1 Stanovení průměrných konverzních faktorů pro výpusti $^3\text{H}$ a $^{14}\text{C}$ do ovzduší	35
3.1.2 Stanovení průměrných konverzních faktorů pro výpust $^3\text{H}$ a $^{14}\text{C}$ do vodoteče	36
3.1.3 Stanovení ozáření reprezentativní osoby a porovnání s legislativními požadavky	37
<b>4 Výsledky</b>	<b>38</b>
4.1 Jaderná elektrárna Dukovany	38
4.1.1 Výpusti stávajících bloků EDU	38
4.1.2 Meteorologická data	40
4.1.3 Data průtoků ve sledovaném recipientu	44
4.1.4 Statistická data	45
4.2 Nový jaderný zdroj	45
4.3 Stanovení dávky reprezentativní osobě při výpusti 1 TBq $^3\text{H}$ a $^{14}\text{C}$	46
4.4 Výsledky stanovení dávky reprezentativní osobě při výpusti 1 TBq tritia $^3\text{H}$ a uhlíku $^{14}\text{C}$ do ovzduší a vodoteče	53
4.5 Výsledky odhadů efektivních dávek	54
4.6 Vodohospodářská kritéria	56
<b>5 Diskuze</b>	<b>61</b>
<b>6 Závěr</b>	<b>64</b>
<b>7 Seznam použité literatury</b>	<b>66</b>
<b>Seznam použitých zkratk</b>	<b>71</b>
<b>Seznam obrázků a tabulek</b>	<b>72</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>74</b>
<b>Přílohy</b>	<b>75</b>

## Úvod

Stále se zvyšující nároky na množství a spotřebu elektrické energie vyžaduje vytváření a výstavbu nových energetických zdrojů. Mezi dlouhodobě perspektivní patří i dostavby jaderných elektráren. Vzhledem k postupnému stárnutí současné technologie, a v blízké době i předpokládanému vyřazování z provozu některých bloků českých jaderných elektráren, je potřeba tyto významné energetické zdroje obnovovat. Dostavba Jaderné elektrárny Temelín (dále jen ETE) dostala zelenou pro umístění dvou nových jaderných bloků již v roce 2014 (viz rozhodnutí Státního úřadu pro jadernou bezpečnost 22296/2014 z 22.10.2014). Mimo již vydaných rozhodnutí k prodloužení provozu bloků dukovanské jaderné elektrárny (Rozhodnutí k provozu EDU, 2017), probíhají v současnosti přípravy i pro podání žádosti o povolení k dostavbě nových jaderných bloků dukovanské elektrárny, které je zatím ovšem jen ve fázi zjišťovacího řízení a přípravy dokumentace k posouzení dopadů na životní prostředí v rámci procesu EIA (ČEZ, 2016a).

V současnosti, kdy ještě není výše uvedený proces ukončen, je cílem této diplomové práce prozkoumat vliv výpustí Jaderné elektrárny Dukovany (dále jen EDU) a následně i posouzení dopadů provozu na obyvatelstvo a životní prostředí v okolí elektrárny.

Úvodní část je věnována popisu současného stavu bloků EDU a již existujícím výpustím radioaktivních látek do okolí jaderné elektrárny, a to jak do ovzduší, tak i do vodního toku. Velká pozornost je věnována radioizotopům uhlíku  $^{14}\text{C}$  a dále vodíku  $^3\text{H}$ , vzhledem k jeho chemicko-fyzikální podstatě a výskytu v chladicím médiu, a jeho rozhodujícím vlivu na efektivní dávku reprezentativní osobě z výpustí do vodoteče.

Na základě analýzy historických dat stávajících výpustí a výpustí předpokládaných u nového jaderného zdroje, je snahou navrhnout optimální způsob likvidace tritia  $^3\text{H}$ , aby byly dodrženy platné limity pro vypouštění radioaktivních látek do životního prostředí (dávková optimalizační mez, autorizovaný limit, atd.). V závěru diplomové práce je zodpovězena otázka, jaké dopady na obyvatelstvo, resp. reprezentativní osobu, budou mít výpusti EDU po plánované dostavbě nového jaderného zdroje, zejména pak ve vztahu k výpusti tritia  $^3\text{H}$  do vodoteče, a jakým opatřením lze takovéto výpusti optimalizovat ve vztahu k míře ozáření obyvatel?

## 1 Teoretická část

Cílem teoretické části práce je seznámit čtenáře se základními informacemi o EDU, a to jak se současným stavem, tak i o uvažované dostavbě nových jaderných bloků. Je také nutné uvést některé jednotlivé pojmy, které byly v této práci použity. V následujících kapitolách jsou vysvětleny důležité pojmy jako například reprezentativní osoba, autorizované limity a podobně. Úvodní kapitoly dále obsahují popis proč, a za jakých okolností vypouští jaderná elektrárna radioaktivní látky do okolí, do životního prostředí. Část je také věnována novému jadernému zdroji. Závěrečná část této úvodní kapitoly se pak věnuje aplikaci ESTE Annual Impacts (dále jen ESTE AI), která byla použita pro výpočty a dosažení účelu této práce.

### 1.1 Základní jednotky, veličiny a použité pojmy

V následujících podkapitolách jsou vysvětleny základní pojmy a veličiny, které byly použity v této práci.

#### 1.1.1 Základní jednotky a veličiny

**Absorbovaná dávka D [Gy]** – podíl střední energie předané ionizujícím zářením v objemovém elementu a hmotnosti látky obsažené v tomto objemovém elementu (vyhláška č. 422/2016 Sb.). Základní jednotkou je gray (Gy), který má v soustavě SI rozměr joule na kilogram (J/kg). Vzhledem k rozměru jednotky se spíše používají zlomky graye, tedy miligray (mGy), mikrogray ( $\mu$ Gy), nanogray (nGy), atd. (podobně i u jednotky sievert níže).

**Aktivita A [Bq]** – podíl očekávané hodnoty počtu jaderných přeměn z energetického stavu a časového intervalu, ve kterém tyto přeměny proběhnou (vyhláška č. 422/2016 Sb.). Základní jednotkou je becquerel (Bq), který v soustavě SI vyjadřuje počet radioaktivních přeměn za jednotku času, 1 Bq je roven jedné přeměně jádra za sekundu ( $1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$ ). V oblasti radiační ochrany jsou používány násobky becquerelu, kilobecquerel (kBq), megabecquerel (MBq), gigabecquerel (GBq), terabecquerel (TBq),



atd. (analogicky jsou používány i pro objemovou, hmotnostní a plošnou aktivitu). Starší používanou jednotkou byla 1 curie (1 Ci), která je rovna 37 GBq.

**(Dávkový) přírůstek** – přírůstek dávky (absorbované, efektivní, ekvivalentní, atd.) za jednotku času.

**Efektivní dávka E [Sv]** – součet součinů tkáňových váhových faktorů a ekvivalentní dávky v ozářených tkáních nebo orgánech. Tkáňový váhový faktor ( $W_T$ ) je stanoven v příloze č. 2 vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, ve znění pozdějších právních předpisů (dále jen VRO). Základní jednotkou je sievert (Sv), který je stejně jako jednotka gray (v soustavě SI) úměrný energii předané hmotnosti látky ( $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ ). Jednotka platí i pro ekvivalentní dávku níže.

**Ekvivalentní dávka  $H_{T,R}$  [Sv]** – součin radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni pro ionizující záření nebo součet takových součinů, jestliže je pole ionizujícího záření složeno z více druhů nebo energií. Radiační váhový faktor ( $W_R$ ), zohledňující odlišný druh ionizujícího záření, stanovuje VRO v příloze č. 2.

**Hmotnostní aktivita  $A_m$  [Bq/kg]** – podíl aktivity A a celkové hmotnosti látky (Klener, 2000).

**Kolektivní efektivní dávka S [manSv]** – součet efektivních dávek všech jednotlivců v určité skupině. Jednotkou kolektivní dávky je man-sievert a rozměr je stejný jako u dávek uvedených výše (vyhláška č. 422/2016 Sb.).

**Konverzní faktor h [Sv/Bq]** – koeficient udávající efektivní dávku připadající na jednotkový příjem radionuklidu. Konvenční hodnoty konverzních faktorů příjmu radionuklidu stanovuje VRO v příloze č. 3. Jednotkou je sievert na becquerel (Sv/Bq), udávající závislost efektivní dávky v Sv na příjmu radionuklidu v Bq. Používané konverzní faktory h jsou stanoveny pro:

- příjem radionuklidu vdechnutím –  $h_{inh}$  a
- příjem radionuklidu požitím –  $h_{ing}$ .

**Objemová aktivita  $A_V$  [ $Bq/m^3$ ]** – podíl aktivity A a celkového objemu látky (Klener, 2000).

**Plošná aktivita  $A_S$  [ $Bq/m^2$ ]** – podíl aktivity A a celkové plochy látky (Klener, 2000).

**Úvazek efektivní dávky  $E_{50}$  [Sv]** – časový integrál příkonu efektivní dávky po dobu t od příjmu radionuklidu (vyhláška č. 422/2016 Sb.). Jednotkou je opět sievert.

### ***1.1.2 Použité pojmy***

**Autorizovaný limit** – kvantitativní ukazatel, který je výsledkem optimalizace radiační ochrany pro jednotlivou radiační činnost nebo jednotlivý zdroj ionizujícího záření a je zpravidla nižší než dávková optimalizační mez. Autorizované limity stanoví Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB) v povolení k činnostem v rámci expozičních situací. Nepřekročení autorizovaných limitů prokazuje nepřekročení limitů ozáření (zákon č. 263/2016 Sb.). Dávková optimalizační mez 0,25 mSv za rok je stanovena v § 82 odst. 1 zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších právních předpisů (dále jen atomový zákon) pro reprezentativní osobu (viz dále), v případě jaderně-energetického zařízení současně 0,2 mSv pro výpusti do ovzduší a 0,05 mSv pro výpusti do povrchových vod za rok. Další podrobnosti k problematice jsou uvedeny v kapitole 1.4.1.

**Dávkový limit** – hodnota efektivní dávky nebo ekvivalentní dávky pro jednotlivce z plánované expoziční situace, která nesmí být překročena (ICRP, 2007).

**Dávková optimalizační mez** – horní mez předpokládaných osobních dávek stanovená pro účely optimalizace radiační ochrany pro příslušný zdroj ionizujícího záření v plánované expoziční situaci (zákon č. 263/2016 Sb.).

**Obecný limit ozáření** – obecnými limity pro obyvatele z ozáření ze všech povolených nebo registrovaných činností za jeden kalendářní rok jsou pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 1 mSv, pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv, a pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm<sup>2</sup> kůže 50 mSv bez ohledu na velikost ozářené plochy (zákon č. 263/2016 Sb.).

**Optimalizace radiační ochrany** – každý, kdo vykonává činnosti v rámci expozičních situací, je povinen provést optimalizaci (radiační ochrany) a při ní zohlednit rozsah ozáření, jeho pravděpodobnost a počet fyzických osob vystavených ozáření (zákon č. 263/2016 Sb.). Při optimalizaci radiační ochrany musí každý stanovit varianty zajištění radiační ochrany a z nich vybrat optimální variantu zajištění radiační ochrany v příslušné expoziční situaci (vyhláška č. 422/2016 Sb.). Princip optimalizace radiační ochrany bývá také ztotožňován s principem ALARA – as low as reasonably achievable (SÚRO, 2017).

**Plánovaná expoziční situace** – každodenní situace zahrnující plánovaný provoz zdrojů, včetně ukončení jejich provozu, zneškodňování radioaktivních odpadů a rekultivace dříve užívaného území. Činnosti v těchto provozech jsou plánovanými expozičními situacemi (ICRP, 2007).

**Reprezentativní osoba** – jednotlivec, který obdrží dávku reprezentativní pro nejvíce exponované jedince v populaci (ICRP, 2006). Tento termín je rovnocenný termínu „průměrný příslušník kritické skupiny“ užívanému v předchozích Doporučeních ICRP (od č. 7 z roku 1965) a v současném Doporučení ICRP č. 101 ho nahrazuje (ICRP, 2007). Reprezentativní osoba může být dítě ve věku 1 rok, 10 let nebo dospělá osoba. Další podrobnosti jsou uvedeny v kapitole 1.6.2.

**Zdrojový člen** – předpokládané množství (či aktivita) radioaktivních látek, které mohou být uvolněny do životního prostředí z jaderného zařízení (např. z aktivní zóny – tzv. inventáře radioaktivních látek), za současné znalosti stavu bariér k zabránění úniku radioaktivních látek. Uvedené se obecně vztahuje spíše k havarijním únikům, pro účely této práce byl však zdrojový člen definován ve vztahu k běžnému provozu. V tomto významu lze tedy pojmem vystihnout jak současné vypusti EDU, tak i předpokládané vypusti z plánovaných nových jaderných bloků.

## **1.2 Jaderná elektrárna Dukovany**

Jaderná elektrárna Dukovany se nachází v Kraji Vysočina poblíž obcí Dukovany, Mohelno, Rouchovany a Slavětice. Nejbližšími vodními toky je řeka Jihlava a Rokytná. EDU je první provozovanou jadernou elektrárnou v ČR a jejím provozovatelem je

společnost ČEZ, a.s. Rozhodnutí k výstavbě bylo vydáno již v roce 1973, nicméně v roce 1975 byla výstavba pozastavena. Obnovení výstavby bylo zahájeno v roce 1978 a první zavezení paliva proběhlo na konci roku 1984. První blok EDU byl uveden do (zkušebního) provozu v roce 1985, v roce 1986 následoval druhý a třetí blok a v roce 1987 poslední čtvrtý blok. Elektrárna ročně vyrobí v průměru přes 14 TWh (data z let 2004 – 2016), což odpovídá přibližně 20 % spotřeby elektrické energie v ČR (ČEZ, 2017a).

### ***1.2.1 Základní informace***

Elektrárna je uspořádána do dvou dvojbloků (dva hlavní výrobní bloky) a k výrobě elektrické energie využívá energetické reaktory typu VVER V-213. Jedná se o tlakovodní reaktor chlazený lehkou vodou, která zároveň slouží i jako moderátor. Původně instalovaný výkon 440 MW<sub>e</sub> na jeden blok byl postupně navýšen až na výkon 510 MW<sub>e</sub>, celkový výkon je tedy dnes přibližně 4 x 510 MW<sub>e</sub> = cca 2 040 MW<sub>e</sub>. Tepelný výkon na jeden blok odpovídá přibližně 1 375 MW<sub>t</sub> (ČEZ, 2017b).

Jaderná elektrárna Dukovany není, oproti např. Jaderné elektrárně Temelín, vybavena kontejnmentem<sup>1</sup>. Bariéry, bránící radioaktivním látkám v prostupu do životního prostředí jsou: konstrukční řešení palivových tablet (pevná forma tzv. pelet), hermeticky utěsněné a zatavené palivové proutky obsahující pelety, dále těsnost primárního okruhu a hermetické boxy, které nahrazují uvedený kontejnment (ČEZ, 2017c).

Palivo používané EDU je obohaceno na přibližně 1,3 – 3,8 % <sup>235</sup>U (čerstvé palivo až 4 %) a v současnosti se využívá typ GD2m+ (Zpráva SÚJB, 2001). Výměna paliva probíhá v pětileté palivové kampani a nyní je příprava na přechod na šestiletou kampaň (ČEZ, 2017e).

Podrobnější parametry EDU jsou uvedeny v Příloze A.

---

<sup>1</sup> Pozn.: v případě EDU lze hovořit spíše o konfinementu, než kontejnmentu jaký má například ETE. Konfinement lze obecně chápat jako zádržný systém, pro kontrolu či prevenci úniků radioaktivních látek do životního prostředí během provozu. Zádržný systém (konfinement) souvisí s pojmem kontejnment, zádržný systém je ale používán pro označení bezpečnostní funkce, zatímco kontejnment se týká spíše prostředků pro dosažení takovéto funkce (SÚJB, 2008).

### ***1.2.2 Dostavba nových bloků Jaderné elektrárny Dukovany***

Vzhledem k omezeným zásobám hnědého uhlí, a také rostoucí spotřebě elektrické energie v České republice, ale i v Evropě, se již delší dobu uvažuje o dostavbě nových bloků EDU. Dlouhodobě probíhá řada průzkumů a studií s cílem prověřit možnosti dostavby. Posuzovány jsou například geologicko-klimatické podmínky, kvalita a množství vody v povodí řeky Jihlavy, možnosti připojení nového bloku k energetické síti, dopravní omezení při přepravě technologických komponent, ale také jsou prováděny průzkumy životního prostředí v okolí elektrárny, je ale prováděna i řada dalších studií a průzkumů (ČEZ, 2017b) – viz například ČEZ, 2016a, 2016b, 2016d, 2016e.

Závěry těchto průzkumů říkají, že výstavba nových bloků je v EDU realizovatelná a nyní probíhají přípravné práce. Optimistický termín možného spuštění prvního nového bloku je mezi roky 2030 a 2035 (ČEZ, 2017b).

### **1.3 Radionuklidy vypouštěné jadernou elektrárnou a mechanismus jejich vzniku**

K tvorbě radionuklidů v jaderném reaktoru dochází dvojím způsobem: štěpným procesem a procesem aktivace. Za normálního provozu vznikají v jaderném palivu, obsahujícím obohacený uran, radioaktivní jádra. Jde zejména o štěpné produkty a transurany. Velká část těchto produktů zůstává v palivu díky jeho konstrukci. Při výměně paliva, během odstávkové kampaně, jsou produkty z reaktoru vyjmuty spolu s vyhořelým palivem. To není samozřejmě nikdy stoprocentně těsné a část radionuklidů odchází do chladicího média primárního okruhu skrze mikrotrhliny na pokrytí paliva a částečně difuzí. Zde taktéž dochází k aktivaci, jak chladicího média, tak i konstrukčních materiálů, které postupem času korodují, zejména díky agresivnímu prostředí, které obsahuje silné kyseliny i zásady ( $H_3BO_3$ ,  $NH_3$ , aj.) určené k řízení reaktivity, čili běhu štěpné reakce. Korozní produkty jsou následně uvolňovány do chladiva (Koc et al., 2005).

Množství štěpných a aktivačních produktů je v technologii kontinuálně sledováno a během provozu jsou přijímána opatření k omezení pohybu těchto látek (filtrace,

čištění chladiva, atp.). Cílem je co nejdůkladnější oddělení radioaktivních látek od okolního (životního) prostředí. Vzhledem k materiálovým a technologickým omezením filtračních systémů nelze vzniklé látky oddělit od vnějšího prostředí dokonale. Je tedy nutné část produktů řízeně uvolňovat do životního prostředí – vypouštět. Radionuklidové složení výpustí je kvalitativně a kvantitativně sledováno a je předmětem (programu) monitorování výpustí a okolí jaderného zařízení (Koc et al., 2005).

Hodnocení vlivu výpustí na životní prostředí je pak prováděno jak měřením uvnitř i vně elektrárny (odběr a rozbor vzorků ovzduší, půdy, vody, ryb, vegetace a zemědělských produktů), tak i pomocí matematického modelování (např. RDEDU používané ČEZ, a.s., a mj. i aplikací ESTE AI, viz dále). Výsledky se porovnávají se stanovenými přípustnými (limitními) hodnotami (vyhláška č. 422/2016 Sb.).

Vedle vyhořelého jaderného paliva a uvedených aktivačních a štěpných produktů vznikají při procesech čištění také radioaktivní odpady. Při dekontaminačních pracích vznikají zejména nízkoaktivní až středně aktivní odpady. Vyhořelé palivo v sobě obsahuje přibližně 95 % aktivity vzniklé při provozování jaderně-energetického zařízení (ČEZ, 2017d).

### ***1.3.1 Výpusti do ovzduší***

Plynné odpady a radioaktivní látky se filtrují a zpracovávají tak, aby byla jejich aktivita pokud možno co nejnižší. Při dostatečně nízké (limitně definované) úrovni aktivity lze radioaktivní látky vypustit do ovzduší, nebo při překročení těchto úrovní vrátit zpět do procesu dekontaminace. Hlavní cestou výpustí do ovzduší je ventilační komín výrobního bloku jaderné elektrárny. V případě EDU jsou to ventilační komíny s označením VK 12 a 34 (dále jen VK). Do nich ústí systémy ventilace kontejnmentu a systémy pro odvzdušňování technologie. Nejvíce radioaktivních látek je uvolňováno při procesu odplynění primárního okruhu, k němuž se využívají čistící stanice s příslušným filtračním zařízením (ABmerit, 2016a).

### ***1.3.2 Kapalné výpusti***

Hlavní zdroj výpustí do vodoteče je chladivo primárního okruhu, které je v několika fázích čištěno za účelem snížení aktivity (jde zejména o čištění na ionexových filtrech a destilaci). Dekontaminované médium se po pročištění buď vrací do primárního okruhu, nebo se vypouští do životního prostředí. Před vypuštěním je v kontrolních nádržích provedena radiochemická analýza a na základě jejího výsledků se voda svede zpět do nádrží aktivních (kde je opět podrobena čištění), nebo se přes jímky odpadních vod vypouští do kanalizace. Zda lze vodu vypustit závisí na příslušné normě a konkrétní hodnotě aktivity, kterou lze vypouštět. Během procesu čištění vznikají také menší objemy kapalných či pevných radioaktivních odpadů, které jsou spolu s použitými filtry ukládány do 200 litrových sudů (tzv. proces bitumenace<sup>2</sup>) a umístěny v uložišti radioaktivních odpadů EDU. I přes důkladné čištění média primárního okruhu není možné odstranit radioaktivní izotop vodíku <sup>3</sup>H, který je svým charakterem velmi podobný vodíku stabilnímu – tritiová voda má velmi podobné vlastnosti jako voda obyčejná a nelze je tedy od sebe chemicky separovat. Tritium je tedy, jak bude uvedeno dále, majoritním nuklidem v kapalné výpusti (ČEZ, 2017c).

### ***1.3.3. Radionuklidové složení výpustí***

V této kapitole jsou uvedeny nejvýznamnější radionuklidy, které jsou vypouštěny EDU do ovzduší a vodoteče, a dále jejich průměrné zastoupení ve výpusti a čerpání autorizovaných limitů v období let 2012 – 2016.

#### ***Výpusti do ovzduší***

Mezi výpusti do ovzduší patří následující skupiny radionuklidů (Koc et al., 2005):

---

<sup>2</sup> Bitumenace – proces, během kterého se z koncentráту odpadních vod odpařuje přebytečná voda na asfaltovém filmu. Vzniká směs radioaktivních látek s bitumenem, v němž obsah pevných látek tvoří přibližně 30 až 40 hmotnostních procent. Tato směs se dále ukládá do pozinkovaných 200 l sudů a po ztuhnutí se sudy hermeticky uzavírají (SÚRAO, 2017).

- **Vzácné plyny**, aktivační a štěpné produkty (dále jen AaŠP) prostupující z jaderného paliva do primárního okruhu –  $^{41}\text{Ar}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{85\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{87}\text{Kr}$ ,  $^{88}\text{Kr}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{135}\text{Xe}$  a  $^{138}\text{Xe}$ .
- **Aerosoly**, aktivované korozní produkty vznikající v chladicím médiu –  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{76}\text{As}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  a  $^{181}\text{Hf}$ .
- **Jódy**, štěpné produkty unikající z paliva do chladiva –  $^{129}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ,  $^{134}\text{I}$  a  $^{135}\text{I}$ .
- **Uhlík**  $^{14}\text{C}$ , jakožto aktivační produkt vznikající v chladivu a vzduchu v okolí reaktoru během jeho provozu.
- **Tritium**  $^3\text{H}$ , aktivační produkt chladiva primárního okruhu.

Ve výpustech do ovzduší byl v letech 2012 – 2016 nejvíce zastoupen  $^{41}\text{Ar}$  (průměrně z 64 % ~ 3,2 TBq),  $^3\text{H}$  (18,5 % ~ 0,9 TBq) a  $^{14}\text{C}$  (14,5 % ~ 0,7 TBq), zbylé 3 % tvořily zejména ostatní vzácné plyny.

Na dávce z plynných výpustí se podílí nejvíce  $^{14}\text{C}$  (z více než 95 %), což odpovídá průměrné roční dávce 0,137  $\mu\text{Sv}$  za rok pro reprezentativní osobu a tvoří tak zhruba 0,34 % autorizovaného limitu 40  $\mu\text{Sv}$  (období 2012 – 2016). Ostatní nuklidy mají minoritní význam a na autorizovaném limitu se podílí z méně než 0,05 %.

Celkové čerpání autorizovaného limitu pro výpusti do ovzduší bylo ve výše uvedeném období průměrně 0,14  $\mu\text{Sv}$  ze 40  $\mu\text{Sv}$  (tzn. čerpání autorizovaného limitu cca z 0,35 %). (Zprávy ČEZ, 2013 – 2017)

### ***Kapalné výpusti***

Mezi kapalné výpusti patří zejména následující radioizotopy (Koc et al., 2005):

- **AaŠP** –  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  a  $^{242}\text{Cm}$ .
- **Tritium**  $^3\text{H}$  – které má majoritní podíl na kapalné výpusti a tvoří více než 99,9 % vypuštěné aktivity do vodoteče.



Největší podíl na dávce reprezentativní osobě má také tritium  $^3\text{H}$ , s průměrnou roční efektivní dávkou 1,91  $\mu\text{Sv}$  (v období let 2012 – 2016), tj. přibližně 97 % z celkové průměrné roční efektivní dávky 1,96  $\mu\text{Sv}$ .

Celkové čerpání autorizovaného limitu pro kapalnou výpustí byl v uvedeném období průměrně 1,96  $\mu\text{Sv}$  z 6  $\mu\text{Sv}$  za rok (tj. cca 33 %). (Zprávy ČEZ, 2013 – 2017)

#### ***1.3.4 Popis nejvýznamnějších vypouštěných radionuklidů***

##### ***Cesium $^{134}\text{Cs}$***

V aerosolu je radionuklid  $^{134}\text{Cs}$  přítomen v důsledku dřívějších zkoušek jaderných zbraní a ze spadu po černobylské havárii, v menším množství jako důsledek výpustí jaderných elektráren. Dnes se aktivita tohoto radionuklidu v životním prostředí a v potravních řetězcích, vzhledem k jeho krátkému poločasu přeměny, pohybuje pod mezí detekce, tzv. minimální detekovatelnou aktivitou (dále jen MDA) (SÚJB, 2017).

##### ***Cesium $^{137}\text{Cs}$***

Během jaderných zkoušek v polovině 60. let 20. století dosahovala plošná aktivita cesia na povrchu půdy v tehdejší Československu až 4 000  $\text{Bq}/\text{m}^2$ . Po částečném poklesu došlo k dalšímu výraznému zvýšení plošné aktivity cesia po jaderné havárii v Černobylu v roce 1986, kdy bylo kontaminováno rozsáhlé území Evropy. Od té doby je ve složkách životního prostředí sledován postupný pokles  $^{137}\text{Cs}$ . Dnes se pohybují hodnoty plošné aktivity řádově ve stovkách  $\text{Bq}/\text{m}^2$  a vyšší hodnoty lze pozorovat pouze v místech, kde došlo v důsledku srážek k vymývání cesia z radioaktivního mraku vzniklého po černobylské havárii. Objemové aktivity  $^{137}\text{Cs}$  v aerosolu již zůstávají po řadu let na úrovni maximálně jednotek  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  (SÚJB, 2017).

##### ***Jód $^{131}\text{I}$***

Během provozu jaderné elektrárny, kde dochází ke štěpení uranových jader, vzniká také jako produkt radioaktivní jód. Jód má velké množství radioizotopů a vyskytuje se

v různých formách (zejména plynná a aerosolová forma). Množství vypuštěného jódu závisí zejména na těsnosti jaderného paliva. Nejvýznamnějším radioizotopem je  $^{131}\text{I}$ , který se až z 90 % podílí na celkové aktivitě úniků z jaderných elektráren v případě havárie. Další radioizotopy jódu mají výrazně kratší poločasy přeměny a v produktech štěpení je jejich zastoupení menší. Jde například o  $^{132}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ,  $^{134}\text{I}$  a  $^{135}\text{I}$ . Radioizotop  $^{129}\text{I}$  s poločasem přeměny 15,7 miliónu let je zastoupen v produktech štěpení v minimálním množství. Radioizotopy jódu jsou taktéž připravovány uměle pro lékařské účely, například při diagnostice nebo při terapii (SÚJB, 2017).

### ***Plutonium $^{238}\text{Pu}$ , $^{239}\text{Pu}$ a $^{240}\text{Pu}$***

Izotopy plutonia jsou dalšími významnějšími radionuklidy, vyskytujícími se ve vzdušném aerosolu ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  a  $^{240}\text{Pu}$ ). V atmosféře se vyskytují hlavně v důsledku zkoušek jaderných zbraní. Obsah uvedených izotopů plutonia se v pražském ovzduší pohybuje v řádu desetin až desítek  $\text{nBq/m}^3$ . V případě dobré těsnosti jaderného paliva se tyto transurany ve výpusti jaderné elektrárny téměř nevyskytují (SÚJB, 2017).

### ***Stroncium $^{90}\text{Sr}$***

Velké množství stroncia se do ovzduší dostalo převážně během zkoušek jaderných zbraní. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány v polovině 60. let minulého století a od té doby stále klesá. V současnosti je přítomno v půdě, odkud se dostává do krmiv a dále do potravního řetězce, především do mléka. Hmotnostní aktivita stroncia v potravinách se pohybuje v řádu desetin  $\text{Bq/kg}$  a objemová aktivita v ovzduší je dnes menší, než  $1 \mu\text{Bq/m}^3$  (SÚJB, 2017).

### ***Tritium $^3\text{H}$***

Vodík má celkem 7 různých, dnes známých, izotopů, přitom běžně se vyskytující a stabilní je pouze  $^1\text{H}$  a  $^2\text{H}$  (kromě tritia  $^3\text{H}$  mají další radioaktivní nuklidy velmi krátké poločasy rozpadu). Procentuální zastoupení stabilního vodíku v přírodě připadá z 99,9885 % na  $^1\text{H}$  a 0,0115 %  $^2\text{H}$  (National Nuclear Data Center, 2016). Tritium,

radioaktivní izotop vodíku  $^3\text{H}$ , je radionuklid, který v přírodě vyskytuje jako produkt lidské činnosti, a jednak přirozeně, jako produkt interakce kosmického záření s atmosférou. Tam, kde nedochází k ovlivnění biosféry výpustmi z jaderných zařízení, se hodnoty pohybují v řádu jednotek Bq/l (SÚJB, 2017). Jde o čistý beta mínus zářič s poločasem rozpadu 12,26 let emitující beta částice s průměrnou energií 5,6817 keV (National Nuclear Data Center, 2016).

### *Vzácné plyny – krypton $^{85}\text{Kr}$ a xenon $^{133}\text{Xe}$*

Dalšími významnými radionuklidy vypouštěnými jadernou elektrárnou jsou vzácné plyny, zejména  $^{85}\text{Kr}$  a  $^{88}\text{Xe}$ . Mimo uvedené elektrárny jsou hlavním zdrojem  $^{85}\text{Kr}$  závody na přepracování jaderného paliva, v minulosti také zkoušky jaderných zbraní. Obsah  $^{85}\text{Kr}$  se v ovzduší pohybuje v řádu jednotek Bq/m<sup>3</sup> (SÚJB, 2017).

### *Uhlík $^{14}\text{C}$*

Uhlík se vyskytuje ve formě 15 různých izotopů, stabilní jsou pouze dva –  $^{12}\text{C}$  a  $^{13}\text{C}$ . V přírodě je zastoupen přibližně z 98,89 %  $^{12}\text{C}$  a 1,11 %  $^{13}\text{C}$ . Radioaktivní uhlík  $^{14}\text{C}$  má poločas rozpadu 5 730 let a jde o čistý beta mínus zářič s průměrnou energií částic beta 49,47 keV. Maximální energie beta je 156 keV (National Nuclear Data Center, 2016). Uhlík  $^{14}\text{C}$  vzniká jednak lidskou činností, a jednak interakcí atmosféry s kosmickým zářením (reakce  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ ). Přírodní rovnovážná koncentrace  $^{14}\text{C}$  v atmosféře byla navýšena zkouškami jaderných zbraní a v současné době i jaderně energetickými zařízeními, ve kterých vzniká aktivací stabilního izotopu uhlíku v jaderných reaktorech. Obsah  $^{14}\text{C}$  se v pražském ovzduší pohybuje v rozmezí 0,05 až 0,06 Bq/m<sup>3</sup> (SÚJB, 2017). Radioaktivní uhlík  $^{14}\text{C}$  se ve výpusti JE vyskytuje ve formě organického a anorganického uhlíku. Zastoupení je přibližně 95 % ve prospěch  $^{14}\text{C}_{\text{organický}}$  a 5 %  $^{14}\text{C}_{\text{anorganický}}$  – jde o průměrnou hodnotu vyplývající ze Zpráv ČEZ (2013 – 2017).

V Příloze B je uvedena tabulka s dalšími podrobnostmi k uvedeným radionuklidům.

## **1.4 Omezení vypouštění radionuklidů do životního prostředí vyplývající z právních předpisů**

V následujících kapitolách jsou uvedeny nejdůležitější omezení vztahené k vypouštění radioaktivních látek z EDU během normálního provozu. Lze konstatovat, že jednotlivá omezení vyplývají zejména z platných právních předpisů legislativního rámce ČR, ale také z platných rozhodnutí vydávaných SÚJB a vodoprávními orgány.

### ***1.4.1 Autorizovaný limit a dávkové optimalizační meze***

Z důvodu kontroly nad vypouštěnými radionuklidy, resp. omezením ozáření obyvatelstva, SÚJB stanovuje takzvaný autorizovaný limit. Ten vyplývá z atomového zákona, kde je v § 63, odst. 3 definován jako „*kvantitativní ukazatel, který je výsledkem optimalizace radiační ochrany pro jednotlivou radiační činnost nebo jednotlivý zdroj ionizujícího záření a je zpravidla nižší než dávková optimalizační mez. Autorizované limity stanoví Úřad v povolení k činnostem v rámci expozičních situací. Nepřekročení autorizovaných limitů prokazuje nepřekročení limitů ozáření*“. Dávková optimalizační mez 0,25 mSv (250 µSv) za rok je stanovena v § 82 odst. 1 uvedeného zákona pro reprezentativní osobu (viz kapitola 1.6.2), v případě jaderně-energetického zařízení současně 0,2 mSv (200 µSv) pro výpusti do ovzduší a 0,05 mSv (50 µSv) pro výpusti do povrchových vod za rok (zákon č. 263/2016 Sb.).

V rámci povolení k provozu EDU, jejichž podkladem byla optimalizační studie vyplývající z § 82 odst. 3, stanovil SÚJB autorizovaný limit pro provoz tohoto zařízení v hodnotě efektivní roční dávky 0,006 mSv (6 µSv) pro výpusti do povrchových vod a 0,04 mSv (40 µSv) pro výpusti do ovzduší.

Průkaz dodržení autorizovaného limitu provádí EDU výpočetním programem RDEDU (autorizovaným SÚJB) zpětně za příslušný rok, použitím aktuální meteorologické a hydrologické situace v hodnoceném roce (SÚJB, 2007a a 2007b).

Pro regulaci výpustí v průběhu roku jsou používány konverzní faktory vyjadřující přepočítání vypuštěné aktivity na efektivní dávku reprezentativní osobě (koeficient

$h$  [ $\text{Sv/Bq}^3$ ]), které byly stanoveny rovněž pomocí výpočetního programu RDEDU za použití konzervativních předpokladů šíření radioaktivních látek v ovzduší i vodách. Konverzní faktory jsou součástí platného rozhodnutí o povolení k uvádění radionuklidů do životního prostředí a plynou z rozhodnutí SÚJB č.j. 12136/2007 z 25.4.2007 pro vypustí do vodoteče a 12135/2007 z 3.5.2007 pro vypustí do vzduchu. Přehled jednotlivých konverzních faktorů  $h$  je uveden v Přílohách C a D, kde je kompletní znění výše uvedených rozhodnutí SÚJB.

Výše uvedené limitní hodnoty jsou vztaženy pouze ke stávajícím blokům EDU. **Pro dostavbu nových jaderných bloků bude potřeba stanovit příslušné autorizované limity, které budou zohledňovat v zákoně uvedené dávkové optimalizační meze.**

#### ***1.4.2 Vodohospodářská omezení***

Vedle uvedených legislativních požadavků, které jsou zaměřeny hlavně na radiační ochranu obyvatelstva, existují i limity environmentální kvality – ty částečně zahrnují i požadavky radiační ochrany obyvatelstva, konkrétně v případě limitních hodnot pro pitnou vodu. Jednou z norem je Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších právních předpisů (dále jen Nařízení vlády). Zde se uvádí v §4 odst. 2, že: „*Povolení k vypouštění odpadních vod s obsahem radioaktivních látek vyjádřených v jednotkách objemové aktivity do vod povrchových vydá vodoprávní úřad v souladu se souhlasným stanoviskem Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.*“.

V Tabulce 1a Přílohy č. 3 Nařízení vlády, jsou stanoveny tzv. ukazatele radioaktivity, kde pro povrchovou vodu používanou pro úpravu na vodu pitnou je pro  $^3\text{H}$  stanovena hodnota roční průměrné objemové aktivity 100 Bq/l. Tento ukazatel má charakter tzv. indikativní hodnoty, při jejímž překročení se má zjistit příčina, resp. zdroj radioaktivního znečištění.

---

<sup>3</sup> Pozn.: pro účely kontroly a regulace výpustí v průběhu kalendářního roku se odhad součtu efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření jednotlivce z kritické skupiny stanovuje jako součet součinů aktivit jednotlivých radionuklidů vypuštěných do recipientu za sledované období a převodních koeficientů  $h$ .

Zde je ale nutné doplnit, že mimo ukazatele stanovené uvedeným Nařízením vlády může vodoprávní orgán, kterým je v tomto případě Krajský úřad Kraje Vysočina, stanovit tzv. emisní limity. V rozhodnutí o povolení k nakládání s vodami (č.j. KUJI 50087/2007) se ve věci výpustí radioaktivních látek z EDU Krajský úřad plně odkazuje na povolení SÚJB – bod č. 10 uvádí následující podmínku: „*Budou splněny podmínky stanovisek, souhlasů a rozhodnutí dotčených správních úřadů, vyplývající ze zvláštních předpisů:*

- *Rozhodnutí Státního úřadu pro jadernou bezpečnost ze dne 25.4.2007 č.j. 12136/2007, kterým bylo povoleno uvádění radionuklidů do životního prostředí ve formě kapalných výpustí z Jaderné elektrárny Dukovany do řeky Jihlavy v profilu nádrže Mohelno.“*

Požadavky Nařízení vlády odpovídají Směrnici Rady 2013/51/Euratom ze dne 22. října 2013, kterou se stanoví požadavky na ochranu zdraví obyvatelstva, pokud jde o radioaktivní látky ve vodě určené k lidské spotřebě. Pro objemovou aktivitu tritia je stanoven ukazatel 100 Bq/l s tím, že v bodě 7 uvádí uvedená směrnice EU, že: „**Hodnoty ukazatelů by neměly být považovány za mezní hodnoty.** Pokud monitorování vody určené k lidské spotřebě ukazuje, že hodnota ukazatele nebyla dodržena, měl by dotčený členský stát zvážit, zda to představuje riziko pro lidské zdraví, jež vyžaduje přijetí opatření, a v případě potřeby přijmout nápravná opatření ke zlepšení jakosti vody na úroveň, která je v souladu s požadavky na ochranu lidského zdraví z hlediska radiační ochrany.“. Tyto požadavky jsou stanoveny atomovým zákonem a VRO.

Pro účely optimalizace radiační ochrany je stanovena dávková optimalizační mez, která představuje horní mez dávek pro konkrétní zdroje ionizujícího záření v plánované expoziční situaci. Pro výpustí do povrchových vod z jaderně energetických zařízení je dávková optimalizační mez pro reprezentativní osobu stanovena hodnotou 0,05 mSv. **V souladu s Nařízením vlády i Směrnicí Rady 2013/51/Euratom pak představuje tato hodnota dávkové optimalizační meze základní legislativní omezení ozáření obyvatel v důsledku výpustí do povrchových vod z jaderně energetických zařízení.**

Z tohoto důvodu mají odhady největší roční výpustí  $^3\text{H}$  do vodoteče z nového jaderného zdroje ve vztahu k hodnotě ukazatele pro objemovou aktivitu tritia, uvedené v kapitole 4.6, pouze ilustrativní charakter.

## 1.5 Charakteristika nového jaderného zdroje

ČEZ, a.s. uvažuje k dostavbě pouze zdroje s tlakovodním reaktorem. V současnosti jsou nejdostupnější a z pohledu dopadů na životní prostředí (jak za normálního provozu, tak i mimořádných provozních stavů) jako nejlepší technologickou variantou. Mimo to existuje u tohoto typu reaktorů i celá řada bezpečnostních výhod (např. záporný dutinový koeficient, chlazení lehkou vodou, dvouokruhový systém odvodu tepla, atp.). Dle informací ČEZ (2017f) jsou dalšími důvody např. velká rozšířenost tohoto typu reaktorů (až 60 % provozovaných JE ve světě), více než 50 let provozních zkušeností zohledňující aktuální bezpečnostní standardy, stále probíhající výstavba tohoto typu reaktorů ve světě a v Evropě, dlouholeté zkušenosti provozovatele s tímto typem reaktoru (ETE a EDU), již existující lokalita pro umístění nového jaderného zdroje a dostatečný výkon vzhledem k předpokládané spotřebě elektrické energie v ČR.

Existuje několik potenciálních dodavatelů, kteří splňují podmínky legislativní, environmentální, bezpečnostní, technické, ekonomické i finanční. Taktéž ale bude nutné, aby potenciální dodavatelé splnili všechny podmínky z pohledu dopadů na životní prostředí v tzv. procesu EIA. Podle informace ČEZ (2016b a 2017f) zatím přichází v úvahu následující dodavatelé a jimi dodávaná technologie:

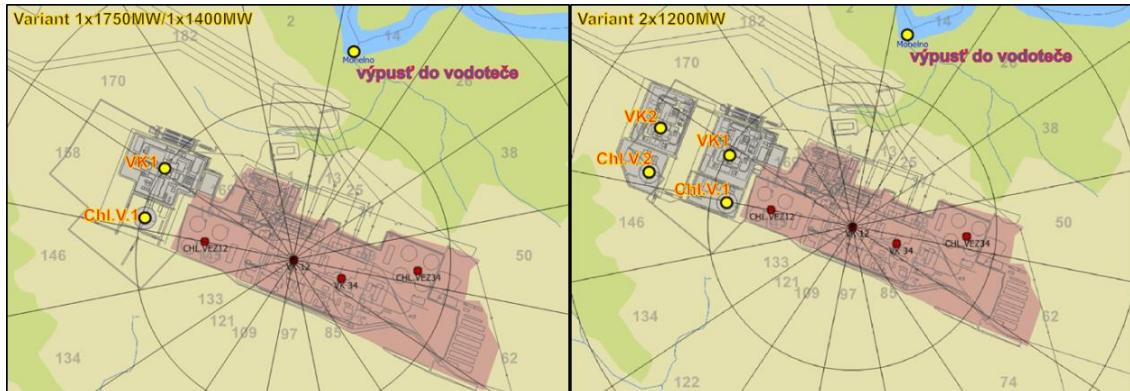
- Westinghouse (USA) – AP1000 (1 200 MW<sub>e</sub>);
- Areva (Francie) – EPR1600 (1 750 MW<sub>e</sub>);
- SNPTC (Čína) – CAP1400 (1 500 MW<sub>e</sub>);
- CNNC (Čína) – HL1000 (1 150 MW<sub>e</sub>);
- Mitsubishi (Japonsko) – EU1700 (1 700 MW<sub>e</sub>);
- ATMEA (Francie a Japonsko) – ATMEA1100 (1 200 MW<sub>e</sub>);
- ASF (Rusko) – MIR1200, VVERTOI nebo VVER1500 (1 200 – 1 500 MW<sub>e</sub>);
- ICHNP (Korea) – APR+, APR1400 nebo APR1000+ (1 200 – 1 455 MW<sub>e</sub>).

V Příloze E je pro ilustraci obrázek jednotlivých jaderných zdrojů.

Na obrázku 1 je uvedeno předpokládané umístění nového jaderného zdroje ve variantě 1 x 1 400 nebo 1 750 MW<sub>e</sub> a pro 2 x 1 200 MW<sub>e</sub>, včetně stávajících bloků EDU.

Vzhledem k tomu, že v praktické části práce byl použit pouze zdrojový člen zahrnující maximální výpusti (nejvyšší aktivity) z uvedených modelů předpokládaných jaderných

zdrojů, není zde nutné uvádět konkrétní a podrobné informace o jednotlivých zamýšlených variantách. Této problematice se pak dále věnuje i kapitola 4.2.



Obrázek 1: Schéma umístění NJZ (ABmerit, 2016c)

## 1.6 Program ESTE AI

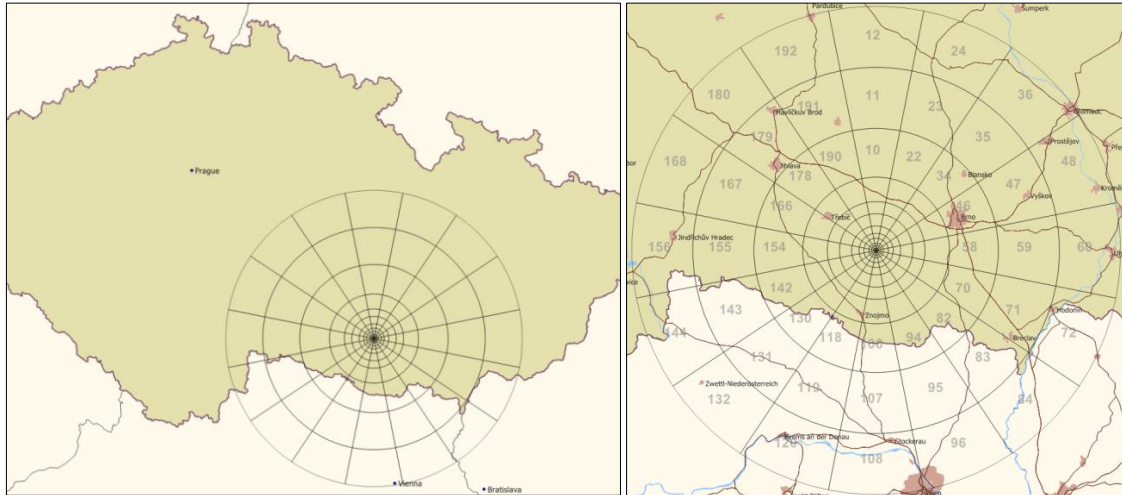
Aplikace ESTE Annual Impacts je softwarový produkt slovenské společnosti ABmerit, vytvořený na základě požadavku SÚJB. ESTE AI je akronym názvu „Emergency Source Term Evaluation Code – Annual Impacts“, tedy kód pro odhad radiologických dopadů založených na základě zdrojového členu, v tomto případě však ne pro havarijní stavy, ale pro běžný provoz jaderného zařízení – Annual Impacts. Verze ESTE AI EDU je pro Jadernou elektrárnu Dukovany, mimo ni je SÚJB využívána i verze pro Jadernou elektrárnu Temelín. Společnost ABmerit poskytuje, vedle verze AI, i verze pro odhad dopadů radiačních havárií – verze ESTE ETE, EDU, EU (pro síť evropských jaderných elektráren) a „offline“<sup>4</sup> verzi ESTE Analyst, určenou pro výcvik operátorů výše uvedených verzí (ABmerit, 2016d).

<sup>4</sup> Pozn.: online verze získává technologická data z jaderné elektrárny, dále data z (tele)dozimetrických stanic v blízkosti elektrárny, meteorologické informace, atd. Offline verze je plně závislá na vstupu operátora ESTE.



### 1.6.1 Základní informace o aplikaci ESTE AI

Program ESTE AI verze EDU 5.01 (dále jen ESTE AI) umožňuje počítat dávky na členy kritické skupiny obyvatel (viz kapitola 1.6.2) z radioaktivních výpustí během normálního provozu jaderné elektrárny až do vzdálenosti přibližně 100 km. Na obrázku 2 je zobrazena výpočetní zóna aplikace ESTE AI.



Obrázek 2: Výpočetní zóna aplikace ESTE AI (export z ESTE AI)

Program používá pro výpočet šíření v atmosféře a pro výpočet průměrných objemových aktivit radionuklidů způsobených běžným provozem za libovolné období delšího než 1 hodina Lagrangeovský trajektoriový model popisující pohyb diskretních oblaků (dále jen puffů), tzv. puff trajectory model (PTM).

Pro popis atmosférické difúze v horizontálním směru se používá Gaussovský model rozptylu látek v atmosféře. K popisu atmosférické difúze ve vertikálním směru se využívá metoda numerického řešení polo-empirické rovnice atmosférické difúze. Matematický model samozřejmě zohledňuje mechanismy radioaktivní přeměny, vymývání srážkami, suchého spadu, atd. (ABmerit, 2016d).

Okolí lokality EDU je rozdělené na sektory (viz Příloha F). Selektivně jsou modelovány dopady pro každý jednotlivý uvažovaný bod výpustí do atmosféry a zároveň lze kombinovat libovolným způsobem jednotlivé zdroje výpustí (ventilační komíny).

Program počítá individuální a kolektivní efektivní dávky ve výpočtové zóně v okolí EDU a také kolektivní efektivní dávky pro obyvatelstvo Rakouska, Německa, Slovenska a Polska, a to pro zvolené období – kalendářní rok, čtvrtletí, měsíc, týden, nebo i pro zvolené plovoucí období (ABmerit, 2016d).

V případě výpustí do ovzduší je bod výpusti stanoven ve středu zóny havarijního plánování EDU, to je ve středu úsečky spojující ventilační komín číslo 12 a 34. Pro atmosférické výpusti lze zadat výpočet dopadů za zvolené období (např. měsíc nebo rok). Program vyžaduje znalost meteo dat za dané období a celou předpokládanou bilanci výpusti. Program následně výpust rovnoměrně rozloží do jednotlivých hodin zvoleného období, aplikuje meteorologické podmínky naměřené v příslušné hodině a v jednotlivých bodech výpočtové zóny vypočte objemovou aktivitu konkrétního radionuklidu v ovzduší jako základní údaj pro výpočet dávek a dalších veličin. Následně program provede sumu příspěvků od jednotlivých nuklidů v jednotlivých bodech výpočtové zóny. Výpust se tak v modelu simuluje sérií hodinových výpustí (puffů), které se v atmosféře pohybují ve tvaru rozšiřujících se diskretních oblaků (ABmerit, 2016d).

Během pohybu hodinového puffu výpusti se předpokládá neměnná meteo situace (tedy směr větru, rychlost větru, kategorie stability počasí a intenzita srážek) stejná od okamžiku vypuštění z ventilačního komína až do vzdálenosti 100 km od místa výpusti. Dále program ESTE AI umožňuje modelovat dopady kapalných výpustí. V tomto případě do nádrže Mohelno na řece Jihlava (odtud se část kapalných výpustí vrací zpět do systému chladicí vody chladicích věží EDU a tvoří tak zdroj aktivity atmosférické výpusti, zejména  $^3\text{H}$ ). Model kopíruje řeku Jihlavu, vlévající se do řeky Dyje, ta dále do řeky Moravy a následně do Dunaje. Dopady kapalných výpustí jsou modelovány až po Děvínskou Novou Ves (Slovensko) na soutoku Moravy s Dunajem (ABmerit, 2016d).

Na modelování a výpočet šíření kapalných výpustí v recipientu Jihlava/Dyje/Morava mezi místem výpusti do Mohelna až po vlití do Dunaje u Děvínské Nové Vsi, se používá výpočtový model podle NRC Regulatory Guide (US NRC, 1976) v kombinaci s modelem podle Požadavků a návodů ČSKAE (1984).

Pro modelování šíření a dopadů anorganického  $^{14}\text{C}$  v kapalných výpustí z EDU do nádrže Mohelno a řeky Jihlava je vyvinutý a implementovaný (od verze ESTE AI 5.00)

výpočtový model popisující šíření anorganického uhlíku  $^{14}\text{C}$ , podle publikací S. C. Shepparda et al. (2006). Program modeluje objemovou aktivitu pro anorganický uhlík v mase ryb žijících v kontaminované řece a mimo to i v rostlinách zavlažovaných vodou odebíranou z kontaminované řeky (ABmerit, 2016d).

Všechny dopady jsou zobrazovány na mapových podkladech Geografického informačního systému (GIS) v souřadnicovém systému WGS84 UTM33, kde jsou pro jednotlivé sektory k dispozici i mapové podklady s rozložením polnohospodářské výroby vytvořené metodami dálkového průzkumu Země (aktuální data jsou z roku 2014). Mimo to program generuje tabulkové a grafické výstupy ve formě reportů, které lze jednoduše exportovat do MS Word, nebo MS Excel.

Program ESTE AI dále umožňuje editaci údajů vstupujících do výpočtů (konverzní faktory, přechodové koeficienty, faktory ozáření pro jednotlivé věkové skupiny, konstanty programu, aj.) uživatelsky dostupným způsobem. Program umožňuje automatický import vstupních údajů o výpustech a údaje o meteorologických podmínkách (hodinově měřené údaje o směru a rychlosti větru, intenzitu srážek a kategorie stability) za příslušné období (ABmerit, 2016d).

### ***1.6.2 Koncept reprezentativní osoby a vztah k ESTE AI***

Vzhledem k tomu, že dávka obyvatelstvu z provozu jaderné elektrárny nemůže být měřena přímo, a v některých případech nemůže být měřena vůbec, je potřeba zavést a definovat jedince (hypotetické či konkrétní), jejichž dávka může být použita pro určení shody s příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi. Takový koncept pochází již z roku 1965 (ICRP č. 7) a byl uvažován pro tzv. „kritickou skupinu obyvatel“. Původní koncept byl postaven na šesti věkových skupinách. Dnes se ukazuje, že *„pro prospektivní stanovení dávky obyvatelstvu není nezbytné použití těchto šesti věkových skupin, a to vzhledem k neurčitostem spojenými s takovými odhady“* (ICRP, 2006).

Nový koncept Komise ICRP (dále jen Komise) zavádí ve svém doporučení č. 101 tzv. „reprezentativní osobu“, kterou lze charakterizovat jedince, který dostává dávku reprezentativní pro nejvíce exponované jedince v populaci. Tento termín je rovnocenný

„průměrnému členu kritické skupiny“ popsanému ve dřívějších doporučeních ICRP. Koncept kritické skupiny obyvatel je dnes plně nahrazena právě reprezentativní osobou.

Identifikace reprezentativní osoby se řeší prostřednictvím modelu životního prostředí v okolí jaderného zařízení a modelových výpočtů radiačních dopadů způsobených jeho provozem<sup>5</sup>. Model a modelové výpočty radiačních dopadů mohou být kombinovány s výsledky monitorování radiačních parametrů v životním prostředí a průzkumem zvyklostí a životních návyků<sup>6</sup> obyvatel žijících v okolí jaderného zařízení.

Vzhledem k rozdílným podmínkám může být reprezentativní osoba různá pro různé výpusti do ovzduší a vodotečí a pro různé podmínky (např. meteo situace), za kterých jsou výpusti uskutečněny.

V doporučení ICRP č. 101 (2006) na straně 9 také Komise doporučuje, aby byla reprezentativní osoba definována tak, „*aby osoba náhodně vybraná z populace mohla obdržet dávku větší než reprezentativní osoba jen s pravděpodobností menší než 5 %*“.

Na straně 16 doporučení ICRP č. 101 (2006) je pak dále uvedeno, že pro odhady ročních dávek reprezentativní osobě je doporučeno použít pouze tři věkové skupiny. Pro samotnou realizaci doporučení se v praxi využijí dávkové koeficienty a také data o životních návycích pro jednotlivé věkové kategorie:

- 0–5 let, kategorie reprezentovaná kojencem ve věku 1 roku;
- 6–15 let, kategorie reprezentovaná dítětem ve věku 10 let a
- 16–70 let, kategorie reprezentovaná dospělou osobou.

---

<sup>5</sup> Pozn.: model životního prostředí v blízkém i širším okolí lokality EDU a metodologie výpočtu dopadů (implementováno ve výpočetním kódu ESTE AI) byly použity pro výpočty radiačních dopadů provozních výpustí plánovaného nového jaderného zdroje EDU v souběhu se stávajícími bloky EDU.

<sup>6</sup> Životními návyky jsou dle doporučení ICRP č. 101 míněny informace o potravě, pobytu a další charakteristiky pro odhad expozice. Je přitom důležité, že jednotlivé návyky (např. spotřeba potravin, frekvence dýchání, umístění a užití lokálních zdrojů) použité pro charakteristiku reprezentativního jedince jsou typické návyky malého počtu nejvíce exponovaných jedinců, a nikoliv extrémní návyky jediného člena populace (ICRP, 2006).

V této práci byla použita verze programu ESTE AI EDU, která využívá starší koncept rozdělení věku jednotlivce z kritické skupiny (ABmerit, 2016d):

- 0–1 rok,
- 1–2 roky,
- 2–7 let,
- 7–12 let,
- 12–17 let a
- více než 17 let.

Výše uvedené kategorie plně odpovídají vyhlášce č. 307/2002 Sb.<sup>7</sup> – **pro výpočty byly použity věkové skupiny, se kterými pracuje ESTE AI, ale které zároveň odpovídají věku reprezentativní osoby podle ICRP č. 101 (2006).**

Jde o tyto věkové skupiny:

- 1–2 roky, pro dítě věku 1 rok;
- 7–12 let, pro dítě věku 10 let a
- kategorie 17 a více let, pro dospělou osobu.

### ***1.6.3 Obecný postup při stanovení odhadu ozáření reprezentativní osoby***

Výchozím údajem jsou informace o zdroji, zahrnující množství a druhy radionuklidů uvolňovaných do životního prostředí. Dále je nutné stanovit obsahy radionuklidů ve složkách životního prostředí, a to přímým měřením nebo použitím vhodného modelu šíření radionuklidů, s uvážením všech parametrů ovlivňujících šíření, zejména meteorologické nebo hydrologické situace v okolí zdroje. V úvahu je nutné vzít i možné narůstání obsahu radionuklidů s dlouhým poločasem přeměny v životním prostředí, a to za předpokládanou dobu provozu zdroje (ICRP, 2006).

---

<sup>7</sup> Pozn.: v aktuální verzi ESTE AI (v. 5.01) jsou využívány starší parametry vyplývající z vyhlášky 307/2002 Sb., parametry dle nové vyhlášky č. 422/2016 Sb. budou zohledněny až v některé z novějších verzí ESTE AI.

Příjem radionuklidů konkrétní expoziční cestou se pak stanovuje na základě znalosti obsahu radionuklidů ve složkách životního prostředí a údajů o životních návycích, zahrnujících informace o lokalitě, stravovacích návycích a životním stylu, při respektování fyziologických faktorů, zejména pak věku. Životní návyky by měly charakterizovat skupinu nejvíce ozařovaných osob a nikoliv jedince s extrémními návyky. Nelze-li údaje o životních návycích získat přímo o místní populaci, použijí se údaje z příslušných regionálních nebo celostátních statistik, pro množství vdechovaného vzduchu a požití vody se použijí údaje z § 67 odst. 2, resp. odst. 3 VRO (vyhláška č. 422/2016 Sb.). Přepočet aktivit přijatých radionuklidů na roční úvazek efektivní dávky se provede pomocí věkově závislých dávkových koeficientů (tzv. konverzních faktorů), které jsou uvedeny v přílohové části VRO. V Příloze G je uvedena souhrnná tabulka uvádějící hodnoty pro výše uvedené parametry. Při odhadu dávky reprezentativní osobě se též zohlední efektivní dávka z vnějšího ozáření. Celkovou dávku reprezentativní osobě za rok pak představuje součet efektivní dávky z vnějšího ozáření a ročního úvazku efektivní dávky z příjmu radionuklidů. Při průkazu shody roční dávky reprezentativní osobě s dávkovými optimalizačními mezemi se roční dávka reprezentativní osobě stanovuje pro tři výše uvedené věkové kategorie (ICRP, 2006).

#### ***1.6.4 Předpoklady výpočtu dávek na reprezentativní osobu***

Jak již bylo řečeno, ozáření reprezentativní osoby je způsobeno přítomností vypouštěných radionuklidů v jejím okolí. V této kapitole jsou popsány cesty ozáření, které aplikace ESTE AI bere v úvahu.

Obdrženou dávku lze uvažovat těmito cestami:

- A) přítomnost radionuklidů v ovzduší, do něhož pronikly výpustí do ovzduší:
- externí ozáření;
  - interní ozáření (inhalace);
- B) radionuklidy nacházejícími se ve spadu (depozitu) na terénu nebo půdě:
- externí ozáření;
  - interní ozáření ingescí potravin, do nichž pronikly radionuklidy z okolní půdy kořenovým systémem nebo přes jejich listový systém;

C) přítomností radionuklidů ve vodě, do které pronikly výpustí do vodotečí:

- příjmem pitné vody;
- konzumací rybího masa z řeky;
- ingescí dalších potravin, které byly ve vegetačním období zavlažovány vodou z řeky;
- ingescí mléka krav, které byly napájeny vodou z řeky a
- pobyt na břehu řeky (rybáři), plavání a veslování na řece.

Při výpočtu dávek na reprezentativní osobu jsou ve vztahu k uvedeným expozičním cestám aplikovány parametry uvedené níže (pozn.: jde pouze o výběr pro účely této diplomové práce).

Interní ozáření inhalací kontaminovaného vzduchu: reprezentativní osoba všechnu spotřebu vzduchu realizuje v daném místě (v místě svého bydliště); rychlost dýchání je pro jednotlivé věkové kategorie dána vyhláškou č. 307/2007 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších právních předpisů.

Ozáření z mraku a z deponie na terénu: pro volný terén není aplikováno žádné stínění (stínící faktor = 1). Pro výpočet dávek z externího ozáření z deponie: spad na terénu způsobený výpustí ve sledovaném období (zde 1 rok) způsobuje externí ozáření od terénu ještě dalších 15 let (ABmerit, 2016d; Sheppard, 2006).

Pro výpočet dávek z ingesce potravin nebo z inhalace vzduchu reprezentativní osobou je stanoven 50letý nebo 70letý úvazek efektivní dávky (dle věkové kategorie). Podobně jako v předchozím případě se u ingesce předpokládá, že spad daného nuklidu realizován v daném roce je kořenovým systémem rostlin přijímán ještě dalších 15 let. V potaz se samozřejmě bere radioaktivní přeměna daného radionuklidu, dále efektivní poločas odstraňování nuklidu z rostliny, efektivní plošná hustota půdy, čas mezi sklizní a ingescí, a časové období, kdy rostlina roste (ABmerit, 2016d).

Reprezentativní osoba všechnu spotřebu pitné vody realizuje ze studny nebo vodního zdroje, do kterého prosakuje voda z řeky – aplikuje se jen v případě, jedná-li se o obec, jejíž katastr leží na břehu řeky (ABmerit, 2016d).

V Příloze H je uveden kompletní soupis uvažovaných cest ozáření a v Příloze I je grafické vyobrazení těchto cest.

## 2 Cíl práce a výzkumná otázka

### 2.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je za pomoci dostupných informací a aplikace ESTE AI odhadnout vliv výpustí do životního prostředí ze stávajících bloků a plánovaného nového jaderného zdroje v lokalitě EDU a navrhnout optimální strategii likvidace tritia  $^3\text{H}$ , které se majoritně podílí na ozáření obyvatel z kapalných výpustí.

### 2.2 Výzkumná otázka

K naplnění cíle této diplomové práce je třeba položit výzkumnou otázku:

- **Jaké dopady na obyvatelstvo, resp. reprezentativní osobu, budou mít výpusti Jaderné elektrárny Dukovany po plánované dostavbě nového jaderného zdroje, zejména pak ve vztahu k výpustem tritia  $^3\text{H}$  do vodoteče a jakými opatřeními lze takovéto výpusti optimalizovat ve vztahu k míře ozáření obyvatel?**

Pomocí takto stanovené výzkumné otázky získáme ucelený pohled na vlivy dostavby EDU na obyvatelstvo a také způsobem, jakým se lze vypořádat s vypouštěnými produkty, zejména ve vztahu k dávkovým optimalizačním mezím, autorizovaným a vodohospodářským limitům.



### 3 Metodika

Teoretická část této práce byla provedena formou rešerše dostupné literatury. Zejména šlo o rozbor platných právních předpisů, jakými jsou zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, vše ve znění pozdějších právních předpisů, a také směrnice Rady EU 2013/51/Euratom ze dne 22.10.2013, kterou se stanoví požadavky na ochranu zdraví obyvatelstva, pokud jde o radioaktivní látky ve vodě určené k lidské spotřebě, z níž vyplývá uvedené Nařízení vlády. Dále byla také provedena analýza aktuálních doporučení komise ICRP – na základě těchto informací byly v kapitole 1.6.2 stanoveny jednotlivé věkové kategorie reprezentativní osoby, které byly použity pro následné výpočty.

Pro praktickou část bylo nejprve nutné získat relevantní data, jak k současnému stavu EDU (viz kapitola 4.1), tak i informace k dostavbě nového jaderného zdroje v uvedené lokalitě (kapitola 4.2).

Data historických výpustí EDU byla jednak získána z výročních zpráv ČEZ, a.s., a jednak byly využity veřejně dostupné webové stránky RADD (Evropská komise, 2017). Získaná data byla rozdělena do jednotlivých let a podle druhu výpusti (do vodoteče a do ovzduší).

Vzhledem k velkému množství, a tím i velkému časovému požadavku na vkládání dat do aplikace ESTE AI, byla provedena analýza kritických radionuklidů, nejvíce se podílejících na ozáření obyvatelstva – postup výběru kritických radionuklidů a výsledek je uveden v kapitole 4.1.1. Pro ověření, zda nebyl tímto výběrem podceněn vliv ostatních radionuklidů na celkové efektivní dávce z výpusti do vodoteče, byl proveden výpočet pro kompletní zdrojový člen nového jaderného zdroje v nejvyšší uvažované variantě (2 x 1 200 MW<sub>e</sub>). Výpust do ovzduší byla zanedbána díky několika řádově vyšší výpustí <sup>3</sup>H do vodoteče, velikosti konverzního faktoru a faktu, že je z dlouhodobého hlediska minimálně čerpán autorizovaný limit pro výpust do ovzduší. Postupy a podmínky byly stejné jako u ostatních výpočtů, není proto potřeba uvádět dílčí výsledky. Souhrnné výsledky jsou uvedeny v kapitole 4.5.

Další důležitou informací pro praktickou část byl výsledek analýzy meteorologických podmínek v lokalitě EDU. Jak je uvedeno v kapitole 4.1.2, nelze jednoduše provést průměrování meteorologické situace, a bylo tedy potřeba vybrat konkrétní rok (resp. roky), které se přibližují dlouhodobému průměru, a zároveň jsou k dispozici v kompletní formě. Analýza meteorologických dat byla zaměřena zejména na směry a rychlosti větru, množství srážek a kategorii vertikální stability atmosféry.

Vedle meteorologické situace byly posouzeny i průtoky ve vodním toku (řeka Jihlava a vodní nádrž Mohelno), do kterého ústí kapalně vypusti EDU. Cíl této analýzy byl směřován k vodohospodářským limitům uvedených v kapitole 1.4.2. Důvodem posouzení bylo zejména možné ovlivnění vodního toku v případě dlouhodobého sucha, a s ním i související vliv na velikost roční efektivní dávky obyvatelstva z ingesce pitné vody, která je kapalnými výpustmi EDU do jisté míry ovlivňována.

V následující kapitole (4.2) pak byly zhodnoceny jednotlivé varianty nového jaderného zdroje, a to na základě předpokládaných výpustí do ovzduší a vodoteče. Kritériem byla nejvyšší výpust a nejvyšší výkonová varianta. Podkladem byla data získaná v rámci jednání SÚJB a ČEZ, a.s., oznamovací zpráva ČEZ, a.s., a také informace poskytnuté slovenskou firmou ABmerit, která se taktéž zabývá vlivem provozu nového jaderného zdroje na životní prostředí.

V tomto místě práce je také nutné upozornit na fakt, že stávající bloky EDU postupně „dožívají“ a není jisté, zda budou ještě v provozu po dostavbě nového jaderného zdroje. Pro účely této práce **byl uvažován souběžný provoz stávajících i nových bloků** (viz kapitola 4.5). V Příloze J je pro ilustraci vyobrazen předpokládaný časový harmonogram vyřazování stávajících bloků EDU a předpoklad dostavby nového jaderného zdroje.

Závěrečný popis výsledků, vyhodnocení a podrobnosti k doporučením likvidace  $^3\text{H}$  bylo podrobně rozebráno v kapitolách 4.5, 4.6, resp. 5 – diskuze.

### 3.1 Postup použití programu ESTE AI

V této kapitole jsou uvedeny postupy při aplikaci výše získaných dat. Jak již bylo řečeno, výpočty dopadů běžných výpustí byly provedeny v systému ESTE AI. Níže jsou popsány kroky, které bylo nutné provést před samotným zhodnocením výsledků.

1. Pro roky 2013 až 2016, pro které byla k dispozici kompletní meteorologická situace, byla nalezena reprezentativní osoba a pro ni stanoveny průměrné konverzní faktory pro výpusti  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  do ovzduší, alternativně pro výpusti ventilačním komínem a chladicími věžemi (dále jen ChV). Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.6.2, byl v souladu s požadavky Přílohy č. 5 k vyhlášce VRO (vyhláška č. 422/2016 Sb.) reprezentativní osobou jedinec stáří 1 roku, 10 let nebo dospělý jedinec, podle toho, pro kterého z uvedených byla nalezena nejvyšší hodnota průměrného konverzního faktoru.
2. Pro zaručený minimální průtok pod hrází Mohelno ( $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) byla nalezena reprezentativní osoba a pro ni stanoveny konverzní faktory pro výpust  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  do vodoteče.
3. V posledním kroku, pro historicky největší výpust  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  stávajících bloků EDU a pro předpokládanou největší výpust  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  nového jaderného zdroje, bylo stanoveno ozáření reprezentativní osoby.

#### ***3.1.1 Stanovení průměrných konverzních faktorů pro výpusti $^3\text{H}$ a $^{14}\text{C}$ do ovzduší***

Pro stanovení průměrných konverzních faktorů bylo nejprve potřeba zjistit konverzi pro radionuklidy vybrané v kapitole 4.1.1, tedy pro radionuklidy  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$ , a tím stanovit převod aktivity na dávku pro reprezentativní osobu (konverze Sv/Bq). Vzhledem k velikosti každoroční výpusti uvedených radionuklidů, které se pohybují v řádu TBq ( $10^{12}$  Bq), byla zvolena konverze Sv/1 TBq, resp.  $\mu\text{Sv}/1 \text{ TBq}$ . To znamená, že byl roční zdrojový člen připraven jako balík aktivity 1 TBq vypuštěný během celého roku.

Pro zadání do aplikace ESTE AI byla celková roční aktivita  $^3\text{H}$  rovnoměrně rozdělena do 12 měsíců, tzn.  $1 \text{ TBq} / 12 = 0,083 \text{ TBq}$  za jednotlivý kalendářní měsíc.

Celková roční aktivita 1 TBq radioaktivního uhlíku  $^{14}\text{C}$ , který je zastoupen ve výpusti z 95 % v organické a z 5 % v anorganické formě (viz kapitola 1.3.4), byla rozdělena v uvedeném poměru, tedy 0,95 TBq  $^{14}\text{C}_{\text{org.}}$  a 0,05 TBq  $^{14}\text{C}_{\text{anorg.}}$ , a následně byla opět rozdělena do 12 měsíců (tj. 12 porcí  $^{14}\text{C}_{\text{org.}}$  po 0,0792 TBq, resp. 12 porcí  $^{14}\text{C}_{\text{anorg.}}$  po 0,0042 TBq).

Uvedené množství aktivity bylo jednotlivě vloženo do ESTE AI, k němu byla přiřazena reálná meteo situace z let 2013 – 2016 (viz kapitola 4.1.2), načtena statistická data pro příslušné roky (kap. 4.1.4) a následně byl spuštěn výpočet.

Díličí výsledky výpočtů dávek pro jednotlivé věkové kategorie jsou uvedeny v kapitole 4.3, souhrnné výsledky pak v kapitole 4.4.

### ***3.1.2 Stanovení průměrných konverzních faktorů pro výpust $^3\text{H}$ a $^{14}\text{C}$ do vodoteče***

V případě výpustí do vodoteče byl postup stejný jako v kapitole 3.3.1, tzn., bylo vypuštěno 12 porcí tritia  $^3\text{H}$  s aktivitou 0,083 TBq.

Rozdíl byl jen v případě kapalně výpusti  $^{14}\text{C}$ , kde byl použit balík pouze s anorganickým uhlíkem ( $^{14}\text{C}_{\text{anorg.}}$ ), a to vzhledem k nerozpustnosti  $^{14}\text{C}_{\text{org.}}$  ve vodě. Aby byla možná konverze Sv/1 TBq, bylo vypuštěno 12 porcí uhlíku  $^{14}\text{C}_{\text{anorg.}}$  o aktivitě 0,083 TBq – jde tedy o výpust 1 TBq uhlíku  $^{14}\text{C}_{\text{anorg.}}$  vypuštěného během dvanácti měsíců.

Po vložení jednotlivých porcí aktivity  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  byl aplikován zaručený průtok  $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  v řece Jihlava pod hrází Mohelno a dále statistická data pro příslušné roky.

Jednotlivé výstupy z aplikace ESTE AI pro tento bod jsou opět uvedeny v kapitole 4.3 a souhrn je v kapitole 4.4.

### ***3.1.3 Stanovení ozáření reprezentativní osoby a porovnání s legislativními požadavky***

Na základě volby výpustí pro současné bloky EDU a pro nový jaderný zdroj (z bodů 4.1.1 a 4.2) byly sestaveny tabulky 17 a 18 pro výpusti do ovzduší a do vodoteče (viz kap. 4.5). V nich byly aplikovány příslušné konverzní faktory získané z výpočtů provedených způsobem podle kapitol 3.1.1 a 3.1.2. Po získání výsledků bylo v poslední řadě nutné porovnat hodnoty s legislativními požadavky z kapitoly 1.4. Tomu se věnují kapitoly 4.5 a 4.6.

## 4 Výsledky

V úvodní části této kapitoly jsou uvedena základní data, která byla použita pro následné výpočty. První část je rozčleněna na tři podkapitoly, které uvádějí kolekce dat pro současný stav EDU, data k plánovaným blokům EDU a postupy pro stanovení konverzních faktorů, dávek, atd. Druhá část této velké kapitoly je věnována samotným výsledkům.

### 4.1 Jaderná elektrárna Dukovany

Pro vykreslení současného stavu výpustí EDU je nejprve nutné uvést několik historických dat, trendů, atp. Pro přehlednost jsou jednotlivá data rozdělena na příslušné okruhy – výpusti, meteo situace, průtoky ve vodních tocích, atd. Data z uvedených podkapitol byla následně využita pro příslušné výpočty.

#### 4.1.1 Výpusti stávajících bloků EDU

Jak již bylo uvedeno, EDU je v provozu více než třicet let. Z dat, která byla získána z ročních zpráv o radiační situaci v okolí EDU, vydávané společností ČEZ, a.s. (Zprávy ČEZ, 2013 – 2017) a částečně i databáze RADD (Evropská komise, 2017), byla nejprve vybrána data za roky 1990 až 2016, tedy období pokrývající více než 2/3 doby provozu EDU. Bohužel došlo v roce 2002 ke změně udávání hodnot aktivity výpustí (do vodoteče) – do roku 2001 byly dodávány hodnoty naměřené a hodnoty včetně MDA, od roku 2002 jsou dodávány pouze hodnoty nad MDA. Soubor pro následnou analýzu dat byl tedy zúžen na data z období 2004 až 2016, kde se vyskytují jen hodnoty naměřené, tedy vyšší než MDA. Pro zajímavost a představu o velikosti jednotlivých ročních výpustí EDU jsou v souhrnné tabulce v Příloze K uvedeny celkové výpusti za období 1990 – 2016.

Vzhledem k velkému množství vypouštěných radionuklidů byla provedena analýza kritických radionuklidů, tedy těch, které největší měrou přispívají k ozáření obyvatelstva. Kritérium pro výběr zásadních radionuklidů byl roční podíl na dávce obyvatelstvu. Pro tento účel byly dávky od jednotlivých radionuklidů získány

vynásobením aktivity radionuklidu v roční výpusti a příslušného konzervativního konverzního faktoru  $h$ . Ty jsou dány rozhodnutím SÚJB (2007a a 2007b), jak již bylo zmíněno v kapitole 1.4.1. V Příloze L jsou uvedeny výsledky výpočtů dávek. Je patrné, že **nejvýrazněji se podílí na ozáření obyvatelstva radioaktivní uhlík  $^{14}\text{C}$  v případě výpustí do ovzduší a tritium  $^3\text{H}$  s největším podílem na dávce z kapalných výpustí.**

V letech 2004 – 2016 se  $^{14}\text{C}$  podílel na dávce z výpustí do ovzduší zhruba z 93 % (roční dávka se pohybuje v řádu desetin  $\mu\text{Sv}$  a v uvedeném období byl průměr 0,137  $\mu\text{Sv}$ ), a na dávce z výpustí do vodoteče  $^3\text{H}$ , které má podíl více než 95 % (tj. v řádu jednotek  $\mu\text{Sv}$  za rok, průměr za uvedené období je 1,81  $\mu\text{Sv}$ ). Tabulky 1 a 2 uvádí hodnoty výpustí pro  $^{14}\text{C}$  a  $^3\text{H}$  a efektivních dávek stanovených dle výše uvedeného postupu (žlutě jsou podbarveny nejvyšší hodnoty pro příslušný radionuklid a rok výpustí).

Tabulka 1: Výpust EDU do ovzduší –  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  (Evropská komise, 2017)

EDU DO OVZDUŠÍ	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
H-3 (Bq)	8,13E+11	7,95E+11	6,71E+11	5,62E+11	5,70E+11	5,61E+11	7,10E+11	7,27E+11	9,41E+11	9,55E+11	9,45E+11	7,73E+11	8,64E+11
C-14 (Bq)	8,04E+11	7,99E+11	7,44E+11	5,81E+11	6,86E+11	7,51E+11	6,69E+11	7,52E+11	7,50E+11	7,91E+11	6,86E+11	7,38E+11	5,77E+11
E H-3 (Sv)	4,23E-10	4,13E-10	3,49E-10	2,92E-10	2,97E-10	2,92E-10	3,69E-10	3,78E-10	4,89E-10	4,97E-10	4,91E-10	4,02E-10	4,49E-10
E C-14 (Sv)	1,55E-07	1,54E-07	1,44E-07	1,12E-07	1,32E-07	1,45E-07	1,29E-07	1,45E-07	1,45E-07	1,53E-07	1,32E-07	1,42E-07	1,11E-07

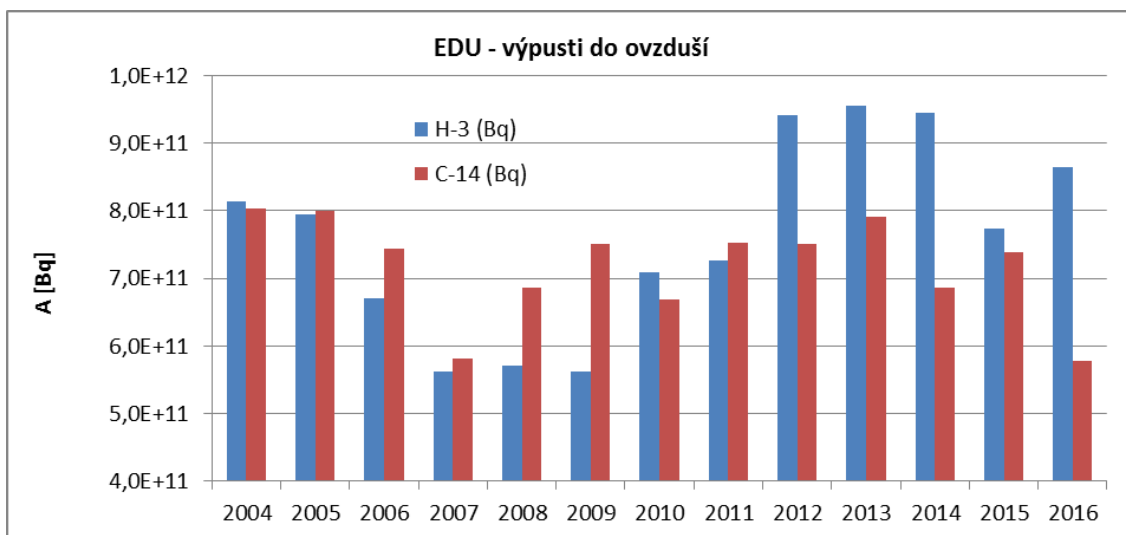
Tabulka 2: Výpust EDU do vodoteče –  $^3\text{H}$  (Evropská komise, 2017)

EDU DO VOD	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
H-3 (Bq)	1,53E+13	1,39E+13	1,44E+13	1,30E+13	1,29E+13	1,35E+13	1,59E+13	1,49E+13	1,39E+13	1,53E+13	2,04E+13	1,78E+13	1,04E+13
E H-3 (Sv)	1,88E-06	1,71E-06	1,77E-06	1,60E-06	1,59E-06	1,66E-06	1,96E-06	1,83E-06	1,71E-06	1,88E-06	2,51E-06	2,19E-06	1,28E-06

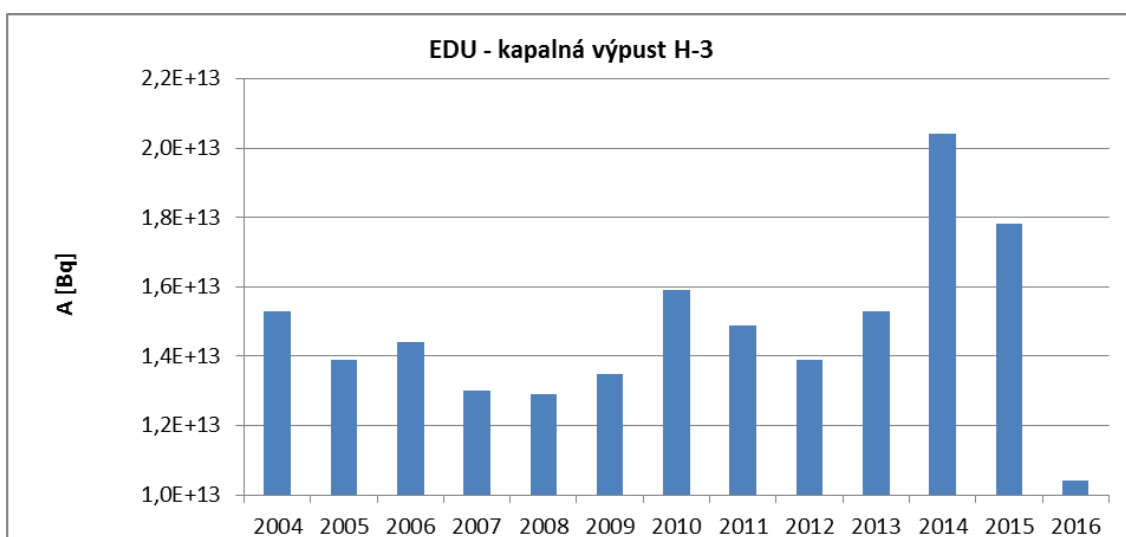
*Poznámka k tabulce 1 a 2: konzervativní konverzní faktory jsou dány rozhodnutím SÚJB (viz kapitola 1.4.1) – pro  $^3\text{H}$  v tabulce 1 je konverze 5,2E-22 Sv/Bq a pro  $^{14}\text{C}$  je 1,93E-19 Sv/Bq, a pro  $^3\text{H}$  je konverze 1,23E-19 Sv/Bq v případě tabulky 2.*

Jak je patrné z tabulek 1 a 2, nejvyšší výpust tritia  $^3\text{H}$  byla v roce 2013 v případě výpustí do ovzduší (9,55E+11 Bq) a v roce 2014 v případě kapalných výpustí (2,04E+13 Bq). Výpust uhlíku  $^{14}\text{C}$ , která se stanovovala pouze pro výpust do ovzduší, byla nejvyšší v roce 2004 (8,04E+11 Bq). Pro názornost byly hodnoty z výše uvedených tabulek vyneseny do grafu (obrázek 3 a 4).

Pro další výpočty a stanovení výsledků byly použity tyto nejvyšší hodnoty.



Obrázek 3: Výpusti do ovzduší (Evropská komise, 2017)



Obrázek 4: Kapalné výpusti (Evropská komise, 2017)

#### 4.1.2 Meteorologická data

Každoroční variace počasí v lokalitě EDU způsobuje, že dávky reprezentativní osobě z výpustí do ovzduší se mohou rok od roku měnit. Nelze bohužel jednoduše stanovit průměrnou hodnotu. To lze například u směru větru, srážek a rychlosti větru, nelze však už průměrovat kategorie vertikální stability atmosféry. Meteorologická data byla získána jednak z předprovozní bezpečnostní zprávy ČEZ – EDU (ČEZ, 2016c a 2016d),



dále z exportů aplikace RDEDU (poskytnutých ČEZ, a.s. SÚJB) a jednak od SÚJB, kterému je pravidelně předává Český hydrometeorologický ústav. Následující odstavce obsahují posouzení historických dat o meteorologické situaci v lokalitě EDU. Na jejich základě byly vybrány příslušné meteorologické podmínky pro účely výpočtů v ESTE AI.

### *Směr větru*

Pro účel stanovení kritického sektoru, kde je dávka reprezentativní osobě nejvyšší, byla sestavena tabulka 3, obsahující kolekci meteorologické situace z let 2000 až 2012. Data jsou rozdělena podle směru větru a sektorů v okolí EDU.

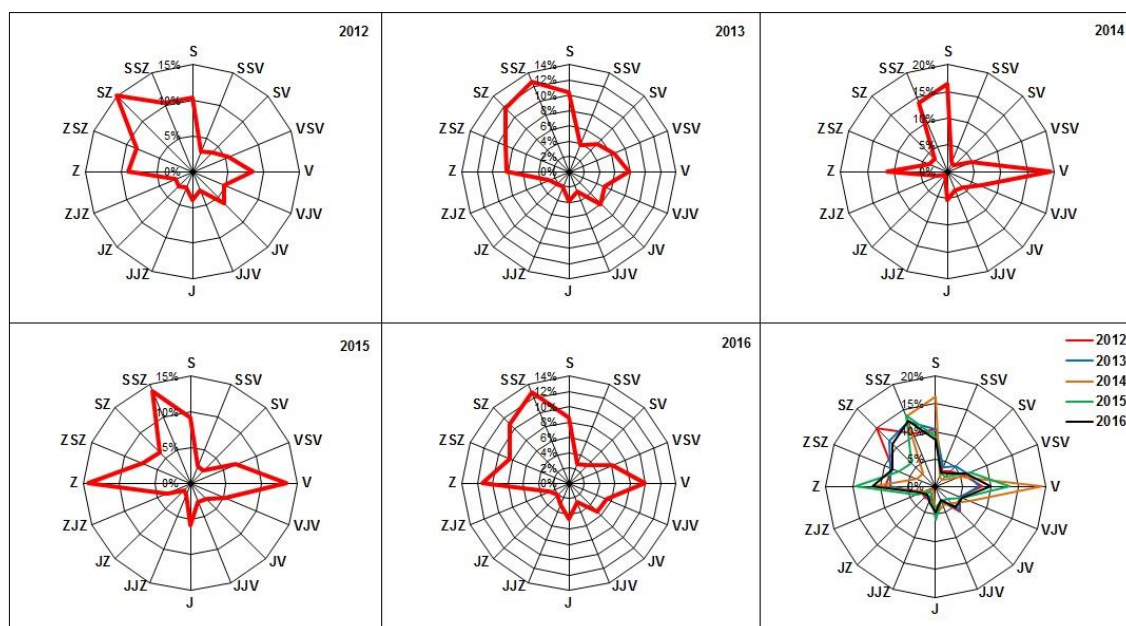
Tabulka 3: Průměrné zastoupení směrů větru v letech 2000 – 2012 (ČEZ, 2016c, díl 2.4. Tab. 18)

Kategorie A-F	Třída rychlosti větru												Celkem
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
N	0,021	0,67	1,512	1,477	1,275	1,602	0,453	0,145	0,002	0	0	0	7,156
NNE	0,017	0,52	0,801	0,595	0,478	0,519	0,12	0,023	0	0	0	0	3,073
NE	0,023	0,557	1,042	1,042	0,915	1,095	0,28	0,043	0	0	0	0	4,998
ENE	0,019	0,525	1,18	1,492	1,523	1,426	0,092	0,006	0	0	0	0	6,261
E	0,02	0,487	1,221	1,586	1,89	1,617	0,074	0,001	0	0	0	0	6,896
ESE	0,01	0,345	0,751	0,909	1,214	2,438	0,875	0,138	0,001	0	0	0	6,681
SE	0,012	0,289	0,571	0,639	0,852	1,986	1,443	0,808	0,012	0	0	0	6,614
SSE	0,007	0,277	0,6	0,634	0,452	0,402	0,141	0,058	0,001	0	0	0	2,573
S	0,011	0,31	0,675	0,68	0,545	0,525	0,107	0,013	0	0	0	0	2,867
SSW	0,008	0,293	0,625	0,711	0,531	0,372	0,075	0,009	0	0	0	0	2,624
SW	0,014	0,377	0,806	0,86	0,655	0,755	0,179	0,069	0,002	0	0	0	3,717
WSW	0,007	0,29	0,614	0,689	0,56	0,798	0,386	0,206	0,021	0	0	0	3,572
W	0,014	0,319	0,793	1,151	1,059	1,857	1,259	0,906	0,082	0,006	0	0	7,446
WNW	0,01	0,342	0,806	1,287	1,186	1,676	1,199	0,764	0,097	0,004	0,001	0	7,373
NW	0,02	0,539	1,586	2,693	2,861	4,658	2,758	1,465	0,078	0,002	0	0	16,66
NNW	0,018	0,567	1,413	1,912	2,072	3,384	1,593	0,513	0,016	0	0	0	11,488
<b>Celkem</b>	0,232	6,707	14,996	18,357	18,067	25,112	11,034	5,17	0,312	0,012	0,001	0	100

Z tabulky 3 je patrné, že převažuje severozápadní a severo-severozápadní směr větru.

Pokud se dále podíváme na větrné růžice uvedené na obrázku 5, vidíme, že i v posledních letech tento trend přetrvává. Mírně se liší pouze roky 2014 a 2015, rok 2016 opět odpovídá průměrným hodnotám. Pro výpočty ESTE AI se tedy jeví léta 2012 – 2016 jako použitelná, odpovídající dlouhodobým průměrným hodnotám a zároveň jsou k dispozici v kompletní formě.

V Příloze M je detail větrné růžice srovnávající roky 2012 – 2016.



Obrázek 5: Směr větru – větrná růžice (ČEZ, export aplikace RDEDU)

### ***Srážky a rychlost větru***

V tabulce 4 a 5 vidíme hodinové průměrné hodnoty rychlosti větru v lokalitě EDU a roční úhrny srážek zprůměrované na jednu hodinu. Jak již bylo zmíněno výše, meteorologická situace se výrazněji lišila pouze v roce 2014 a 2015, ostatní roky odpovídají dlouhodobým průměrům. V Příloze N je uvedena tabulka měsíčních úhrnů srážek za roky 1985 – 2012 a v Příloze O je uvedena tabulka střední rychlosti větru v závislosti na třídě stability. Vyšší extremita byla pouze v případě ročního úhrnu srážek v roce 2015, ostatní roky jsou na úrovni historických průměrů (ČEZ, export RDEDU).

Tabulka 4: Průměrné hodnoty srážek během let 2013 – 2016 (ČEZ, export RDEDU)

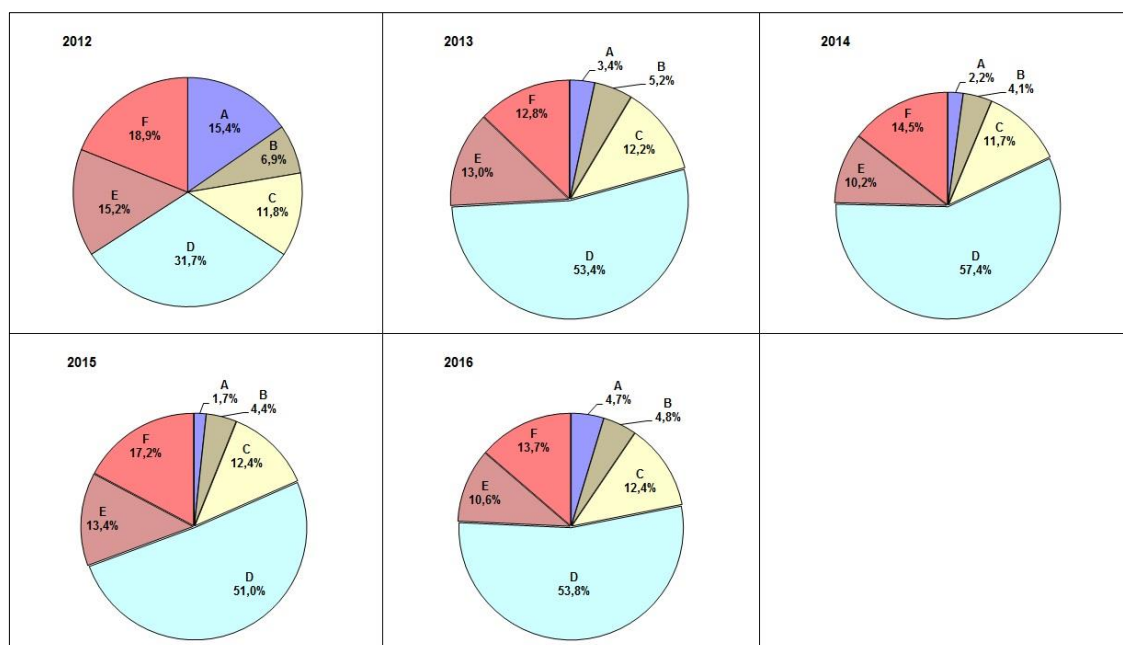
<b>Srážky</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Průměr</b>
Měsíční průměr	40,6	42,5	29,3	35,6	37,0
Celkem za rok	486,8	509,6	351,0	426,8	443,6

Tabulka 5: Průměrné hodnoty rychlosti větru během let 2013 – 2016 (ČEZ, export RDEDU)

Rychlost větru	2013	2014	2015	2016	Průměr
Průměr	4,47	4,53	4,64	4,26	4,48
Maximum	24,60	21,60	21,70	24,70	23,15

### *Kategorie stability*

V případě vertikální stability atmosféry je patrné, že převažuje kategorie D, o něco méně je pak zastoupena kategorie F. Rok 2012 se menším zastoupením kategorie D výrazněji liší od ostatních, proto nebyl uvažován a byla využita jen meteo situace z let 2013 – 2016 (stejně jako v případě směru větru). Kategorie D byla během let 2013 – 2016 průměrně zastoupena z 53,9 % a kategorie F z 14,55 %. Na obrázku 6 je zobrazeno zastoupení jednotlivých kategorií vertikální stability atmosféry a v Příloze P je tabulka relativního zastoupení jednotlivých kategorií během let 2004 – 2012. Jak je patrné, v průměru převažuje kategorie D (ČEZ, export RDEDU).



Obrázek 6: Zastoupení kategorií stability za roky 2012 – 2016 (ČEZ, export RDEDU)

Vzhledem k výše uvedeným údajům **byly pro výpočty nejvhodnější data za poslední 4 roky, tedy léta 2013 – 2016**, kdy nedošlo k výraznějším změnám meteorologické situace oproti dlouhodobému průměru.

#### **4.1.3 Data průtoků ve sledovaném recipientu**

Údaje o průtocích v recipientu pochází od Českého hydrometeorologického ústavu, který v ČR sleduje stav vodních toků. EDU se z vodohospodářského hlediska nachází v hydrologickém povodí č. 4-16-01-104, které je odvodňováno řekou Jihlavou. Odtok z povodí Jihlavy postupně probíhá řekou Dyjí, Moravou a následně Dunajem do Černého moře.

V těsné blízkosti EDU je na řece Jihlavě (severním směrem) vodní nádrž Dalešice, která sestává z horní nádrže Dalešice a z dolní vyrovnávací nádrže Mohelno. Odběr vody pro jadernou elektrárnu je uskutečněn ze spodní nádrže Mohelno, do které jsou současně vypouštěny i odpadní vody. Průtoky řeky Jihlavy nedoznávají v současné době významných změn, i když lze konstatovat, že mají průměrné průtoky dlouhodobě klesající trend (ČEZ, 2016d). V tabulce 6 jsou uvedeny průměrné průtoky řeky Jihlavy v profilu Mohelno v letech 2012 – 2016. V Příloze Q je kompletní tabulka průtoků za roky 1990 – 2013.

Tabulka 6: Průtoky řeky Jihlavy v letech 2012 – 2016 (Zprávy ČEZ, 2013 – 2017)

<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>průměr</b>	<b>jednotka</b>
3,32	5,57	3,21	3,48	3,05	3,726	m <sup>3</sup> /s

Pro průtok v profilu řeky Jihlavy pod vodní nádrží Mohelno je dán minimální zaručený (či zabezpečený) průtok  $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . V tabulce 7 jsou uvedeny další hodnoty průtoků, včetně historického minima. Zde je vidět, že průměrné hodnoty za posledních pět let jsou výrazně výše, než je zabezpečený průtok (dlouhodobý průměrný průtok je dokonce  $5,35 \text{ m}^3/\text{s}$ ). **Pro výpočty v aplikaci ESTE AI byl použit minimální zabezpečený průtok  $Q_{(zab)}$ , tzn., že jde o „nejsušší“ variantu.**

Tabulka 7: Průtoky řeky Jihlavy (ABmerit, 2016a)

Zabezpečený průtok	Minimální průtok	Průtok s pravděpodobností překročení 95 %	Průtok s pravděpodobností překročení 90 %	Dlouhodobý průměrný průtok
$Q_{(zab)}$	$Q_{(min)}$	$Q_{(95\%)}$	$Q_{(90\%)}$	$Q_{(průměr)}$
$m^3/s$				
1,2	1,7	2,13	2,67	5,35

Vysvětlivky k tabulce 7:

$Q_{(min)}$  – minimální průměrný roční průtok z 80 leté historie měření na řece Jihlavě

$Q_{(95\%)}$  – 95% percentil je průtok, který je ročně v průměru zabezpečen v 95 % případech

$Q_{(90\%)}$  – 90% percentil je průtok, který je ročně v průměru zabezpečen v 90 % případech

#### 4.1.4 Statistická data

Statistická (demografická) data použitá přímo v aplikaci ESTE AI jsou z příslušných let, pokud takové informace byly v aktuálním roce k dispozici u Českého statistického úřadu. V opačném případě byly použity poslední informace z předchozích let. V aplikaci ESTE AI jsou v současné verzi 5.01 statistická data za roky 2012 (využity pro výpočty pro rok 2013), 2014 (využity pro rok 2014) a 2015 (použité pro rok 2015 a 2016).

#### 4.2 Nový jaderný zdroj

Informace o předpokládaném novém jaderném zdroji EDU jsou částečně k dispozici v oznamovací zprávě ČEZ, a.s. (ČEZ, 2016b), a částečně u slovenské společnosti ABmerit (2016a), která se věnuje především vlivům provozu budoucích bloků EDU na životní prostředí.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.5, existuje několik různých výkonových variant. Z oznamovací zprávy ČEZ, a.s. vyplývá, že nejvyšší výkonová varianta je zvažována varianta 2 x 1 200 MW<sub>e</sub>.

Z dokumentace k EIA (ČEZ, 2016a) byly tedy vybrány všechny zdroje k této výkonové variantě – přehled předpokládaných výpusť jednotlivých variant je v Příloze R. Vzhledem k tomu, že byl v kapitole 4.1.1 zúžen zdrojový člen pouze na nejvíce kritické

radionuklidy, jsou v tabulce 8 uvedeny pouze hodnoty nejvyšších výpustí  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  do vodoteče a ovzduší – jedná se o tři typy reaktorů – AP1000, ACP1000 a MIR1200. Vybrány byly právě tyto tři typy, a to vzhledem k tomu, že každý z nich má, oproti ostatním modelům, alespoň jednu hodnotu výpusti nejvyšší. Hodnoty předpokládané výpusti aktivity  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  uvedené v tabulce 8 byly použity pro výpočty ve vztahu k dodržování limitních hodnot a pro zodpovězení výzkumné otázky.

Tabulka 8: Předpokládané výpusti  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  z nového jaderného zdroje (ČEZ, 2016a)

jednotka	Bq		
	nuklid	výpusť do	
ovzduší		vodoteče	
$^3\text{H}$	1,30E+13	9,18E+13	1,05E+14
$^{14}\text{C}_{\text{org.}}$	1,03E+12	0,00E+00	1,03E+12
$^{14}\text{C}_{\text{anorg.}}$	2,58E+11	5,64E+10	3,14E+11
$^{14}\text{C}$ celkem	1,29E+12	5,64E+10	1,34E+12

#### 4.3 Stanovení dávky reprezentativní osobě při výpusti 1 TBq $^3\text{H}$ a $^{14}\text{C}$

V této kapitole jsou uvedeny výsledky výpočtů aplikace ESTE AI. Metoda, jakou bylo výsledků dosaženo, je popsána v kapitole 3.1.1 a 3.1.2. Tabulky 9 – 14 obsahují věkové kategorie, pro něž byly dávky, resp. dávkové konverze (Sv/Bq) stanoveny. Dále tabulky obsahují číslo sektoru, kde se nachází (žije) reprezentativní osoba. Příslušná věková kategorie (podle bodu 1.6.2) je vždy vyznačena zelenou barvou. Obrázky 7 a 8 ukazují sektory pro výpusti do vodoteče.

Tabulky 9 – 14 jsou rozděleny, podle druhu radionuklidu a výpusti, následovně:

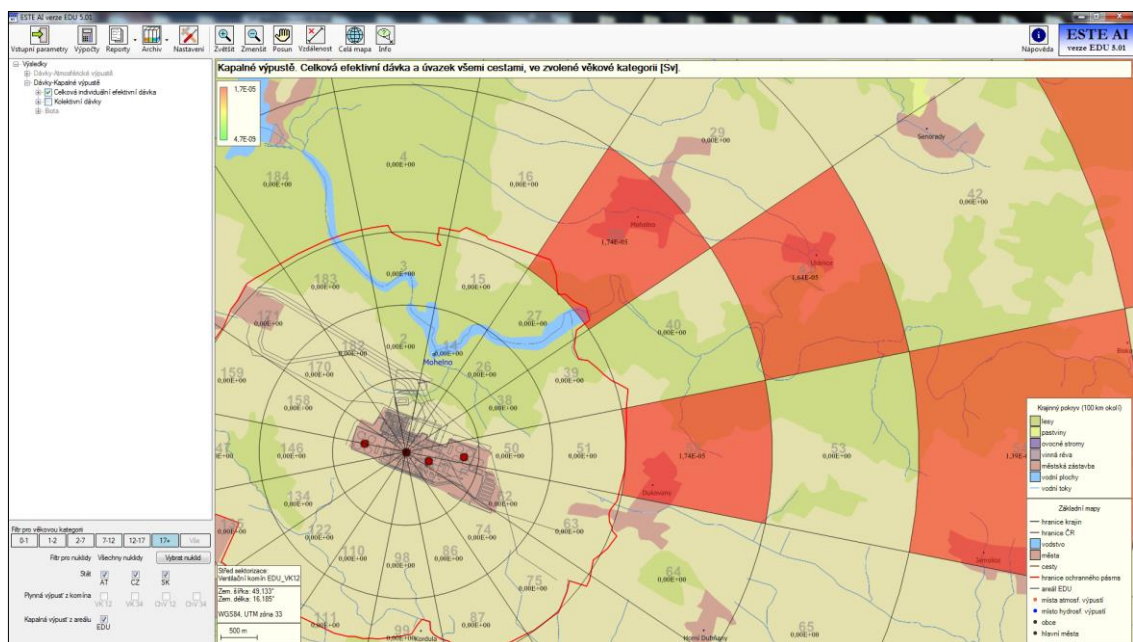
- výpusť  $^{14}\text{C}$  do vodoteče,
- výpusť  $^{14}\text{C}$  do ovzduší přes ventilační komíny,
- výpusť  $^{14}\text{C}$  do ovzduší přes chladicí věže,
- výpusť  $^3\text{H}$  do vodoteče,
- výpusť  $^3\text{H}$  do ovzduší přes ventilační komíny a
- výpusť  $^3\text{H}$  do ovzduší přes chladicí věže.

Z hodnot tabulky 9 je patrné, že nejvyšší hodnota konverzního faktoru pro zaručený průtok  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  odpovídá konverzi  $1,74\text{E-}05 \text{ Sv}/1 \text{ TBq}$ , tzn.  $17,4 \mu\text{Sv}/1 \text{ TBq}$ .

Reprezentativní osobou je dospělá osoba (zeleně podbarveno) žijící v sektorech č. 28, 41, 43, 52, 54 nebo 56 (viz obrázek 7).

Tabulka 9: Zjištění nejvyšší dávky pro výpusť 1 TBq anorganické formy  $^{14}\text{C}$  do vodoteče (ESTE AI)

Sektor č. 28; průtok $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
HYDROSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky z ingesce všemi uvažovanými cestami (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	5,15E-06	1,63E-05	1,33E-05	1,60E-05	1,38E-05	1,74E-05
Pitná voda. Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky z ingesce pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	5,45E-07	6,23E-07	6,94E-07	5,61E-07	3,99E-07	6,32E-07
Zavlažování, napájení a rybí maso. Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky z ingesce pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	4,60E-06	1,56E-05	1,26E-05	1,55E-05	1,34E-05	1,67E-05
HYDROSFÉRA: Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami pro (danou) věkovou kategorii [Sv]:	5,15E-06	1,63E-05	1,33E-05	1,60E-05	1,38E-05	1,74E-05
Pitná voda. Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky [manSv]:	7,63E-06	6,85E-06	4,58E-05	2,69E-05	2,16E-05	7,26E-04
Zavlažování, napájení a rybí maso. Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky [manSv]:	8,79E-06	1,83E-05	9,41E-05	8,25E-05	7,88E-05	2,13E-03
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	1,64E-05	2,51E-05	1,40E-04	1,09E-04	1,00E-04	2,86E-03
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						3,25E-03



Obrázek 7: Sektory a konverzní faktor pro výpusť  $^{14}\text{C}$  do vodoteče (ESTE AI)



Z tabulky 10 je zřejmé, že pro výpust  $^{14}\text{C}$  do ovzduší komínem byla nejvyšší hodnota dávky, resp. konverzního faktoru,  $1,94\text{E-}7$  Sv/1 TBq, tzn.  $0,194 \mu\text{Sv/1 TBq}$  (rok 2014). Reprezentativní osobou je dospělá osoba žijící v sektoru č. 99 (podbarveno zeleně).

Tabulka 10: Zjištění nejvyšší dávky a příslušného sektoru pro výpust 1 TBq  $^{14}\text{C}$  komínem (ESTE AI)

2013 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	4,16E-08	7,45E-08	9,65E-08	9,71E-08	1,12E-07	1,08E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,48E-08	3,71E-08	3,96E-08	4,43E-08	3,67E-08	4,18E-08
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	6,64E-08	1,12E-07	1,36E-07	1,41E-07	1,49E-07	1,50E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	4,16E-08	7,45E-08	3,86E-07	7,77E-07	4,49E-07	8,84E-06
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescce [manSv]:	2,69E-09	4,28E-09	1,80E-08	4,10E-08	1,74E-08	4,06E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	4,43E-08	7,87E-08	4,04E-07	8,18E-07	4,67E-07	9,24E-06
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						1,11E-05
2014 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	5,30E-08	9,49E-08	1,23E-07	1,24E-07	1,43E-07	1,37E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	3,41E-08	5,07E-08	5,41E-08	6,03E-08	4,99E-08	5,68E-08
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	8,72E-08	1,46E-07	1,77E-07	1,84E-07	1,93E-07	1,94E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	5,30E-08	9,49E-08	4,92E-07	9,90E-07	5,73E-07	1,13E-05
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescce [manSv]:	3,69E-09	5,81E-09	2,46E-08	5,56E-08	2,36E-08	5,49E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	5,67E-08	1,01E-07	5,17E-07	1,05E-06	5,96E-07	1,18E-05
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						1,41E-05
2015 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	3,25E-08	5,82E-08	7,54E-08	7,59E-08	8,77E-08	8,42E-08
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	1,92E-08	2,85E-08	3,04E-08	3,39E-08	2,80E-08	3,19E-08
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	5,17E-08	8,67E-08	1,06E-07	1,10E-07	1,16E-07	1,16E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	3,25E-08	5,82E-08	3,02E-07	6,07E-07	3,51E-07	6,90E-06
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescce [manSv]:	2,07E-09	3,27E-09	1,38E-08	3,13E-08	1,33E-08	3,09E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	3,46E-08	6,14E-08	3,15E-07	6,38E-07	3,64E-07	7,21E-06
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						8,63E-06
2016 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	3,33E-08	5,97E-08	7,73E-08	7,78E-08	9,00E-08	8,64E-08
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,15E-08	3,19E-08	3,40E-08	3,79E-08	3,14E-08	3,57E-08
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	5,48E-08	9,15E-08	1,11E-07	1,16E-07	1,21E-07	1,22E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	3,33E-08	5,97E-08	3,09E-07	6,23E-07	3,60E-07	7,08E-06
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescce [manSv]:	2,32E-09	3,66E-09	1,55E-08	3,50E-08	1,49E-08	3,45E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	3,57E-08	6,33E-08	3,25E-07	6,58E-07	3,75E-07	7,43E-06
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						8,88E-06



Dle tabulky 11 je nejvyšší hodnota konverzního faktoru pro výpust  $^{14}\text{C}$  do ovzduší chladicími věžemi je pro rok 2014 –  $1,67\text{E-}7$  Sv/1 TBq, tj.  $0,167 \mu\text{Sv/1 TBq}$ . Reprezentativní osobou je dospělá osoba žijící opět v sektoru č. 99 (zeleně podbarveno).

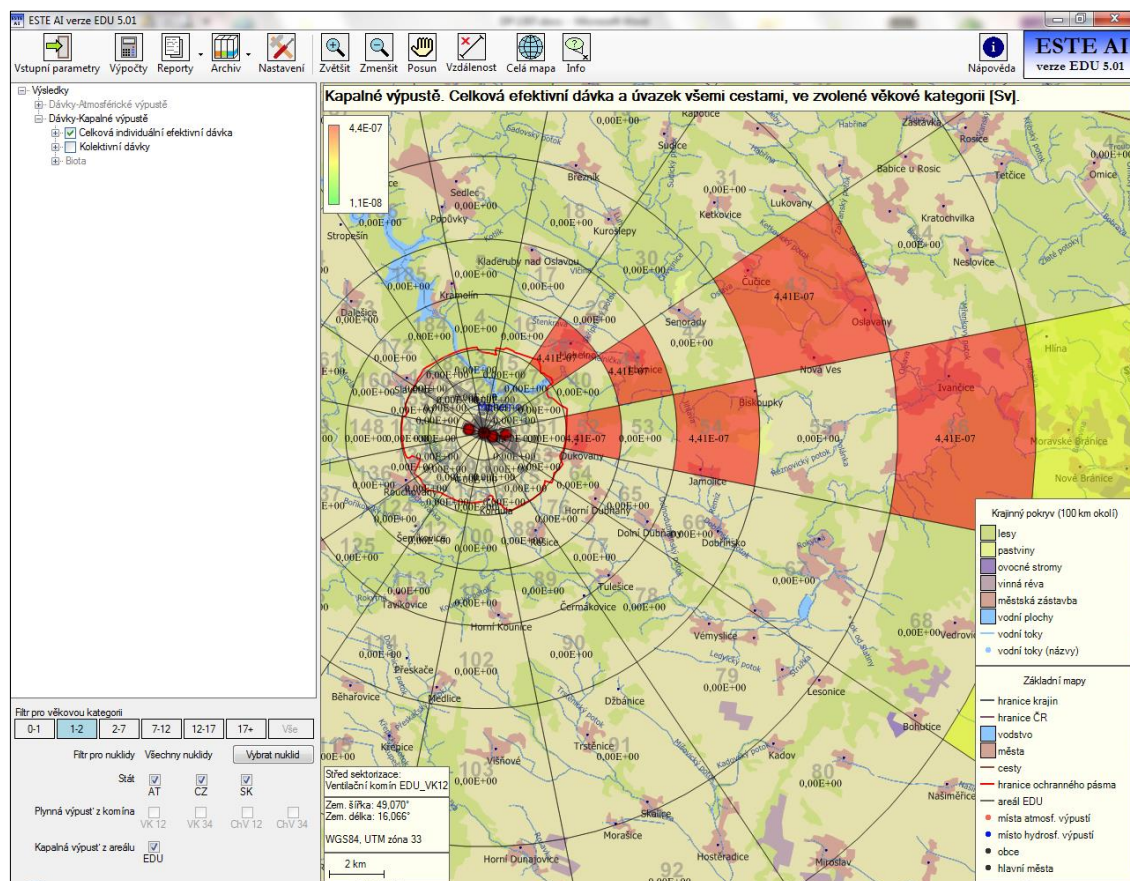
Tabulka 11: Zjištění nejvyšší dávky a příslušného sektoru pro výpust 1 TBq  $^{14}\text{C}$  chladicími věžemi (ESTE AI)

2013 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	4,02E-08	7,19E-08	9,32E-08	9,38E-08	1,08E-07	1,04E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,41E-08	3,60E-08	3,84E-08	4,29E-08	3,56E-08	4,06E-08
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	6,43E-08	1,08E-07	1,32E-07	1,37E-07	1,44E-07	1,45E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	4,02E-08	7,19E-08	3,73E-07	7,50E-07	4,34E-07	8,53E-06
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescí [manSv]:	2,61E-09	4,15E-09	1,75E-08	3,98E-08	1,69E-08	3,93E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	4,28E-08	7,60E-08	3,90E-07	7,90E-07	4,51E-07	8,93E-06
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						1,07E-05
2014 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	4,55E-08	8,14E-08	1,06E-07	1,06E-07	1,23E-07	1,18E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,97E-08	4,41E-08	4,70E-08	5,24E-08	4,34E-08	4,94E-08
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	7,52E-08	1,25E-07	1,53E-07	1,59E-07	1,66E-07	1,67E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	4,55E-08	8,14E-08	4,22E-07	8,50E-07	4,91E-07	9,66E-06
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescí [manSv]:	3,21E-09	5,06E-09	2,14E-08	4,84E-08	2,05E-08	4,77E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	4,87E-08	8,65E-08	4,43E-07	8,98E-07	5,12E-07	1,01E-05
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						1,21E-05
2015 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	3,49E-08	6,24E-08	8,09E-08	8,14E-08	9,41E-08	9,03E-08
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,12E-08	3,14E-08	3,35E-08	3,74E-08	3,09E-08	3,52E-08
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	5,60E-08	9,38E-08	1,14E-07	1,19E-07	1,25E-07	1,26E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	3,49E-08	6,24E-08	3,23E-07	6,51E-07	3,76E-07	7,41E-06
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescí [manSv]:	2,29E-09	3,61E-09	1,52E-08	3,45E-08	1,46E-08	3,41E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	3,72E-08	6,60E-08	3,39E-07	6,86E-07	3,91E-07	7,75E-06
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						9,26E-06
2016 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	3,63E-08	6,50E-08	8,43E-08	8,48E-08	9,81E-08	9,41E-08
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,33E-08	3,46E-08	3,70E-08	4,12E-08	3,41E-08	3,89E-08
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	5,97E-08	9,97E-08	1,21E-07	1,26E-07	1,32E-07	1,33E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	3,63E-08	6,50E-08	3,37E-07	6,79E-07	3,92E-07	7,72E-06
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescí [manSv]:	2,52E-09	3,98E-09	1,68E-08	3,81E-08	1,61E-08	3,75E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	3,89E-08	6,90E-08	3,54E-07	7,17E-07	4,09E-07	8,10E-06
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						9,68E-06

Nejvyšší hodnota konverzního faktoru pro výpust  $^3\text{H}$  do vodoteče (zeleně podbarvená hodnota v tab. 12) činí  $4,41\text{E-}7$  Sv/1 TBq, resp.  $0,441 \mu\text{Sv/1 TBq}$ . Reprezentativní osobou, nacházející se v sektorech č. 28, 41, 43, 52, 54 nebo 56, je dítě ve věku 1 rok. Na obrázku 8 jsou vyznačeny příslušné sektory.

Tabulka 12: Zjištění nejvyšší dávky pro výpust 1 TBq  $^3\text{H}$  do vodoteče (ESTE AI)

Průtok Q = 1,2 m <sup>3</sup> /s	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
<b>HYDROSFÉRA:</b>						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky z ingesce všemi uvažovanými cestami (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	5,94E-07	4,41E-07	5,06E-07	3,95E-07	3,09E-07	3,97E-07
Pitná voda. Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky z ingesce pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	3,69E-07	2,77E-07	3,22E-07	2,39E-07	1,87E-07	2,91E-07
Zavlažování, napájení a rybí maso. Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky z ingesce pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,25E-07	1,64E-07	1,84E-07	1,56E-07	1,22E-07	1,06E-07
<b>HYDROSFÉRA: Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami pro (danou) věkovou kategorii [Sv]:</b>						
	5,94E-07	<b>4,41E-07</b>	5,06E-07	3,95E-07	3,09E-07	3,97E-07
<b>Pitná voda. Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky [manSv]:</b>						
Zavlažování, napájení a rybí maso. Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky [manSv]:	5,17E-06	3,05E-06	2,13E-05	1,15E-05	1,01E-05	3,34E-04
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	5,73E-06	3,34E-06	2,33E-05	1,27E-05	1,11E-05	3,52E-04
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						4,08E-04



Obrázek 8: Sektory a konverzní faktor pro výpust  $^3\text{H}$  do vodoteče (ESTE AI)

Pro výpust  $^3\text{H}$  do ovzduší ventilačním komínem je nejvyšší hodnota konverzního faktoru stanovena pro dítě ve věku 10 let –  $7,69\text{E-}9$  Sv/1 TBq, resp.  $0,00769$   $\mu\text{Sv}/1$  TBq a rok 2014 (zeleně podbarveno – viz tabulka 13). Reprezentativní osoba žije v sektoru č. 99.

Tabulka 13: Zjištění nejvyšší dávky a příslušného sektoru pro výpust 1 TBq  $^3\text{H}$  komínem (ESTE AI)

2013 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,63E-09	4,38E-09	5,53E-09	4,99E-09	4,91E-09	4,83E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	1,32E-09	1,02E-09	1,12E-09	9,57E-10	7,77E-10	6,78E-10
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	3,94E-09	5,40E-09	6,64E-09	5,94E-09	5,69E-09	5,51E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	2,63E-09	4,38E-09	2,21E-08	3,99E-08	1,97E-08	3,96E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescí [manSv]:	1,47E-10	1,21E-10	5,18E-10	9,04E-10	3,81E-10	7,04E-09
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	2,78E-09	4,50E-09	2,26E-08	4,08E-08	2,00E-08	4,03E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						4,94E-07
2014 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	3,35E-09	5,58E-09	7,04E-09	6,36E-09	6,26E-09	6,16E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	1,82E-09	1,41E-09	1,55E-09	1,33E-09	1,08E-09	9,44E-10
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	5,17E-09	6,99E-09	8,60E-09	7,69E-09	7,34E-09	7,10E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	3,35E-09	5,58E-09	2,82E-08	5,09E-08	2,50E-08	5,05E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescí [manSv]:	2,01E-10	1,65E-10	7,08E-10	1,23E-09	5,19E-10	9,55E-09
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	3,55E-09	5,75E-09	2,89E-08	5,21E-08	2,56E-08	5,15E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						6,30E-07
2015 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,05E-09	3,42E-09	4,32E-09	3,90E-09	3,84E-09	3,77E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	1,02E-09	7,93E-10	8,72E-10	7,47E-10	6,08E-10	5,31E-10
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	3,08E-09	4,21E-09	5,19E-09	4,64E-09	4,45E-09	4,31E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	2,05E-09	3,42E-09	1,73E-08	3,12E-08	1,54E-08	3,10E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescí [manSv]:	1,14E-10	9,36E-11	4,01E-10	6,99E-10	2,94E-10	5,43E-09
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	2,17E-09	3,52E-09	1,77E-08	3,19E-08	1,56E-08	3,15E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						3,86E-07
2016 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,09E-09	3,49E-09	4,40E-09	3,97E-09	3,91E-09	3,85E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	1,15E-09	8,87E-10	9,75E-10	8,36E-10	6,80E-10	5,94E-10
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	3,24E-09	4,38E-09	5,38E-09	4,81E-09	4,59E-09	4,44E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	2,09E-09	3,49E-09	1,76E-08	3,18E-08	1,57E-08	3,16E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescí [manSv]:	1,27E-10	1,05E-10	4,49E-10	7,83E-10	3,30E-10	6,08E-09
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	2,22E-09	3,59E-09	1,81E-08	3,26E-08	1,60E-08	3,22E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						3,94E-07

Jak je vidět v tabulce 14, nejvyšší hodnoty konverzních faktorů pro výpust  $^3\text{H}$  do ovzduší chladicími věžemi jsou pro reprezentativní osobu – dítě ve věku 10 let žijící v sektoru č. 99 (zeleně podbarveno). Nejvyšší konverze odpovídá v roce 2014 hodnotě  $6,61\text{E-}9$  Sv/1 TBq, tj.  $0,00661$   $\mu\text{Sv}/1$  TBq.

Tabulka 14: Zjištění nejvyšší dávky a příslušného sektoru pro výpust 1 TBq  $^3\text{H}$  chladicími věžemi (ESTE AI)

2013 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,54E-09	4,23E-09	5,34E-09	4,81E-09	4,74E-09	4,66E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	1,28E-09	9,84E-10	1,08E-09	9,28E-10	7,53E-10	6,58E-10
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	3,81E-09	5,21E-09	6,42E-09	5,74E-09	5,50E-09	5,32E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	2,54E-09	4,23E-09	2,13E-08	3,85E-08	1,90E-08	3,82E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescce [manSv]:	1,43E-10	1,18E-10	5,02E-10	8,76E-10	3,69E-10	6,83E-09
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	2,68E-09	4,35E-09	2,18E-08	3,94E-08	1,93E-08	3,89E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						4,77E-07
2014 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,87E-09	4,79E-09	6,04E-09	5,45E-09	5,37E-09	5,28E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	1,59E-09	1,23E-09	1,35E-09	1,16E-09	9,40E-10	8,21E-10
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	4,46E-09	6,02E-09	7,39E-09	6,61E-09	6,31E-09	6,10E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	2,87E-09	4,79E-09	2,42E-08	4,36E-08	2,15E-08	4,33E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescce [manSv]:	1,75E-10	1,43E-10	6,15E-10	1,07E-09	4,51E-10	8,31E-09
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	3,05E-09	4,93E-09	2,48E-08	4,47E-08	2,19E-08	4,41E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						5,41E-07
2015 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,20E-09	3,67E-09	4,63E-09	4,18E-09	4,12E-09	4,05E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	1,13E-09	8,75E-10	9,62E-10	8,25E-10	6,70E-10	5,86E-10
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	3,33E-09	4,54E-09	5,59E-09	5,00E-09	4,79E-09	4,63E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	2,20E-09	3,67E-09	1,85E-08	3,34E-08	1,65E-08	3,32E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescce [manSv]:	1,25E-10	1,03E-10	4,42E-10	7,71E-10	3,25E-10	6,00E-09
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	2,33E-09	3,77E-09	1,90E-08	3,42E-08	1,68E-08	3,38E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						4,14E-07
2016 - Sektor 99	Věk [rok]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	nad 17
ATMOSFÉRA:						
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky inhalací pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	2,30E-09	3,83E-09	4,83E-09	4,36E-09	4,29E-09	4,22E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) efektivní dávky ingescí pro (danou) věkovou kategorii (suma přes všechny nuklidy) [Sv]:	1,25E-09	9,64E-10	1,06E-09	9,09E-10	7,39E-10	6,45E-10
ATMOSFÉRA : Celková efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami [Sv]:	3,54E-09	4,79E-09	5,89E-09	5,27E-09	5,03E-09	4,87E-09
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z inhalace [manSv]:	2,30E-09	3,83E-09	1,93E-08	3,49E-08	1,72E-08	3,46E-07
Úvazek (50 nebo 70 r.) kolektivní efektivní dávky z ingescce [manSv]:	1,38E-10	1,14E-10	4,87E-10	8,50E-10	3,58E-10	6,61E-09
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, pro (danou) věkovou kategorii [manSv]:	2,43E-09	3,94E-09	1,98E-08	3,57E-08	1,75E-08	3,53E-07
Celková kolektivní efektivní dávka a úvazek všemi uvažovanými cestami, suma přes všechny věkové kategorie [manSv]:						4,32E-07

#### 4.4 Výsledky stanovení dávky reprezentativní osobě při výpusti 1 TBq tritia $^3\text{H}$ a uhlíku $^{14}\text{C}$ do ovzduší a vodoteče

Při výpočtu konverzního faktoru pro výpust  $^{14}\text{C}$  do ovzduší bylo vzhledem ke stejnému typu reaktoru předpokládáno, že aktivita organického  $^{14}\text{C}$  bude pro nový jaderný zdroj činit 95 % z celkové aktivity  $^{14}\text{C}$ , tj. stejně jako u provozovaných bloků EDU (viz kap. 1.3.4). V tabulce 15 jsou uvedeny souhrnné výsledky výpočtů ESTE AI, včetně průměrných hodnot konverzních faktorů pro jednotlivé věkové kategorie reprezentativních osob.

Tabulka 15: Souhrnná tabulka výsledků výpočtů pro výpusti do ovzduší (ESTE AI)

EDU do ovzduší								
Dítě (1 rok)		2013	2014	2015	2016	Průměr	Jednotka	
$^3\text{H}$	komínem	3,94E-03	5,17E-03	3,08E-03	3,24E-03	3,86E-03	μSv/1 TBq	
	věžemi	3,81E-03	4,46E-03	3,33E-03	3,54E-03	3,79E-03		
$^{14}\text{C}$	komínem	1,12E-01	1,46E-01	8,67E-02	9,15E-02	1,09E-01		
	věžemi	1,08E-01	1,25E-01	9,38E-02	9,97E-02	1,07E-01		
<b>Dítě (10 let)</b>								
$^3\text{H}$	komínem	5,94E-03	7,69E-03	4,64E-03	4,81E-03	5,77E-03		
	věžemi	5,74E-03	6,61E-03	5,00E-03	5,27E-03	5,66E-03		
$^{14}\text{C}$	komínem	1,41E-01	1,84E-01	1,10E-01	1,16E-01	1,38E-01		
	věžemi	1,37E-01	1,59E-01	1,19E-01	1,26E-01	1,35E-01		
<b>Dospělý</b>								
$^3\text{H}$	komínem	5,51E-03	7,10E-03	4,31E-03	4,44E-03	5,34E-03		
	věžemi	5,32E-03	6,10E-03	4,63E-03	4,87E-03	5,23E-03		
$^{14}\text{C}$	komínem	1,50E-01	1,94E-01	1,16E-01	1,22E-01	1,46E-01		
	věžemi	1,45E-01	1,67E-01	1,26E-01	1,33E-01	1,43E-01		

Z tabulky 15 vyplývá, že reprezentativní osobou pro výpusti do ovzduší je v případě  $^3\text{H}$  dítě stáří 10 let a pro  $^{14}\text{C}$  dospělý jedinec, v obou případech žijící v sektoru č. 99, který se nachází na území obce Kordula (podbarveno žlutě). Dále je patrné, že hodnoty individuálních dávek (resp. konverze Sv/Bq) pro výpust 1 TBq ventilačním komínem nebo chladicími věžemi jsou prakticky stejné. Není tedy rozdíl, zda dojde k vypuštění příslušné aktivity skrze VK nebo ChV. **Vzhledem k technologicky jednoduššímu**

postupu vypouštění chladicími věžemi a nižšímu konverznímu faktoru, se tato cesta jeví pro výpust do ovzduší jako nejvýhodnější. Pro další výpočty však byly uvažovány pouze nejvyšší konverze, tzn. ty, které byly stanoveny pro VK.

Konverzní koeficienty převodu Sv/Bq pro jednotlivé věkové skupiny a zaručený průtok 1,2 m<sup>3</sup>/s pro výpusti do vodoteče jsou uvedeny v tabulce 16 – žlutě jsou opět vyznačeny nejvyšší hodnoty dávkové konverze.

Tabulka 16: Souhrnná tabulka výsledků výpočtů pro výpusti do vodoteče (ESTE AI)

EDU do vodoteče		Jednotka
Dítě (1 rok)		
<sup>3</sup> H	0,441	μSv /1 TBq
<sup>14</sup> C	16,3	
Dítě (10 let)		
<sup>3</sup> H	0,395	
<sup>14</sup> C	16	
Dospělý		
<sup>3</sup> H	0,397	
<sup>14</sup> C	17,4	

Reprezentativní osobou pro výpusti do vodoteče je v případě <sup>3</sup>H dítě stáří 1 roku a pro <sup>14</sup>C dospělý jedinec, v obou případech žijící v sektorech sektor č. 28 (Mohelno), č. 41 (Lhánice), č. 43 (území obcí Čučice, Nová Ves a Oslavany), č. 52 (Dukovany), č. 54 (Jamolice a Biskoupky) nebo č. 56 (Ivančice). Situační mapa je v Příloze S.

#### 4.5 Výsledky odhadů efektivních dávek

Použitím výše stanovených konverzních faktorů bylo dále možné odhadnout efektivní dávky pro uvažovaný souběh provozu stávajících bloků EDU a nového jaderného zdroje.



Tabulka 17: Odhad dávky pro souběh EDU a NJZ – vypusti do ovzduší (ESTE AI)

Výpusti do ovzduší	aktivita (TBq)			konverzní faktor ( $\mu\text{Sv}/\text{TBq}$ )	efektivní dávka ( $\mu\text{Sv}$ )
	EDU 1 až 4	NJZ	EDU 1 až 4 + NJZ		
$^3\text{H}$	0,955	13	13,955	0,00577	<b>0,081</b>
$^{14}\text{C}$	0,804	1,29	2,094	0,146	<b>0,306</b>

Z odhadu efektivní dávky z výpustí do ovzduší je patrné, že kritickým radionuklidem je  $^{14}\text{C}$  pro dospělou osobu (žijící v sektoru č. 99). Dávková optimalizační mez 200  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  bude pro tuto reprezentativní osobu však s více jak dvou řádovou rezervou splněna.

Tabulka 18: Odhad dávky pro souběh EDU a NJZ – vypusti do vodoteče (ESTE AI)

Výpusti do vodoteče	aktivita (TBq)			konverzní faktor ( $\mu\text{Sv}/\text{TBq}$ )	efektivní dávka ( $\mu\text{Sv}$ )
	EDU 1 až 4	NJZ	EDU 1 až 4 + NJZ		
$^3\text{H}$	20,4	91,8	112,2	0,441	<b>49,48</b>
$^{14}\text{C}$	0	0,056	0,0564	17,4	<b>0,981</b>

*Pozn.: izotop uhlíku  $^{14}\text{C}$  nebyl v minulosti ve výpustech EDU do vodoteče stanovován.*

Kritickým radionuklidem je  $^3\text{H}$  pro dítě věku 1 rok (žijící v sektorech č. 28, 41, 43, 52, 54 nebo 56). Hodnota efektivní dávky z výpustí tohoto radionuklidu do vodoteče při souběhu stávajících bloků a nového jaderného zdroje je pro tuto reprezentativní osobu a pro zaručený průtok pod nádrží Mohelno 1,2  $\text{m}^3/\text{s}$  na hranici dávkové optimalizační meze 50  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ . Na celkové hodnotě efektivní dávky 49,5  $\mu\text{Sv}$  se 9  $\mu\text{Sv}$  podílí provoz stávajících bloků.

Z výše uvedených odhadů vyplývá, že kritickým radionuklidem, vzhledem k dodržení dávkových optimalizačních mezí, je pouze  $^3\text{H}$  vypouštěné do vodoteče. Za účelem ověření, zda uvažováním pouze  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  ve výpustech nedošlo k výraznému podcenění efektivní dávky z výpusti do vodoteče, byl proveden výpočet pro kompletní zdrojový

člen nového jaderného zdroje obsahující všechny radionuklidy ve výpusti (viz Příloha R – tabulka výpustí do vodoteče – ACP1000). Pro reprezentativní osobu (dítě stáří 1 rok) pak vychází celková roční efektivní dávka 56,0  $\mu\text{Sv}$ , oproti hodnotě 49,5  $\mu\text{Sv}$  (viz tabulka 18), pokud uvážíme jen výpust  $^3\text{H}$  (podíl  $^3\text{H}$  na roční efektivní dávce je zde 72,3 % – tuto hodnotu můžeme srovnat s údaji uvedenými v kapitole 1.3.3, kde je průměrná roční efektivní dávka z  $^3\text{H}$  cca 98 % pro současné bloky EDU).

Přičteme-li k uvedené roční dávce 56  $\mu\text{Sv}$  i celkovou průměrnou roční efektivní dávku 1,96  $\mu\text{Sv}$  (pro výpust do vodoteče), čerpanou stávajícími bloky EDU (např. z let 2012 – 2016, hodnoty se jsou ale velmi podobné i pro předchozí léta), dostaneme se na hodnotu přibližně 58  $\mu\text{Sv}$  za rok, která se opět téměř neliší od hodnoty v tabulce 18 (pro  $^3\text{H}$ ).

Uvedené odhady roční efektivní dávky byly provedeny za předpokladu, že po celý rok bude voda z nádrže Mohelno vypouštěna minimálním zaručeným průtokem 1,2  $\text{m}^3/\text{s}$ . Takový předpoklad je málo pravděpodobný, reálné hodnoty průtoku jsou uvedeny v tabulce 6 (kap. 4.1.3), nebo v Příloze Q. Pokud uvážíme, že efektivní dávka z výpusti  $^3\text{H}$  do vodoteče je úměrná objemové aktivitě ve vodoteči, která je nepřímo úměrná hodnotě průtoku pod nádrží Mohelno, můžeme provést odhad dávek v závislosti na průtoku. V tabulce 19 jsou výsledky odhadů efektivní dávky dle uvedené úvahy.

Tabulka 19: Odhad efektivních dávek v závislosti na průtoku pod nádrží Mohelno (ESTE AI)

průtok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	zaručený	historicky minimální	dlouhodobý průměr
		1,2	1,7
efektivní dávka ( $\mu\text{Sv}$ )	50	35	11

#### 4.6 Vodohospodářská kritéria

V kapitole 1.4.2 bylo uvedeno, že pro povrchovou vodu používanou pro úpravu na vodu pitnou je stanoven ukazatel roční průměrné objemové aktivity  $^3\text{H}$  100 Bq/l.



Z podkladů Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM (dále jen VÚV TGM) vyplývá, že v povodí řeky Jihlava jsou zdroje pitné vody vrty, které komunikují s vodou v řece. Jedná se o lokality Hrubšice (Nová Ves, sektor č. 43), Ivančice (sektor č. 56) a Moravské Bránice (sektor č. 57, ovšem zde se nenachází reprezentativní osoba!).

V tabulce 20 byla z charakteristiky vrtů stanovena:

- procentuální infiltrace vody z řeky do vrtu jako průměr z měřených hodnot infiltrace, vážený vydatností zdroje;
- maximální objemová aktivity  $^3\text{H}$  v daném profilu řeky vedoucí k dosažení ukazatele ve vodě vrtu 100 Bq/l;
- z dlouhodobých údajů o průměrných průtocích v uvažovaných profilech byla stanovena míra zředění vzhledem k profilu pod nádrží Mohelno (dlouhodobý průměr  $5,35 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a následně maximální objemová aktivity  $^3\text{H}$  pod nádrží Mohelno.

Tabulka 20: Tabulka objemových aktivit ve vztahu k pitné vodě (VÚV TGM)

Vrt	Míra infiltrace [%]	Vydatnost [l/s]	Prům. průtok v řece [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Infiltr. váz. vydatností [%]	Max. v řece [Bq/l]	Zředění	Max. pod nádrží Mohelno [Bq/l]
<b>Hrubšice (Nová Ves)</b>							
S1	7,5	0,3	5,63	11,0	912	0,95	<b>960</b>
S2	30,0	0,3					
S3	2,5	0,3					
S4	7,5	0,3					
S5	0,0	0,1					
<b>Ivančice</b>							
HV101	70,0	5,9	9,07	36,6	273	0,59	<b>463</b>
ST1	95,0	2,5					
SVII	2,5	2,0					
HV3	0,0	3,1					
HV7	0,0	4,4					
<b>Moravské Bránice</b>							
HV31	70,0	2,0	10,49	52,9	189	0,51	<b>370</b>
HVJ102	2,5	5,0					
ST1	87,5	0,9					
ST2	82,5	2,3					
ST4	50,0	3,3					
ST5	87,5	1,3					
ST6	55,0	3,1					
ST7	70,0	1,1					
ST8	70,0	2,3					
ST9	35,0	3,2					
ST10	67,5	3,0					
ST11	62,5	3,2					

Z tabulky 20 je patrné, že nejvíce omezující je profil Moravské Bránice, pro který dodržení ukazatele objemová aktivita  $^3\text{H}$  v pitné vodě vyžaduje, aby pod nádrží Mohelno byla maximální objemová aktivita  $^3\text{H}$  370 Bq/l. Této objemové aktivitě pak pro dlouhodobý průměr průtoku pod nádrží Mohelno 5,35 m<sup>3</sup>/s odpovídá celková aktivita vypuštěného  $^3\text{H}$  za rok:

$$A \leq 5,35 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \cdot 370 \left(\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}\right) \cdot 3,1536 \cdot 10^7 \left(\frac{\text{s}}{\text{r}}\right) = 62 \text{ TBq/r.}$$

Vzhledem k tomu, že ukazatel pro  $^3\text{H}$  je stanoven jako roční průměrná hodnota, byla k odhadu použita rovněž průměrná hodnota průtoku pod nádrží Mohelno.

Striktní dodržení ukazatele pro objemovou aktivitu  $^3\text{H}$  by tedy nutně vyžadovalo, aby část produkovaného  $^3\text{H}$  byly do životního prostředí vypouštěna jinou cestou než výpustí do vodoteče. Pro stanovení části, která by musela být převedena z výpustí do vodoteče, je nejprve nutno odhadnout dávku z konzumace vody kontaminované  $^3\text{H}$  na úrovni ukazatele dle Nařízení vlády 100 Bq/l.

Uvedený odhad efektivní dávky lze jednoduše stanovit za použití informací dostupných z VRO, kde jsou tabelovány konverzní koeficienty pro ingesci  $h_{\text{ing}}$  a dále průměrná spotřeba vody pro jednotlivé věkové skupiny reprezentativní osoby (viz Příloha G). Pokud tedy vynásobíme obě konstanty, získáme efektivní dávku z ingescce vody s objemovou aktivitou  $a_v = 1 \text{ Bq/l}$ . Opětovným vynásobením výsledku ukazatelem stanoveným Nařízením vlády (100 Bq/l) získáme hodnoty uvedené v tabulce 21.

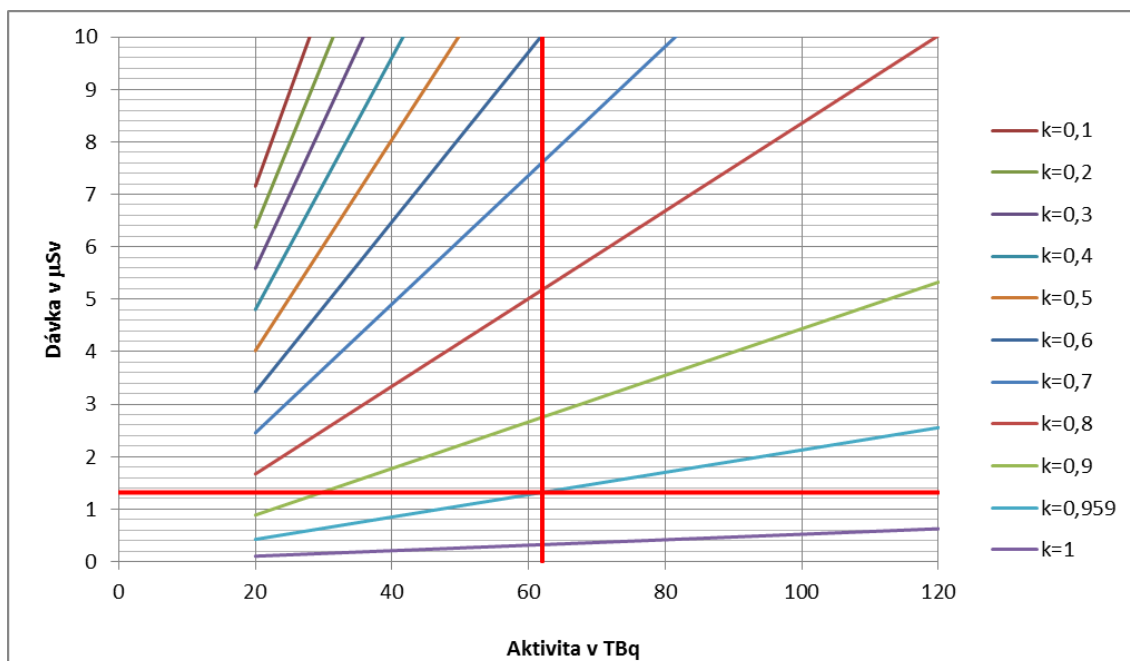
Tabulka 21: Roční efektivní dávky z ingescce pitné vody kontaminované  $^3\text{H}$  pro reprezentativní osobu

<b>věk</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>&gt;15</b>
<b>V (l/rok)</b>	275	365	730
<b>h (Sv/Bq)</b>	4,80E-11	2,30E-11	1,80E-11
<b>E na 1 Bq [<math>\mu\text{Sv/rok}</math>]</b>	0,0132	0,0084	0,0131
<b>E na 100 Bq [<math>\mu\text{Sv/rok}</math>]</b>	1,32	0,8395	1,314

Pokud bychom se pokusili vyjádřit frakci výpusti do vodoteče, která by musela být převedena na výpust do ovzduší tak, aby byl dodržen ukazatel 100 Bq/l, dostaneme hodnoty uvedené v tabulce 22. Hodnota „k“ je frakce převedení aktivity na výpust do ovzduší, „1-k“ je pak část  $^3\text{H}$ , která jde výpustí do vodoteče. Uvažována byla opět jen průměrná hodnota průtoku pod nádrží Mohelno ( $5,35 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Zeleně je vyznačena hodnota roční efektivní dávky z pitné vody ( $1,32 \text{ } \mu\text{Sv}$ ) na úrovni ukazatele, která odpovídá, dle výše uvedeného výpočtu, aktivitě  $62 \text{ TBq } ^3\text{H}$  vypuštěného za rok. Na obrázku 9 je pak na ose x a y vynesena červeně hodnota uvedené aktivity roční výpusti, resp. roční efektivní dávky.

Tabulka 22: Frakce převedení aktivity  $^3\text{H}$  na výpust do ovzduší

k	20	40	60	62	80	100	120	aktivita v TBq
0	7,9	15,9	23,8	24,6	31,8	39,7	47,6	dávka v $\mu\text{Sv}$
0,1	7,2	14,3	21,5	22,2	28,6	35,8	42,9	
0,2	6,4	12,7	19,1	19,8	25,5	31,9	38,2	
0,3	5,6	11,2	16,8	17,3	22,4	27,9	33,5	
0,4	4,8	9,6	14,4	14,9	19,2	24,0	28,8	
0,5	4,0	8,0	12,1	12,5	16,1	20,1	24,1	
0,6	3,2	6,5	9,7	10,0	13,0	16,2	19,4	
0,7	2,5	4,9	7,4	7,6	9,8	12,3	14,7	
0,8	1,7	3,3	5,0	5,2	6,7	8,4	10,0	
0,9	0,9	1,8	2,7	2,8	3,6	4,4	5,3	
0,959	0,43	0,85	1,28	1,32	1,70	2,13	2,56	
1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	



Obrázek 9: Frakce převedení aktivity  $^3\text{H}$  na výpust do ovzduší

Z obrázku 9 a tabulky 22 je patrné, že by muselo být vypuštěno skrze VK či ChV více než 95 % aktivity  $^3\text{H}$ , což je při využívaném objemu chladicí vody téměř nemyslitelné – během let 2012 až 2016 bylo vypuštěno v průměru přes 35 tisíc  $\text{m}^3$  odpadní vody (Zprávy ČEZ, 2013 – 2017).

Tato úvaha je pouze ilustrativní a je nutné podotknout, že v souladu s platnou legislativou (uvedené v kapitole 1.4.2) nelze tento ukazatel k regulaci ozáření obyvatel aplikovat. Regulace ozáření v důsledku výpustí z jaderně energetického zařízení se provádí pomocí dávkové optimalizační meze. To vyplývá i ze skutečnosti, že hodnota ukazatele objemové aktivity tritia v pitné vodě ( $100 \text{ Bq/l}$ ) odpovídá roční efektivní dávce v důsledku příjmu pitné vody  $1,3 \mu\text{Sv}$  (tabulka 21), tedy hodnotě neúměrně nízké oproti hodnotě dávkové optimalizační meze  $50 \mu\text{Sv}$  stanovené VRO.

## 5 Diskuze

V této kapitole jsou souhrnně zhodnoceny výsledky předchozích kapitol – výsledky jsou diskutovány v pořadí, v jakém byly postupně získávány. Na konci této kapitoly je potom zodpovězena výzkumná otázka uvedená v kapitole 2.2.

Z výsledků kapitoly 4 plyne, že pro výpusti do ovzduší je zásadním radionuklidem uhlík  $^{14}\text{C}$ , pro který vychází konverze  $0,146 \mu\text{Sv}/1 \text{ TBq}$  pro dospělou osobu. Reprezentativní osoba se nachází v sektoru č. 99 – v obci Kordula. V případě radionuklidu  $^3\text{H}$  s konverzí  $0,00577 \mu\text{Sv}/1 \text{ TBq}$  je reprezentativní osobou dítě ve věku 10 let nacházející se v tomtéž sektoru. Z uvedených výsledků konverzních faktorů pro výpusti do ovzduší bylo také dále možné porovnat výpusti přes chladicí věže a ventilační komíny. Obě cesty výpustí dávají prakticky stejný výsledek – není tedy rozdíl, jakou cestou jsou tyto radionuklidy vypouštěny.

Pro výpusti do vodoteče byla v případě  $^3\text{H}$ , pro nějž vyšla konverze  $0,441 \mu\text{Sv}/1 \text{ TBq}$ , vybrána reprezentativní osoba ve skupině dětí ve věku 1 roku, a pro  $^{14}\text{C}$ , s konverzí  $17,4 \mu\text{Sv}/1 \text{ TBq}$ , dospělá osoba. Jako kritické sektory, v nichž se nachází uvedené reprezentativní osoby, stanovila aplikace ESTE AI následující: sektor č. 28 – obec Mohelno, č. 41 – obec Lhánice, č. 43 – obce Čučice, Nová Ves a Oslavany, č. 52 – obec Dukovany, č. 54 – obce Jamolice a Biskoupky a sektor č. 56 – obec Ivančice.

Z výsledků aplikace konverzních faktorů na velikost ročních výpustí do vodoteče byla nejvyšší efektivní dávka stanovena pro  $^3\text{H}$ . Výsledná efektivní dávka  $49,5 \mu\text{Sv}$  se pohybuje na hranici dávkové optimalizační meze  $50 \mu\text{Sv}$ , jejíž nepřekročení je základním legislativním požadavkem pro výpusti do povrchových vod v případě souběhu provozu stávajících bloků a nového jaderného zdroje v lokalitě EDU. Vzhledem k tomu, že v současnosti není monitorována výpust uhlíku  $^{14}\text{C}$  do vodoteče, byla dávka určena pouze pro výpust z plánovaného nového jaderného zdroje. Výslednou hodnotu  $0,98 \mu\text{Sv}$  lze téměř zanedbat – tvoří z uvedené optimalizační meze pouze necelá 2 %.

Taktéž lze zanedbat efektivní dávky z  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  vypuštěnými do ovzduší, u nichž vychází roční efektivní dávka  $0,08 \mu\text{Sv}$ , resp.  $0,31 \mu\text{Sv}$ . Obě hodnoty se pohybují

hluboko pod VRO stanovenou dávkovou optimalizační mezí 200  $\mu\text{Sv}$  – společně radionuklidy tvoří necelé 0,2 % z 200  $\mu\text{Sv}$ .

Výpočty byl tedy potvrzen původní předpoklad, že kritickým radionuklidem je tritium  $^3\text{H}$  vypuštěným do vodoteče.

Pokud zahrneme i ostatní radionuklidy kompletního zdrojového členu předpokládaného nového jaderného zdroje, pohybuje se roční efektivní dávka reprezentativní osoby okolo hodnoty 56  $\mu\text{Sv}$ , tedy mírně nad dávkovou optimalizační mezí. Roční efektivní dávka z průměrné výpusti do vodoteče stávajících bloků EDU 1,96  $\mu\text{Sv}$  (průměr za roky 2012 – 2016) uvedenou hodnotu příliš nepřevyšuje.

Dávková optimalizační mez pro roční efektivní dávku z výpusti do vodoteče (50  $\mu\text{Sv}$ ) by nebyla dodržena jen v případě, že by po celý rok byla voda z nádrže Mohelno vypouštěna zaručeným průtokem 1,2  $\text{m}^3/\text{s}$ . V případě historicky nejmenšího naměřeného (1,7  $\text{m}^3/\text{s}$ ), resp. dlouhodobého průměrného průtoku (5,35  $\text{m}^3/\text{s}$ ) nebude dávková optimalizační mez s rezervou překročena – efektivní dávka pro tyto hodnoty průtoků se pohybuje na úrovni 35 resp. 11  $\mu\text{Sv}$ .

Původním předpokladem bylo, že velká část (cca polovina) výpusti do vodoteče bude muset být převedena na výpust do ovzduší ventilačními komíny či chladicími věžemi. Tato nutnost se dle výše uvedeného nepotvrdila. Je ale nutné dodat, že autorizovaný limit pro výpust do povrchových vod z nového jaderného zdroje stanoví SÚJB na základě optimalizační studie předložené provozovatelem. Optimalizační studie by měla zvážit převedení (alespoň) části výpusti  $^3\text{H}$  z povrchových vod do ovzduší. Dodržení dávkové optimalizační meze pro výpust do ovzduší nebude tímto převedením nijak významně ovlivněno.

Z porovnání velikostí výpusti do vodoteče současných bloků EDU a nového jaderného zdroje s ukazatelem pro objemovou aktivitu  $^3\text{H}$  v pitné vodě vyplývá požadavek, aby velká část produkovaného  $^3\text{H}$  byly do životního prostředí vypouštěny jinou cestou než výpustí do vodoteče (více než 95 %!). Z části 1.4.2 je však patrné, že v souladu s českou i evropskou legislativou není dodržení tohoto ukazatele k regulaci ozáření obyvatel relevantní, protože regulace ozáření v důsledku výpustí z jaderně energetického zařízení

se provádí pomocí dávkové optimalizační meze a dalším optimalizačním procesem pod touto mezí.

První část výzkumné otázky k vlivu dostavby nových jaderných bloků byla již zodpovězena výše – efektivní dávky reprezentativní osobě z kapalných výpustí jsou na hranici dávkové optimalizační meze (v případě zaručeného průtoku  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Pokud vezmeme v úvahu minimální a dlouhodobé průměry průtoků ve sledovaném recipientu, dostáváme se již na dávky pohybující se pod touto stanovenou mezí. Nutnost optimalizovat procesy a činnosti, s dopadem na radiační ochranu osob a obyvatel, by však měla nutit provozovatele jaderné elektrárny k neustálému zlepšování a udržování vysoké úrovně radiační ochrany. Tím se dostáváme k druhé části výzkumné otázky – jakým opatřením lze optimálně likvidovat  $^3\text{H}$  v kapalně výpusti. Pro tyto účely lze využít výsledky kapitoly 4.4. Z nich je zřejmé, že je jen nepatrný rozdíl mezi přesměrováním části vypouštěné vody do chladicích věží nebo ventilačních komínů, za účelem snížení množství aktivity  $^3\text{H}$  v kapalně výpusti. O výhodnosti tohoto postupu svědčí i nižší konverzní faktor pro výpust  $^3\text{H}$  do ovzduší cestou chladicí věže, než jaký je pro výpust skrze ventilační komíny. Co se týče množství, jaké bude muset být přesměrováno uvedenou cestou, hraje velkou roli stanovení autorizovaného limitu SÚJB pro obě cesty výpustí. Lze tedy říci, že konkrétní frakce přesměrované vody bude možné stanovit až po vydání rozhodnutí SÚJB. Vzhledem k velkým rezervám při čerpání limitů pro výpust do ovzduší, bude na provozovateli jaderné elektrárny, jakou část aktivity vypustí chladicími věžemi. To by však měl být již výsledek samotného procesu optimalizace.

## 6 Závěr

Zadání této práce vzniklo v době, kdy bylo zřejmé, že k dostavbě nových jaderných bloků EDU dojde v dohledné budoucnosti (cca 2030 – 2035). Bohužel v té době neexistovalo mnoho relevantních dokumentů a prací, které by hodnotili dopady plánovaných bloků na okolí a obyvatelstvo. V průběhu zpracování se začali objevovat nové informace a rozborů, které se tato práce snažila zohledňovat. Je jasné, že ČEZ, a.s. bude muset, před žádostí o povolení k dostavbě nových bloků EDU, dodat kompletní hodnotící zprávu. Tato práce tedy měla za cíl, spíše než kompletně zhodnotit celou situaci, posoudit na základě dostupných dat právě vlivy na okolí v případě normálního provozu.

V práci byl zvolen přístup, který uvažoval souběžný provoz současných bloků EDU a plánovaného nového jaderného zdroje a také velmi nízké průtoky v řece Jihlavě. Dokumentace procesu EIA nevychází ze zaručeného průtoku, ale dlouhodobého minima, resp. dlouhodobého průměru, charakterizujícího hydrologické poměry ve vodoteči. Tato práce zohledňuje právě uvedený zaručený průtok  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , který je ale spíše pro manipulaci na hrázi (VN Mohleno), průtoky v řece se během roku mění a navíc se dávka realizuje v průběhu celého roku, kdy jsou samozřejmě průtoky vyšší, než zaručené. Zhodnocena musela být ale i tato varianta.

Pokud bychom závěry práce opřeli o uvedenou hodnotu efektivní dávky  $35 \mu\text{Sv}$ , pro historické minimum průtoku  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , pak je nutné zdůraznit, že nepřekročení dávkové optimalizační meze nestačí a provozovatel by pak měl zvážit optimalizaci pod tuto mez, např. právě výpustí části tritia  $^3\text{H}$  do ovzduší. Jak bylo zjištěno, existuje vzhledem k úrovni čerpání současného limitu pro výpust do ovzduší velká rezerva a provozovatel má tedy jistou volnost v optimalizačním procesu, jakým lze likvidovat  $^3\text{H}$  vypouštěným do vodoteče. Jako nejschůdnější varianta se ukázala být likvidace  $^3\text{H}$  odpařením skrze chladicí věže, které mají oproti ventilačním komínům nižší konverzní faktor, a zároveň jde i o technologicky jednodušší cestu výpusti do ovzduší než přes ventilační komíny.

Necháme-li stranou dávkové optimalizační meze, není pak, na základě rešerše, problém ani s vodohospodářskými ukazateli (dle Nařízení vlády), které byly s pečlivým vysvětlením odsunuty na druhou kolej.



Ze závěrů posledních kapitol také dále vyplynulo, že dávky, i přes souběžný provoz současných a plánovaných bloků, budou velmi nízké, a to i přes násobné navýšení díky novým jaderným blokům. Jak ale uvádí sám ČEZ a.s., je nepravděpodobné, že by k souběžnému provozu došlo (ČEZ, a.s., 2016b). Již nyní lze tedy odhadovat, že výsledné roční dávky obyvatelstvu budou ještě nižší, než k jakým dospěla tato práce.

Oproti dalším publikacím, práce nabízí nezávislé zhodnocení vlivu dostavby EDU na své okolí a navrhuje, jakým způsobem by mělo být  $^3\text{H}$  vypouštěným do vodoteče likvidováno. Nezávislost zhodnocení tkví i v použití samotné aplikace ESTE AI, která je využívána a licencována SÚJB.

Využití výsledků uvedených v této práci by mohlo najít uplatnění v případě stanovování autorizovaných limitů SÚJB, které bude nutné po podání žádosti o povolení k dostavbě nových jaderných bloků EDU.

Vlastní cíl diplomové práce byl naplněn zodpovězením výzkumné otázky, tedy byl stanoven vliv dostavby nového jaderného zdroje v lokalitě EDU a zároveň i zodpovězena otázka likvidace  $^3\text{H}$ . Samotné rozhodnutí, jaká frakce bude muset být přesměrována z výpusti do vodoteče, například cestou chladicích věží, ale bude záviset na provozovateli EDU, resp. na výsledcích studií, v rámci nikdy nekončícího procesu optimalizace.

## 7 Seznam použité literatury

ABmerit, 2016a. *Radiologické dopady normálního provozu NJZ EDU pro výkonovou alternativu do 2400 MWe*. Kód dokumentu ABmerit/2016/CEZ/02 Rev. 01. Trnava 2016.

ABmerit, 2016b. *Prezentace ABmerit na SÚJB ze dne 6.6.2016: Seminář o vlivu provozních výpustí z NJZ EDU*. 2016.

ABmerit, 2016c. *Prezentace ABmerit na SÚJB ze dne 8.12.2016: Shrnutí vlivu provozních výpustí z NJZ EDU*. ABmerit 2016.

ABmerit, 2016d. *Uživatelská příručka – ESTE EDU Annual Impacts, verze SÚJB 5.00* [CD-ROM]. Trnava 3/2016, kód dokumentu ABmerit/2016/SUJB/01. 2016.

ABmerit, 2016e. *Základní informace k aplikaci ESTE AI* [online] [cit. 2017-07-20]. Dostupné z: <http://www.abmerit.sk/este-ai/index.html>

ČEZ, 2016a. *Dokumentace k procesu EIA*. ČEZ 2016. Dostupná na ČEZ, SÚJB a část z: [https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA\\_MZP469](https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP469)

ČEZ, a.s., 2016b. *Oznámení záměru dostavby JE Dukovany* [online] [Cit. 2017-07-27]. ČEZ 3/2016 C1450-13-0. Dostupný z: [https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX01aUDQ2OV9vem5hbWVuaURPQ184Mjc0NTU3Mzk1ODQyODE0NTU2LnppcA/MZP469\\_oznameni.zip](https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX01aUDQ2OV9vem5hbWVuaURPQ184Mjc0NTU3Mzk1ODQyODE0NTU2LnppcA/MZP469_oznameni.zip)

ČEZ, 2016c. *Prezentace ČEZ na SÚJB ze dne 8.12.2016: Problematika kontaminace pitných vod tritiem v Lokalitě Dukovany pro dokumentaci EIA NJZ EDU*. ČEZ 2016.

ČEZ, 2016d. *Předprovozní bezpečnostní zpráva ČEZ, revize 2 (2016)*. Kapitola 2.4 a 2.5. ČEZ 2016.

ČEZ, 2016e. *Předprovozní bezpečnostní zpráva ČEZ, revize 6 (2016)*. Kapitola 2.4 a 2.5. ČEZ 2016.

ČEZ, 2017a. *Informace k JE Dukovany* [online] [cit. 2017-06-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu.html>

ČEZ, 2017b. *Informace k JE Dukovany* [online] [cit. 2017-06-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/technologie-a-zabezpeceni/2.html>

ČEZ, 2017c. *Informace k JE Dukovany* [online] [cit. 2017-06-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/ete/technologie-a-zabezpeceni/11.html>

ČEZ, 2017d. *Správa vyhořelého jaderného paliva* [online] [cit. 2017-06-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/programy-snizovani-zateze-zp/sprava-vyhoreleho-jaderneho-paliva-a-monitoring-je.html>

ČEZ, 2017e. *Technologie a bezpečnost* [online] [cit. 2017-06-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu/technologie-a-zabezpeceni.html>

ČEZ, 2017f. *Technologie – informace k novému jadernému zdroji v lokalitě JE Dukovany* [online] [cit. 2017-07-02]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu/vystavba-novych-jadernych-zdroju/technologie.html>

ČSKAE, 1984. *Metody výpočtu šíření radioaktivních látek z JEZ a ozáření okolního obyvatelstva*. Bezpečnost jaderných zařízení, Požadavky a návody, č.5/1984. Slovenské znění doporučení MHS Interatomenergo.

Rozhodnutí k provozu EDU, 2017. *Důležitá rozhodnutí k provozu EDU* [online] [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/jaderna-elektrarna-dukovany/dulezita-rozhodnuti-k-provozu-edu/>

Evropská komise, 2017. *European Commission RAdioactive Discharges Database (RADD)*, informační databáze o výpustech jaderných elektráren [online]. Dostupné z: [www.europa.eu/radd](http://www.europa.eu/radd)

KLENER, V. (ed.), 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 619 s. ISBN 80-238-3703-6.

KOC, J., KULICH, V., POSPÍCHAL, J., VOKÁLEK, J., HAK, J., FIALA, L., 2005. *Bilancování radioaktivních výpustí v z jaderných elektráren ČR a hodnocení jejich vlivu*

na okolí [online] [cit. 2017-07-24]. ČEZ, a.s. Jaderná elektrárna Dukovany a Jaderná elektrárna Temelín. Dostupné z: [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/37/107/37107280.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/107/37107280.pdf)

ŘURÁN, J., KUSOVSKÁ Z., 2010. *Metodika na výpočet šíření radioaktivních látek v okolí JEZ při normálním provozu*. Výzkumná zpráva. Trnava 2010.

ICRP, 2006. Publikace ICRP č. 101: *Stanovení dávky reprezentativní osobě pro účely radiační ochrany obyvatelstva a Optimalizace radiologické ochrany: rozšíření procesu*. Český překlad se souhlasem ICRP: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha 2010.

ICRP, 2007. Publikace ICRP č. 103: *Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany 2007*. Český překlad se souhlasem ICRP: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha 2009.

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, 2015. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 166, s. 5442-5504.

National Nuclear Data Center, 2016. Databáze NUDAT 2.7 [online]. Dostupné z: <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>

Rozhodnutí krajského úřadu Kraje Vysočina, 2007. *Rozhodnutí č.j. KUJI 50087/2007, kterým se povoluje nakládání s vodami, tj. vypouštění průmyslových odpadních vod z Jaderné elektrárny Dukovany do vod povrchových*. KÚ Kraje Vysočina 2007.

Rozhodnutí SÚJB, 2007a. *Rozhodnutí č.j. 12135/2007, kterým se povoluje uvádění radionuklidů do životního prostředí ve formě výpustí do ovzduší*. SÚJB 2007.

Rozhodnutí SÚJB, 2007b. *Rozhodnutí č.j. 12136/2007, kterým se povoluje uvádění radionuklidů do životního prostředí ve formě kapalných výpustí z Jaderné elektrárny Dukovany do řeky Jihlavy v profilu nádrž Mohelno*. SÚJB 2007.

Rada EU, 2013. *Směrnice Rady 2013/51/Euratom ze dne 22.10.2013, kterou se stanoví požadavky na ochranu zdraví obyvatelstva, pokud jde o radioaktivní látky ve vodě určené k lidské spotřebě* [online], L 296/12, ISSN 1977-0677. Dostupné z <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32013L0051>

Sheppard, S. C., et al., 2006. *Conceptual approaches for the development of dynamic specific activity models of C14 transfer from surface water to humans* [online]. Journal of Environmental Radioactivity 87, 2006. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/0265931X/87/1?sdc=1>

Sheppard, S. C., et al., 2006. *Parameterization of a dynamic specific activity model of C14 transfer from surface water-to-humans*. Journal of Environmental Radioactivity 87, 2006. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/0265931X/87/1?sdc=1>

SÚJB, 2008. *INES – Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních událostí (uživatelská příručka)* [online] [cit. 2017-06-06]. SÚJB, 2016. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES-2008\\_cz\\_preklad.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES-2008_cz_preklad.pdf)

SÚJB, 2017. *Informace k monitorování radiační situace na území ČR* [online] [cit. 2017-07-02]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/aplikace/monras/?lng=cs\\_CZ](https://www.sujb.cz/aplikace/monras/?lng=cs_CZ)

SÚRAO, 2017. *Informační brožura k JE Dukovany* [online] [cit. 2017-07-07]. Dostupné z: <https://www.surao.cz/data/original/files/pr/brozury/brozura-dukovany.pdf>

SÚRO, 2017. *Principy radiační ochrany* [online] [cit. 2017-08-02]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/principy-radiacni-ochrany>

US NRC, 1976. *Regulatory Guide 1.109: Calculation of annual doses to man from routine releases of reactor effluents for the purpose of evaluating compliance with 10CRF Part 50* [online]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/docs/ML1335/ML13350A285.pdf>

Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, 2002. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 113, s. 6362-6544.

Vyhláška SÚJB č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 172, s. 6618-6904.

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 5, s. 82-106, ISSN 1211-1244

Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, 2016. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 102, s. 3938-4060.

Zpráva ČEZ, 2013. *D 57 – Radiační situace v okolí JE Dukovany (rok 2012)*.

Zpráva ČEZ, 2014. *D 57 – Radiační situace v okolí JE Dukovany (rok 2013)*.

Zpráva ČEZ, 2015. *D 57 – Radiační situace v okolí JE Dukovany (rok 2014)*.

Zpráva ČEZ, 2016. *D 57 – Radiační situace v okolí JE Dukovany (rok 2015)*.

Zpráva ČEZ, 2017. *D 57 – Radiační situace v okolí JE Dukovany (rok 2016)*.

Zpráva SÚJB, 2001. *Příloha č. 1 k národní zprávě SÚJB* [online][Cit. 2017-07-01].

Dostupné

z:

[https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/zpravy/narodni\\_zpravy/Priloha1.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/zpravy/narodni_zpravy/Priloha1.pdf)

## Seznam použitých zkratk

AaŠP	Aktivační a štěpné produkty
BAPP	Budova aktivních a pomocných provozů
EDU	Jaderná elektrárna Dukovany
EIA	Environmental Impact Assessment – Vyhodnocení vlivů na životní prostředí
ESTE	Emergency Source Term Evaluation Code
ESTE AI	ESTE Annual Impacts
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
GIS	Geografický informační systém
ChV	Chladicí věže
JE	Jaderná elektrárna
MDA	Minimální detekovatelná aktivita
NJZ	Nový jaderný zdroj
PTM	Puff Trajectory Model
PWR	Power Water Reactor (tlakovodní reaktor)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
VK	Ventilační komín
VRO	Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
VVER	Vodo-vodní energetický reaktor
ZČ	Zdrojový člen
ŽP	Životní prostředí

## **Seznam obrázků a tabulek**

### **Obrázky**

Obrázek 1: Schéma umístění NJZ

Obrázek 2: Výpočetní zóna aplikace ESTE AI

Obrázek 3: Výpusti do ovzduší

Obrázek 4: Kapalné výpusti

Obrázek 5: Směr větru (větrná růžice)

Obrázek 6: Zastoupení kategorií stability za roky 2012 - 2016

Obrázek 7: Sektory a konverzní faktor pro výpust  $^{14}\text{C}$  do vodoteče

Obrázek 8: Sektory a konverzní faktor pro výpust  $^3\text{H}$  do vodoteče

Obrázek 9: Frakce převedení aktivity  $^3\text{H}$  na výpust do ovzduší

### **Tabulky**

Tabulka 1: Výpust EDU do ovzduší –  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$

Tabulka 2: Výpust EDU do vodoteče –  $^3\text{H}$

Tabulka 3: Průměrné zastoupení směrů větru v letech 2000 – 2012

Tabulka 4: Průměrné hodnoty srážek během let 2013 – 2016

Tabulka 5: Průměrné hodnoty rychlosti větru během let 2013 – 2016

Tabulka 6: Průtoky řeky Jihlavy v letech 2012 – 2016

Tabulka 7: Průtoky řeky Jihlavy

Tabulka 8: Předpokládané výpusti  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  z nového jaderného zdroje

Tabulka 9: Výsledky výpočtů konverzního faktoru pro výpusti  $^{14}\text{C}$  do vodoteče



- Tabulka 10: Výsledky konverzních faktorů pro výpust  $^{14}\text{C}$  komínem
- Tabulka 11: Výsledky konverzních faktorů pro výpust  $^{14}\text{C}$  chladicími věžemi
- Tabulka 12: Výsledky výpočtů konverzního faktoru pro výpusti  $^3\text{H}$  do vodoteče
- Tabulka 13: Výsledky konverzních faktorů pro výpust  $^3\text{H}$  komínem
- Tabulka 14: Výsledky konverzních faktorů pro výpust  $^3\text{H}$  chladicími věžemi
- Tabulka 15: Souhrnná tabulka výsledků výpočtů pro výpusti do ovzduší
- Tabulka 16: Souhrnná tabulka výsledků výpočtů pro výpusti do vodoteče
- Tabulka 17: Odhad dávky pro souběh EDU a NJZ – výpusti do ovzduší
- Tabulka 18: Odhad dávky pro souběh EDU a NJZ – výpusti do vodoteče
- Tabulka 19: Odhad efektivních dávek v závislosti na průtoku pod nádrží Mohelno
- Tabulka 20: Tabulka objemových aktivit ve vztahu k pitné vodě
- Tabulka 21: Roční efektivní dávky z ingesce pitné vody kontaminované  $^3\text{H}$  pro reprezentativní osobu
- Tabulka 22: Frakce převedení aktivity  $^3\text{H}$  na výpust do ovzduší

## Seznam příloh

Příloha A: Podrobné parametry EDU

Příloha B: Podrobnější informace k vybraným umělým radionuklidům

Příloha C: Rozhodnutí SÚJB o povolení k uvádění radionuklidů do ovzduší

Příloha D: Rozhodnutí SÚJB o povolení k uvádění radionuklidů do vodoteče

Příloha E: Jednotlivé předpokládané jaderné zdroje

Příloha F: Sektory využívané aplikací ESTE AI

Příloha G: Parametry vztažené k reprezentativní osobě a konverzní faktory pro  $^3\text{H}$

Příloha H: Seznam cest ozáření uvažovaných aplikací ESTE AI verze 5.01

Příloha I: Grafické vyobrazení cest ozáření

Příloha J: Harmonogram vyřazování EDU a dostavby NJZ

Příloha K: Celkové roční vypusti EDU do vodoteče a ovzduší

Příloha L: Přepočet dávek z historických vypustí EDU do vodoteče a ovzduší

Příloha M: Detail větrné růžice pro roky 2012 – 2016

Příloha N: Měsíční úhrny srážek za léta 1985 – 2012

Příloha O: Střední rychlost větru při jednotlivých třídách stability v závislosti na směru proudění na stanici Dukovany – průměr za období 2000 – 2012

Příloha P: Relativní četnost výskytu kategorií stability na stanici Dukovany

Příloha Q: Průtoky řeky Jihlavy v profilu Mohelno v letech 1990 – 2013

Příloha R: Vypusti do vodoteče a ovzduší pro plánovanou výkonovou variantu 2 x 1 200 MW<sub>e</sub>

Příloha S: Situační mapa sektorů zahrnující reprezentativní osoby

## Přílohy

### Příloha A

#### Podrobné parametry EDU (Zpráva SÚJB, 2001)

Počet bloků	4	Průměr tělesa parogenerátoru	3,21 m
Typ reaktoru	tlakovodní energetický reaktor VVER 440/213	Délka tělesa parogenerátoru	11,80 m
<b>Výkon jednoho bloku</b>		<b>Hlavní cirkulační čerpadlo</b>	
Nominální tepelný výkon	1375 MWt	Počet na blok	6
Výkon na svorkách alternátoru	440 MWe	Příkon jednoho čerpadla	1,6 MW
Výkon dodávaný do elektrické sítě	388 MWe	Provozní výkon	cca 7000 m <sup>3</sup> /hod
Vlastní spotřeba	52 MWe	Jmenovitá otáčky	1460 ot/min
<b>Technické parametry reaktoru</b>		Hmotnost čerpadla	cca 48 t
Výška reaktoru	23,67 m	<b>Turbína</b>	
Vnitřní průměr tlakové nádoby	3,542 m	Počet VT dílů	1
Síla stěny válcové části nádoby	340 mm	Počet NT dílů	2
Tloušťka nerezové výstelky	9 mm	Jmenovitá otáčky	3000 ot/min
Hmotnost nádoby bez chladiva	215,15 t	Teplota vstupní páry	256°C
Hmotnost reaktoru	395 t	Tlak vstupní páry	4,3 MPa
<b>Aktivní zóna reaktoru</b>		<b>Generátor</b>	
Počet palivových kazet	312	Výkon	220 MW
Počet palivových proutků v kazetě	126	Napětí na svorkách	15,75 kV
Počet regulačních kazet	37	Jmenovitá frekvence	50 Hz
Výška aktivní zóny	2,5 m	Chlazení	vodík – voda
Průměr aktivní zóny	2,88 m	<b>Kondenzátor</b>	
Obohacení paliva	1,6/2,4/3,6/3,82*% U 235	Počet na jednu turbínu	1
Vsázka paliva (UO <sub>2</sub> )	42 t	Počet trubek	
Cyklus výměny paliva	čtyřletý s částečným přechodem na pětiletý	v jednom kondenzátoru	31 716
	* s profilovaným obohacením	Průtok chladicí vody	35 000 m <sup>3</sup> /hod
<b>Systém chlazení reaktoru</b>		Materiál	titan
Počet chladicích smyček	6	<b>Chladicí věže</b>	
Vnitřní průměr hlavního cirkulačního potrubí	500 mm	Počet na blok	2
Objem chladiva v primárním okruhu	209 m <sup>3</sup>	Výška	125 m
Pracovní tlak	12,25 MPa	Průměr v koruně věže (vnitřní)	59,49 m
Teplota chladiva na vstupu	cca 267°C	Patní průměr	87,94 m
Teplota chladiva na výstupu	cca 297°C	Tloušťka pláště	0,6-0,15 m
Průtok chladiva reaktorem	42 000 m <sup>3</sup> /hod	Počet šikmých stojek	104
<b>Parogenerátor</b>		Průtok vody jednou věží	cca 10,55 m <sup>3</sup> /s
Počet na blok	6	Odpar z jedné věže	max. 0,15 m <sup>3</sup> /s
Množství páry vyrobené v jednom parogenerátoru	452 t/hod		
Tlak páry na výstupu	4,61 MPa		
Teplota páry na výstupu	260,0°C		
Hmotnost parogenerátoru	cca 165 t		

## Příloha B

Podrobnější informace k vybraným umělým radionuklidům (SÚJB, 2017)

<b>Radionuklid</b>	<b>Poločas rozpadu</b>	<b>Emitované záření</b>	<b>Původ</b>
Cesium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ )	30 let	Beta, gama	Zkoušky jaderných zbraní, havárie jaderných elektráren, výpusti jaderných zařízení
Cesium 134 ( $^{134}\text{Cs}$ )	2 roky	Beta, gama	Havárie jaderných elektráren, výpusti jaderných zařízení
Stroncium 90 ( $^{90}\text{Sr}$ )	27,7 let	Beta	Zkoušky jaderných zbraní, výpusti jaderných zařízení
Tritium ( $^3\text{H}$ )	12,26 let	Beta	Kosmického původu, zkoušky jaderných zbraní, výpusti jaderných zařízení
Uhlík 14 ( $^{14}\text{C}$ )	5730 let	Beta	Kosmického původu, zkoušky jaderných zbraní, výpusti jaderných zařízení
Krypton 85 ( $^{85}\text{Kr}$ )	10,7 roků	Beta	Kosmického původu, zkoušky jaderných zbraní, výpusti jaderných zařízení
Jód 131 ( $^{131}\text{I}$ )	8 dní	Beta, gama	Havárie jaderných elektráren, výpusti jaderných zařízení a pracovišť nukleární medicíny
Plutonium 238 ( $^{238}\text{Pu}$ )	86,4 let	Alfa	Zkoušky jaderných zbraní, výpusti jaderných zařízení
Plutonium 239+240 ( $^{239+240}\text{Pu}$ )	$2,439 \cdot 10^4$ let a 6580 let	Alfa	Zkoušky jaderných zbraní, výpusti jaderných zařízení

## Příloha C

Rozhodnutí SÚJB č.j. 12135/2007, o povolení k uvádění radionuklidů do ovzduší (Rozhodnutí SÚJB, 2007a)

SÚJB povoluje uvádění radionuklidů do životního prostředí ve formě výpustí do ovzduší a to v míře, která nepřesáhne za kalendářní rok pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva autorizovaný limit 40  $\mu\text{Sv}$ , který se vztahuje na součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření. Povolení se vydává za předpokladu dodržení následujících podmínek:

1. Roční bilancování (porovnání skutečnosti s hodnotou výše uvedeného autorizovaného limitu) se provádí pomocí výpočetního programu RDEDU V 2.0.1, autorizovaného SÚJB procesem daným VDS 030 a zařazeným do databáze výpočetních kódů pod čp. 604. Výpočet se provádí pro skutečnou hodnotu výpustí do ovzduší a pro skutečné meteorologické podmínky v bilancovaném roce. Kritickou skupinou obyvatelstva jsou obyvatelé trvale žijící do vzdálenosti 5 km od středu jaderné elektrárny.

2. Pro účely kontroly a regulace výpustí v průběhu kalendářního roku se odhad součtu efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření jednotlivce z kritické skupiny stanovuje jako součet součinů aktivit jednotlivých radionuklidů vypuštěných do ovzduší za sledované období a převodních koeficientů  $h$ , které jsou stanoveny takto:

	$h$ (Sv/Bq)		$h$ (Sv/Bq)		$h$ (Sv/Bq)		$h$ (Sv/Bq)
<sup>3</sup> H	5,20E-22	<sup>76</sup> As	1,08E-19	<sup>124</sup> Sb	8,46E-18	<sup>135m</sup> Xe	2,98E-21
<sup>14</sup> C	1,93E-19	<sup>85m</sup> Kr	2,55E-21	<sup>125</sup> Sb	3,57E-17	<sup>135</sup> Xe	4,11E-21
<sup>41</sup> Ar	1,43E-21	<sup>85</sup> Kr	4,31E-23	<sup>129</sup> I	2,61E-16	<sup>138</sup> Xe	7,02E-21
<sup>51</sup> Cr	8,48E-20	<sup>87</sup> Kr	1,04E-20	<sup>131</sup> I	1,34E-18	<sup>140</sup> Ba	2,30E-19
<sup>54</sup> Mn	1,96E-17	<sup>88</sup> Kr	3,00E-20	<sup>132</sup> I	6,58E-20	<sup>140</sup> La	3,94E-19
<sup>59</sup> Fe	4,04E-18	<sup>89</sup> Sr	1,33E-19	<sup>133</sup> I	2,29E-19	<sup>141</sup> Ce	4,03E-19
<sup>57</sup> Co	3,06E-18	<sup>90</sup> Sr	5,62E-17	<sup>134</sup> I	4,29E-20	<sup>144</sup> Ce	7,88E-18
<sup>58</sup> Co	5,37E-18	<sup>95</sup> Zr	3,88E-18	<sup>135</sup> I	1,07E-19	<sup>238</sup> Pu	4,70E-15
<sup>60</sup> Co	3,39E-16	<sup>95</sup> Nb	2,15E-18	<sup>134</sup> Cs	8,30E-17	<sup>239</sup> Pu	5,16E-15
<sup>65</sup> Zn	1,22E-17	<sup>103</sup> Ru	1,73E-18	<sup>137</sup> Cs	1,41E-16	<sup>241</sup> Am	5,34E-15
<sup>75</sup> Se	4,69E-18	<sup>110m</sup> Ag	3,58E-17	<sup>133</sup> Xe	5,63E-22		

## Odůvodnění:

Veškerou dokumentaci požadovanou Přílohou H zákona účastník řízení předložil v příloze žádosti čj. B/8-IV/1976941/2007 ze dne 5.4.2007. Doplněním žádosti evidovaným SÚJB pod čj. 12250/2007 účastník řízení požádal o vydání rozhodnutí na dobu platnosti 15 let a požádal, aby současně s vydáním rozhodnutí bylo zrušeno rozhodnutí čj. 23542/2004, vydané SÚJB ve stejné věci dne 3.11.2004. Účastník řízení požádal jedním podáním o povolení činnosti podle § 9 odst. 1 písm. h) zákona – uvádění radionuklidů do životního prostředí jak formou výpustí do vod, tak formou výpustí do ovzduší. Vzhledem k odlišnosti uvedených forem uvádění radionuklidů do životního prostředí i vzhledem ke skutečnosti, že rozhodnutí SÚJB je podkladem k vydání rozhodnutí vodoprávního orgánu, SÚJB rozdělil správní řízení na vydání povolení pro uvádění radionuklidů do životního prostředí formou výpustí do vod (rozhodnutí SÚJB čj. 12136/2007 z 25.4.2007) a na vydání povolení pro uvádění radionuklidů do životního prostředí formou výpustí do ovzduší (toto rozhodnutí).

Výpočetním programem RDEDU V 2.0.1 autorizovaným SÚJB účastník řízení prokázal, že kritickou skupinou z hlediska kapalných výpustí jsou obyvatelé žijící do vzdálenosti 5 km od Jaderné elektrárny Dukovany. Pro tuto kritickou skupinu byl proveden výpočet efektivní dávky pro reálné roční výpusti za posledních pět roků do r. 2006 včetně, za reálných meteorologických podmínek v jednotlivých letech, pro všechny expoziční cesty, spotřeba potravin uvažována konzervativní, stínící faktory pro oblak a deponit uvažovány rovny 1.

## Příloha D

Rozhodnutí SÚJB č.j. 12136/2007, o povolení k uvádění radionuklidů do vodoteče (Rozhodnutí SÚJB, 2007b)

SÚJB povoluje uvádění radionuklidů do životního prostředí ve formě kapalných výpustí z Jaderné elektrárny Dukovany do řeky Jihlavy v profilu nádrží Mohelno, a to v míře, která nepřesáhne za kalendářní rok pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva autorizovaný limit  $6 \mu\text{Sv}$ , který se vztahuje na součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření. Povolení se vydává za předpokladu dodržení následujících podmínek:

Roční bilancování (porovnání skutečnosti s hodnotou výše uvedeného autorizovaného limitu) se provádí pomocí výpočetního programu RDEDU V 2.0.1, autorizovaného SÚJB procesem daným VDS 030 a zařazeným do databáze výpočetních kódů pod čp. 604. Výpočet se provádí pro skutečnou hodnotu výpustí a pro skutečné poměry v recipientu v bilancovaném roce. Kritickou skupinou jsou obyvatelé nacházející se v zóně č. 41 do vzdálenosti 9 až 10 km od místa výpusti odpadních vod do recipientu.

Pro účely kontroly a regulace výpustí v průběhu kalendářního roku se odhad součtu efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření jednotlivce z kritické skupiny stanovuje jako součet součinů aktivit jednotlivých radionuklidů vypuštěných do recipientu za sledované období a převodních koeficientů  $h$ , které jsou stanoveny takto:

radionuklid	h	radionuklid	h
	[Sv/Bq]		[Sv/Bq]
$^3\text{H}$	1,23E-19	$^{134}\text{Cs}$	4,53E-15
$^{14}\text{C}$	1,14E-16	$^{137}\text{Cs}$	5,88E-15
$^{51}\text{Cr}$	3,52E-18	$^{141}\text{Ce}$	9,14E-18
$^{54}\text{Mn}$	7,40E-16	$^{144}\text{Ce}$	2,37E-17
$^{57}\text{Co}$	1,09E-16	$^{238}\text{Pu}$	4,18E-17
$^{58}\text{Co}$	2,02E-16	$^{239}\text{Pu}$	4,26E-17
		$^{240}\text{Pu}$	1,79E-16
$^{59}\text{Fe}$	1,08E-17	$^{241}\text{Am}$	1,66E-20
$^{60}\text{Co}$	1,27E-14	$^{242}\text{Cm}$	1,13E-21
$^{65}\text{Zn}$	3,71E-16	$^{244}\text{Cm}$	8,53E-22
$^{75}\text{Se}$	3,11E-19	$^{89}\text{Sr}$	1,22E-17
$^{95}\text{Zr}$	1,38E-16	$^{90}\text{Sr}$	1,35E-16
$^{95}\text{Nb}$	7,41E-16	$^{131}\text{I}$	1,35E-16
$^{103}\text{Ru}$	6,93E-17	$^{140}\text{Ba}$	8,12E-19
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	5,22E-17	$^{76}\text{As}$	2,52E-19
$^{124}\text{Sb}$	3,57E-18	$^{140}\text{La}$	3,43E-18
$^{125}\text{Sb}$	2,82E-19	$^{181}\text{Hf}$	3,84E-19

Odůvodnění:

Veškerou dokumentaci požadovanou Přílohou H zákona účastník řízení předložil v příloze žádosti čj. B/8-IV/1976941/2007 ze dne 5.4.2007. Doplněním žádosti evidovaným SÚJB pod čj. 12250/2007 účastník řízení požádal o vydání rozhodnutí na dobu platnosti 15 let a požádal, aby současně s vydáním rozhodnutí bylo zrušeno rozhodnutí čj. 8100/2002, vydané SÚJB ve stejné věci dne 20.5.2002. Účastník řízení požádal jedním podáním o povolení činnosti podle § 9 odst. 1 písm. h) zákona – uvádění radionuklidů do životního prostředí jak formou výpustí do vod, tak formou výpustí do ovzduší. Vzhledem k odlišnosti uvedených forem uvádění radionuklidů do životního prostředí i vzhledem ke skutečnosti, že rozhodnutí SÚJB je podkladem k vydání rozhodnutí vodoprávního orgánu, SÚJB rozdělil správní řízení na vydání povolení pro uvádění radionuklidů do životního prostředí formou výpustí do vod a na vydání povolení pro uvádění radionuklidů do životního prostředí formou výpustí do ovzduší.

Autorizovaný limit stanovený ve výroku ve veličině efektivní dávka je univerzální a zohledňuje vliv libovolné směsi radionuklidů (včetně tritia) vypuštěné do povrchových vod. Není tudíž nutno odděleně stanovovat limit pro tritium a limity pro ostatní radionuklidy, výpočet ozáření v důsledku výpustí odpadních vod je prováděn radionuklidově specificky.

Výpočetním programem RDEDU účastník řízení prokázal, že kritickou skupinou z hlediska kapalných výpustí jsou obyvatelé žijící v zóně č. 41 do vzdálenosti 10 km od místa výpustí do recipientu. Pro roční výpust aktivity tritia  $2,0 \cdot 10^{13}$  Bq (odpovídá nejvyšší roční výpustí tritia do vodoteče za období 1990 až 2006) a roční výpust sumární aktivity ostatních radionuklidů  $1,9 \cdot 10^8$  Bq do recipientu s průtokem  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$  (odpovídá nejmenšímu ročnímu průměrnému průtoku za období 1990 až 2006), při zohlednění všech v úvahu přicházejících expozičních cest vychází odhad efektivní dávky pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatel v závislosti na jeho věku 2,0 až 4,5  $\mu\text{Sv}$ . Stanovený autorizovaný limit tudíž zaručuje ochranu celé kritické skupiny, bez ohledu na věk jejích jednotlivců. Na efektivní dávce se v dané směsi radionuklidů z 99 % podílí tritium. Z expozičních cest uvažovaných ve výpočtu zcela převažuje ozáření v důsledku příjmu vody, a to podílem vyšším než 99 %.



Povinnost monitorovat výpustí z pracovišť se zdroji ionizujícího záření do okolí, stejně jako monitorovat okolí takových pracovišť, je dána zákonem a vyhláškou č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. Konkrétní způsob měření (místo a četnost odběru, stanovovaná veličina, metody monitorování atd.) jsou předmětem programu monitorování výpustí a programu monitorování okolí, které jsou podle zákona schvalovanou dokumentací držitele povolení k provozu pracoviště se zdroji ionizujícího záření podle § 9 odst. 1 písm. d) zákona. Monitorování zahrnuje mj. jak průběžné sledování aktivity tritia vypouštěného do recipientu, tak aktivity ostatních radionuklidů včetně indikativního parametru.

## Příloha E

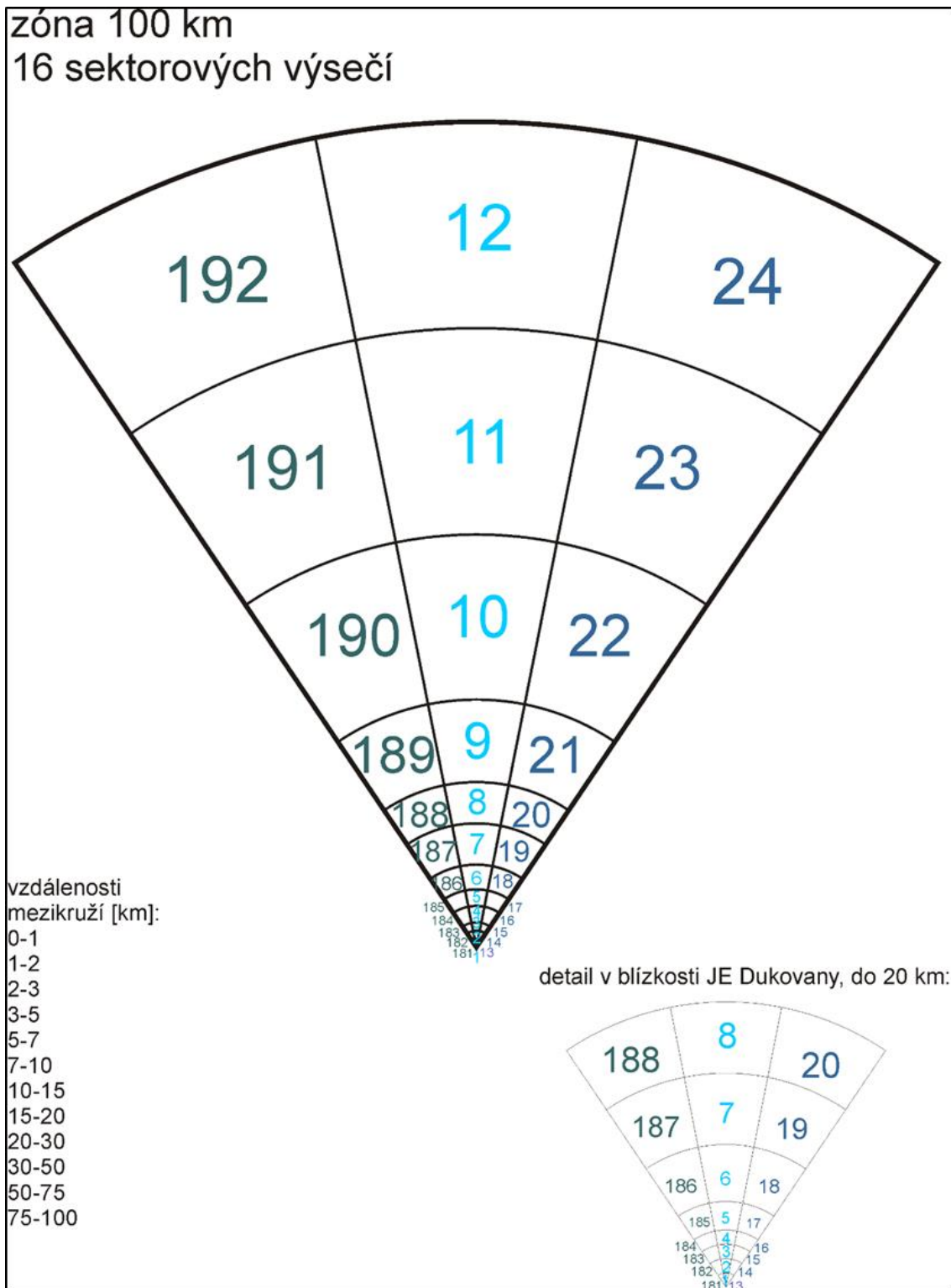
Jednotlivé předpokládané jaderné zdroje (ČEZ, 2017f)

 <p>AP1000</p>	<p>USA</p>  <p>Westinghouse</p> <p>1200MW<sub>e</sub>*</p>	<p>Francie</p>  <p>AREVA</p> <p>1750MW<sub>e</sub>*</p>	 <p>EPR1600</p>
 <p>CAP1400</p>	<p>Čína</p>  <p>SNPTC</p> <p>1500MW<sub>e</sub>*</p>	<p>Čína</p>  <p>中广核 CGN CNNC</p> <p>1150MW<sub>e</sub>*</p>	 <p>HL1000</p>
 <p>EU1700</p>	<p>Japonsko</p>  <p>MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.</p> <p>1700MW<sub>e</sub>*</p>	<p>Francie + Japonsko</p>  <p>ATMEA</p> <p>1200MW<sub>e</sub>*</p>	 <p>ATMEA1100</p>
 <p>MIR1200 VVERTOI VVER 1500</p>	<p>Rusko</p>  <p>ACB-ASF</p> <p>1200 – 1500 MW<sub>e</sub>*</p>	<p>Korea</p>  <p>KHNP</p> <p>1200 – 1455 MW<sub>e</sub>*</p>	 <p>APR+ APR1400 APR1000+</p>

\* Uveden hrubý elektrický výkon

## Příloha F

Sektory využívané aplikací ESTE AI (ABmerit, 2016a)



## Příloha G

Parametry vztažené k reprezentativní osobě a konverzní faktory pro  $^3\text{H}$  (vyhláška č. 422/2016 Sb., § 67 odst. 2 a 3 a tabulky přílohy č. 3)

<b>věk</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>&gt;15</b>
<b>množství vdechovaného vzduchu [m<sup>3</sup>/rok]</b>	1500	6500	8500
<b>množství spotřebované vody [l/rok]</b>	275	365	730
<b>konverzní faktor h pro ingesci <math>^3\text{H}</math> [Sv/Bq]</b>	4,8E-11	2,3E-11	1,8E-11
<b>konverzní faktor h pro inhalaci <math>^3\text{H}</math> [Sv/Bq]</b>	4,8E-11		

## Příloha H

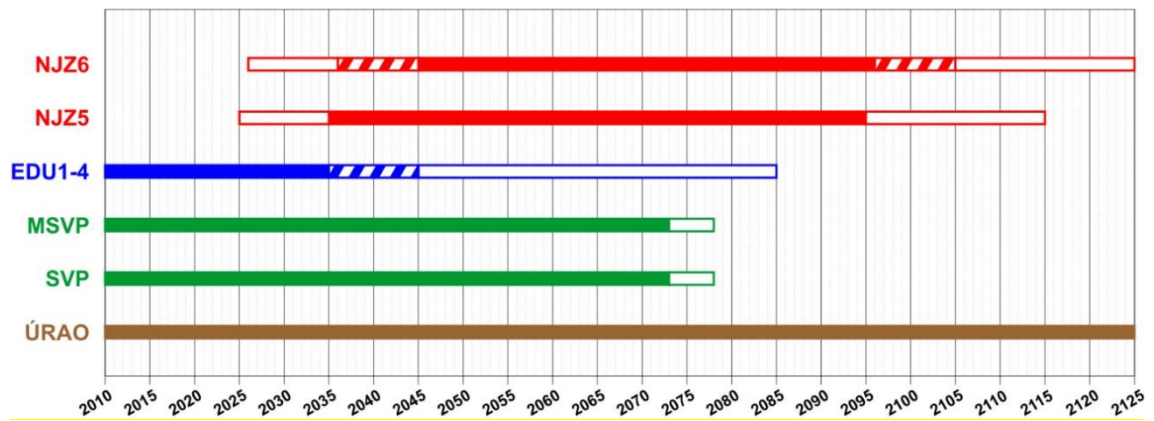
Seznam cest ozáření uvažovaných aplikací ESTE AI verze 5.01 (ABmerit, 2016d)

- 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)
- Čerstvá pastva – kráva – mléko – člověk
- Zvěř krmená ve stáji – kráva – mléko – člověk
- Čerstvá pastva – koza – mléko – člověk
- Zvěř krmená ve stáji – koza – mléko – člověk
- Čerstvá pastva – kráva – maso – člověk
- Zvěř krmená ve stáji – kráva – maso – člověk
- Pitná voda – člověk (přímá ingesce)
- Zvěř krmená ve stáji obilninou – prase – maso – člověk
- Zvěř krmená ve stáji obilninou – drůbež – maso – člověk
- Zvěř krmená ve stáji obilninou – drůbež – vejce – člověk
- Zavlažovaná listová zelenina – člověk (přímá ingesce)
- Zavlažované ostatní zemědělské produkty – člověk (přímá ingesce)
- 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 obilnina, zvěř krmená ve stáji – prase – maso – člověk
- Zvěř krmená ve stáji zavlažovanou obilninou – drůbež – maso – člověk
- Zvěř krmená ve stáji zavlažovanou obilninou – drůbež – vejce – člověk
- Voda (řeka) – ryba – maso – člověk
- Voda (řeka) – kráva – mléko – člověk
- Voda (řeka) – kráva – maso – člověk
- Voda (řeka) – prase – maso – člověk
- Voda (řeka) – drůbež – maso – člověk
- Voda (řeka) – drůbež (vejce) – vejce – člověk
- Koupání v řece
- Veslování na řece
- Pobyť na břehu (rybář)



## Příloha J

Harmonogram vyřazování EDU a dostavby NJZ (ČEZ, a.s., 2016b)



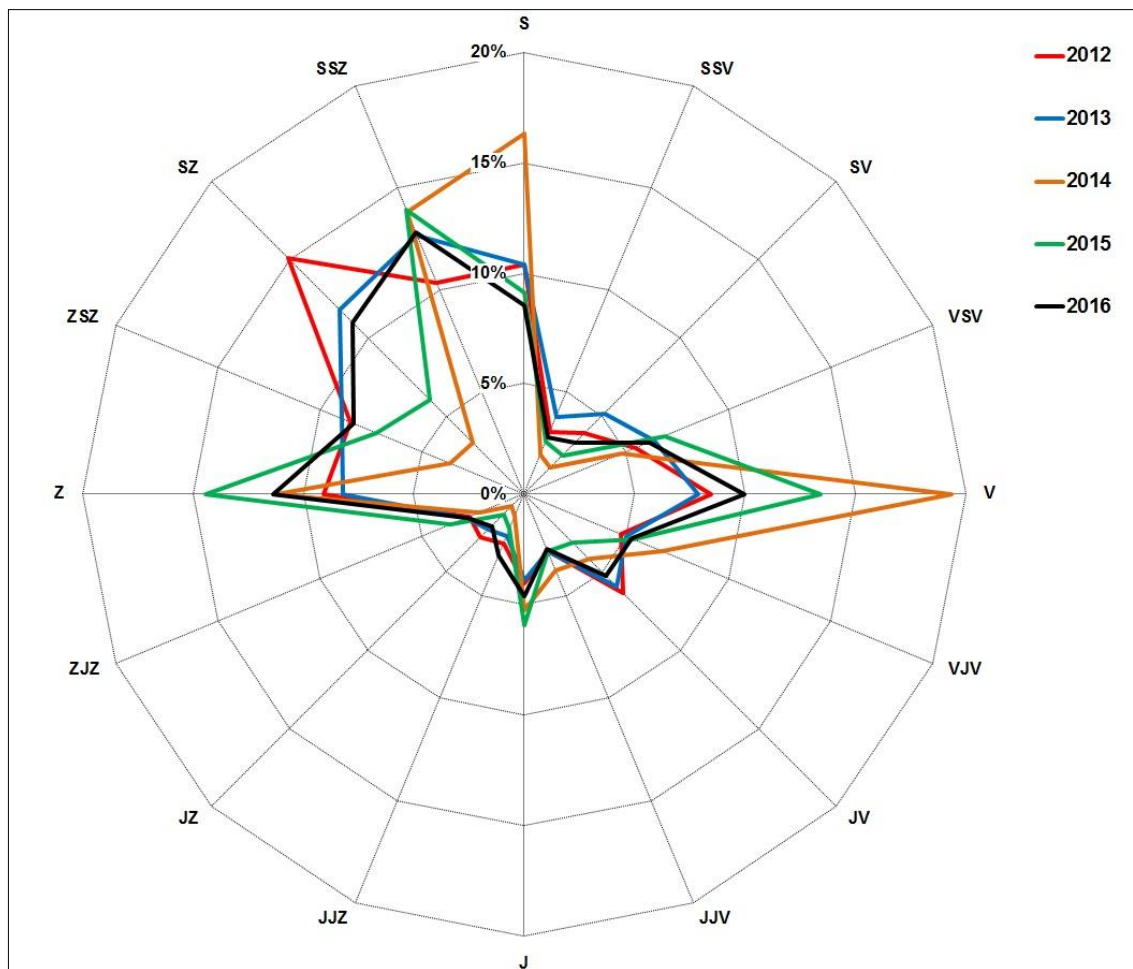






## Příloha M

Detail větrné růžice pro roky 2012 – 2016 (ČEZ, export aplikace RDEDU)



## Příloha N

Měsíční úhrny srážek [mm] za léta 1985 – 2012 (ČEZ, a.s., 2016e, tabulka 33, kapitola 2.5.2.8.2)

rok	měsíc												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	celkem
1985	23	34	37	11	94,5	63,5	92,7	129	14,4	6,5	72	34	<b>611,8</b>
1986	27	18	14	11	83,6	124	66,3	52,4	15,1	28	33	29	<b>503,0</b>
1987	30	37	23	8,5	129	114	83,2	47,1	51,5	31	17	22	<b>593,4</b>
1988	27	31	28	14	20,3	59,4	45,8	113	38,2	19	13	32	<b>440,0</b>
1989	9,2	20	11	63	44,2	70,6	22,1	74,2	21,3	11	7,8	7,2	<b>361,4</b>
1990	1,8	46	9,5	64	57,1	64,7	36,5	13,7	56,5	40	45	18	<b>452,8</b>
1991	3,5	9,7	15	23	81	76,7	46,9	41,5	14,6	6,9	61	32	<b>412,1</b>
1992	9,2	8,6	47	24	15,6	76,1	30,1	36,5	36,7	57	42	30	<b>412,5</b>
1993	28	7,2	3,2	7,6	38,1	73,1	35,3	55,1	38,7	43	39	36	<b>404,7</b>
1994	13	12	16	62	53,1	14,6	66,3	58,2	21,1	30	15	32	<b>393,0</b>
1995	16	20	36	43	51,2	87,4	29,2	69,5	106	7,8	31	23	<b>518,9</b>
1996	26	19	15	44	73,1	106	48,8	75,2	56,7	50	23	23	<b>560,9</b>
1997	13	11	28	32	51,1	57,5	216	49,4	31,3	28	64	43	<b>622,6</b>
1998	7,2	1,9	26	34	20,7	48,1	86,8	24,6	71,2	57	24	7,6	<b>408,8</b>
1999	9,5	21	26	38	48,7	79,8	56,4	31,6	27,6	21	37	23	<b>419,6</b>
2000	27	17,7	71,1	7,2	44,8	35,7	113	43,1	35,3	23	34,9	31,2	<b>484,0</b>
2001	24,2	14,5	47,3	41,4	42,1	35,4	54,5	77,4	81,1	15	20,8	27,7	<b>481,4</b>
2002	7,7	17,4	21,7	37,5	38,9	85,9	83,4	141,5	43,8	67	50,4	37,1	<b>632,3</b>
2003	33,9	2,8	6,5	19,1	66,7	13	67,8	18,3	26,2	45,1	27,6	41,6	<b>368,6</b>
2004	40,8	20	52,2	22,6	36	85	38,3	38,3	37,3	42,3	34,1	13,7	<b>460,6</b>
2005	23,7	25,2	4,8	47,6	76,2	46,3	103,8	70,9	25,2	4	12,5	33,8	<b>474,0</b>
2006	25,5	14,6	55,8	74,7	86	64,3	42,8	137,8	4,3	10,7	16	11,9	<b>544,4</b>
2007	32,3	28,2	38,6	3,1	41	74,2	58,3	35,4	108,3	30,7	41,5	10,9	<b>502,5</b>
2008	14,2	7,2	24	33,8	33,1	57,5	53,1	30,5	46	16,5	41,4	22,6	<b>379,9</b>
2009	17,9	44,7	73,4	6,2	56	100,9	91,2	56,5	26,2	26,4	39,3	32,2	<b>570,9</b>
2010	41,7	19,8	10,4	57,3	127,6	95,6	127,3	113	81	15	30,9	31,7	<b>751,3</b>
2011	15,6	8,4	38,6	15,5	57,7	28	65,8	46,9	42,2	36,6	5,1	16,1	<b>376,5</b>
2012	40,2	11,2	5,4	22,4	50,2	78,7	132,1	56,6	30,2	39,2	20,1	28,5	<b>514,8</b>

## Příloha O

Střední rychlost větru při jednotlivých třídách stability v závislosti na směru proudění na stanici Dukovany – průměr za období 2000 – 2012 (ČEZ, a.s., 2016e, tabulka 16, kapitola 2.4.2.3.3)

Sektor	Kategorie A-F	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Kategorie D	Kategorie E	Kategorie F
N	3,26	5,1	3,17	3,14	3,17	2,95	1,46
NNE	2,71	4,18	3,16	3,13	2,79	2,7	1,27
NE	3,11	4,28	3,18	3,66	3,34	2,87	1,36
ENE	3,01	3,65	2,93	3,32	3,4	2,93	1,47
E	3,06	2,73	3,16	3,55	3,4	2,98	1,48
ESE	4,1	3,93	4,56	4,25	4,38	3,08	1,39
SE	5,05	5,42	4,06	5,06	5,53	3,58	1,27
SSE	3,03	3,77	3,04	3,47	2,95	2,72	1,26
S	2,9	3,82	2,78	3,01	2,91	2,94	1,35
SSW	2,76	3,38	2,65	2,91	3,05	2,74	1,38
SW	3,1	4,25	2,74	3,34	3,37	2,82	1,4
WSW	3,86	4,75	3,6	4,47	4,23	2,85	1,4
W	4,84	3,65	4,82	5,45	5,43	3,41	1,52
WNW	4,66	4,94	5,72	5,22	4,89	3,05	1,5
NW	4,62	5,9	4	4,53	4,89	3,3	1,63
NNW	4,14	5,5	4,46	4,46	4,31	3,31	1,63
Celkem	3,92	4,97	4,04	4,23	4,25	3,1	1,47

## Příloha P

Relativní četnost výskytu kategorií stability na stanici Dukovany (ČEZ, a.s., 2016e, kapitola 2.4.2.3.2)

Dlouhodobý průměr	Kategorie						Celkem
	A	B	C	D	E	F	
	silně instabilní (labilní)	instabilní	mírně instabilní	indiferentní (neutrální)	stabilní	silně stabilní	
<b>2004-2012</b>	22,8	11,2	14,9	31,8	6,9	12,24	100

## Příloha Q

Průtoky řeky Jihlavy v profilu Mohelno v letech 1990 – 2013 (ČEZ, a.s., 2016e, příloha 2.5.2.2 ke kapitole 2.5)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Leden	2,0	1,4	4,6	2,3	5,8	1,0	7,4	3,9	4,4	4,1	2,8	2,0	7,3	12,6	2,6	3,0	3,3	2,4	5,1	1,9	4,5	13,1	2,6	2,5
Únor	1,6	1,4	7,5	2,2	5,1	1,5	8,3	5,7	4,1	8,5	13,4	2,9	11,6	6,4	10,2	4,3	3,7	4,4	5,9	1,9	8,9	6,9	5,3	9,1
Březen	1,9	1,1	12,2	4,0	7,5	2,4	5,2	15,2	4,0	19,6	22,9	4,6	11,4	6,2	11,3	14,2	7,5	8,9	8,7	19,4	9,0	6,8	9,3	9,6
Duben	2,0	1,1	6,2	6,2	8,8	5,7	28,4	10,5	4,0	4,0	16,1	10,1	7,3	6,3	12,2	7,7	36,4	5,2	5,6	9,0	11,1	5,1	4,5	8,5
Květen	2,0	1,1	4,4	4,5	3,8	5,2	22,3	5,7	3,8	4,2	4,7	6,2	4,8	4,5	7,1	4,1	9,4	2,3	3,8	2,0	6,4	3,4	3,5	6,5
Červen	1,9	1,6	3,0	2,5	3,3	6,9	6,0	4,0	3,1	2,4	4,1	3,3	3,8	4,1	5,1	3,4	6,5	1,7	2,2	3,6	13,2	2,5	2,4	13,6
Červenec	1,7	2,0	1,9	1,9	2,4	4,0	4,5	16,9	3,3	3,2	2,4	3,7	3,2	3,1	4,0	4,3	4,3	2,1	2,1	11,2	3,7	2,2	1,2	4,7
Srpen	1,5	4,2	1,6	2,6	2,3	3,6	4,2	4,1	2,5	2,0	2,0	5,2	15,9	2,8	3,3	3,8	9,0	2,1	2,1	4,5	8,7	2,2	2,2	2,3
Září	1,7	2,2	1,3	1,9	2,3	4,3	3,9	3,3	1,4	1,9	2,1	6,2	9,1	2,4	2,2	4,6	4,1	2,9	2,1	4,2	7,5	2,4	2,3	2,3
Říjen	1,6	2,2	1,4	1,7	2,3	3,8	4,7	4,4	1,6	2,0	2,0	6,2	9,4	2,2	2,9	4,3	3,2	4,1	2,0	2,9	9,8	3,5	2,0	2,5
Listopad	1,4	2,3	1,4	1,3	2,5	4,3	10,7	4,2	3,1	3,0	2,0	6,5	21,2	2,2	5,7	3,5	3,0	5,1	2,0	3,3	5,1	3,6	1,8	2,5
Prosinec	1,4	2,3	2,0	2,8	1,3	4,4	4,5	4,2	3,3	2,7	2,0	6,5	9,7	1,9	4,0	3,1	3,0	5,4	1,9	3,1	5,8	2,3	1,7	2,6
<b>Průměr</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>3,9</b>	<b>2,8</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>9,2</b>	<b>6,8</b>	<b>3,2</b>	<b>4,8</b>	<b>6,4</b>	<b>5,3</b>	<b>9,6</b>	<b>4,6</b>	<b>5,9</b>	<b>5,0</b>	<b>7,8</b>	<b>3,9</b>	<b>3,6</b>	<b>5,6</b>	<b>7,8</b>	<b>4,5</b>	<b>3,3</b>	<b>5,6</b>

## Příloha R

Výpusti do vodoteče a ovzduší pro plánovanou výkonovou variantu 2 x 1 200 MW<sub>e</sub>  
(ČEZ, a.s., 2016a)

nuklid	AP 1000	MIR 1200	ACP 1000	HPR 1000	nuklid	AP 1000	MIR 1200	ACP 1000	HPR 1000
	Výpust do vodoteče aktivita [Bq/r]					Výpust do ovzduší aktivita [Bq/r]			
H-3	7.47E+13	6.72E+13	9.18E+13	8.96E+13	H-3	3.56E+12	1.30E+13	9.18E+12	9.96E+12
C-14 anorg	0.00E+00	0.00E+00	5.64E+10	3.48E+10	C-14 org	1.03E+12	5.39E+11	6.14E+11	6.69E+11
Na-24	1.02E+08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	C-14anorg	2.58E+11	1.35E+11	1.54E+11	1.67E+11
Cr-51	9.77E+07	4.80E+05	8.00E+08	1.12E+08	C-14 (total)	1.29E+12	6.74E+11	7.68E+11	8.36E+11
Mn-54	6.81E+07	1.14E+05	3.24E+07	2.94E+07	Ar-41	2.52E+12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Fe-55	5.18E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	Cr-51	4.52E+05	1.70E+05	1.08E+07	4.48E+07
Fe-59	1.04E+07	1.90E+05	2.02E+07	1.01E+07	Mn-54	3.18E+05	1.06E+04	6.30E+06	3.20E+07
Co-58	1.76E+08	7.00E+05	1.20E+09	1.23E+08	Fe-59	0.00E+00	0.00E+00	3.06E+06	5.84E+06
Co-60	2.29E+07	8.40E+05	1.77E+09	1.85E+08	Co-57	0.00E+00	0.00E+00	9.10E+05	0.00E+00
Zn-65	2.15E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	Co-58	1.70E+07	0.00E+00	5.32E+07	1.71E+09
W-187	7.40E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	Co-60	6.44E+06	6.80E+04	1.26E+07	6.48E+08
Np-239	1.33E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	Kr-83m	0.00E+00	1.20E+12	0.00E+00	0.00E+00
Br-84	1.48E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	Kr-85m	4.80E+10	4.40E+12	2.88E+12	3.22E+13
Rb-88	2.29E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	Kr-85	6.22E+12	6.20E+11	3.02E+12	9.14E+12
Sr-89	5.18E+06	1.88E+06	5.86E+07	3.76E+07	Kr-87	3.84E+10	4.00E+12	3.60E+12	4.82E+13
Sr-90	0.00E+00	5.60E+03	9.12E+05	8.42E+06	Kr-88	5.32E+10	9.60E+12	6.58E+12	8.20E+13
Sr-91	1.48E+06	0.00E+00	1.09E+05	2.46E+06	Sr-89	2.22E+06	7.00E+05	1.76E+07	2.20E+08
Y-91m	7.40E+05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	Sr-90	8.88E+05	1.30E+03	7.00E+06	8.58E+07
Y-91	0.00E+00	0.00E+00	1.92E+06	4.80E+07	Zr-95	7.40E+05	0.00E+00	1.12E+06	7.46E+07
Y-93	6.66E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	Nb-95	1.85E+06	0.00E+00	4.70E+06	2.02E+08
Zr-95	1.48E+07	0.00E+00	2.98E+06	2.48E+06	Ru-103	0.00E+00	0.00E+00	1.85E+06	5.94E+06
Nb-95	1.33E+07	0.00E+00	2.28E+06	2.50E+06	Ru-106	0.00E+00	0.00E+00	8.62E+04	5.74E+06
Mo-99	4.51E+07	0.00E+00	1.11E+08	9.14E+06	Sb-125	0.00E+00	0.00E+00	6.76E+04	0.00E+00
Tc-99m	4.22E+07	0.00E+00	4.42E+06	7.60E+05	I-131ply	2.07E+08	1.51E+08	6.15E+08	1.21E+09
Ru-103	2.60E+08	4.03E+02	2.82E+06	2.06E+06	I-131aer	2.07E+08	1.51E+08	6.15E+08	1.21E+09
Ru-106	3.85E+09	1.02E+01	7.64E+05	0.00E+00	I-132ply	0.00E+00	1.10E+08	6.05E+07	2.05E+08
Rh-106	2.59E+08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	I-132aer	0.00E+00	1.10E+08	6.05E+07	2.05E+08
Ag-110m	5.48E+07	0.00E+00	0.00E+00	5.56E+07	I-133ply	3.51E+08	1.50E+08	2.13E+08	4.42E+08
Ag-110	7.40E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	I-133aer	3.51E+08	1.50E+08	2.13E+08	4.42E+08
Sb-124	0.00E+00	0.00E+00	3.44E+08	1.66E+07	I-134ply	0.00E+00	7.20E+07	1.55E+07	1.73E+07
Te-129m	6.66E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	I-134aer	0.00E+00	7.20E+07	1.55E+07	1.73E+07
Te-129	8.14E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	I-135ply	0.00E+00	1.20E+08	6.65E+07	1.69E+08
Te-131m	5.18E+06	0.00E+00	1.42E+05	8.86E+05	I-135aer	0.00E+00	1.20E+08	6.65E+07	1.69E+08
Te-131	1.48E+06	0.00E+00	8.14E+04	5.60E+05	Xe-131m	2.74E+12	4.00E+11	0.00E+00	0.00E+00
Te-132	1.33E+07	0.00E+00	1.49E+07	2.40E+07	Xe-133m	2.30E+11	0.00E+00	1.94E+12	4.22E+12
I-131	7.51E+08	5.20E+07	1.16E+10	2.08E+10	Xe-133	2.52E+12	5.60E+13	8.44E+13	8.34E+13
I-132	1.01E+08	1.20E+06	2.54E+07	4.20E+09	Xe-135m	3.78E+11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I-133	4.29E+08	1.44E+07	3.68E+08	1.11E+10	Xe-135	8.88E+11	1.34E+13	2.22E+13	1.89E+14
I-134	4.22E+07	2.40E+05	4.70E+06	2.46E+08	Xe-137	9.62E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I-135	3.46E+08	3.80E+06	3.00E+07	4.02E+09	Xe-138	1.78E+11	6.32E+12	5.10E+12	6.08E+13
Cs-134	8.55E+08	2.00E+08	2.04E+09	1.44E+09	Cs-134	1.70E+06	4.40E+07	5.30E+06	1.70E+08
Cs-136	5.48E+07	0.00E+00	6.18E+08	5.78E+08	Cs-136	0.00E+00	0.00E+00	3.62E+06	6.32E+06
Cs-137	1.15E+09	3.20E+08	2.38E+09	2.04E+09	Cs-137	2.66E+06	3.21E+05	9.98E+06	2.62E+08
Ba-137m	1.07E+09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	Ba-140	3.10E+05	0.00E+00	4.70E+05	3.14E+07
Ba-140	2.93E+08	0.00E+00	1.02E+08	5.94E+07	Ce-141	0.00E+00	0.00E+00	1.47E+06	3.08E+06
La-140	3.98E+08	0.00E+00	2.86E+05	8.12E+06					
Ce-141	5.18E+06	2.10E+03	3.32E+06	2.18E+06					
Ce-143	1.11E+07	0.00E+00	9.36E+05	3.14E+05					
Ce-144	1.66E+08	9.79E+01	1.78E+06	1.77E+06					
Pr-143	6.66E+06	0.00E+00	2.48E+06	4.06E+06					
Pr-144	1.66E+08	0.00E+00	1.78E+06	1.11E+04					

Pozn.: žlutě jsou označeny varianty s nejvyšší výpustí <sup>3</sup>H a <sup>14</sup>C; pro přehlednost byly odstraněny radionuklidy s nulovými hodnotami.

## Příloha S

Situační mapa sektorů zahrnující reprezentativní osoby (ESTE AI)

