

**VYSOKÁ ŠKOLA EVROPSKÝCH A REGIONÁLNÍCH
STUDIÍ, Z. Ú., ČESKÉ BUDĚJOVICE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

HAVÁRIE A NEHODY NA JADERNÝCH ZAŘÍZENÍCH

Autor práce: Roman Bušta

Studijní program: Bezpečnostně právní činnost

Forma studia: Kombinovaná

Vedoucí práce: PhDr. Štěpán Kavan, Ph.D.

Katedra: Katedra právních oborů a bezpečnostních studií

2023

VYSOKÁ ŠKOLA EVROPSKÝCH A REGIONÁLNÍCH STUDIÍ, z. ú.
Žižkova tř. 6, 370 01 České Budějovice

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení studenta: Roman Bušta
Studijní program: Bezpečnostně právní činnost
Forma studia: Kombinovaná
Místo studia: České Budějovice

Název bakalářské práce: Havárie a nehody na jaderných zařízeních

Název bakalářské práce v anglickém jazyce: Accidents and Incidents at Nuclear Facilities

Katedra: Katedra právních oborů a bezpečnostních studií
Vedoucí bakalářské práce (jméno a příjmení, titul): PhDr. Štěpán Kavan, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce (měsíc, rok): duben 2022




Cíl bakalářské práce:

Hlavním cílem bakalářské práce bude vymezení základní problematiky nehod a havárií, které se v minulosti staly na jaderných zařízeních. V návaznosti na odhalení příčin a průběhu havárií bude provedena analýza nápravných bezpečnostních opatření, které mohou v budoucnu eliminovat důsledky těchto nehod.

Vedlejším cílem bude přiblížení problematiky ochrany obyvatelstva při mimořádných událostech a dopadu havárií na životní prostředí

Student: Roman Bušta	28.4.2022 datum	 podpis
Vedoucí práce: PhDr. Štěpán Kavan, Ph.D.	30.5.2022 datum	 podpis

Schvaluji zadání bakalářské práce:

Vedoucí katedry: doc. JUDr. Roman Svatoš, Ph.D.	17.5.2022 datum	 podpis
Prorektor pro studium a vnitřní záležitosti: doc. PhDr. Miroslav Sapík, Ph.D.	18.5.2022 datum	 podpis
Rektor: doc. Ing. Jiří Dušek, Ph.D.	24.5.2022 datum	 podpis



Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, na základě vlastních zjištění a s použitím odborné literatury a materiálů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce v elektronické podobě ve veřejně přístupné části infodisku VŠERS, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky vedoucí(ho) a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce systémem na odhalování plagiátů.

.....

Děkuji vedoucímu bakalářské práce PhDr. Štěpánu Kavanovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

ABSTRAKT

BUŠTA, R. *Havárie a nehody na jaderných zařízeních: bakalářská práce.*
České Budějovice: Vysoká škola evropských a regionálních studií, 2023. 55 s. Vedoucí
bakalářské práce: PhDr. Štěpán Kavan, Ph.D.

Klíčová slova: nehody, havárie, atomový zákon, jaderná bezpečnost, aktivní
zóna, obyvatelstvo, myelodysplastický syndrom

Předkládaná bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

V teoretické části si autor klade za cíl definovat problematiku havárií a nehod na
jaderných zařízeních, kde se zabývá následky a dopady vybraných nehod. Rovněž se
věnuje vymezení základních pojmů, historickému kontextu jaderných elektráren a
shrnuje základní legislativní předpisy související s jadernou bezpečností.

Vedlejším cílem je pak upozornit na oblast ochrany obyvatelstva při
mimořádných událostech a dopad havárií na životní prostředí.

Při vypracovávání teoretické části bakalářské práce byly použity relevantní
zdroje informací z odborné literatury, dále z odborných pramenů, jakož i internetové
zdroje.

V rámci empirického výzkumu, kterému se autor věnuje ve své praktické části,
je provedeno dotazníkové kvantitativní šetření, které se primárně zabývá postojem
obyvatelstva k problematice havárií a nehod jaderných elektráren a problematice
jaderné bezpečnosti. Provedené šetření je postaveno na uzavřených strukturovaných
otázkách i otázkách otevřených. Výsledkem empirické části bakalářské práce je zjištění
postojů a znalostí obyvatel související s jadernou energetikou a bezpečností.

ABSTRACT

BUŠTA, R. *Accidents and Incidents at Nuclear Facilities: Bachelor Thesis*.
České Budějovice: The College of European and Regional Studies, 2023. 55 pp.
Supervisor: PhDr. Štěpán Kavan, Ph.D.

Key words: accidents, nuclear law, nuclear safety, active zone, population, myelodysplastic syndrome

The submitted bachelor's thesis is divided into a theoretical and a practical part.

In the theoretical part, the author aims to define the issues of accidents at nuclear facilities, where the consequences and impacts of selected accidents are discussed. It also addresses the definition of basic terms, the historical context of nuclear power plants and summarizes the basic legislative regulations related to nuclear safety.

A secondary goal is to draw attention to the area of population protection during emergencies and to the impact of accidents on the environment.

When developing the theoretical part of this bachelor's thesis, relevant sources of information from professional literature and from further professional sources, as well as Internet sources were used.

Within the empirical research, which the author deals with in his practical part, a questionnaire-based quantitative survey is conducted, which primarily deals with the population's attitude to the issue of nuclear power plant accidents and incidents and the issue of nuclear safety. The conducted investigation is based on closed structured questions as well as on open questions. The result of the empirical part of the bachelor thesis is the determination of the attitudes and knowledge of the population related to nuclear energy and safety.

Obsah

ÚVOD	8
1 CÍLE A METODIKA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	10
2 JADERNÁ BEZPEČNOST	12
2.1 DEFINICE POJMU.....	12
2.2 PRÁVNÍ PŘEDPISY SOUVISEJÍCÍ S JADERNOU BEZPEČNOSTÍ.....	13
3 JADERNÉ ELEKTRÁRNY	16
3.1 HISTORIE JADERNÝCH ELEKTRÁREN.....	16
3.2 JADERNÁ BEZPEČNOST	17
3.3 FUNGOVÁNÍ JADERNÉ ELEKTRÁRNY	19
3.4 BEZPEČNOSTNÍ PRVKY JADERNÝCH ELEKTRÁREN	20
4 HAVÁRIE A NEHODY JADERNÝCH ELEKTRÁREN	24
4.1 MEZINÁRODNÍ STUPNICE HODNOCENÍ ZÁVAŽNOSTI JADERNÝCH UDÁLOSTÍ INES	24
4.2 PŘÍPADY HAVÁRIÍ A NEHOD JADERNÝCH ELEKTRÁREN VE SVĚTĚ.....	27
4.3 NÁSLEDKY A DOPADY HAVÁRIÍ A NEHOD JADERNÝCH ELEKTRÁREN.....	32
5 DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ	37
5.1 VÝZKUMNÉ CÍLE A HYPOTÉZY.....	37
5.2 CHARAKTERISTIKA SOUBORU RESPONDENTŮ.....	37
5.3 ANALÝZA DAT.....	39
6 DISKUZE	45
ZÁVĚR	47
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
PŘÍLOHA	53

Úvod

Nehody jaderných elektráren jsou vždy mimořádnými událostmi, které mohou způsobit ohromné dopady a škody, a to především na zdraví a životech lidí a na životním prostředí, kdy se jedná primárně o únik nebezpečných látek do ovzduší, půdy a vody. Nabízí se otázka, proč vůbec jaderné elektrárny využíváme – odpovědí je skutečnost, že v jaderné energii je ukryt významný potenciál, jelikož z jaderného štěpení můžeme získat deset milionkrát více energie než při spalování fosilních paliv. Další výhodou jaderných elektráren je, že na rozdíl od elektráren tepelných za normálních okolností nevypouštějí do ovzduší nebezpečné látky. Naopak nevýhodou jaderných elektráren představuje nutnost vyřešit problematiku skladování vyhořelého paliva a významné důsledky pro okolí v případě havárie.

O nebezpečí, které mohou jaderné elektrárny při nedostatečném zabezpečení představovat, svědčí nejen notoricky známá a mnohokrát mediálně zpracovaná jaderná havárie v Černobylu z roku 1986, která je uváděna jako jeden z faktorů, jež přispěly k rozpadu Sovětského svazu, ale i mnohem aktuálnější havárie jaderné elektrárny Fukušima I v Japonsku. Tato nehoda se udála roku 2011, přičemž byla zapříčiněna mimořádně silným zemětřesením v kombinaci s nedostatečnou připraveností personálu na případné havarijní stavy, chybami v japonské legislativě a nedostatečným zapracováním připomínek regulačních úřadů.

Je tedy evidentní, že problematika havárií a nehod jaderných elektráren je velmi aktuálním tématem, kterému je třeba se věnovat. Ačkoli by se mohlo zdát, že historické případy havárií v jaderných elektrárnách povedou k nastavení takových opatření, která případným nehodám zabrání, společně s G. W. F. Hegelem bychom mohli konstatovat, že jediným poučením z dějin je, že člověk se z nich nikdy nepoučí. I z tohoto důvodu bylo toto téma zvoleno jako problém, který následující práce diskutuje. V tomto kontextu je stěžejním cílem práce vymezení základní případy nehod a havárií, které se v minulosti staly na jaderných zařízeních.

Práce je rozčleněna na teoreticko-metodickou a empirickou část. V části teoreticko-metodické jsou objasněny základní pojmy týkající se jaderné bezpečnosti a s nimi související předpisy. Rovněž je zde popsána historie jaderných elektráren a dochází k vymezení mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí INES, na

kterou naváže již výčet konkrétních jaderných havárií a nehod. Vybrané jaderné havárie a nehody budou podrobněji analyzovány v kontextu cíle práce. Pozornost je věnována i problematice následků a dopadů havárií, přičemž v závěru práce je následně provedeno shrnutí a je navržena prevence těchto událostí. Součástí empirické části je elektronické dotazníkové šetření, jehož cílem je zjistit postoj obyvatelstva na problematiku havárií a nehod jaderných elektráren a obecněji jaderné bezpečnosti.

1 Cíle a metodika bakalářské práce

V rámci první kapitoly jsou představeny cíle a zvolená metodika práce. **Hlavním cílem** práce je vymezit základní problematiku nehod a havárií, které se v minulosti staly na jaderných zařízeních. V návaznosti na odhalení příčin havárií je provedena analýza nápravných bezpečnostních opatření, které mohou v budoucnu eliminovat důsledky těchto nehod. **Vedlejším cílem** je pak přiblížit problematiku ochrany obyvatelstva při mimořádných událostech a dopadu havárií na životní prostředí.

Teoreticko-metodická část je zpracována metodou analýzy odborné literatury a dalších relevantních zdrojů (právních předpisů, elektronických zdrojů apod.) a následnou syntézou získaných informací do podoby souvislého textu. Dále jsou použity základní logické postupy, jako je indukce a dedukce.

Součástí **empirické části** je elektronické dotazníkové šetření, jehož cílem je zjistit postoj obyvatelstva na problematiku havárií a nehod jaderných elektráren a obecněji jaderné bezpečnosti. Byl tedy zvolen kvantitativní přístup, jehož výhodou je zejména možnost zkoumat větší soubory respondentů a zobecnit výsledky na širokou veřejnost. Dotazník byl šířen prostřednictvím internetu, přičemž předtím, než byl distribuován respondentům, byla jeho srozumitelnost a funkčnost otestována na menším souboru respondentů, kteří poté nebyli zahrnuti do hlavního výzkumného souboru.

Výhodou elektronické podoby dotazníku je, že je možné oslovit za relativně krátké časové období větší množství respondentů, přičemž získané výsledky lze rychle zpracovávat díky tomu, že data je možné extrahovat například ve formě frekvenční XLS tabulky. Další výhodou je nižší finanční nákladnost.

Respondenti byli osloveni prostřednictvím sociálních sítí – jednalo se tedy o prostý náhodný výběr. Předtím, než respondenti přikročili k vyplňování dotazníku, byli informováni o účelu dotazníkového šetření a o tom, že jimi poskytnuté údaje budou využity jen pro potřeby této práce.

Data získaná dotazníkovým šetřením byla zpracována formou popisné statistiky i relevantního statistického testu, zjišťujícího korelaci mezi testovanými proměnnými. Byl zvolen Pearsonův korelační koeficient, který byl vypočítán prostřednictvím statistického programu SPSS. Vzorec pro výpočet tohoto koeficientu je následující:

$$r_p = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] \cdot [n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

kde x, y jsou dvojice hodnot obou proměnných a n je počet srovnávaných dvojic hodnot. Koeficient může nabývat hodnot od -1 do +1, přičemž čím více se hodnota koeficientu blíží k některé z hraničních hodnot, tím těsnější je vztah mezi proměnnými. Kladný výsledek koeficientu značí pozitivní vztah, záporný výsledek zase negativní vztah mezi sledovanými jevy.¹ Výsledky dotazníkového šetření jsou diskutovány a jsou z nich vyvozena konkrétní doporučení do praxe.

¹ CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1369-4, s. 107-108.

2 Jaderná bezpečnost

Lidstvo má z jaderné energie přirozený respekt – v historii jsme mohli být svědky událostí, kdy jaderná energie způsobila smrt a poškození zdraví mnoha tisíc jedinců (vzpomeňme například první jaderné bomby, které byly svrženy na japonská města Hirošima a Nagasaki, nebo na havárii Černobylské jaderné elektrárny V. I. Lenina roku 1986). Tyto události podnítily vznik a etablování oboru jaderné bezpečnosti.

2.1 Definice pojmu

V českém právním prostředí nalezneme legální definici jaderné bezpečnosti, a to konkrétně v zákoně č. 263/2016 Sb., atomový zákon. Podle jeho ustanovení § 4 odst. 2 písm. a) je jaderná bezpečnost klasifikovatelná jako „stav a schopnost jaderného zařízení a fyzických osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo úniku radioaktivních látek anebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezit následky nehod“.²

Dle téhož ustanovení však můžeme jadernou bezpečnost vymezit i obecněji jako soubor činností, které souvisejí s využíváním jaderné energie. Jedná se o činnosti související s provozem jaderného zařízení (od jeho projektování přes provoz až po vyřazení z provozu), činnosti související se štěpnými nebo radioaktivními látkami (jejich výroba, údržba, skladování, ukládání apod.), nakládání s jadernou položkou a její výzkum a vývoj a uzavírání úložišť radioaktivního odpadu.³

Nakonec pod pojmem jaderná bezpečnost můžeme rozumět i činnosti, které jsou z hlediska jaderné bezpečnosti zvláště důležité a mají přímý vliv na jadernou bezpečnost vykonávanou v rámci řízení celého jaderného zařízení a jeho jednotlivých částí a při manipulaci s jaderným palivem.⁴ Můžeme tedy konstatovat, že pojem jaderná bezpečnost zahrnuje širokou škálu činností, jako je zajištění řádných provozních podmínek jaderných zařízení, předcházení haváriím a zmírňování jejich případných následků.

² § 4 odst. 2 písm. b) zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon

³ § 4 odst. 2 písm. b) zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon

⁴ § 4 odst. 2 písm. c) zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon

Pazdera konstatuje, že úroveň jaderné bezpečnosti se zvyšuje společně s dalšími generacemi jaderných elektráren. Od jaderných elektráren první generace, které jsou v současné době po dožití vyřazovány z provozu, přes aktuálně provozované elektrárny druhé generace až po jaderné elektrárny třetí generace, se jaderná bezpečnost zvýšila vždy o řád (viz obr. 1).⁵

Obr. 1: Vývojové generace jaderných elektráren

Generace	I.	II.	III.	IV.
Období výstavby	1950–1975	1970–2000	2000–2050	Po roce 2030
Bezpečnost	Základní	10x vyšší	100x vyšší	jako GEN III
Účinnost	30–33 %	30–33 %	30–33 %	45–55 %

Zdroj: PAZDERA, František. Jádru – naděje pro Českou republiku. In: BURKET, Daneš a kol. *Jaderná energie: Útlum nebo rozvoj?* Praha: Institut Václava Klause, 2015, s. 69-75. ISBN 978-80-878-0673-9, s. 72.

2.2 Právní předpisy související s jadernou bezpečností

Nejpodstatnějším právním předpisem souvisejícím s jadernou bezpečností je Úmluva o jaderné bezpečnosti (CNS, tedy *Convention on Nuclear Safety*), která byla přijata v rámci Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA) dne 17. června 1994. Tato úmluva byla mezinárodní reakcí na havárii jaderné elektrárny Černobyl roku 1986. Tuto smlouvu ratifikovaly všechny země, které na svém území provozují jaderné elektrárny. Cílem úmluvy je dosáhnout celosvětové úrovně jaderné bezpečnosti, ochrany jednotlivců, společnosti a životního prostředí před účinky ionizačního záření z těchto zařízení a zabránění radiologických následků jejich havárií, respektive jejich zmírnění.⁶

Úmluva o jaderné bezpečnosti stanovuje smluvním stranám povinnost přijmout odpovídající vnitrostátní opatření a vzájemně spolupracovat při zajištění bezpečnosti jaderných zařízení – v kontextu úmluvy se těmito zařízeními chápou civilní jaderné

⁵ PAZDERA, František. Jádru – naděje pro Českou republiku. In: BURKET, Daneš a kol. *Jaderná energie: Útlum nebo rozvoj?* Praha: Institut Václava Klause, 2015, s. 69-75. ISBN 978-80-878-0673-9, s. 72.

⁶ Čl. 1 Úmluvy o jaderné bezpečnosti z 17. června 1994

elektrárny. Úmluva však nezřizuje žádné kontrolní nebo sankční mechanismy, ale spoléhá se jen na zprávy států.⁷

Po havárii jaderné elektrárny Fukushima Daiichi roku 2011 došlo ke snahám o revizi Úmluvy o jaderné bezpečnosti – ačkoli návrh Švýcarska cílící na zpřísnění opatření nakonec neobdržel potřebnou podporu (byl zamítnut Spojenými státy a Ruskem), došlo k přijetí Vídeňské deklarace o jaderné bezpečnosti, která byla v tomto kontextu jakýmsi kompromisem, který vyzval k dovybavení starých jaderných elektráren a minimalizaci kontaminace.⁸

Pro evropský region je důležitá Směrnice Rady 2009/71/Euroatom ze dne 25. června 2009, kterou se stanoví rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení. Obsah této směrnice se do značné míry překrývá s Úmluvou o jaderné bezpečnosti. Havárie v jaderné elektrárně Fukušima však podmínila změny i v tomto mezinárodním dokumentu – respektive vedly k realizaci zátěžových zkoušek evropských jaderných elektráren, jejichž výstupem byla Národní zpráva o výsledcích zátěžových testů, zpracovaná Skupinou evropských dozorných orgánů pro jadernou bezpečnost (ENSREG).⁹

Evropská unie významně posílila své vedoucí postavení v oblasti jaderné bezpečnosti prostřednictvím pozměňující směrnice o jaderné bezpečnosti (Směrnice Rady 2014/87/Euroatom ze dne 8. července 2014), která vychází z hodnocení jaderných rizik a bezpečnosti (zátěžových testů), které byly provedeny v období let 2011 a 2012, z poučení z jaderné havárie ve Fukušimě a také z bezpečnostních požadavků Západoevropské asociace jaderných dozorců (WENRA) a Mezinárodní agentury pro atomovou energii (MAAE).¹⁰

⁷ TŮMA, Miroslav. *Mírové využívání jaderné energie, nešíření jaderných zbraní a jaderné odzbrojení*. Praha: Ústav mezinárodních vztahů, 2009. ISBN 978-80-86506-77-7, s. 21-22.

⁸ NAKANISHI, Yumiko. *Contemporary Issues in Environmental Law. The EU and Japan*. New York: Springer, 2016. ISBN 978-44-3155-435-6, s. 210.

⁹ SÚJB. Národní zpráva. „Zátěžové zkoušky“ JE Dukovany a JE Temelín Česká republika. Hodnocení bezpečnosti a bezpečnostních rezerv ve světle havárie JE Fukushima [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost Česká republika, 2011. [Cit. 2022-12-16]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/Narodni_zprava_ceska_final_1.pdf.

¹⁰ Čl. 15 Směrnice Rady 2014/87/EUROATOM ze dne 8. července 2014, kterou se mění směrnice 2009/71/Euroatom

Směrnice o jaderné bezpečnosti požaduje, aby země Evropské unie přikládaly nejvyšší prioritu jaderné bezpečnosti ve všech fázích životního cyklu jaderné elektrárny. Směrnice konkrétně:¹¹

- posiluje kompetence vnitrostátních regulačních orgánů tím, že zajišťuje jejich nezávislost na národních vládách;
- vytváří systém vzájemného hodnocení;
- vyžaduje realizaci přehodnocení bezpečnosti všech jaderných elektráren minimálně jednou za deset let;
- zvyšuje transparentnost požadavkem, aby provozovatelé jaderných elektráren zveřejňovali informace, a to jak v době běžného provozu, tak v případě mimořádných událostí.

Pro Českou republiku je nejpodstatnějším právním předpisem souvisejícím s jadernou bezpečností zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon. Atomový zákon vymezuje základní principy využívání jaderné energie a upravuje hodnocení bezpečnosti, které člení na deterministické, pravděpodobnostní, periodické, průběžné a zvláštní.¹² Předcházející zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) byl ponechán ve zbytkové podobě, přičemž upravuje pouze odpovědnost za jaderné škody.¹³

Atomový zákon je prováděn mnoha právními předpisy, například:

- vyhláška č. 378/2016 Sb., o umístění jaderného zařízení;
- vyhláška č. 361/2016 Sb., o zabezpečení jaderného zařízení a jaderného materiálu;
- vyhláška č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace.

¹¹ NAKANISHI, Yumiko. *Contemporary Issues in Environmental Law. The EU and Japan*. New York: Springer, 2016. ISBN 978-44-3155-435-6, s. 207.

¹² § 48 odst. 2 zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon

¹³ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon)

3 Jaderné elektrárny

Druhá kapitola práce se zabývá jadernými elektrárnami. V první podkapitole je vysvětlena historie jaderných elektráren, načež je stručně vysvětleno fungování jaderné elektrárny – toto vysvětlení je podstatné, jelikož ve druhé kapitole jsou analyzovány procesy vedoucí k haváriím a nehodám jaderných elektráren. Ve třetí podkapitole jsou zřejměny bezpečnostní prvky jaderných elektráren, načež je v podkapitole čtvrté věnována pozornost jaderné bezpečnosti.

3.1 Historie jaderných elektráren

Historii jaderných elektráren můžeme započít datem 2. prosince 1942, kdy byla spuštěna první umělá řetězová reakce v prvním jaderném reaktoru, který byl postaven na bývalém sportovním stadionu chicagské univerzity. Jednalo se o jaderný reaktor Chicago Pile-1, sestavený týmem vědce Enrica Fermiho.¹⁴ Ačkoli druhá světová válka vědecké bádání na čas přerušila, po jejím ukončení bylo možné ve vývoji jaderné energetiky pokračovat. První elektřinu z uranu vyrobil reaktor nazvaný Experimental Breeder Reactor I (EBR-1) v Idahu ve Spojených státech v roce 1951. Tento reaktor vyrobil přibližně 100 kW elektřiny, přičemž zásobil všechna elektrická zařízení v budově.¹⁵

Dalším významným mezníkem je rok 1954, kdy byla v Obninsku u Moskvy zprovozněna první komerční jaderná elektrárna. Ačkoli (jak bylo ostatně výše konstatováno) v této době již existovaly reaktory vyrábějící elektřinu, v tomto případě se jednalo o první reaktor, který dodával elektřinu až do domácností. Šlo o předchůdce reaktorů černobylského typu (reaktor typu RBMK). Výkon této jaderné elektrárny byl 5 MW, jednalo se tedy o zařízení menší výkonnosti (zásobila elektřinou přibližně dva tisíce =1domácností).¹⁶

Jadernou elektrárnu v Obninsku rychle následovala další zařízení – ve Spojených státech byla roku 1957 spuštěna jaderná elektrárna ve městě Shippingport, přičemž její výkon byl 60 MW. Tato jaderná elektrárna byla vůbec prvním zařízením tohoto typu, které

¹⁴ PACNER, Karel. *Osudové okamžiky XX. století: události, které zásadně ovlivnily náš svět*. Druhé vydání. Praha: Plus, 2018. ISBN 978-80-259-0943-0, s. 178.

¹⁵ JANOVSKEÝ, Igor. *Výzkumné reaktory a radiační technologie v českých zemích*. Praha: Národní technické muzeum, 2008. ISBN 978-80-7037-174-9, s. 10.

¹⁶ Tamtéž

bylo využíváno pouze pro mírové účely. Byla navržena takovým způsobem, aby ji bylo možné v době jejího fungování průběžně přestavovat – aktivní zóna se tak mohla v průběhu let měnit.¹⁷

V období šedesátých let došlo ke značnému technologickému pokroku v oblasti jaderné energetiky – do roku 1968 se však pevně neuchytil žádný typ reaktoru, kterých existovalo velké množství (prakticky každá země vyvíjela svůj model). Obecně lze v tomto období rozlišit dva proudy – do prvního spadaly státy, které měly rozvinutý průmysl a měly přístup k obohacenému uranu. Tyto země vyvážely své reaktory do států, které přistoupily na jejich přísné podmínky (šlo například o Sovětský svaz, Československo, Spojené státy, Itálii, Švýcarsko a Japonsko). Druhý proud tvořily země, které nechtěly být závislé na obohaceném uranu a rozvíjely tedy energetiku založenou na přírodním uranu (jednalo se o Kanadu, Francii a Velkou Británii).

V období osmdesátých let byl vývoj jaderné energetiky spíše pozvolný – jaderné elektrárny se stavěly zejména v Číně a Indii. Tento vývoj souvisel i se dvěma velkými haváriemi jaderných elektráren, které se v tomto období odehrály – k první z nich došlo v americké jaderné elektrárně Three Mile Island roku 1979 a ke druhé v sovětské jaderné elektrárně Černobyl v roce 1986.¹⁸ Tyto incidenty jsou podrobněji rozebrány v kapitole třetí, která se nejvýznamnějším nehodám jaderných elektráren věnuje.

V Československu byla první atomová elektrárna spuštěna v Jaslovských Bohunicích roku 1972. K 1. lednu 2022 bylo ve čtyřiceti státech světa podle Světové jaderné asociace v provozu celkem 438 jaderných reaktorů – nejvíce ve Spojených státech, Francii, Japonsku, Velké Británii a Rusku.¹⁹

3.2 Jaderná bezpečnost

V následující kapitole bude pozornost věnována tomu, co se stane, když bezpečnostní opatření jaderných elektráren selžou. Tomuto stavu lze však předcházet prostřednictvím metod jaderné bezpečnosti, kterou můžeme charakterizovat jako „stav a

¹⁷ BEČVÁŘ, Josef. *Jaderné elektrárny: celostátní vysokoškolská učebnice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978, s. 217-219.

¹⁸ CABÁNEKOVÁ, Helena, DANIŠ, Daniel (eds.). *Atómy na Slovensku: Slovenská nukleárna spoločnosť*. Bratislava: Slovenská nukleárna spoločnosť, 2006. ISBN 80-89090-17-6, s. 10-47.

¹⁹ Statistiky z jaderných elektráren [online]. EON, 2022. [Cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/je-ve-svete/statistiky-z-jadernych-elektraren>.

schopnost jaderného zařízení a fyzických osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo úniku radioaktivních látek anebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezit následky nehod²⁰. Klíčovým aspektem jaderné bezpečnosti je odborná příprava a výcvik pracovníků²¹ – ostatně jak bude ukázáno v další kapitole práce, právě pochybení operátorů jaderných elektráren bývá tou nejčastější příčinou jejich havárií.

Klíčovou úlohu v jaderné bezpečnosti v České republice má Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB), v jehož kompetenci je zejména:

- povolení k provozu jaderného zařízení;
- státní dozor nad jadernou bezpečností;
- legislativa v oblasti jaderných aktivit;
- podmínky pro nakládání s radioaktivními odpady.

V rámci jaderné bezpečnosti SÚJB zajišťuje zejména kontrolu v oblasti zajišťování jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, monitorování radiační situace a zvládání radiační mimořádné události. Součástí této instituce jsou regionální centra v Praze, Plzni, Českých Budějovicích, Ústí nad Labem, Hradci Králové, Brně a Ostravě a dvě lokální pracoviště na jaderných elektrárnách Temelín a Dukovany. Tím je zajištěno sledování jaderné bezpečnosti přímo v regionech, kde se jaderné elektrárny nacházejí.²²

O důležitosti a výsledcích jaderné bezpečnosti hovoří fakt, že od první generace jaderných elektráren až po jaderné elektrárny třetí generace se bezpečnost těchto zařízení násobně zvyšuje – obecně je bezpečnost jaderných elektráren považována za dostatečnou.²³

SÚJB hraje významnou úlohu i při edukaci veřejnosti o problematice ochranných opatření při radiačních mimořádných událostech. Pro tyto události zveřejnila instituce informace o opatřeních na ochranu zdraví osob, jejichž účelem je vyloučit ozáření, které

²⁰ Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon

²¹ Kolektiv výcvikových inženýrů. ČEZ. *Kurz Omega*. Brno, 2021, s. 15.

²² Tamtéž, s. 17.

²³ PAZDERA, František. Jádru – naděje pro Českou republiku. In: BURKET, Daneš a kol. *Jaderná energie: Útlum nebo rozvoj?* Praha: Institut Václava Klause, 2015, s. 69-75. ISBN 978-80-878-0673-9, s. 72.

může způsobit okamžité negativní účinky, a snížit riziko pozdních účinků záření na přijatelnou mez.²⁴

3.3 Fungování jaderné elektrárny

Jaderná elektrárna funguje na obdobném principu jako tepelná elektrárna, odlišují se však ve zdroji energie – zatímco v tepelné elektrárně jsou spalována fosilní paliva, v jaderné elektrárně probíhá jaderné štěpení v jaderném reaktoru. Prostřednictvím štěpení atomových jader se uvolňuje tepelná energie (používá se jaderné palivo obohacené do pěti procent – uran nebo plutonium, přičemž do budoucna je plánováno využití thoria). Reaktor je tvořen reaktorovou nádobou nebo tlakovými kanály – prostor uvnitř reaktorové nádoby, kde ke štěpné reakci dochází, se nazývá aktivní zóna. V aktivní zóně je přítomné jaderné palivo a moderátor, který zmenšuje kinetickou energii rychlých neutronů ze štěpení.²⁵

Pro řízení štěpné řetězové reakce se používají regulační (řídící) tyče, které se skládají z chemických prvků (typicky bóru a kadmia) schopných absorbovat velké množství neutronů. Například u reaktorů typu RBMK se jedná o dlouhé tenké válce, které se skládají z karbidu bóru, který absorbuje neutrony – špičky jsou pak vyrobeny z grafitu, aby do prostoru, kde předtím byla bórová část, nepronikla při vytahování tyče chladicí voda, která také absorbuje neutrony.²⁶ Regulačními tyčemi je možné regulovat výkon reaktoru – pokud je třeba zvýšit výkon, vytahují se tyče směrem z aktivní zóny, při potřebě snížení výkonu jsou naopak tyče zasunovány do aktivní zóny.

Teplo vznikající v jaderném reaktoru cirkuluje prostřednictvím chladiva v primárním okruhu. Na primární okruh je třeba nahlížet nejen jako na systém, který zabezpečuje odvod tepelné energie z aktivní zóny, ale rovněž jako na jednu z významných bariér udržujících radioaktivní látky oddělené od životního prostředí. Chladivo je vedeno do parogenerátoru, kde je tepelná energie předána vodě sekundárního okruhu, čímž vzniká pára. Primární okruh společně s parogenerátorem jsou uzavřeny v kontejnmentu. Sekundární okruh následně převádí páru na turbínu, která je tímto roztáčena. Mechanická

²⁴ Viz SÚBJ. Ochranná opatření při radiační mimořádné události [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2023. [2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/ochranna-opatreni-pri-radiacni-mimoradne-udalosti/>.

²⁵ BEČVÁŘ, Josef. *Jaderné elektrárny: celostátní vysokoškolská učebnice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978, s. 20.

²⁶ LEATHERBARROW, Andrew. *Černobyl 01:23:40: neuvěřitelný příběh nejhorší jaderné katastrofy*. Brno: CPress, 2020. ISBN 978-80-264-3032-2, s. 47.

energie v generátoru je transformována na energii elektrickou.²⁷ Některé jaderné elektrárny však mohou mít pouze jeden okruh, přičemž ke vzniku páry dochází již v aktivní zóně – nevýhodou této konstrukce však je, že pára je radioaktivní.²⁸

Dalším okruhem je chladicí terciární okruh. Zde je pára opět zkondenzována na vodu. Cirkulující voda může být chlazena v chladicích věžích (z nichž následně stoupá již jen vodní pára), případně přímo řekou nebo mořem.²⁹

3.4 Bezpečnostní prvky jaderných elektráren

Úkolem bezpečnostních prvků v jaderných elektrárnách je zajistit, aby se proces štěpení atomových jader nevymkl kontrole a aby radioaktivní látky neunikly do životního prostředí. Za běžného provozu je jaderná elektrárna řízena prostřednictvím aktivních systémů, reagujících na pokyny operátora nebo počítače. Pokud dojde k závažnější poruše, je nutné, aby bezpečnostní systémy jaderné elektrárny reagovaly na nastalou událost správně – z tohoto důvodu se jako spolehlivější jeví systémy pasivní, které se nemusí spoléhat na operátora či přísun energie. Tyto pasivní systémy využívají fyzikální zákony, jako například gravitaci.³⁰

Větší důraz je však kladen na prevenci jaderných havárií. Z tohoto důvodu disponuje každá jaderná elektrárna řadou preventivních prvků, které mají případné nehodě zabránit. Prvním takovým opatřením je již výběr místa, kde bude jaderná elektrárna stát – jako nevhodné se jeví lokality, kde často dochází k zemětřesením, nebo kde se s větší pravděpodobností mohou vyskytnout tsunami. Samozřejmostí je použití co nejkvalitnějších materiálů a systém mnoha vzájemně nezávislých bariér, které kompenzují případné technické i lidské chyby. Tento systém nazýváme pojmem „defence in depth“ (českým ekvivalentem je termín „ochrana do hloubky“). Základem této ochrany je odvod tepla z aktivní zóny reaktoru a využití inherentních bezpečnostních prvků využívajících

²⁷ OTČENÁŠEK, Petr. *Základy konstrukce a funkce jaderných elektráren*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01161-5, s. 20-21.

²⁸ BEČVÁŘ, Josef. *Jaderné elektrárny: celostátní vysokoškolská učebnice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978, s. 498.

²⁹ OTČENÁŠEK, Petr. *Základy konstrukce a funkce jaderných elektráren*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01161-5, s. 32.

³⁰ BINHACK, Petr a Lukáš TICHÝ. *Energetická bezpečnost ČR a budoucnost energetické politiky EU*. Praha: Ústav mezinárodních vztahů, 2011. ISBN 978-80-87558-02-7, s. 92.

fyzikální zákony. Podstatným preventivním opatřením je rovněž pečlivé dodržování bezpečnostních předpisů a obsluha elektrárny skrze vysoce kvalifikovaný personál.³¹

Ochrana do hloubky se člení na pět úrovní, které jsou hierarchicky uspořádané. Jedná se o následující stupně ochrany:³²

- první úroveň – prevence odchylek od standardního provozu (výběr vhodného místa pro stavbu elektrárny, její konstrukce, vysoká kvalita materiálů, dodržování bezpečnostních předpisů atp.);
- druhá úroveň – včasná detekce selhání, kontrola nad abnormálním provozem a rychlý návrat provozu do běžného stavu (limitace nejvyššího možného výkonu reaktoru, kontrola teploty atp.);
- třetí úroveň – zvládání projektových havárií (zabezpečení chlazení aktivní zóny, aby nedošlo k tavení);
- čtvrtá úroveň – minimalizace následků havárie a zabránění úniku radioaktivních látek do okolí (kontejnment);
- pátá úroveň – pro situace, kdy při havárii dojde k úniku radioaktivního materiálu do okolí (havarijní plány).

Ani sebedokonalejší preventivní opatření nemohou snížit možnost výskytu vážnějších nehod zcela na nulu, z tohoto důvodu jsou při stavbě jaderných elektráren projektována i taková technická opatření, která mají chránit okolí elektrárny při havárii.³³

Jelikož nejkritičtějším místem jaderné elektrárny je její reaktor, zajišťují jeho bezpečnost tři základní funkce:³⁴

- kontrola a regulace jaderného štěpení a možnost tuto reakci přerušit a reaktor odstavit;
- chlazení jaderného paliva a odvod tepla z aktivní zóny;
- zabránění úniku radioaktivního materiálu do životního prostředí.

³¹ Jaderné elektrárny [online]. SÚRO, 2022. [Cit. 2022-12-19]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/jaderne-elektrarny>.

³² Jaderné elektrárny [online]. SÚRO, 2022. [Cit. 2022-12-19]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/jaderne-elektrarny>.

³³ Jaderné elektrárny [online]. SÚRO, 2022. [Cit. 2022-12-19]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/jaderne-elektrarny>.

³⁴ Jaderné elektrárny [online]. SÚRO, 2022. [Cit. 2022-12-19]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/jaderne-elektrarny>.

K rychlému odstavení reaktoru slouží bezpečnostní tyče, které obsahují velké množství absorbátu. Ten má za úkol pohlcovat přítomné neutrony a zastavit tak jaderné štěpení. V případě použití těchto havarijních tyčí je reaktor do několika vteřin odstaven. Havarijní tyče bývají umístěny nad reaktorem pomocí elektromagnetů – pokud tedy dojde ke ztrátě napájení, tyče spadnou do aktivní zóny. Dále jsou pro krátkodobé změny využívány řídicí (regulační) tyče s obsahem boru nebo kadmia. Zasouváním či naopak vysouváním těchto tyčí je výkon regulován. Kromě těchto rychlých změn výkonu reaktoru jsou realizovány i dlouhodobé změny prostřednictvím kyseliny borité přidávané do chladiva reaktorů, která funguje jako absorbátor, jehož koncentrace je snižována s tím, jak v průběhu provozu reaktoru klesá obsah štěpitelného uranu v palivu.³⁵

V aktivní zóně vzniká značné množství tepla, a to i poté, co je reaktor odstaven. Odvod tohoto tepla zajišťuje několikanásobně zálohovaný systém chlazení. Udržení systému chlazení v chodu je klíčové – nejvýznamnějšími typy havárií jaderných elektráren jsou právě ty, při kterých dochází ke ztrátě chladiva (ang. *loss of coolant accident*). Tento stav (obvykle ve spojení s neschopností obnovit dodávky elektrické energie) může vést až k tavení aktivní zóny a k následnému úniku radiace do okolního prostředí – jedná se o natolik nebezpečný jev, že každý reaktor disponuje hned několika havarijními chladicími systémy, které mají substituovat odvod tepla z aktivní zóny.³⁶

Pokud není aktivní zóna chlazená, dochází k jejímu tavení a ke vzniku bazénku roztavených produktů na dně tlakové nádoby reaktoru – následně může dojít k protavení této nádoby a k úniku tzv. kória mimo nádobu. Pokud již dojde k tavení aktivní zóny, následky mohou být zmírněny systémem *ex-vessel cooling*, který zařizuje zachycení roztavené aktivní zóny v tzv. lapači aktivní zóny pod dnem tlakové nádoby reaktoru, kde je tato hmota následně chlazená. Dalším systémem je *in-vessel retention*, kdy je roztavené kórium drženo uvnitř tlakové nádoby reaktoru prostřednictvím vnějšího chlazení.³⁷

Aby radioaktivní látky neunikly do životního prostředí, jsou kolem reaktoru vybudovány tři úrovně hermeticky uzavřených fyzických bariér, které jsou pravidelně kontrolovány, aby byla zajištěna jejich nepropustnost. První z těchto bariér je matrice

³⁵ RAČEK, Jiří. *Jaderné elektrárny*. Vyd. 4. Brno: Novpress, 2013. ISBN 978-80-214-4744-8, s. 74-75.

³⁶ ZOUL, David a kol. Simulace průběhu těžkých jaderných havárií. *Aldebaran Bulletin*. 2020, roč. 18, č. 48, s. 1-9. ISSN 1214-1674, s. 1-2.

³⁷ CACUCI, Dan Gabriel. *Handbook of Nuclear Engineering*. New York: Springer Science and Business Media, 2010. ISBN 978-03-879-8130-7, s. 2222.

jaderného paliva – keramický váleček efektivně zachytává štěpné produkty, čímž brání jejich rozptylu do okolí. Stejně tak hermetický obal palivového proutku ze speciální slitiny (jedná se o zirkonovou slitinu E-110) chrání palivové pelety před stykem s chladivem.³⁸

Druhou bariérou je tlaková nádoba reaktoru, která je navržena takovým způsobem, aby odolala vysokým teplotám, tlaku i úniku radiačního záření. Nakonec třetí bariérou je samotná ochranná obálka, tedy tzv. kontejnment, který má dvě základní funkce. První je těsnost – kontejnment zajišťuje, aby se při případné nehodě v reaktoru nedostaly žádné radioaktivní látky ven. Druhou je pevnost – kontejnment je navržený takovým způsobem, aby žádná katastrofa zvenčí (například pád letadla) neohrozila reaktor.³⁹

³⁸ Bezpečnostní systémy [online]. Svět energie, vzdělávací portál ČEZ, 2022. [Cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny-pro-deti/co-vsechno-v-jaderne-elektrarne-najdeme/bezpecnostni-systemy/jak-to-funguje>.

³⁹ Tamtéž

4 Havárie a nehody jaderných elektráren

Obsahem čtvrté kapitoly práce je analýza havárií a nehod jaderných elektráren. Nejprve bude vysvětlena mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí INES, načež budou rozebrány konkrétní případy havárií a nehod jaderných elektráren ve světě. Při výběru konkrétních příkladů bylo přihlíženo zejména k jejich pestrosti.

4.1 Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí INES

Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (zkráceně INES z anglického The International Nuclear Event Scale) byla zavedena v březnu roku 1990 společně s Mezinárodní agenturou pro jadernou energii (IAEA) a Agenturou pro jadernou energii Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD/NEA). Hlavním účelem této klasifikace je zjednodušit komunikaci mezi odborným nukleárním společenstvím, sdělovacími prostředky a veřejností v případě výskytu havárií jaderných zařízení, případně jakýchkoli jiných událostí souvisejících s radiací.⁴⁰

Stupnice člení události na jaderných zařízeních na nehody (stupně 1 až 3) a havárie (stupně 4 až 7). Pro události označované stupněm 0, které nemají bezpečnostní význam, je užíván pojem odchylka. Pro účely komunikace s veřejností jsou každému stupni přiřazeny zkrácené názvy, které závažnost dané události pregnantně popisují. Podle rostoucí závažnosti incidentu jde o „anomálii“, „nehodu“, „vážnou nehodu“, „havárii s místními následky“, „havárii s širšími následky“, „těžkou havárii“ a „velmi těžkou havárii“. Zatímco stupeň 1 se vztahuje jen na degradaci ochrany do hloubky, stupně 2 a 3 již reflektují závažnější zhoršení ochrany do hloubky, nebo nižší úroveň reálných důsledků na obyvatele nebo zařízení. Stupně 4 a 7 pak demonstrují zvyšující se reálné následky pro obyvatelstvo, životní prostředí či zařízení.⁴¹

⁴⁰ INES. Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních událostí. Uživatelská příručka [online]. SÚJB, 2016. [Cit. 2022-12-15]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES-2008_cz_preklad.pdf.

⁴¹ Tamtéž

Události pod stupnicí jsou takové situace, které neznamenají překročení provozních limitů a podmínek. Takové stavy jsou zvládnutelné vhodnými postupy – představují relativně běžné provozní situace, které se stávají ve všech průmyslových zařízeních.

Stupně 1 až 3 označujeme jako poruchy. Stupeň 1, komunikovaný s veřejností jako „odchylka“, je funkční či provozní odchylkou od ústředně povolených limitů. Ačkoli takové stavy nejsou příliš rizikové, mohou pomoci odhalit nedostatky bezpečnostních opatření. Může jít o důsledek chyby obsluhy, případně o nevhodný provozní postup.⁴²

Jako stupeň 2 je označována „porucha“, která značí technickou poruchu nebo odchylku, neovlivňující bezpečnost elektrárny přímo či bezprostředně. Incident v takovém stupni již může vést k přehodnocení bezpečnostních opatření v jaderné elektrárně. Příkladem může být porucha v japonské jaderné elektrárně Mihama 2 dne 9. února 1991, kterou zapříčinila prasklá trubka v parním generátoru. Reaktor se v reakci na stav automaticky odstavil a nehoda se nevymanila zpod kontroly operátorů jaderné elektrárny.⁴³

Ve stupni 3 se jedná o „vážnou nehodu“, která značí únik radioaktivity mimo jadernou elektrárnu nad povolený limit. Pro obyvatele a živočichy v okolí elektrárny se jedná o dávku radioaktivního záření přesahující desetkrát stanovený roční dávkový limit na pracovníka. Může dojít i k neletálním deterministickým zdravotním účinkům, například k popáleninám. Uvnitř elektrárny v tomto stupni dochází k vysokým úrovním radioaktivity, přičemž personál je nadměrně ozářen.⁴⁴ Příkladem takového incidentu je vážná nehoda v jaderné elektrárně Vandellos ve Španělsku v roce 1989, kdy začal hořet blok I, aniž by však došlo k úniku radioaktivity do okolí.

Stupeň 4 je označován jako „havárie s účinky v jaderném zařízení“. V tomto stupni dochází k malému úniku radioaktivity mimo elektrárnu, přičemž důsledkem je individuální dávka záření pro nejvíce zasažené skupiny obyvatel. Potřeba realizace havarijních opatření mimo elektrárnu je nepravděpodobná, ale standardně dochází k lokální kontrole potravy. V tomto stupni také může dojít k ojedinělému úmrtí v souvislosti s radioaktivním zářením.

⁴² Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných událostí [online]. Svět energie, vzdělávací portál ČEZ, 2022. [Cit. 2022-30-12]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/mezinarodni-stupnice-jadernych-udalosti.pdf>.

⁴³ Tamtéž

⁴⁴ INES. Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních událostí. Uživatelská příručka [online]. SÚJB, 2016. [Cit. 2022-12-15]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES-2008_cz_preklad.pdf.

Aktivní zóna reaktoru může být poškozena tavením či mechanicky, přičemž ozáření pracovníků může vést k okamžitě se projevujícím zdravotním následkům.⁴⁵ Příkladem jaderné havárie v tomto stupni je incident v Jaslovských Bohunicích v tehdejší Československu z roku 1977. Jednalo se již o druhou jadernou havárii v této elektrárně – jelikož situace vygradovala do částečného roztavení paliva, reaktor již nebyl poté zprovozněn.⁴⁶

Stupeň 5 je označován jako „havárie s účinky na okolí“, kdy dochází k úniku radioaktivních štěpných produktů mimo elektrárnu. V reakci na to je nutné zavedení opatření dle místních havarijních plánů (může se jednat o evakuaci či ukrytí), aby se omezily dopady na zdraví obyvatelstva žijícího v okolí jaderné elektrárny. Může dojít k několika úmrtím v důsledku uniklého záření. Uvnitř elektrárny dochází k poškození velké části aktivní zóny tavením či mechanicky.⁴⁷ Konkrétním příkladem havárie v tomto stupni je incident v Three Mile Island ve Spojených státech amerických dne 28. března roku 1979. Příčinou byla porucha ventilu a výpadek čerpadel pohánějících vodu v chladicím okruhu nejaderné části elektrárny. V důsledku série chyb obsluhy došlo k zamoření provozní budovy elektrárny a k roztavení části aktivní zóny. Zvládnutí situace trvalo týden, nicméně únik radioaktivity mimo jadernou elektrárnu byl nízký a nevyžadoval zvláštní opatření.⁴⁸

Stupeň 6 je komunikován jako „závažná havárie“. Dochází k úniku radioaktivity mimo elektrárnu, přičemž k omezení negativních zdravotních účinků na obyvatele a živočichy v okolí je nutné úplně použít místní havarijní plány.

Nakonec stupeň 7, který je označován jako „velmi těžká havárie“ je určen pro nejzávažnější jaderné události, kdy dochází k úniku velkého množství radioaktivních látek z aktivní zóny reaktoru mimo elektrárnu. Pro obyvatele v okolí existuje reálná hrozba okamžitých zdravotních následků, přičemž pozdní zdravotní následky se mohou objevit na

⁴⁵ Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných událostí [online]. Svět energie, vzdělávací portál ČEZ, 2022. [Cit. 2022-30-12]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/mezinarodni-stupnice-jadernych-udalosti.pdf>.

⁴⁶ HAVRÁNKOVÁ, Renata (ed.). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0, s. 154.

⁴⁷ INES. Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních událostí. Uživatelská příručka [online]. SÚJB, 2016. [Cit. 2022-12-15]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES-2008_cz_preklad.pdf.

⁴⁸ HAVRÁNKOVÁ, Renata (ed.). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0, s. 154.

území přesahujícím plochu elektrárny i jejího okolí. Pro životní prostředí v okolí zařízení se jedná o dlouhodobé následky, kdy je půda na mnoho desetiletí kontaminována radiací.⁴⁹ Kromě ikonického Černobylu byla tímto stupněm ohodnocena i událost v jaderné elektrárně Fukušima, kde došlo dne 11. března 2011 k zemětřesení o sídle 9,0 stupňů RichtEROVY škály a k vlně tsunami o výšce čtrnáct metrů, která zaplavila diesela agregáty napájející bezpečnostní systémy elektrárny po ztrátě elektrického napájení z vnější sítě. Vlivem toho byly vyřazeny chladicí generátory a k chlazení reaktorů musela být využívána mořská voda, vypouštěná následně (v kontaminované podobě) do moře. Celkem dvacet jedna operátorů bylo ozářeno dávkami vyššími než 100 mSv, nikdo však neobdržel dávku vyšší než 250 mSv.⁵⁰

4.2 Případy havárií a nehod jaderných elektráren ve světě

Patrně nejznámější jadernou havárií v dějinách lidstva byla havárie v sovětské jaderné elektrárně V. I. Lenina, známější pod označením **Černobyl**. Tato událost se stala dne **26. dubna 1986**, přičemž přímou příčinou byl experiment, který měl v reaktoru ověřit setrvačný doběh turbogenerátoru. V průběhu testu však došlo k několika závažným pochybením, které vyústily v jadernou havárii klasifikovanou stupněm 7. Negativní roli sehrálo například střídání směn operátorů, přičemž nová směna nebyla dostatečně obeznámena s probíhajícím experimentem.⁵¹ Po výměně směn došlo pravděpodobně chybou operátora ke snížení výkonu reaktoru až na 30 MW, důsledkem čehož došlo k zvýšení koncentrace xenonu 135. Obsluha se snažila dosáhnout zvýšení výkonu, aby byl reaktor udržet v chodu – tím byly porušeny provozní předpisy, jelikož standardně by měli operátoři udržovat tzv. operativní zásobu reaktivity. Volbu chybného postupu ze strany operátorů determinovala skutečnost, že pracovníci jaderné elektrárny nebyli informováni o důležitosti dodržování tohoto předpisu.⁵²

⁴⁹ INES. Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních událostí. Uživatelská příručka [online]. SÚJB, 2016. [Cit. 2022-12-15]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES-2008_cz_preklad.pdf.

⁵⁰ HAVRÁNKOVÁ, Renata (ed.). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0, s. 156.

⁵¹ 10 let od havárie jaderného reaktoru v Černobylu – důsledky a poučení [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 1996. [Cit. 2022-12-31]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/10let_od_Cernobylu.pdf.

⁵² MOULD, R. F. *Chernobyl Record. The Definitive History of the Chernobyl Catastrophe*. Bristol: CRC Press, 2000. ISBN 978-14-200-3462-2, s. 35-36.

I přesto, že se operátorům nepodařilo dosáhnout zvýšení výkonu, rozhodli se pro pokračování v experimentu. Řada dalších chybných rozhodnutí vedla k prudkému a neočekávanému zvýšení výkonu, přičemž v reakci na to operátoři aktivovali tlačítko havarijní ochrany, aby dosáhli rychlého odstavení reaktoru. Zvýšená teplota však deformovala šachty regulačních tyčí, regulační tyče se proto zasekly a již nebylo možné jejich prostřednictvím zastavit reakci. Došlo k velké parní expanzi, která víko reaktoru odhodila a potrhala chladicí potrubí. Druhá exploze zničila horní patra a střechy celé haly. Následný požár podpořil rozptýlení radioaktivního materiálu do okolí. Již tak vážné důsledky incidentu byly ještě umocněny nekompetentním vedením a nefunkčním vybavením. Například dozimetry, které měla směna k dispozici, neumožnily zjistit přesnou úroveň radiace, proto pracovníci předpokládali, že intenzita radioaktivity je kolem 5R/h (legislativní limit byl 25R) – reálně šlo však o více než 20 000 R/h. Vedoucí směny proto předpokládal, že nedošlo k poškození reaktoru, a ignoroval očividné důkazy svědčící o opaku (například kousky paliva a grafitu v okolí budov).⁵³

Evakuace obyvatelstva z oblasti kolem elektrárny byla zahájena až třicet šest hodin po havárii, měsíc po havárii pak byli přemístěni všichni, kteří žili v okruhu třiceti kilometrů kolem zařízení. Radioaktivní zamoření z Černobylu zasáhlo velkou část Evropy, přičemž nejvíce bylo zasaženo území Běloruska, Ruska a Ukrajiny. Deterministická poškození vyvolaná zářením se omezovala na personál elektrárny a na zasahující hasičský sbor. Akutní nemoc z ozáření byla diagnostikována u téměř dvou set padesáti osob, podezření bylo u dalších sto čtyřiceti osob. Z hlediska dlouhodobějších zdravotních důsledků došlo ke statisticky významnému nárůstu karcinomu štítné žlázy u dětí.⁵⁴

Vzhledem k tomu, že jaderná havárie Černobylu neměla v historii obdoby, nebyly s řešením takového incidentu dostatečné zkušenosti. Již výše jsem uvedl, že jednou z prvních zásadních chyb v rámci okamžitého řízení havárie bylo ignorování důkazů o poškození reaktoru. V důsledku toho nebyli hasiči, kteří přijeli hasit požár, informováni o tom, že sutiny jsou radioaktivní. Mnoho hasičů proto utrpělo vysoké dávky radiace. Vládní komisař, který havárii vyšetřoval, přiznal zničení reaktoru až dvacet čtyři hodin po explozi. Aby došlo k zamezení dalšího úniku radiace do ovzduší, byly na reaktor svrženy s pomocí

⁵³ PLOKHY, Serhii. *Černobyl: historie jaderné katastrofy*. Brno: Jota, 2019. ISBN 978-80-7565-462-5, s. 130.

⁵⁴ HAVRÁNKOVÁ, Renata (ed.). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0, s. 155.

vrtulníků karbid boru, dolomit, olovo, písek a jí. ⁵⁵ Bylo rozhodnuto o tom, že kolem reaktoru bude postaven železobetonový „sarkofág“ – pracovníci museli proto okolí vyčistit od radioaktivních trosk a umístit je dovnitř budov, aniž by však disponovali odpovídajícími ochrannými pomůckami. Ani sarkofág však neměl být permanentním řešením – již v době jeho stavby byl chápán jako stavba omezující primárně šíření radioaktivity, přičemž životnost byla odhadována na dvacet let. ⁵⁶

Havárii v Černobyli chronologicky předcházel incident v **Three Mile Island** ve Spojených státech amerických, který se udál dne **28. března 1979**. V tento den kolem čtvrté hodiny ranní došlo k poruše na ventilu, který se zasekl, a k výpadku čerpadel, která zajišťovala cirkulaci vody v chladícím okruhu nejaderné části jaderné elektrárny. Automatické systémy zareagovaly odstavením turbíny, nicméně v reaktoru stále docházelo k ohřevu chladicí vody, která se ale již nemohla ochlazovat. Následující chyby obsluhy, která nebyla schopna identifikovat stav jako nehodu se ztrátou chladicí kapaliny (LOCA), a dílčí technické nedostatky vedly k tomu, že provozní budovy elektrárny byly zamořeny radioaktivitou, která unikla i do okolí (tento únik byl však relativně nízký). Došlo i k roztavení části aktivní zóny reaktoru. ⁵⁷

Horní část aktivní zóny reaktoru byla odryta brzy po šesté hodině ranní, přičemž intenzivní teplo způsobilo reakci mezi párou tvořící se v aktivní zóně reaktoru a pláštěm jaderných palivových tyčí za vzniku oxidu zirkoničitého, vodíku a dalšího tepla. Došlo k roztavení pláště jaderné palivové tyče a k poškození palivových pelet, uvolňujících radioaktivní izotopy do chladiva reaktoru a produkujících plynný vodík, o němž se předpokládá, že později odpoledne způsobil menší výbuch v budově kontejnmentu. ⁵⁸

Když v šest ráno došlo na velínu ke střídání směn, všimli si nově příchozí operátoři, že teplota v koncové trubce pojistného ventilu a záchytných nádrží je příliš vysoká – použili proto tzv. blokový ventil, aby uzavřeli odvětrání chladicí kapaliny, nicméně z primární smyčky již uniklo přes sto dvacet tisíc litrů chladicí kapaliny. Až o tři čtvrtě

⁵⁵ PLOKHY, Serhii. *Černobyl: historie jaderné katastrofy*. Brno: Jota, 2019. ISBN 978-80-7565-462-5, s. 140.

⁵⁶ LEATHERBARROW, Andrew. *Černobyl 01:23:40: neuvěřitelný příběh nejhorší jaderné katastrofy*. V Brně: CPress, 2020. ISBN 978-80-264-3032-2, s. 203.

⁵⁷ HAVRÁNKOVÁ, Renata (ed.). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0, s. 154.

⁵⁸ KEMENY, John G. *The President's Commission on the Accident at Three Mile Island*. Washington, D.C.: The Need for Change: The Legacy of TMI, 1979. ISBN 978-1297534478, s. 99.

hodiny později, tedy více než dvě a půl hodiny po začátku incidentu, se aktivovaly radiační poplachy. V té době již byla budova kontejnmentu vážně kontaminována radiací. Až krátce před sedmou hodinou ranní vyhlásil vedoucí elektrárny stav nouze a o půl hodiny později byl vyhlášen i všeobecný stav nouze.⁵⁹ Nedostatečné školení personálu elektrárny se odráželo i v tom, že státní a místní agentury byly informovány prostřednictvím nejednoznačných či přímo protichůdných prohlášení. Rovněž veřejnost tak neměla jistotu o tom, zda a v jaké míře došlo k ohrožení radiací.⁶⁰

Jelikož se v horší části reaktoru vytvořila vodíková bublina, která bránila dochlazování aktivní zóny, trvalo zvládnutí situace týden. Tato vodíková bublina mohla potenciálně způsobit výbuch, který by mohl narušit tlakovou nádobu a vést k porušení integrity kontejnmentu – to by mohlo vést ke značnému úniku radioaktivity. Podle zjištění však nebyl v tlakové nádobě přítomen žádný kyslík, který byl předpokladem pro případný výbuch. Nakonec byl vodík odstraněn z reaktoru prostřednictvím katalytického rekombinátoru a odvětrávání. V rámci Spojených států amerických se jedná o nejvýznamnější nehodu komerční jaderné elektrárny.⁶¹

Za jednu z příčin havárie je považována skutečnost, že školení a postupy Three Mile Island způsobily, že operátoři jaderné elektrárny nebyli připraveni na zhoršující se situaci. K tomuto problému přistoupily i dílčí konstrukční nedostatky, například nevhodně uspořádané ovládací prvky, využití více podobných alarmů, selhání zařízení indikujícího hladinu chladicí kapaliny a polohu zaseknutého otevřeného ventilu.⁶² Hultman a Koomey konstatují, že nehoda Three Mile Island sice nezpůsobila zánik amerického jaderného průmyslu, ale zastavila jeho růst. Do tohoto procesu zasáhlo i výrazné zpřísnění podmínek provozu jaderných elektráren ve Spojených státech amerických. Globální konec nárůstu výstavby jaderných elektráren přišel až s katastrofálnějším havárií Černobylu.⁶³

⁵⁹ WALKER, J. Samuel. *Three Mile Island. A nuclear crisis in historical perspective*. Berkeley: University of California Press, 2004. ISBN 0-520-23940-7, s. 78-79.

⁶⁰ Tamtéž, s. 80-84.

⁶¹ U.S.NRC. Backgrounder on the Three Mile Island Accident [online]. United States Nuclear Regulatory Commission, 15. 11. 2022. [Cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>.

⁶² WALKER, J. Samuel. *Three Mile Island. A nuclear crisis in historical perspective*. Berkeley: University of California Press, 2004. ISBN 0-520-23940-7, s. 211.

⁶³ HULTMAN, Nathan a Jonathan KOOMEY. Three Mile Island. The driver of US nuclear power's decline? *Bulletin of the Atomic Scientist*. 2013, 69 (3), pp. 63-70. ISSN 1938-3282, s. 63-69.

Současné době chronologicky mnohem bližší je havárie jaderné elektrárny **Fukušima I**, která se odehrála dne **11. března 2011**. Toto datum přibližně v 14.46 postihlo Japonsko zemětřesení s epicentrem poblíž Honšú o síle 9,0 stupňů Richterovy škály. Toto zemětřesení jaderná elektrárna přečkala bez vážnějšího poškození, přičemž bezpečnostní systémy zafungovaly tak, jak měly. Problémem se ukázala být až vlna tsunami o výšce čtrnáct metrů. Původně byla nehoda klasifikována stupněm INES 5, avšak po důkladnějším prozkoumání následků došlo k překvalifikování na stupeň 7, čímž se nehoda připojila k Černobyli jako ta nejvážnější nehoda jaderné elektrárny v dějinách lidstva.⁶⁴

Bezprostředně po zemětřesení reaktory 1, 2 a 3 automaticky vypnuly své štěpné reakce prostřednictvím nouzového odstavení jaderného reaktoru. Jelikož reaktory již nebyly kvůli tomuto opatření schopné generovat energii pro další provoz čerpadel chladicí kapaliny, byly spuštěny nouzové diesellové generátory. Tyto generátory fungovaly až do již zmíněné vlny tsunami, která zničila generátory pro reaktory 1 až 5. Vlna zaplavila suterény budov turbín elektrárny, načež byla japonským úřadům oznámena nouzová situace prvního stupně. Stanice, dodávající energii ze tří záložních generátorů, selhaly. Parní čerpadla nadále dodávala chladicí vodu do reaktorů 2 a 3, čímž bránila přehřívání palivových tyčí, kde se stále tvořilo teplo. Nicméně i tato čerpadla přestala fungovat a reaktory se tak začaly přehřívát. To vedlo až k roztavení reaktorů 1, 2 a 3.⁶⁵

Na místo byly vyslány mobilní generátory a baterie, dorazily však později kvůli špatnému stavu vozovky. První generátory tak dorazily k elektrárně až šest hodin po tsunami – pokusy o připojení přenosných zařízení však byly neúspěšné, provoz jednoho z generátorů byl tak obnoven až 17. března, přičemž externí napájení energií se podařilo zprovoznit až o tři dny později.⁶⁶

Mezi 12. březnem a 15. březnem došlo ve Fukušimě k celkem třem výbuchům vodíku. Míra poškození aktivních zón reaktorů a lokace roztaveného jaderního paliva dosud není známa. Obecně se předpokládá, že většina paliva se protavila přes tlakovou

⁶⁴ HAVRÁNKOVÁ, Renata (ed.). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0, s. 156.

⁶⁵ INPO. Special Report on the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station [online]. INPO, listopad 2011. [Cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/docs/ML1134/ML11347A454.pdf>.

⁶⁶ TEPCO. The evaluation Status of Reactor Core Damage at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1 to 3 [online]. Tokyo Electric Power Company, 30. 11. 2011. [Cit. 2023-01-03]. Dostupné z: https://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/images/handouts_111130_04-e.pdf.

nádoby reaktoru a nachází se na dně primární kontejnmentové nádoby, kde byla zastavena betonem.⁶⁷ K chlazení reaktorů byla použita mořská voda, která byla následně opět vypouštěna do moře – důsledkem toho došlo ke krátkodobému zvýšení kontaminace mořské vody radioaktivním jodem.⁶⁸ Odhaduje se, že do Tichého oceánu bylo v průběhu nehody vypuštěno osmnáct tisíc terabecquerelů radioaktivního cesia-137. V souvislosti s nehodou bylo evakuováno sto padesát čtyři tisíc osob.⁶⁹

Obdobně jako v Černobylu byly v rané fázi stěžejním kontaminantem radionuklidy jodu – v jaderné elektrárně zahynuli dva pracovníci, jejichž smrt souvisela s vlnou tsunami. Dalších dvacet jedna pracovníků bylo ozářeno dávkami, které byly vyšší než 100 mSv, ale nikoli vyšší než 250 mSv, což můžeme interpretovat tak, že nedošlo k deterministickým účinkům ozáření. Obyvatelstvo v dvacetikilometrové zóně od jaderné elektrárny bylo vysídleno, v nejbližších městech bylo zjištěno krátkodobé zvýšení radioaktivního jodu v pitné vodě. Dlouhodobě bude území kontaminováno radioaktivním cesiem.⁷⁰

4.3 Následky a dopady havárií a nehod jaderných elektráren

Obecně lze konstatovat, že nejzávažnějšími následky a dopady havárií a nehod jaderných elektráren jsou zamoření okolí radioaktivními látkami a ztráty na životech v důsledku radiace, případně zranění způsobených při samotné nehodě. Míra těchto následků je determinována vážností incidentu, případně i adekvátností reakce personálu. Míra ozáření osob je posuzována jako součet dvou faktorů – vnějšího ozáření pronikavým ionizujícím zářením (ozáření z radioaktivního oblaku a depozitu na povrchu) a ozáření vlivem vstupu radionuklidů do organismu, což zahrnuje inhalaci a ingesci radioaktivních látek.⁷¹

⁶⁷ HASAGEWA, Arifumi et al. Emergency Responses and Health Consequences after the Fukushima Accident. Evacuation and Relocation. *Clinical Oncology*. 2016, 28 (4), pp. 237-244. ISSN 0936-6555, s. 237-242.

⁶⁸ HAVRÁNKOVÁ, Renata (ed.). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0, s. 156.

⁶⁹ TEPCO. The evaluation Status of Reactor Core Damage at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1 to 3 [online]. Tokyo Electric Power Company, 30. 11. 2011. [Cit. 2023-01-03]. Dostupné z: https://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/images/handouts_111130_04-e.pdf.

⁷⁰ HAVRÁNKOVÁ, Renata (ed.). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0, s. 156.

⁷¹ SABOL, Jozef a Bedřich ŠESTÁK. Důsledky největších jaderných havárií. Černobyl vs. Fukušima. *Bezpečnostní teorie a praxe*. 2017, č. 1, s. 49-68. ISSN 1211-2461, s. 54.

Černobylská havárie měla významné dopady pro okolní životní prostředí i pro lidské životy. Dopady havárie se projeví především značným únikem radioaktivity v prvních dnech po havárii – to vedlo k rozsáhlé kontaminaci jak bezprostředního okolí, tak vzdálenějších míst, kam byl zavát radioaktivní mrak. Vzhledem k rozdílným meteorologickým podmínkám zamoření území vykazovalo značné nehomogenity.⁷² Přibližně deset kilometrů čtverečních borového lesa, které se nacházely po větru od černobylského reaktoru, se zbarvily do červenohnědé a uhynuly, některá zvířata v nejvýznamněji postižených lokalitách uhynula či ztratila schopnost reprodukce. Míra mutací u rostlin a zvířat se zvýšila dvacetkrát z důvodu působení radionuklidů z černobylské elektrárny.⁷³

Ozáření obyvatelstva bylo způsobeno vnějším zářením emitovaným uniklými radionuklidy ve vzduchu a na povrchu půdy a dalších objektů. Bezprostředně si havárie vyžádala 31 mrtvých, 237 osob bylo postiženo akutní nemocí z ozáření a velkými dávkami zařízení bylo zasaženo několik tisíc likvidátorů havárie. Z oblasti třiceti kilometrů od zničeného bloku, muselo být natrvalo evakuováno sto třicet pět tisíc obyvatel, několik tisíc čtverečních kilometrů půdy je dodnes kontaminováno.⁷⁴ Podle odhadů záření způsobí u dvou a půl tisíc likvidátorů rakovinu. Většina evakuovaných osob obdržela dávku záření nižší než 200 mSv.⁷⁵

Upozornit lze i na dlouhodobější následky černobylské havárie. Během deseti let po nehodě dva další z hospitalizovaných bezprostředně po havárii zemřeli v důsledku myelodysplastického syndromu. Ačkoli to bylo neočekávané, podle studií nedošlo u likvidátorů katastrofy ke statisticky významnému nárůstu míry výskytu rakovin.⁷⁶ Jediná bezpečně doložená úmrtí zapříčiněná radiací při černobylské havárii se týkala pracovníků zařízení a zasahujících hasičů. Samotná exploze reaktoru pak vedla ke smrti dvou inženýrů a k těžkému popálení dvou dalších, kteří byli mezi dvěma sty třiceti sedmi pracovníky

⁷² SABOL, Jozef a Bedřich ŠESTÁK. Důsledky největších jaderných havárií. Černobyl vs. Fukušima. *Bezpečnostní teorie a praxe*. 2017, č. 1, s. 49-68. ISSN 1211-2461, s. 59.

⁷³ MOLLER, Andres a Timothy Alexander MOUSSEAU. Conservation consequences of Chernobyl and other nuclear accidents. *Biological Conservation*. 2011, 144 (12), pp. 2787-2798. ISSN 0006-3207, s. 2787-2790.

⁷⁴ SABOL, Jozef a Bedřich ŠESTÁK. Důsledky největších jaderných havárií. Černobyl vs. Fukušima. *Bezpečnostní teorie a praxe*. 2017, č. 1, s. 49-68. ISSN 1211-2461, s. 59 a 60.

⁷⁵ Tamtéž, s. 62.

⁷⁶ BENNETT, Burton, Michael REPACHOLI a Zhanat CARR (eds.). Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes [online]. WHO, 2006. [Cit. 2023-01-05]. Dostupné z: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43447/1/9241594179_eng.pdf.

hospitalizovanými bezprostředně po nehodě. Z těchto hospitalizovaných pracovníků mělo sto třicet čtyři příznaky akutního radiačního syndromu, dvacet osm z nich pak zemřelo během následujících tří měsíců.⁷⁷ Jiná je však situace u dětské rakoviny štítné žlázy, kdy došlo k přibližně čtyřem tisícům nových případů tohoto onemocnění v běžné populaci do roku 2002 v kontaminovaných oblastech Běloruska, Ruska a Ukrajiny, přičemž většina z těchto případů je připisována vysokým úrovním radioaktivního jódu v životním prostředí bezprostředně po nehodě.⁷⁸

V případě nehody jaderné elektrárny Fukušima Daiichi bezprostředně po incidentu nedošlo k žádnému úmrtí v důsledku ozáření, ačkoli během evakuace blízkého obyvatelstva došlo k řadě úmrtí nesouvisejících s radiací.⁷⁹ Předpokládá se, že v důsledku rakoviny způsobené jadernou nehodou zemře tisíc pět set až tisíc osm set osob.⁸⁰ Dále bylo zjištěno, že mezi evakuovanými jedinci vzrostla až pětinasobně míra psychických následků v porovnání s jinými katastrofami s nutností evakuace obyvatelstva. K dalším vážným důsledkům patří statisticky signifikantní nárůst dětské obezity. Ačkoli evakuované obyvatelstvo bylo vystaveno spíše nízké míře záření a dopady na jeho zdraví tak budou v tomto kontextu pravděpodobně nízké, nicméně je zde významné riziko psychických následků.⁸¹

Pracovníci, kteří se podíleli na likvidaci fukušimské havárie, obdrželi dávky záření v průměru pod 100 mSv, nicméně šest pracovníků dostalo dávku záření vyšší než 250 mSv. Nicméně u žádného z těchto pracovníků nenastala nemoc z ozáření. Prací se účastnilo postupně dvacet jedna tisíc pracovníků, z nichž téměř čtrnáct tisíc obdrželo efektivní dávku menší než 10 mSv. Obyvatelstvo obdrželo dávky, které jsou zlomkem přírodního

⁷⁷ One decade after Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident [online]. EC, IAEA, WHO, 1996. [Cit. 2023-01-04]. Dostupné z: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/027/28027920.pdf?r=1.

⁷⁸ RAHU, Mati et al. Cancer risk among chernobyl cleanup workers in Estonia and Latvia, 1986-1998. *International Journal of Cancer*. 2006, 119 (1), pp. 162-168. ISSN 1097-0215, s. 162.

⁷⁹ Fukushima disaster. Ex-Tepeco executives charged with negligence [online]. BBC News, 2016-02-29. [Cit. 2023-01-04] Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/world-asia-35684098>.

⁸⁰ ALIYU, Abubakar Sadiq et al. An overview of current knowledge concerning the health and environmental consequences of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident. *Environment International*. 2015, 85, pp. 213-228. ISSN 1873-6750, s. 213-214.

⁸¹ HASEGAWA, Arifumi et al. Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. *The Lancet*. 2015, 386 (9992), pp. 479-488. ISSN 2213-8587, s. 479-482.

radiačního pozadí. Díky včasnému informování se zabránilo ohrožení dětí radioaktivním jódem. Podle předpokladů nedojde ke zvýšení počtu rakovin štítné žlázy.⁸²

Co se týče zdravotních následků po nehodě v jaderné elektrárně Three Mile Island, různé studie se shodují na tom, že nehoda nevedla k pozorovatelným dlouhodobým zdravotním účinkům.⁸³ Lze nalézt však i studie, které hovoří o opaku – například podle Gofmana došlo v důsledku nehody v Three Mile Island k více než třem stům úmrtím na rakovinu či leukémii, jejichž výskyt přímo souvisel se zvýšením radiace v okolí elektrárny po incidentu.⁸⁴ Dále Wing zjistil, že mezi lety 1979 a 1985 došlo k statisticky významnému nárůstu rakoviny u jedinců, kteří žili v oblasti do deseti mil od Three Mile Island.⁸⁵

Sabol a Šesták se ve svém článku věnují komparaci následků nehod Fukušimy a Černobyly. Konstatují, že zde existuje několik výrazných rozdílů – zatímco v Černobyly došlo k vyvržení části vyhořelého paliva, přičemž se do exteriéru elektrárny dostalo i plutonium a další transurany, v jaderné elektrárně Fukušima udrželi kontejnment a reaktorová nádoba veškeré palivo uvnitř, ven se dostaly pouze těkavější produkty štěpení. V případě Fukušimy bylo dost času na evakuaci obyvatelstva, a i pracovníci jaderné elektrárny se mohli připravit na práci v radiačním prostředí. Naproti tomu v Černobyly pracovníci ani obyvatelé v přilehlém okolí elektrárny netušili, že je prostředí zamořené radiací. Všechna opatření byla aplikována s výrazným zpožděním, proto i dávka radiace spojená s vnitřní kontaminací radioaktivním jódem byla velmi vysoká. Za rozdílným dopadem obou havárií stojí i rozdílné meteorologické podmínky – po jaderné nehodě v Černobyly zasáhla většina radioaktivního spadu velké části ukrajinského, běloruského a ruského území, zamořené území v případě Fukušimy se nacházelo zejména v oblasti, kde

⁸² SABOL, Jozef a Bedřich ŠESTÁK. Důsledky největších jaderných havárií. Černobyl vs. Fukušima. *Bezpečnostní teorie a praxe*. 2017, č. 1, s. 49-68. ISSN 1211-2461, s. 62.

⁸³ Viz například HATCH, Maureen C. Cancer near the Three Mile Island nuclear plant. Radiation Emissions. *American Journal of Epidemiology*. 1990, 132 (3), pp. 397-412. ISSN 1476-6256; HATCH, Maureen C. et al. Cancer rates after the Three Mile Island nuclear accident and proximity of residence to the plant. *American Journal of Public Health*. 1991, 81 (6), pp. 685-805. ISSN 1541-0048; LEVIN, Roger J. Incidence of Thyroid Cancer in Residents Surrounding the Three Mile Island Nuclear Facility. *The Laryngoscope*. 2008, 118 (4), pp. 618-628. ISSN 1531-4995.

⁸⁴ GOFMAN, John W. Foreword to the 1979 Printing of Poisoned Power After the Three Mile Island Near-Disaster [online]. San Francisco, 1979. [Cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://ratical.org/radiation/CNR/PP/Foreward1979.html>.

⁸⁵ WING, Steve et al. A reevaluation of cancer incidence near the Three Mile Island nuclear plant. The collision of evidence and assumptions. *Environmental Health Perspectives*. 1997, 105 (1), pp. 52-57. ISSN 1552-9924.

japonské pobřeží omývá Indický oceán.⁸⁶ Podle odhadů se uvolněná radioaktivita z Fukušimy pohybovala od 10 % do 40 % radioaktivity z Černobylu a významně kontaminovaná oblast byla na 10 % až 12 % oblasti zasazené černobylskou katastrofou.⁸⁷

⁸⁶ SABOL, Jozef a Bedřich ŠESTÁK. Důsledky největších jaderných havárií. Černobyl vs. Fukušima. *Bezpečnostní teorie a praxe*. 2017, č. 1, s. 49-68. ISSN 1211-2461, s. 63.

⁸⁷ von HIPPEL, Frank N. The radiological and psychological consequences of the Fukushima Daiichi accident. *Bulletin of the Atomic Sciences*. 2011, 67 (5), pp. 27-36. ISSN 1938-3282, s. 27-28.

5 Dotazníkové šetření

Obsahem páté části práce je analýza výsledků dotazníkového šetření. V jednotlivých podkapitolách jsou představeny výzkumné cíle a hypotézy, je charakterizován soubor respondentů a jsou analyzována získaná data.

5.1 Výzkumné cíle a hypotézy

Hlavním výzkumným cílem je zjistit postoj obyvatelstva na problematiku havárií a nehod jaderných elektráren a obecněji jaderné bezpečnosti. Tento hlavní cíl je konkretizován prostřednictvím následujících vedlejších výzkumných cílů a hypotéz.

Prvním vedlejším výzkumným cílem je zjistit, zda respondenti vnímají jadernou energii jako bezpečnou.

H1: Mezi vzděláním respondentů a tím, jak vnímají bezpečnost jaderné energie, není statisticky významný rozdíl.

Druhým vedlejším výzkumným cílem je zjistit, zda jsou respondenti dle svého názoru dostatečně připraveni na případnou havárii jaderné elektrárny.

H2: Mezi věkem respondentů a tím, zda jsou subjektivně dostatečně připraveni na případnou havárii jaderné elektrárny, neexistuje statisticky významný rozdíl.

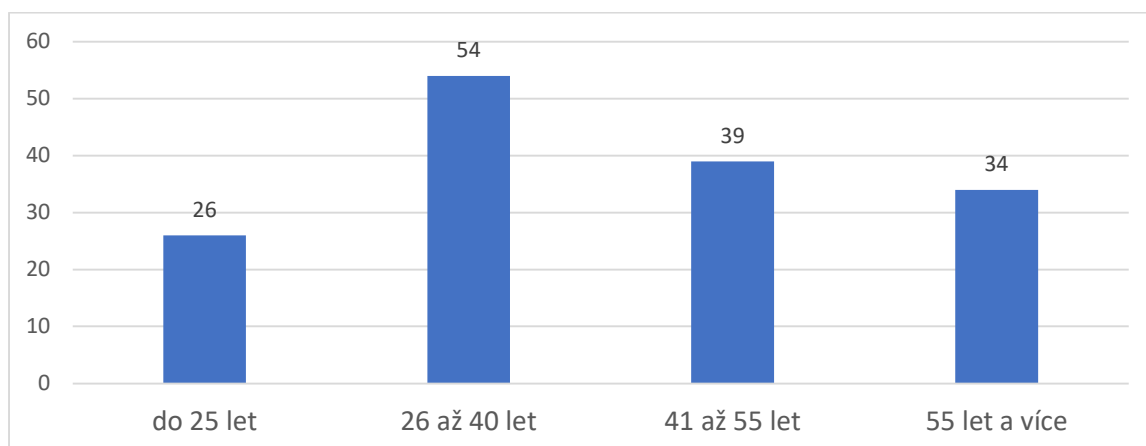
Třetím vedlejším výzkumným cílem je zjistit, který typ elektrárny je dle respondentů nejvíce bezpečný.

H3: Podle největší skupiny respondentů je nejvíce bezpečná sluneční elektrárna.

5.2 Charakteristika souboru respondentů

Po ukončení sběru dat bylo zkompletováno 153 dotazníků. Z těchto sto padesáti tří respondentů je 71 žen (46,4 % souboru) a 82 mužů (53,6 % souboru), genderové složení výzkumného souboru je tedy poměrně vyrovnané. Dále byli respondenti tázáni na svůj věk – získané údaje byly rozčleněny do několika kategorií, jejichž četnost je reflektována na grafu č. 1.

Graf 1: Věkové složení výzkumného souboru

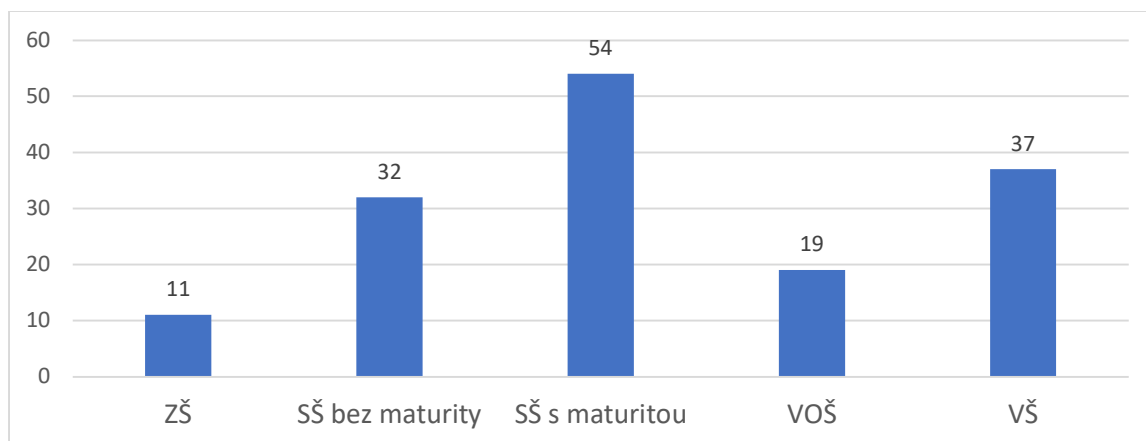


Zdroj: vlastní zpracování

Nejvíce respondentů (procentuálně vyjádřeno 35,3 %) spadá do skupiny ve věku 26 až 40 let. Dalších 25,5 % oslovených jedinců uvedlo, že se nachází ve věkovém rozmezí 41 až 55 let. Do skupiny ve věku 55 a více let spadá 22,2 % participantů výzkumu a nakonec 17,0 % respondentů je mladší 25 let včetně.

Poslední položka dotazníku, která cílila na poznání vlastností respondentů, se tázala na jejich nejvyšší dosažené vzdělání. Zjištěné výsledky jsou opět vizualizovány formou grafu níže.

Graf 2: Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů



Zdroj: vlastní zpracování

Nejvíce respondentů (konkrétně 35,3 %) uvedlo, že disponuje středoškolským vzděláním s maturitou. Druhá nejčetnější skupina účastníků výzkumného šetření (24,2 %) má vysokoškolské vzdělání. Dalších 20,9 % respondentů má středoškolské vzdělání bez

maturity a 12,4 % vyšší odborné vzdělání. Nejméně oslovených jedinců (7,2 %) mělo základní vzdělání.

5.3 Analýza dat

První položka dotazníku se respondentů tázala, který z typů elektráren je dle jejich mínění nejvíce bezpečný. Zjištěné absolutní i relativní četnosti jsou shrnuty v tab. 1.

Tab. 1: Názor respondentů na nejbezpečnější typ elektrárny

Typ elektrárny	Respondenti, kteří označili tento typ jako nejbezpečnější	
	Absolutní počet	Relativní počet
Vodní	15	9,8 %
Jaderná	11	7,2 %
Geotermální	31	20,3 %
Uhelná	4	2,6 %
Přílivová	22	14,4 %
Větrná	27	17,6 %
Sluneční	43	28,1 %
Celkem	153	100,0 %

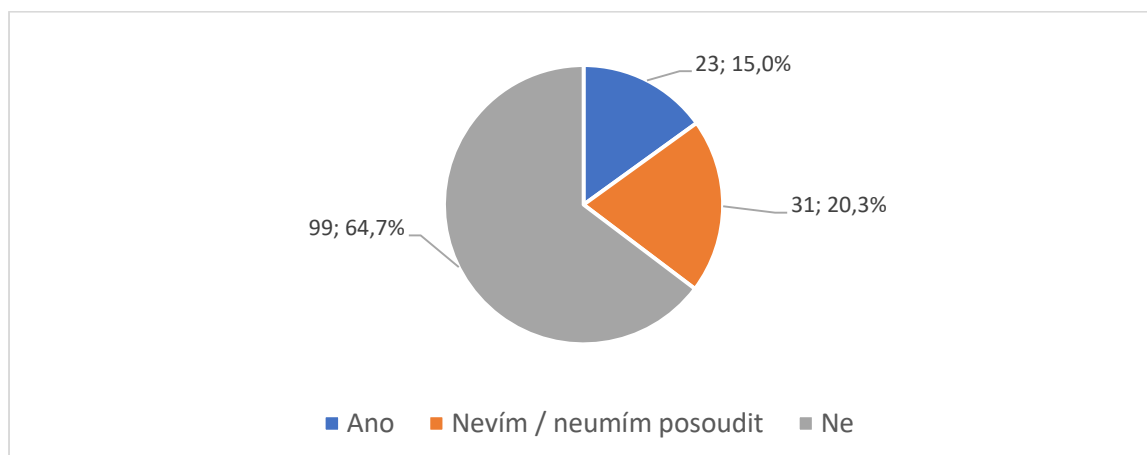
Zdroj: vlastní zpracování

Jako nejbezpečnější typ elektrárny respondenti označili sluneční elektrárnu – tuto elektrárnu označilo jako nejvíce bezpečnou 28,1 % respondentů. Druhá nejbezpečnější je dle oslovených jedinců elektrárna geotermální, na které se shodlo 20,3 % výzkumného souboru. Na opačném konci škály se nachází elektrárna uhelná, kterou jako nejvíce bezpečnou označilo pouze 2,6 % respondentů. Jaderná elektrárna se v tomto pomyslném žebříčku umístila na předposledním místě se 7,2 %.

Této položky dotazníku se týkala jedna ze stanovených hypotéz, konkrétně: H3: Podle největší skupiny respondentů je nejvíce bezpečná sluneční elektrárna. Na základě zjištěných dat lze konstatovat, že tato hypotéza je potvrzená.

Druhá otázka dotazníku se respondentů tázala, jestli dle mínění respondentů působí na obyvatele žijící v okolí jaderné elektrárny radioaktivní záření. Zjištěné odpovědi jsou reflektovány v Grafu 3.

Graf 3: Působí dle vašeho mínění na obyvatele žijící v okolí JE vyšší míra radioaktivního záření?

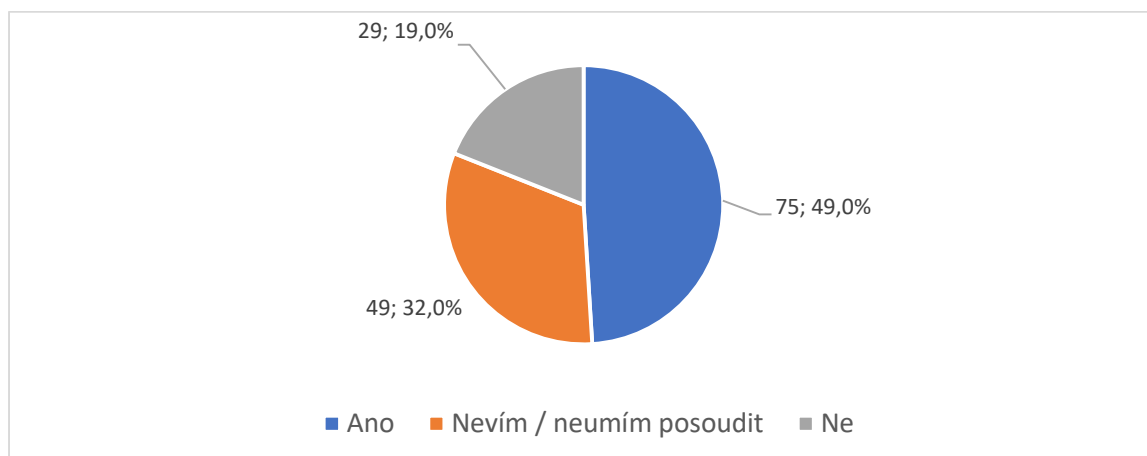


Zdroj: vlastní zpracování

Nejvíce respondentů – konkrétně 64,7 % – konstatovalo, že podle jejich mínění na obyvatele žijící v okolí jaderných elektráren radioaktivní záření nepůsobí. Opačnou odpověď, tedy že na jedince bydlící v okolí jaderných elektráren radioaktivní záření působí, zvolilo 15,0 % oslovených jedinců. Zbýlých 20,3 % participantů výzkumu uvedlo, že neví či neumí tuto otázku posoudit.

Třetí položka dotazníku se respondentů tázala, zda je dle jejich mínění vyhořelé palivo z jaderné elektrárny nadále radioaktivní. Odpovědi jsou zobrazeny v Grafu 4.

Graf 4: Myslíte, že vyhořelé palivo z JE je nadále radioaktivní?



Zdroj: vlastní zpracování

Nejvíce respondentů – 49,0 % – uvedlo, že podle jejich mínění je vyhořelé palivo z jaderné elektrárny stále radioaktivní. Dalších 32,0 % participantů výzkumu konstatovalo,

že odpověď na tuto otázku nezná, či situaci neumí kvalifikovaně posoudit. Nakonec 19,0 % respondentů odpovědělo, že vyhořelé palivo dle jejich mínění již radioaktivní není. V součtu 51 % nesprávných či neurčitých odpovědí může znamenat, že veřejnost je o problematice vyhořelého paliva nedostatečně informována.

V rámci čtvrté položky dotazníku byli respondenti tázáni, zda vnímají jadernou energii jako bezpečnou. Oslovení jedinci mohli odpovídat formou Likertovy škály – zjištěné odpovědi jsou shrnuty v Tab. 2.

Tab. 2: Názor respondentů na bezpečnost jaderné energie

Typ elektrárny	Vnímáte jadernou energii jako bezpečnou?	
	Absolutní počet	Relativní počet
Určitě ano	19	12,4 %
Spíše ano	56	36,6 %
Nevím / neumím posoudit	34	22,2 %
Spíše ne	25	16,3 %
Určitě ne	19	12,4 %
Celkem	153	100,0 %

Zdroj: vlastní zpracování

Pokud sečteme všechny pozitivní odpovědi, zjistíme, že 49,0 % respondentů vnímá jadernou energii jako spíše bezpečnou či určitě bezpečnou. Naopak jako spíše nebezpečnou či určitě nebezpečnou vnímá jadernou energii 28,7 % participantů výzkumu. Zbývajících 22,2 % si nebylo svou odpovědí jisto. Této otázky se týkala následující výzkumná hypotéza:

H1: Mezi vzděláním respondentů a tím, jak vnímají bezpečnost jaderné energie, není statisticky významný rozdíl.

Data získaná z výzkumného šetření byla vložena do statistického programu SPSS, načež byla zjištěna hodnota Pearsonova korelačního koeficientu $p = 0,126$, sig. = 0,061. Z toho můžeme vydedukovat, že mezi vzděláním respondentů a tím, jak vnímají bezpečnost jaderné energie, nebyla zjištěna statisticky významná souvislost.

Pátá položka dotazníku zjišťovala, zda jsou respondenti dle svého mínění dostatečně připraveni na případnou havárii jaderné elektrárny. Participantů opět mohli odpovídat formou Likertovy škály, přičemž jejich odpovědi jsou shrnuty v rámci Tab. 3.

Tab. 3: Názor respondentů na vlastní připravenost na případnou havárii JE

Typ elektrárny	Jste dostatečně připraveni na havárii JE?	
	Absolutní počet	Relativní počet
Určitě ano	19	12,4 %
Spíše ano	32	20,9 %
Nevím / neumím posoudit	41	26,8 %
Spíše ne	28	18,3 %
Určitě ne	33	21,6 %
Celkem	153	100,0 %

Zdroj: vlastní zpracování

Na tuto otázku odpovědělo nejvíce respondentů tak, že svou připravenost na případnou havárii jaderné elektrárny neumí posoudit – konkrétně tak odpovědělo 26,8 %. Tato skutečnost může poukazovat na nedostatečnou informovanost veřejnosti ohledně otázek jaderné energie. Ostatně druhou nejčtenější odpovědí byla ta, podle které respondenti dle svého mínění určitě nejsou dostatečně připraveni na havárii jaderné elektrárny (21,6 %). Této otázky se tázala druhá stanovená hypotéza:

H2: Mezi věkem respondentů a tím, zda jsou subjektivně dostatečně připraveni na případnou havárii jaderné elektrárny, neexistuje statisticky významný rozdíl.

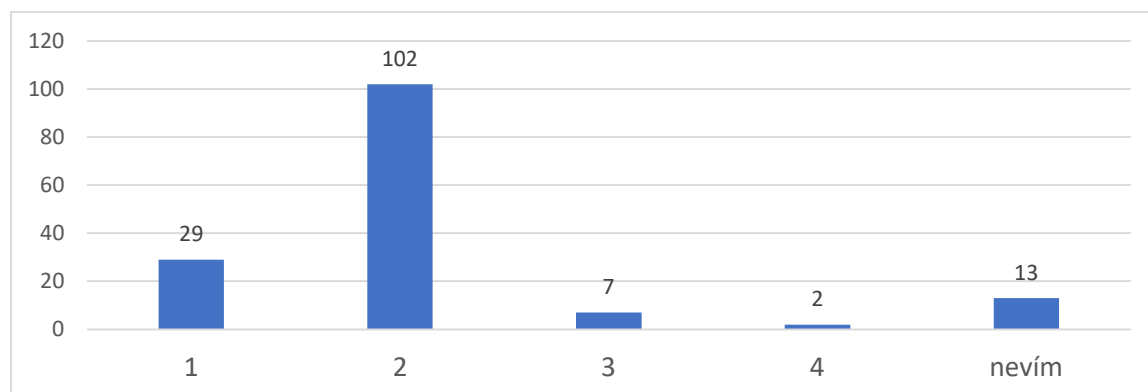
Data získaná z výzkumného šetření byla opět vložena do statistického programu SPSS, načež byla zjištěna hodnota Pearsonova korelačního koeficientu $p = 0,001$, $\text{sig.} = 0,986$. Z toho můžeme vydedukovat, že mezi věkem respondentů a jejich pocitem připravenosti na případnou havárii jaderné elektrárny není statisticky významná souvislost.

Šestá položka dotazníku se respondentů tázala, zda si vzpomenu na název nějakých jaderných elektráren, ve kterých se stala vážná havárie. Účastníci výzkumu mohli odpovídat formou volné odpovědi, přičemž mohli uvést libovolný počet havárií jaderných elektráren. Nejvíce respondentů – konkrétně 150, tedy 98,0 %, uvedla **černobylskou jadernou havárii**. Důvodem takto široké obeznámenosti veřejnosti s touto havárií může být nejen skutečnost, že se jednalo o nejhorší jadernou havárii v dějinách lidstva, ale i velmi široká medializace této události. Další 63 respondentů, tedy 41,2 % výzkumného souboru, uvedlo **jadernou havárii ve Fukušimě**. Ačkoli tedy tato událost je naší současnosti bližší a byla hodnocena stejným stupněm INES jako Černobyl, mezi respondenty nebyla natolik známá jako první jmenovaná jaderná nehoda. Celkem 21

participantů výzkumu (13,7 %) si vzpomnělo na **jadernou nehodu v Three Mile Island**, což lze zdůvodnit nedávnou seriálovou adaptací této události. Pouze 9 respondentů (5,9 %) uvedlo **havárii v jaderné elektrárně Jaslovské Bohunice**, která je České republice geograficky nejbližší.

Sedmá položka dotazníku zjišťovala vědomost respondentů o tom, kolik je na území České republiky jaderných elektráren. Zjištěné odpovědi jsou uvedeny v Grafu 5.

Graf 5: Kolik je na území ČR jaderných elektráren?

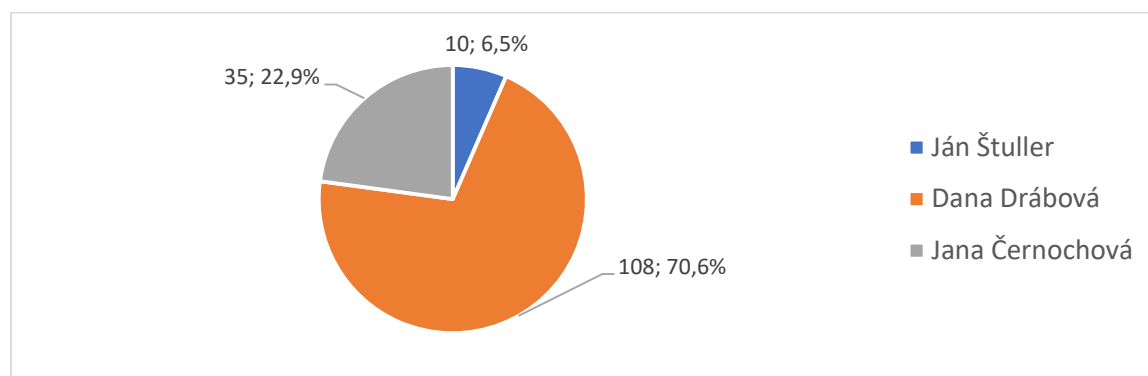


Zdroj: vlastní zpracování

Jak je z grafu evidentní, nejvíce respondentů – konkrétně 102 jedinců, což je 66,7 % výzkumného souboru – správně konstatovalo, že na území České republiky jsou dvě jaderné elektrárny. Dalších 19,0 % participantů výzkumů uvedlo, že v České republice je pouze jedna jaderná elektrárna. Celkem 8,5 % respondentů uvedlo, že na tuto otázku neumí odpovědět. Další odpovědi již označily pouze jednotky respondentů.

Osmá a závěrečná položka dotazníku zjišťovala povědomí respondentů o tom, kdo je předsedou či předsedkyní Státního úřadu pro jadernou bezpečnost v ČR.

Graf 6: Povědomí o předsedkyni Státního úřadu pro jadernou bezpečnost v ČR



Zdroj: vlastní zpracování

Jak je evidentní z Grafu 6, naprostá většina respondentů (70,6 %) ví, že předsedkyní Státního úřadu pro jadernou bezpečnost v ČR je Dana Drábová. Za tímto výsledkem může stát skutečnost, že Dana Drábová hojně vystupuje v médiích, přičemž se často vyjadřuje i k jiným společenským tématům, než je jaderná energetika. Janu Černochovou zvolilo 22,9 % respondentů, kteří se mohli mylně domnívat, že ministryně obrany má ve své kompetenci i jadernou bezpečnost. Bývalého předsedu Státního úřadu pro jadernou bezpečnost v ČR Jána Štullera zvolilo 6,5 % oslovených jedinců.

6 Diskuze

Hlavním cílem výzkumného šetření bylo zjištění postoje obyvatelstva na problematiku havárií a nehod jaderných elektráren a obecněji jaderné bezpečnosti. Prvním vedlejším cílem bylo v tomto kontextu zjistit, zda respondenti vnímají jadernou energii jako bezpečnou. Po analýze dat bylo zjištěno, že 49,0 % respondentů vnímá jadernou energii jako spíše bezpečnou či určitě bezpečnou. Naopak jako spíše nebezpečnou či určitě nebezpečnou vnímá jadernou energii 28,7 % účastníků výzkumu. Zbývajících 22,2 % si nebylo svou odpovědí jisto. Tento výsledek můžeme komparovat se zjištěními výzkumu Veřejnost o jaderné energetice z července 2021, podle kterého má 38 % respondentů velké či střední obavy a 58 % oslovených jedinců má malé nebo žádné obavy z používání jaderné energie.⁸⁸ Lze konstatovat, že poměry odpovědí v obou výzkumech byly obdobné s tím rozdílem, že ve výzkumném šetření, které je součástí této práce, byl mnohem větší podíl respondentů, který odpověděl „nevím“ (ve výzkumu z července 2021 to byla pouze 4 %).

Druhým vedlejším výzkumným cílem bylo zjistit, zda jsou respondenti dle svého názoru dostatečně připraveni na případnou havárii jaderné elektrárny. Nejvíce účastníků výzkumu odpovědělo tak, že svou připravenost na případnou havárii jaderné elektrárny neumí posoudit – konkrétně tak odpovědělo 26,8 %. Druhou nejčtenější odpovědí byla ta, podle které účastníci výzkumu určitě nejsou dostatečně připraveni na havárii jaderné elektrárny (21,6 %). Třetím vedlejším výzkumným cílem bylo zjistit, který typ elektrárny je dle respondentů nejvíce bezpečný. Participantí výzkumu jako nejbezpečnější typ elektrárny označili sluneční elektrárnu (28,1 % respondentů). Jadernou elektrárnu jako nejbezpečnější typ elektráren zvolilo 7,2 % respondentů.

Obecně z výzkumu vyplynulo, že česká veřejnost pravděpodobně není dostatečně informována o jaderné energetice a bezpečnosti. O tom svědčí například odpovědi na připravenost respondentů na případnou jadernou havárii, nebo fakt, že podle 15 % účastníků výzkumu na jedince bydlící v okolí jaderných elektráren působí vyšší míra radioaktivního záření. Pozitivní není ani zjištění, že 51 % respondentů nezná odpověď na otázku, zda je vyhořelé palivo z jaderné elektrárny nadále radioaktivní, nebo že 33,3 %

⁸⁸ AV ČR. Veřejnost o jaderné energetice – červenec 2021 [online]. Strategie AV21, 2021. [Cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://cvvm.soc.cas.cz/cz/tiskove-zpravy/ostatni/ekologie/5503-verejnost-o-jaderne-energetice-cervenec-2021>.

oslovených jedinců nedokázalo odpovědět na otázku, kolik je v České republice jaderných elektráren.

V souvislosti s tímto zjištěním lze navrhnout, aby byla veřejnost mnohem lépe informována o jaderné energetice a bezpečnosti. Jako vhodný komunikační kanál se v tomto kontextu jeví nejen veřejnoprávní média, ale i soukromé televize. Dále lze doporučit celospolečensky cílenou reklamu na sociálních sítích, zejména na Facebooku, Twitteru, Instagramu a Tik Toku, která může zasáhnout zejména mladší a střední generaci. Pro starší generace se jeví jako vhodnější reklamní kampaň šířená televizním vysíláním či prostřednictvím tisku. V rámci českých a středních základních škol by měl být kladen větší důraz na informovanost žáků a studentů ohledně správných reakcí na případnou havárii jaderné elektrárny.

Závěr

Ačkoli při provozu jaderných elektráren je bezpečnost tím prvořadým požadavkem – jaderná elektrárna musí odolat jak zemětřesením a dalším přírodním katastrofám, tak například pádu letadla nebo teroristickému útoku – značná část veřejnosti na ně shlíží skepticky. Příčinu lze odhadovat například v tom, že ojedinělé jaderné havárie jsou široce medializovány – například i po desetiletích od havárie Černobylu stále vznikají nové seriálové a filmové adaptace. Aniž by bylo možné důsledky jaderných nehod bagatelizovat, značná část skepse veřejnosti pramení z její neinformovanosti.

Hlavním cílem práce bylo vymezit základní případy nehod a havárií, které se v minulosti staly na jaderných zařízeních. V závěru práce lze konstatovat, že tento cíl byl splněn – v rámci teoretické části práce byly analyzovány nehody v Černobylu, Three Mile Island a Fukušimě, což jsou (jak se ukázalo v dotazníkovém šetření) u nás ty nejznámější nehody jaderných elektráren. U těchto nehod byl analyzován jak jejich průběh, tak realizovaná nápravná bezpečnostní opatření. Ukázalo se, že za většinou těchto nehod stál chybný postup obsluhy jaderné elektrárny. Vedlejším cílem práce bylo přiblížit problematiku ochrany obyvatelstva při mimořádných událostech a dopadu havárií na životní prostředí. I o tomto cíli lze konstatovat, že byl prací naplněn.

Důležitou součástí práce je empirické šetření, orientované na zjištění postoje obyvatelstva na problematiku havárií a nehod jaderných elektráren a obecněji jaderné bezpečnosti. V následujících bodech jsou shrnuta klíčová zjištění:

- Podle 28,1 % respondentů je nejbezpečnějším typem elektrárny sluneční elektrárna (jednalo se o největší skupinu respondentů).
- Celkem 35,3 % respondentů nedokázalo správně odpovědět na otázku, zda na obyvatele žijící v okolí jaderné elektrárny působí vyšší míra radioaktivního záření.
- Celkem 51,0 % respondentů nedokázalo správně odpovědět na otázku, jestli je vyhořelé palivo z jaderné elektrárny nadále radioaktivní.
- Celkem 49,0 % respondentů vnímá jadernou energii jako spíše bezpečnou či určitě bezpečnou.

- Celkem 66,7 % respondentů má negativní představu o vlastní připravenosti na případnou havárii jaderné elektrárny, nebo na tuto otázku nedokázalo odpovědět.
- Mezi respondenty je nejznámější nehoda jaderné elektrárny v Černobylu – vzpomnělo si na ni 98,0 % oslovených jedinců.
- Celkem 33 % respondentů nedokázalo správně odpovědět na otázku, kolik je v České republice jaderných elektráren.

Z těchto nejpodstatnějších závěrů lze vyvodit zejména skutečnost, že česká veřejnost není o problematice jaderné energetiky a bezpečnosti dostatečně informována. V tomto kontextu bylo v diskusi výzkumného šetření navrženo, aby byly realizovány celospolečensky cílené informační kampaně.

V případných dalších závěrečných pracích na obdobná témata by bylo vhodné věnovat se například příčinám postoje veřejnosti k jaderným elektrárnám a obecně k jaderné energetice a bezpečnosti. Rovněž lze navrhnout zkoumat, zda se postoj veřejnosti k jaderné bezpečnosti nějakým způsobem změnil v souvislosti s konfliktem na Ukrajině, kdy médií několikrát proběhly informace o možném narušení bezpečnosti tamějších jaderných elektráren, a to i nechvalně proslulé černobylské elektrárny.

Seznam použitých zdrojů

Literární zdroje

ALIYU, Abubakar Sadiq et al. An overview of current knowledge concerning the health and environmental consequences of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident. *Environment International*. 2015, 85, pp. 213-228. ISSN 1873-6750.

BEČVÁŘ, Josef. *Jaderné elektrárny: celostátní vysokoškolská učebnice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978.

BENNETT, Burton, Michael REPACHOLI a Zhanat CARR (eds.). Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes [online]. WHO, 2006. [Cit. 2023-01-05]. Dostupné z: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43447/1/9241594179_eng.pdf.

BINHACK, Petr a Lukáš TICHÝ. *Energetická bezpečnost ČR a budoucnost energetické politiky EU*. Praha: Ústav mezinárodních vztahů, 2011. ISBN 978-80-87558-02-7.

BURKET, Daneš a kol. *Jaderná energie: Útlum nebo rozvoj?* Praha: Institut Václava Klause, 2015, s. 14-19. ISBN 978-80-878-0673-9.

CABÁNEKOVÁ, Helena, DANIŠ, Daniel (eds.). *Atómy na Slovensku: Slovenská nukleárna spoločnosť*. Bratislava: Slovenská nukleárna spoločnosť, 2006. ISBN 80-89090-17-6.

CACUCI, Dan Gabriel. *Handbook of Nuclear Engineering*. New York: Springer Science and Business Media, 2010. ISBN 978-03-879-8130-7.

GOFMAN, John W. Foreword to the 1979 Printing of Poisoned Power After the Three Mile Island Near-Disaster [online]. San Francisco, 1979. [Cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://ratical.org/radiation/CNR/PP/Foreward1979.html>.

HASAGEWA, Arifumi et al. Emergency Responses and Health Consequences after the Fukushima Accident. Evacuation and Relocation. *Clinical Oncology*. 2016, 28 (4), pp. 237-244. ISSN 0936-6555.

HASEGAWA, Arifumi et al. Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. *The Lancet*. 2015, 386 (9992), pp. 479-488. ISSN 2213-8587.

HATCH, Maureen C. Cancer near the Three Mile Island nuclear plant. Radiation Emissions. *American Journal of Epidemiology*. 1990, 132 (3), pp. 397-412. ISSN 1476-6256.

HATCH, Maureen C. et al. Cancer rates after the Three Mile Island nuclear accident and proximity of residence to the plant. *American Journal of Public Health*. 1991, 81 (6), pp. 685-805. ISSN 1541-0048.

HAVRÁNKOVÁ, Renata (ed.). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0.

HULTMAN, Nathan a Jonathan KOOMEY. Three Mile Island. The driver of US nuclear power's decline? *Bulletin of the Atomic Scientist*. 2013, 69 (3), pp. 63-70. ISSN 1938-3282.

- CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1369-4.
- JANOVSKÝ, Igor. *Výzkumné reaktory a radiační technologie v českých zemích*. Praha: Národní technické muzeum, 2008. ISBN 978-80-7037-174-9.
- KEMENY, John G. *The President's Commission on the Accident at Three Mile Island*. Washington, D.C: The Need for Change: The Legacy of TMI, 1979. ISBN 978-1297534478. (Dostupné i elektronicky z: <https://www.hsdl.org/?view&did=769775>).
- Kolektiv výcvikových inženýrů. ČEZ. *Kurz Omega*. Brno, 2021.
- LEATHERBARROW, Andrew. *Černobyl 01:23:40: neuvěřitelný příběh nejhorší jaderné katastrofy*. V Brně: CPress, 2020. ISBN 978-80-264-3032-2.
- LEVIN, Roger J. Incidence of Thyroid Cancer in Residents Surrounding the Three Mile Island Nuclear Facility. *The Laryngoscope*. 2008, 118 (4), pp. 618-628. ISSN 1531-4995.
- MOLLER, Andres a Timothy Alexander MOUSSEAU. Conservation consequences of Chernobyl and other nuclear accidents. *Biological Conservation*. 2011, 144 (12), pp. 2787-2798. ISSN 0006-3207.
- MOULD, R. F. *Chernobyl Record. The Definitive History of the Chernobyl Catastrophe*. Bristol: CRC Press, 2000. ISBN 978-14-200-3462-2.
- NAKANISHI, Yumiko. *Contemporary Issues in Environmental Law. The EU and Japan*. New York: Springer, 2016. ISBN 978-44-3155-435-6.
- OTČENÁŠEK, Petr. *Základy konstrukce a funkce jaderných elektráren*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01161-5.
- PACNER, Karel. *Osudové okamžiky XX. století: události, které zásadně ovlivnily náš svět*. Druhé vydání. Praha: Plus, 2018. ISBN 978-80-259-0943-0.
- PLOKHY, Serhii. *Černobyl: historie jaderné katastrofy*. Brno: Jota, 2019. ISBN 978-80-7565-462-5.
- RAČEK, Jiří. *Jaderné elektrárny*. Vyd. 4. Brno: Novpress, 2013. ISBN 978-80-214-4744-8.
- RAHU, Mati et al. Cancer risk among chernobyl cleanup workers in Estonia and Latvia, 1986-1998. *International Journal of Cancer*. 2006, 119 (1), pp. 162-168. ISSN 1097-0215.
- SABOL, Jozef a Bedřich ŠESTÁK. Důsledky největších jaderných havárií. Černobyl vs. Fukušima. *Bezpečnostní teorie a praxe*. 2017, č. 1, s. 49-68. ISSN 1211-2461.
- TŮMA, Miroslav. *Mírové využívání jaderné energie, nešíření jaderných zbraní a jaderné odzbrojení*. Praha: Ústav mezinárodních vztahů, 2009. ISBN 978-80-86506-77-7.
- von HIPPEL, Frank N. The radiological and psychological consequences of the Fukushima Daiichi accident. *Bulletion of the Atomic Science*. 2011, 67 (5), pp. 27-36. ISSN 1938-3282.
- WALKER, J. Samuel. *Three Mile Island. A nuclear crisis in historical perspective*. Berkeley: University of California Press, 2004. ISBN 0-520-23940-7. (Dostupné i elektronicky z: <https://archive.org/details/threemileislandn00walk/page/n7/mode/1up>).

WING, Steve et al. A reevaluation of cancer incidence near the Three Mile Island nuclear plant. The collision of evidence and assumptions. *Environmental Health Perspectives*. 1997, 105 (1), pp. 52-57. ISSN 1552-9924.

ZOUL, David a kol. Simulace průběhu těžkých jaderných havárií. *Aldebaran Bulletin*. 2020, roč. 18, č. 48, s. 1-9. ISSN 1214-1674.

Elektronické zdroje

10 let od havárie jaderného reaktoru v Černobyli – důsledky a poučení [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 1996. [Cit. 2022-12-31]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/10let_od_Cernobyly.pdf.

AV ČR. Veřejnost o jaderné energetice – červenec 2021 [online]. Strategie AV21, 2021. [Cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://cvvm.soc.cas.cz/cz/tiskove-zpravy/ostatni/ekologie/5503-verejnost-o-jaderne-energetice-cervenec-2021>.

Bezpečnostní systémy [online]. Svět energie, vzdělávací portál ČEZ, 2022. [Cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny-pro-deti/co-vsechno-v-jaderne-elektrarne-najdeme/bezpecnostni-systemy/jak-to-funguje>.

Fukushima disaster. Ex-Tepco executives charged with negligence [online]. BBC News, 2016-02-29. [Cit. 2023-01-04] Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/world-asia-35684098>.

INES. Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních událostí. Uživatelská příručka [online]. SÚJB, 2016. [Cit. 2022-12-15]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES-2008_cz_preklad.pdf.

INPO. Special Report on the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station [online] INPO, listopad 2011. [Cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/docs/ML1134/ML11347A454.pdf>.

Jaderné elektrárny [online]. SÚRO, 2022. [Cit. 2022-12-19]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/jaderne-elektrarny>.

Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných událostí [online]. Svět energie, vzdělávací portál ČEZ, 2022. [Cit. 2022-30-12]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/mezinarodni-stupnice-jadernych-udalosti.pdf>.

One decade after Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident [online]. EC, IAEA, WHO, 1996. [Cit. 2023-01-04]. Dostupné z: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/027/28027920.pdf?r=1.

Statistiky z jaderných elektráren [online]. EON, 2022. [Cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/je-ve-svete/statistiky-z-jadernych-elektraren>.

SÚJB. Národní zpráva. „Zátěžové zkoušky“ JE Dukovany a JE Temelín Česká republika. Hodnocení bezpečnosti a bezpečnostních rezerv ve světle havárie JE Fukushima [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost Česká republika, 2011. [Cit. 2022-12-16]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/Narodni_zprava_ceska_final_1.pdf.

SÚBJ. Ochranná opatření při radiační mimořádné události [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2023. [2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/ochranna-opatreni-pri-radiacni-mimoradne-udalosti/>.

TEPCO. The evaluation Status of Reactor Core Damage at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1 to 3 [online]. Tokyo Electric Power Company, 30. 11. 2011. [Cit. 2023-01-03]. Dostupné z: https://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/images/handouts_111130_04-e.pdf.

U.S.NRC. Backgrounder on the Three Mile Island Accident [online]. United States Nuclear Regulatory Commission, 15. 11. 2022. [Cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>.

Legislativní dokumenty

Směrnice Rady 2014/87/EUROATOM ze dne 8. července 2014, kterou se mění směrnice 2009/71/Euroatom

Úmluva o jaderné bezpečnosti ze 17. června 1994

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon)

Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon

Příloha: Dotazník

Dobrý den,

jmenuji se Roman Bušta a jsem studentem bakalářského studijního oboru Bezpečnostně právní činnost, při Vysoké škole evropských a regionálních studií v Českých Budějovicích. Zpracovávám bakalářskou práci na téma Havárie a nehody jaderných elektráren a chtěl bych Vás tímto požádat o součinnost při vyplnění uvedeného dotazníku. Vždy prosím vyberte pouze jednu Vámi vybranou možnost, nebo doplňte text.

Dotazník je zcela anonymní a je v souladu se zákonem 110/2019 Sb. o zpracování osobních údajů. Údaje z dotazníku budou zpracovány do výsledných grafů v mé bakalářské práci.

Děkuji za Vaši spolupráci a čas

Roman Bušta

-
1. Která z následujících elektráren je dle vašeho mínění nejvíce bezpečná?
 - vodní
 - jaderná
 - geotermální
 - uhelná
 - přílivová
 - větrná
 - sluneční
 2. Působí dle vašeho mínění na obyvatele žijící v okolí jaderné elektrárny vyšší míra radioaktivního záření?
 - ano
 - nevím / neumím posoudit
 - ne
 3. Myslíte, že vyhořelé palivo z jaderné elektrárny je nadále radioaktivní?
 - ano
 - nevím / neumím posoudit
 - ne

4. Vnímáte jadernou energii jako bezpečnou?

- určitě ano
- spíše ano
- nevím / neumím posoudit
- spíše ne
- určitě ne

5. Myslíte, že jste dostatečně připraveni na případnou havárii jaderné elektrárny?

- určitě ano
- spíše ano
- nevím / neumím posoudit
- spíše ne
- určitě ne

6. Vzpomenete si na název nějakých jaderných elektráren, ve kterých se stala závažná havárie?

7. Kolik je na území ČR jaderných elektráren?

- jedna
- dvě
- tři
- čtyři
- nevím / neumím posoudit

8. Kdo je předsedou/předsedkyní Státního úřadu pro jadernou bezpečnost v ČR?

- Ján Štuller
- Dana Drábová
- Jana Černochová

9. Jaký je váš věk?

10. Jaké je vaše pohlaví?

- žena
- muž

11. Jaké je vaše nejvyšší dosažené vzdělání?

- základní škola
- střední škola bez maturity
- střední škola s maturitou
- vyšší odborná škola
- vysoká škola