


Příčiny, následky a likvidace havárie jaderné elektrárny Fukušima Daiči

Patrick Kapila

Bakalářská práce
2023

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Patrick Kapila**
Osobní číslo: **L20071**
Studijní program: **B1032A020002 Ochrana obyvatelstva**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Příčiny, následky a likvidace havárie jaderné elektrárny Fukušima Daiči**

Zásady pro vypracování

1. Charakterizujte příčiny havárie jaderné elektrárny Fukušima Daiči způsobené vlnou tsunami.
2. Popište průběh havárie a přijaté postupy ke zmírnění následků na přilehlé obyvatelstvo a životní prostředí.
3. Provedte výzkum postoje české veřejnosti k bezpečnosti jaderné energetiky.
4. Na základě provedeného výzkumu vypracujte návrhy pro zvýšení osvěty české veřejnosti o bezpečnosti jaderných elektráren.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. PODZEMNÁ, Lucie. *Reprezentace jaderné energetiky v médiích v období před a po havárii ve Fukušimě*. Praha, 2014. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Fakulta humanitních studií, Katedra sociální a kulturní ekologie. Vedoucí práce Novák, Arnošt.
 2. UNITED NATIONS PUBLICATIONS. *SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly with Scientific Annexes*. Volume I Scientific Annex A. New York: United Nations Publications, 2014. ISBN 9789211422917.
 3. Wagner, Vladimír. *Fukušima I poté*. Praha: Novela bohemia, 2015. ISBN 978-80-87683-45-3.
- Další odborná literatura dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.**
Ústav ochrany obyvatelstva

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **5. května 2023**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 5/5/23

Jméno a příjmení studenta: Patrick Kapila

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá příčinami, následky a likvidační havárií, která se odehrála v jaderné elektrárně Fukušima Daiči v roce 2011. Popisuje průběh havárie od jejího samého počátku nouzovým odstavením reaktorů důsledkem zemětřesení, které elektrárnu zasáhlo až po likvidační práce, které zmírňují její dopad na člověka a životní prostředí. Součástí práce je kvantitativní výzkum obyvatel České republiky, zkoumající jejich postoj k bezpečnosti jaderné energetiky.

Klíčová slova: bezpečnost, Fukušima, havárie, jaderná elektrárna, roztavení aktivní zóny reaktoru

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the causes and effects of the Fukushima Daichi Nuclear Power Plant disaster which occurred in 2011. The thesis describes the events that took place from the first moments when the emergency shutdown of the reactors was initiated up until the clean-up efforts to mitigate its impact on people and the environment. The thesis includes a quantitative survey of the population of the Czech Republic, assessing their attitudes towards the safety of nuclear power.

Keywords: Safety, Nuclear Power Plant, Fukushima, Disaster, Core Meltdown

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Dušanu Vičarovi, CSc. za jeho cenné rady při jejím zpracování.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VÝROBA ELEKTŘINY V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ.....	11
1.1 REAKTORY	11
1.2 PALIVO	13
1.3 BEZPEČNOST JADERNÝCH ELEKTRÁREN.....	14
1.3.1 VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	15
2 VÝZNAMNÉ UDÁLOSTI SVĚTA VE VYUŽÍVÁNÍ JADERNÉ ENERGETIKY	17
2.1 ČERNOBYL	17
2.1.1 HAVÁRIE	17
2.1.2 NÁSLEDKY HAVÁRIE	18
2.2 THREE MILE ISLAND.....	19
2.2.1 HAVÁRIE	19
2.2.2 NÁSLEDKY HAVÁRIE	20
3 VÝZNAMNÉ UDÁLOSTI V ČESKOSLOVENSKU A ČESKÉ REPUBLICĚ	21
3.1 JASLOVSKÉ BOHUNICE.....	21
3.1.1 PRVNÍ NEHODA.....	21
3.1.2 DRUHÁ NEHODA.....	22
4 DÍLČÍ ZÁVĚR	23
II. PRAKTICKÁ ČÁST	24
5 HAVÁRIE V ELEKTRÁRNĚ FUKUŠIMA DAIČI	25
5.1 ZEMĚTŘESENÍ A TSUNAMI.....	25
5.2 SNAHY O OCHLAZENÍ PALIVA.....	26
5.3 PŘEHŘÁTÍ PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ.....	28
6 NÁSLEDKY HAVÁRIE	30
6.1 EVAKUACE OBYVATEL	30
6.2 UVOLNĚNÍ RADIACE.....	31
7 LIKVIDACE NÁSLEDKŮ HAVÁRIE	33
7.1 DEKONTAMINACE ZASAŽENÝCH OBLASTÍ	33
7.2 LIKVIDACE ELEKTRÁRNY FUKUŠIMA DAIČI.....	34
8 KVANTITATIVNÍ VÝZKUM	36
8.1 METODIKA VÝZKUMU	36
8.2 VÝSLEDKY VÝZKUMU	38

8.3	DISKUSE.....	54
	ZÁVĚR	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	61
	SEZNAM GRAFŮ	62

ÚVOD

Havárie v jaderné elektrárně Fukušima Daiči se skládala ze sledu událostí, které se odehrály následkem zemětřesení a tsunami, které zasáhlo východní pobřeží severní části japonského ostrova Honšú dne 11. 3. 2011. Zemětřesení o magnitudě 9 vyvolalo neočekávaně velké tsunami, jež proniklo do prostoru elektrárny a v důsledku způsobilo přehřátí aktivních zón několika reaktorů a jejich následné roztavení. V době zemětřesení byly v provozu tři z celkových šesti reaktorů elektrárny, u nichž zemětřesení vyvolalo jejich nouzové odstavení. Nečekaně velká vlna tsunami však vyřadila z provozu chladicí systém elektrárny a vlivem rozpadového tepla se reaktory začaly přehřívat.

Havárie ve Fukušimě byla druhou nejzávažnější havárií v historii jaderné energetiky po havárii v Černobyli v roce 1986 a měla velký dopad na životní prostředí a osoby žijící v okolí elektrárny. Uvolněný radioaktivní materiál způsobil kontaminaci vodních zdrojů a potravin, jež nebyly vhodné pro lidskou konzumaci a musely být nahrazeny ze zdrojů mimo zasažené oblasti. Významným zdrojem kontroverzí je aktuálně rozhodnutí o začátku vypouštění částečně kontaminované vody do moře, kde by podle japonské vlády a zástupců firmy TEPCO, vlastníci elektrárny, neměla způsobit významný nárůst radioaktivity a tím poškodit mořský život včetně odvětví rybolovu.

Následky havárie mají také rozsáhlé sociální důsledky způsobené vyhlášením zakázané zóny v okolí elektrárny, ze které byli obyvatelé evakuováni na bezpečnější místa. Dekontaminace a rekonstrukce vyliďněných měst a obcí probíhá dodnes za velkého přispění dobrovolníků způsobeného jejich zájmem k návratu do svých domovů. Likvidace následků havárie v jaderné elektrárně Fukušima Daiči však představuje značnou finanční zátěž a potřebu dlouholetého úsilí při likvidačních pracích, a i tak budou některá zasažená místa neobyvatelná po dobu několika dalších desetiletí.

Cílem práce je objasnit havárii v jaderné elektrárně Fukušima Daiči, včetně příčin, následků a likvidace této havárie. Dále si bakalářská práce klade za cíl zhodnotit postoj české veřejnosti k bezpečnosti jaderné energetiky a sestavit návrhy, které by vedly ke zvýšení osvěty veřejnosti o bezpečnosti jaderných elektráren.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBA ELEKTŘINY V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ

Výrobou elektřiny označujeme postup, při kterém převádíme jiný druh energii na energii elektrickou. Jako zdroj energie pro přeměnu máme jako lidstvo širokou škálu možností, od použití neobnovitelných zdrojů, jakými jsou například fosilní paliva nebo jaderné zdroje, po obnovitelné zdroje jako je například tepelná energie Slunce a zemského jádra nebo kinetická síla proudící vody či větru.

Výroba elektřiny je složitý proces z hlediska nemožnosti skladování elektrické energie jako takové, vyžadující její přeměnu na jinou formu energie, jako je například potenciální energie v přečerpávací vodní elektrárně, nebo chemická energie v akumulátorech. Spotřeba elektřiny je v závislosti na ročním období, denní době a mnoha dalších faktorech nekonstantní, a proto je nutné výrobu elektřiny předem velice dobře plánovat, aby byla zachována rovnováha v síti mezi výrobou a spotřebou, jinak by mohlo docházet k výpadkům či naopak přepětí sítě.

Na elektřině je závislá většina dnešní společnosti nejen v domácnostech, ale i v zaměstnání. Spotřeba elektřiny každým rokem stále roste a další růst je předpokládán s postupným nahrazováním spalovacích motorů v dopravě, a je proto nutné hledat nové způsoby pro zajištění potřebných výrobních kapacit elektrické energie. Způsob, jakým se elektřina vyrábí se liší v závislosti na vyspělosti regionu a jeho zeměpisných atributech, jako je dostupnost fosilních paliv a příznivost podmínek pro využití obnovitelných zdrojů. Výběr technologie pro výrobu elektřiny je také do značné míry ovlivněn vládou, jelikož obrovské investice do energetické infrastruktury jsou často státem alespoň částečně financované (Hore-Lacy, 2006).

1.1 Reaktory

Jaderný reaktor je zařízení, které je schopné iniciovat a řídit řetězovou štěpnou reakci. Jaderné reaktory fungují na principu rozštěpení těžkého jádra atomu na dva menší, způsobené srážkou jádra atomu s volným neutronem. Při rozštěpení jádra dojde k uvolnění dalších elementárních částic a velkého množství tepla. Volné neutrony, uvolněné při rozštěpení jádra, mohou poté sloužit jako iniciátory štěpení dalších jader atomů, vedoucí k řetězení štěpné reakce. Obrovské množství tepla vzniklé při štěpné reakci je poté využito pro výrobu elektřiny (Spinrad a Marcum, 2023).

Jaderné reaktory můžeme rozdělit na dva základní typy, dle rychlosti neutronů použitých při dalším štěpení. Prvním typem můžeme označit reaktory termální, kdy uvolněné neutrony

jsou zpomalovány na velmi malé kinetické energie, čímž o několik řádů roste pravděpodobnost zachycení neutronu v jádru uranu a jeho následné rozštěpení. Rychlost těchto neutronů odpovídá rychlosti tepelného pohybu a jsou proto označovány jako tepelné neutrony. Důležitou součástí tohoto typu reaktoru je moderátor, který slouží jako médium pro zpomalování neutronů. Jako moderátor často slouží sloučeniny lehkých prvků jako je například vodík, kterým neutron podobné hmotnosti předá daleko více energie než v případě srážky s těžším jádrem. V těchto reaktorech se jako palivo používá uran 235 obohacený na 3 až 4 %. V případě použití těžké vody jako moderátoru je možné použít i přírodně obohacený uran, jelikož těžší jádra deuteria pohltí menší množství uvolněných neutronů a tím umožní vhodné podmínky pro štěpení přírodního uranu.

Druhým typem jsou reaktory množivé, ve kterých se nevyskytuje moderátor. O několik řádů nižší pravděpodobnost zachycení nezpomaleného neutronu je zde kompenzována použitím paliva s více než 20% obohacením, čímž vzroste tok neutronů v aktivní zóně. V tomto reaktoru lze dosáhnout většího zachycení neutronů uranem 238 a tedy vyšší produkci plutonia 239, které může dále posloužit jako štěpný materiál. Označení množinový reaktor vychází ze schopnosti, při správné konfiguraci aktivní zóny, produkovat větší množství štěpného materiálu, než bylo spotřebováno. Pro množinové reaktory je vhodné využití plutonia 239 jako paliva z důvodu jeho snazšího štěpení rychlými neutrony a jeho o čtvrtinu vyšší produkci neutronů ve srovnání s uranem 235. Dle konfigurace aktivní zóny může stejný reaktor fungovat jako množinový, nebo může naopak sloužit pro spalování transuranů (Wagner, 2015).

Štěpná reakce uvnitř reaktoru je řízená regulačními tyčemi, které jsou vyrobené z materiálu absorbující neutrony, jako je například borová ocel. Pomocí regulačních tyčí je možné ovlivnit reaktivitu, která je určena množstvím nově vznikajících štěpných reakcí uvnitř reaktoru. Reaktivita je nulová, pokud množství štěpných reakcí v čase je konstantní, záporná, pokud množství štěpných reakcí klesá a kladná, pokud stoupá. Při běžném provozu reaktoru je reaktivita nulová a pomocí regulačních tyčí jsou absorbovány přebytečné neutrony, které by jinak způsobily nárůst počtu štěpných reakcí. Při požadavku na snížení výkonu reaktoru se do aktivní zóny více zapustí regulační tyče, které pohltí více neutronů a tím ubude množství nově vzniklých štěpných reakcí, čímž je reaktivita reaktoru podkritická. Opačným procesem uvedeme reaktivitu do nadkritického stavu a společně s příbytkem štěpných reakcí stoupne i výkon reaktoru (Frýbort, Heraltová a Štefánik, 2013). Jaderný reaktor je součástí primárního okruhu, který má za úkol předat teplo vzniklé při štěpné reakci dál do sekundárního okruhu, a touto tepelnou výměnou současně chladit

aktivní zónu. Chladicí médium, v případě tlakovodního reaktoru voda, proudí potrubím z aktivní zóny reaktoru do parogenerátoru, kde se rozvětví do velkého množství menších trubek za účelem vytvoření co největší plochy pro předání tepla sekundárnímu okruhu. Voda z primárním okruhu při své cestě neopouští kontejnment a je pod vysokým tlakem, což umožňuje její zahřátí na vyšší teplotu bez dosažení varu, než by tomu bylo při atmosférickém tlaku.

Uvnitř parogenerátoru studenější voda ze sekundárního okruhu omývá malé trubky z primárního okruhu, čímž se zahřívá a přechází ve vodní páru. Pára je následně odvedena na parní turbínu napojenou na alternátor, kde dochází k vlastní výrobě elektřiny. Pára dál putuje do kondenzátoru páry, kde dochází k tepelné výměně s terciárním okruhem, obdobně jako tomu bylo případě výměny tepla mezi primárním a sekundárním okruhem. Pára zde kondenzuje a voda je čerpána zpět do parogenerátoru a proces se opakuje.

Terciární neboli chladicí okruh odvádí teplou vodu z kondenzátoru páry do masivních železobetonových chladicích věží, kde se voda rozprašuje z výšky 10 až 20 m. Vzduch proudící chladicí věží ochlazuje vodu a ta se zachycuje ve spodní části věže ve sběrném bazénu, odkud je odčerpána zpět do kondenzátoru. Část vody se ve věži odpaří a stoupá ven z věže, kde při kontaktu s chladnějším vzduchem kondenzuje v podobě bílých oblaků (Jaderná elektrárna Dukovany, 2020).

1.2 Palivo

Palivo pro použití v jaderné elektrárně se liší na základě používaného typu reaktoru, ale obecně ho tvoří izotopy dvou těžkých prvků, uranu a plutonia. Pro lehkovodní reaktory se běžně používá uran obohacený na 3–5 % uranu 235, který umožňuje vznik velkého množství volných neutronů při štěpení, jež voda použitá jako moderátor zpomalí a část pohltí. Alternativou pro použití mírně obohaceného paliva je palivo MOX, které je ve své nejběžnější formě složeno z plutonia smíchaném s přírodním uranem nebo vyhořelým uranovým palivem. Výhodou použití paliva MOX je možnost přepracování vyhořelého mírně obohaceného uranového paliva namísto jeho trvalého uložení a také efektivní likvidace plutonia určeného pro výrobu jaderných zbraní. Těžkovodní a grafitem moderované reaktory jsou schopné využít neobohaceného uranového paliva, jelikož jejich moderátor absorbuje menší množství neutronů než lehká voda a tím zachová dostatečnou populaci neutronů potřebnou pro řetězovou reakci.

Pro množinové reaktory, které neobsahují moderátor, je zapotřebí použití paliva obohaceného na více než 20 % uranu 235. Více obohacené palivo produkuje při štěpné reakci

větší množství volných neutronů, které svým množstvím kompenzují nižší pravděpodobnost srážky nezpomaleného neutronu s jádrem. Při správné konfiguraci jsou množinové reaktory také schopné produkovat více štěpného materiálu, než spotřebují, a to ve formě plutonia, které může poté být přepracováno do paliva MOX (Spinrad a Marcum, 2023).

Cesta uranového paliva začíná těžbou uranové rudy, která se následně nadrtí a poté chemicky louhuje. Výsledkem je práškový uranový koncentrát, označován jako triuran octoxid (U_3O_8), který je následně přepracován do fluoridu uranového (UF_6), což je nejběžnější sloučenina uranu použita pro jeho obohacení.

Pro oddělení izotopu uran 235, kterého je v přírodním uranu méně než 1 %, od uranu 238 se nejběžněji používá dvou metod, plynné difuze a centrifugální separace. Při difuzi přes polopropustnou membránu je možné využít rozdílu difuzních konstant molekul izotopů uran 235 a uran 238, a postupně oddělovat požadovaný uran 238. Z důvodu malého rozdílu hmotností plynů je nutné tuto metodu opakovat až několika tisícinásobně.

Pro druhou metodu separace je opět využito rozdílné hmotnosti molekul, a to pomocí centrifugy, kde jsou vlivem odstředivé síly odděleny molekuly obsahující rozdílné izotopy uranu. Tato metoda centrifugální separace postupně nahrazuje metodu plynné difuze z důvodu větší účinnosti a nižších energetických nákladů (Hore-Lacy, 2006).

Pro koncovou výrobu paliva do lehkovodních reaktorů se obohacené palivo přepracuje na oxid uraničitý (UO_2) ve formě keramického prášku, který se následně rozemele a pomocí lisovací formy se vylisují do podoby palivových pelet. Posledním krokem výroby jednotlivých pelet je jejich sintrování (spékání) v peci při teplotách do 1 800 °C.

Pelety se poté vkládají do plášťových trubek ze zirkoniových slitin, které se ještě před utěsněním naplní inertním plynem a takto připravené palivové proutky jsou podrobeny zkouškám těsnosti. Proutky jsou poté uspořádány do palivových souborů s předepsanými rozestupy, aby bylo umožněno plynulé proudění chladiva kolem paliva (Spinrad a Marcum, 2023).

1.3 Bezpečnost jaderných elektráren

Bezpečnost jaderných elektráren se periodicky stává terčem kritiky ve společnosti po haváriích v těchto energetických zařízeních, ačkoliv havárie jsou často následkem selhání lidského faktoru nebo přírodních katastrof, jejichž průběh nelze ovlivnit, ale lze zařízení na tyto události adekvátně připravit.

Výbuch reaktoru v rozsahu jaderné zbraně je nemožný z důvodu nízké úrovně obohacení paliva, ale i takový výbuch, jako se odehrál v Černobylské jaderné elektrárně, může rozptýlit

radioaktivní materiál několik set kilometrů daleko. Největší hrozbou pro reaktor je jeho přehřátí a následné roztavení aktivní zóny. Roztavením paliva a dalších komponentů reaktoru vznikne tavenina podobná vulkanické lávě, nazývána korium. Vzniklé korium se může propálit skrz dno reaktorové nádoby a následně podlahou kontejnmentu, přes kterou se dostane do podloží, kde může kontaminovat podzemní vody. U nových reaktorů jako je například Evropský tlakovodní reaktor je součástí takzvaný lapač koria, který má za úkol taveninu zachytit a rozlít do tenké vrstvy na velkou plochu, kterou je možné účinně chladit. Postupné ochlazování a tuhnutí koria je zpomaleno stále probíhající štěpnou reakcí uranového paliva, které dále produkuje teplo a vyzařuje radioaktivní částice (Komrska, 2022).

1.3.1 Vliv na životní prostředí

Vliv jaderné energetiky na životní prostředí nemůžeme jednoznačně určit jako méně či více škodlivý než jiné způsoby výroby elektřiny. Jedním z důležitých kritérií pro dnešní energetický průmysl je nízká emise skleníkových plynů, za kterou elektřinu vyrobenou z jádra považujeme. Při výrobě elektřiny v jaderné elektrárně nejsou do ovzduší vypouštěny žádné skleníkové plyny, ale jen vodní pára z chladicích věží. Jaderná energetika společně s obnovitelnými zdroji může proto přispět k evropskému úsilí zpomalit globální oteplování. Další značnou výhodou jaderné energetiky pro životní prostředí je její menší zábor půdy ve srovnání se solární a větrnou energetikou. Tyto dva obnovitelné zdroje vyžadují zabránění velkého množství půdy, která by mohla sloužit pro jiné účely, jako jsou například zemědělské. Posledním zmíněným pozitivním faktorem je vysoká energetická hustota jaderného paliva. Ve srovnání s uhelnou elektrárnou je do jaderné elektrárny dodáváno mnohonásobně menší množství (objemově i hmotnostně) paliva, což také snižuje množství vyprodukovaného odpadu (Rhodes, 2018).

Ačkoliv jaderná elektrárna ve srovnání s uhelnou elektrárnou vyprodukuje menší množství odpadu, odpad, který opustí reaktor je vysoce radioaktivní a může představovat riziko pro životní prostředí po stovky až tisíce let. Dočasná uložení radioaktivního odpadu existují v obou českých jaderných elektrárnách a s částí tohoto uloženého paliva se počítá do budoucna k přepracování na palivo MOX. Dlouhodobé řešení v podobě trvalého uložení radioaktivního odpadu je ale v Čechách stále v nedohlednu.

Druhým rizikovým faktorem pro provoz jaderné elektrárny je riziko vzniku havárie a následného úniku radioaktivního materiálu mimo prostor elektrárny. Závažné havárie obdobné havárii v Černobylu mohou mít smrtelný dopad na živé organismy v okolí

elektrárny, včetně rozsáhlé kontaminace zasaženého okolí na stovky let. Ochranné prvky jaderných elektráren jsou na vysoké úrovni a stále se vyvíjí, ale při mnoha haváriích je hlavním viníkem lidský faktor (Hore-Lacy, 2006).

Jaderná energetika nám poskytuje příležitost k výrobě relativně levné nízkoemisní elektrické energie, za předpokladu zajištění bezpečného provozu a hospodárného a bezpečného uložení radioaktivního odpadu.

2 VÝZNAMNÉ UDÁLOSTI SVĚTA VE VYUŽÍVÁNÍ JADERNÉ ENERGETIKY

2.1 Černobyl

Černobylská jaderná elektrárna leží na území dnešní Ukrajiny, přibližně 100 kilometrů na sever od hlavního města Kyjev. V elektrárně byli vystavěny čtyři bloky, první byl dokončen v roce 1970, druhý v roce 1977 a třetí a čtvrtý blok byl dokončen v roce 1983. Všechny čtyři bloky byly vystavěny dle stejného návrhu a využívali sovětský vodou chlazený grafitem moderovaný reaktor, RBMK-1000. V době havárie v roce 1986 byly v elektrárně ve výstavbě další dva bloky (World Nuclear Association, 2022).

2.1.1 Havárie

Příčiny havárie na čtvrtém bloku elektrárny ze dne 26. dubna 1986 měly svůj původ již o den dříve, na který byla naplánována zkouška chladicího systému. Zkouška měla za cíl zjistit, jak dlouho jsou schopné roztočené turbíny svou setrvačností pohánět cirkulační čerpadla při výpadku napájení, před tím, než naskočí záložní diesellové generátory. Během dne byl výkon reaktoru snížen až na 50 %, kdy operátor obdržel žádost a zachování výkonu z důvodu zajištění rovnováhy v síti. Test byl tedy odložen na pozdější hodinu. Mezi tím byl vypnut systém nouzového chlazení reaktoru, aby později nezasáhl a neovlivnil výsledky testu. Po jedenácté hodině večer bylo operátorům umožněno provést zkoušku a ti pokračovali ve snižování výkonu reaktoru. O půlnoci došlo ke střídání směn a zkoušku měla tehdy provést méně zkušená noční směna.

Pravděpodobně chybou operátora klesnul výkon reaktoru na 30 MW, mnohem níže než byla hranice 700 MW stanovená pro provedení zkoušky. Operátoři reagovali vysunutím více regulačních tyčí, než bylo předpisy povoleno a tím dosáhli výkonu 200 MW, při kterém se rozhodli provést zkoušku, byť stanovená hodnota výkonu pro provedení zkoušky měla být dva a půl násobná.

Jako první dle plánu aktivovali dvě další cirkulační čerpadla, kterým zvýšili proudění chladiva v reaktoru a dál snížili jeho tepelný výkon. Toto operátoři kompenzovali vysunutím dalších regulačních tyčí, těch v reaktoru zůstalo pouze osm, avšak minimální stanovený limit byl patnáct. Dvacet tři minut po jedné hodině ranní byla zkouška zahájena uzavřením přívodu páry na turbínu a odpojením napájení od cirkulačních čerpadel. Čerpadla byla dále poháněna setrvačností turbíny, ta ale postupně klesala a průtok chladiva se snižoval.

Zpomalený průtok chladiva aktivní zónou způsobil jeho nadměrné zahřívání a následnou přeměnu v páru, což dělá reaktor typu RBMK velice nestabilní z důvodu prudkého nárůstu výkonu. I přes snahy operátorů iniciovat nouzové odstavení reaktoru zasunutím všech regulačních tyčí došlo k prudkému nárůstu tepelného výkonu reaktoru, který dosáhl až desetinásobku normálních provozních hodnot, tedy 30 000 MW (World Nuclear Association, 2019 nebo Vičar et al., 2021).

Enormní tlak páry uvnitř reaktoru odhodil tisíci tunové víko reaktoru a odhalil aktivní zónu vnějšímu prostředí. Po dvou až třech vteřinách následovala druhá exploze reaktoru, která rozptýlila radioaktivní materiál mimo prostor reaktorové budovy, včetně vysoce kontaminovaného grafitu, který v reaktoru sloužil jako moderátor. Ve snaze dále chladit poškozený a hořící reaktor do něj bylo v následujícím půldni načerpáno každou hodinu až 300 tun vody, než se od tohoto upustilo z obav, že voda by mohla následně zaplavit první a druhý blok elektrárny. Od druhého do desátého dne po havárii bylo pomocí vrtulníků svrženo přibližně 5 000 tun boru, dolomitu, písku a olova na reaktor, ve snaze jej uhasit a zamezit dalšímu šíření radioaktivních částic. Později bylo zjištěno, že většina svrženého materiálu netrefila cíl (World Nuclear Association, 2022).

2.1.2 Následky havárie

Havárie v černobylské elektrárně byla největším nekontrolovaným únikem radiace v historii lidstva. Největší množství látek bylo vypuštěno v prvních pěti dnech následkem exploze reaktoru a jeho následným požárem. Většina rozptýleného materiálu dopadla v okolí elektrárny ve formě sutin a prachu, ale lehčí částice zanesl vítr nad území dnešní Ukrajiny, Běloruska, Ruska a zvýšená radioaktivita byla zaznamenána i ve Skandinávii.

V první den havárie obdrželo smrtelné dávky radiace celkem dvacet osm osob, z nich šest byli hasiči, kteří zasahovali při požáru na střeše turbínové haly. Hasiči, kteří byli přivoláni k požáru nevěděli o riziku radiace v místě zásahu a nebyli vybaveni ochrannými pomůckami, mnoho z nich obdrželo vysoké dávky radiace.

Město Pripjat', vzdálené pouze tři kilometry od elektrárny, bylo vybudováno za účelem ubytování zaměstnanců elektrárny a jejich rodin a mělo přibližně 45 000 obyvatel. Evakuace města byla zahájena až druhý den po havárii, tedy 27. dubna, a celkem 116 000 osob v okolí třiceti kilometrů od elektrárny bylo do 14. května přesídleno. Uzavřená zóna v okolí elektrárny původně čítala 2 800 kilometrů čtverečních, ale byla později rozšířena na 4 300 kilometrů čtverečních (World Nuclear Association, 2022).

Do konce roku 1986 byla okolo trosk čtvrtého reaktoru vybudována železobetonová konstrukce známá jako sarkofág, která měla za úkol chránit okolí od radioaktivní kontaminace a umožnit provoz zbývajících bloků elektrárny. Výroba elektřiny probíhala v Černobyli až do roku 2000, kdy byl odstaven poslední reaktor. Sarkofág byl však pouze dočasným řešením a po pádu Sovětského svazu se začaly rodit plány pro výstavbu nové ochranné konstrukce. Nový kryt Černobylské jaderné elektrárny byl dokončen v roce 2017 a jeho plánovaná životnost je 100 let (Borys, 2017).

2.2 Three Mile Island

Jaderná elektrárna Three Mile Island se nachází ve státě Pensylvánie ve Spojených státech amerických, poblíž východního pobřeží. Je umístěna na stejnojmenném ostrově, ležící uprostřed řeky Susquehanna, odkud čerpala chladicí vodu. V této dvou blokové elektrárně se používaly tlakovodní reaktory (Unwin, 2019).

2.2.1 Havárie

Havárie na druhém bloku elektrárny, která se odehrála dne 28. března 1979, započala již v brzkých ranních hodinách, kdy došlo k mechanické poruše na sekundárním chladicím okruhu a následnému odstavení parní turbíny. Zvyšující se teplota uvnitř primárního okruhu, nyní bez chlazení, způsobila nárůst tlaku důsledkem rychlejšího odpařování vody. Přibývajícím páru operátor pomocí ventilu upouštěl do zásobní nádrže chladiva, a tím snižoval tlak uvnitř primárního okruhu. Tlak však dále rostl a osm vteřin po odstavení turbíny se automaticky do aktivní zóny reaktoru naplno zasunuly regulační tyče a došlo k zastavení štěpné reakce.

Zasunutím regulačních tyčí se sice zastavila řízená štěpná reakce, ale reaktor dál produkoval zbytkové teplo z důvodu přirozeného rozpadu jader, ale bylo tedy nutné jej dále chladit. Porucha na ventilu opouštějícím přebytečný tlak ve formě páry způsobil, že ventil namísto uzavření po dosažení stanovené bezpečné hodnoty tlaku zůstal otevřený, i když obsluze na velině se jevil jako uzavřený, a proto na havárii se ztrátou chladiva nebyli schopní přes dvě hodiny reagovat. Poklesem tlaku začala voda v aktivní zóně reaktoru vřít a otevřený ventil bránil zvýšení tlaku, který by zabránil varu chladicí vody v primárním okruhu. Pokles tlaku spustil automatický systém nouzového vysokotlakého chlazení, který čerpal více chladiva do reaktoru, aby kompenzoval ztrátu tlaku. Nízký tlak však dále způsoboval var vody v reaktoru, který zvyšoval její hladinu, která následně spustila varování o vysoké hladině vody uvnitř reaktoru. Na toto varování operátoři chybně reagovali vypnutím systému

nouzového chlazení, v domněnku, že vody je v reaktoru dostatek a hrozí jeho přeplnění. Kontinuální odvod páry do barbotážní nádrže způsobil rupturu její membrány a kontaminovaná voda se rozlila do prostoru kontejnmentu, odkud byla následně odčerpána do vedlejší budovy, mimo kontejnment. Nechlazená voda se postupně nahrazovala rostoucím množstvím páry, která narušila činnost hlavního cirkulačního čerpadla a tím zastavila proudění chladiva uvnitř primárního okruhu, čím se dále zhoršilo chlazení aktivní zóny.

Nedostatek vody v systému odhalil horní část aktivní zóny, kde zirkoniové pokrytí palivových článků vlivem extrémně vysoké teploty začalo reagovat s párou v reaktoru za tvorby vodíku a dalšího tepla. Vlivem tepla se poškodily palivové peletky, které poté uvolnily radioaktivní izotopy do zbývající chladicí vody. V tu dobu vyhlásil Státní dozor pro radiační bezpečnost radiační poplach. Nově příchozí ranní směna si všimla přebytečného tlaku na výtoku od blokovacího ventilu a po více než dvou hodinách od začátku havárie byl zastaven únik chladiva z reaktoru. Následně byl opět spuštěn systém nouzového vysokotlakého chlazení a poprvé od začátku havárie začala teplota uvnitř reaktoru klesat.

Vodík vzniklý uvnitř reaktoru unikl otevřeným ventilem do kontejnmentu, kde se nahromadil a představoval značné riziko vzniku výbuchu. Díky absenci kyslíku uvnitř kontejnmentu nedošlo k výbuchu a vodík byl vypuštěn do atmosféry (Pell, 2019 nebo Vičar et al., 2020).

2.2.2 Následky havárie

Radiací byla kontaminována jedna budova, do které byla odčerpána voda z barbotážní nádrže poté, co se rozlila do prostoru kontejnmentu. Uniklá radiace však neměla dopad na zdraví osob v okolí elektrárny.

V průběhu havárie nařídil guvernér Pensylvánie evakuaci části obyvatelstva z okolí elektrárny, a to dětí a těhotných žen, ale davová panika spustila samovolnou evakuaci tisíce lidí. Mediální dopad havárie na obyvatelstvo byl obrovský a byl velkou ranou pro vývoj jaderné energetických zařízení ve Spojených státech. Od havárie v jaderné elektrárně Three Mile Island nebyla do roku 2012 schválena žádná výstavba jaderné elektrárny v USA. První blok jaderné elektrárny dodával elektřinu do sítě až do roku 2019, kdy byla výroba z ekonomických důvodů ukončena. Nyní je v likvidaci (Unwin, 2019).

3 VÝZNAMNÉ UDÁLOSTI V ČESKOSLOVENSKU A ČESKÉ REPUBLICICE

V moderní historii České republiky jsme se prozatím vyhnuli vážnějším potížím s bezpečností při provozu jaderných bloků. Události, které se odehrály v jaderných elektrárnách Dukovany a Temelín byly maximálně hodnoceny hodnotou 1 na mezinárodní stupnici INES, tedy jako anomálie v provozu. Provoz první jaderné elektrárny v Československu však s sebou nesl značné obtíže (Kratochvíl, 2021).

3.1 Jaslovské Bohunice

V roce 1958 byla zahájena výstavba první jaderné elektrárny poblíž obce Jaslovské Bohunice v okrese Trnava na Slovensku. Výstavba této elektrárny, známé pod označením Jaderná elektrárna Bohunice A1, byla dokončena v roce 1972. Ve stejné lokalitě byla v roce 1972 zahájena výstavba druhé elektrárny s označením V1 a v roce 1976 třetí elektrárny s označením V2. Tyto tři jaderné elektrárny spolu tvoří komplex pod jménem Jaderná elektrárna Jaslovské Bohunice.

Ve spolupráci se Sovětským svazem byl v Jaderné elektrárně Bohunice A1 vystavěn pouze jeden těžkovodní reaktor KS 150 s maximálním výkonem 150 MW, jehož provoz byl spuštěn v prosinci 1972. Tento typ reaktoru byl využíván ve vyspělých západních zemích a umožňuje použití přírodního a neobohaceného uranu. Mezi hlavní přednosti těžkovodního reaktoru patří snížená spotřeba neobohaceného paliva a tím i snížené náklady na jednotlivé palivové cykly. V rámci dohody o spolupráci se Sovětský svaz zavázal, že kromě vývoje a výstavby elektrárny se také podílí na výcviku obsluhy jaderné elektrárny a též bezplatně poskytne štěpný materiál do reaktoru.

Dvojice jaderných elektráren V1 a V2 byly postupně uvedeny do komerčního provozu v 80. letech 20. století, elektrárna V1 v roce 1980 (blok 1) a 1981 (blok 2) a elektrárna V2 v roce 1985 (blok 3 a 4). Obě tyto elektrárny sestávaly ze dvojice bloků s vodo-vodným energetickým reaktorem. Tento typ tlakovodního reaktoru, používaný v zemích bývalého východního bloku, používá jako palivo mírně obohacený uran a jako chladivo i moderátor je zde využívána lehká voda (Neumann, 2005).

3.1.1 První nehoda

První z vážných nehod v elektrárně A1 se odehrála 5. ledna 1976, při výměně palivového souboru uvnitř reaktoru. Při výměně palivové kazety došlo lidskou chybou k nesprávnému

uzamčení těsnící zátky, která se později tlakem chladicího plynu uvolnila a čerstvý palivový článek byl vymrštěn do prostoru reaktorového sálu. Jako chladicí plyn byl v tomto reaktoru použit oxid uhličitý, který následně z otevřeného palivového kanálu unikal do reaktorového sálu. Oxid uhličitý, který je těžší než vzduch, se usadil ve spodní části reaktorového sálu, kde udusil dva zaměstnance elektrárny, likvidátory jaderného odpadu.

Únik oxidu uhličitého do reaktorového sálu zastavila dvojice zaměstnanců elektrárny v ochranných oblecích a v dýchacích přístrojích, kteří pomocí navážecího stroje uzavřeli otevřený palivový kanál. Při této nehodě nedošlo k vážnému úniku radiace, jelikož palivový článek byl čerstvý, a tedy i málo radioaktivní (Mareš, 2019).

3.1.2 Druhá nehoda

Druhá nehoda již byla pro jadernou elektrárnu A1 osudnou. Nehoda se odehrála 23. února 1977 při výměně palivových článků, podobně jako tomu bylo při nehodě první. Uvnitř horní části čerstvého palivového článku si zaměstnanci všimli rozsypaných kuliček silikagelu, které pocházely z roztrženého sáčku používaného jako absorbátor vlhkosti při uskladnění palivových článků. Rozsypané kuličky následně zaměstnanci vymetli a článek byl umístěn do reaktoru. Svou nedbalostí však přehlédli několik kuliček silikagelu na distanční mřížce. Tlak chladicího plynu, který proudil z vrchu dolů, zatlačil kuličky do distanční mřížky a ucpal ji, čímž se znemožnilo proudění plynu palivovým článkem. Nechlazené palivové pruty se vlivem tepla ze štěpné reakce ihned roztavily a tavenina propálila kesonovou trubku reaktoru a došlo ke kontaminaci primárního okruhu. Elektrárna byla nejprve dočasně odstavena, ale později bylo z důvodu nového směřování na tlakovodní reaktory rozhodnuto o ukončení jejího provozu (Neumann, 2005).

4 DÍLČÍ ZÁVĚR

V teoretické části této bakalářské práce jsou představeny základní principy fungování jaderně energetických zařízení a také pohled na jejich hlavní výhody a nevýhody oproti ostatním energetickým zařízením.

V relativně krátké historii používání jaderných technologií jako zdroje energie pro výrobu elektřiny se odehrálo nespočet poruch a havárií, které obvykle měly zásadní dopad na život v okolí jaderné elektrárny. Zmíněná havárie v černobylské elektrárně je považována za největší jadernou havárii v historii. Tato havárie byla v době studené války interpretována západními státy jako příklad selhání sovětských technologií a bylo tvrzeno, že se obdobná havárie se na západních reaktorech odehrát nemůže. Havárie na Three Mile Island proto vyvolala ve Spojených státech amerických značný odpor společnosti a po několik desetiletí došlo k blokování všech snah o výstavbu nové jaderné elektrárny.

Častou příčinou vzniku havárií v jaderných zařízeních je lidský faktor. Chyby způsobené nedostatečně vycvičenou či zkušenu obsluhou byly důvodem vzniku havárií u obou těchto jaderných elektráren. Při obou haváriích hrály významnou roli také technické nedostatky, jejichž vliv byl znásoben řetězcem chyb obsluhy.

Lidský faktor byl také příčinou obou havárií v experimentální elektrárně A1 v Jaslovských Bohunicích, které nakonec zapříčinily i trvalé odstavení.

V následující části je popsána problematika havárie v jaderné elektrárně Fukušima Daiči, která společně s havárií v Černobylu byla hodnocena nejvyšším stupněm 7 na mezinárodní stupnici jaderných událostí.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 HAVÁRIE V ELEKTRÁRNĚ FUKUŠIMA DAIČI

Jaderná elektrárna Fukušima Daiči je jaderná elektrárna nacházející se v Japonsku, v prefektuře Fukušima. V elektrárně se nachází šest reaktorů s celkovým instalovaným výkonem přesahujícím 5 000 MW. Dodavatelé reaktorů byly japonské firmy Toshiba a Hitachi a americká firma General Electric, která také dodala první reaktor, jehož provoz byl spuštěn v roce 1970 (World Nuclear Association, 2023).

V elektrárně bylo v šedesátých a sedmdesátých letech dvacátého století vystavěno celkem šest reaktorů varného typu. Do skupiny lehkovodních reaktorů se řadí společně s reaktory tlakovodními, které jsou také chlazené a moderované demineralizovanou vodou. Na rozdíl od tlakovodního reaktoru ale dochází k varu vody uvnitř reaktorové nádoby a pára, která vzniká při varu, je z reaktorové nádoby odvedena přímo na turbínu. Po průchodu turbínou putuje pára do kondenzátoru, kde předá své přebytečné teplo chladicímu okruhu a zkondenzovaná voda je odčerpána zpět do reaktorové nádoby. Chladicí okruh s mořskou vodou poté získané teplo odvádí do moře. Ve varném reaktoru je také odlišné umístění regulačních tyčí, a to do spodní části reaktoru, jelikož v horní části je umístěn systém pro odvod páry na turbínu (Wagner, 2015).

Dne 11. 3. 2011 zasáhlo Japonské pobřeží zemětřesení o magnitudě 9, které následně vyvolalo ničivou vlnu tsunami, která mimo jiné zasáhla i elektrárnu Fukušima Daiči. Škoda způsobená vlnou tsunami vedla k obtížím s dostatečným dochlazováním odstavených reaktorů, což mělo za následek přehřátí paliva uvnitř několika reaktorů a tím i jejich zničení (Rafferty a Pletcher, 2023).

5.1 Zemětřesení a tsunami

Krátce před třetí hodinou odpoledne 11. 3. 2011 zasáhlo japonský ostrov Honshu zemětřesení o magnitudě 9, nejsilnější zemětřesení v historii Japonska. Zemětřesení mělo epicentrum jen několik desítek kilometrů od východního pobřeží ostrova a trvalo přibližně šest minut (Rafferty a Pletcher, 2023).

V době zemětřesení byla v provozu jen polovina ze šesti reaktorů, na reaktorech číslo 4, 5 a 6 probíhala pravidelná odstávka. Ihned po detekci zemětřesení bylo automaticky iniciováno nouzové odstavení zbývajících reaktorů, plným zasunutím všech regulačních tyčí do aktivní zóny. Reaktory číslo 1, 2 a 3 přestaly vyrábět elektřinu a elektrárna byla po zemětřesení odštěpena od vnějšího zdroje elektrické energie, která byla zapotřebí k dalšímu dochlazování nouzově odstavených reaktorů, společně s bazény pro chlazení

vyhořelého paliva z odstavených reaktorů 4, 5 a 6. Výrobu potřebné elektrické energie pro chladicí systémy zajišťovaly nouzové diesellové generátory, umístěné v suterénu reaktorových budov, které v tento okamžik bezproblémově plnily svou funkci.

Mnohonásobně vyšší škodu, než samotné zemětřesení způsobilo následné tsunami, které zemětřesení vyvolalo. Tsunami se z epicentra zemětřesení šířilo všemi směry Tichým oceánem, s největším zaznamenaným dopadem na nedalekém východním pobřeží japonského ostrova Honshu, kde způsobilo škodu a ztráty na životech více než deset kilometrů do vnitrozemí (Podzemná, 2014).

V 15:27 úspěšně odrazil vlnolam první vlnu tsunami o výšce pouhých čtyř metrů, která se blížila k elektrárně. V 15:35 však přišla druhá patnácti metrová vlna, na kterou již šestimetrový vlnolam nebyl dimenzovaný. Voda pronikla do sklepních prostor, kde vyřadila z provozu záložní diesellové generátory zajišťující elektřinu pro provoz elektrárny, včetně té potřebné pro provoz velínů a vodních čerpadel pro dochlazování reaktorů. Jediný diesellový generátor, určený pro 6. blok, zůstal v provozu z důvodu jeho umístění venku, mimo sklepní prostory. Kromě škody na záložních zdrojích elektrárny poškodila či odplavila vlna také těžkou techniku, diesellové nádrže a automobily z prostoru elektrárny, čímž znesnadnila pohyb zatarasením cest. Voda, společně se zemětřesením, také způsobila značné poškození povrchu silnic uvnitř i vně areálu elektrárny.

Výpadek záložního zdroje elektřiny, společně s poškozeným elektrickým vedením vně elektrárny, způsobil nefunkčnost monitorovacích zařízení. Doprava náhradních zařízení pro zajištění nouzového chlazení a elektřiny byla ztížena nejen poškozenou telekomunikační sítí, ale i nesjízdností silnic pro dopravu diesellových generátorů, které byly příliš těžké pro přesun vrtulníky. Pro obnovení dodávek elektřiny bylo také nutné rozvedení velkého množství kabeláže namísto vodou poškozených elektrických rozvodů. Tuto činnost však komplikovala nedostupnost těžké techniky, kterou tsunami poškodilo či odplavilo (Wagner, 2015).

5.2 Snahy o ochlazení paliva

Nejvážnější se situace jevila být u reaktorů 1, 2 a 3, kde se snižovala hladina vody uvnitř reaktoru vlivem rozpadového tepla. Voda se postupně zahřívala a přeměňovala v páru, čímž hrozilo obnažení palivových článků a jejich následné přehřátí. Situace u reaktorů 5 a 6 byla díky probíhající odstávce a funkčnímu diesel generátoru přívětivější, jelikož byl schopný zajistit chlazení obou těchto odstavených reaktorů současně. Z reaktoru 4 bylo během pravidelné odstávky palivo vyjmuto a bylo tedy v době havárie umístěno v chladicím bazénu

uvnitř reaktorové budovy. V průběhu havárie byl zaznamenán nárůst teploty vody v chladicím bazénu o desítky stupňů celsia, ale situace nebyla nijak kritická.

K zamezení obnažení palivových článků bylo zapotřebí do reaktorů načerpat více vody, která se vlivem tepla odpařovala a klesala její hladina. Čerpání vody však bránil tlak páry uvnitř reaktorů, který byl mnohem vyšší než tlak vody, který pro tento postup zvolené hasičské vozy byly schopné vyvinout. Bylo tedy nutné přistoupit ke snížení tlaku vypuštěním části páry z reaktorů.

Samotné havarijní vypouštění páry komplikovala absence elektřiny, pomocí které lze z velína havarijní ventily ovládat. Ventily je proto nutné otevřít manuálně, s čím se ale při budování elektrárny nepočítalo a na tuto činnost neexistovaly návody. Jelikož pára, kterou se chystali operátoři vypustit z reaktorů obsahovala radioaktivní látky, bylo nutné před přijetím tohoto kroku evakuovat obyvatelstvo z okolí elektrárny.

Krátce před půlnocí prvního dne havárie byl pomocí dovezených generátorů opět zprovozněn systém pro odečítání tlaku na prvním bloku. Hodnota tlaku dvojnásobně převyšovala maximální projektované hodnoty a bylo rozhodnuto, že je nutné přistoupit k vypouštění páry. Před šestou hodinou ranní bylo zahájeno čerpání vody pomocí hasičského vozu do aktivní zóny reaktoru, přibližně patnáct hodin od přerušení provozu chladicího systému. Zásoba užitkové vody pro chlazení reaktoru byla za daných podmínek značně omezená a probíhaly přípravy pro její nahrazení vodou mořskou, která by ale vedla k definitivnímu zničení reaktorů vlivem koroze. Mořskou vodu bylo zapotřebí dopravit pomocí hadic nejprve do hasičských vozů a poté do reaktoru. V 15:30 explodoval vodík opouštějící kontejnment v reaktorové budově prvního bloku a zničil tím její horní část. Padající trosky poškodily budované provizorní vedení elektřiny a mořské vody, což vedlo k opoždění její dodávky a ke vzniku prodlevy, při které již nebyla k dispozici voda k chlazení reaktoru (World Nuclear Association, 2023).

Bloky 2 a 3 byly na rozdíl od bloku 1 vybaveny dalším nouzovým systémem chlazení, který v případě odpojení od elektrického proudu umožnil cirkulaci kondenzované vody pomocí vznikající páry uvnitř reaktoru. Tento systém zajišťoval chlazení bloku 3 až do brzkých ranních hodin 13. 3. 2011, kdy byl vypnut za účelem pokusu o vstříkávání vody do reaktoru pomocí hasičských vozů. Po neúspěšném pokusu se nepodařilo systém znovu spustit a 3. blok byl nyní bez chlazení. S nárůstem teploty se zvýšil i tlak a za účelem zahájení chlazení pomocí hasičských vozů bylo proto přistoupeno k upuštění páry, obdobně jako v případě 1. bloku. Po vyčerpání zásob užitkové vody se i zde přistoupilo k použití vody z moře. Den poté, nastala v 11:01 vodíková exploze, které poškodila reaktorovou budovu

a opět ochromila záchranné práce. Záložní systém chlazení 2. bloku zůstal v provozu až do třetího dne po havárii, kdy bylo nutné také přistoupit k uvolnění páry a dodávkám slané vody pomocí hasičských vozů.

15. 3. 2011 došlo k vodíkové explozi v reaktorové budově 4. bloku. Jako příčinu v době exploze považovali zaměstnanci únik vodíku z chladicího bazénu vyhořelého paliva, což by znamenalo další potíže. Tento předpoklad se však nenaplnil, jelikož exploze byla způsobena vodíkem z bloku 3, který pomocí společného ventilačního systému proniknul do reaktorové budovy 4. bloku (Wagner, 2015).

5.3 Přehřátí palivových článků

Hlavním cílem pro pracovníky elektrárny ve dnech po zemětřesení a tsunami bylo zajistit dostatečné dochlazení odstavených reaktorů. Jak bylo již popsáno, rozsáhlá škoda, kterou napáchalo zemětřesení a následné tsunami tyto snahy značně komplikovalo. Na blocích 5 a 6 se úspěšně zabránilo přehřátí palivových článků díky funkčnímu dieslovému generátoru, který zajistil potřebnou elektřinu pro pohon čerpadel. Problémy s chlazením se však značně projevíly na prvních třech reaktorech (Wagner, 2015).

Reaktor 1 byl prvním, ve kterém klesla hladina vody natolik, že došlo k odhalení aktivní zóny a poškození palivových článků vlivem jejich přehřátí. Také slitina zirkonu, která tvoří povlak palivových článků, reagovala s párou uvnitř reaktoru za tvorby vodíku, který následně způsobil explozi v reaktorové budově. Vlivem odhalení paliva se také značně zvýšila radioaktivita v budově. K začátku tavení paliva došlo dle odhadů již mezi čtyřmi a sedmi hodinami po úderu tsunami. Roztavené palivové články společně s ostatními částmi reaktoru vytvořily taveninu označovanou jako korium, která se propálila skrz reaktorovou nádobu a dopadla na betonovou podlahu kontejnmentu, která další postup korie zastavila (World Nuclear Association, 2023).

Obdobná situace nastala v následujících dnech i na blocích 2 a 3, kde se ale palivo roztavilo v menší míře než na bloku 1, který byl bez chlazení nejdéle. Vzniklé korium dopadlo na dno reaktorových nádob, skrz které si propálilo cestu, než bylo zastaveno betonovými podlahami kontejnmentů. Během havárie se bez chlazení ocitl také chladicí bazén pro vyhořelé palivo, ve kterém byly umístěné vyvezené palivové články ze 4. reaktoru. Teplota vody v tomto bazénu stoupla jen o pár desítek stupňů celsia, a i přes vodíkovou explozi v reaktorové budově nedošlo k poškození těchto palivových článků.

Po komplexních opravách na čerpadlech mořské vody a obnově poškozeného potrubí chladicího systému se 15. 3. 2011 dosáhlo studeného odstavení všech reaktorů. Teplota

uvnitř reaktorů byla nižší než 100 °C a reaktory už dále nepředstavovaly hrozbu (United Nations Publications, 2014).

6 NÁSLEDKY HAVÁRIE

Následky havárie ve Fukušimské jaderné elektrárně měly vážný dopad na obyvatelstvo žijící v okolí elektrárny, životní prostředí, ale také na vnímání bezpečnosti jaderné energetiky ve společnosti. Uniklá radiace vzbudila starosti o jejím dopadu na lidské zdraví nejen v Japonsku, ale také v Evropě a Spojených státech amerických, kde byly také naměřené zvýšené hodnoty radiace ve vzduchu. Od havárie stále probíhají snahy o omezení jejího dopadu na životní prostředí, ale důležitým faktorem stále zůstává naložení s kontaminovanou vodou, která byla použita při chlazení reaktorů v průběhu havárie (Rafferty a Pletcher, 2023).

6.1 Evakuace obyvatel

Evakuace obyvatel z okolí elektrárny nastala okolo deváté hodiny večer prvního dne havárie, kdy již bylo zřejmé riziko, které představoval 1. blok elektrárny. Původní příkaz k evakuaci zahrnoval území do vzdálenosti dvou kilometrů od elektrárny, který byl ale krátce poté rozšířen na kilometry tři. V ranních hodinách druhého dne, tedy 12. 3. 2011, byla evakuační zóna rozšířena na vzdálenost deset kilometrů a poté večer na dvacet kilometrů. Před samotným zahájením vypouštění radioaktivní páry z 1. bloku tak byla ukončena evakuace obyvatel ve vzdálenosti do tří kilometrů od elektrárny.

Postupné rozšiřování evakuační zóny doprovázel zmatek, který byl způsoben tím, že část evakuovaných osob bylo nutné přesunout opakovaně z důvodu prvotní evakuace do míst, které bylo o několik hodin později zařízení také opustit. Příkladem nedostatků při evakuaci bylo také zdravotnické zařízení pro dlouhodobě nemocné, které bylo evakuováno pomocí autobusů bez náležitého zabezpečení zdravotnickým personálem. Z osmi set pacientů předčasně zemřelo šedesát z nich, z důvodu ztráty intenzivní péče, kterou tito pacienti vyžadovali.

Dne 15. 3. 2011 byla oficiálně ukončena evakuace všech osob ve vzdálenosti do dvaceti kilometrů od elektrárny. Ta část obyvatel, která byla evakuována až po zahájení vypouštění radioaktivní páry do ovzduší, byla podrobena kontrole na přítomnost radionuklidů a v případě potřeby dekontaminována. Dekontaminaci osob však doprovázely potíže spojené s nedostatkem vody a stále chladným počasím v polovině března (Wagner, 2015).

6.2 Uvolnění radiace

Množství radiace uvolněné při havárii ve Fukušimě, druhé největší havárii jaderně energetického zařízení, se odhaduje na pouhých 10 % hodnot uvolněných při havárii v Černobyli. Rozsah kontaminovaného území je ve srovnání s Černobyli také mizivě a dosahuje hodnoty pouhých 6 % zasaženého území po havárii z roku 1986. Dle maximálních odhadů stanovených po havárii ve Fukušimě, uniklo mimo elektrárnu celkem 940 PBq radiace, nejvíce zastoupené radioizotopy jódu 131 a cesia 137 (World Nuclear Association, 2021).

Rozsah kontaminace byl značně ovlivněn povětrnostními podmínkami v úvodních dnech a týdnech po havárii, které způsobily, že přibližně čtyři pětiny radioaktivního spadu zasáhlo moře a pouze zbylá pětina dopadla na pevninu. Radioaktivní spad byl větrem zanesen v severozápadním směru od elektrárny, kde kontaminoval území do vzdálenosti přibližně třiceti pěti kilometrů. Evakuační oblast se proto v tomto směru rozšířila až na čtyřicet kilometrů od elektrárny (United Nations Publications, 2014).

Kontaminace po havárii ve Fukušimě také způsobila zvýšené hladiny radiace u potravin a pitné vody v okolí elektrárny. Zvýšené hodnoty jódu 131 byly naměřené i v hlavním městě Japonska, Tokiu, které je od elektrárny vzdálené přes dvě stě kilometrů. Zvýšené hodnoty nedosáhly limitu stanoveného pro bezpečné využití pitné vody dospělými, ale na dva dny překročily limit stanovený pro kojence. V prefekturách blíže k elektrárně a v samotné Fukušimě byla radioaktivní kontaminace pitné vody závažnější. Pro kojence byl obsah jódu 131 ve vodě nepřijatelný dlouhodobě, zatímco limit pro dospělé byl překročen po dobu několika dní. S výjimkou prefektury Fukušima, byla k 31. 3. 2011 odvolána veškerá omezení pro použití pitné vody. Také u potravin bylo nutné přijmout řadu opatření k minimalizaci konzumace kontaminovaných potravin včetně zákazu jejich vývozu ze zasažené oblasti. Obavy o závažném vnitřním ozáření osob alimentární cestou se díky stanoveným opatřením nenaplnily. Radioaktivita způsobena rozpadem jódu 131 rychle klesala již v prvních týdnech po havárii, z důvodu jeho relativně krátkého osmidenního poločasu rozpadu. Hlavním zdrojem radioaktivity v dlouhodobém měřítku je tak uvolněné cesium 137, které má poločas rozpadu přibližně třicet let (World Nuclear Association, 2023 nebo Princ a Vičar, 2023).

Několik týdnů po havárii se přesunul zájem na izotop cesium 137 a jeho schopnost pronikat do potravinového řetězce. Velké množství potravin včetně rýže, masa, mléka a hub procházelo striktními kontrolami na přítomnost nadlimitního množství radiace. Se zajištěním potřebných měření se mohli pěstitelé a chovatelé spolehnout na výpomoc

místních úřadů, které současně nabízely součinnost při likvidaci kontaminovaných potravin. Za znehodnocené potraviny byli pěstitelé a chovatelé odškodněni firmou TEPCO. Vlivem dovozu potravin do zasažených oblastí z ostatních prefektur nebyla potravinová bezpečnost obyvatel Japonska významně ohrožena.

Měření provedeném v prosinci 2011 na téměř dvou tisících evakuovaných obyvatel japonskou vládou bylo zjištěno, že dvě třetiny osob obdržely dávku radiace v mezinárodně stanoveném limitu 1 mSv/r. 98 % osob obdrželo dávku do 5 mSv/r a pouhých deset osob obdrželo dávku vyšší, než je 10 mSv/r. V současné době je vlivem radiace obdržené po havárii ve Fukušimě přisuzováno pouze jedno úmrtí (World Nuclear Association, 2021).

7 LIKVIDACE NÁSLEDKŮ HAVÁRIE

Po opadnutí hlavní krize bylo na čase začít s nápravou škod napáchaných při havárii. Hlavním cílem bylo snížení množství kontaminace v zasažených oblastech pro zajištění bezpečného návratu evakuovaných osob do svých obydlí. Osud samotné elektrárny byl zpečetěn již v průběhu března 2011, kdy bylo rozhodnuto o jejím odstavení a následné likvidaci (World Nuclear Association, 2023).

7.1 Dekontaminace zasažených oblastí

Pro účely organizace dekontaminace byly v průběhu jarních měsíců zasažené oblasti roztrženy do tří kategorií, podle roční efektivní dávky radiace daného místa. Do I. kategorie byla zařazena místa, kde maximální roční efektivní dávka nepřekračovala hranici 20 mSv. Oblasti zařazené do této kategorie byly v rámci provádění obnovovacích prací prioritními za účelem co nejrychlejšího návratu obyvatel. Cílem bylo snížit roční efektivní dávku pod 1 mSv s hlavním zaměřením na místa, kde je zvýšený výskyt dětí.

Do II. kategorie byla zařazena místa, kde se roční efektivní dávka pohybovala mezi 20 a 50 mSv. Návrat do těchto zón byl do snížení kontaminace na úroveň, která by vedla ke snížení roční efektivní dávky radiace na úroveň pod 20 mSv, nemožná. Cílem oblastí této kategorie bylo dosáhnout této hranice do dvou let.

Do poslední III. kategorie se zařadila ta místa, kde naměřené hodnoty roční efektivní dávky radiace byly vyšší než 50 mSv. Oblasti zařazené do této kategorie vyžadují velkou míru úsilí ke snížení množství kontaminace a jsou dlouhodobě neobyvatelné. Evakuovaným osobám z těchto míst nabídla vláda kompenzaci ve formě odkupu nemovitého majetku (Wagner, 2015).

Do likvidačních prací se kromě příslušníků bezpečnostních složek a státních zaměstnanců zapojilo velké množství dobrovolníků. Dobrovolníci, často pocházející z řad obyvatel zasažených oblastí, si uvědomovali rozsah potřebných dekontaminačních prací a v zájmu co nejdřívejšího návratu do svých původních sídel, neváhali přiložit ruku k dílu. Dobrovolníci se často podíleli na manuálních pracích jako je například odstraňování radioaktivního materiálu z budov zdravotnických zařízení a škol, nebo odstraňování vegetace a silně kontaminované horní vrstvy zeminy. Úsilí dobrovolníků bylo finančně podporováno ze strany státu, který také zajistil potřebné ochranné prostředky a osobní dozimetry (Fujita, 2011).

7.2 Likvidace elektrárny Fukušima Daiči

Velkou mediální pozornost si vyžádala situace týkající se velkého množství kontaminované vody, která byla použita pro chlazení reaktorů v průběhu havárie. Část této vody také vznikla kontaminací vody zanesené při tsunami nebo průsakem podzemních vod, které zaplavily prostory elektrárny. Pro potřeby dekontaminace vody bylo proto v prostoru elektrárny vystavěno zařízení pro zpracování této vody odstraněním radionuklidů a velký počet nádrží pro skladování částečně dekontaminované vody. Zdlouhavým a nákladným procesem dekontaminace je možné odstranit veškeré radionuklidy až na tritium. Tritium jako radioaktivní izotop vodíku, není možné chemicky oddělit, jelikož je součástí samotné molekuly vody.

Počátkem roku 2023 bylo firmou TEPCO oznámeno, že v průběhu tohoto roku bude zahájeno vypouštění očištěné vody z elektrárny do moře, nyní se souhlasem představitelů místních rybářských svazů. Firmě TEPCO se podařilo v průběhu let přesvědčit tyto představitele a mezinárodní komunitu o přívětivosti tohoto řešení jako prevence nežádoucích úniků kontaminované vody z prostoru elektrárny do moře, které měly významnější psychologický dopad na spotřebitele místní rybářské produkce. Dle stanoviska Japonské vlády nebude mít postupné vypouštění ošetřené vody z elektrárny vliv na mořský život ani lidské zdraví (McCurry, 2023).

Další likvidační práce v prostoru elektrárny zahrnovaly odstranění a bezpečné uložení jaderného paliva z reaktorů a chladicích bazénů, odklizení trosk poškozených budov a samotná demontáž veškerých zařízení v elektrárně, včetně samotných reaktorů. Před vývozem z prostoru elektrárny musel být jakýkoliv materiál řádně dekontaminován, aby se zabránilo dalšímu šíření kontaminace a umožnilo se další zpracování těchto materiálů, jako je například kovový šrot a další druhotné suroviny.

Procesy likvidace elektrárny jsou zajišťovány firmou TEPCO jako vlastníkem zařízení, za přizvání odpovídajících odborníků z celého světa. K omezení vlivů na zdraví dekontaminačních pracovníků vystavením radiaci se ve velké míře uplatňují robotické technologie. Roboti se v prostorách elektrárny uplatňují při několika různých činnostech od průzkumu po samotnou dekontaminaci obrušováním povrchů a nanášením absorpčních vrstev.

Další významný problém, se kterým se japonské úřady potýkají, je vznik trvalého uložení pro kontaminovaný odpad z likvidačních prací prováděných v zasažených oblastech a samotné elektrárně. Doba trvání procesu likvidace jaderné elektrárny Fukušima Daiči

se odhaduje na několik desetiletí a některá silně kontaminovaná místa v okolí elektrárny bez započatých likvidačních prací by nemusela být obyvatelná až do počátku následujícího století (Saito, 2015).

8 KVANTITATIVNÍ VÝZKUM

Pro svou výzkumnou část zvolil autor bakalářské práce metodu kvantitativního výzkumu, formou vyhodnocení dat získaných dotazníkovým šetřením. Metoda dotazníkového šetření byla zvolena z důvodu možnosti shromáždění většího množství dat v krátkém časovém úseku.

8.1 Metodika výzkumu

Za účelem získání dat vytvořil autor práce dotazník o rozsahu dvaceti uzavřených otázek s možností výběru pouze jedné odpovědi. Cílem dotazníkového šetření bylo získání poznatků o názorech a informovanosti dotazovaných týkající se bezpečnosti jaderně energetických zařízení. V úvodu dotazníku byl respondentům krátce představen autor a jeho studijní obor. Respondentům bylo také sděleno, že dotazník je anonymní a jeho výsledky slouží pro účel vypracování bakalářské práce autora.

Dotazník byl zpracován pomocí aplikací Google Forms a Microsoft Excel a pro sběr dat byl distribuován výhradně elektronickou formou prostřednictvím sociální sítě Facebook. Výběr dotazovaných z řad obyvatel České republiky byl náhodný a konečný počet respondentů čítal 174.

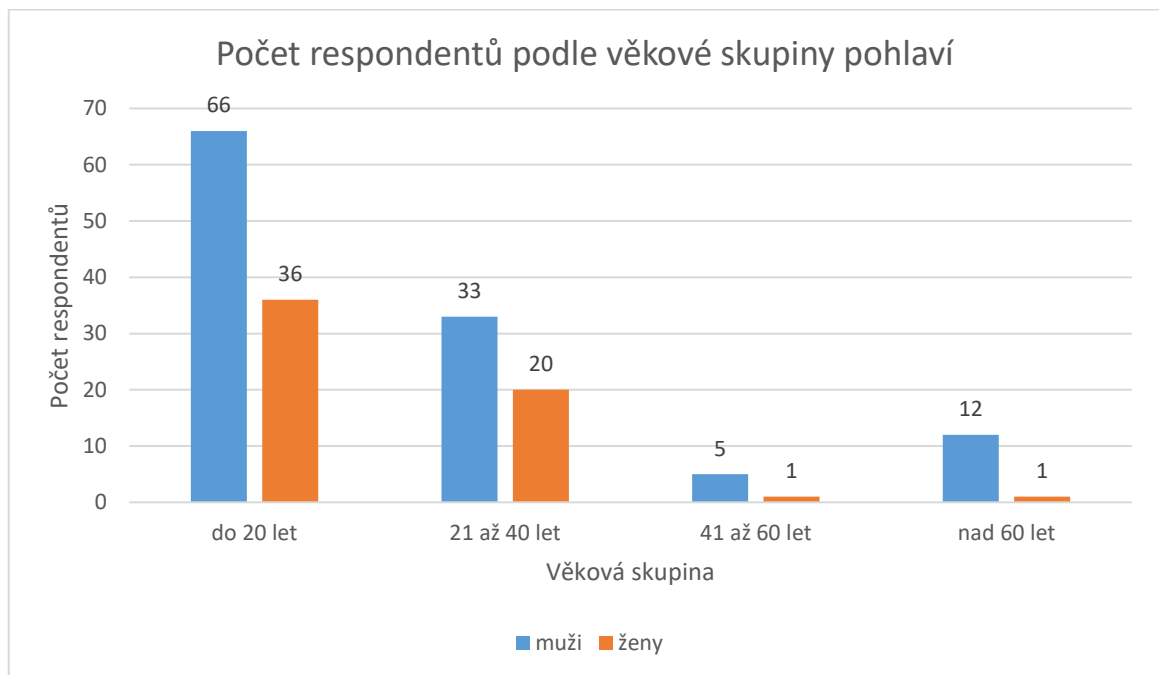
Pro dotazníkové šetření byly zvolené následující uzavřené otázky:

1. Jaké je Vaše pohlaví?
2. Do jaké věkové kategorie se řadíte?
3. Jaký je Váš nejvyšší dosažený stupeň vzdělání?
4. V jaké vzdálenosti je Vaše bydliště od nejbližší jaderné elektrárny?
5. Víte, jak funguje jaderná elektrárna?
6. Považujete jadernou energetiku za bezpečnou?
7. Jste pro další rozvoj jaderné energetiky v ČR?
8. Vadila by Vám výstavba nové jaderné elektrárny poblíž Vašeho bydliště?
(do 20 km)
9. Vadila by Vám výstavba jiné elektrárny poblíž Vašeho bydliště? (do 20 km)
10. Upřednostnil/a byste raději výstavbu jaderné nebo uhelné elektrárny poblíž Vašeho bydliště? (do 20 km)
11. Je podle Vás výroba elektřiny z jádra šetrnější k životnímu prostředí, než výroba z fosilních paliv?

12. Obdrží podle Vás osoba žijící v okolí jaderné elektrárny vyšší dávku radiace, než je průměr v ČR?
13. Znáte havárii, která se odehrála v černobylské elektrárně?
14. Znáte havárii, která se odehrála ve fukušimské elektrárně?
15. Která z těchto havárií, měla podle Vás větší dopad na člověka a životní prostředí?
16. Máte obavy z toho, že by se v ČR mohla odehrát podobná havárie jako v Černobylu nebo Fukušimě?
17. Víte, jak postupovat v případě radiační havárie?
18. Myslíte si, že je osvěta o bezpečnosti jaderné energetiky dostatečná?
19. Jaká je podle Vás nejčastější příčina havárií v jaderné elektrárně?
20. Co je podle Vás hlavní zdroj ozáření obyvatel ČR?

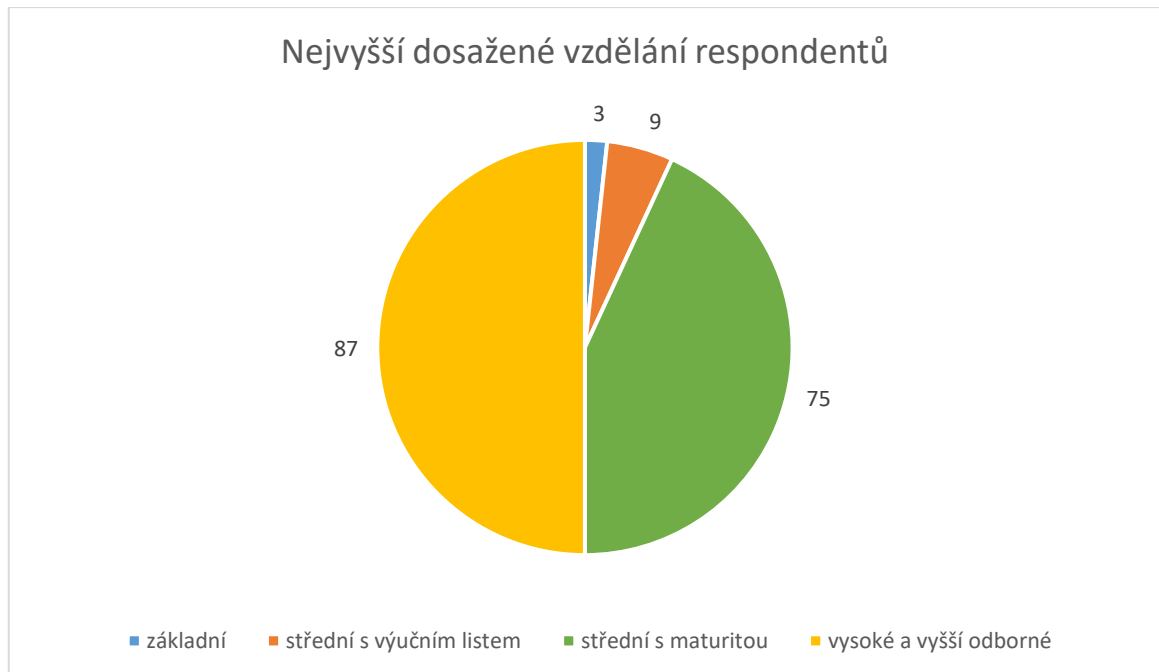
8.2 Výsledky výzkumu

Graf 1 Počet respondentů podle věkové skupiny a pohlaví



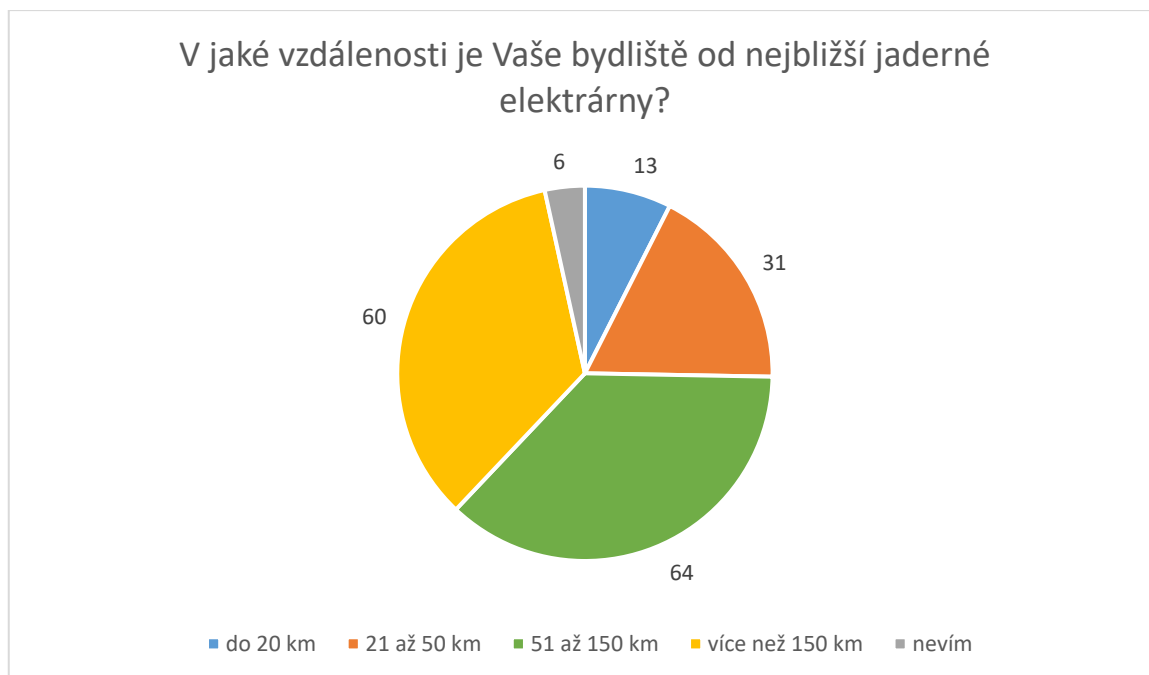
První tři otázky měly za cíl zjistit základní informace o respondentech jako je jejich pohlaví, věku a úrovni vzdělání. Z celkového počtu 174 respondentů tvořili muži dvě třetiny, zbylou třetinu tvořily ženy. Nejvíce zastoupenou věkovou skupinou byla skupina v rozmezí 21 až 40 let, která se sestávala ze 102 respondentů. Další významně přispívající věkovou skupinou byla ta v rozmezí 41 až 60 let, celkem 53 respondentů šetření. Menšinové zastoupení měla skupina respondentů ve věku nad 60 let, celkem 13 vyplněných dotazníků, a skupina do 20 let věku, kterou tvořilo jen 6 respondentů.

Graf 2 Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů



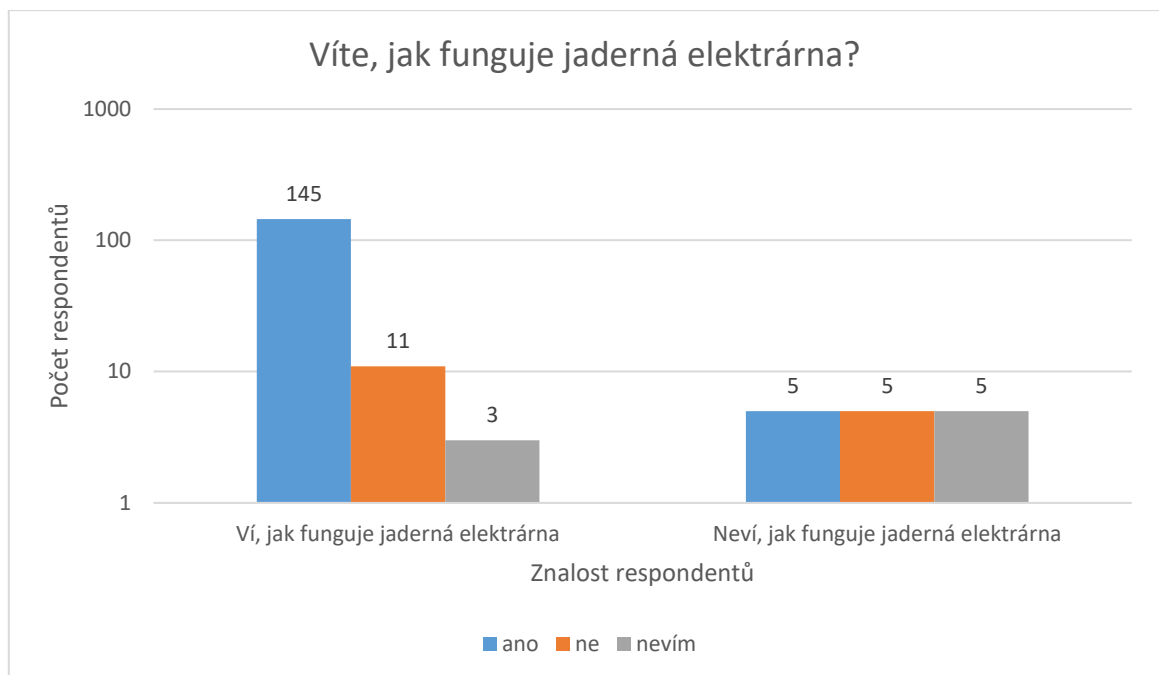
Z grafu 2 vyplývá vysoké zastoupení respondentů z řad osob s dosaženým vysokým a vyšším odborným vzděláním, kteří tvoří přesnou polovinu všech respondentů. Další významnou skupinu tvoří osoby se středním vzděláním s maturitou, které zastupují 43 % celku. Respondenti, jejichž nejvyšší dosažené vzdělání je základní či střední s výučním listem mají jen velice malé zastoupení v rámci šetření, dohromady pouze 12 osob neboli necelých 7 %.

Graf 3 V jaké vzdálenosti je Vaše bydliště od nejbližší jaderné elektrárny?



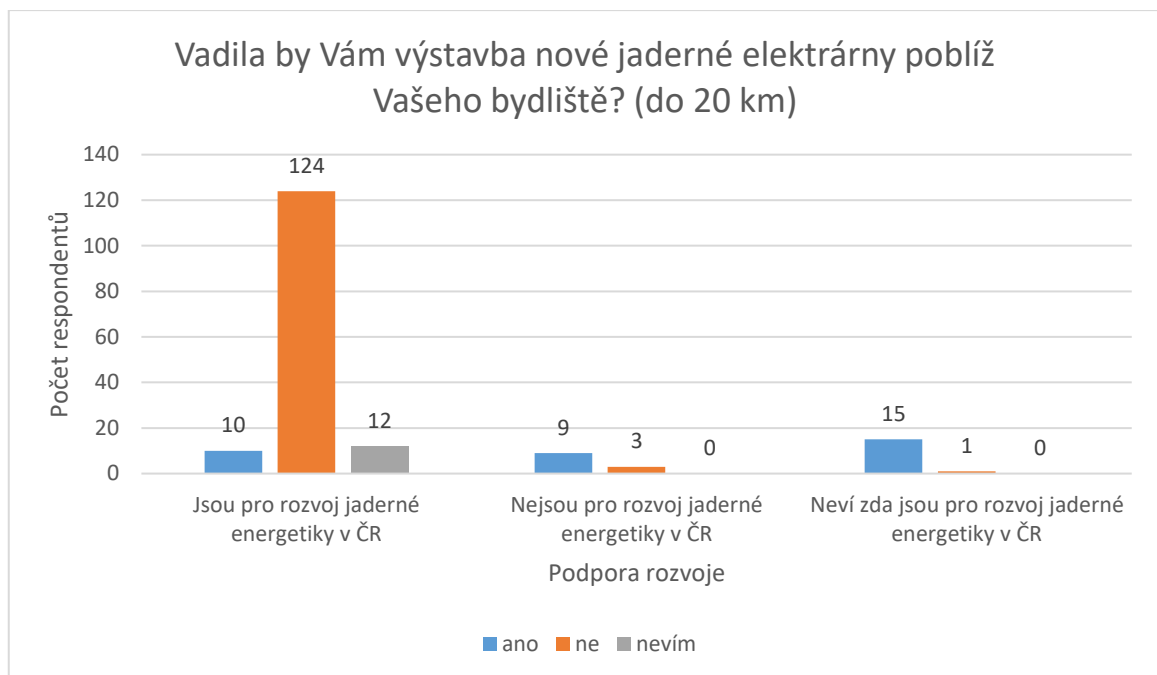
Graf 3 znázorňuje vzdálenost bydliště respondentů od nejbližší jaderné elektrárny, tedy od Jaderné elektrárny Temelín nebo jaderné elektrárny Dukovany. 3 % respondentů uvedlo, že tuto vzdálenost nevědí. Ve vzdálenosti do 20 km od jaderné elektrárny (poloměr oblasti vnějšího havarijního plánování jaderné elektrárny Dukovany) má bydliště 7 % respondentů. 18 % respondentů uvedlo, že mají bydliště v rozmezí od 21 do 50 km od jaderné elektrárny, což je oblast, ve které se vyskytuje i druhé největší město České republiky, Brno. Ve vzdálenosti 51 až 150 km od elektrárny (oblast zahrnující i hlavní město Prahu) má bydliště 37 % respondentů. 35 % účastníků výzkumu uvádí, že mají bydliště ve vzdálenosti větší než 150 km.

Graf 4 Víte, jak funguje jaderná elektrárna?



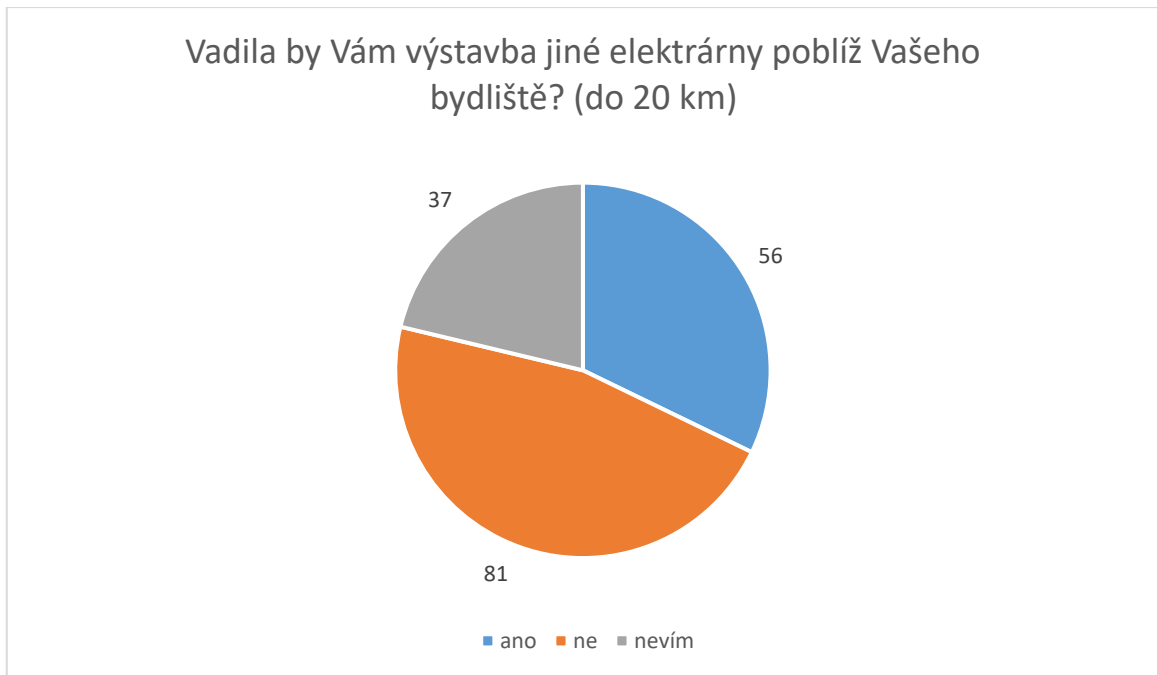
91 % respondentů z celkových 174 o sobě uvedlo, že ví, jak funguje jaderná elektrárna. Z těchto 159 respondentů jich 91 % odpovědělo, že považují jadernou energetiku za bezpečnou, 7 % z nich ji nepovažují za bezpečnou a 2 % nevědí. Z 9 % respondentů, kteří nevědí, jak funguje jaderná elektrárna, jich třetina odpověděla, že považují jadernou energetiku za bezpečnou, třetina, že nikoliv a třetina uvedla, že neví.

Graf 5 Vadila by Vám výstavba nové jaderné elektrárny poblíž Vašeho bydliště? (do 20 km)



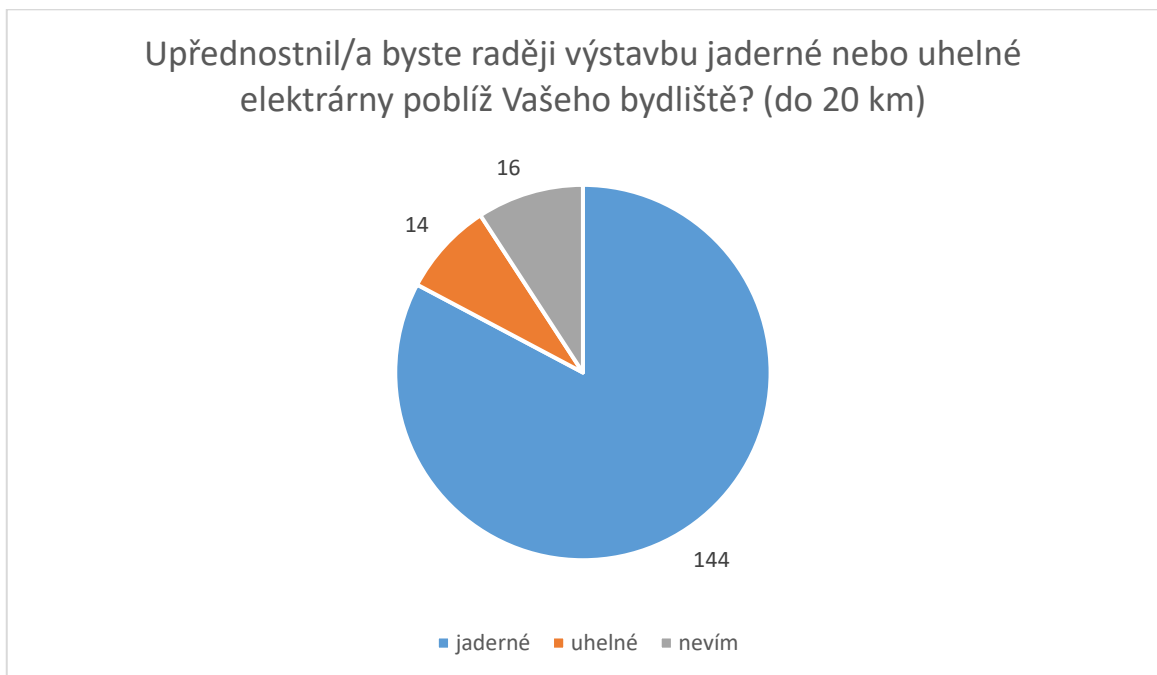
V grafu 5 můžeme vidět silnou korelaci mezi počtem respondentů, jež podporují rozvoj jaderné energetiky v ČR a vysokým procentem (85 %) z nich, kterým by nevadila výstavba nové jaderné elektrárny v okolí jejich bydliště. Pouze 7 % by výstavba vadila a 8 % těchto respondentů neví, zda by jim výstavba vadila. 7 % respondentů uvedlo, že nepodporují rozvoj jaderné energetiky v ČR a třem čtvrtinám těchto osob by výstavba jaderné elektrárny v okolí bydliště vadila. Jedné čtvrtině by výstavba v okolí bydliště nevadila. 94 % osob, které odpověděli, že neví, zda podporují rozvoj by vadila výstavba elektrárny a 6 % by výstavba v okolí bydliště nevadila.

Graf 6 Vadila by Vám výstavba jiné elektrárny poblíž Vašeho bydliště? (do 20 km)



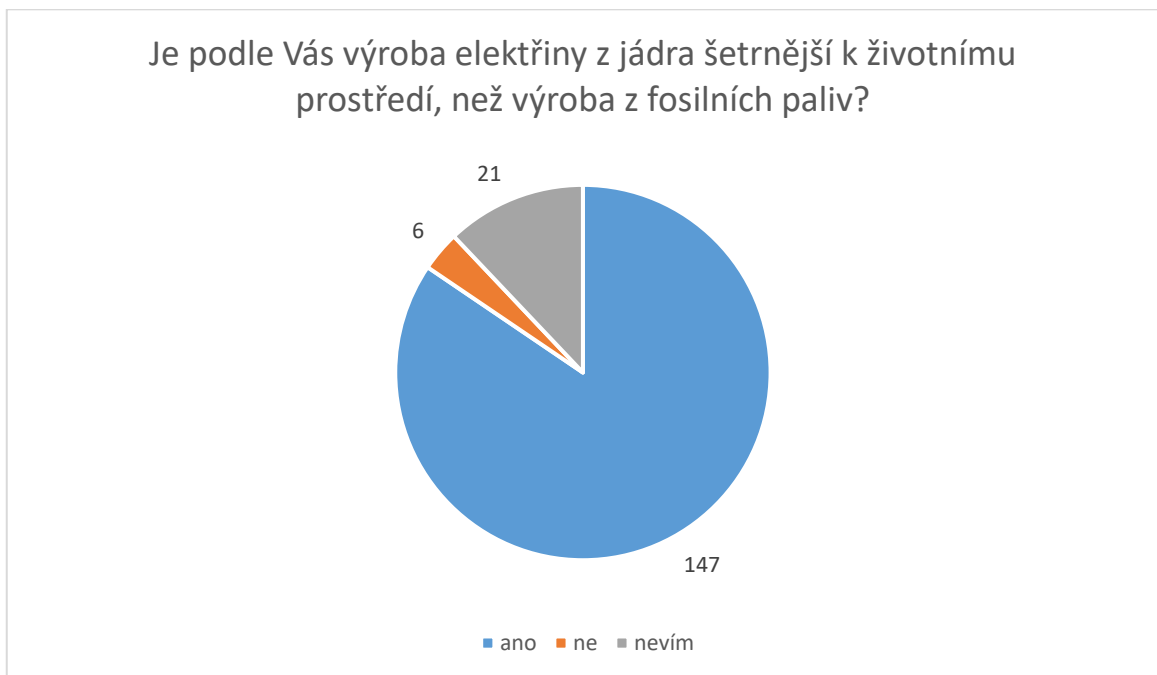
Z grafu 6 můžeme vyčíst, že výstavba jiné elektrárny, než jaderné poblíž bydliště by vadila 32 % respondentů, což je nárůst přibližně o třetinu oproti celkovému množství respondentů, kteří odporují výstavbu jaderné elektrárny v blízkosti bydliště. 47 % respondentů uvedlo, že výstavba jiné elektrárny by jim nevadila a 21 % uvedlo, že neví, zda by jim vadila poblíž bydliště.

Graf 7 Upřednostnil/a byste raději výstavbu jaderné nebo uhelné elektrárny poblíž Vašeho bydliště? (do 20 km)



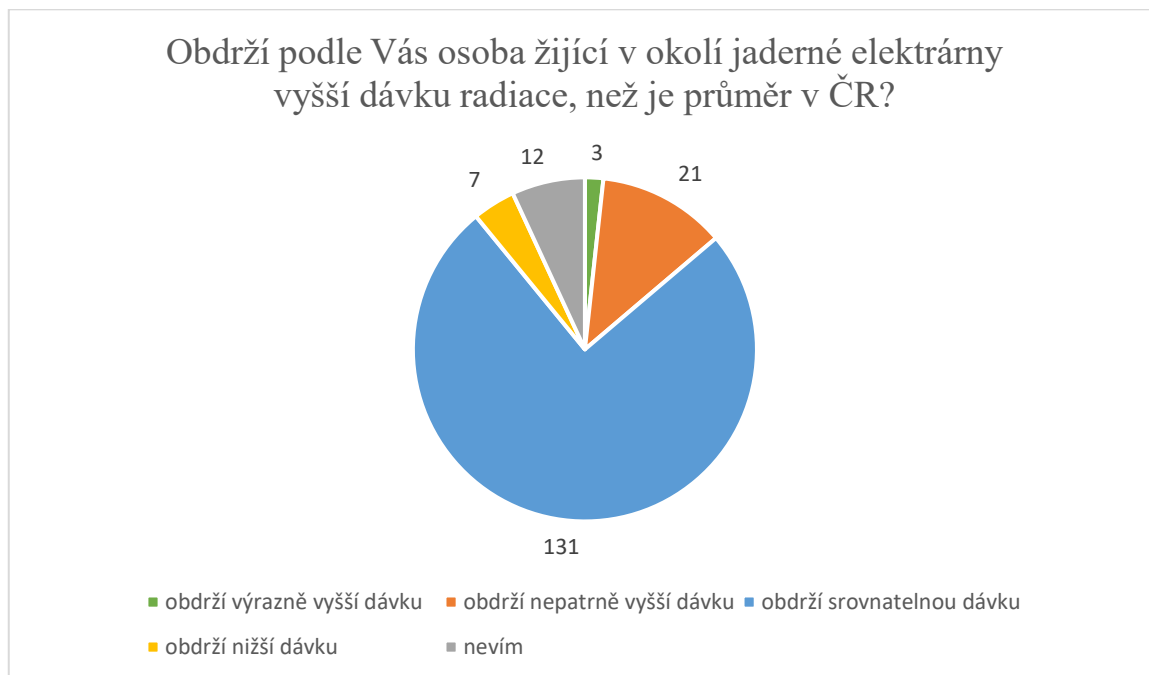
V grafu 7 můžeme vidět, že 83 % respondentů odpovědělo, že by upřednostnili výstavbu jaderné elektrárny poblíž svého bydliště. 8 % respondentů by upřednostnilo výstavbu elektrárny uhelné a 9 % respondentů neví, kterou z těchto elektráren by poblíž svého bydliště upřednostnilo.

Graf 8 Je podle Vás výroba elektřiny z jádra šetrnější k životnímu prostředí, než výroba z fosilních paliv?



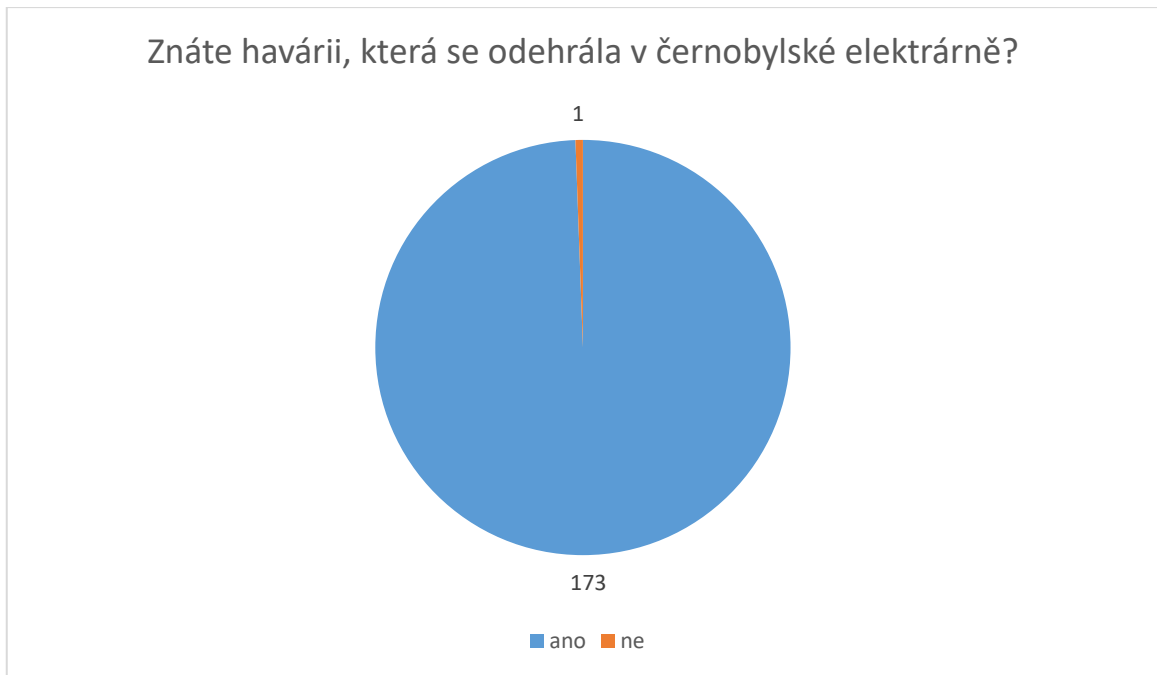
Graf 8 znázorňuje, odpovědi na otázku, zda je podle respondentů výroba elektřiny z jádra šetrnější k životnímu prostředí než výroba z fosilních paliv. 84 % respondentů uvedlo, že ano, 3 % uvedly, že nikoliv a 12 % respondentů neví.

Graf 9 Obdrží podle Vás osoba žijící v okolí jaderné elektrárny vyšší dávku radiace, než je průměr v ČR?



Z grafu 9 můžeme vyčíst, že 75 % respondentů si myslí, že obyvatelé okolí jaderných elektráren neobdrží vyšší dávku radiace, než je průměrná hodnota v ČR. 12 % se domnívá, že tito obyvatelé obdrží nepatrně vyšší dávku radiace a 2 % si myslí, že obdrží výrazně vyšší dávku, než je průměr. 4 % respondentů uvedlo, že osoby v okolí jaderné elektrárny obdrží menší dávku, než je průměr a 7 % odpovědělo, že neví. Osoby žijící v okolí jaderných elektráren obdrží srovnatelnou dávku radiace ve srovnání s průměrem ČR.

Graf 10 Znáte havárii, která se odehrála v černobylské elektrárně?



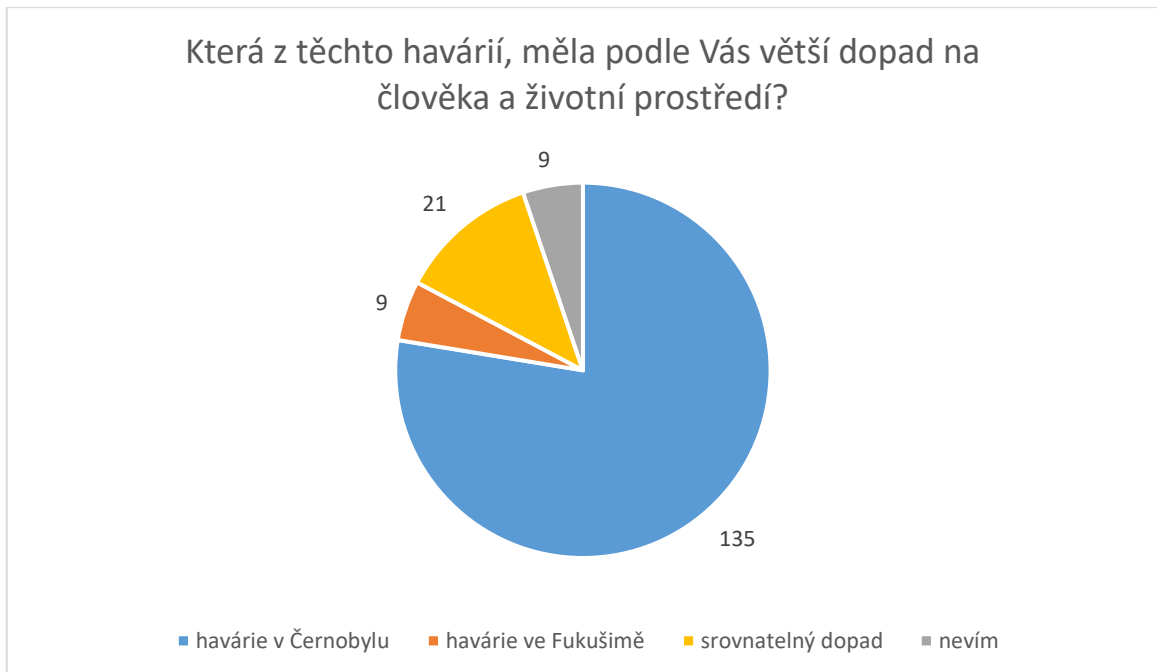
V grafu 10 můžeme vidět, že 99 % respondentů zná havárii, co se odehrála v černobylské elektrárně. Pouze 1 % respondentů odpovědělo, že nezná tuto havárii.

Graf 11 Znáte havárii, která se odehrála ve fukušimské elektrárně?



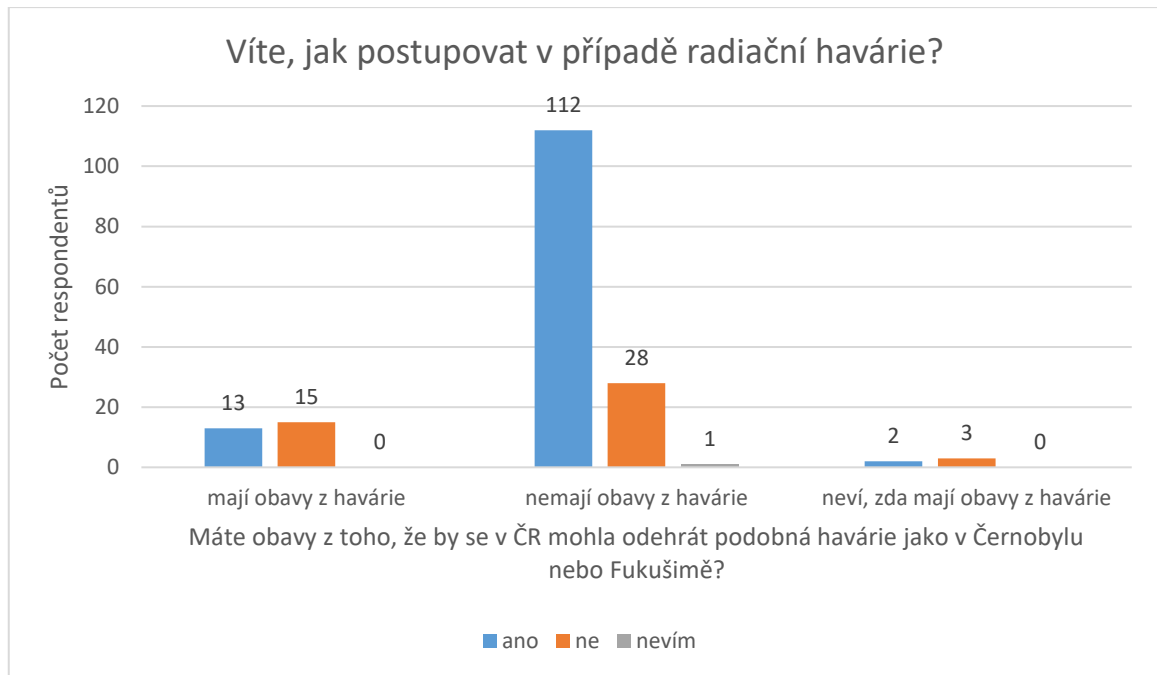
Z grafu 11 můžeme vyčíst, že 96 % respondentů zná havárii, co se odehrála ve Fukušimě. 4 % respondentů uvedly, že neznají tuto havárii.

Graf 12 Která z těchto havárií, měla podle Vás větší dopad na člověka a životní prostředí?



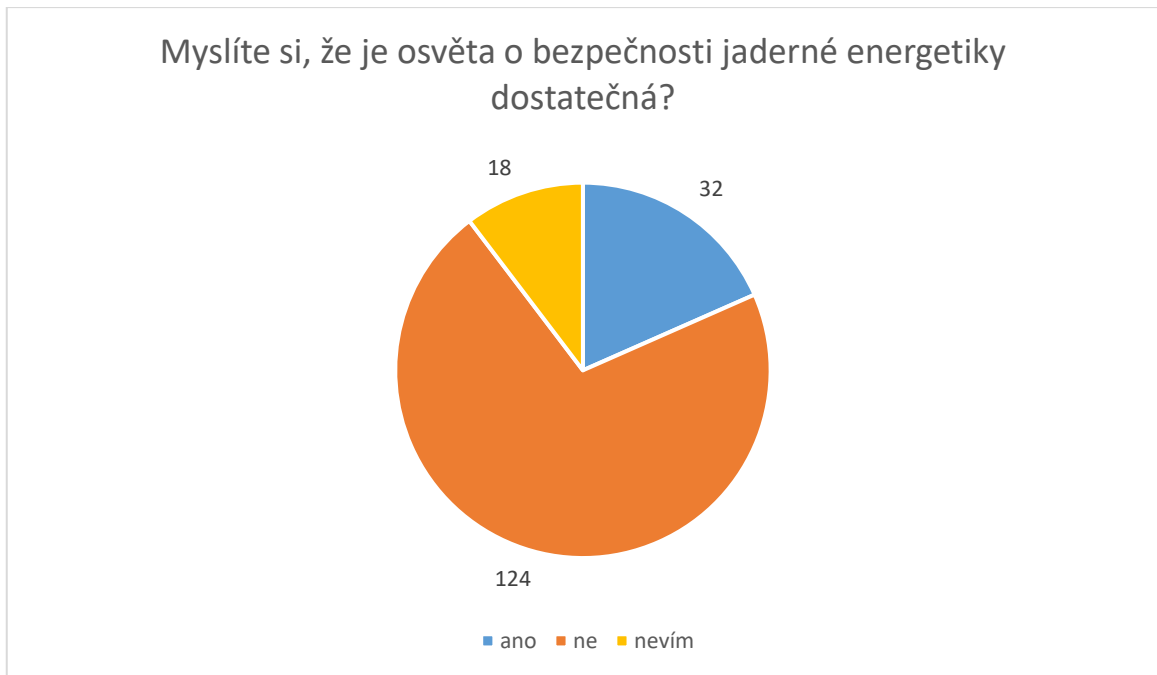
V grafu 12 jsou znázorněné odpovědi na otázku, která z těchto dvou havárií měla podle respondentů větší dopad na životní prostředí. Celkem 78 % respondentů odpovědělo, že větší dopad na životní prostředí měla podle nich havárie v Černobylu a 5 % uvedlo, že podle nich měla větší dopad havárie ve Fukušimě. 12 % dotazovaných odpovědělo, že dopad těchto dvou havárií je podle nich srovnatelný a 5 % procent uvedlo, že neví.

Graf 13 Víte, jak postupovat v případě radiální havárie?



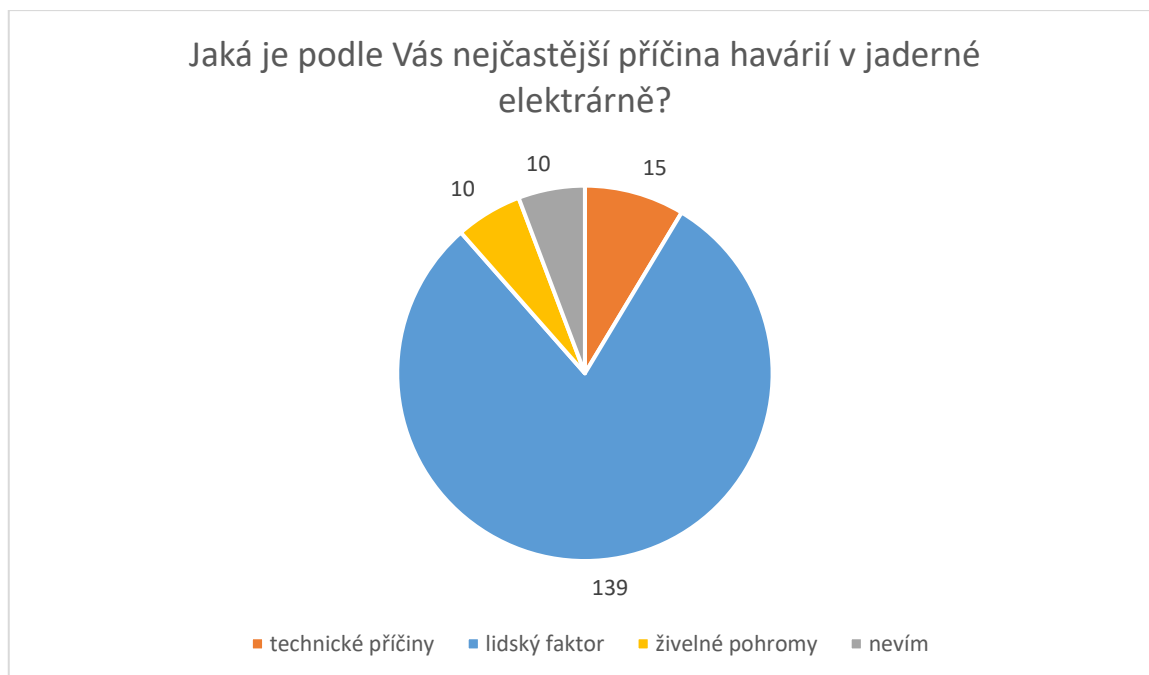
V grafu 13 je znázorněn vztah mezi odpověďmi respondentů na otázku, zda mají obavy ze vzniku obdobné havárie v ČR a tím, zda si myslí, že ví, jak postupovat v případě radiální havárie. Z celkových 174 respondentů jich 81 % uvedlo, že nemají obavy ze vzniku obdobné havárie v ČR. 79 % z těchto respondentů uvedlo, že ví, jak postupovat v případě vzniku radiální havárie. Výrazně méně z těchto respondentů uvedlo, že neví, jak postupovat v případě havárie a 1 % odpovědělo, že neví. Z celkového počtu respondentů jich 16 % odpovědělo, že mají obavy ze vzniku obdobné havárie jako ve Fukušimě či Černobylu. Z těchto 16 % jich 46 % uvedlo, že ví, jak postupovat v případě havárie a 54 % uvedlo, že neví, jak postupovat. Z celkového počtu 174 respondentů jich 1 % odpovědělo, že neví, zda mají obavy z obdobné havárie v ČR. Z těchto respondentů jich ale 40 % uvedlo, že by vědělo, jak postupovat a 60 % že by nevědělo.

Graf 14 Myslíte si, že je osvěta o bezpečnosti jaderné energetiky dostatečná?



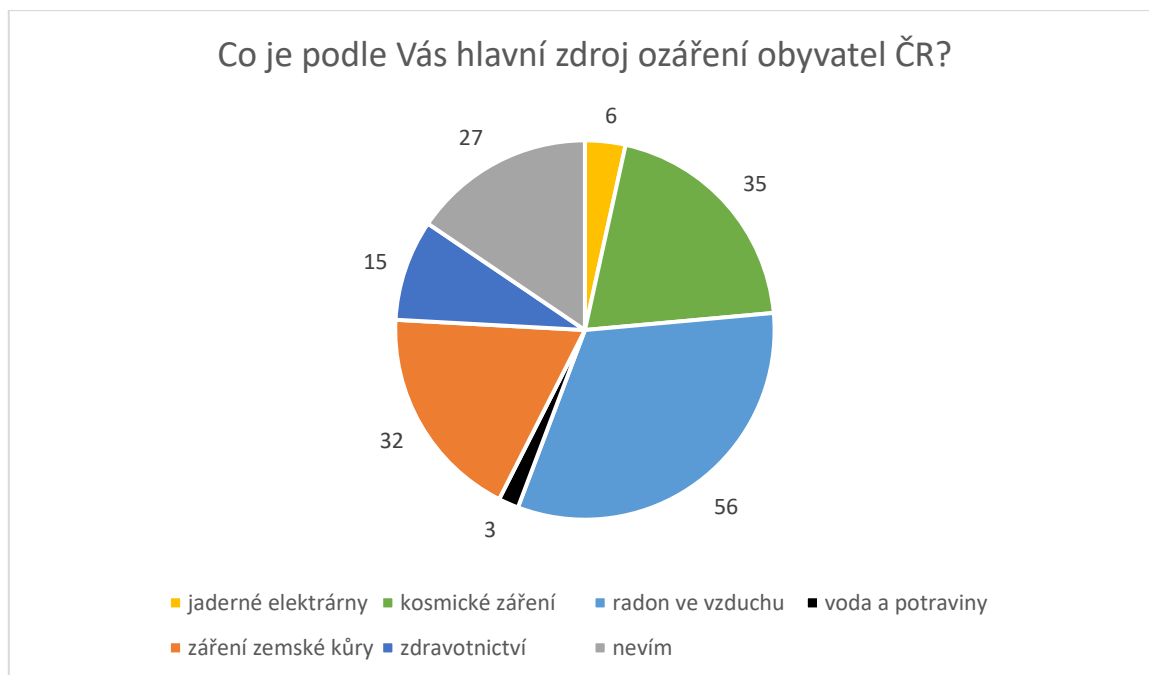
Z grafu 14 můžeme vyčíst odpovědi respondentů na otázku ohledně osvěty týkající bezpečnosti jaderné energetiky. 71 % respondentů odpovědělo, že osvěta je v této oblasti nedostatečná. 19 % respondentů si myslí, že osvěta je dostatečná a 10 % uvedlo, že neví, zda je osvěta o bezpečnosti jaderné energetiky dostatečná.

Graf 15 Jaká je podle Vás nejčastější příčina havárií v jaderné elektrárně?



Graf 15 znázorňuje odpovědi respondentů na nejčastější příčinu havárií v jaderné elektrárně. Z celkového počtu respondentů jich 80 % uvedlo, že je podle nich nejčastější příčina lidský faktor. Technické příčiny jako nejčastější zdroj vzniku havárie uvedlo 8 % respondentů a odpověď živelné pohromy označilo 6 % z nich. Zbývajících 6 % dotazovaných uvedlo, že neví.

Graf 16 Co je podle Vás hlavní zdroj ozáření obyvatel ČR?



V grafu 16 jsou vyobrazeny odpovědi respondentů na otázku ohledně hlavního zdroje ozáření v ČR. Téměř třetina respondentů (32 %) uvedla, že je podle nich hlavní zdroj záření radon ve vzduchu. Druhou nejčastější odpověď kosmické záření zvolilo 20 % respondentů a 18 % zvolilo možnost záření zemské kůry. 9 % dotazovaných se domnívá, že hlavní zdroj ozáření pochází z oblasti zdravotnictví a pouhé 4 % uvedly, že hlavním zdrojem jsou jaderné elektrárny. Jen 2 % respondentů zvolilo odpověď voda a potraviny a celkem 15 % dotazovaných osob uvedlo, že neví, co by mohlo být hlavním zdrojem ozáření obyvatel ČR. Hlavním zdrojem ozáření obyvatel ČR je radon ve vzduchu.

8.3 Diskuse

Tato část bakalářské práce je zaměřená na shrnutí výsledků dotazníkového šetření, které při tvorbě této práce bylo použito. Cílem výzkumu bylo zjistit, jaký postoj mají obyvatelé České republiky k bezpečnosti jaderné energetiky. Dotazníkovým šetřením byla získána data od celkem 174 respondentů výzkumu. Sběr dat probíhal napříč věkovými skupinami u obou pohlaví, u osob s různým stupněm vzdělání. Největší zastoupení ve výzkumu měli muži ve věku 21 až 40 let, kteří tvořili 59 % respondentů. Z celkového počtu 174 respondentů jich 93 % uvedlo, že dosáhli minimálně středního vzdělání s maturitou. Z dotazovaných osob jich 91 % uvedlo, že vědí, jak funguje jaderná elektrárna. Toto vysoké procento osob je pravděpodobně způsobené vysokým zastoupením respondentů z řad absolventů středoškolských oborů s maturitou, vyšších odborných a vysokých škol. Celkem 86 % osob uvedlo, že považují jadernou energetiku za bezpečnou a přibližně stejný počet osob kladně odpověděl za otázku, zda podporují rozvoj jaderné energetiky v ČR, která v současnosti tvoří přibližně dvě pětiny českého energetického mixu, s dalšími plány na výstavbu jaderných zdrojů. 74 % respondentů odpovědělo, že by jim nevadila výstavba elektrárny v okolí 20 km od jejich bydliště, což by znamenalo zařazení jejich bydliště do vnější zóny havarijního plánování nově vzniklé jaderné elektrárny. Jedné pětině dotazovaných osob by však výstavba poblíž jejich bydliště vadila. Většimu množství osob (32 %) by však vadila výstavba jiné elektrárny než jaderné v jejich okolí a tuto myšlenku podporuje jen 47 % dotazovaných. U této otázky výrazně stoupl i počet osob co odpověděli, že neví, zda by takovou výstavbu podpořilo.

V otázce zkoumající vliv výroby elektřiny z jaderných zdrojů na životní prostředí ve srovnání s výrobou elektřiny z fosilních paliv odpovědělo 85 % respondentů, že považují jádro za šetrnější zdroj. Pouhé 3 % respondentů uvedlo, že považují fosilní paliva za šetrnější zdroj energie zatímco 12 % dotazovaných uvedlo, že neví, který z těchto zdrojů je podle nich šetrnější k životnímu prostředí. Tato data silně korelují i s volbou respondentů v otázce, zda by poblíž svého bydliště upřednostnili výstavbu jaderné nebo uhelné elektrárny, kde 83 % uvedlo, že by upřednostnili výstavbu jaderné elektrárny. Poblíž svého bydliště by uhelnou elektrárnu upřednostnilo jen 8 % respondentů a 9 % by nevědělo, kterou z těchto dvou možností by upřednostnili. 87 % respondentů se domnívá, že osoby žijící v okolí elektrárny obdrží stejnou nebo nepatrně vyšší dávku radiace, než je průměr v České republice. 4 % respondentů uvedlo, že si myslí, že osoby žijící v okolí elektrárny obdrží nižší dávku radiace, než je průměr zatímco 2 % uvedlo, že si myslí že obdrží výrazně vyšší dávku radiace. Celkem

7 % respondentů uvedlo, že neví, jakou dávku radiace podle nich obdrží osoba žijící v okolí elektrárny.

Z dvojice otázek ohledně informovanosti osob o haváriích v jaderných elektrárnách v Černobylu a Fukušimě vyplývá, že tyto události zaznamenala převážná většina osob. V případě Fukušimy uvedla 4 % respondentů, že havárii neznají, zatímco u černobylské havárie to bylo pouhé 1 %. Jelikož znalost obou těchto havárií je podle respondentů téměř dokonalá, mohli respondenti bez potíží vyhodnotit následující otázku, která se dotazovala na to, která z těchto dvou havárií měla větší dopad na člověka a životní prostředí. 78 % procent respondentů uvedlo, že havárie v Černobylu měla závažnější dopad, zatímco pouhých 5 % uvedlo, že to podle nich byla havárie ve Fukušimě. 12 % dotazovaných osob uvedla, že dopady obou havárií jsou dle jejich názoru srovnatelné a 5 % jich uvedlo, že neví, která z těchto havárií měla větší dopad. Následující otázka, která také vycházela ze znalosti dvojice jaderných havárií v Černobylu a Fukušimě se dotazovala na to, zda mají respondenti obavy ze vzniku podobné havárie i v jedné z českých jaderných elektrárn. Na tuto otázku odpovědělo ano 81 % dotazovaných a 16 % jich uvedlo, že takové obavy mají. 3 % respondentů uvedlo, že neví, zda takové obavy mají. Na otázku, zda respondenti ví, jak postupovat v případě vzniku radiační havárie jich 73 % uvedlo, že ano, kdežto 26 % jich uvedlo, že ne. 1 % dotazovaných osob uvedlo, že nevědí, zda ví, jak postupovat v případě vzniku radiační havárie. Přibližně polovina z respondentů, která uvedla, že mají obavy ze vzniku radiační havárie v ČR, dle svého názoru ví, jak při ní postupovat.

Lidský faktor vnímá jako nejčastější příčinu havárií v jaderných elektrárnách 80 % dotazovaných, zatímco technické příčiny jako hlavní příčinu vnímá jen 8 % z nich. 6 % respondentů uvedlo, že jako hlavní příčinu vnímá živelné pohromy a zbývajících 6 % uvedlo, že neví, která z těchto příčin je nejčastější.

Z celkového vzorku si 71 % dotazovaných myslí, že osvěta v oblasti bezpečnosti jaderné energetiky je nedostatečná, kdežto 19 % osob si myslí, že je osvěta v této oblasti dostačující. Poslední otázka měla za cíl zjistit, co považují dotazované osoby za hlavní zdroj ozáření v České republice. Největší část dotazovaných zvolila možnost radonu ve vzduchu (32 %), který se dostává do těla osob dýcháním a způsobuje vnitřní ozáření. Podobné množství osob uvedlo jako hlavní zdroj ozáření kosmické záření (20 %) a záření zemské kůry (18 %). 9 % respondentů se domnívá, že hlavní zdroj ozáření pochází z oblasti zdravotnictví. Velmi malé množství dotazovaných (4 %) uvedlo, že jsou dle nich hlavním zdrojem jaderné elektrárny a možnost vody a potravin jako hlavního zdroje zvolilo jen 2 % dotazovaných.

Celkem 15 % respondentů uvedlo, že neví, který z těchto zdrojů je hlavní zdroj ozáření osob v ČR.

Z výsledků výzkumu vyplývá, že respondenti mají pozitivní postoj k jaderné energetice a jejímu uplatnění v České republice. Respondenti také mají povědomí o dvojici nejzávažnějších havárií v oblasti jaderné energetiky, ale čtvrtina z nich neví, jak by postupovala v případě obdobné havárie v České republice. Osvěta v oblasti bezpečnosti jaderné energetiky je podle respondentů nedostatečná.

Za účelem snížení nedostatečné míry osvěty veřejnosti o problematice bezpečnosti jaderné energetiky vyplývající z provedeného výzkumu navrhuje autor následující:

- Zařadit problematiku bezpečnosti jaderné energetiky do dalších relevantních předmětů základního a středního vzdělávání. Mimo předmětu fyzika by se mohlo jednat například o předmět výchova ke zdraví či o zařazení této problematiky jako tzv. průřezového tématu, který by bylo možné pojmout formou přednášek, exkurzí či projektů.
- Informační centra jaderných elektráren rozšířit do více frekventovaných míst, než jsou samotné jaderné elektrárny. Rozšíření informačních center do velkých měst jako je například Praha a Brno by přispělo k dostupnosti těchto míst veřejnosti.
- Pravidelně provádět řízené prohlídky prostorů jaderných elektráren pro veřejnost, s přihlédnutím na bezpečnost provozu, zaměstnanců a navštěvujících osob.
- Vysílat televizní kampaně zaměřené na poskytování informací o aktuálním stavu jaderných elektráren v České republice společně s informacemi o jejich vlivu na člověka a životní prostředí. Informovat veřejnost pomocí těchto kampaní o postupu při vzniku havárie za účelem ochrany jejich života a zdraví.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo objasnit havárii v jaderné elektrárně Fukušima Daiči, která se odehrála v odpoledních hodinách dne 11. 3. 2011 a řadí se mezi nejvážnější havárie v historii jaderné energetiky. Společně s havárií v černobylské jaderné elektrárně jsou jediné dvě události, které byly ohodnoceny nejvyšším sedmým stupněm na mezinárodní stupnici jaderných událostí jako velmi těžké havárie.

Bakalářská práce se ve své teoretické části věnovala uvedení do problematiky fungování jaderné energetických zařízení včetně jejich bezpečnosti a vlivu na životní prostředí. Dále se teoretická část zabývá významnými událostmi v historii jaderné energetiky ve světě, bývalém Československu a současné České republice.

Ve své praktické části se bakalářská práce věnuje samotné elektrárně Fukušima Daiči na japonském ostrově Honšú. V počátku se věnuje příčinám havárie a jejímu průběhu v prvních dnech a hodinách, které měly zásadní vliv na míru napáchané škody. Dále se praktická část věnuje následkům havárie vniklé při úniku radioaktivního materiálu z prostoru elektrárny a popisuje průběh evakuace obyvatel z postupně se rozšiřujících evakuačních zón. V neposlední řadě popisuje problematiku dekontaminace a obnově zasažených míst a likvidaci samotné elektrárny. Součástí praktické části je také kvantitativní výzkum provedený na obyvatelích České republiky. Výzkum byl proveden pomocí dotazníkového šetření s cílem zjistit, jaký postoj mají obyvatelé České republiky bezpečnosti jaderných elektráren.

Při zpracování bakalářské práce dospěl autor k závěru, že obyvatelé České republiky mají pozitivní postoj k provozování jaderné energetických zařízení v České republice a jejímu rozvoji. Osvěta v oblasti bezpečnosti jaderné energetiky je však nedostatečná a autor proto navrhuje větší zaměření na informovanost obyvatel tuto problematiku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- BORYS, Christian, 2017. A vast new tomb for the most dangerous waste in the world. BBC Future [online]. [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/future/article/20170101-a-new-tomb-for-the-most-dangerous-disaster-site-in-the-world>
- FRÝBORT, Jan, Lenka HERALTOVÁ a Milan ŠTEFÁNIK, 2013. Úvod do reaktorové fyziky: teorie a cvičení. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05322-5.
- FUJITA, Akiko, 2011. Volunteers Take on Dangerous Job of Scrubbing Nuke Contamination: Schools and playgrounds first targets at the edge of no-go zone. ABC news [online]. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://abcnews.go.com/International/japan-decontamination-begins-nuclear-plant/story?id=14288242>
- HORE-LACY, Ian, 2006. Nuclear energy in the 21st century: the World Nuclear University primer. London: World Nuclear University Press. ISBN 978-0123736222.
- Jaderná elektrárna Dukovany, 2020. Svět Energie: Vzdělávací portál ČEZ [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny/jaderne-elektrarny-cez/jaderna-elektrarna-dukovany>
- KOMRSKA, Jan, 2022. Simulace vzniku a šíření taveniny při těžkých haváriích jaderných reaktorů. Praha. Diplomová práce. České Vysoké učení technické v Praze.
- KRATOCHVÍL, Martin, 2021. Jaderné nehody v Česku: došlo k nim, naštěstí byly jen banální. Deník.cz [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://www.denik.cz/z_domova/jaderne-nehody-cesko-historie-20210311.html
- LIU, Chien, 2022. Three Mile Island: The Nuclear Disaster at Three Mile Island [online]. [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://u.osu.edu/engr2367nuclearpower/three-mile-island/>
- MAREŠ, Jaroslav, 2019. Utajené jaderné havárie v Jaslovských Bohunicích, kousek od českých hranic. Seznam Zprávy [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/utajene-jaderne-havarie-v-jaslovskych-bohunicich-kousek-od-ceskych-hranic-83937>
- MCCURRY, Justin, 2023. Fukushima: Japan insists release of 1.3m tonnes of 'treated' water is safe. The Guardian [online]. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/environment/2023/feb/15/fukushima-japan-insists-release-of-treated-water-is-safe-nuclear-disaster#:~:text=2%20months%20old->

,Fukushima%3A%20Japan%20insists%20release%20of%201.3m,of%20'treated'%20water%20is%20safe&text=Almost%2012%20years%20have%20passed,along%20its%20north%20Deast%20coast.

NEUMANN, Jan, 2005. Začátky jaderné energetiky v Československu. Řež: Ústav jaderného výzkumu. ISBN 80-239-4380-4.

PELL, Hannah, 2019. Three Mile Island: On the 1979 Accident and Its Decommissioning Forty Years Later. American Institute of Physics [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/ex-libris-universum/three-mile-island-1979-accident-and-its>

PODZEMNÁ, Lucie, 2014. Reprezentace jaderné energetiky v médiích v období před a po havárii ve Fukušimě. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Fakulta humanitních studií, Katedra sociální a kulturní ekologie. Vedoucí práce Novák, Arnošt.

PRINC, Ivan a Dušan VIČAR, 2023. Individuální a kolektivní ochrana. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení. Monografie. DOI: 10.7441/978-80-7678-147-4, Pořadí vydání: První ISBN 978-80-7678-147-4. 648 s. URI: <https://digilib.k.utb.cz/handle/10563/52418>

RHODES, Richard, 2018. Why Nuclear Power Must Be Part of the Energy Solution. Yale Environment 360 [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://e360.yale.edu/features/why-nuclear-power-must-be-part-of-the-energy-solution-environmentalists-climate>

SAITO, Mari, 2015. Fukushima residents torn over nuclear waste storage plan. Reuters [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-japan-tsunami-widerimage-idUKKBN0M50HS20150309>

SKLENKA, Ľubomír a Lenka HERALTOVÁ, 2016. Provozní reaktorová fyzika. 2. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05901-2.

SPINRAD, Bernard I. a Wade MARCUM, 2023. Nuclear reactor. Britannica [online]. [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/nuclear-reactor>

UNITED NATIONS PUBLICATIONS, 2014. SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly with Scientific

Annexes. Volume I Scientific Annex A. New York: United Nations Publications. ISBN 9789211422917.

UNWIN, Jack, 2019. Farewell to Three Mile Island: A Timeline of the Plant's History. Future Power Technology [online]. 2019(113) [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: https://power.nridigital.com/future_power_technology_aug19/farewell_to_three_mile_island_a_timeline_of_the_plant_s_history

VIČAR, Dušan et al., 2020. Jaderné, radiologické a chemické zbraně, radiační a chemické havárie. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení. Monografie. DOI: <https://doi.org/10.7441/978-80-7454-947-2>, ISBN 978-80-7454-947-2. 334 s. URI: <http://hdl.handle.net/10563/45934>

VIČAR, Dušan et al., 2021. Nuclear, Radiological and Chemical Weapons, Radiation and Chemical Accidents. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení. Monography. DOI: <https://doi.org/10.7441/978-80-7678-053-8>, ISBN 978-80-7678-053-8. 371 s. URI: <http://hdl.handle.net/10563/50136>

WAGNER, Vladimír, 2015. Fukušima I poté. Praha: Novela bohemia. ISBN 978-808-7683-453.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2019. Sequence of Events – Chernobyl Accident Appendix 1. World Nuclear Association [online]. [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/appendices/chernobyl-accident-appendix-1-sequence-of-events.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2021. Fukushima: Radiation Exposure. World Nuclear Association [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/appendices/fukushima-radiation-exposure.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2022. Chernobyl Accident 1986 [online]. [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx>

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2023. Fukushima Daiichi Accident. World Nuclear Association [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daiichi-accident.aspx>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČR	Česká republika
INES	International Nuclear Event Scale
MOX	mixed oxide fuel
RBMK	reaktor bolshoy moshchnosty kanalny
TEPCO	Tokyo Electric Power Company

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Počet respondentů podle věkové skupiny a pohlaví.....	38
Graf 2 Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů	39
Graf 3 V jaké vzdálenosti je Vaše bydliště od nejbližší jaderné elektrárny?	40
Graf 4 Považujete jadernou energetiku za bezpečnou?	41
Graf 5 Vadila by Vám výstavba nové jaderné elektrárny poblíž Vašeho bydliště? (do 20 km)	42
Graf 6 Vadila by Vám výstavba jiné elektrárny poblíž Vašeho bydliště? (do 20 km)	43
Graf 7 Upřednostnil/a byste raději výstavbu jaderné nebo uhelné elektrárny poblíž Vašeho bydliště? (do 20 km)	44
Graf 8 Je podle Vás výroba elektřiny z jádra šetrnější k životnímu prostředí, než výroba z fosilních paliv?.....	45
Graf 9 Obdrží podle Vás osoba žijící v okolí jaderné elektrárny vyšší dávku radiace, než je průměr v ČR?.....	46
Graf 10 Znáte havárii, která se odehrála v Černobylské elektrárně?	47
Graf 11 Znáte havárii, která se odehrála ve Fukušimské elektrárně?	48
Graf 12 Která z těchto havárií, měla podle Vás větší dopad na člověka a životní prostředí?	49
Graf 13 Víte, jak postupovat v případě radiační havárie?	50
Graf 14 Myslíte si, že je osvěta o bezpečnosti jaderné energetiky dostatečná?	51
Graf 15 Jaká je podle Vás nejčastější příčina havárií v jaderné elektrárně?.....	52
Graf 16 Co je podle Vás hlavní zdroj ozáření obyvatel ČR?.....	53

