

Ochranná opatření pro personál v jaderných zařízeních v případě vzniku radiační mimořádné události

Ondřej Velebil



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Ondřej Velebil**
Osobní číslo: **L18281**
Studijní program: **B2825 Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Ochrana obyvatelstva**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Ochranná opatření pro personál v jaderných zařízeních v případě vzniku radiac-
ní mimořádné události**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte teoretický vstup do problematiky mírového využívání jaderné energie.
2. Proveďte deskripci současného stavu ochranných opatření pro personál v jaderných elektrárnách v České republice.
3. Vypracujte přehled ochranných opatření pro personál jaderných elektráren vybraných států evropského regionu.
4. Proveďte srovnání ochranných opatření pro personál jaderných elektráren Vámi vybraných států a České republiky.

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

Seznam doporučené literatury:

1. *HAVARIJNÍ PŘÍPRAVENOST JADERNÝCH ELEKTRÁREN*. Dukovany: ČEZ. 2009.
2. *VNITŘNÍ HAVARIJNÍ PLÁN JE*. Revize 7. Dukovany: ČEZ. 2020
3. International Atomic Energy Agency, *INES THE INTERNATIONAL NUCLEAR AND RADIOLOGICAL EVENT SCALE USER'S MANUAL*. 2008 Edition. Vienna: IAEA, 2013

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Kyselák, Ph.D.**
Ústav ochrany obyvatelstva

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2021**

L.S.

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

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2020

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 užit 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: 14.05.2021

Jméno a příjmení studenta: Ondřej Velebil

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá ochrannými opatřeními pro personál v jaderných zařízeních (konkrétně v jaderných elektrárnách) v případě vzniku radiačních mimořádných událostí. Teoretická část se zabývá historickým vývojem mírového využití jaderné energie, legislativou, dohledem na jaderná zařízení v národní i nadnárodní dikci a následným rozбором vybraných bezpečnostních incidentů. Na historickou část navazuje rozbor konkrétních opatření v jaderných elektrárnách České republiky. Praktická část je zaměřena na přehled ochranných opatření pro personál těchto elektráren ve vybraných státech evropského regionu a na jejich srovnání s opatřeními v České republice.

Klíčová slova: jaderné zařízení, ochranné opatření, radiační mimořádná událost, personál, srovnání

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with protective measures for nuclear facilities staff in the event of a radiological emergency. The theoretical part is focused on the historical development of civil nuclear energy usage, legislation, supervision above nuclear facilities in national and international diction and subsequent analysis of selected security incidents. The historical part is followed by an analysis of specific measures in nuclear power plants in Czech Republic. The practical part deals with the overview of protective measures for personnel of nuclear power plants in selected European countries and their comparison with measures set up in the Czech Republic.

Keywords: nuclear facilities, protective measures, radiological emergency, staff, comparison

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Janu Kyselákovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce a poskytnutí odborných rad, které mi pomohly při jejím zpracování.

Poděkování patří i pracovníkům útvaru havarijní připravenosti JE, kteří mi poskytli potřebný materiál pro zpracování bakalářské práce.

Závěrem bych rád poděkoval své rodině za podporu v průběhu celého studia a vytváření prostoru pro zpracování bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 MÍROVÉ VYUŽÍVÁNÍ JADERNÉ ENERGIE	12
1.1 PRÁVNÍ RÁMEC.....	13
1.2 KATEGORIZACE PRACOVIŠŤ V ČESKÉ REPUBLICE.....	14
1.3 THE INTERNATIONAL NUCLEAR EVENT SCALE A RADIAČNÍ MIMOŘÁDNÉ UDÁLOSTI.....	15
1.4 KATEGORIZACE UDÁLOSTI V ČESKÉ REPUBLICE.....	17
1.4.1 Kategorie ohrožení.....	17
1.4.2 Kategorizace události v oblasti zvládnání radiačních mimořádných událostí.....	18
1.5 ORGANIZACE DOHLÍŽEJÍCÍ NA MÍROVÉ VYUŽÍVÁNÍ JADERNÉ ENERGIE.....	19
1.5.1 Státní úřad pro jadernou bezpečnost.....	19
1.5.2 International Atomic Energy Agency.....	20
1.5.3 Western European Nuclear Regulators' Association.....	21
1.5.4 World Association of Nuclear Operators.....	21
1.6 ZÁVAŽNÉ BEZPEČNOSTNÍ INCIDENTY NA JADERNÝCH ZAŘÍZENÍCH.....	22
1.6.1 Tokaimura.....	22
1.6.2 Three Mile Island.....	22
1.6.3 Majak.....	24
1.6.4 Černobyl.....	25
1.6.5 Fukušima 1.....	25
2 SOUČASNÝ STAV OCHRANNÝCH OPATŘENÍ V JADERNÝCH ELEKTRÁRNÁCH ČESKÉ REPUBLIKY	27
2.1 VAROVÁNÍ A VYROZUMĚNÍ.....	27
2.2 UKRYTÍ OSOB.....	28
2.3 EVAKUACE.....	30
2.4 JODOVÁ PROFYLAXE.....	30
2.5 INDIVIDUÁLNÍ OCHRANA.....	32
3 DÍLČÍ ZÁVĚR	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
4 PŘEHLED OCHRANNÝCH OPATŘENÍ PRO PERSONÁL JADERNÝCH ELEKTRÁREN VYBRANÝCH STÁTŮ EVROPSKÉHO REGIONU	37
4.1 SLOVENSKO.....	37
4.2 MAĎARSKO.....	39

4.3	BULHARSKO	42
4.4	ŠVÝCARSKO	42
5	SROVNÁNÍ OCHRANNÝCH OPATŘENÍ PRO PERSONÁL JADERNÝCH ELEKTRÁREN	44
5.1	VYROZUMĚNÍ A VAROVÁNÍ	44
5.2	UKRYTÍ	45
5.3	EVAKUACE	45
5.4	JODOVÁ PROFYLAXE	46
5.5	INDIVIDUÁLNÍ OCHRANA	47
	ZÁVĚR	48
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	49
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	53
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55

ÚVOD

Jaderná energetika se v posledních několika desetiletích stala velmi významnou součástí našeho světa. S rostoucí ekonomikou jednotlivých států je stále větší poptávka po elektrické energii. Jaderná energie nabízí řešení toho problému. Výroba elektrické energie v jaderných elektrárnách patří k čistým způsobům produkce elektřiny. Pro zachování nejvyšších bezpečnostních standardů pro mírové využívání jaderné energie, včetně výroby elektrické energie, ukládání radioaktivního odpadu, výzkumu a využití pro lékařské účely, je zapotřebí existence orgánů zabývajících se jejich bezpečností, jako jsou SÚJB, IAEA, WENRA či WANO.

S výrobou jaderné energie, se historicky pojí i různé nehody a havárie. S každou takovou událostí se tento obor vyvíjí a zlepšuje se jeho zabezpečení. Jaderných zařízení je v České republice (dále jen ČR) velké množství, přes výzkumné reaktory, úložiště jaderného odpadu, až po jaderné elektrárny. Je to velice rozsáhlý obor, proto se bakalářská práce bude zabývat pouze problematikou jaderných elektráren.

Cílem bakalářské práce je na základě deskripce jednotlivých ochranných opatření ve vybraných jaderných elektrárnách v evropském regionu a jejich následné komparace vybrat ta dílčí opatření implementovaná na zahraničních pracovištích, která by bylo vhodné začlenit do bezpečnostního protokolu platného pro jaderné elektrárny v ČR. Pro kategorizaci radiačních mimořádných událostí byly jako výchozí dokumenty použity The International Nuclear Event Scale a naplnění skutkové podstaty radiační mimořádné události ze zák. č. 263/2016, Sb., atomový zákon a z toho vyplývající přehled organizací dohlížejících na jadernou bezpečnost na národní i nadnárodní úrovni. Modelově je pak na základě výše uvedených stanov kategorizováno několik závažných bezpečnostních incidentů jaderných zařízení, které byly poté podrobeny rozsáhlému, mnohdy několikaletému, vyšetřování za účelem přijetí opatření v rámci prevence podobných incidentů v budoucnu. Kapitola 2. Současný stav ochranných opatření v jaderných elektrárnách ČR se již drží striktně tématu obsaženého ve svém názvu. Následuje krátké shrnutí v kapitole 3. Dílčí závěr, kde je krátce zhodnocena teoretická část práce a současný stav ochranných opatření v jaderných elektrárnách ČR.

V praktické části jsou uvedeny a popsány bezpečnostní opatření zavedená v jaderných elektrárnách vybraných evropských států, které byly vybrány na základě podobnosti objemu jaderného energetického průmyslu v porovnání s ČR a zároveň dostupností materiálů v dostatečné šíři popisující zmiňovanou problematiku.

Výše zmíněná dokumentace slouží jako podkladový materiál pro komparaci a z ní vycházející závěry obsahující doporučení k implementaci jednotlivých či dílčích nařízení a opatření obvyklých v zahraničí do interních norem aplikovaných v ČR.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MÍROVÉ VYUŽÍVÁNÍ JADERNÉ ENERGIE

Přibližně před dvěma miliardami let byl v africkém státě Gabun v lokalitě Oklo v činnosti přírodní reaktor, který byl tvořen tamějšími ložisky uranu, ve kterých se vyskytovala také voda. Došlo k zahájení štěpné reakce, která s přestávkami trvala několik tisíc let. Vědce na tento objev přivedl snížený obsah izotopu ^{235}U v tamějších uranových dolech, který byl způsoben postupným štěpením tohoto izotopu v průběhu štěpné reakce. Způsob, jakým přírodní reaktor v Oklu pracoval, může být velmi poučný i pro současné konstruktéry jaderných reaktorů. Napodobení přírody, konkrétně zapouzdření štěpných produktů do aluminium-fosfátových zrn, by totiž mohlo pomoci vyřešit v současné době nejpalčivější problém jaderné energetiky, a to je skladování vysoce radioaktivního vyhořelého paliva. Z tohoto hlediska jsou zbytky reaktoru v Oklu také neocenitelným zdrojem poznatků o dlouhodobé míře migrace jednotlivých štěpných produktů v zemské kůře. Oklo je vlastně jakýmsi testovacím úložištěm radioaktivního odpadu, které ukazuje, jak by lidmi vybudované úložiště mohlo vypadat po uplynutí geologických věků (Cejnar, 2017).

Vznik jaderných reaktorů

Jako vznik jaderného věku lze považovat objevení štěpení atomu v roce 1938, kdy Otto Hahn a jeho asistent Fritz Strassman nechali ostřelovat prvky uranu neutrony. Tento objev výrazně přispěl k rozvíjení oboru jaderné energetiky (Herneck, 1974).

Za druhé světové války probíhal v USA projekt Manhattan, jehož hlavním cílem byla výroba první jaderné zbraně na světě. Po několika letech práce nakonec ozářil poušť v Novém Mexiku první pokusný jaderný výbuch. Součástí tohoto projektu bylo i postavení prvního funkčního jaderného reaktoru. První jaderný reaktor Chicago Pile 1 byl spuštěn 2. prosince 1942 na univerzitě v Chicagu. Jednalo se o grafitem moderovaný reaktor, v němž se štěpil přírodní uran bez jakéhokoliv obohacení. Reaktor byl řízen tyčemi z kadmia. Pod vedením italského fyzika Enrica Fermiho se podařilo poprvé spustit řízenou řetězovou štěpnou reakci, která trvala asi 30 minut, poté byl reaktor bezpečně odstaven. Reaktor dosáhl maximálního výkonu 0,5 W. Experiment dokázal, že štěpná řetězová reakce je uskutečnitelný technický proces. Na území takzvaného Stanoviště Hanford v jižní části federálního státu Washington na pravém břehu řeky Columbia byly do konce války postaveny celkem tři atomové reaktory. Každý reaktor měl tepelný výkon 200 MW. Jejich účelem byla výroba štěpného materiálu pro výrobu atomových bomb (Bromová et al., 2013).

Praktickým výstupem Fermiho pokusů s uranovým mířem byla stavba atomových reaktorů pro průmyslovou přípravu zbrojního plutonia. Na rozdíl od dnešních zvyklostí reaktory nesloužily vůbec k energetickým účelům, přestože každý měl tepelný výkon 200 MW. Jejich úkolem byla výhradně co nejrychlejší výroba štěpitelné nálože do atomové bomby. Na jaderné provozy navazovala chemická úpravná, která z vyhořelého paliva získávala kýžené plutonium (Macoun, 2012).

Využití jaderné energie po druhé světové válce se stalo jednou z priorit mnoha zemí, proto už na počátku 50. let začaly reaktory vyrábět i elektrickou energii. Jednalo se však spíše o experimentální využití pro tyto účely. První jaderný reaktor, který skutečně dodával elektřinu do sítě, pochází z ruského města Obninsk. V roce 1954 zde byl postaven reaktor o tepelném výkonu 30 MWt, z nichž se na elektrický výkon přeměnilo 5 MW, dosahoval tedy účinnosti 17 %. Jednalo se o vodou chlazený a grafitem moderovaný reaktor kanálového typu, který se stal předchůdcem pozdějších reaktorů RBMK. O rok později spustila svůj první reaktor i Velká Británie. Ropná krize v sedmdesátých letech byla impulsem pro výstavbu reaktorů i v dalších zemích. Narůstající popularitě jaderné energetiky neubrala na rychlosti ani havárie v britském Windscale, Three Mile Island, Jaroslavských Bohunicích. Tyto havárie však výrazně přispěly ke zvýšení jaderné bezpečnosti po celém světě (Dienstbier, 2010).

1.1 Právní rámec

V ČR zastřešuje problematiku radiologických a radiačních mimořádných událostí atomový zákon. Atomový zákon byl přijat 14. července 2016 jako zákon č. 263/2016 Sb. Ten svou účinností nahradil od 1. ledna 2017 dosavadní zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů. Zákon č. 18/1997 Sb. byl ponechán pouze ve zbytkové podobě a nadále upravuje odpovědnost za jaderné škody a je změněn zákonem č. 264/2016 Sb., kterým se mění některé zákony v souvislosti s přijetím atomového zákona (Česko, 2016 a).

Východiskem pro českou legislativu v tomto oboru je Směrnice Rady 2013/51/Euratom ze dne 22. října 2013, kterou se stanoví požadavky na ochranu zdraví obyvatelstva, pokud jde o radioaktivní látky ve vodě určené k lidské spotřebě. Dále je to Směrnice Rady 2013/59/Euratom ze dne 5. prosince 2013, kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizačního záření, která byla implementována do národní legislativy (SÚJB, 2020).

Ve Sbírce zákonů jsou k novému atomovému zákonu publikovány související prováděcí právní předpisy. Z hlediska lékařského ozáření a oblasti radiologických a radiačních mimořádných událostí je důležitá zejména vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události, dále vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, která zpracovává příslušné předpisy Euratomu a stanoví požadavky na zajišťování radiační ochrany v expozičních situacích a způsob zabezpečení radionuklidového zdroje, a vyhláška č. 409/2016 Sb., vyhláška o činnostech zvláště důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, zvláštní odborné způsobilosti a přípravě osoby zajišťující radiační ochranu registranta (SÚJB, 2020).

1.2 Kategorizace pracovišť v České republice

Rozdělení pracovišť v rámci ČR je upraveno ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje § 19.

1. Pracoviště I. kategorie:

- s drobným zdrojem ionizujícího záření,
- s kostním denzitometrem,
- s veterinárním nebo zubním rentgenovým zařízením,
- s kabinovým rentgenovým zařízením,
- s indikačním nebo měřicím zařízením obsahujícím uzavřený radionuklidový zdroj, u něhož charakter radiační činnosti nevyžaduje vymezení kontrolovaného pásma,
- s technickým rentgenovým zařízením, u něhož charakter radiační činnosti nevyžaduje vymezení kontrolovaného pásma.

2. Pracoviště II. kategorie:

- s jednoduchým zdrojem ionizujícího záření, které není pracovištěm I. kategorie,
- s rentgenovým zařízením určeným k radiodiagnostice nebo radioterapii,
- s mobilním defektoskopem obsahujícím uzavřený radionuklidový zdroj,
- s mobilním ozařovačem obsahujícím uzavřený radionuklidový zdroj,

- s indikačním nebo měřícím zařízením obsahujícím uzavřený radionuklidový zdroj, u něhož charakter radiační činnosti vyžaduje vymezení kontrolovaného pásma,
- s technickým rentgenovým zařízením, u něhož charakter radiační činnosti vyžaduje vymezení kontrolovaného pásma,
- s kompaktním mimotělním ozařovačem krve obsahujícím uzavřený radionuklidový zdroj.

3. Pracoviště III. kategorie:

- s urychlovačem částic,
- se zařízením obsahujícím uzavřený radionuklidový zdroj, které je určeno k radioterapii,
- uznaný sklad,
- pracoviště se zařízením obsahujícím uzavřený radionuklidový zdroj a určeným k ozařování předmětů, včetně potravin a surovin, předmětů běžného užívání nebo jiných věcí,
- na němž se vykonávají činnosti související se získáváním radioaktivního nerostu, s výjimkou sanací a rekultivací prováděných na úložných místech těžebních odpadů, na kterých byla ukončena hornická činnost.

4. Pracoviště IV. kategorie:

- s jaderným zařízením,
- s úložištěm radioaktivního odpadu, které není jaderným zařízením (Česko, 2016 b).

1.3 The International Nuclear Event Scale a Radiační mimořádné události

Pro posuzování závažnosti jaderných a radiačních nehod a havárií byla v roce 1990 odborníky z IAEA a Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj vytvořena Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES). Tato stupnice je určena pro snazší komunikaci mezi veřejností, sdělovacími prostředky a odborným jaderným společenstvím. Stupnice umožňuje rychlé a přesné ohodnocení těchto událostí,

čímž poskytuje adekvátní informace veřejnosti o bezpečnostní významnosti událostí spojených se zdroji záření. Byla navržena s cílem celosvětového sjednocení hodnocení jaderných událostí a předlohou jí byly obdobné stupnice využívané dříve ve Francii a Japonsku. Jejím primárním účelem bylo v počátku pouze hodnocení nehod a havárií jaderných elektráren. Od jejího rozšíření v roce 1992 je plně využitelná ve všech zařízeních souvisejících s civilním jaderným průmyslem (The International Nuclear and Radiological Event Scale, ©2013).

Události jsou klasifikovány podle stupnice do sedmi stupňů. S rostoucím bezpečnostním rizikem události stoupá také stupeň jejího ohodnocení. Události stupně 0 jsou odchylky od běžného stavu a nemají žádné bezpečnostní riziko. Nižší stupně 1 až 3 jsou označeny jako nehody. Stupně 4 až 7 jsou označeny jako havárie. Pro komunikaci s veřejností o těchto událostech byly každému Stupni INES přiřazeny jasně odlišené zkrácené názvy. Dle rostoucí závažnosti, jsou to:

- anomálie,
- nehoda,
- vážná nehoda,
- havárie s místními následky,
- havárie se širšími následky,
- těžká havárie,
- velmi těžká havárie.

Posuzování závažnosti je založeno na 3 kritériích oblasti dopadu jaderné události a jejich účincích. Tato události je pak určena jako nejvyšší stupeň při uvážení každé z těchto tří oblastí:

1. **Obyvatelstvo a životní prostředí** – kritérium hodnotí dopad na životní prostředí, jež je odvozen od množství uniklých radioaktivních látek mimo jaderné zařízení.
2. **Radiační bariéry a opatření** – posuzuje se především stav aktivní zóny jaderného reaktoru a radiační situace uvnitř elektrárny včetně ozáření pracovníků.
3. **Narušení hloubkové ochrany jaderného zařízení** – kritérium se používá pro události narušující soustavu bezpečnostních systémů zařízení (The International Nuclear and Radiological Event Scale, ©2013).

INES je využíván jako komunikační nástroj, jehož primárním účelem je usnadnit porozumění bezpečnostnímu významu událostí. Dále je využíván pro komunikaci mezi „technickou komunitou“, médií a veřejností. Účelem INES je poskytnout jednoduchý návod, pomocí něhož lze ohodnotit bezpečnostní význam těch událostí, které by měly být oznamovány. Je důležité, aby oznámení proběhlo okamžitě, jinak dojde ke zmatenému pochopení události ze strany medií a ke spekulacím veřejnosti (The International Nuclear and Radiological Event Scale, ©2013).

Podle velikosti možných dopadů radiační mimořádné události na území ČR se jaderné zařízení, pracoviště se zdroji ionizujícího záření nebo činnosti v rámci expozičních situací zařazují do kategorie ohrožení A až E (ČESKO, 2016 a).

1.4 Kategorizace události v České republice

Radiační mimořádná událost je definována jako událost, která vede nebo může vést k překročení limitů ozáření, a která vyžaduje opatření, jež by zabránila jejich překročení nebo zhoršování situace z pohledu zajištění radiační ochrany (ČESKO, 2016 a).

1.4.1 Kategorie ohrožení

Pravidla pro zařazení jaderného zařízení, pracoviště se zdroji ionizujícího záření nebo činnosti v rámci expozičních situací do kategorie ohrožení, jsou uvedena ve vyhlášce č. 359/2016 Sb.

1. Podle možných dopadů radiační nehody nebo radiační havárie na území ČR se jaderné zařízení, pracoviště se zdroji ionizujícího záření nebo činnost v rámci expozičních situací zařazuje do kategorie ohrožení A až D, a to:
 - do kategorie ohrožení A se zařazuje energetické jaderné zařízení,
 - do kategorie ohrožení B se zařazuje jaderné zařízení, které nepatří do kategorie ohrožení A, a pracoviště IV. kategorie, kromě pracoviště s jaderným zařízením, na němž může vzniknout radiační havárie,
 - do kategorie ohrožení C se zařazuje jaderné zařízení nebo pracoviště se zdroji ionizujícího záření, na němž nemůže vzniknout radiační havárie, nebo
2. o kategorie ohrožení D se zařazuje činnost v rámci expozičních situací, včetně nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje nebo přepravy radioaktivní nebo štěpné látky, která může být příčinou vzniku radiační nehody nebo radiační

havárie na nepředvídatelném místě, a tím i havarijního ozáření. Jedná se o události spíše lokálního charakteru, ale pravděpodobně se zavedením ochranných opatření pro obyvatelstvo. Při vzniku takové události se předpokládají závažnější dopady na psychiku lidí než na jejich zdravotní stav.

3. Do kategorie ohrožení E se zařazují oblasti na území ČR, na kterých mohou být realizována ochranná opatření pro obyvatelstvo v důsledku radiační havárie vzniklé na jaderném zařízení nebo pracovišti se zdroji ionizujícího záření umístěném na území státu sousedícího s ČR. Pro tuto kategorii ohrožení lze brát v úvahu jaderné elektrárny na území Slovenska, Maďarska a Německa. S přihlédnutím k rozloze je do této kategorie zahrnuto celé území ČR (ČESKO, 2016 c).

1.4.2 Kategorizace události v oblasti zvládnání radiačních mimořádných událostí

Pro účely odstupňované připravenosti k odezvě na radiační mimořádnou událost se radiační mimořádná událost dělí do třech kategorií závažnosti:

- **Radiační mimořádná událost prvního stupně** je zvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla,
- **Radiační nehoda** je událost nezvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla, nebo vzniklá v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, která nevyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo,
- **Radiační havárie** je událost nezvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně osoby, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla, nebo vzniklá v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, která vyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo (ČESKO, 2016 a).

Kategorizaci události provádí na jaderných elektrárnách v ČR směnový inženýr nebo havarijní štáb. Směnový inženýr a havarijní štáb mají pravomoc vyhlášovat ochranná opatření v areálech JE.

1.5 Organizace dohlížející na mírové využívání jaderné energie

Pro zachování nejvyšších bezpečnostních standardů pro mírové využívání jaderné energie, včetně výroby elektrické energie, ukládání radioaktivního odpadu, výzkumu a využití pro lékařské účely, je zapotřebí existence orgánů zabývajících se jejich bezpečností. Primární odpovědnost za bezpečnost jaderných provozů spočívá u jejich provozovatelů, kteří jsou pod dohledem národních i nadnárodních regulačních a kontrolních orgánů.

1.5.1 Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Primárním orgánem pro účely státního dozoru při využívání jaderné energie a pro zabezpečení radiační ochrany je v ČR Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Je ústředním orgánem státní správy ve smyslu zákona č. 2/1969 Sb. V jeho čele stojí předsedkyně Ing. Dana Drábová, která je ve své funkci od 1. listopadu 1999. Předsedkyně je jmenována vládou ČR. Úřad byl založen v lednu roku 1993 se sídlem v Praze. Úřad má samostatný rozpočet a je přímo podřízen vládě ČR. SÚJB vykonává státní správu při využívání jaderné energie a ionizujícího záření a v oblasti nešíření jaderných, chemických a biologických zbraní (SÚJB Úvod).

Do jeho působnosti, dané zákonem č. 263/2016 Sb., atomový zákon, zákonem č. 19/1997 Sb., a zákonem č. 281/2002 Sb., zejména patří:

- kontroly v oblasti zajišťování jaderné bezpečnosti,
- zvládání radiační mimořádné události,
- zabezpečení nešíření jaderných zbraní v prostorách jaderného zařízení nebo pracoviště se zdroji ionizujícího záření,
- schvalování dokumentace, vztahující se k zajištění jaderné bezpečnosti,
- odborná spolupráce s Mezinárodní agenturou pro atomovou energii,
- poskytování údajů o hospodaření s radioaktivními odpady obcím a okresním úřadům na jimi spravovaném území,
- stanovení podmínek a požadavků radiační ochrany obyvatel a pracovníků se zdroji ionizujícího záření (SÚJB Úvod).

1.5.2 International Atomic Energy Agency

Mezinárodní agentura pro atomovou energii je mezinárodní organizace (dále jen IAEA), která dohlíží a stanovuje pravidla pro mírové využívání jaderné energie. Agentura byla založena 29. července 1957. V současnosti má 172 členů (k 17. září 2020). Současné sídlo se nachází ve Vídni a další regionální kanceláře se nachází v Ženevě, New Yorku, Torontu a Tokiu. Usiluje o bezpečné, zabezpečené a mírové využití jaderné vědy a technologie a přispívá k mezinárodnímu míru a bezpečnosti a cílům udržitelného rozvoje OSN (IAEA History, © 1998–2021).

IAEA v souladu se svým mandátem „Atomy pro mír a rozvoj“ podporuje země v jejich úsilí o dosažení 17 cílů udržitelného rozvoje stanovených v Agendě OSN pro udržitelný rozvoj 2030. Mnoho zemí využívá jadernou vědu a technologie k tomu, aby přispěly a splnily své rozvojové cíle v oblastech, jako je energetika, lidské zdraví, výroba potravin, vodní hospodářství a ochrana životního prostředí. Použití těchto technik přímo přispívá k devíti ze 17 cílů udržitelného rozvoje, které jsou zobrazeny na obrázku č. 1.

- nulový hlad,
- dobré zdraví a pohodu,
- čistá voda a hygiena,
- cenově dostupná a čistá energie,
- průmysl, inovace a infrastruktura,
- opatření v oblasti klimatu,
- život pod vodou,
- život na zemi,
- partnerství pro dosažení cílů (Sustainable Development Goals (SDGs), © 1998–2021).



Obrázek 1 Cíle udržitelného rozvoje (Cíle udržitelného rozvoje, 2020)

1.5.3 Western European Nuclear Regulators' Association

Sdružení regulačních orgánů západní Evropy bylo založeno v roce 1999. V současné době sdružuje dozorné orgány všech členských zemí Evropské unie a Švýcarska s provozovanými a vyřazovanými jadernými elektrárnami (WENRA).

Hlavními cíli WENRA je:

- zajištění jaderné bezpečnosti energetických jaderných reaktorů,
- vyřazování jaderných zařízení z provozu,
- skladování radioaktivních odpadů a vyhořelého paliva.

1.5.4 World Association of Nuclear Operators

Jedná se o Světové sdružení pozorovatelů jaderných zařízení. Bylo založeno 15. května 1989 po jaderné havárii v Černobylu. Zabezpečuje propojení všech společností a zemí na světě, které využívají komerční provoz jaderných elektráren, aby bylo dosaženo nejvyšší jaderné bezpečnosti. Hlavním posláním WANO je maximalizace bezpečnosti a spolehlivosti jaderných elektráren po celém světě prostřednictvím společné práce na hodnocení, srovnávání a zlepšování výkonu prostřednictvím vzájemné podpory, výměny informací a dosahování nejlepší praxe. Organizace existuje pouze proto, aby svým členům

pomohla dosáhnout nejvyšší úrovně provozní bezpečnosti a spolehlivosti. Dnes zastupuje více než 120 členů, kteří provozují více než 430 civilních jaderných reaktorů po celém světě (Our Mission, 2021).

1.6 Závažné bezpečnostní incidenty na jaderných zařízeních

Následující kapitola popisuje závažné bezpečnostní incidenty na jaderných zařízeních. Popisuje jednotlivé incidenty a rozebírá jejich příčiny a následky. Pro hodnocení závažnosti incidentu byla použita stupnice INES.

1.6.1 Tokaimura

Hodnocení nehody na úrovni 4 stupnice INES.

Dne 30. září 1999 připravovali tři pracovníci malou dávku paliva pro experimentální rychlý reaktor Joyo s použitím uranu obohaceného na 18,8 % ^{235}U . Schválený postup přípravy jaderného paliva zahrnoval rozpuštění prášku oxidu uranu v kyselině dusičné v rozpouštěcí nádrži. Předtím pracovníci tento postup mnohokrát použili s mnohem méně obohacným uranem - méně než 5% a nechápali důsledky kritičnosti obohacení na 18,8 %. Pracovní postup však společnost upravila bez povolení regulačních úřadů. Poté jej sami operátoři dále modifikovali, aby se proces urychlil. Ve stolitrové srážecí nádrži neexistovala kontrola vloženého objemu a tvar nádrže zvyšoval pravděpodobnost dosažení kritičnosti. Objem roztoku v srážecí nádrži tak dosáhl asi 40 litrů a obsahoval asi 16 kg uranu a bylo dosaženo kritického množství. V okamžiku kritičnosti se řetězová reakce jaderného štěpení stala soběstačnou a začala emitovat intenzivní gama a neutronové záření. Kritičnost přerušovaně pokračovala asi 20 hodin. Reakce byla zastavena, když byla chladicí voda obklopující srážecí nádrž odčerpána a do nádrže byl přidán roztok kyseliny borité, který slouží jako absorbér neutronů, tím bylo zajištěno podkritičnosti. Tři dotyční pracovníci byli hospitalizováni, dva z nich v kritickém stavu. Jeden zemřel o 12 týdnů později, další o 7 měsíců později. Všichni tři zjevně obdrželi celotělové radiační dávky 16 000–20 000, 6 000–10 000 a 1 000–5 000 mGy. Dalších 24 pracovníků dostalo až 48 mSv. Podle IAEA byla nehoda primárně způsobena lidskou chybou a vážným porušením bezpečnostních zásad (Tokaimura Criticality Accident 1999, © 2016-2021).

1.6.2 Three Mile Island

Havárie na jaderné elektrárně Three Mile Island je klasifikována Stupněm 5 na stupnici INES.

Jaderná elektrárna Three Mile Island byla vybudována na stejnojmenném ostrově na řece Susquehanna, 16 km jižně od Harrisburgu, hlavního města státu Pennsylvánie ve Spojených státech amerických. Havárie se stala na druhém reaktoru o výkonu 900 MW, který byl do provozu uveden teprve v prosinci předcházejícího roku. Nehoda na druhém bloku se stala ve 4 hodiny ráno 28. března 1979, kdy reaktor pracoval na 97 % svého výkonu. K havárii došlo vlivem mechanické nebo elektrické závady, kdy došlo k výpadku napájecích čerpadel parogenerátoru. Z důvodu nefunkčních čerpadel začala v aktivní zóně kriticky narůstat teplota. Havarijní systém automaticky odstavil reaktor i turbínu. V ten moment začal prudce narůstat tlak v primárním okruhu, proto se otevřel přetlakový ventil kompenzátoru objemu. Tento ventil se měl zavřít ihned po poklesu tlaku a podle indikátoru v řídicí místnosti se tak i stalo, jenže ve skutečnosti se zasekl v otevřené poloze. Následkem toho klesal tlak v okruhu. Vzhledem k tomu, že tlak v systému v primárním systému nadále klesal, začaly se v některých částech systému vytvářet parní dutiny. Kvůli těmto parním dutinám byla voda v systému přerozdělena a kompenzátor objemu byl plný vody. Indikátor hladiny, který informuje obsluhu o množství chladicí kapaliny schopné odvádět teplo, nesprávně indikoval, že je systém plný vody. Operátor tedy přestal přidávat vodu. Nevěděl, že kvůli zablokování ventilu může indikátor poskytovat nesprávné hodnoty. Jelikož nebylo k dispozici dostatečné chlazení, jaderné palivo se dále přehřálo a část zirkoniového pláště, který drží pelety jaderného paliva, nadále reagoval s vodou a vznikala vodík. Do 30. března vznikla „vodíková bublina“ v primárním okruhu nad aktivní zónou reaktoru.

Obava spočívala v tom, že pokud se tlak v reaktoru sníží, vodíková bublina se zvětší a způsobí explozi. Díky malému množství kyslíku v systému k explozi nedošlo. Následně byl vodík z primárního okruhu odstraněn pomocí odvzdušňovacího ventilu do budovy kontejnmentu. Bez vody, která by ochlazovala reaktor, a s odkrytou horní částí aktivní zóny došlo k poškození paliva. Došlo k roztavení více jak jedné třetiny paliva v reaktoru. Roztavené palivo však zůstalo uvnitř tlakové nádoby reaktoru a budova kontejnmentu nebyla poškozena (Three Mile Island Accident, © 2016-2021).

Předpokládá se, že do atmosféry uniklo 2,5 miliónu curie radioaktivního plynu. Během týdne po havárii pociťovalo mnoho lidí příznaky ozáření, jako kovová příchut' v ústech, záněty pokožky, pálení a slzení očí, průjmy, nevolnost a zvracení. Navzdory všem skutečnostem existují studie, které popírají jakýkoliv vliv havárie na okolní prostředí. Stejně tak existují studie, jež škody potvrzují. Zejména je to zvýšení výskytu poškození

štítné žlázy u dětí a zvýšený výskyt rakoviny. Při havárii nepřišel nikdo o život. Různými organizacemi byly odebrány tisíce vzorků vzduchu, vody, mléka, plodin i půdy. Obsah radionuklidů, který by mohl mít s havárií souvislost, byl však zanedbatelný. Havárie v JE Three Mile Island zásadně změnila americký jaderný průmysl. Následná analýza havárie vedla k rozsáhlým bezpečnostním a organizačním změnám na amerických JE (Backgrounder on the Three Mile Island Accident, 2018).

1.6.3 Majak

Havárie je podle INES hodnocena stupněm 6.

Přepřevodový závod Majak byl postaven v roce 1948. Následně byl do provozu uveden první reaktor pro výrobu plutonia ^{239}Pu do jaderných hlavic. Celý komplex byl postaven v podzemním tunelu asi 15 km východně od městečka Kyštym. Tento závod vznikl v rámci závodů v jaderném zbrojení a z toho důvodu ve značném spěchu, v přísném utajení a ve velice krátké době. První sovětská jaderná zbraň byla vyrobena v Majaku a to po 13 měsících od spuštění prvního reaktoru (Malko, 2009).

Kyštymská havárie se stala 29. září 1957 v 16:20 místního času. Na počátku 50. let 20. století se zdejší jaderný odpad začal skladovat ve speciálních nádržích. Nádrže byly vyrobené z nerezové oceli a byly vloženy do betonových prohlubní v zemi. V důsledku působení radioaktivních solí došlo v roce 1956 u jedné nádrže ke korozi železných trubek chladičového systému a ten byl vyřazen z provozu. Teplota v nádrži začala stoupat, což vedlo k vypařování a chemické explozi sušeného odpadu, skládajícího se převážně z dusičnanu amonného a acetátů. Nádrž explodovala silou rovnající se výbuchu 70-100 tun TNT. Vedla ke kompletní destrukci jedné nádrže a vážnému poškození dvou dalších.

V důsledku exploze byly uvolněny látky o aktivitě 74 tisíc TBq. Většina látek zamořila nejbližší prostředí továrny, zbytek vystoupal do výše a byl unášen větrem do značné vzdálenosti směrem na severovýchod. Toto zamoření vešlo ve známost jako Východouralská radioaktivní stopa. Havárie zasáhla 270 tisíc obyvatel v 217 vesnicích a osadách, z nichž pouze 10 tisíc obyvatel bylo evakuováno, a to navíc se značnou prodlevou. V Majaku se i nadále zpracovává vyhořelé palivo ze sedmi ruských jaderných elektráren. Z každé zpracované tuny paliva vzniká až 200 tun odpadu o různém složení (Malko, 2009).

1.6.4 Černobyl

Havárie je podle INES hodnocena nejvyšším stupněm 7.

K černobylské havárii došlo 26. dubna 1986. Při průběhu plánovaného odstavení čtvrtého bloku elektrárny, kdy byl prováděn nepovolený a neodborně připravený experiment. Během experimentu byl reaktor uveden do velmi nestabilního stavu, což způsobilo vyřazení provozu většiny bezpečnostních systémů, které by jinak havárii automaticky zabránily. Jednu minutu po zahájení experimentu došlo ke dvěma výbuchům. Ty měli za následek požár, který trval až do 10. května 1986. Všechny čtyři bloky JE Černobyl měly reaktory typu RBMK a celkový výkon elektrárny činil 4000 MW. Do dnešního dne je tento typ reaktoru využíván výhradně na území bývalého SSSR (Drábová).

Do ovzduší bylo vyneseno přibližně $2 \cdot 10^{18}$ Bq radioaktivních látek, které byly následně rozneseny větrem téměř po celé Evropě. Havárie měla za následek větší množství jaderného spadu než výbuchy v Hirošimě a Nagasaki. Podle oficiálních zpráv zahynulo v prvních dnech v Černobyli 31 pracovníků a požárníků. 237 záchranářů onemocnělo na akutní nemoc z ozáření a tisíce dalších osob bylo ozářeno. Celkové škody způsobené havárií v Černobyli jsou celosvětově odhadovány na asi deset miliard dolarů. Rozsah následků černobylské havárie zvýšily především počáteční pokusy o její utajení. Z tohoto důvodu byla zahájena evakuace 43 tisíc osob až 37 hodin po havárii (Dědictví Černobyli: zdravotní, ekologické a sociálně ekonomické dopady, 2006).

1.6.5 Fukušima 1

Havárie je podle INES hodnocena nejvyšším stupněm 7.

K havárii došlo dne 11. března 2011, po zemětřesení o síle 9.1 Richterovy stupnice. Všechny reaktory byly po zemětřesení bezprostředně odstaveny. V době havárie byly v provozu reaktory 1, 2 a 3. Ostatní reaktory byly v plánované odstávce. Na 4. bloku probíhala výměna paliva. Na blocích 5 a 6 údržba. Fukušima 1 následkem zemětřesení přišla o externí zdroje elektřiny. Po výpadku elektřiny, úspěšně najely dieselgenerátory, které zajišťovali havarijní chlazení reaktorů. Tyto generátory smetla následná vlna tsunami, která zasáhla celou oblast elektrárny. Pára v reaktoru byla nadále chlazena přes havarijní kondenzátor za pomoci stejnosměrného zdroje z baterií nouzového napájení, do reaktorů bloků 2 a 3 byla vstřikována voda prostřednictvím systémů samostatného dochlazování aktivní zóny. Již během prvního dne se začalo obnažovat palivo v prvním reaktoru a došlo k jeho následnému poškození. Na druhý den se do reaktoru začala čerpat čerstvá voda.

Došlo však k prudkému nárůstu tlaku v primárním kontejnmentu. Tlak byl snížen otevřením příslušných ventilů a kontrolovaným vypuštěním vodní páry do sekundárního kontejnmentu. Vlivem nahromaděného vodíku došlo k výbuchu. Výbuch poškodil střechu budovy bloku 1 a odhalil bazén na vyhořelé palivo. Aby se zabránilo dalšímu tavení palivových tyčí, začali vstříkovat mořskou vodu, která doplňovala již chybějící zásobu vody v reaktoru. Postupem času došlo k překročení maximálního únosného tlaku a poškodila se kondenzační část, tedy komora potlačení. Následkem toho byl nekontrolovaný únik plynů a kontaminované vody. Elektrárna musela být dočasně evakuována. Výsledkem byla vysoká dávka záření, která zkomplikovala další záchranné práce. Tento únik byl hlavní příčinou zamoření kolem Fukušimy 1. Ve čtvrtém bloku došlo také k výbuchu vodíku. Tento výbuch byl paradoxně ku prospěchu, neboť v tomto bloku se v bazénech skladovalo nejvíce vyhořelého paliva. Díky otvoru po výbuchu mohl být bazén chlazen helikoptéry a stříkačkami. Díky tomu se teplota snížila a držela se na hodnotě 100°C. V průběhu června a července se podařilo zprovoznit tepelný výměník a bylo tedy možné začít chladit vodu v bazénech vyhořelého paliva místo prostého doplňování vody. Dále došlo k rekonstrukci zařízení, které vhání do reaktoru dusík, aby zamezili výbuchu vodíku. Díky tomu mohlo dojít k intenzivnějšímu chlazení reaktorů. Dne 16. prosince 2011 všechny reaktory dosáhly stavu studeného odstavení. To znamená, že teplota chladiva dosáhla pod 100 °C a tlak v reaktoru klesl na úroveň okolí nebo 1 atmosféru. Ihned po zásahu elektrárny vlnou tsunami došlo k preventivnímu opatření, tj. evakuaci asi 150 000 obyvatel v okruhu 20 km. V okruhu od 20 do 30 km bylo lidem doporučeno, ať nevycházejí z domovů. Díky tomu nebyl dopad radiace na obyvatelstvo tak velký. Z důvodu havárie došlo k znehodnocení zemědělské půdy v širokém okolí elektrárny a to hlavně césiem-137 s poločasem rozpadu 30 let (Wagner, 2015).

2 SOUČASNÝ STAV OCHRANNÝCH OPATŘENÍ V JADERNÝCH ELEKTRÁRNÁCH ČESKÉ REPUBLIKY

V životě člověka mohou nastat neočekávané mimořádné události, jako jsou havárie s únikem nebezpečných chemických látek do životního prostředí (radiační havárie, ropné havárie), živelné pohromy (požáry, sesuvy půdy, zemětřesení, záplavy a povodně) a další, které mohou ohrozit zdraví, životy a způsobit rozsáhlé materiální škody. Je potřeba nepodceňovat mimořádné události a svědomitě se na ně připravovat. Připravený člověk dokáže reálněji posoudit vzniklou situaci a taky na ni lépe reagovat.

Každý pracovník na jaderné elektrárně prochází pravidelným školením, jak se chovat v případě vyhlášení radiační mimořádné události v areálu JE. Na každém pracovišti v areálu jsou umístěny piktogramy s postupem při vyhlášení ochranných opatření.

2.1 Varování a vyrozumění

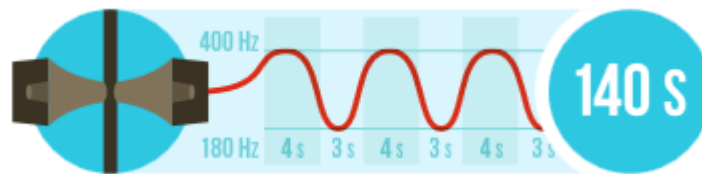
Dle terminologického slovníku MV je varování definováno jako: „*Souhrn technických a organizačních opatření zabezpečujících včasné upozornění obyvatelstva orgány veřejné správy na hrozící nebo nastalou mimořádnou událost, vyžadující realizaci opatření na ochranu obyvatelstva a majetku. Zahrnuje zejména varovný signál, po jehož provedení je neprodleně realizováno informování obyvatelstva o povaze nebezpečí a o opatřeních k ochraně života, zdraví a majetku* (Terminologický slovník MV, 2016, 90).“

Varování zahrnuje zejména varovný signál. Varovný signál může mít podobu akustickou, verbální nebo optickou, dále je doplněný o příslušnou prvotní informaci o povaze mimořádné události a způsobech ochrany. Základním prostředkem pro vyhlášení varovného signálu je zbudovaná síť koncových prvků varování, které jsou začleněny do JSVV. Další možností pro vyhlášení varovného signálu je využití rozhlasu, televize, místních rozhlasů nebo využití mobilních prostředků. (Kratochvílová, Kratochvílová a Folwarczny, 2013)

Varování na jaderných elektrárnách

K varování personálu na jaderných elektrárnách je určen signál všeobecná výstraha představovaný kolísavým tónem sirény v délce trvání 140 sekund. Vyobrazení tohoto signálu je graficky znázorněno na obrázku č. 2. Signál sirén je následně doplňován upřesňujícími informacemi od směnového inženýra nebo od havarijního štábu o příčinách

vyhlášení RMU s pokyny pro personál a ostatní osoby nacházející se na JE. Tyto informace jsou předávány prostřednictvím závodního a provozního rozhlasu.



Obrázek 2 Grafické znázornění signálu Všeobecná výstraha (Příručka pro ochranu obyvatelstva, 2020)

Rozsah varování:

- Radiační mimořádná událost 1. stupně

Provádí se lokální varování personálu a ostatních osob nacházející se v postižených a ohrožených prostorech JE prostřednictvím provozního a závodního rozhlasu. V hlášení se uvedou postižené prostory, kterých se vyhlášená opatření týkají.

- Radiační nehoda

Provádí se varování personálu a ostatních osob v areálu JE s upřesněním místa vzniku události prostřednictvím provozního a závodního rozhlasu. V případě nutnosti už mohou být uplatňována ochranná opatření pro personál elektrárny.

- Radiační havárie

Způsob varování je totožný jako u radiační nehody, navíc se na JE Dukovany spouští sedm venkovních rotačních sirén, vnitřní sirény a majáky. Na JE Temelín se spouští sedm venkovních elektronických sirén a závodní rozhlas ve kterém je spuštěn varovný tón. V hlášení se uvedou pokyny pro činnost personálu a ostatních osob. Sirény spouští operátor elektrodozorny. Zároveň se předává žádost na KOPIS pro spuštění předpřipravených varovacích nahrávek na České televizi, Českém rozhlase a spuštění sirén v ZHP. V případě, že není možnost spustit sirény v ZHP prostřednictvím KOPIS, může tak učinit operátor elektrodozorny nebo havarijní štáb (HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOST JADERNÝCH ELEKTRÁREN, 2009).

2.2 Ukrytí osob

K ukrytí osob je využito úkrytů a jiných vhodných prostorů k ochraně před účinky světelného a tepelného záření, pronikavé radiace, kontaminace radioaktivním prachem, chemickými nebo biologickými látkami a proti tlakovým účinkům zbraní hromadného

ničení. Ukrytí osob při mimořádných událostech se zajišťuje dle vyhlášky 380/2002 Sb. V improvizovaných úkrytech a ve stálých úkrytech. Improvizovaný úkryt je předem vybraný, optimálně vyhovující prostor ve vhodných částech bytů, obytných domů, provozních a výrobních objektů, který bude upravován při hrozbě nebo vzniku mimořádných událostí. Vhodné prostory, jsou voleny vzhledem ke konkrétním účinkům, které vznikají při výbuchu jaderných zbraní, při haváriích v jaderných energetických zařízeních, při použití otravných látek anebo při úniku průmyslových škodlivin. Stálé úkryty mají charakter zvláštní stavby, které se dělí na stálé tlakově odolné úkryty, stálé tlakově neodolné úkryty a ochranné systémy podzemních dopravních staveb (MARTÍNEK, a LINHART, 2006).

V elektrárně Dukovany je 7 úkrytů a 2 shromažďovací místa. Kapacita úkrytů je 2450 osob. Shromaždiště nemají stanovenou kapacitu osob. V elektrárně Temelín jsou připraveny a provozovány celkem 4 úkryty, dále 24 požárně-evakuačních shromaždišť, a 3 shromažďovací místa. Celková úkrytová kapacita osob v úkrytech je 1775 osob. Všechny budovy, ve kterých se úkryty nacházejí, jsou na vstupech označeny informační tabulí s informací o umístění úkrytu a jeho označení. Stálé tlakově odolné úkryty v elektrárně Dukovany a Temelín spadají dle ČSN normy pro výstavbu staveb civilní ochrany do nejvyšší 3. třídy odolnosti s odolností 200 kPa přetlaku v čele tlakové vlny. Každý úkryt disponuje dvěma ochrannými vchody a jedním nouzovým východem nebo výlezem. Ochranné vchody jsou tvořeny protitlakovou předsíní a dekontaminačními místnostmi. Všechny úkryty jsou vybudované jako zcela zapuštěné. Jsou vybaveny přístroji pro dozimetrickou kontrolu osob a zařízeními umožňujícími ochranu ukrytých osob, jako je např. speciální vzduchotechnika umožňující záchyt pevných radioaktivních částic, bojových otravných látek a bojových biologických prostředků. Doba, po kterou se mohou pracovníci ukrývat, je minimálně 72 hodin bez potřeby vnějších materiálních dodávek. Úkryty mají vlastní záložní zdroj elektrické energie (dieselgenerátor, akumulátory), případně jsou napojeny na záložní zdroje elektrické energie v rámci bezpečnostních systémů elektrárny. Každý úkryt je obsluhován krytovými družstvy (HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOST JADERNÝCH ELEKTRÁREN, 2009).

Ukrytí vyhláší směnový inženýr nebo velitel havarijního štábu při naplnění kritérií pro ukrytí. Každý zaměstnanec je povinen znát rozmístění úkrytů a shromaždišť.

2.3 Evakuace

Evakuace je jedním z nejrozšířenějších a nejúčinnějších opatření, která se používají při ochraně obyvatelstva před následky mimořádných událostí. Způsob provádění evakuace je uveden ve vyhlášce č. 380/2002 Sb. Vyhláška Ministerstva vnitra k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva. Pokyn k evakuaci je oprávněn vydat velitel zásahu, zaměstnavatel, obec nebo kraj. Evakuace je vždy závislá na konkrétní situaci, ale vždy je nutné respektovat nařízený způsob evakuace, aby nedocházelo ke zbytečné panice a dopravním problémům. Dle terminologického slovníku MV je evakuace definována jako: „*Je souhrn organizačních a technických opatření zabezpečujících přemístění osob, zvířat a věcných prostředků v daném pořadí priority z míst ohrožených mimořádnou událostí nebo krizovou situací do míst, ve kterých je zajištěno pro osoby náhradní ubytování a stravování, pro zvířata ustájení a pro věcné prostředky uskladnění* (Terminologický slovník MV, 2016, 17).“

Evakuace v jaderných elektrárnách je vyhlášována v případech, kdy nelze vyloučit nepřijatelné ozáření zaměstnanců tj. při radiační havárii. Při evakuaci se využívají smluvní dopravní prostředky nebo je možná tzv. samoevakuace s použitím osobních vozidel. Samoevakuace se uvažuje pouze v předúnikové fázi události. Elektrárny mají nasmlouvané konkrétní počty autobusů u smluvních dopravců, které jsou zaparkovány u elektráren. To platí pro pracovní i mimopracovní dobu. V případě vyhlášení evakuace jsou tyto autobusy přistavovány k jednotlivým úkrytům a shromaždištím, odkud je personál vyvážen z ohroženého území elektrárny. V průběhu prováděné evakuace je zajišťována dekontaminace personálu a techniky Hasičským záchranným sborem ČR a Armádou ČR. Síly a prostředky jsou povolávány na základě vzniklé situace orgány krizového řízení jednotlivých krajů. Na stanovených výstupech ze zóny havarijního plánování jsou zřízena dekontaminační stanoviště. Zde by byly prováděny další činnosti, vedoucí ke snížení následků případné radiační havárie. Evakuaci vyhláší směnový inženýr nebo velitel havarijního štábu při naplnění kritérií pro evakuaci (HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOST JADERNÝCH ELEKTRÁREN, 2009).

2.4 Jodová profylaxe

Prostředek jodové profylaxe je základní ochranou štítné žlázy proti účinkům radioaktivního jódu. V elektrárnách je připraven ve formě tablet jodidu draselného. Dávkování tohoto preparátu je stanoven na dvě tablety, tj. 130 mg jodidu draselného.

Jednotlivá balení jodidu draselného jsou pro personál v areálu elektráren uložena v úkrytech a na shromaždištích. Tímto preparátem je také provozovatelem JE bezplatně vybavováno obyvatelstvo v ZHP. Povinnost vybavit obyvatelstvo vyplývá z vyhlášky č. 359/2016 Sb. (HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOST JADERNÝCH ELEKTRÁREN, 2009).

Jodid draselný se dodává v balení o 4 tabletách - vyobrazeno na obrázku č. 3. Doba expirace je 5 let. V případě expozice radioaktivnímu jódu může jodid draselný zabránit poškození štítné žlázy tím, že se štítná žláza nasytí neradioaktivním jodem. Tím se zabrání příjmu radioaktivního jódu z kontaminovaného vzduchu, vody, mléka a jiné potravy. Jodid draselný je v případě jaderné havárie potřebné podat do 1 hodiny od vzniku nebezpečí. Proto je velmi důležité, aby případná radiační havárie byla oznámena obyvatelstvu co nejdříve. Požití jodových tablet vyhláší směnový inženýr nebo velitel havarijního štábu při naplnění kritérií pro použití jodové profylaxe.

Dávkování jodové profylaxe se v případě radiační havárie s únikem radioaktivního jódu vykonává u všech osob včetně dětí, těhotných a kojících žen, nacházejících se v ohrožené oblasti (výjimkou jsou lidé s alergií na jód). Při vyhlášení radiační havárie užijí obyvatelé tyto dávky jodidu draselného:

- novorozenci do 1 měsíce věku $\frac{1}{4}$ tablety,
- děti od 1 měsíce do 3 let $\frac{1}{2}$ tablety,
- děti od 3 let do 12 let 1 tableta,
- dospívající od 12 let a dospělí 2 tablety.

Novorozencům se další dávky nepodávají. Těhotným a kojícím ženám se podávají maximálně dvě dávky. Podat se má jenom jedna denní dávka, která má ochranný účinek trvající 24 hod (JODID DRASELNÝ HAMELN, 2021).



Obrázek 3 Jodid draselný (Jodid draselný, 2017)

2.5 Individuální ochrana

Prostředky individuální ochrany jsou technické prostředky, které při včasném a dovedném používání zabezpečují spolehlivou ochranu před zasažením nebezpečnými látkami. Jedná se především o prostředky, které chrání dýchací cesty a povrch těla při vynuceném a krátkodobém pobytu v radioaktivně, chemicky, infekčně a biologicky zamořeném prostředí. Při ochraně se využívají prostředky individuální ochrany a improvizované ochranné prostředky (Kratochvílová, Kratochvílová a Folwarczny, 2013).

Základním principem improvizované ochrany je využití vhodných oděvních součástí, které jsou k dispozici v každé domácnosti a pomocí kterých je možné chránit jak dýchací cesty, oči, tak celý povrch těla (Martínek a Linhart, 2006).

Prostředky individuální ochrany ochraňují proti radioaktivním látkám, bojovým chemickým látkám a bojovým biologickým prostředkům. Mohou být buď filtračního, nebo izolačního typu. Jestliže se provádí ochrana filtrací, zůstává organismus ve styku s okolním prostředím. Naopak při využití izolačního principu se odděluje chráněná osoba od okolního prostředí. Jako prostředky individuální ochrany jsou využívány ochranné masky pro děti a dospělé obyvatelstvo, dětské ochranné vaky, dětské ochranné kazajky, ochranné roušky, zdravotnické prostředky jednotlivce a osobní diagnostické dozimetry (Kratochvílová, Kratochvílová a Folwarczny, 2013).

Pro zajištění ochrany zaměstnanců při RMU spojených s únikem radioaktivních látek nebo ionizujícího záření jsou připraveny havarijní ochranné prostředky (HOP), které jsou k dispozici všem zaměstnancům JE i zaměstnancům dodavatelských organizací. HOP obsahuje celotělovou kombinézu TYVEK, rukavice, návleky na obuv, respirátor, balení jodové profylaxe. Součástí HOP je i návod na použití těchto prostředků. Zaměstnanci a ostatní osoby mají tyto prostředky k dispozici v úkrytech a na shromaždištích. Za výdej HOP odpovídá příslušné krytové nebo shromažďovací družstvo. Ochranný overal TYVEK Classic Plus je vyroben z netkané textilie. Zajišťuje ochranu proti roztokům chemikálií, azbestu, prachu a před znečištěním pevnými částicemi s obsahem radioaktivních látek (ochrana před povrchovou kontaminací). Respirátor je třídy FFP-3 s nízkým dýchacím odporem odpovídající normě EN 149:2001+A1:2009. Popisované HOP jsou používány na pracovní anebo civilní oděv. Pracovníci se do ochranných prostředků oblékají na pokyn směnového inženýra nebo velitele havarijního štábu. Oblékání probíhá v úkrytech a na shromaždištích tak, aby lidé vstupovali do kontaminovaného prostředí chráněni. Prostředky jsou určeny k jednorázovému použití a po použití je nutno s nimi zacházet

opatrně jako s radioaktivním materiálem. Postup oblékání a svlékání TYVEKU je specifický a každý zaměstnanec je z postupu pravidelně školený (HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOST JADERNÝCH ELEKTRÁREN, 2009).

Pro případy, kdy je nutné v rámci zvládnutí radiační mimořádné události provést manipulace a zásahy na technologii, jsou pracovníkům k dispozici další prostředky individuální ochrany, které mohou být použity i pro evakuační účely.

Jedná se o celoobličejovou masku Scott Promask s panoramatickým zorníkem, která je doplněná filtrem Scott CF 32 reaktor. Filtr je určen na ochranu proti vdechnutí radioaktivních prvků, zároveň filtruje bakterie, viry. Dalším prostředkem je filtrační přístroj Scott ProFlow. Filtrační přístroj pomocí ventilátoru dodává přes dva filtry vzduch do ochranného štítu nebo masky Promask, která je vyobrazena na obrázku č. 4.



Obrázek 4 Scott ProFlow s maskou PROMASK
(Foto autor)

Dále mají pracovníci k dispozici odolnější overal TYVEK. Jedná se o tzv. TYCHEM C ve žluté barvě, který je znázorněn na obrázku č. 5. Ten poskytuje vyšší stupeň ochrany než výše zmíněný TYVEK bílé barvy.



Obrázek 5 TYTCHEM C (Jednorázový oblek Tychem 2000 C, žlutý, © 1993-2021)

Pro použití při radiální mimořádné události jsou v úkrytech uloženy protichemické obleky civilní ochrany SOO-CO, které slouží jako ochrana povrchu těla před účinky otravných látek, radioaktivního spadu a bojových biologických prostředků. Příslušníci HZSp mají k dispozici plně hermetické přetlakové oděvy (VNITŘNÍ HAVARIJNÍ PLÁN JE, 2020).

3 DÍLČÍ ZÁVĚR

Po provedené deskripci současného stavu ochranných opatření pro personál v jaderných elektrárnách v ČR bylo zjištěno, že systém zvládnutí radiačních mimořádných událostí splňuje zákonné požadavky, které jsou na něj kladeny a kde je to možné a přínosné, jde nad rámec zákonných požadavků. Ochranná opatření, která jsou implementována v jaderných elektrárnách v ČR, jsou v oblasti efektivity srovnatelná se světovou praxí. Bezpečnost v jaderných zařízeních je důkladně prověřována státními a mezinárodními kontrolními orgány (IAEA, WANO, SÚJB atd.). Ochranná opatření jsou proces neustálého zlepšování, které vychází z interních a externích zkušeností. Například na základě incidentů, které byly klasifikovány v různých jaderných zařízeních. Ať už se jednalo o nehody nebo havárie. Oblast ochranných opatření je oblastí otevřenou, neboť se neustále zlepšují technické prostředky a používání organizačních nařízení k jejich implementaci.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PŘEHLED OCHRANNÝCH OPATŘENÍ PRO PERSONÁL JADERNÝCH ELEKTRÁREN VYBRANÝCH STÁTŮ EVROPSKÉHO REGIONU

Praktická část práce se zabývá deskripcí a následnou komparací jednotlivých ochranných opatření personálu jaderných elektráren vybraných států evropského regionu. Pro tuto práci byly vybrány 4 státy a to Slovensko, Maďarsko, Bulharsko a Švýcarsko.

4.1 Slovensko

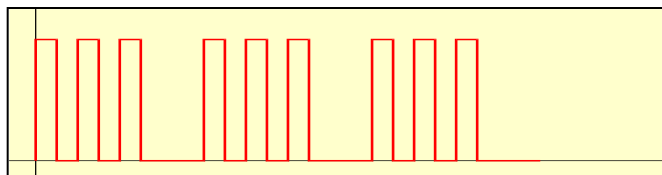
Na území slovenského státu jsou v provozu, stejně jako na území ČR, dvě jaderné elektrárny – elektrárna Bohunice a elektrárna Mochovce. V provozu jsou čtyři reaktory, dva jsou ve výstavbě a jejich typ je stejný, jako v JE Dukovany. Klasifikaci události a ochranná opatření jsou vyhlášována buď směnovým inženýrem, nebo aktivovanou havarijní komisí. Havarijní komise obou elektráren pracuje ze specializovaných pracovišť umístěných ve stálých tlakově odolných úkrytech. V případě nedostupnosti těchto pracovišť jsou k dispozici záložní pracoviště, většinou umístěné mimo areál elektrárny.

Stupně závažnosti nehody nebo havárie jsou rozděleny do tří stupňů. 1. stupeň – pohotovost, při kterém je ohrožené nebo narušení plnění bezpečnostních funkcí, v případě nepříznivého vývoje hrozí únik radioaktivních látek mimo stavební objekty jaderného zařízení. 2. stupeň – nouzový stav na území jaderného zařízení, který může vést nebo vede k úniku radioaktivních látek mimo stavebních objektů jaderného zařízení a na jeho území. 3. stupeň – nouzový stav v okolí jaderného zařízení, který může vést nebo vede k závažnému úniku radioaktivních látek do okolí jaderného zařízení (Slovensko, 2006).

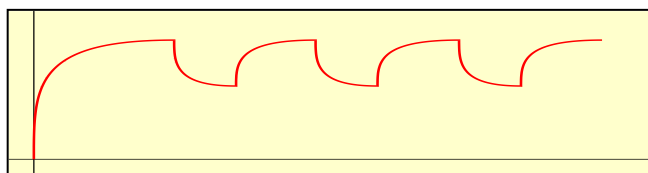
Varování a vyrozumění probíhá na základě vyhlášeného stupně a typu události (únik radioaktivních látek, únik škodlivin, narušení fyzické ochrany atd.). 1. stupeň se týká konkrétního stavebního objektu, vyrozumění a varování probíhá formou závodního rozhlasu. 2. stupeň (Nouzový stav na území JZ) už se týká celého areálu elektráren s možným radiologickým dopadem a uplatněním ochranných opatření pro personál. 3. nejzávažnější stupeň už vyžaduje ochranná opatření i v zóně havarijního plánování (elektrárna Mochovce má zónu stanovenou na 20 km, elektrárna Bohunice na 21 km).

Varovný signál v budovách je upřesněn doplňující informací o typu události. Samotný signál lze charakterizovat jako tříminutový pulzní signál. Varovací signál venkovních sirén trvá dvě minuty a je kolísavý. Test sirén nebo ukončení události je charakterizováno

dvouminutovým stálým tónem (jak vnější tak vnitřní varování). Varovací systém používaný na jaderných elektrárnách se nazývá VYR-VAR. Venkovní sirény jsou elektronické a umožňují předání verbální informace.



Obrázek 6 Varovný signál v budovách (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021)



Obrázek 7 Varovací signál mimo budovy sirénami (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021)

Na slovenských elektrárnách má každý úkryt a shromaždiště elektronickou evidenci osob. Havarijní komise má přehled o počtu osob v areálu, jednotlivých zónách a na konkrétních shromaždištích a úkrytech.

Ukrytí se provádí ve stálých tlakově odolných úkrytech, které jsou obsluhovány personálem elektrárny, ale zařazeným do organizace civilní ochrany (CO nespadá na rozdíl od ČR pod HZS). Výjimka je na elektrárně Mochovce na bloku 3 a 4, které jsou v současnosti ve výstavbě. Vzhledem k velkému počtu pracovníků výstavby se počítá rovnou s evakuací. Tomu odpovídá i vyšší počet shromaždišť (v době psaní práce jich bylo v areálu 17). Pokud je to možné a vhodné, i na Slovensku lze využít tzv. samoevakuaci, ale pouze v předúnikové fázi události. Pro ostatní případy jsou pro evakuaci v areálech připraveny evakuační autobusy. Evakuace probíhá po předem stanovených evakuačních trasách přes kontrolní stanoviště.

Ochrana štítné žlázy pracovníků vyplývá z požadavku legislativy a na slovenských elektrárnách je řešena formou tablet jodidu draselného. O požití jodových tablet rozhoduje směnový inženýr nebo havarijní komise při naplnění kritérií pro jejich použití.

Jako individuální prostředek ochrany se používá celotělová kombinéza TYVEK, gumové rukavice, návleky na obuv a respirátor třídy FFP-3 (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021).

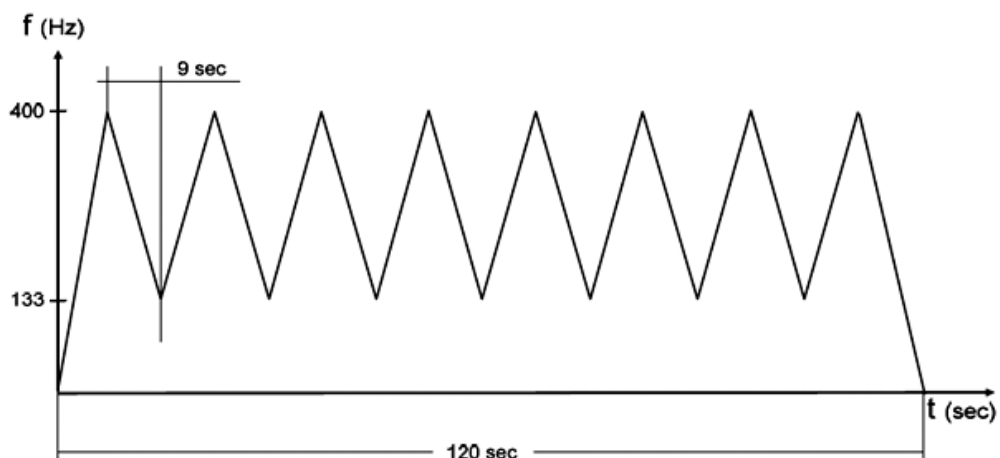
Ochrana personálu je na slovenských elektrárnách velmi podobná těm českým. Je to díky úzké spolupráci a sdílení zkušeností.

4.2 Maďarsko

Maďarsko provozuje jednu jadernou elektrárnu nedaleko města Pakš. V provozu jsou čtyři reaktory typu VVER jako v Dukovanech. Probíhá příprava výstavby dvou nových bloků, které v budoucnu nahradí dosluhující čtyři.

Klasifikace události je nastavena v principu stejně, jako již bylo popisováno výše – 1. stupeň (site alert) je lokálního charakteru, 2. stupeň (on-site emergency) zahrnuje areál elektrárny a 3. stupeň (general emergency) vyžaduje ochranná opatření v zóně havarijního plánování. Za vyhlášení příslušného stupně je zodpovědný směnový inženýr (plant shift engineer) nebo vedoucí organizace havarijní odezvy (emergency response organisation).

Varování personálu probíhá formou vnitřního a vnějšího systému. Signál sirén je nepřetržitý zvuk sirény se střídáním výšky tónu (133 Hz až 400 Hz) po dobu 120 sekund (viz obrázek č. 8). Signál je stejně jako v ČR platný jak pro areál elektrárny, tak pro zbytek státu (signál „katastrofa“).



Katasztrófariadó jelzés

Obrázek 8 Varovný signál „katastrofa“ (KATASZTRÓFARIADÓ, © 2021)

Ukrytí personálu se na elektrárně Pakš realizuje pouze pro personál havarijní odezvy a zásahové týmy určené pro řešení události na technologii elektrárny. V areálu jsou čtyři úkryty, ale používají se pouze dva pro mimořádné události – jeden je pro personál havarijní odezvy a druhý pro zmíněné zásahové týmy včetně zásob pro dlouhodobé ukrytí (oblečení, voda, strava, ochranné pomůcky atd.).

Evakuace je prioritní způsob ochrany personálu. Před samotnou evakuací proběhne shromáždění personálu na shromaždištích. Shromaždiště jsou venkovní a vnitřní a jsou volena dle radiační situace v areálu. I v Maďarsku připadá v úvahu samoevakuace vlastními dopravními prostředky, ale pouze v předúnikové fázi události. V pounikové fázi jsou pro evakuaci určeny autobusy. Zajímavostí je, že pro evakuaci je v areálu určen i vlak. Je určen pro celý areál a jeho zprovoznění zabere přibližně hodinu. Jede však pouze do nedalekého města Pakš. Jako další evakuační prostředek lze zmínit obrněné vozidlo KOMONDOR, vyobrazené na obrázku č 9. Především slouží ke svozu potřebného personálu pro řešení události, ale počítá se s ním i pro odvoz personálu při zhoršené radiační situaci. Kapacita vozidla je 11 lidí. Vozidlo má radiační stínění, radiační měření mimo i uvnitř vozidla a filtrační vzduchotechniku.



Obrázek 9 Obrněné vozidlo KOMONDOR elektrárny Pakš
(KOMONDOR armoured vehicle family, © 2020)

Jodová profylaxe je připravena pro personál na shromaždištích. Balení profylaxe jsou (na rozdíl od českých elektráren) ve velkých baleních po 100 tabletách (viz Obrázek číslo 10).



Obrázek 10 Tablety kalium jodid (100 tablet v balení), (Jodid 200 Tabletten)

Jako individuální prostředek ochrany je zvolena celohlavová maska s filtrem, která chrání dýchací cesty i oči (viz Obrázek číslo 11). Filtr chrání jak před radioaktivními látkami, tak před kouřem a zplodinami hoření. Ochrana těla proti povrchové kontaminaci není v počáteční fázi evakuace řešena (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021).



Obrázek 11 Celohlavová maska používaná na JE Pakš (Escape Hoods ABEK1P3, Reactor P3, COP3, © 2021)

4.3 Bulharsko

V Bulharsku se nachází jedna jaderná elektrárna v lokalitě Kozloduy, kde jsou v provozu dva bloky stejné jako na JE Temelín (VVER 1000). Čtyři bloky staršího typu byly před vstupem Bulharska do EU odstaveny. I přesto je zóna havarijního plánování stanovena na 30 km. Zajímavostí je, že téměř polovina zóny leží vzhledem k umístění elektrárny v Rumunsku. Klasifikace událostí je třístupňová.

K varování v elektrárně jsou k dispozici elektronické sirény, které kromě varovného signálu podávají i verbální informaci o vzniklé situaci. Ukrytí personálu je realizováno ve vestibulech, v případě zhoršené radiační situace se personál přemísťuje do úkrytů.

Evakuace se provádí pouze řízená. Pro tento účel je v areálu trvale připraveno třicet autobusů.

Jodová profylaxe se personálu distribuuje po vyhlášení události a následném shromáždění/ukrytí. Balení jodové profylaxe je složením shodné s tím, co je k dispozici v ČR (65 mg kalii iodium), ale balení obsahuje deset tablet, které je zobrazeno na obrázku číslo 12.



Obrázek 12 Balení jodové profylaxe v JE Kozloduy (Kalii Iodidum, 2010)

Individuální ochrana proti vnitřní a vnější kontaminaci je tvořena celotělovou kombinézou TYVEK a respirátorem FFP-3 (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021).

4.4 Švýcarsko

Ve Švýcarsku se v současnosti nacházejí 3 jaderné elektrárny. Pro účely této práce byla zvolena elektrárna Beznau se dvěma jadernými reaktory (tlakovodní PWR). Jedná se o nejstarší jadernou elektrárnu v provozu na světě (první blok v provozu od roku 1969). Elektrárnu provozuje firma Axpo. Zóna havarijního plánování je stanovena na 20 km.

Kategorizace událostí je podobná jako u předešlých popisovaných elektráren (tří stupňová). Rozdílem může být varovný kolísavý signál „Containment“ alarm, kdy se událost týká konkrétního bloku a je nařízena evakuace. Nouzový alarm se týká celého areálu elektrárny. Dále je možnost vyhlásit požární poplach.

Navíc funguje i sms systém pro informování personálu v areálu. Sms systém umožňuje odesílání sms, hlasových zpráv, zpráv na pagery a slouží i pro svolání personálu havarijní odezvy.,

Containment-Alarm



Verlassen Sie das Containment auf dem schnellsten

Weg durch die nächste Schleuse

Notfall-Alarm



Oder

Feuer-Alarm



Obrázek 13 Druhy alarmů na JE Beznau (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021)

Úkrytí personálu se na elektrárně nerealizuje. V areálu jsou dva úkryty, které ale slouží jako sklady. Vzhledem k celkovému počtu zaměstnanců (cca 450, při odstávce cca 550) se preferuje shromáždění a přímá evakuace.

V areálu nejsou předem nachystány evakuační prostředky. Používá se pouze samoevakuace vlastními dopravními prostředky.

Tablety jodové profylaxe jsou připraveny na shromaždištích a evakuačních centrech v zóně havarijního plánování. Individuální ochrana pro evakuované zaměstnance se nedistribuuje (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021).

5 SROVNÁNÍ OCHRANNÝCH OPATŘENÍ PRO PERSONÁL JADERNÝCH ELEKTRÁREN

Výběr států evropského regionu byl zvolen s ohledem na použitou technologii jaderných zařízení v ČR. Vybrané státy (kromě Švýcarska) využívají sovětský (ruský) projekt tlakovodního reaktoru typu VVER o různých výkonech. Státy s reaktory VVER se většinou řadí do tzv. východního bloku. Švýcarsko bylo zvoleno jako zástupce západní technologie. V JE Beznau je tlakovodní reaktor od dodavatele Westinghouse.

Analýza ochranných opatření pro personál jaderných elektráren vybraných států evropského regionu ukázala značnou podobnost v těchto opatřeních poskytovaných jednotlivými elektrárnami. Několik odlišností bylo identifikováno, jsou však způsobeny jinými legislativními požadavky a jinými zvyklostmi. Tato kapitola si klade za cíl srovnat zahraniční elektrárny s českými a navrhnout možná zlepšení ochranných opatření v ČR.

5.1 Vyrozumění a varování

U všech popisovaných elektráren byl nastaven systém vyrozumění a varování personálu. Mírně se lišil v použitých technologiích. V Bulharsku a na Slovensku je pro vyrozumění personálu v areálu využito elektronických sirén. Výhoda elektronických sirén spočívá v možnosti předání verbální informace o charakteru události a provozu i při blackoutu, protože disponují akumulátory. V JE Temelín jsou také elektronické sirény, v JE Dukovany jsou ale pouze rotační sirény, které nemají popisované výhody elektronických sirén. V případě blackoutu tak nelze rotační sirény použít. Do budoucna by tak bylo vhodné staré rotační sirény vyměnit za elektronické. Při výměně sirén je nutné provést následující:

- připravit „akustickou“ mapu pokrytí areálu elektrárny sirénami,
- vzít v úvahu i možnost stavby nových budov (v souvislosti s novým jaderným zdrojem) a pokrytí většího území,
- na základě mapy rozšířit/ponechat počet sirén v areálu,
- upravit ovládací systém (HW a SW) sirén,
- zřídit ovládací systém dostatečně robustní a s odpovídající zálohou (standardní, záložní pracoviště).

Výše bylo uvedeno, že ve Švýcarsku byl pro informování personálu k dispozici sms systém. U obou českých elektráren je pro registrované k dispozici informační sms a mailový systém v zónách havarijního plánování. V době psaní této práce bylo zjištěno, že je připravována modifikace zmíněného systému pro informování personálu elektráren. Při zavádění sms/mailového vyrozumívacího systému je nutné zvážit:

- kapacitu sms/mailové brány,
- propustnost sms zpráv a mailů (počet odeslaných zpráv/mailů za minutu),
- HW a SW oddělení systémů pro obyvatelstvo a personál z hlediska kybernetické bezpečnosti,
- rychlost a přístupnost systému pro odeslání notifikací (dostupnost přes webový prohlížeč).

5.2 Ukrytí

U ochranného opatření ve formě ukrytí byly touto prací identifikovány rozdíly mezi jednotlivými elektrárnami. V Maďarsku se ukrývá pouze personál určený pro řešení radiační mimořádné události. Úkryty v areálech většinou slouží jinému účelu (skladovací nebo odpočinkové prostory). Absence ukrytí v JE Beznau je paradoxně způsobena tím, že podíl úkrytů k počtu obyvatel je ve Švýcarsku cca 95 %. Téměř každý občan tak má zajištěno ukrytí a elektrárna personál prioritně evakuuje (zůstává pouze personál, havarijní štáb a zásahové týmy).

Ostatní státy při vzniku mimořádné události s potenciálem úniku radioaktivních látek realizují ukrytí před evakuací. Vzhledem k době výstavby elektráren se většinou jedná o stálé tlakově odolné úkryty, které poskytují ochranu před ionizujícím zářením, ale i chemickými a biologickými látkami a jsou seizmicky odolné. Úkryty na jaderných elektrárnách v ČR jsou udržovány v provozuschopném stavu dle normy ČSN 73 9050 údržba stálých úkrytů civilní obrany. Pravidelně se jejich funkčnost ověřuje při havarijních cvičeních.

5.3 Evakuace

Všechny výše uvedené státy mají ve svých havarijních předpisech připravenou možnost evakuace. Rozdíl je u Švýcarska, kde je realizována pouze samoevakuace personálu bez předem připravených dopravních prostředků.

Ostatní státy mají v areálech předem připravené dopravní prostředky (většinou autobusy) a samoevakuaci vlastními prostředky umožňují pouze v předúnikové fázi události. V případě radioaktivního úniku je personál evakuován připravenými prostředky. V případě jaderných elektráren v ČR se evakuace realizuje buď bez předchozího ukrytí, nebo po ukrytí.

Jak bylo uvedeno výše, v Maďarsku slouží k evakuaci mimo jiné vlak. Tento evakuační prostředek by bylo možné využít i v jaderných elektrárnách v ČR. K oběma elektrárnám vedou železniční vlečky. Z JE Dukovany se vlečka zaústíuje do regionální železniční dráhy v Rakšicích. Z JE Temelín se vlečka zaústíuje do regionální železniční dráhy v Čičenicích. Pro účely evakuace vlakem by bylo nutné připravit následující:

- definovat množství dopravních prostředků (vagonů) a jejich kapacitu,
- pořízení dopravních prostředků a určení obsluhy evakuačního prostředku,
- rychlost zphotovení vlaku pro evakuaci,
- upravit režimy evakuace z JE (z hlediska fyzické ochrany),
- úpravu, případně vytvoření nových dekontaminačních a evakuačních středisek,
- technické úpravy na železniční trati pro případ evakuace (nástupiště, označení nástupních ploch atd.)
- upravit havarijní (vnitřní a vnější) a evakuační plány,
- uzavřít dohodu s SŽDC a ostatními vnějšími orgány o využití regionální, případně národní dráhy.

5.4 Jodová profylaxe

Všechny popisované elektrárny zajišťují pro personál jodovou profylaxi formou jodových tablet. Jódové tablety jsou zvoleny z důvodu, že radioaktivní jód (^{131}I) má nejzávažnější účinky na lidský organismus (na štítnou žlázu).

Přestože má každý stát odlišného výrobce, množství účinné látky je velice podobné. Rozdílnost však spočívá ve velikosti jednotlivých balení. Největší balení bylo identifikováno v Maďarsku (100 tablet v jednom balení). Nejmenší balení (4 tablety) bylo v ČR a na Slovensku.

Výhodou velkých balení je menší náročnost na transport, skladování a distribuci na výdejní místa. Velká balení mají i nižší nákupní cenu. Nevýhodou je horší distribuce koncovým uživatelům, z důvodu nutnosti dělení jednotlivých dávek. V úkrytech a na shromaždištích by to při zachování hygienických podmínek znamenalo vydávat (vymačkávat nebo stříhat blistry) po dvou tabletech (při 65 mg KI na jednu tabletu). Vzhledem ke kapacitě úkrytů a shromaždišť by tato činnost zatížila většinu krytového nebo shromažďovacího družstva.

Výhodou malých balení je rychlost distribuce koncovým uživatelům. Není nutné stříhat nebo vymačkávat blistry a menší balení obsahují rovnou dvě dávky jodové profylaxe (4 tablety). Nevýhody malých balení jsou opakem výhod velkých balení.

Bylo by proto vhodné zvážit, které výhody a nevýhody pro danou lokalitu převažují a podle toho přizpůsobit obsah balení tablet. Vždy je však nutné dodržet zákonné požadavky na obsah látky v jedné tabletě.

5.5 Individuální ochrana

Prostředky využívané pro individuální ochranu byly mezi jednotlivými elektrárnami odlišné. ČR, Slovensko a Bulharsko poskytují stejné základní prostředky individuální ochrany pro personál – kombinéza TYVEK, rukavice, návleky na obuv, respirátor třídy FFP-3. Na JE Beznau prostředky individuální ochrany neposkytují. V Maďarsku se poskytuje pouze celohlavová maska popisovaná v kapitole výše. Výhodou celohlavové masky je jednodušší manipulace (oblékání a svlékání) a ochrana před vnitřní kontaminací přes oční sítnici. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena než respirátor třídy FFP-3 a vyšší nároky na skladovací prostory.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo provést deskripci současných opatření pro personál v jaderných elektrárnách ČR a deskripci jednotlivých opatření vybraných elektráren evropského regionu a jejich srovnání s opatřeními v ČR. Díky mezinárodním organizacím (IAEA, WANO atd.) je, podobně jako v leteckém průmyslu, zajištěno sdílení informací při vzniku i těch nejmenších poruch na zařízení. Vzhledem ke sdílení zkušeností má většina provozovatelů jaderných elektráren i podobně nastaveny systémy kategorizací událostí, aby i ostatní provozovatelé mohli posoudit závažnost situace. Organizace WANO má zřízena regionální krizová centra, která sdružují regionální provozovatele a slouží pro jejich informování v případě vzniku událostí na některé elektrárně. Dokonce je schopno poskytovat i expertní a technickou pomoc postižené elektrárně. Ostatní elektrárny mohou poskytovat i materiální vybavení (dozimetrické přístroje, záložní zdroje energie, personální experty atd.).

Provozovatelé reaktorů VVER se pravidelně setkávají na akcích konaných organizací IAEA, WANO, ale i „soukromě“ mimo organizace formou meetingů, benchmarkingů atd. Proto jsou nastavená ochranná opatření velmi podobná a pravidelně ověřovaná formou havarijních cvičení.

Z této práce vychází, že ochranná opatření na jaderných elektrárnách v ČR splňují zákonné požadavky. Kde je to možné a přínosné, je dokonce převyšují. Je to díky požadavkům tzv. nejlepší praxe z ostatních elektráren. Analýza a následná komparace ochranných opatření mezi jednotlivými elektrárnami identifikovala možné návrhy na zlepšení pro jaderná zařízení v České republice. Jmenovitě se jedná o návrhy na zlepšení v oblasti vyrozumění a varování, evakuace a individuální ochrany. Konkrétní návrhy na zlepšení jsou uvedeny v kapitole 5.

Přesto lze konstatovat, že ochranná opatření v jaderných elektrárnách v České republice jsou na vysoké úrovni srovnatelné s nejlepší světovou praxí.

Přínos práce lze spatřovat v identifikaci odlišností v ochranných opatřeních pro personál jaderných elektráren a možnostech k jejich implementaci pro jaderné elektrárny ČR. Přijetím některých opatření je možné zvýšit ochranu personálu v rámci jaderných elektráren ČR.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Backgrounder on the Three Mile Island Accident, 2018. *United States Nuclear Regulatory Commission* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>

BROMOVÁ, Edita et al., 2013. *Jaderná energie a energetika* [online]. Tábor [cit. 2021-04-20]. ISBN 978-80-87851-01-2. Dostupné z: <http://books.simopt.cz/cz/multimedialniknihy/jadroz-jaderna-energie-a-energetika>)

CEJNAR, Pavel, 2017. Oklo – jaderné reaktory z pravěku. *Ústav částicové a jaderné fyziky MFF UK* [online]. Praha: Univerzita Karlova [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/cejnar/publikace/Oklo.htm>

Cíle udržitelného rozvoje, 2020. In: *Trello* [online]. Praha: OSN Česká republika [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://trello.com/c/Iiv9oKI9/109-sdg-poster-soubor-v%C5%A1ech-ikon-s-embl%C3%A9mem-osn-a3-png-a-jpeg>

ČESKO, 2016 a. Zákon č. 263/2016 Sb.: Zákon atomový zákon. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>

ČESKO, 2016 b. Vyhláška č. 422/2016 Sb.: Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>

ČESKO, 2016 c. Vyhláška č. 359/2016 Sb.: Vyhláška o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-359#cast2>

Dědictví Černobylu: zdravotní, ekologické a sociálně ekonomické dopady: a, Doporučení vládám Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny, 2006. [Praha]: ČSVTS. ISBN 80-020-1806-0.

DIENSTBIER, Zdeněk, 2010. *Hirošima a zrod atomového věku: cesta od atomových zbraní k nukleární medicíně a jaderným elektrárnám*. Praha: Mladá fronta. Kolumbus. ISBN 978-802-0422-248.

DRÁBOVÁ, Dana. Černobylská havárie: Pravda není nikdy čistá a málo kdy bývá jednoduchá. In: *Státního úřadu pro jadernou bezpečnost* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:

https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/cernobylska_havarie.pdf

Escape Hoods ABEK1P3, Reactor P3, COP3, © 2021. In: *Gamma* [online]. Budapest [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:

http://gammatech.hu/?module=products&site=welcome&group=divisions_cdefence_industrial&mnuGrp=mnuProducts-mnuProducts_Division&menupath=divisions-divisions_cdefence-divisions_cdefence_industrial&product=escapehood&lang=eng

HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOST JADERNÝCH ELEKTRÁREN, 2009. Dukovany.

HERNECK, Friedrich, 1974. *Průkopníci atomového věku*. Praha: Orbis.

IAEA History, © 1998–2021. *International Atomic Energy Agency: History* [online].

Vienna: International Atomic Energy Agency [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:

<https://www.iaea.org/about/overview/history>

Jodid 200 Tabletten. In: *APONEO* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:

<https://www.aponeo.de/03799133-jodid-200-tabletten.html>

JODID DRASELNÝ HAMELN, 2021. In: *Státní ústav pro kontrolu léčiv* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:

<https://www.sukl.cz/modules/medication/detail.php?code=0180708&tab=texts>

Jodid draselný, 2017. In: *TV Piešťany* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:

<http://piestanytv.sk/zacina-vymena-jodovych-tablet/>

Kalii Iodidum, 2010. In: *Ramco pharm* [online]. Sofia [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:

<https://ramcopharm.bg/product/kalii-iodidum/?lang=en>

KATASZTRÓFARIADÓ, © 2021. In: *Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság:*

Tájékoztató-riasztó rendszerek [online]. Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság [cit.

2021-04-21]. Dostupné z: <https://tolna.katasztrofavedelem.hu/33291/tajekoztato-riasztorendszerek>

KOMONDOR armoured vehicle family, © 2020. In: *Gamma* [online]. Budapest: GAMMA Technical Corporation [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: http://www.gammatech.hu/downloads/cat/Gamma_KOMONDOR%20armoured%20vehicle%20family.pdf

Kratochvílová, Danuše, Danuše Kratochvílová a Libor Folwarczny, 2013. *Ochrana obyvatelstva. 2.*, aktualiz. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN ISBN978-80-7385-134-7.

MACOUN, Jiří, 2012. Atomový věk začal přesně před 70 roky. Reaktorem ze dřeva. *Idnes* [online]. Praha: Univerzita Karlova [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/veda/fermi-a-prvni-jaderny-reaktor.A121130_170709_veda_mla

MALKO, 2009. *History of radiation and nuclear disasters in the former USSR* [online]. Minsk: National Academy of Sciences of Belarus [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/en/Malko2009English.pdf>

Martínek, Bohumír a Petr Linhart, 2006. Ochrana obyvatelstva: Modul E. In: *Hasický záchranný zbor České republiky* [online]. Praha: MV-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/moduly-studijni-texty-k-problematice-bezpecnosti.aspx>

Příručka pro ochranu obyvatelstva, 2020. In: *Skupina ČEZ* [online]. Praha: Útvar havarijní připravenosti ČEZ [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu/prirucka-pro-ochranu-obyvatelstva>

SLOVENSKO, 2006. Vyhláška č. 55/2006 Z. z.: Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky o podrobnostiach v havarijnom plánovaní pre prípad nehody alebo havárie. In: *Sbírka zákonů České republiky*.

SUJB Úvod. *Státního úřadu pro jadernou bezpečnost* [online]. Praha: Státního úřadu pro jadernou bezpečnost [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/uvod>

SÚJB, 2020. *SÚJB Legislativa* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/legislativa>

Sustainable Development Goals (SDGs), © 1998–2021. *International Atomic Energy Agency* [online]. Vienna: International Atomic Energy Agency [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/about/overview/sustainable-development-goals>

Terminologický slovník MV, 2016. In: *Ministerstvo Vnitra České republiky: Mimořádné události* [online]. Praha: Ministerstvo Vnitra České republiky [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/terminologicky-slovník-krizove-rizeni-a-planovani-obrany-statu.aspx>

The International Nuclear and Radiological Event Scale: User's Manual, ©2013. 2008 Edition. Vienna: International Atomic Energy Agency.

Three Mile Island Accident, © 2016-2021. *World Nuclear Association* [online]. London: World Nuclear Association [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/three-mile-island-accident.aspx>

Tokaimura Criticality Accident 1999, © 2016-2021. *World Nuclear Association* [online]. London: World Nuclear Association [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/tokaimura-criticality-accident.aspx>

ÚTVAR HAVARIJNÍ PŘIPRAVENOSTI JE, 2021. *Ochranná opatření personálu JE*. Dukovany.

VNITŘNÍ HAVARIJNÍ PLÁN JE, 2020. Revize 7. Dukovany.

WAGNER, Vladimír, 2015. *Fukušima I poté*. Praha: Novela bohémica. ISBN 978-80-87683-45-3.

WENRA. *Státního úřadu pro jadernou bezpečnost* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/wenra>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Bq	Becquerel
ČR	Česká republika
ČSN	česká státní norma
FFP	Filtering Face Piece
HOP	havarijní ochranné prostředky
HW	Hardware
Hz	hertz
HZS	hasičský záchranný sbor
HZSp	hasičský záchranný sbor podniku
IAEA	International Atomic Energy Agency
INES	International Nuclear and Radiological Event Scale
JE	jaderná elektrárna
JSVV	jednotný systém varování a vyrozumění
JZ	jaderné zařízení
KOPIS	krajské operační a informační středisko
kPa	kilopascal
mg	miligram
mGy	miligray
mSv	milisievert
MV	ministerstvo Vnitra
MW	megawatt
OSN	Organizace spojených národů
PWR	Pressurized Water Reactor
RBMK	Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj
RMU	radiační mimořádná událost

SMS	Short message service
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SW	Software
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TBq	Terabecquerel
TNT	trinitrotoluen
USA	United States of America
VVER	vodo-vodní energetický reaktor
W	watt
WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association
ZHP	zóna havarijního plánování

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Cíle udržitelného rozvoje (Cíle udržitelného rozvoje, 2020).....	21
Obrázek 2 Grafické znázornění signálu Všeobecná výstraha (Příručka pro ochranu obyvatelstva, 2020).....	28
Obrázek 3 Jodid draselný (Jodid draselný, 2017).....	31
Obrázek 4 Scott ProFlow s maskou PROMASK (Foto autor)	33
Obrázek 5 TYTCHEM C (Jednorázový oblek Tychem 2000 C, žlutý, © 1993-2021).....	34
Obrázek 6 Varovný signál v budovách (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021).....	38
Obrázek 7 Varovací signál mimo budovy sirénami (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021)	38
Obrázek 8 Varovný signál „katastrofa“ (KATASZTRÓFARIADÓ, © 2021).....	39
Obrázek 9 Obrněné vozidlo KOMONDOR elektrárny Pakš (KOMONDOR armoured vehicle family, © 2020)	40
Obrázek 10 Tablety kalium jodid (100 tablet v balení), (Jodid 200 Tabletten).....	41
Obrázek 11 Celohlavová maska používaná na JE Pakš (Escape Hoods ABEK1P3, Reactor P3, COP3, © 2021)	41
Obrázek 12 Balení jodové profylaxe v JE Kozloduy (Kalii Iodidum, 2010)	42
Obrázek 13 Druhy alarmů na JE Beznau (Útvar havarijní připravenosti JE, 2021).....	43