

Bezpečnost jaderného zařízení v ČR

Marek Dokoupil

Bakalářská práce
2016

 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: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek Dokoupil**
Osobní číslo: **L12130**
Studijní program: **B2825 Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Ochrana obyvatelstva**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Bezpečnost jaderných zařízení v ČR**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na zadané téma, vymezte bezpečnost jaderných zařízení v ČR.
2. Provedte komplexní analýzu bezpečnosti jaderných zařízení v ČR s důrazem na jaderné zařízení Dukovany.
3. Navrhněte opatření na zvýšení bezpečnosti v jaderné elektrárně Dukovany a formulujte je.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] BINHACK, Petr a kol. Energetická bezpečnost ČR a budoucnost energetické politiky EU. Praha: Ústav mezinárodních vztahů, 2011. 166 s. ISBN 978-80-87558-02-7.

[2] VÍCHA, Ondřej. Základy horního a energetického práva. Praha: Wolters Kluwer, 2015. 228 s. ISBN 978-80-7478-920-5.

[3] JANDOVÁ, Dobroslava. Balneologie. Praha: Grada Publishing, 2009. 440 s. ISBN 978-80-247-2820-9.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Zdeněk Šafařík, Ph.D.**

Ústav ochrany obyvatelstva

Datum zadání bakalářské práce: **5. února 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. května 2016**

V Uherském Hradišti dne 12. února 2016



doc. RNDr. Jiří Dostál, CSc.
děkan

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem předkládané práce je objasnit jadernou energetiku České republiky a její potenciál pro ČR a dále představit úroveň bezpečnosti jaderného zařízení v rámci zvolené jaderné elektrárny, kterou je elektrárna Dukovany.

Stanovenému cíli odpovídá také struktura práce, která se člení do dvou nosných částí. V první kapitole je pozornost zaměřena nejprve na vymezení jaderné energie a historie získávání energie z jádra. Dále je představena jaderná energetika České republiky, její formování z hlediska minulosti a její současný vývoj. Dále je pozornost zaměřena na představení jaderných elektráren ČR, na technologii a zabezpečení elektráren včetně představení platné legislativy v oblasti jaderné energetiky.

V druhé kapitole je ústřední pozornost věnována jaderné bezpečnosti zvolené jaderné elektrárny, kterou je jaderná elektrárna Dukovany. Nejprve je pozornost věnována představení zvolené elektrárny, její charakteristice. Dále je přistoupeno k představení systému jejího zabezpečení a bezpečnostních opatření, která se v jaderné elektrárně Dukovany uplatňují. V závěru této kapitoly je přistoupeno k zhodnocení úrovně jaderné bezpečnosti a radiační ochrany zvolené elektrárny.

Klíčová slova: Dukovany, jaderná energie, jaderné reaktory, jaderná elektrárna

ABSTRACT

The aim of this study is to clarify the nuclear power industry in Czech Republic and its potential for the Czech Republic and imagine the level of safety of nuclear installations within the chosen nuclear power plant, which is the power station Dukovany.

The set objective also corresponds to the structure of the work, which is divided into two supporting parts. The first chapter is focused on the first delimitation of nuclear energy and the history of obtaining energy from the core. Then is nuclear energy of the Czech Republic, process of its formation in terms of its past and current developments. Further attention is focused on the performance of the Czech nuclear power plants, technology and security

of power plants including the introduction of legislation in force in the field of nuclear energy.

In the second chapter, the main attention is paid to nuclear safety of selected nuclear power plant, which is the Dukovany nuclear power plant. First attention is dedicated to performance of selected plants and its characteristics. Furthermore, proceeded to introduce the system of security and safety measures at nuclear power plant Dukovany apply. At the end of this chapter is to approached to evaluate the level of nuclear safety and radiation protection chosen plants.

Keywords: Dukovany, nuclear energy nuclear, nuclear reactors, nuclear power plant

Děkuji RNDr. Zdeňku Šafaříkovi, Ph.D. za kvalitní a odborné vedení bakalářské práce a cenné rady při jejím zpracování.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty logistiky a krizového řízení Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že 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;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že 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 totožné.

V Uherském Hradišti

25.2.2016


.....
podpis studenta

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 JADERNÁ ENERGETIKA ČESKÉ REPUBLIKY.....	11
1.1 JADERNÁ ENERGIE A HISTORIE ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE Z JÁDRA.....	11
1.1.1 Vývoj jaderné energie od 50. let minulého století do současnosti	12
1.1.2 Konstrukční principy jaderných reaktorů	14
1.2 JADERNÁ ENERGETIKA ČESKÉ REPUBLIKY.....	16
1.2.1 Historie vývoje jaderné energetiky ČR	16
1.2.2 Současný a předpokládaný budoucí vývoj jaderné energetiky v ČR.....	18
1.3 JADERNÁ ZAŘÍZENÍ ČR.....	20
1.3.1 Elektrárna Dukovany.....	20
1.3.2 Elektrárna Temelín.....	22
1.3.3 Nakládání s vyprodukovaným jaderným odpadem	23
1.3.4 Zabezpečení jaderných elektráren	25
1.4 RIZIKO JADERNÉ HAVÁRIE A PŘÍPADY VELMI TĚŽKÝCH JADERNÝCH HAVÁRIÍ.....	28
1.5 STĚŽEJNÍ LEGISLATIVA V OBLASTI JADERNÉ ENERGETIKY	32
1.6 ANALÝZA RIZIK	35
1.7 METODY ANALÝZY RIZIK.....	36
1.7.1 Kvalitativní metody.....	36
1.7.2 Kvantitativní metoda.....	36
1.7.3 Příklady metod analýzy rizik.....	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
2 JADERNÁ ELEKTRÁRNA DUKOVANY A JEJÍ BEZPEČNOST	39
2.1 CHARAKTERISTIKA JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY A ZABEZPEČENÍ VSTUPU DO AREÁLU.....	39
2.1.1 Zařízení, pracoviště a technická data o jaderné elektrárně Dukovany	41
2.1.2 Organizační struktura jaderné elektrárny Dukovany.....	45
2.1.3 Areál jaderné elektrárny Dukovany a jeho specifika.....	46
2.2 BEZPEČNOST A BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ UPLATŇOVANÁ V RÁMCI JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY	50
2.2.1 Ochranné technické zabezpečení elektrárny	51
2.2.2 Fyzická ochrana elektrárny Dukovany a ochrana zdraví pracovníků.....	56
2.2.3 Vnitřní a vnější havarijní připravenost elektrárny Dukovany	58
2.3 HODNOCENÍ ÚROVNĚ JADERNÉ BEZPEČNOSTI A RADIAČNÍ OCHRANY ELEKTRÁRNY DUKOVANY	61
3 VÝPOČET MÍRY RIZIKA.....	66
4 CHECK LIST (KONTROLNÍ SEZNAM).....	68
5 NÁVRH NA ELIMINACI RIZIK	69

ZÁVĚR	70
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	73
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
SEZNAM OBRÁZKŮ	79
SEZNAM TABULEK.....	80

ÚVOD

V průběhu nového tisíciletí zakladatel Greenpeace, Patrick Morre ve svém projevu komisi amerického kongresu prohlásil, že jaderná energetika je jediným zdrojem, který neemituje skleníkové plyny a může tak nahradit fosilní paliva, a zároveň uspokojit stále rostoucí světovou spotřebu energie [1]. Jeho projev vysoce zapůsobil na světovou veřejnost a dřívější odpůrci atomové energie, začali přehodnocovat své dřívější postoje a názory na potenciál této energie. Vezmeme-li v úvahu také fakt, že jedna jaderná reakce dává 50 milionkrát větší výtěžek energie, než je možné získat z fosilních paliv. Díky tomu tak jaderná energetika přináší také řešení náhrady současných tekutých paliv, především pak za naftu a zemní plyn.

Tomuto odpovídá také fakt, že především v posledním desetiletí začíná napříč globální ekonomikou docházet k tzv. **jaderné renesanci**, tedy k přehodnocování názorů a postojů na využívání energie z jádra, což primárně pramenilo z posilování významu dvou globálních problémů, a to vlivu skleníkových plynů na změnu klimatu a zhoršující se přístup k energetickým zdrojům, který zprostředkovaně snižuje energetickou bezpečnost zemí. Právě jaderná energetika umožňuje řešit oba tyto problémy najednou. V současnosti největšími stoupenci obnovy jaderné energie jsou Francie a Finsko, které přistoupily k budování nových moderních bloků tzv. třetí generace [2].

Také v podmínkách České republiky (ČR) má jaderná energie své nezpochybnitelné místo, neboť je dlouhodobě součástí energetického mixu palivo-energetické bilance. Neustále se však zvyšující spotřeba energie v rámci ČR vyvolává závažné implikace a zároveň výzvy z hlediska budoucnosti. Vlivem toto je tak možné predikovat, že právě jaderná energetika bude mít zásadní vliv na rozvoj české ekonomiky, neboť prozatím neexistuje prakticky lepší energetický zdroj, který by současně zajistil rostoucí nároky na energii a přitom by nezatěžoval životní prostředí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 JADERNÁ ENERGETIKA ČESKÉ REPUBLIKY

V teoretické části je pozornost zaměřena na představení historického a současného vývoje v oblasti jaderné energie v ČR. Součástí této kapitoly je též představení jaderných elektráren ČR, technologie a zabezpečení elektráren. V závěru kapitoly je přistoupeno k představení české legislativy upravující problematiku jaderné energetiky a jaderné bezpečnosti.

1.1 Jaderná energie a historie získávání energie z jádra

Ještě dříve než bude přistoupeno k představení jaderné energetiky České republiky, je nutné vymezit co je jaderná energie, z čeho je získávána a jakým postupem (procesem) je energie z jádra získána.

Základem jaderné energie, resp. jaderné energetiky je **jaderné štěpení** o obrovské síle, která svazuje protony a neutrony¹. Tato síla přesahující elektrickou sílu odpuzující protony a udržující základní částice v nepatrném objemu jádra atomů, se označuje za **jadernou (nukleární) sílu**. Na současné úrovni lidského poznání jsou známy čtyři způsoby, jak je možné energii vázanou v jádrech atomů uvolnit, přičemž v energetickém průmyslu se využívají pouze dva přístupy, a to [3]:

- **štěpení těžkých jader**, především pak uranu-235 a plutonia-239 v zařízeních nazývaných jako jaderné (štěpné) reaktory,
- **slučování (fúze) lehkých jader** především pak deuteria a tritia (jedná se o formy těžkých vodíků) v zařízeních nazývaných jako termojaderné reaktory. Tento proces představuje možnost uvolnění obrovského množství energie, problematique však je sblížit jádra tak, aby se spojila, protože jádra jsou kladně nabitá a stejné náboje se vzájemně odpuzují.

¹ Protony a neutrony jsou základními částicemi jádra atomu. Protony jsou částice s kladně nabitým nábojem a neutrony jsou částice bez elektrického náboje.

- Nejrozšířenější je přitom první přístup, tj. **štěpení jádra atomu**, které je bezpečnější než druhý přístup, a zároveň se jedná o dostupnou alternativu výroby elektrické energie. Za objevitele jaderného štěpení jsou pokládáni tři fyzikové, a to Lisa Meitnerová, Otto Hahn² a Fritz Strassmann, kteří se na jeho objevení podíleli ve 30. letech minulého století.
- Následně 2. prosince 1942 byl v Chicagu spuštěn první **funkční jaderný reaktor** pod vedením italského vědce Enrica Fermiho. Fermi vypracoval teorii funkčního jaderného reaktoru složeného z kysličníků přírodního neobohaceného uranu (palivo) a grafitu (moderátor – zpomalovač), kterou současně převedl do strojírenskotesařských stavebních výkresů. Započatá stavba se skládala z bytelné kostry sroubené z dřevěných trámů. Aktivní zónu tvořily vrstvy grafitových cihel, které se ze suroviny zhotovovaly přímo v místě na dřevoobráběcím stroji. Ve středu reaktoru bylo rozmístěno štěpné palivo.
- Již v tomto období bylo zřejmé, že jaderná energie obsahuje nesmírnou sílu, která změní dějiny lidstva. Symbolickým potvrzením této domněnky bylo využití **atomové (jaderné) energie ve vojenství** (sestavení atomové bomby), kdy na konci 2. světové války byly za použití této energie vybombardovány dvě japonská města, a to Hirošima a Nagasaki. Prakticky poprvé tak neřízená štěpná reakce atomových bomb poukázala na možná rizika spojená s využíváním jaderné energie, neboť jednoznačně přesvědčila svět o sekundární ničivé síle jaderných zbraní [4].

1.1.1 Vývoj jaderné energie od 50. let minulého století do současnosti

Teprve až stoupající energetické potřeby světové společnosti překonaly během druhé poloviny 20. století strach z jaderné energetiky a zadaly tomu, že jaderná energetika se postupně stala nedílnou součástí energetické výroby. Toto rozhodnutí vycházelo z uvědomění si, že obrovská síla ukrytá v jádrech atomů může být využita k prospěchu celé planety a vyřešit tak tíživé energetické problémy lidstva. Prakticky první výroba elektrické energie na zákla-

² Otto Hahn v roce 1944 získal Nobelovu cenu za chemii, a to za objev štěpení uranu odstřelovaného

dě jaderného štěpení byla zahájena v roce 1951 v Idaho Falls v USA, kdy byla získána energie dodána do elektrické sítě testovacího reaktoru ACRO. Následně v roce 1954 byla v Obninsku u Moskvy uvedena provozu **první komerční atomová elektrárna** o výkonu 5 MW_e (pro srovnání dnešní jaderné reaktory dosahují výkonu až 1 200 MW_e). Tato elektrárna zásobila přibližně 2000 domácností elektrickou energií [5].

Další posun přinesla 70. léta minulého století, kdy začalo docházet k rychlému růstu jaderné energetiky, tj. zatímco v roce 1970 činila světová výroba elektřiny pocházející z jaderných elektráren 150 TWh, v roce 1980 činila světová výroba elektřiny z jádra okolo 600 TWh. Následně v roce 1987 dosáhla jaderná energetika 16% podíl na výrobě elektrické energie ve světě.

Následně konec 80. let minulého století znamenal zpomalení rozvoje jaderné energetiky, díky zdůraznění rizik a hrozeb jaderné energie (výbuch jaderné elektrárny Černobyl) nebo vlivem problematické likvidace vyhořelého jaderného odpadu a nemožnosti jej dále přepracovat a energeticky dále využít [5].

K znovu obnovení zájmu o rozvoj jaderné energetiky dochází přibližně v roce 2008, kdy se začíná hovořit o tzv. celosvětové renesanci jaderné energetiky, jež je spojována s návrhy na nové konstrukční řešení jaderných elektráren, včetně přinášení návrhů na přepracování použitého jádra na nové (viz dále).

Světová jaderná asociace (World Nuclear Association) uvádí, že k 1. prosinci 2015 bylo ve 30 zemích světa v provozu přibližně 439 jaderných reaktorů s celkovou instalovanou kapacitou 382 248 MW_e. Přičemž se plánuje z hlediska blízké budoucnosti výstavba přibližně 329 dalších reaktorů, jejichž instalovaný výkon by měl dosáhnout 374 020 MW. [6]

Jaderná energetika přitom sehrává důležitou roli především v zemích Evropské unie, neboť z jaderných elektráren prochází přibližně 1/3 vyrobené elektrické energie. V rámci celé Evropy se jaderné elektrárny v současnosti staví v rámci Běloruska, Finska, Francie, Ruska

neutrony a dále za objev radioaktivních prvků jako je radiothorium, mesothorium či aprotaktikum.

či Slovenska. Přípravuje se také výstavba v Bulharsku, České republice, Litvě, Maďarsku, Polsku, Rumunsku, Spojeném království apod. [6]

Nejvíce jaderných zdrojů na světě mají USA, které disponují 99 jadernými elektrárnami, následovaná Francií (58 jaderných elektráren), Japonskem (43), Ruskem (34), Čínou (30), Jižní Koreou (24), Indií (21), Kanadou (19) a Velkou Británií (16 jaderných elektráren). [6]

1.1.2 Konstrukční principy jaderných reaktorů

Základem získání energie z jádra atomů, je především jeho štěpení. K štěpné reakci dochází v **jaderném reaktoru**, který je vždy konstruován tak, aby umožňoval průběh štěpné reakce provádět kontrolovanou rychlostí a uvolňované teplo mohlo být usměrněno k výrobě elektřiny. To znamená, že se musí řídit některé charakteristiky štěpných reakcí uvnitř aktivní zóny reaktoru tak, aby každý rozštěp atomu vedl přesně k jednomu dalšímu. Takový stav v reaktoru se nazývá **kritickým stavem**. [7]

Uvnitř aktivní zóny reaktoru dochází k uvolnění neutronů při štěpení i k jejich ztrátám. Ke ztrátám dochází při jejich unikání z reaktoru do jeho okolí nebo tím, že jsou zachyceny různými atomy, se kterými se setkají. K tomu, aby se udržela správná rovnováha, se užívá řídicích tyčí, které jsou složeny z látek jako je kadmium nebo bór, které mají schopnost silně pohlcovat neutrony. Když by došlo k nahromadění nadměrného množství neutronů, mohla by se řetězová reakce vymknout z kontroly. Malým povytažením řídicích tyčí z aktivní zóny se umožní zvýšení populace neutronů a tím i výkonu reaktoru. Po zasunutí dále do reaktoru jeho výkon klesá.

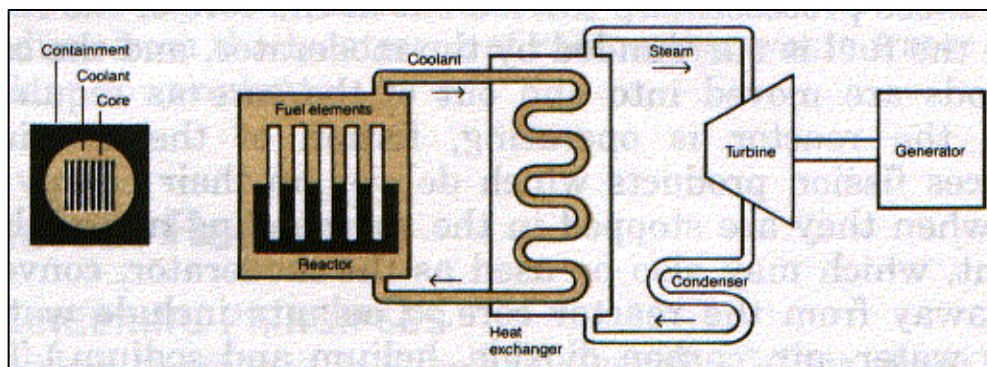
Nestačí řídit pouze počty neutronů, ale je nutné řídit i jejich rychlost, protože k nejúčinnějšímu štěpení uranu-235 je nutné neutrony brzdit. Tento proces se odborně označuje jako **moderování** a látky k tomu používané jako moderátory. Moderátor je součástí aktivní zóny reaktoru, neutrony na něj narážejí a ztrácejí rychlost. Hlavními materiály používanými jako

moderátory jsou lehká voda (jedná se o obyčejnou vodu), těžká voda³, grafit (uhlík) a berylium. [7]

Aby se reaktor nastartoval, je zapotřebí malého zdroje neutronů, který vytvoří malou populaci v jádře reaktoru. Z této počáteční populace se neutrony pomocí štěpného procesu mnoha generacemi znásobí a reaktor uvedou na plný výkon. Tento proces je postupný.

Všechny tyto děje probíhají v aktivní zóně reaktoru – **palivo** je obklopeno moderátorem, kontrolní tyče se podle potřeby zasunují a vysunují z aktivní zóny reaktoru. Při práci reaktoru vznikají štěpením uranu štěpné produkty, které odevzdávají svou energii ve formě tepla při svém brzdění v okolním materiálu. Chladivo, které může být též použito jako moderátor, odvádí teplo z aktivní zóny reaktoru. (Jako chladivo se používá voda, těžká voda, vzduch, oxid uhličitý, helium nebo sodík.) Tepelná energie se pak přeměňuje na elektrickou v systému výměníků tepla a turbín. [7]

Uspořádání reaktoru ukazuje obr. 1. V obr. 1. je v levé části znázorněn kontejnment, chladivo, aktivní zóna (jádro). Pak následují palivové články, reaktor a chladivo. Tepelný výměník - pára, chladič a následuje turbína a generátor.



Obr. 1 Uspořádání reaktoru

Zdroj: [7]

³ Těžká voda je voda, v níž vodíkové atomy obsahují v jádře po jednom protonu a neutronu. Takový izotop vodíku se nazývá deuterium.

Aby tedy jaderný reaktor mohl fungovat, musí obsahovat palivo, moderátor, absorbátor a chladivo, které bude odvádět teplo vzniklé při štěpení jader. Podle druhu a konfigurace (sestavění) těchto komponent je možné rozlišit řadu různých v zásadě odlišných konstrukčních návrhů jaderných reaktorů. V praxi je možné rozlišit především [7]:

- **lehkovodní reaktory,**
- **těžkovodní reaktory,**
- **reaktory chlazené plynem,**
- **plynem chlazené reaktory nové generace (AGR)**

Jak lehkovodní reaktory, tak i těžkovodní se řadí mezi tzv. **tlakovodní reaktory**. V případě lehkovodních reaktorů je využívána v moderátoru především klasická (běžná) voda (první sovětská konstrukce elektrárny), v případě těžkovodních reaktorů je jako moderátor používána těžká voda, která účinněji zpomaluje neutrony, aniž by je příliš absorbovala. Uvádí, že tlakovodní reaktory jsou do současnosti nejrozšířenějším typem reaktorů, neboť na tomto principu funguje 57 % všech světových energetických reaktorů. [6]

Reaktory chlazené plynem využívají k chlazení místo vody plyn jako je oxid uhličitý nebo helium. Tyto druhy reaktorů byly vyvinuty ve Francii a Velké Británii v podobě typu **Magnox**. Plynem chlazené reaktory nové generace byly vyvinuty rovněž ve Velké Británii a používají obohacený uran a pracují při vyšších teplotách.

1.2 Jaderná energetika České republiky

V rámci této podkapitoly je přistoupeno k představení historického vývoje a formování jaderné energetiky v rámci České republiky včetně zmapování současného a předpokládaného budoucího stavu koncepce jaderné energetiky ČR.

1.2.1 Historie vývoje jaderné energetiky ČR

Česká republika nehrála v jaderné historii nijak podřadnou roli, neboť stála prakticky při jejím zrodu. Již v roce 1898 izolovali manželé Curieovi z jáchymovského smolince **radium a polonium**, kteří si velmi zajímali o využití radioaktivních látek v léčitelství. [8]

Následně v roce 1946 vznikl při České akademii věd a umění **Výbor pro atomovou fyziku**. Zároveň v tomto roce došlo k uzavření bilaterální smlouvy se Sovětským svazem, která se týkala vyhledávání, těžby a dodávek radioaktivních surovin a následně v roce 1955 byla uzavřena druhá smlouva o výstavbě centra jaderného výzkumu a sovětské pomoci při výchově specialistů v tomto oboru. Vlivem toho došlo v roce 1955 vládním nařízením č. 30/1955 Sb., ke zřízení **Vládního výboru pro výzkum a mírové využívání atomové energie**, jejímž posláním bylo ukládat úkoly ve výzkumu a mírovém využívání atomové energie jednotlivým ministrům a vedoucím úřadů a dále ke zřízení Ústavu jaderné fyziky, jakožto instituce základního a aplikovaného výzkumu v oboru jaderné fyziky, radiochemie a jaderné energetiky. [9]

Následně v roce 1956 byla se Sovětským svazem podepsána smlouva o výstavbě první československé jaderné elektrárny v Jaslovských Bohunicích na Slovensku o výkonu 150 MW_e. Provoz této jaderné elektrárny byl zahájen v roce 1972, s čímž byly spojeny také počátky vzniku legislativní a dozorné činnosti v oblasti průmyslového využívání jaderné energie. V tomto směru byla vydána řada právních předpisů a podzákonných předpisů (výnosů a vyhlášek), které upravovaly jednotlivé aspekty mírového využívání jaderné energie. Významný posun znamenalo přijetí zákona č. 28/1984 Sb., o výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení, který stanovil, že orgánem pro výkon státního dozoru nad jadernou bezpečností Československa bude **Československa komise pro atomovou energii**, vymezil její úkoly, kompetence, působnost a dále deklaroval, že za bezpečnost jaderných zařízení je odpovědný jejich provozovatel. [9]

Po výstavbě jaderné elektrárny v Bohunicích, následovala v roce 1978 výstavba **jaderné elektrárny v Dukovanech na Moravě** se čtyřmi reaktory typu VVER 440. Následně v roce 1979 byl představen investiční záměr na vybudování další jaderné elektrárny, a to elektrárny **Temelín**. Vlastní výstavba pak byla zahájena v roce 1987, přičemž vlastní provoz elektrárny byl zahájen až v roce 2000.

Po vzniku samostatné ČR v roce 1993 byl zřízen **Státní úřad pro jadernou bezpečnost**, jakožto nový ústřední orgán státní správy na úseku mírového využívání jaderné energie a ionizujícího zařízení. V roce 1995 byl tento správní úřad převeden pod působnost **Ministerstva zdravotnictví**, hlavního hygienika a krajských hygieniků v oblasti ochrany před

ionizujícím zářením. Zároveň byl v roce 1995 zřízen **Státní ústav radiální ochrany** a v roce 1997 byl přijat **zákon č. 18/1997 Sb.**, o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, který nabyl účinnosti 1. 7. 1997. [10] Tento zákon do praxe mimo jiné zavedl podmínky licencování jaderných zařízení.

1.2.2 Současný a předpokládaný budoucí vývoj jaderné energetiky v ČR

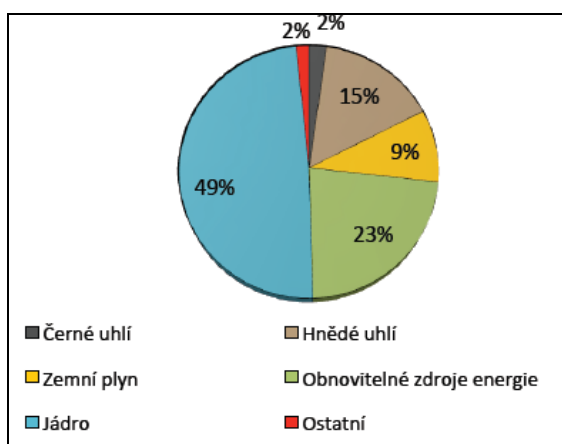
Při snaze shrnout současný stav české jaderné energetiky je možné dospět k závěru, že jaderná energetika ČR se nachází **ve velmi dobrém stavu**, a to jak z hlediska samotných jaderných zařízení, tak z pohledu výzkumu, technologií a průmyslu. Tento výchozí stav je výsledkem především minulosti, kdy Československo bylo zařazeno do skupiny zemí východního bloku, ve kterém probíhala úzká spolupráce se Sovětským svazem v energetické oblasti. Tato spolupráce tak následně ČR zajistila jednu z nejdelších tradic jaderné energetiky v Evropě a jednu z velmi vysokých úrovní rozvoje jaderné energetiky. [11]

Pokud jde o samotné jaderné zařízení, pak v ČR existuje několik druhů. Jedná se o výzkumné reaktory nacházející se v Ústavu jaderného výzkumu v Řeži u Prahy a výukový reaktor Jaderné a fyzikálně-inženýrské fakulty ČVUT v Praze. Největšími a také nejvýznamnějšími jadernými zařízeními jsou dvě jaderné elektrárny, a to Temelín a Dukovany, které se nachází ve vlastnictví státního podniku České energetické závody, a. s. (ČEZ). V současnosti se v těchto dvou elektrárnách nachází šest tlakovodních reaktorů ruského typu VVER. Celkový instalovaný výkon je 2 x 1 000 Mw_e v rámci Temelínu a 4 x 510 MW_e v Dukovanech. Kapacita dukovanských reaktorů vzrostla díky modernizaci, která byla ukončena v roce 2012 (viz podkapitola 1.3.1).

Pokud jde o význam jaderné energie v rámci národního hospodářství ČR, pak **Státní energetická koncepce** aktualizovaná v prosinci roku 2014 a schválená v květnu 2015 stanovuje, že jaderné zdroje představují **druhý nejvýznamnější zdroj energie** v ČR, neboť se podílí přibližně z 33 % na výrobě elektrické energie. V této Koncepci je vyzdvížen především fakt, že Česká republika disponuje poměrně významnými zásobami paliva, což umožňuje vytvořit strategické zásoby na několik let provozu jaderných elektráren.

Z hlediska budoucnosti tato Koncepce doporučuje provést dostavbu nových jaderných bloků u stávajících elektráren o celkovém výkonu do 2 500 MW_e do roku 2035 a prodloužit životnost stávajících čtyř bloků v elektrárně Dukovany na 50 až 60 let. [12]

Z hlediska budoucnosti také tato Koncepce zdůrazňuje potřebu vybudovat bezpečný a dlouhodobý provoz úložišť radioaktivního odpadu a rozhodnout o jaderném úložišti do roku 2025. Dále Koncepce předpokládá zvýšení podílu jaderných elektráren na výrobě elektrické energie až na 50 % do roku 2040. Dále stanovuje, že je žádoucí aby se začala významněji využívat část produkované tepelné energie z jaderných zdrojů k vytápění městských aglomerací. Pro případné pokračování využívání jádra i v delším horizontu je nutné též prozkoumat a připravit lokality pro budoucí další jaderné elektrárny, jež by se mohly začít stavět po roce 2040. [12] Předpokládá se tedy, že z hlediska budoucnosti by výroba elektrické energie z jádra měla nahradit uhelnou energetiku, která je v současnosti primární při výrobě elektřiny. Předpokládanou strukturu výroby elektrické energie podle různých zdrojů v roce 2040 ukazuje obr. 2.



Obr. 2 Předpokládaná struktura výroby elektrické energie podle zdroje v roce 2040

Zdroj: [13]

Z obr. 2. je patrné, že v roce 2040 by se jaderná energie měla podílet z cca 49 % na výrobě elektrické energie, druhým nejdůležitějším zdrojem by měly být obnovitelné zdroje energie, následované hnědým uhlím a zemním plynem.

Z hlediska budoucí možné výstavby nových jaderných elektráren budou mít svůj význam také nové druhy jaderných elektráren, které se již několik let vyvíjí v Evropě, v USA, Japonsku či Rusku a jejich novost by měla spočívat především v nové koncepci reaktorů, jejichž bezpečnost by měla být mnohonásobně vyšší díky zavedení tzv. inherentní bezpečnosti a prvků pasivní bezpečnosti, viz [6].

1.3 Jaderná zařízení ČR

Mírové využívání jaderné energie se stalo přirozenou součástí energetického mixu České republiky. Také z hlediska budoucích úvah je možné předpokládat další rozvoj jaderné energetiky nejen ve světě, ale také v rámci ČR. V ČR jsou v současnosti v provozu, dvě jaderné elektrárny, není proto bez významu se zabývat její historií vzniku a současností včetně technologií a způsobů jejich zabezpečení.

1.3.1 Elektrárna Dukovany

Jak již bylo dříve uvedeno, historie jaderné elektrárny Dukovany sahá k 70. letům minulého století, kdy došlo k uzavření smlouvy mezi Československem a Sovětským svazem o její výstavbě. Tato elektrárna se nachází přibližně 30 kilometrů jihovýchodně od Třebíče, v trojúhelníku, který je vymezen obcemi Dukovany, Slavětice a Rouchovany. První reaktorový blok byl uveden do provozu v roce 1985, v roce 1986 pak byl spuštěn druhý a třetí reaktor a v roce 1987 čtvrtý prozatím poslední jaderný reaktor. Celkový instalovaný výkon tak činí $4 \times 510 \text{ MW}_e$. [14]

Od roku 1985 do ledna roku 2016 bylo na všech čtyřech blocích elektrárny vyrobeno více než **395 miliard kWh elektrické energie**, což je nejvíce ze všech elektráren v České republice. Elektrárna Dukovany pokrývá přibližně 20 % spotřeby elektřiny v ČR. Ročně vyrobí více než 15 mld. kWh (15 TWh), což by stačilo k pokrytí spotřeby všech domácností v ČR. [14]

V roce 2010 uplynulo 25 let od zahájení provozu prvního bloku jaderné elektrárny v lokalitě Dukovany, čímž se životnost prvního bloku postupně blížila ke svému konci. Nicméně díky celé řadě již ukončených, či v té době probíhajících investičních a organizačních projektů, došlo k významnému prodloužení životnosti elektrárny, např. v letech

2007-2008 proběhl program *Long Term Operation*, který představoval jeden z nejrozsáhlejších projektů ČEZ, nebo *Projekt B16 Tera* (využití projektových rezerv bloku + zkrácení odstávek). Všechny projekty byly zaměřeny na prodloužení životnosti elektrárny o dalších 50 až 60 let. Také v dalších letech jsou připraveny významné projekty, které by měly přispět k zvýšení životnosti dukovanské elektrárny. [14] Dále se z hlediska budoucnosti zvažuje výstavba nových bloků. V současnosti probíhají přípravné práce, které směřují k spuštění prvního nového bloku mezi lety 2030-2035, tak aby byla zajištěna kontinuita provozu jaderného zdroje.

Z technologického hlediska představuje jaderná elektrárna Dukovany největší jadernou elektrárnou v ČR, která se skládá ze **čtyř tlakovodních reaktorů** (PWR). Projektové označení těchto reaktorů je VVER 420/213. Každý z těchto 4 reaktorů má tepelný výkon 1375 MW a každý disponuje elektrickým výkonem 510 MW. Následující obr. 3. ukazuje letecký pohled na areál jaderné elektrárny Dukovany.



Obr. 3. Celkový pohled na areál jaderné elektrárny Dukovany

Zdroj: [15]

Z obr. 3. je patrné, že samotný areál elektrárny zahrnuje budovy reaktorů a bezprostředně souvisejících provozů (etážerky⁴, barbotážní věž⁵ atd.), strojovny (zde jsou parní turbosoustrojí a s tím související zařízení), zásobní nádrže demivody, provozní budovy, administra-

⁴ Jedná se o konstrukce uvnitř budovy reaktoru, na nichž jsou umístěny například dozorní a další technická zařízení jako jsou různé nádrže apod.

⁵ Jedná se o pasivní bezpečnostní prvek pro snížení tlaku na budovu reaktoru při náhlém úniku chladiva primárního okruhu.

tivní budovu, úpravny vody, hasičský útvar apod. Mimo areál elektrárny se většinou vyskytují další sklady a napojení na infrastrukturu [15]. Podrobněji o technickém a technologickém zázemí elektrárny pojednává podkapitola 2.1.

1.3.2 Elektrárna Temelín

Jaderná elektrárna Temelín se nachází přibližně 25 km od Českých Budějovic a přibližně 60 km od rakouských hranic a jedná se o nejmladší jadernou elektrárnu ČR. Její historie sahá k roku 1980, kdy byl vydán záměr na její výstavbu. V původním investičním záměru se počítalo s vybudováním čtyř bloků elektrárny s výkonem 1 000 MW_e v jednom bloku, nicméně v roce 1989 byl tento záměr přehodnocen a počet bloků byl snížen na dva.

Budování jaderné elektrárny Temelín bylo prakticky od samotného počátku spojeno s mnoha problémy. Nejvýznamnějším problémem se stal přístup Rakouska, ve kterém je užívání energie z jaderných zdrojů zakázáno ústavou, a rakouští ochránci životního prostředí chtěli zabránit výstavbě Temelínu všemi prostředky. Díky tomu se z národní záležitosti stala výstavba této elektrárny mezinárodní záležitostí. ČR se bránila, že výstavba této elektrárny umožní snížit negativní vlivy uhelných elektráren v severních Čechách a zároveň ČR nabídla rakouské straně, a zároveň ČR deklarovala ochotu informovat Rakousko o úrovni bezpečnosti této elektrárny. Rozřešení této situace přinesl tzv. **Bruselský protokol**, který byl podepsán 29. listopadu 2001 v Bruselu a jednalo se o trojstrannou dohodu mezi ČR, Rakouskem a EU. Tento Protokol stanovil, že každá země má právo na vlastní energetickou politiku, nicméně tato politika musí být realizována tak, aby neohrožovala zájmy jiného státu. [16]

Přes období poměrně velkých nejistot se podařilo v roce 2000 dokončit výstavbu elektrárny Temelín a 21. prosince 2000 vyrobil první blok první elektrickou energii. Elektrárna pracuje na výkonu 1 x 1078 MW_e a 1 x 1055 MW_e. V současnosti se diskutuje o rozšíření elektrárny o další bloky, a to třetí a čtvrtý blok, které by zaručily spolehlivé pokrytí rostoucí spotřeby elektřiny v ČR po roce 2020 a dále umožnily vytvořit dostatečné rezervy pro bezpečnost a stabilitu energetické soustavy. Dostavba Temelínu je plánována z toho důvodu, že lokalita zvolená pro Temelín od samotného počátku počítala s výstavbou čtyř jaderných bloků. Také schválený Národní akční plán jaderné energetiky z června 2015 počítá

s výstavbou nových bloků v lokalitě Temelín, ale také Dukovany. Národní akční plán jaderné energetiky navazuje na Státní energetickou koncepci ČR, přičemž tento Plán je více orientována na rozvoj jaderné energetiky v ČR. [17] Podle dostupných informací má být výstavba nového bloku Temelínu dokončena již v roce 2020. Nicméně tento termín je možné pokládat za spíše nereálný a za možný termín výstavby označit spíše rok 2022-2025.

Z technologického hlediska byla elektrárna Temelín vybudována jako zdroj elektrické energie, který pracuje v energetické soustavě v režimu základního zatížení. Vyrábí elektrickou energii ve dvou výrobních blocích, v každém z nich pracuje jeden tlakovodní reaktor VVER o výkonu 981 MW_e. Technologie elektrárny odpovídá moderním světovým parametrům. Celkový pohled na jadernou elektrárnu Temelín ilustruje obr. 4.



Obr. 4. Celkový pohled na areál jaderné elektrárny Temelín

Zdroj: [18]

1.3.3 Nakládání s vyprodukovaným jaderným odpadem

Standardní životnost paliva v jaderné elektrárně se pohybuje podle typu od 1 roku do 1,5 roku a po tuto dobu je elektrárna nezávislá na dodávkách paliva. Následná odstávka elektrárny pro výměnu paliva trvá přibližně jeden měsíc. Jaderné elektrárny Dukovany a Temelín produkují ročně asi 300 m³ nízkoaktivních a středně aktivních odpadů, které se ukládají v areálu jaderných elektráren. Nejprve se však jaderný odpad vyjme z reaktoru a pod hladinou vody kanálem převezde do bazénu použitého paliva, který se nachází v tzv. reaktorové

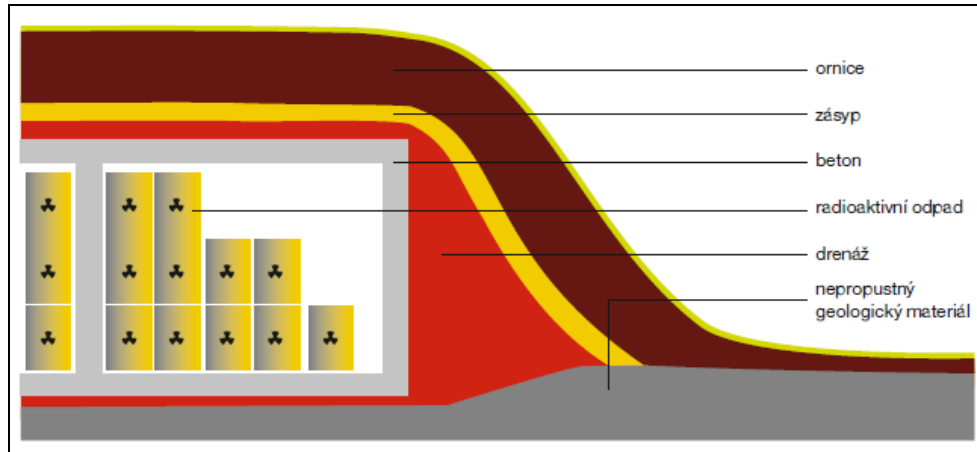
hale vedle reaktoru. Tam je pod vodou uložen přibližně 5 až 10 let. Voda je neustále chladí, protože radioaktivním rozpadem se v nich stále vyvíjí teplo. Za tuto dobu jejich radioaktivita klesne přibližně o 50 % původní hodnoty. Následně se použité články vloží do speciálních kontejnerů a odvezou se nejprve do tzv. meziskladů. V meziskladech se palivo postupně hromadí a je zde po dobu přibližně 40 let až 50 let. Mezisklady se budují většinou přímo v areálu elektrárny (tak je tomu i v případě elektrárny Dukovany a Temelín). Mezisklady mohou nabízet mokrý nebo suchý způsob skladování. Mokrý způsob skladování je v současnosti nejrozšířenější, což znamená, že je jaderný odpad skladován pod vodní hladinou a stále ochlazován. Suché skladování spočívá v uzavření odpadu do betonových sklípků nebo betonových či kovových kontejnerů. Následně se po uplynutí této lhůty převezve jaderný odpad do skladu vyhořelého paliva. [5]

Jak v případě elektrárny Dukovany, tak i v případě elektrárny Temelín byl na základě usnesení vlády č. 121/1997 ze dne 5. března 1997 vybudován sklad vyhořelého jaderného paliva, a to přímo v areálech provozovaných danými elektrárnami. V případě skladu určeného pro jadernou elektrárnu Dukovany je zde dlouhodobě skladováno vyhořelé jaderné palivo z reaktorů typu VVER-440. Vyhořelé palivo je skladováno v obalových souborech CASTOR 440/84M. Skladovací kapacit tohoto skladu činí 133 kusů obalových souborů pro 1 340 tun těžkých kovů, což postačuje k pokrytí produkce veškerého vyhořelého paliva z elektrárny Dukovany až do doby ukončení provozu všech 4 bloků. V případě elektrárny Temelín je vyhořelé palivo skladováno v suchých obalových souborech pro přepravu a skladování typu CASTOR 1000/19. Projektová kapacita skladu Temelín činí 1 370 tun těžkých kovů. [19]

V praxi je pak úložiště jaderného odpadu tvořeno z železobetonových jímek, které jsou zabaleny do více než čtvrtmetrové vrstvy speciální vodoizolační hmoty označené jako tzv. asfaltopropylénový mikrobeton. Jímky jsou z povrchu kryty železobetonovými panely. Součástí úložiště je i speciální drenážní síť soustředěná do kontrolních bodů vnitřní monitorovací sítě. Ukládají se zde zpracované, zpevněné odpady v obalech.

Při ukládání je zavážená jímka odkryta a otevřený prostor je překryt pohyblivou manipulační střechou, která má chránit pracovní prostor před klimatickými změnami. Po ukončení

provozu jsou zaplněné jímky překryty izolační vrstvou a přehrnuty přibližně 4 m hlíny. Následující obr. 5. ukazuje řež povrchového úložištěm radioaktivních odpadů.



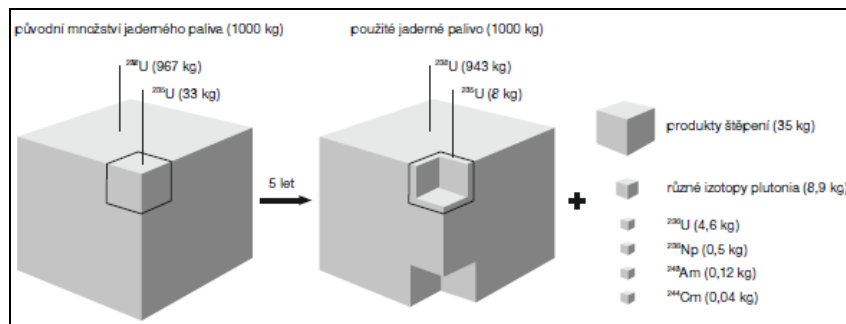
Obr. 5. Řez povrchového úložištěm radioaktivních odpadů

Zdroj: [5, s. 34]

1.3.4 Zabezpečení jaderných elektráren

Z hlediska bezpečnosti bývá na jadernou energii často nahlíženo s určitou skepsí. Většina odpůrců jaderné energie připomíná katastrofu v Černobylu nebo poukazuje na problémy s uskladněním radioaktivního vyhořelého paliva, přičemž právě otázky spojené s jeho likvidací jsou považovány za nejzranitelnější místa energetické infrastruktury. Nutno je však dodat, že technologie jaderných reaktorů a jejich komponent prošla v posledních dekádách závratným vývojem, který z nich učinil jedny z nejbezpečnějších zařízení na světě, a současné generace jaderných reaktorů splňují ta nejprísnejší bezpečnostní kritéria. Z hlediska budoucnosti se připravuje rozšíření tzv. jaderných elektráren generace 3+, které jsou vybaveny pasivními bezpečnostními systémy, které jsou založeny na přírodních fyzikálních zákonech, jako třeba gravitace. [20]

Pokud jde o vyhořelý jaderný odpad, je nutné dodat, že vyhořelé palivo představuje potenciálně drahocennou surovinu, neboť v praxi je jádro vyhořelé pouze z velmi malé části. Rozdíl mezi použitým a nepoužitým jaderným palivem demonstruje obr. 6.



Obr. 6. Rozdíl mezi původním (nevyužitým) a použitým jaderným palivem

Zdroj: [5, s. 37]

Palivo vyjmuté z reaktoru obsahuje přibližně 96 % nespotebovaného uranu, z toho 1 % štěpitelného uranu-235 a 1 % štěpitelného izotopu plutonia-239. Zásadním problémem tohoto materiálu je však jeho vysoká radioaktivita. I přes tuto skutečnost však v posledních letech některé země zahájily v rámci svých jaderných programů tzv. projekty směřující k přepracování paliva. Přepracování použitého paliva na nové by ušetřilo až 30 % nového paliva. V současnosti existují přepracovávací závody ve Francii, Spojeném království, Rusku, Japonsku či Indii, přičemž jejich roční kapacita umožňuje zpracovat 4000 tun běžného použitého paliva. [5]

Podle posledních informací bylo přepracováno přibližně 90 tisíc tun z celkově vyprodukovaných 290 tisíc tun použitého paliva z komerčních reaktorů. Jedna tuna přepracovaného jaderného paliva umožňuje uspořit až dvě tuny přírodního uranu. Nutné je však dodat, že přepracování představuje poměrně velmi složitý a nákladný chemický proces. Jeho princip je znám přibližně od 40. let minulého století a stále se zdokonaluje tak, aby byl bezpečnější a méně náročný. V praxi se jedná o tom, že se z palivových kazet odstraní ochranný zirkoniový obal a palivové články se naštípají na kratší kusy. Vše se děje dálkově řízenými manipulátory a roboty. Následně se použité palivo rozpouští v kyselině dusičné a z roztoku se chemicky oddělují jednotlivé složky. Plutonium se opět použije jako palivo pro tlakovodní reaktory (lehkovodní i těžkovodní). Uran se uskladní, nebo použije pro výrobu nového paliva. Zbytky kovového pokrytí palivových článků se zpracují jako středně aktivní odpad. [5]

V současnosti si přepracování použitého paliva mohou z důvodů nákladnosti dovolit pouze velmi ekonomicky silné země, neboť přepracované palivo je výrazně dražší, než přírodní uran.

Pokud jde o **zabezpečení jaderných elektráren**, pak v současnosti jaderné elektrárny disponují sofistikovanými ochrannými prvky a bezpečnostními systémy. Je tomu tak dáno proto, že se používají tři typy bezpečnostních opatření, a to aktivní opatření, pasivní a podpůrná opatření.

Aktivní opatření zahrnují [21]:

- instalaci **palivových tyčí**, které jsou schopny reaktor odstavit tím, že jsou spuštěny na dno reaktoru. Jedná se tedy o automatické a kontrolní systémy, které slouží k okamžitému přerušení štěpné řetězové reakce v reaktoru,
- havarijní chlazení aktivní zóny (vysokotlaké a nízkotlaké havarijní doplňování chladiva pro odvod tepla z paliva v aktivní zóně)
- potlačení tlaku v kontejnmentu (sprchování kontejnmentu s cílem snížit tlak a zachytit případné radioaktivní částice),
- havarijní napájení parogenerátorů (zabezpečení sekundárního odvodu tepla)

Pasivní opatření fungují na principu fyzikálních zákonů, samočinně. Jedná se např. o systém lokalizace uniku, principy odolnosti proti jednoduché poruše nebo použití vícenásobných fyzických bariér proti šíření ionizujícího záření a radionuklidů atd.

Podpůrná opatření pak zahrnují především pomoc při nouzovém odstavení reaktoru, kdy tato opatření přispívá k zajištění napájení bezpečnostního systému z vnější sítě a záložních linek. V případě, že by tyto linky nebyly pod napětím, pak by se spustily tzv. dieselgenerátory, které zajistí potřebný příkon pro bezpečnostní systémy. Jediný dieselagregát plně postačuje na bezpečné uchlazení jednoho reaktorového bloku. V praxi však mají elektrárny jich několikanásobně více, např. Temelín disponuje 8 dieselgenerátory. Podpůrná opatření jsou rovněž zaměřena na přivedení nouzového napájení z vodní elektrárny (v Dukovanech z Dalešic a Vranova, v Temelíně z Lipna nebo Hněvkovic), systémy chlazení apod. [21]

Vedle výše uvedených opatření se odolnost bloků českých jaderných elektráren periodicky posuzuje, a to pro nejrůznější vnější události. Posuzování musí buď analyticky vyloučit dopad na bezpečnost bloků, nebo musejí být přijata odpovídající opatření. Elektrárny pravidelně prověřuje nejen český jaderný dozor, ale i mezinárodní organizace. Pro představu v rámci jaderné elektrárny Temelín od roku 1990 proběhlo přibližně 14 mezinárodních kontrolních misí, obdobný počet misí proběhl také v rámci elektrárny Dukovany. V praxi dochází také přibližně čtyřikrát až pětkrát do roka k tzv. havarijním cvičením, která jsou vedena ve spolupráci s krajskými záchrannými útvary a krizovými centry. Vedle výše uvedeného využívají obě elektrárny také tzv. systém radiační kontroly, který neustále sleduje a kontroluje stav radioaktivity a v případě nepatrného úniku spouští poplach. Existují také systémy upozornění veřejnosti v blízkém i vzdálenějším okolí a plány vypracované pro případ neočekávané události. [21]

O vysoce nastavených parametrech zabezpečení českých jaderných elektráren hovoří také skutečnost, že za dobu provozu elektrárny Dukovany a Temelín nedošlo k žádné události, která by podle mezinárodní klasifikace byla hodnocena jako porucha či havárie. [21]

1.4 Riziko jaderné havárie a případy velmi těžkých jaderných havárií

Jaderná havárie stejně jako chemická havárie představuje vždy **havárii velkého rozsahu**, která představuje pro lidstvo a životní prostředí největší bezpečnostní hrozbu spočívající především v tom, že následky na životech, lidském zdraví, stavu životního prostředí (především vlivem kontaminace půdy a zamoření území) mají charakter dlouhodobých následků, které se po poměrně dlouhou dobu nedají odstranit. Z toho důvodu jsou právě otázky týkající se bezpečnosti a zabezpečení jaderných elektráren tím nejdůležitějším elementem ve vztahu k využívání atomové energie. Mareš a kol. stanovuje, že riziko nehody atomové elektrárny je vždy přímo úměrné úrovni tzv. **jaderné bezpečnosti** [23]. Nutné je podotknout, že jaderná bezpečnost nekončí u požadavku na kvalitní a bezpečné zařízení, ale zahrnuje i opatření na maximalizaci omezení důsledků poruchy či havárie atomové elektrárny. K vyhodnocení rizika slouží tzv. **mezinárodní stupnice pro hodnocení událostí v atomových elektrárnách**. V praxi se nejvíce využívá stupnice Mezinárodní agentury pro

atomovou energii, která používá stupnici INES, která v sedmi stupních hodnotí události v jaderných zařízeních a v radiologických provozech. Zásadně rozlišuje poruchy (1-3) a havárie (4-7), přičemž [23]:

- **0 = odchylka**, tj. událost bez významu na bezpečnost. Jedná se především o běžné provozní poruchy,
- **1 = anomálie**, což je odchylka od normálního stavu. Jedná se především o poruchy, které nepředstavují riziko, ale odhalují určité nedostatky bezpečnostního provozu,
- **2 = nehoda**. Jedná se o různé druhy technických poruch, které neovlivňují bezpečnost elektrárny přímo, ale mohou vést k přehodnocení bezpečnostních opatření,
- **3 = vážná nehoda**. Jedná se např. o ozáření obsluhy elektrárny nad normu, menší únik radioaktivity do okolí apod.,
- **4 = havárie bez rizika vně zařízení** s účinky v jaderném zařízení. Nejčastěji se jedná o částečné poškození aktivní zóny, ozáření obsluhy elektrárny, ozáření okolních obyvatel na hranici limitu apod.,
- **5 = havárie s rizikem vně zařízení** s účinky na okolí. Jedná se o různé formy vážnějších poškození aktivní zóny, dále o únik 100 až 1000 Tbg biologicky významných radioizotopů a nutnost evakuovat část okolí,
- **6 = těžká havárie**. Jedná se o velký únik radioaktivity mimo objekt a je nezbytné využít havarijních plánů k ochraně okolí,
- **7 = velmi těžká havárie**. Jedná se o značný únik radioaktivních látek na velkém území, okamžité zdravotní následky a dlouhodobé ohrožení životního prostředí.

Podle této stupnice se řídí všechny členské země Mezinárodní agentury pro atomovou energii a informují ostatní členy o všech událostech, při nichž dochází ke změnám či odchylkám v oblasti jaderné bezpečnosti.

Od roku 1944 do roku 1999 bylo na světě registrováno přibližně 405 vážnějších radiačních událostí⁶, jejichž výsledkem bylo 2 969 ozářených osob dávkou záření nacházející se nad

⁶ Radiační událostí je myšlena náhodná, nepředpokládaná událost, která vzniká v souvislosti s radioaktivními zdroji, ať již v rámci lékařského, průmyslového či energetického využití nebo v rámci výzkumu.

prahem deterministických účinků. Podle Mezinárodní agentury pro atomovou energii došlo ke **dvěma haváriím**, které je možné klasifikovat jako **velmi těžké havárie**. Jednalo se o havárii **jaderné elektrárny Černobyl** na Ukrajině v roce 1986 a havárii **jaderné elektrárny Fukušima Daiiči** v Japonsku v roce 2011. [22]

Pokud jde o **jadernou elektrárnu Černobyl**, pak byla tvořena čtyřmi bloky, přičemž v každém bloku se nacházel reaktor typu RBMK 1000 o nominálním výkonu 1000 MWe, resp. 3200 MWt. Jeden z těchto reaktorů se stal příčinou prozatím největší havárie jaderné elektrárny v historii lidstva. Jaderná nehoda nastala 26. dubna 1986 v noci, kdy došlo k zničení 4. bloku jaderné elektrárny, což následně vedlo k nejmasivnějšímu radioaktivnímu zamoření. K této nehodě došlo především díky experimentu, který měl v reaktoru jaderné elektrárny ověřit setrvačný doběh turbogenerátoru. Zkouška měla být provedena těsně před odstavením reaktoru z provozu. V průběhu testu však došlo k několika vážným chybám a lidským selháním, na jejímž konci byla katastrofální jaderná havárie. Prvním zásadním prohřeškem proti předpisům, který vedl ke spuštění jaderné havárie, bylo odpojení systému havarijního chlazení poté, co bylo zahájeno snižování výkonu reaktoru. Další chybou operátorů byl jimi řízený proces prudkého poklesu výkonu jaderného reaktoru až na 30 MWt, čímž došlo k téměř úplnému zastavení reakce v reaktoru. V tu chvíli měli operátoři ukončit prováděný pokus a reaktor definitivně odstavit, protože jej dostali do velmi nestabilního stavu, tj. mimo oblast povoleného provozu. Operátoři však učinili další fatální chybu, protože se rozhodli v experimentu pokračovat. Výkon se pak stabilizoval na 200 MWt, tj. dostal do stavu, ve kterém byl provoz reaktoru zakázán. Tlak se permanentně snižoval a výkon jaderného reaktoru rostl, ani v tuto chvíli se však operátoři nezachovali správně, neboť zablokovali anti-havarijní ochranu, která by jinak automaticky reaktor odstavila z provozu. Poslední závažná chyba operátorů Černobylu nastala, když zjistili, že v aktivní zóně jaderného reaktoru je spuštěna jen polovina z minimálního povoleného počtu regulačních tyčí. Přestože podle předpisů pro provoz atomové elektrárny měli okamžitě odstavit reaktor, neučinili tak a pokračovali dál v experimentu. Prakticky poslední možností, kterou mohli operátoři využít a neučinili tak bylo, že zablokovali havarijní signál, který by při uzavření přívodu páry na turbínu automaticky odstavil reaktor. Následně operátoři uzavřeli přívod páry a zahájili experiment. Přibližně během pár minut následovaly dva výbuchy. [23]

Výbuchy jaderné elektrárny Černobyl z největší části (cca 70 %) zamořily Bělorusko, Ukrajinu a Rusko, neboť největší část uniklých radioizotopů stroncia a plutonia spadla na území vzdáleného 100 km od havarovaného reaktoru. Přibližně 200 000 km² v rámci Evropy bylo kontaminováno Cesiumem (¹³⁷Cs) dávkou vyšší než 37 kBq na m² [23] Podle dostupných informací přibližně 4 tisíc osob zemřely v průběhu několika měsíců v důsledku vystavení se vysokým hodnotám ozáření a u dalších více než 600 tisíc osob se v horizontu 3 let dostavily zdravotní komplikace plynoucí z vystavení se jadernému zařízení.

Z výše uvedeného je zřejmé, že havárii Černobylu bylo možné se vyhnout, pokud by obsluha reaktoru dodržovala všechny platné předpisy. Havárie Černobylu tak byl primárně zapříčiněna selháním lidského faktoru.

Druhým případem velmi těžké havárie byla **havárie jaderné elektrárny Fukušima Daiiči** v roce 2011 v Japonsku. Tato elektrárna byla tvořena 6 varnými reaktory s celkovým výkonem 4 696 MW, tudíž se řadila mezi 20 nejvýkonnějších elektráren na světě, která vlastnila a provozovala společnost TEPCO. K této havárii došlo 11. března 2011 při zemětřesení, které zničilo 4 reaktory a díky čemuž uniklo vysoké množství radioaktivních látek do okolí. Síla zemětřesení byla klasifikována na Richterově stupnici stupněm 9, což je jedno z nejsilnějších zemětřesení, které bylo kdy v moderních dějinách lidstva zaznamenáno a v případě Japonska se jednalo o nejsilnější zemětřesení za posledních 130 let. Při tomto zemětřesení došlo k porušení zlomové zóny v oceánu o délce 400 km a šířce 200 km. Otřesy trvaly přibližně 5 minut a projevílo se až do vzdálenosti 2 000 km od epicentra. Ostrov Honšú se posunul přibližně o 2,4 metrů východně k severní Americe. První vlna tsunami dorazila k městu Sendai a k elektrárně Fukušima Daiiči přibližně za 8 až 10 minut, přičemž rychlost vlny byla odhadována na 800 km za hodinu a její výška na 37 metrů. Z hlediska krizového řízení je možné situaci, která nastala 11. března 2011 pokládat za trojnásobně mimořádnou událost, neboť se jednalo o nejsilnější zemětřesení, na které následovala nejvyšší přílivová vlna tsunami a jadernou havárii elektrárny Fukušima [23]. Radiační havárie se vyžádala evakuaci přibližně 150 tisíc osob, vedla k obrovské kontaminaci půdy, vody, budov.

1.5 Stěžejní legislativa v oblasti jaderné energetiky

Vzhledem ke skutečnosti, že atomová energie představuje obrovskou ničivou sílu, která v případě nekontrolovaného a nesprávného využití by mohla několikrát zničit planetu Zemi, je mimořádná pozornost věnována právnímu zakotvení využívání jaderné energie. V podmínkách ČR je základním pramenem platného vnitrostátního atomového práva zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů⁷ tzv. atomový zákon. V červenci roku 2015 pak byla vládou ČR přijata novela atomového zákona, který má vhodněji implementovat mezinárodní závazky a doporučení mezinárodních organizací, stejně tak i právní akty EU, které byly v posledních letech přijaty.

Tento zákon v § 1 vymezuje základní rámec právní úpravy, který stanovuje, že posláním tohoto zákona je definovat [24]:

- *„způsob využívání jaderné energie a ionizujícího záření a podmínky vykonávání činností souvisejících s využíváním jaderné energie a činností vedoucích k ozáření,*
- *system ochrany osob a životního prostředí před nežádoucími účinky ionizujícího záření,*
- *povinnosti při přípravě a provádění zásahů vedoucích ke snížení přírodního ozáření a ozáření v důsledku radiačních nehod,*
- *zvláštní požadavky pro zajištění občanskoprávní odpovědnosti za škody v případě jaderných škod,*
- *podmínky zajištění bezpečného nakládání s radioaktivními odpady,*
- *výkon státní správy a dozoru při využívání jaderné energie, při činnostech vedoucích k ozáření a nad jadernými položkami.“*

Specifické postavení podle atomového zákona má Státní úřad pro jadernou bezpečnost, který je ústředním orgánem státní správy na úseku výkonu správy při využívání jaderné

⁷ Úplné znění zákona č. 18/1997 Sb. je dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=44906&nr=18-2F1997&rpp=100>

energie a ionizujícího záření a v oblasti radiační ochrany. V čele Úřadu je předseda, kterého jmenuje a odvolává vláda, přičemž výběr, jmenování a odvolání předsedy se řídí zákonem o státní službě.

Tento Úřad v praxi představuje orgán, který vykonává **státní dozor** nad jadernou bezpečností, jadernými položkami, radiační ochranou, havarijní připraveností apod. Podle zákona č. 18/1997 Sb. je oprávněn vydávat povolení k výkonu činností podle tohoto zákona a stanovuje podmínky, požadavky, limity, mezní hodnoty a nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin, směnné hodnoty, optimalizační meze apod. Zákon dále definuje tzv. výkon fyzické kontroly nad jadernými zařízeními. Výkonem této kontroly jsou pověřeni inspektoři Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Na základě provedené kontroly mohou inspektoři ukládat opatření k nápravě (§ 40) nebo pokuty (§ 41), které je možné uložit až do výše 100 milionů Kč. Podle atomového zákona je možné pokuty uložit do 3 let od dne, kdy Státní úřad pro jadernou bezpečnost zjistil porušení povinností, nejdále však do 10 let ode dne, kdy k porušení povinnosti došlo. Při stanovení výše pokuty se přihlíží především k závažnosti, významu a době trvání protiprávního jednání a také k rozsahu způsobených následků. [24]

Zákon dále specifickým způsobem řeší problematiku občanskoprávní odpovědnosti za jaderné škody, která představuje zvláštní právní úpravu vzhledem k obecné úpravě odpovědnosti za škodu v rámci občanského zákoníku. Důležitá součástí zákona je též implementace do právního řádu ČR tzv. Vídeňské úmluvy o občanskoprávní odpovědnosti za jaderné škody z roku 1963 a dále tzv. Společného protokolu týkajícího se aplikace Vídeňské úmluvy a Pařížské úmluvy z roku 1988.

Odpovědnost provozovatele jaderného zařízení je atomovým zákonem limitována pro každou způsobenou událost u jaderných zařízení částkou 2 mld. Kč. Zákon dále zavádí pro případ vzniku jaderné havárie povinnost sjednat pojištění odpovědnosti za jadernou škodu, přičemž pojistná částka nesmí být nižší než 2 mld. Kč. [9]

V souvislosti se vstupem ČR do EU došlo k tomu, že atomové právo ČR je regulována také právními akty Unie. Jejich jádro tvoří především Smlouva o založení Evropského společenství pro atomovou energii (EUROATOM), na kterou navazuje celá řada směrnic a nařízení EU. V posledních letech na úrovni Unie došlo k významnému zlepšení atomového

práva EU pro jadernou bezpečnost a jaderné zabezpečení, především v souvislosti s havárií jaderné elektrárny ve Fukušimě v Japonsku.

Na atomový zákon dále v praxi navazuje celá řada **vyhlášek Státního úřadu pro jadernou bezpečnost**, které rozšiřují základní právní rámec úpravy problematiky nakládání s jadernou energií a jaderným materiálem. Jedná se např. o [25]:

- vyhlášku č. 142/1997 Sb., o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování nebo ukládání radionuklidových zářičů a jaderných materiálů,
- vyhláška č. 143/1997 Sb., o přepravě a dopravě určených jaderných materiálů a určených radionuklidových zářičů,
- vyhláška č. 144/1997 Sb., o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení a o jejich zařazování do jednotlivých kategorií,
- vyhláška č. 145/1997 Sb., o evidenci a kontrole jaderných materiálů a o jejich bližším vymezení,
- vyhláška č. 146/1997 Sb., kterou se stanoví činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků,
- vyhláška č. 184/1997 Sb., o požadavcích na zajištění radiační ochrany,
- vyhláška č. 214/1997 Sb., o zabezpečování jakosti při činnostech souvisejících s využíváním jaderné energie a činnostech vedoucích k ozáření a o stanovení kritérií pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd,
- vyhláška č. 215/1997 Sb., o kritériích na umístění jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření,
- vyhláška č. 106/1998 Sb., o zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderných zařízení při jejich uvádění do provozu a při jejich provozu,
- vyhláška č. 195/1999 Sb., o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti,
- vyhláška č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. o požadavcích na zajištění radiační ochrany,

- vyhláška č. 185/2003 Sb., o vyřazování jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie z provozu,
- vyhláška č. 419/2002 Sb., o osobních radiačních průkazech,

Vedle vyhlášek Státního úřadu pro jadernou bezpečnost je problematika nakládání s jadernou energií a jaderným materiálem upravena v nařízeních vlády, sděleních a resortních předpisech.

Jedná se např. o resortní předpis Status č. MPO 9/97 Správy úložišť radioaktivních odpadů nebo Sdělení č. 67/1998 Sb., o sjednání Úmluvy o jaderné bezpečnosti. Z nařízení vlády jsou pak stěžejní především nařízení č. 224/1997 Sb., o výši a způsobu odvádění prostředků původců radioaktivních odpadů na jaderný účet nebo nařízení č. 11/1999 Sb., o zóně havarijního plánování. [25]

Vedle národních a unijních předpisů v oblasti jaderné bezpečnosti, mají v českém právním řádu významné postavení **mezinárodní úmluvy**. Jedná se např. o:

- Smlouvu o nešíření jaderných zbraní z roku 1974,
- Mezinárodní smlouvu mezi ČR a Mezinárodní agenturou pro atomovou energii o uplatňování záruk na základě Smlouvy o nešíření jaderných zbraní z roku 1996,
- Úmluvu o fyzické ochraně jaderných materiálů z roku 1979,
- Úmluvu o včasné oznamování jaderné nehody ze září roku 1986,
- Úmluvu o pomoci v případě jaderné nebo radiační nehody ze září roku 1986,
- Úmluvu o jaderné bezpečnosti z roku 1994,
- Společnou Úmluvu o bezpečnosti při nakládání s vyhořelým jaderným palivem a o bezpečnosti při nakládání s radioaktivními odpady z roku 1997 apod.

1.6 Analýza rizik

Analýza rizika je základním prvkem rizikového inženýrství a je nutnou podmínkou rozhodování o riziku a základním procesem managementu rizika. [39]

Analýza rizika by měla být založena na systematické analýze zdrojů rizika a na identifikaci zdrojů rizika. Dále se snaží o rozvinutí možných nehodových scénářů, které jsou založeny na systematických přístupech, jako jsou historické zkušenosti a stromy událostí. [37]

1.7 Metody analýzy rizik

V analýze rizik existují dvě základní metody řešení a vyjádření veličin, s kterými se v analýze rizik pracuje. Jedná se o metodu kvantitativní, kvalitativní nebo kombinací těchto dvou přístupů. [38]

1.7.1 Kvalitativní metody

Kvalitativní analýzy rizik jsou hojněji využívány ke stanovení priorit mezi riziky. Pracují s daty o následcích a ztrátách užitné hodnoty. K tomuto vyjádření často využívají indexů. Stejně je stanovení zranitelnosti nebo míry ohrožení.[39]

Rizika jsou definována rozsahem hodnot (např. obodována čísly 1 až 10), pravděpodobnosti výskytu 0 do 1 nebo také vyjádřena slovy (malé, střední, vysoké). Úroveň rizika provede hodnotící tým, který určí kvalifikovaný odhad. Kvalitativní metody jsou méně náročná na zdroje a trvá mnohem kratší dobu než kvantitativní metoda.

1.7.2 Kvantitativní metoda

Princip kvantitativní analýzy rizik je založen na dvou základních krocích, tj. pravděpodobnosti výskytu jevu a pravděpodobnosti ztráty hodnoty. [39]

Je založena na matematickém výpočtu rizika z frekvence výskytu hrozby a jejího dopadu. Obvykle vyjadřují dopad ve finančních termínech jako například tisíce Kč. Riziko je nejčastěji vyjádřeno ve formě roční předpokládané ztráty, která je vyjádřena finanční částkou. Kvantitativní metoda vyžaduje více času a úsilí, ale poskytuje finanční vyjádření rizik, které je pro jejich zvládnutí výhodnější.

1.7.3 Příklady metod analýzy rizik

V praxi existuje řada metod pro analýzu rizik. Zde publikuji nejméně používané metody:

- 1) Safety Audit (bezpečnostní kontrola).

-
- 2) What – If Analysis (analýza toho, co se stane, když).
 - 3) Check list (kontrolní seznam). – tato metoda byla vybrána pro analýzu rizik, která je uvedena v praktické části bakalářské práce.
 - 4) Preliminary Hazard Analysis – PHA (předběžná analýza ohrožení).
 - 5) Process Quantitative Risk Analysis - QRA (analýza kvantitativních rizik v procesu).
 - 6) Event Tree Analysis – ETA (analýza stromu událostí).
 - 7) Failure Mode and Effect Analysis – FMEA (analýza selhání a jejich dopadů).
 - 8) Hazard Operation Process – HAZOP (analýza ohrožení a provozuschopnosti).
 - 9) Human Reliability Analysis – HRA (analýza lidské spolehlivosti).
 - 10) Fault Tree Analysis – FTA (analýza stromu poruch).
 - 11) Relative Ranking – RR (relativní klasifikace).
 - 12) Fuzzy Set and Verbal Method – FL-VV (metoda mlhavé logiky verbálních výroků).
 - 13) Causes and Consequences Analysis – CCA (analýza příčin a dopadů).
 - 14) Probabilistic Safety Assessment – PSA (metoda pravděpodobností hodnocení).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 JADERNÁ ELEKTRÁRNA DUKOVANY A JEJÍ BEZPEČNOST

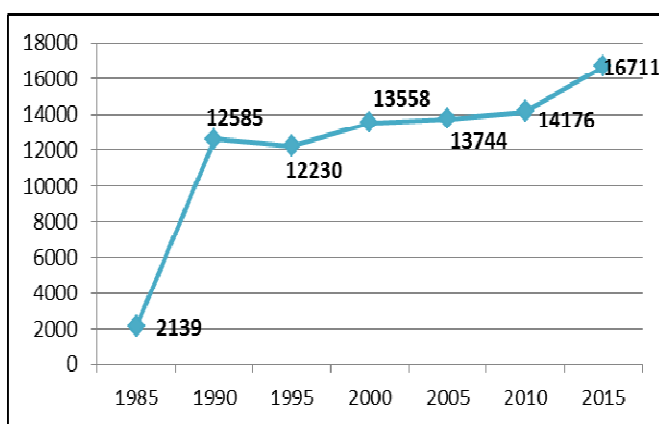
V praktické části bakalářské práce je ústřední pozornost zaměřena na vymezení jaderné bezpečnosti uplatňované v rámci jaderné elektrárny Dukovany. Nejprve je však přistoupeno k přestavení této elektrárny a charakteristice regionu v okolí Dukovan. Následně je pak přistoupeno k představení bezpečnosti zvolené jaderné elektrárny včetně představení bezpečnostních pravidel, které musí zaměstnanci, návštěvníci apod. dodržovat.

2.1 Charakteristika jaderné elektrárny Dukovany a zabezpečení vstupu do areálu

Jaderná elektrárna Dukovany představuje nejstarší, ale také největší atomovou elektrárnu v ČR, která se podílí z cca 20 % na celkové vyrobené elektrické energii v ČR. Elektrárna Dukovany se nachází přibližně 30 kilometrů jihovýchodně od Třebíče. Jaderná elektrárna Dukovany je tvořena čtyřmi tlakovodními reaktory typu VVER 440/213⁸. Jednotlivé bloky byly uvedeny do trvalého provozu následovně 1. blok v roce 1985, 2. blok v roce 1986, 3. blok v roce 1987 a 4. blok v roce 1987. [14]

Provozovatelem této jaderné elektrárny je společnost ČEZ, a. s. Po provedené rekonstrukci v letech 2005-2013 došlo k zvýšení elektrického výkonu z každé jednotky, a to na 510 MW_e. V roce 2013 se tak instalovaný výkon elektrárny pohyboval okolo 2000 MW_e. [28] Následující obr. 2.1 ukazuje roční výrobu elektrické energie jadernou elektrárnou Dukovany v GWh.

⁸ VVER znamená Vodou chlazený, Vodou moderovaný Energetický reaktor



Obr. 7. Roční výroba elektrické energie jaderné elektrárny Dukovany v letech 1985-2015 (v GWh)

Zdroj: [29]

Z obr. 7. je patrné, že se roční výroba elektrické energie zvýšila z 2 139 GWh v roce 1985 na úroveň 384 tisíc GWh v roce 2015, což představuje stonásobná zvýšení produkce elektřiny v horizontu 30 let. Hlavním důvodem zvýšení produkce elektrické energie bylo permanentní provádění modernizace zařízení a pracovišť elektrárny Dukovany, což se souhrnně promítlo jednak ve zvýšení dosažitelného výkonu a jednak v celkovém poklesu odstávek elektrárny, viz tab. 2.1.

Tab. 1: Celková délka odstávek ve dnech a vývoj dosažitelného výkonu jaderné elektrárny Dukovany v letech 1985-2015

Rok	Celková délka odstávek ve dnech	Dosažitelný výkon (v MW _e)
1985	-	440
1990	175,4	1 760
1995	197,9	1 760
2000	174,2	1 760
2005	161,5	1 776
2010	159,5	1 866
2015	118,3	2 000

Zdroj: [30]

2.1.1 Zařízení, pracoviště a technická data o jaderné elektrárně Dukovany

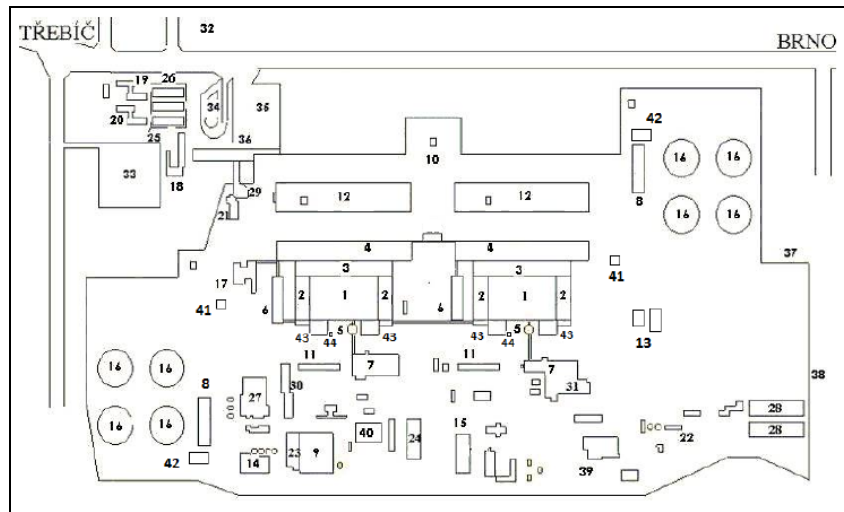
V jaderné elektrárně Dukovany se nachází rozsáhlý **soubor zařízení a pracovišť**. Jedná se o:

- **1** - budovu reaktorů. Jedná se o součást hlavního výrobního bloku. V elektrárně se nachází dvě takovéto budovy. V každé budově jsou umístěny dva reaktorové bloky, které jsou spojeny do tzv. **dvojbloku**. Reaktorové bloky se sestávají z jaderného reaktoru (reaktor je téměř 24 metrů vysoký, jeho vnitřní průměr činí 3,5 metru a přibližná hmotnost se odhaduje na 395 tun), parogenerátorů, potrubí, primárního okruhu, havarijních systému a dalších pomocných systémů umístěných v hermeticky uzavřených železobetonových kobkách,
- **2** – příčná etažérka, tj. součástí každého hlavního výrobního bloku jsou dvě příčné etažérky, které jsou tvořeny blokovou dozornou, nouzovou dozornou, rozvodnou 6 kV, počítači a kabelovými kanály,
- **3** – podélná etažérka. Jedná se o hlavní součást výrobního bloku a je tvořena společnou dozornou, nádrží napájecí vody s odplyňovači, zásobní nádrží technické vody, hlavním parním kolektorem a kabelovými kanály,
- **4** – strojovna. Jedná se opět o součást hlavního výrobního bloku. Elektrárna Dukovany disponuje dvěma oddělnými strojovnami. Jedna je vždy společná pro dva reaktorové bloky. Nejdůležitějším zařízením jsou turbosoustrojím, které jsou vždy čtyři v každé strojovně. Dalšími zařízeními jsou kondenzátory, ohříváče nízkotlaké a vysokotlaké z hlavního výrobního bloku,
- **5** – ventilační komín je součástí hlavního výrobního bloku. Jeho posláním je vypouštění plynných přečištěných produktů z hlavního výrobního bloku,
- **6** – provozní budova. Skládá se z krytu, speciální prádelny, bufetu, odborného pracoviště obsluhy, hygienické myčky pro přechod do kontrolovaného pásma, šatny, pracoviště osobní dozimetrické kontroly, laboratoří a kanceláří,
- **7** – budova pomocných aktivních provozů, která slouží k shromažďování, třídění a zpracování nízkoaktivních odpadů,
- **8** – centrální čerpací stanice, která koncentruje cirkulační chladicí vodu, technické vody důležité a nedůležité a požární vody,
- **9** – centrální příjem a dílny údržby,

- **10** – čistící stanice průmyslových vod,
- **11** - dieselgenerátorová stanice, která se skládá z šesti dieselgenerátorů pro zajištění napájení nejdůležitějších spotřebičů v případě výpadku napájení vlastní spotřeby elektrárny,
- **12** – rozvodna 400 kV. Jedná se o vyvedení vyrobené elektrické energie do rozvodny Slavětice,
- **13** - mezisklad vyhořelého paliva a sklad vyhořelého paliva. Jedná se o sklady sloužící k dočasnému uložení použitého paliva po dobu 50 let v kontejnerech Castor,
- **14** – chemická úprava vody. Jedná se o technologii na výrobu demineralizované vody,
- **15** – kompresorová stanice a stanice zdroje chladu. Jedná se o centrální výrobu stlačeného vzduchu a chladu pro ventilační a klimatizační systémy,
- **16** – chladicí věž. V elektrárně Dukovany se nachází dvě chladicí věže o výšce 125 metrů, přičemž průměr v koruně věže činí 59,5 metrů. Průtok vody jednou věží činí cca 10,55 m³/s.
- **17** - administrativní budova č. 1, která zahrnuje kryt, jídelnu a bufet, kanceláře,
- **18** – administrativní budova č. 2, která zahrnuje kryt, kanceláře, bufet, budovu výcvikového střediska a budovu informačního centra,
- **19** – KORD I. zahrnuje kanceláře, zdravotní středisko,
- **20** – KORD II. zahrnuje kanceláře dodavatelů, poštu a bufet.
- **21** – řídicí centrum ochrany elektrárny. Jedná se o technický systém fyzické ochrany elektrárny, jeho správu a údržbu,
- **22** – sklad,
- **23** – sociální přístavek zahrnující kanceláře, šatny a bufet,
- **24** – stavební údržba,
- **25** – TESKO I. psychologické pracoviště a kanceláře dodavatelů,
- **26** – TESKO II. a III. dopravní kanceláře, kanceláře dodavatelů,
- **27** – úprava chladicí vody,

- **28** - úložiště radioaktivních odpadů. Provozovatelem je Správa úložišť radioaktivních odpadů, úložiště je určeno pro skladování nízkoaktivních odpadů z elektráren Dukovany a Temelín,
- **29** – vrátnice (vstupní objekt) sloužící k provedení vstupních kontrol, dále pro vystavování identifikačních karet apod.,
- **30** – hasičský záchranný sbor podniku,
- **31** – zpracování radioaktivních odpadů. Jedná se především o linku pro třídění a úpravu radioaktivních odpadů pro skladování na úložišti,
- **32** – čistící stanice odpadních vod a dvě retenční nádrže,
- **33** – parkoviště,
- **34** – autobusové nádraží,
- **35** – malokapacitní parkoviště
- **36** – nákladní vjezd
- **37** – záložní vjezd,
- **38** – areál Heřmanice – zde se nachází sklady a dílny dodavatelů,
- **39** – pomocná kotelna, která již neslouží svému původnímu účelu, neboť byla přestavěna na třídění odpadů,
- **40** – venkovní sklad odpadů (šrotiště),
- **41** – záložní zdroj elektrické energie (zatím stále ve výstavbě),
- **42** – ventilátorové chlazení věže (zatím stále ve výstavbě),
- **43** – barbotážní věž (výstavba dokončena v roce 2014),
- **44** – třetí super havarijní čerpadlo (zatím stále ve výstavbě).

Souhrnně tak jaderná elektrárna Dukovany zahrnuje velké množství různých technických zařízení, stavebně-technologických celků a řadu pomocných zařízení, viz obr. 8.



Obr. 8. Technické rozložení hlavních objektů jaderné elektrárny Dukovany

Zdroj: [26]

Od doby spuštění provozu jaderné elektrárny Dukovany dochází k pravidelnému zvyšování spolehlivosti a bezpečnosti jejího provozu. První významnější modernizace elektrárny proběhla v letech 1986-1996 v rámci projektu *Dokompletace jaderné elektrárny Dukovany*, který byl zaměřen v souvislosti s černobylskou havárií na posílení její bezpečnosti. Vhodné je poznamenat, že ČR k tomuto kroku přistoupila, i přesto že jaderný reaktor v Černobylu měl zcela jiné fyzikální i technické charakteristiky ve srovnání s tlakovodními reaktory instalovanými v elektrárně Dukovany. Projekt trval bez mála deset let, neboť byl ukončen až v druhé polovině roku 1996. [28]

Následně v letech 1994-1997 proběhl rozsáhlý program obnovy zařízení nazývaný *Program obnovy zařízení Morava*, který byl zaměřen na posílení spolehlivého, bezpečného a ekonomicky účinného provozu. Od roku 1997 se pak začalo pracovat na záměně systémů měření a regulace. K velkým investičním akcím patřila např. záměna kondenzátorů turbín, resp. náhrada ocelových trubek za titanové, dále výměna nízkotlakových rotorů turbín, modernizace dozimetrického systému apod. Následně v průběhu nového tisíciletí bylo přistoupeno k velmi rozsáhlé investiční akci na technologickém zařízení.

Jednalo se především o výměnu rotorů nízkotlakých dílů turbín a komplexní modernizaci systému kontrol a řízení na třetím bloku. Modernizace nízkotlakých turbín zvýšila účinnos-

ti turbín o téměř 4 %, což umožnilo celkově zvýšit výrobu o 127 tisíc MWh. [27] Dále bylo přistoupeno k obnově blokových zařízení systému kontroly a řízení s využitím moderních prostředků řízení. V roce 2009 byla zahájena obnova třetího bloku s termínem ukončení v roce 2013, v roce 2011 pak byla zahájena obnova prvního bloku s termínem ukončení v roce 2015, v roce 2012 byla zahájena obnova druhého bloku s termínem ukončením v roce 2015.

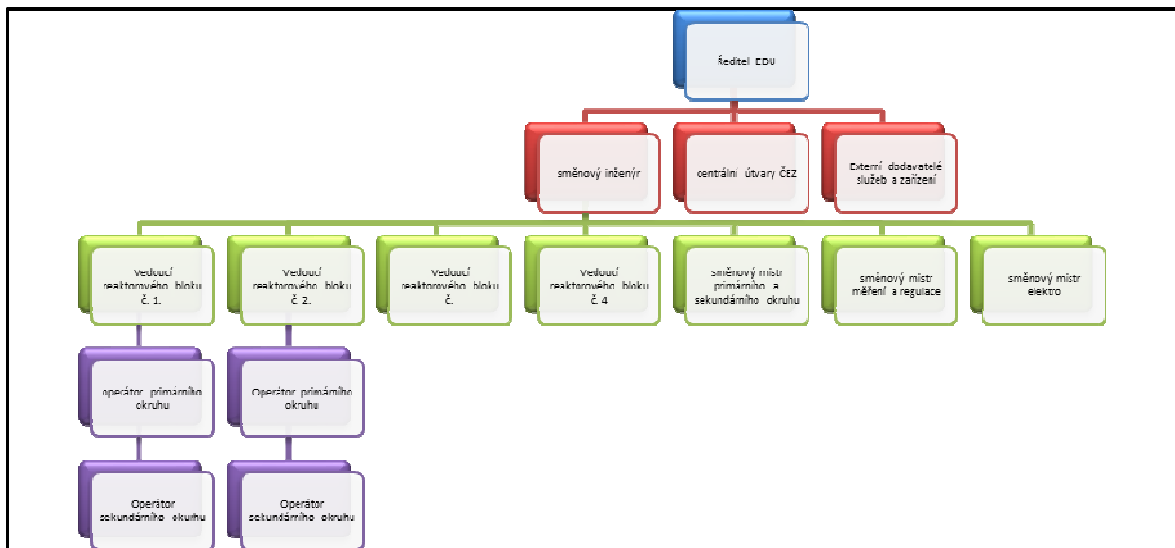
Na konci roku 2011 pak byl spuštěn další významný program, a to **program Modernizace**, který se si kladl za cíl především další zvyšování bezpečnosti v souvislosti s jadernou havárií elektrárny Fukušima v Japonsku. Hlavní pozornost byla zaměřena především na oblast seismicity a další bezpečnostní cíle. Součástí tohoto programu byl mimo jiné projekt *Long Term Organization*, který měl mimo jiné také přímou vazbu na prodloužení provozu jaderné elektrárny po roce 2015. Pravidla a principy provozu jaderných elektráren v rámci EU totiž stanovují, že vždy po uplynutí deseti let provozu, musí vedení elektrárny předložit národnímu dozorovému orgánu, tj. Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost dokument, jakým způsobem je elektrárna připravena na další provoz po dobu deseti následujících let. Součástí tohoto dokumentu je i tzv. *Periodic safety report*, který je zpracováván podle doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii, a ve které jsou monitorovány všechny oblasti, které ovlivňují bezpečnost elektrárny. [28] Podle zpracovaného strategického plánu by jaderná elektrárna Dukovany měla být provozována až do roku 2035.

2.1.2 Organizační struktura jaderné elektrárny Dukovany

Na jadernou elektrárnu Dukovany je možné pohlížet jako na jeden z výrobních závodů společnosti ČEZ. Organizační strukturu jaderné elektrárny Dukovany ukazuje obr. 9.

Z hlediska organizační struktury má stěžejní postavení odbor řízení provozu jaderné elektrárny Dukovany (EDU), jehož hlavní náplní je příprava a řízení provozu elektrárny. V praxi je provoz elektrárny Dukovany zajišťován **sedmi směnami**, z nichž jedna plní funkci záskokovou. Vedoucím směny je tzv. **směnový inženýr**. Řízením a kontrolou provozu jednotlivých reaktorových bloků jsou pověřeni **vedoucí reaktorového bloku**. Vedle odboru řízení a provozu elektrárny, jsou v organizační struktuře zastoupeny také centrální útvary ČEZ, které provádí kontrolu a monitoring bezpečnosti a dodržování bezpečnostních

opatření ze strany jednotlivých zaměstnanců a návštěvníků elektrárny. Vedle interních zaměstnanců je důležitou součástí organizační struktury elektrárny také síť externích dodavatelů služeb, tj. mnoho činností je zajišťováno v rámci elektrárny dodavatelky, např. údržba apod.



Obr. 9. Organizační struktura jaderné elektrárny ČEZ

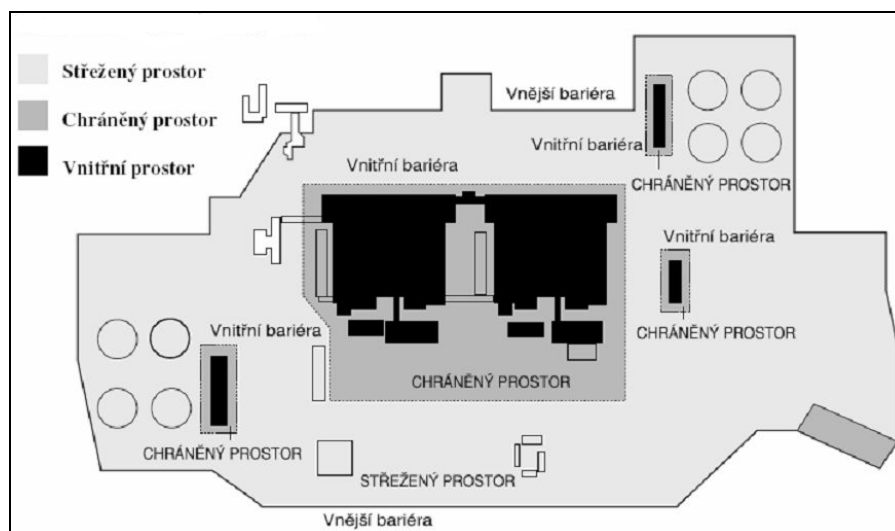
Zdroj: [26]

V roce 2015 evidovala jaderná elektrárna Dukovany **706 zaměstnanců**, z toho 674 mužů a 32 žen. Vedle stálých zaměstnanců působí v elektrárně jeden až dva tisíce externích dodavatelů služeb. Pro každé pracovní místo jsou stanoveny přesné kvalifikační nároky pro výkon funkce.

2.1.3 Areál jaderné elektrárny Dukovany a jeho specifika

Areál jaderné elektrárny Dukovany je rozdělen mechanickými bariérami na jednotlivé prostory, které se vyznačují specifickým režimem. Jednak se jedná o vnější prostor, který obklopuje jadernou elektrárnu Dukovany, a jednak jde o vnitřní (interní) prostor elektrárny. Podle zákona č. 11/1999 Sb., o zóně havarijního plánování, ve znění pozdějších předpisů, musí být kolem jaderné elektrárny umístěna tzv. **zóna havarijního plánování**. V případě elektrárny Dukovany je tato zóna o poloměru 20 km, ve kterém se na základě výsledku rozboru možných následků radiační havárie uplatňují požadavky z hlediska havarijního

plánování. Interní prostor jaderné elektrárny Dukovany je pak rozdělen do tří prostorů, jak ukazuje obr. 10.



Obr. 10. Rozdělení prostoru areálu jaderné elektrárny Dukovany

Zdroj: [26]

V prostoru jaderné elektrárny existují tři druhy prostoru. Prvním je tzv. **střežený prostor**. Tento prostor zahrnuje především okolí, které obklopuje elektrárnu. V praxi je tento prostor ohraničen železobetonovou vnější bariérou, která se nachází po celém obvodu elektrárny. Vstup do tohoto prostoru je podmíněn absolvováním **vstupní kontroly**. Jedná se především o tzv. radiační kontrolu a bezpečnostní kontrolu, tj. že do areálu elektrárny nejsou vnášeny tzv. zakázané předměty, jako jsou zbraně, střelivo, trhaviny, alkohol, drogy a další nebezpečné předměty. Kontrola na vnášení zakázaných předmětů je prováděna automatickým detektorem kovů a dále fyzickou prohlídkou.

Všechny osoby vstupující do tohoto prostoru musí být **označeny identifikační kartou**, která musí být umístěna viditelně na svrchním oděvu v horní polovině těla. Identifikační karty s fotografií opravňují držitele k samostatnému vstupu a pohybu ve střeženém prostoru. Bílou barvu identifikační karty mají zaměstnanci elektrárny, oranžovou kartu mají externí dodavatelé. Ke kartě navíc zaměstnanci nebo externí dodavatelé obdrží čtyřmístní kód, který se používá při průchodu turnikety. Vedle identifikační karty s fotografií se používají karty bez fotografie, které jsou určeny pro návštěvy elektrárny. Tyto osoby se mohou ve střeženém prostoru pohybovat pouze v doprovodu osoby, která odpovídá za její bezpeč-

nost [26]. Následující obr. 11. ukazuje příklady identifikačních karet zaměstnanců a externích dodavatelů elektrárny Dukovany.



Obr. 11. Příklady identifikačních karet zaměstnanců a externích dodavatelů jaderné elektrárny Dukovany

Zdroj: [26]

Osoby vstupující do střeženého prostoru elektrárny využívají ke vstupu hlavní vchod, viz obr. 12.



Obr. 12. Hlavní vstup do jaderné elektrárny Dukovany

Zdroj: vlastní zpracování

V případě, že osoby vjíždí do střeženého prostoru vozidlem, je toto vozidlo rovněž vybaveno identifikační kartou. Barevně jsou odlišena vozidla elektrárny (barva modrá), vozidla dodavatelů (barva zelená) a vozidla pro jednorázový vjezd – návštěva (barva bílá) [26]. Vjezd do prostoru elektrárny je umístěn po levé straně od hlavního vstupu do elektrárny, viz obr. 13.



Obr. 13. Prostor určený pro vjezd motorovým vozidlem do jaderné elektrárny Dukovany

Zdroj: vlastní zpracování

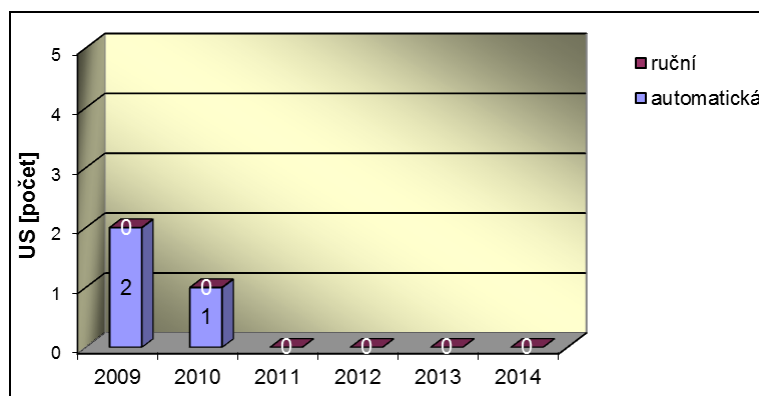
Dalším prostorem elektrárny je **chráněný prostor**, který je ohraničen vnitřní bariérou z drátěného plotu uvnitř střeženého prostoru. V tomto prostoru se nachází především velmi důležité objekty z hlediska provozu elektrárny a vstup do tohoto prostoru je povolen pouze osobám, které mají pro vstup povolení. **Vnitřní prostor elektrárny** je pak ohraničen pláštěm budovy, který se nachází vždy uvnitř chráněného prostoru. V tomto prostoru se nachází nejdůležitější zařízení elektrárny jako je reaktor, bezpečnostní systémy, důležitá čerpadla apod. Vstup do chráněného a následně vnitřního prostoru je podmíněn absolvováním bezpečnostních kontrol a především pak zadáním bezpečnostních kódů, kterými disponují osoby, které mají povolení k vstupu [26].

Z výše uvedeného přehledu je tedy patrné, že již pouhý vstup do prostoru elektrárny je spojen s mnoha bezpečnostními opatřeními, díky čemuž je eliminována hrozba vstupu nepovoleným osobám.

2.2 Bezpečnost a bezpečnostní opatření uplatňovaná v rámci jaderné elektrárny Dukovany

Úroveň jaderné bezpečnosti je možné hodnotit několika způsoby. Prvním je tzv. **pravděpodobnostní hodnocení**, které se stanovuje na základě určení pravděpodobnosti, že dojde k tavení aktivní zóny reaktoru. Tato informace je zpravidla vypočítána složitým matematickým vzorcem. Tento přístup se používá přibližně od druhé poloviny 90. let minulého století. Pro zajímavost v roce 1996 pravděpodobnost poškození aktivní zóny reaktoru jaderné elektrárny Dukovany vyjádřená bezpečnostním koeficientem činila $1,7 * 10^{-5}$. Tento koeficient se vlivem realizací dalších bezpečnostních programů zvýšil a v roce 2014 dosáhl hodnoty $7,7 * 10^{-6}$, což znamená, že k havarijní události vedoucí k poškození paliva v aktivní zóně, může dojít s **pravděpodobností 1 x za 130 000 let**, což je plně v souladu s doporučením Mezinárodní agentury pro atomovou energii. [3]

Dalším nástrojem pro hodnocení jaderné bezpečnosti je počet **automatických odstávek reaktoru za rok**, které jsou neplánované či vynucené. Z interních materiálů elektrárny Dukovany vyplývá, že v posledních pěti letech **nedošlo na žádném z bloků ani k jednomu automatickému či vynucenému odstavení reaktoru**. Tuto skutečnost dokládá také průběžné hodnocení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, viz obr. 14.



Obr. 14. Neplánovaný nebo vynucený počet odstávek jaderných reaktorů v letech 2009-2014

Zdroj: [30]

Výše uvedené vypovídá o tom, že je v rámci elektrárny Dukovany dlouhodobě kladen silný důraz jednak na systematické provádění modernizace provozu elektrárny a dále na posilování bezpečnosti jaderné elektrárny.

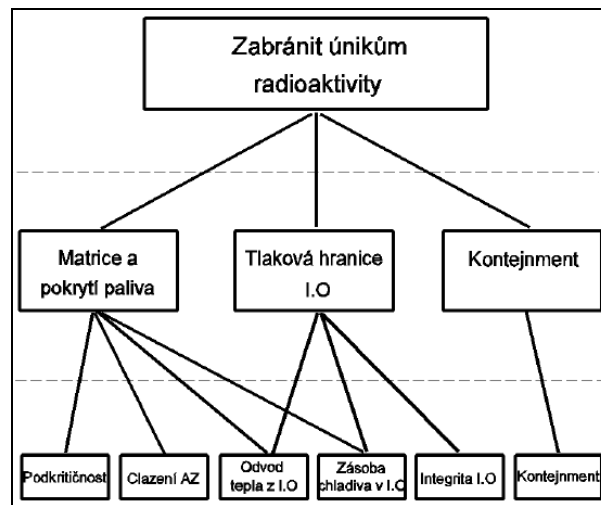
Jak již bylo několikrát naznačeno právě zajištění vysokého stupně bezpečnosti jaderných elektráren, je **nejdůležitějším požadavkem** kladeným na provoz těchto zařízení. Je tomu tak proto, že činností jaderné elektrárny vzniká radioaktivní materiál a radioaktivní záření, které v případě, že by se dostalo do vnějšího prostředí, by mohlo ohrozit obyvatelstvo a životní prostředí nejen v bezprostředním okolí elektrárny, ale také ve vzdálených zemích. Z toho důvodu jaderná elektrárna **musí být schopna odolat** zemětřesením i jiným živelným pohromám, pádu letadla, teroristickým útokům, technickým závadám i selhání lidského faktoru.

V praxi se zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderné elektrárny skládá z několika úrovní, resp. několika úrovní bezpečnostních opatření. Jedná se o:

- **ochranné technické zabezpečení elektrárny,**
- **fyzickou ochranu elektrárny a ochrana zdraví a života personálu,**
- **vnitřní a vnější havarijní připravenost** – popisují ochranná opatření v případě radiační havárie.

2.2.1 Ochranné technické zabezpečení elektrárny

Z technického hlediska se zajištění jaderné bezpečnosti elektrárny Dukovany týká zamezení možnosti úniku radioaktivních látek do okolí, resp. zajištění bezpečného (normálního) provozu elektrárny. Schematicky je naplnění tohoto cíle realizováno pomocí těchto opatření, viz obr. 15.



Obr. 15. Ochranná technická zabezpečení elektrárny Dukovany

Zdroj: [35]

V prvním kroku je nutné zajistit správné **odvádění tepla uvolňovaného z aktivní zóny** reaktoru a dále zajištění **chlazení aktivní zóny**. Za normálních provozních podmínek je odvod tepla zajišťován parogenerátory s velkou zásobou vody, tj. kondenzátory turbíny zajišťují odvod tepla a dále chlazení pomocí cirkulačního okruhu chladicí vody s chladicími věžemi s přirozeným tahem. Pro odvod tepla jsou dále určeny přepouštěcí stanice do kondenzátoru, redukční stanice, technologické kondenzátory, které jsou zařazeno mezi systémy související s bezpečností. Jako jejich případná náhrada mohou být využity bezpečnostní systémy přepouštěcí stanice do atmosféry, případně pojistné ventily parogenerátorů. V případě havarijního stavu dále existuje v rámci elektrárny Dukovany tzv. **vysokotlaký systém havarijního chlazení** aktivní zóny, který umožňuje zmírnit průběh a likvidaci následků havárie spojenou se **ztrátou těsnosti primárního okruhu** a dále **nízkotlaký systém havarijního chlazení**, který slouží k zmírnění průběhu a likvidaci následků havárií spojených s **velkými úniky z primárního okruhu**. Za normálního provozu bloku jsou vždy tyto systémy připraveny zasáhnout v případě vzniku havarijní situace. Technickou součástí pro případ havárie je také **systém tlakových zásobníků**, které jsou určeny k případnému zalití aktivní zóny v počáteční fázi havárie roztokem kyseliny borité. Systém se skládá ze čtyř tlakových zásobníků (4 x 40 m³ koncentrace H₃BO₃ 12g/kg). Každá ze čtyř tlakových zásobníků má svou nezávislou výtláčnou trasu DN 2520 přímo na reaktor.

Vylití zásobníků do reaktoru probíhá díky dusíkovému polštáři pasivně poklesem tlaku. [35]

Pro zajištění funkce řízení reaktivity v případě havárií je možné kromě výše uvedených systémů použít další bezpečnostní systémy, a to **systém čištění bazénových vod**, který je určen k čištění vody nádrží havarijní zásoby roztoku kyseliny borité barbotážního kondenzátoru. Pro účely zajištění bezpečnostní funkce řízení reaktivity je možné využít **bloková čerpadla tohoto systému** TM13,14D01 napájenými ze zajištěného napájení II. kategorie (DG) pro přečerpání roztoku kyseliny borité mezi nádržemi nízkotlakého havarijního systému s jeho následnou dodávkou do primárního okruhu po jeho odtlakování. Analogicky je možné použít také **bloková čerpadla systému TD60** pro přečerpání koncentrovaného roztoku kyseliny borité mezi nádržemi vysokotlakého havarijního systému s jeho následnou dodávkou do systému primárního okruhu pomocí vysokotlakých čerpadel havarijních systémů. [35]

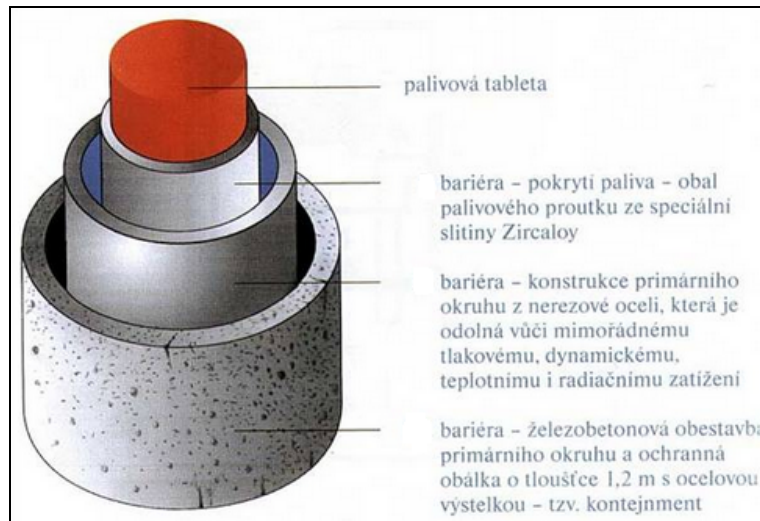
Vhodné je též poznamenat, že v březnu roku 2016 byla dokončena **výstavba dvou nových chladících věží**, které jsou ve srovnání se stávajícími osmi železobetonovými chladícími věžemi sedmkrát nižší a k chlazení vody používají mohutné ventilátory, které dokáží odolat zemětřesení, vichru a dalším živelným pohromám. Výstavba nových chladících věží tak posiluje další bezpečnostní systém jaderné elektrárny Dukovany, neboť v případě stávajících chladících věží hrozilo jejich poškození v případě vichru o rychlosti přesahující 150 km/hodinu. Nové věže, které disponují šesti velkými ventilátory, by měly bezproblémově fungovat při vichru až do 250 km/hodinu a odolat zemětřesení o síle 5,5 Richterovy škály. [33]

Dále elektrárna Dukovany disponuje systémem ochranných technických zabezpečení, která představují přímé bariéry sloužící k zamezení úniku štěpných produktů z aktivní zóny. Jde o:

- **palivovou tabletu**, což představuje vlastní fixaci radioaktivních látek do tablety,
- **hermeticky těsné palivové proutky (pokrytí paliva)**, ve kterých jsou tablety zataveny,
- **primární okruh reaktoru**,

- **systém ochranné obálky** (kontejnment) neboli hermetický box.

Názorně pak systém ochranných technických bariér ukazuje obr. 16.



Obr. 16. Technické bezpečnostní bariéry jaderné elektrárny Dukovany

Zdroj: [31]

Zajištění vysokého stupně integrity výše uvedených ochranných bariér je základním předpokladem bezpečnosti jaderné elektrárny. V praxi se komplex těchto bariér zaměřených na prevenci předcházení vzniku porušení jaderné bezpečnosti označuje jako **ochrana do hloubky**. Ochrana do hloubky si klade za cíl prevenci nehod a dále zmírnění následků nehod (havárií). V praxi je tato ochrana strukturovaná do několika odstupňovaných úrovní, tzn., pokud dojde k selhání jedné úrovně, přechází ochranné funkce na další úroveň. Cílem první úrovně ochranných opatření je prevence selhání provozních systémů, tj. prevence výskytu abnormálního provozu. Opatření první úrovně představují široké spektrum zásad, které se uplatňují ve všech fázích realizace jaderného zařízení počínaje výběrem vhodné lokality, konzervativním projektovým řešením s náležitými bezpečnostními rezervami do dosažení mezních stavů, vysokou jakostí výroby, montáže, vlastního provozu, údržby atd. [32]

V případě, že dojde k selhání první ochrany, pak nastupuje systém druhé úrovně ochrany do hloubky, jehož posláním je zajistit potřebnou kontrolu nad vznikem abnormálního pro-

vozu a co nejrychleji uvést systému do podmínek normálního provozu. Nejtypičtějším příkladem druhé úrovně ochranných opatření jsou pojišťovací ventily zamezující nepřipustnému převýšení tlaku v primárním a sekundárním okruhu, dále systém limitování maximálního výkonu reaktoru, systém kontroly teploty primárního chladiva na výstupu z aktivní zóny a všechna ostatní mezní nastavení ochranných systémů.

K zvládnutí velmi málo pravděpodobných jaderných událostí (např. havárie spojená se ztrátou chladiva apod.), jsou připravena technická opatření třetí úrovně ochrany do hloubky. Třetí úroveň ochranných opatření má v těchto případech zajistit dostatečné chlazení aktivní zóny, a tím předejít nepřipustnému přehřátí paliva, ztrátě integrity jeho povlaku a následnému tavení aktivní zóny. [32]

Čtvrtá úroveň ochrany do hloubky předpokládá, že za určitých takřka nepravděpodobných okolností mohou nastat události, kdy opatření prvních tří úrovní nezabrání poškození aktivní zóny. Tato úroveň ochrany si proto klade za cíl zabránit úniku štěpných radioaktivních produktů do životního prostředí. Komponenty primárního okruhu se za tím účelem umísťují do **hermetických prostorů ochranné obálky** představované u moderních jaderných elektráren kontejnmentem. Opatření této úrovně mají současně chránit ochrannou obálku před jejím porušením, neboť ochranná obálka představuje poslední bariéru proti případnému úniku radioaktivních látek do životního prostředí. Ochranná obálka je dimenzována s dostatečnou rezervou tak, aby si zachovala svou integritu i v podmínkách, kdy se veškerá tepelná a tlaková energie primárního chladiva okruhu uvolní do jejího vnitřního prostoru. [32]

Součástí hloubkové ochrany jsou také dva nezávislé systémy založené na různých technických principech, a to [35]:

- **mechanický systém odstavení reaktoru včetně vypínačů napájení**, tj. tento systém je tvořen havarijními a regulačními kazetami, které umožňují rychle přerušit řetězové reakce v reaktoru rychlým pádem absorpční části do aktivní zóny a současným vypnutím její palivové části z aktivní zóny. V jednom reaktoru je v současnosti umístěno 37 havarijních a regulačních kazet, které se dále dělí do šesti skupin.
- **systém doplňování a bórové regulace.**

2.2.2 Fyzická ochrana elektrárny Dukovany a ochrana zdraví pracovníků

Jádrum **fyzické ochrany jaderné elektrárny** je zabránit neoprávněným manipulacím s jaderným zařízením a jadernými materiály. Fyzická ochrana elektrárny je tvořena technickým systémem fyzické ochrany (viz výše), administrativními opatřeními, fyzickou ostrahou a pohotovostní ostrahou elektrárny. Cílem fyzické ochrany elektrárny je [26]:

- zamezení přístupu neoprávněných osob k citlivým zařízením jaderné elektrárny,
- zavedení administrativních a technických opatření pro režimové chování oprávněných osob,
- sledování režimového chování osob,
- zabránění neoprávněného přístupu a neoprávněného chování.

Součástí fyzické ochrany je též **zajištění ochrany zdraví a života personálu** pracujícího v rámci jaderné elektrárny Dukovany. Základem ochrany zdraví zaměstnanců je používání ochranných pomůcek, které slouží k zabránění případné kontaminace povrchu těla nebo vniknutí radioaktivních látek do těla zaměstnanců. Areál jaderné elektrárny Dukovany je z hlediska zajištění ochrany zaměstnanců a z hlediska ochrany před radioaktivními látkami členěn, na [26]:

- kontrolované pásmo,
- přechodné (dočasné) kontrolované pásmo,
- sledované pásmo,
- ostatní prostory.

Kontrolované pásmo představuje takou část pracoviště, ve kterém za určitých předvídatelných odchylek by ve srovnání s běžným provozem mohlo dojít k překročení 3/10 základních limitů pro radiační pracovníky. V tomto prostoru dochází k trvalému monitorování radiační situace a osoby, které vstupují do tohoto prostoru, jsou dozimetricky sledovány a vybaveny ochrannými pomůckami. Mezi základní ochranné pomůcky se řadí žlutá kombinéza, žlutá obuv, žluté spodní prádlo, žluté ponožky, žlutá přilba s podbradním řemínkem a štítkem. Tyto pomůcky jsou výhradně určeny pro pracovníky kontrolovaného pásma a mimo toto pásmo se používat nesmí. V případě prací se zvýšeným radiačním rizikem se

používají také další ochranné pomůcky, např. rukavice, respirátory, overal TYVEK apod. Kontrolované pásmo zahrnuje především prostory hlavních výrobních bloků, prostory budov aktivních pomocných provozů, objekty zpracování radioaktivních odpadů a ukládání radioaktivních odpadů, objekty meziskladu vyhořelého paliva a objektu skladu použitého palivu, chemické laboratoře, pracoviště útvaru radiační kontroly, speciální prádely a speciálních laboratoří. [26]

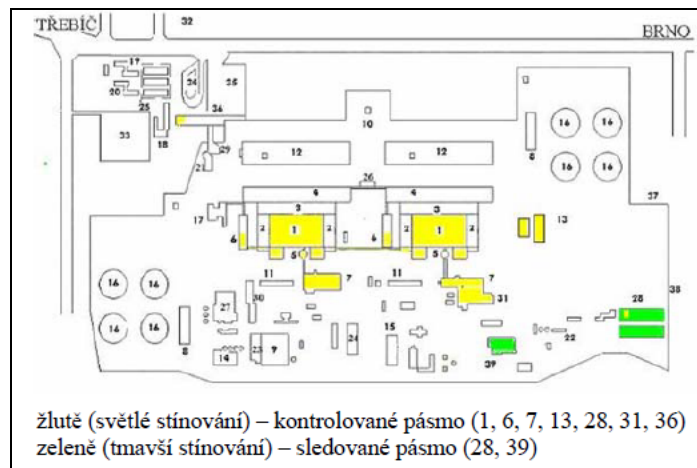
Přechodné kontrolované pásmo se zřizuje v kontrolovaných pásmech nebo v ostatních prostorách elektrárny Dukovany pro účely nedestruktivních kontrol. Při těchto kontrolách se používají zdroje nebezpečného neviditelného záření, a proto je vstup do těchto prostor přísně zakázán. Přechodné kontrolované pásmo se označuje a ohraničuje podle obrázku 17. a zahájení kontrol se vyhláší interním rozhlasem. [26]



Obr. 17. Přechodné kontrolované pásmo v jaderné elektrárně Dukovany

Zdroj: [26]

Sledované pásmo se vymezuje v těchto prostorách elektrárny Dukovany, kde se očekává, že za běžného provozu nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu by ozáření mohlo překročit obecné limity stanovené vyhláškou č. 304/2002 Sb., v platném znění. V rámci jaderné elektrárny Dukovany jsou trvale do sledovaného pásma zahrnuty objekty pomocné kotelny (č. 39 na obrázku 18.), dále objekt úložiště radioaktivních odpadů (č. 28 na obr. 18.). Následující obr. 18. ukazuje kontrolovaná a sledovaná pásma v rámci jaderné elektrárny Dukovany.



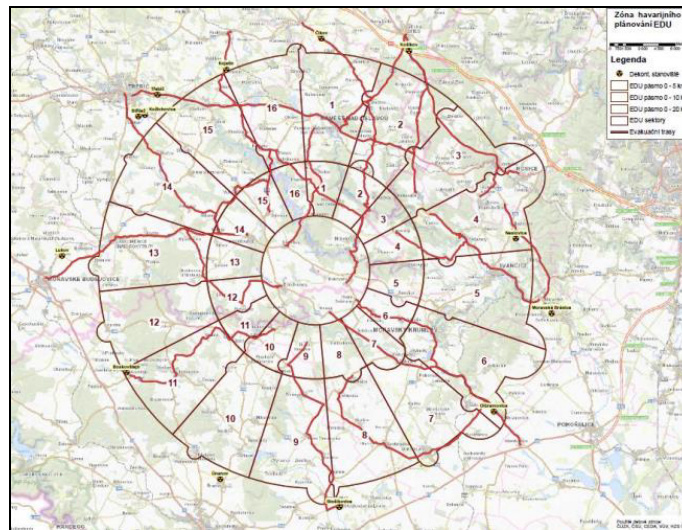
Obr. 18. Kontrolované a sledované pásmo v rámci jaderné elektrárny Dukovany

Zdroj: [26]

2.2.3 Vnitřní a vnější havarijní připravenost elektrárny Dukovany

Vnitřní a vnější havarijní připravenost znamená, že každý provozovatel jaderného zařízení má **zákonnou povinnost být připraven na všechny mimořádné události** související s provozem tohoto zařízení a tuto připravenost musí průběžně ověřovat prostřednictvím havarijní připravenosti, která je **vnitřní a vnější**. [32] Státní úřad pro jadernou bezpečnost stanovuje, že území ČR jako celek není vystaveno **extrémním podmínkám přírodních jevů**, jako jsou zemětřesení, záplavy, extrémní klimatické podmínky apod., které by mohly ohrozit bezpečnost jaderných elektráren Dukovany a Temelín. Tato skutečnost tak znamená, že v podmínkách ČR může radiační havárie vzniknout v důsledku **vnitřních příčin** nebo z **vnějších příčin** např. následkem teroristické hrozby.

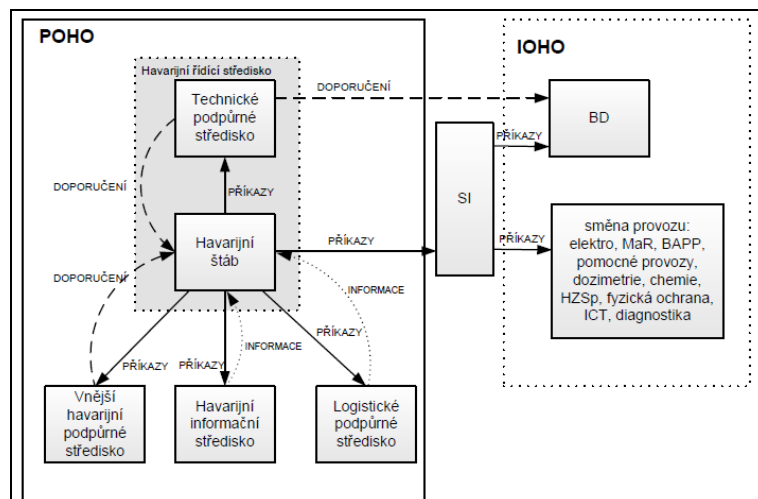
Havarijní připravenost jaderného zařízení se dokládá tzv. **vnitřním a vnějším havarijním plánem**. Základem každého z tohoto plánu je **havarijní plánování**, které je v případě jaderné elektrárny Dukovany vymezeno zónou 20 km od elektrárny. Z organizačního hlediska je okolí jaderné elektrárny Dukovany (zóna jejího havarijního plánování), ve kterém se ochranná opatření plánují rozdělena jednak do tří pásem představujících kružnice (pásma) o poloměrech 5 km, 10 km a 20 km od jaderné elektrárny, a jednak 16 kruhovými výsečemi po 22,5 stupních tak, aby osoby těchto výsečí odpovídaly směrům větru počínaje 0 stupněm [34]. Schematické znázornění zóny havarijního plánování jaderné elektrárny Dukovany ukazuje obr. 19.



Obr. 19. Schematické znázornění zóny havarijního plánování jaderné elektrárny Dukovany

Zdroj: [34]

Z personálního hlediska v rámci elektrárny Dukovany byla pro zvládnutí případných mimořádných situací ustanovena **Organizace havarijní odezvy**, která se skládá ze směnového personálu a pohotovostního personálu (POHO), který je složen ze specialistů technického personálu elektrárny, který drží pohotovost v rámci čtyř směn. Strukturu Organizace havarijní odezvy elektrárny Dukovany ukazuje obr. 20.



Obr. 20. Organizační struktura Organizace havarijní odezvy elektrárny Dukovany

Zdroj: [35]

Pro případ vzniku mimořádné události se zpracovává Organizace havarijní odezvy **vnitřní havarijní plán** a havarijní řád. Ve **vnitřním havarijním plánu** jsou klasifikovány všechny uvažované mimořádné události, které mohou nastat při provozu jaderného zařízení a ohrozit vnitřní a vnější bezpečnost. Vnitřní havarijní plán elektrárny Dukovany rozlišuje tři stupně mimořádné události, přičemž stupeň tři představuje nejvyšší stupeň ohrožení odpovídající jaderné havárii. Postup posuzování závažnosti vzniklých mimořádných událostí v rámci elektrárny Dukovany je uveden v příslušných zásahových instrukcích. Posuzování závažnosti vzniklých nahlášených událostí provádí vždy směnový inženýr porovnáním typu nahlášené události s množinou předem nadefinovaných zásahových úrovní. Klasifikaci mimořádné události je oprávněn provést také **velitel havarijního štábu**. Zásahové úrovně ve své podstatě představují soubor předem určených, místně specifických, iniciačních podmínek, při jejichž dosažení je stav jaderné elektrárny zařazen do příslušného klasifikačního stupně a typu. Zásahové úrovně jsou zpracovány pro všechny provozní režimy jaderné elektrárny. Iniciační podmínkou může být překročení některého ze stanovených parametrů, eventuálně výskyt diskrétních interních a externích událostí, jejichž rozvoj může ohrozit jadernou bezpečnost a radiační ochranu jaderné elektrárny. [36]

Pro jednotlivé mimořádné události musí být ve vnitřním havarijním plánu uvedeny **podrobné popisy činností**. Konkrétně je v tomto plánu stanoveno, že v případě vzniku mimořádné události poskytne směnový inženýr (SI) okamžité vyrozumění vedení elektrárny Dukovany a ČEZ, dále bezodkladně ohlásí událost Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost, Krajskému úřadu a Krajskému ředitelství hasičského záchranného sboru. K předání informace se používá vyplněný formulář Prvotní oznámení, resp. hlášení o vzniku mimořádné události. Po odeslání formuláře se používá záložní cesta, a to přes operační středisko hasičského záchranného sboru (v obr. 21. znázorněno přerušovaně).

Dále se havarijní připravenost dokládá tzv. **vnějším havarijním plánem**, který se zpracovává pro okolí jaderné elektrárny ležící v zóně havarijního plánování a popisuje **ochranná opatření pro obyvatelstvo** (vyrozumění a varování, monitorování radiační situace, ukrytí, jodovou profylaxi, evakuaci, regulaci pohybu osob, dozimetrickou kontrolu a dekontaminaci, regulaci využívání potravin, pitné vody a jejich zdrojů a zdravotní péči) a **zabezpečení havarijní připravenosti** v okolí elektrárny.

2.3 Hodnocení úrovně jaderné bezpečnosti a radiační ochrany elektrárny Dukovany

Po všech stránkách současné zajištění bezpečnosti elektrárny Dukovany odpovídá nejvyšším standardům zabezpečení a pravděpodobnost vzniku jaderné havárie je velmi malá. I přes tuto skutečnost je nutné provádět pravidelná externí hodnocení úrovně její bezpečnosti.

Jedno z největších hodnocení v dějinách fungování této elektrárny bylo provedeno mezi 13. až 27. září 2012 pod záštitou Světové asociace provozovatelů jaderných elektráren, které si kladlo za cíl prověřit bezpečnost provozu elektrárny. Hodnocení bylo zaměřeno nejen na chování elektrárny během jejího provozu z hlediska bezpečnosti, ale také byla hodnocena její bezpečnost v případě vzniku externích rizik, jako zemětřesení, teroristický útok apod. Z výsledků tohoto hodnocení vyplývá, že systém ochrany a bezpečnosti jaderné elektrárny Dukovany se nachází na vysoké úrovni a riziko vzniku jaderné havárie v případě externích vlivů je minimální. [23]

Dále především po jaderné havárii elektrárny Fukušima v Japonsku nařídila Evropská rada provést tzv. zátěžové testy jaderných elektráren nacházejících se na území Unie. Cílem těchto testů bylo analyzovat kombinace extrémních situací, které mohou vést k těžké havárii jaderného zařízení, bez ohledu na jejich nízkou pravděpodobnost.

Výsledky zátěžových testů potvrdily skutečnost, že robustnost jaderné elektrárny Dukovany **poskytuje značné rezervy k odvrácení těžkých havárií**. K silným stránkám z pohledu vnějších rizik výsledky testů stanovily [35] :

- elektrárna prochází stálou kontrolou a aplikuje relevantní nové poznatky,
- z technického hlediska je elektrárna připravena pro náročné podmínky,
- v případě mimořádné události je možné využití diverzních prostředků odvodu tepla,
- umístění elektrárny se nachází v lokalitě s minimálním seismickým rizikem,
- lokalita elektrárny rovněž vylučuje rizika vnějších záplav,
- elektrárna disponuje dvěma velkými vodními nádržemi na doplňování surové vody,
- uvnitř elektrárny se nachází velká zásoba chladicí vody,

- kompaktní bazény použitého jaderného paliva zajišťující podkritičnost paliva i při zaplavení čistou vodou,
- elektrárna disponuje poměrně velkým objemem kontejnmentu (barbotážním systémem) a relativně menšími výkonovými parametry reaktoru,
- elektrárna má k dispozici velkou zásobu chladiva ve žlabech barbotážní věže

I přes vysokou úroveň bezpečnosti provozu a robustnost elektrárny Dukovany byly na základě provedených rozborů, identifikovány následující možnosti dalšího zvýšení úrovně bezpečnosti a odolnosti elektrárny Dukovany v preventivní i následné fázi rozvoje extrémních stavů elektrárny, a to [35] :

- doplnění dalších mobilních zdrojů elektrického napájení a mobilních zařízení pro čerpání medií, nezávislých a plně oddělených od stávajících projektových systémů (napájením, dislokací, apod.),
- optimalizace organizace a školení personálu pro řízení extrémních situací (např. při zasažení více bloků elektrárny, při ztrátě řídicích center, systémů komunikace, apod.),
- rozšíření kapacity zařízení pro likvidaci vodíku při těžkých haváriích a tím zvýšení odolnosti kontejnmentu.

Pravidelně se hodnocením úrovně bezpečnosti jaderných elektráren v ČR zabývá také Státní úřad pro jadernou bezpečnost, který monitoruje a vyhodnocuje činnosti související s jadernou bezpečností a radiační ochranou pomocí souboru vybraných ukazatelů, které byly vypracovány na konci minulého století. Jedná se o soubor tzv. **provozně-bezpečnostních ukazatelů**, které se člení do čtyř oblastí, ve kterých je hodnocena úroveň jaderné bezpečnosti a radiační ochrany provozu jaderné elektrárny. Těmito oblastmi jsou [36]:

- **události**, které se dále člení do skupin hlášené události, působení ochranných a limitačních systémů, snížení výkonu a limity a podmínky,

- **provoz bezpečnostních systémů**, který se dále člení na ukazatele neprovozoschopnost bezpečnostních systémů a selhání bezpečnostních systémů,
- **těsnost bariér**, které se posuzují pomocí ukazatele jaderné palivo a hermetická obálka,
- **radiační ochrana**, ve které se hodnotí ukazatel personál a radioaktivní výpusti.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost výsledky hodnocení výše uvedených oblastí pravidelně zveřejňuje od roku 2003 v dokumentech s názvem *Hodnocení provozně bezpečnostních ukazatelů*. Poslední hodnotící zpráva je dostupná za rok 2014.

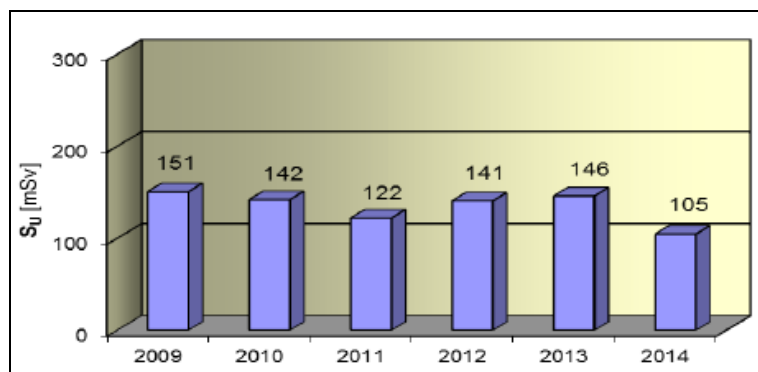
Ze zprávy pro jadernou elektrárnu Dukovany vyplývá, že v oblasti **události** bylo v roce 2014 významné to, že bylo provedeno 53 hlášených událostí, z nichž pouze jedno hlášení představovalo **významnou událost**. Dalším poznáním z této oblasti je, že v roce 2014 neproběhla žádná neplánovaná odstávka reaktoru. Poslední odstávka reaktoru proběhla v roce 2010 v rámci 4. bloku a předtím v roce 2009 došlo k dvojnásobnému odstavení 3. bloku reaktoru elektrárny. Od roku 2011 neproběhly žádné neplánované odstávky reaktoru. V rámci elektrárny Dukovany v roce 2014 došlo k jednomu případu, ve kterém došlo k snížení (omezení) výkonu reaktoru. Dále Zpráva stanovuje, že od roku 2009 nedošlo k pádu regulačních orgánů a nebyla zaznamenána ani žádná porucha na některém z bloků elektrárny. Souhrnně v této kategorii Zpráva stanovuje, že došlo ve srovnání s předchozími lety k zlepšení u většiny ukazatelů v oblasti události. [36]

V oblasti **bezpečného provozu systémů** zpráva stanovuje, že v roce 2014 bylo evidováno dozorovým orgánem 2 případy porušení podmínek bezpečného provozu. Pokud jde o selhání bezpečnostních systému pak v roce 2014, nebyl evidován žádný stav, kdy příslušný systém (agregát) po povelu na start nedosáhl nominální provozní charakteristiky nebo kdy došlo k jeho výpadku do 30 minut po jeho náběhu, ani nebyl evidován žádný případ jeho výpadu při chodu.

V oblasti **těsnost bariér** – jaderné palivo se sleduje spolehlivost paliva jednotlivých bloků prostřednictvím hodnot FRI faktoru. V roce 2014 nebyly vykázány vyšší hodnoty tohoto faktoru, které by detekovaly statisticky významnou pravděpodobnost, že by v aktivní zóně

reaktoru byly nějaké defekty paliva. V roce 2014 (stejně jako v předchozích letech) bylo dosaženo nulového počtu netěsných palivových souborů. Změřená těsnost na všech blocích elektrárny Dukovany v roce 2014 vykazovala stabilní nízkou úroveň. [36]

Poslední hodnocenou oblastí byla **radiační ochrana**, v rámci které Zpráva stanovila, že zajištění radiační ochrany se nachází na vysoké úrovni a elektrárna se v této oblasti dlouhodobě řadí mezi nejlepší jaderné elektrárny na světě. Ukazatele hodnotící radiační zátěž personálu rovněž vykazují výborné výsledky. Pro zajímavost v roce 2014 ve srovnání s předchozími lety došlo k významnému snížení kolektivní efektivní dávky, která je vyjádřena celkovou externí celotělovou dávkou obdrženu radiačními pracovníky elektrárny a dodavatelů během roku na jeden provozovaný blok, viz obr. 21.



Obr. 21. Kolektivní efektivní dávka na blok

Zdroj: [36]

Pozitivně zpráva hodnotí také fakt, že v roce 2014 byl speciálně dekontaminován pouze 1 pracovník za dohledu lékaře, což představovalo pokles ve srovnání s rokem 2013 o dva pracovníky. Také v kategorii kapalných a plyných výpustí Zpráva stanovuje, že jsou udržovány na velmi nízké úrovni. Autorizovaný limit pro efektivní dávku jednotlivce z kritické skupiny obyvatel z plyných výpustí $40 \mu\text{Sv}$ byl i v roce 2014 čerpán méně než 0,1 %, obdobně jako v předchozích letech. Efektivní dávka jednotlivce z kritické skupiny obyvatel z plyných výpustí dosáhla v roce 2014 necelé poloviny autorizovaného limitu $6 \mu\text{Sv}$. [36]

Souhrnně pak zpráva stanovuje, že v roce 2014 všechny hodnocené ukazatele byly ve všech oblastech na očekávaných průměrných hodnotách, a že byla zachována **vysoká úroveň**

jaderné i radiační bezpečnosti při výrobě elektrické energie v jaderné elektrárně Dukovany.

3 VÝPOČET MÍRY RIZIKA

Velikost dopadu D a pravděpodobnost výskytu P je předmětem hodnocení u každého rizika.

Dopad i pravděpodobnost jsou hodnoceny v kvalitativních bodových stupnicích s definovaným významem jednotlivých bodů stupnice.

Tab. 2 Stupnice dopadu rizika „D“. [40]

hodnota	Dopad
1	téměř neznatelný (0,1 do 1,0) - velmi malý
2	drobný (od 1,1 do 2,0) - malý
3	významný (od 2,1 do 3,0) - střední
4	velmi významný (od 3,1 do 4,0) - vysoký
5	nepříjemný (od 4,1 do 5,0) - velmi vysoký

Tab. 3. Stupnice pravděpodobnosti výskytu rizika „P“ [40]

hodnota	pravděpodobnost výskytu
1	téměř nemožné (od 0,1 do 1,0) - velmi malá
2	výjimečně možná (od 1,1 do 2,0) - malá
3	běžně možná (od 2,1 do 3,0) - střední
4	pravděpodobná (od 3,1 do 4,0) - vysoká
5	hraniční s jistotou (od 4,1 do 5,0) - velmi vysoká

Stupeň významnosti rizika „V“ je dán součinem bodového ohodnocení dopadu rizika „D“ a pravděpodobností výskytu rizika „P“.

$$V = D \times P$$

Tab. 4. Stupeň významnosti rizika „V“. Zdroj: [vlastní zpracování]

Stupeň významnosti rizika "V"		D - dopad				
		velmi malý	malý	střední	vysoký	velmi vysoký
P - Pravděpodobnost výskytu						
velmi malá		1	2	3	4	5
malá		2	4	6	8	10
střední		3	6	9	12	15
vysoká		4	8	12	16	20
velmi vysoká		5	10	15	20	25

Stupeň významnosti rizika se podle počtu dosažených bodů zařadí do jedné ze čtyř skupin:

1. skupina (1-4 body) – **riziko akceptovatelné**, bez zvláštních opatření, nevýznamné riziko, nejedná se o 100% bezpečnost, na riziko je potřeba upozornit a uvést organizační a výchovná opatření.
2. skupina (5-9 bodů) – **příjatelné riziko**, je zpravidla nutno přijmout opatření ve stanoveném termínu dle stanoveného plánu, tak aby riziko bylo snižováno nebo alespoň pod kontrolou.
3. skupina (10-16 bodů) – **nežádoucí riziko**, vyžaduje urychlené provedení bezpečnostního opatření, činnost je možná jen za učinění a dodržování příslušných bezpečnostních opatření.
4. skupina (17-25 bodů) – **nepříjatelné riziko**, činnost nesmí být započata nebo v ní pokračovalo do té doby, než bude riziko redukováno. [41]

4 CHECK LIST (KONTROLNÍ SEZNAM)

Kontrolní seznam je postup založený na systematické kontrole plnění předem stanovených podmínek a opatření. Seznamy kontrolních otázek (checklist) jsou zpravidla generovány na základě seznamu charakteristik sledovaného systému nebo činností, které souvisejí se systémem a potencionálními dopady, selháním prvku systému a vznikem škod. Jejich struktura se může měnit od jednoduchého seznamu až po složitý formulář, který umožňuje zahrnout různou relativní důležitost parametru (váhu) v rámci daného souboru. [39]

Tab. 5. Check List – registr a hodnocení rizik v oblasti BOZP. Zdroj: [vlastní zpracování]

číslo	Identifikace rizik		Hodnocení rizik				Řízení rizik	
	nebezpečná situace	kontrolní otázka	ANO	NE	D - dopad rizika	P - pravděpodobnost výskytu		Stupeň významnosti rizika V=D*P
1	Porušení předpisů v oblasti ŽP	Jsou dodržovány předpisy v oblasti ŽP?	X		3	3	9	dodržování právních a ostatních předpisů v oblasti ŽP, včetně vnitřních předpisů
2	Sedmi směnný provoz	Má vliv sedmi směnný provoz na zdraví zaměstnanců?		X	2	2	4	každý půl rok pravidelná kontrola u zdravotního lékaře
3	Kontakt s radioaktivní látkou	Jsou zaměstnanci dostatečně proškoleni ohledně manipulace s radioaktivní látkou?	X		3	4	12	pravidelné školení o způsobu manipulace a kontroly na dodržování zásad manipulací s radioaktivními látkami
4	Zasažení radioaktivní látkou	Používají zaměstnanci OOPP?	X		2	2	4	provádět školení a kontroly zda zaměstnanci plní svoji povinnost a používají OOPP
5	Nepravidelné vstupní kontroly	Jsou vstupní kontroly dostatečně prováděny tak, aby do areálu elektrárny nebyly vnášeny tzv. zakázané předměty (alkohol, drogy, zbraně, atd..) ?	X		3	2	6	detektorů kovů, dále fyzická prohlídka, každý zaměstnanec musí mít svoji identifikační kartu se svoji fotografií, která musí být umístěna viditelně na svrchním oděvu v horní polovině těla
6	Nebezpečí vnějších záplav	Je elektrárna Dukovany ohrožována nebezpečím vnějších záplav?		X	1	1	1	lokalita elektrárny vylučuje rizika vnějších záplav
7	Radiační havárie	Jsou zaměstnanci elektrárny a lidé v jejím okolí dostatečně proškoleni a seznámeni s postupem evakuace při možném vzniku radiační havárie	X		5	2	10	provádět školení a seznámit zaměstnance s vnitřním a vnějším havarijním plánem. Provádět jednou za půl roku cvičení evakuace elektrárny a jejího okolí.

5 NÁVRH NA ELIMINACI RIZIK

Z mé vypracované analýzy rizik lze uvést, že jaderná elektrárna Dukovany, dodržuje zpracování bezpečnostních norem a vyhlášek. Mají kvalitně zpracované dokumenty týkající se BOZP a havarijních plánů.

Za největší riziko považuji, když se zaměstnanci dostanou do kontaktu s radioaktivní látkou, která jim může způsobit větší zdravotní úraz s následkem dlouhodobé rekonvalescence nebo trvalý následek na zdraví. Proto navrhuji přísnější a pravidelnější kontroly na pracovišti zda zaměstnanci dodržují svou povinnost a používají při práci s radioaktivními látkami OOPP, dále je určitě zapotřebí provádět školení pro manipulaci s radioaktivními látkami.

Další riziko, které hrozí v jaderné elektrárně Dukovany je hrozba radiační havárie. Současná úroveň zabezpečení jaderné a radiační bezpečnosti elektrárny Dukovany se nachází na velmi vysoké úrovni. Tuto skutečnost dokládají také různé druhy nezávislých, externích hodnocení. Díky tomu je tak riziko případné havárie velmi minimální a vysoce nepravděpodobné. Avšak každá hrozba může jednou nastat, a proto navrhuji jednou za půl roku provádět cvičení evakuace elektrárny a jejího okolí pro připravenost na danou hrozbu.

V oblasti ŽP mají Dukovany systém ochrany životního prostředí ve srovnání s ostatními na vyšší úrovni. Ochrana životního prostředí je základní oblast, která bude provádět elektrárnu po celou její životnost. V tomto směru nenavrhuji žádná nová opatření, protože jaderná elektrárna Dukovany v této oblasti dodržuje všechny právní a ostatní předpisy ŽP.

Dalším z rizik, které elektrárnu ohrožují je vnášení tzv. zakázaných předmětů (alkohol, drogy, zbraně, atd...). V této oblasti navrhuji důkladné fyzické prohlídky osob při vstupu do areálu elektrárny.

ZÁVĚR

Cílem předkládané práce bylo objasnit jadernou energetiku České republiky a její potenciál pro ČR a dále představit úroveň bezpečnosti jaderného zařízení v rámci zvolené jaderné elektrárny, kterou je elektrárna Dukovany.

Stanovenému cíli byla podřízena také struktura práce. V první kapitole bylo přistoupeno k představení jaderné energetiky ČR. V tomto směru bylo zjištěno, že v ČR existuje několik druhů jaderných zařízení. Jednak se jedná o výzkumné reaktory nacházející se v Ústavu jaderného výzkumu v Řeži u Prahy a výukový reaktor Jaderné a fyzikálně-inženýrské fakulty ČVUT v Praze. Největšími a také nejvýznamnějšími jadernými zařízeními jsou **dvě jaderné elektrárny**, a to Temelín a Dukovany, které se nachází ve vlastnictví státního podniku České energetické závody, a. s. V současnosti se v těchto dvou elektrárnách nachází šest tlakovodních reaktorů ruského typu VVER. Celkový instalovaný výkon je 2 x 1 000 M_w v rámci Temelínu a 4 x 510 M_w v Dukovanech. Kapacita dukovanských reaktorů vzrostla díky modernizaci, která byla ukončena v roce 2012.

Pokud jde o význam jaderné energie v rámci národního hospodářství ČR, pak Státní energetická koncepce aktualizovaná v prosinci roku 2014 a schválená v květnu 2015 stanovuje, že jaderné zdroje představují druhý nejvýznamnější zdroj energie v ČR, neboť se podílí přibližně z 33 % na výrobě elektrické energie. V této Koncepci je vyzdvižen především fakt, že Česká republika disponuje poměrně významnými zásobami paliva, což umožňuje vytvořit strategické zásoby na několik let provozu jaderných elektráren.

Z hlediska budoucnosti tato Koncepce doporučuje provést dostavbu nových jaderných bloků u stávajících elektráren o celkovém výkonu do 2 500 M_w do roku 2035 a prodloužit životnost stávajících čtyř bloků v elektrárně Dukovany na 50 až 60 let.

V druhé kapitole pak bylo přistoupeno k představení jaderné bezpečnosti elektrárny Dukovany. V tomto ohledu bylo zjištěno, že systém zabezpečení elektrárny je několika úrovnový, tj. zahrnuje ochranné technické zabezpečení elektrárny, fyzickou ochranu elektrárny a ochranu zdraví a života personálu a vnitřní a vnější havarijní připravenost. Technické zabezpečení elektrárny je velmi sofistikované a technicky velmi náročné, neboť zahrnuje více bezpečnostních a ochranných prvků, které jsou nedílnou součástí normálního provozu

a dále speciální ochranné prvky pro případ mimořádných událostí. Velmi důležitou oblastí technického zabezpečení elektrárny je tzv. ochrana do hloubky, která si klade za cíl prevenci nehod a dále zmírnění následků případných havárií. V praxi je tato ochrana strukturovaná do několika odstupňovaných úrovní, tzn., pokud dojde k selhání jedné úrovně, přechází ochranné funkce na další úroveň. Fyzická ochrana elektrárny je pak zaměřena na zabránění neoprávněných manipulací s jaderným zařízením a jadernými materiály. Fyzická ochrana elektrárny je tvořena technickým systémem fyzické ochrany, administrativními opatřeními, fyzickou ostrahou a pohotovostní ostrahou elektrárny. Vnitřní a vnější havarijní připravenost pak popisuje ochranná opatření v případě radiační havárie.

Současná úroveň zabezpečení jaderné a radiační bezpečnosti elektrárny Dukovany **se nachází na velmi vysoké úrovni**. Tuto skutečnost dokládají také různé druhy nezávislých, externích hodnocení. Díky tomu je tak riziko případné havárie velmi minimální a vysoce nepravděpodobné. K zpřísnění a tedy zvýšení bezpečnostních opatření došlo rovněž po roce 2011 po jaderné havárii ve Fukušimě v Japonsku, kdy bylo provedeno ve všech zemích rozsáhlé hodnocení týkající se úrovně bezpečnosti a především pak chování elektráren v extrémních situacích. Hodnocení provedené v roce 2012 v jaderné elektrárně Dukovany potvrdilo výše uvedené, a to že jsou uplatňovány a dodržovány v rámci elektrárny všechny existující regulační, kontrolní a technologické podmínky a bezpečnost jaderné elektrárny dosahuje nadprůměrně vysokých hodnot, díky čemuž se pravděpodobnost vzniku jaderné havárie v rozsahu stupně 3-7 snižuje na riziko blízké se téměř nule.

Stanovená práce si stanovila rovněž hypotézu, a to že: *„odpůrci jaderné energie, kteří napadají především bezpečnostní dimenzi jaderných elektráren, a jež vybízí k jiným zdrojům energie, argumentují takto i přesto, že současná úroveň jaderného zařízení v ČR je na vysoké bezpečnostní úrovni.“*

Na základě výše zjištěného je nutné stanovenou hypotézu zamítnout, protože současná úroveň zabezpečení jaderného zařízení musí splňovat natolik složitá a rozsáhlá bezpečnostní opatření, která zásadním způsobem eliminují riziko vzniku jaderné havárie. V případě jaderné elektrárny Dukovany se pravděpodobnost vzniku havarijní události vedoucí k poškození paliva v aktivní zóně reaktoru stanovuje na 1 x za 130 000 let. Na základě tohoto je tak možné stanovit, že zabezpečení jaderných elektráren je natolik vysoké

a hrozba havárie na tolik nízká, že není možné zavrhnout jaderné elektrárny z titulu napadání jejich bezpečnostní dimenze.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BURKET, Daneš a kol. *Jaderná energie: Útlum nebo rozvoj?* Praha: Centrum pro ekonomiku a politiku, 2007. ISBN 978-80-87806-73-9.
- [2] DANČÁK, Břetislav a Jan ZÁVĚŠICKÝ. *Energetická bezpečnost a zájmy České republiky*. Brno: Mezinárodní politologický ústav, 2007. ISBN 978-80-210-4440-1.
- [3] KOLAT, Pavel a David TOMÁŠEK. *Jaderná energetika*. [online] Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2012 [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: kce.zcu.cz/about/.../18.../111_Jaderna-energetika---Kolats---P3.pdf
- [4] WAISOVÁ, Šárka a kol. *Evropská energetická bezpečnost*. Plzeň: Aleš Čeněk, 2008. ISBN 978-80-7380-148-9.
- [5] DUFKOVÁ, Marie a kol. *Encyklopedie energetiky: jaderná energie* [online] Praha: ČEZ, 2012 [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/.../encyklopedie_jaderna-energie_e.pdf
- [6] ČEZ. *Rozvoj jaderné energetiky ve světě* [online] Praha: ČEZ, 2015 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/zvazovana-dostavba-elektrarny-temelin/rozvoj-jaderne-energetiky-ve-svete.html>
- [7] MAY, John. *Kniha atomového věku: utajovaná historie, cena, kterou lidé platí za využívání atomu*. [online] Praha: ATOM, 1993 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: old.greenpeace.cz/archiv/nuclearage.pdf
- [8] JANDOVÁ, Dobroslava. *Balneologie*. Praha: Grada Publishing, 2009. 440 s. ISBN 978-80-247-2820-9.
- [9] VÍCHA, Ondřej. *Základy horního a energetického práva*. Praha: Wolters Kluwer, 2015. 228 s. ISBN 978-80-7478-920-5.
- [10] POSLANECKÁ SNĚMOVNA. *Zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů* [online] Praha: Poslanecká sněmovna, 1997 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=18&r=1997>
- [11] MÁLEK, Jan. *Budoucnost jaderné energetiky v ČR* [online] Znojmo: CSVTS, 2013 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: www.csvts.cz/cns/news13/malek13.pdf

- [12] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Státní energetická koncepce – prosinec 2014* [online] Praha: MPO, 2015 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument158012.html>
- [13] SMEJKAL, Tomáš. *Historie a budoucnost jaderné energetiky v ČR (seminář PRO-ENERGY magazínu)* [online] Praha: MPO, 2015 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: www.pro-energy.cz/.../Pazdera_NAP%20jaderne%20energetiky.pdf
- [14] ČEZ. *Dukovany* [online] Praha: ČEZ, 2015 [cit. 2015-12-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu.html>
- [15] ŠKORPÍK, Jiří. *Jaderná energetika* [online] Praha: Transformační technologie, 2012 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/jaderna-energetika.html>
- [16] BÖCK, Helmuth, DRÁBOVÁ, Dana. *Rizika přesahující hranice. Případ Temelín*. Praha: Česká nukleární společnost, 2006. 28 s. ISBN 80-02-01794-3.
- [17] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Národní akční plán rozvoje jaderné energetiky v ČR (2015)* [online] Praha: MPO, 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://databaze-strategie.cz/cz/mpo/strategie/narodni-akcni-plan-rozvoje-jaderne-energetiky-v-cr>
- [18] JANČAR, Rost'á. *Jak funguje Temelín. Byli jsme přímo v srdci reaktoru* [online] Praha: Technet, 2007 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/jak-funguje-temelin-byli-jsme-primo-v-srdci-reaktoru-f9n-/tec_reportaze.aspx?c=A070417_135542_tec_technika_rja
- [19] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Sklady vyhořelého jaderného paliva* [online] Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2015 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/sklady-vyhoreleho-jaderneho-paliva/>
- [20] BINHACK, Petr a kol. *Energetická bezpečnost ČR a budoucnost energetické politiky EU*. Praha: Ústav mezinárodních vztahů, 2011. 166 s. ISBN 978-80-87558-02-7.
- [21] JE TEMELÍN A DUKOVANY. *Bezpečnost českých jaderných elektráren* [online] Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2015 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: <http://www.je-temelin-dukovany.cz/jaderna-elektrarna-bezpecnost.htm>

- [22] ŠTĚTINA, J. a kol. *Zdravotnictví a integrovaný záchranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách*. Praha: Grada Publishing, 2014. 268 s. ISBN 978-80-247-4578-7.
- [23] MAREŠ, M. a kol. *Krizový management: případové bezpečnostní studie*. Praha: Ekopress, 2013. 235 s. ISBN 978-80-86929-92-7.
- [24] PORTÁL VEŘEJNÉ SPRÁVY. Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů [online] Praha: Portál veřejné správy, 2016 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=44906&recShow=14&nr=18~2F1997&rpp=100#parCnt>
- [25] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. Seznam právních předpisů z oblasti jaderné energie, ionizujícího záření a předpisy související [online] Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2015 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/zpravy/narodni.../Priloha6.pdf>
- [26] ČEZ. Vstupní školení do jaderné elektrárny Dukovany [online] Praha: ČEZ, 2016 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/skoleni/skripta-2016.pdf
- [27] ČEZ. Pokročilé jaderné technologie a skupina ČEZ. [online] Praha: ČEZ, 2013 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: www.cez.cz/.../pdf/cez_a_pokrocile_jaderne_technologie_-_nahled.pdf
- [28] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. Národní zprávy [online] Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2013 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/narodni-zpravy/>
- [29] FINANČNÍ NOVINY. PROFIL: I po 30 letech v provozu čeká Dukovany nejméně jedna dekáda [online] Praha: Finanční noviny, 2015 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://www.financninoviny.cz/zpravy/profil-i-po-30-letech-v-provozu-ceka-dukovany-nejmene-jedna-dekada/1211178>
- [30] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. Hodnocení provozně-bezpečnostních ukazatelů za rok 2014 [online] Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2015 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/hodnoceni-jaderne-bezpecnosti>

- [31] ČEZ. Bariéra (u jaderné elektrárny) [online] Praha: ČEZ, 2015 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/bariera_je.html
- [32] STÁTNÍ ÚŘAD RADIAČNÍ OCHRANY. Jaderné elektrárny [online] Praha: Státní úřad radiační ochrany, 2015 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/jaderne-elektrarny>
- [33] ČTK. Dukovany mají nové chladicí věže. Stojí miliardu a jsou sedmkrát nižší [online] Praha: ČTK, 2016 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: http://jihlava.idnes.cz/nove-chladici-veze-jaderne-elektrarny-dukovany-fru-jihlava-zpravy.aspx?c=A160303_142610_jihlava-zpravy_mv
- [34] KRAJ VYSOČINA. Vnější havarijní plány [online] Vysočina: Hasičský záchranný sbor, 2015 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/vnejsi-havarijni-plany-vnejsi-havarijni-plany.aspx>
- [35] ČEZ. Ocenění bezpečnosti a bezpečnostních rezerv JE Dukovany (z pohledu skutečností havárie JE Fukushima) [online] Praha: ČEZ, 2013 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/zatezove-testy-eu/provedeni-a-vysledky-zatezovych-testu-je-dukovany.htm>
- [36] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. Hodnocení provozně-bezpečnostních ukazatelů [online] Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2015 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/hodnoceni-jaderne-bezpecnosti/>
- [37] PALEČEK, M.: *Postupy a metodiky analýz s hodnocením rizik pro účely zákona o prevenci závažných havárií*. VÚBP Praha, 2000, s. 20.
- [38] SMEJKAL, V., RAJS, K.: *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. 4. vydání. Praha: Grada Publishing, 2013. s. 91. ISBN 978-80-247-4644-9.
- [39] ŠEFČÍK, V.: *Analýza rizik. 1*. Vydání. UTB Zlín, 2009, s. 16. ISBN 978-80-7318-696-8.
- [40] Příručka řízení rizik pro řídicí orgány operačních programů. Emst & Young. 2009. Verze 1.1

- [41] MÍRA RIZIKA. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:
<http://www.guard7.cz/lexikon/zakladni-povinnosti-v-bozp/prevence-rizik/klasifikace-a-hodnoceni-miry-rizika-pro-bozp-urceni-vyznamnosti-rizikajednotlivy>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČVUT České vysoké učení technické v Praze

EU Evropská unie

ČR Česká Republika

BOZP Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

OOPP Osobní ochranné pracovní pomůcky

ŽP Životní prostředí

ČEZ České energetické závody, a.s.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Uspořádání reaktoru.....	15
Obr. 2 Předpokládaná struktura výroby elektrické energie podle zdroje v roce 2040	19
Obr. 3. Celkový pohled na areál jaderné elektrárny Dukovany	21
Obr. 4. Celkový pohled na areál jaderné elektrárny Temelín	23
Obr. 5. Řez povrchovým úložištěm radioaktivních odpadů	25
Obr. 6. Rozdíl mezi původním (nevyužitým) a použitým jaderným palivem.....	26
Obr. 7. Roční výroba elektrické energie jaderné elektrárny Dukovany v letech 1985- 2015 (v GWh).....	40
Obr. 8. Technické rozložení hlavních objektů jaderné elektrárny Dukovany.....	44
Obr. 9. Organizační struktura jaderné elektrárny ČEZ	46
Obr. 10. Rozdělení prostoru areálu jaderné elektrárny Dukovany.....	47
Obr. 11. Příklady identifikačních karet zaměstnanců a externích dodavatelů jaderné elektrárny Dukovany	48
Obr. 12. Hlavní vstup do jaderné elektrárny Dukovany	48
Obr. 13. Prostor určený pro vjezd motorovým vozidlem do jaderné elektrárny Dukovany	49
Obr. 14. Neplánovaný nebo vynucený počet odstávek jaderných reaktorů v letech 2009-2014.....	50
Obr. 15. Ochranná technická zabezpečení elektrárny Dukovany	52
Obr. 16. Technické bezpečnostní bariéry jaderné elektrárny Dukovany	54
Obr. 17. Přejídné kontrolované pásmo v jaderné elektrárně Dukovany.....	57
Obr. 18. Kontrolované a sledované pásmo v rámci jaderné elektrárny Dukovany.....	58
Obr. 19. Schematické znázornění zóny havarijního plánování jaderné elektrárny Dukovany	59
Obr. 20. Organizační struktura Organizace havarijní odezvy elektrárny Dukovany	59
Obr. 21. Kolektivní efektivní dávka na blok.....	64

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Celková délka odstávek ve dnech a vývoj dosažitelného výkonu jaderné elektrárny Dukovany v letech 1985-2015.....	40
Tab. 2 Stupnice dopadu rizika „D“. [40]	66
Tab. 3. Stupnice pravděpodobnosti výskytu rizika „P“ [40].....	66
Tab. 4. Stupeň významnosti rizika „V“. Zdroj: [vlastní zpracování]	67
Tab. 5. Check List – registr a hodnocení rizik v oblasti BOZP. Zdroj: [vlastní zpracování]	68