

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**Enviromentální dopady jaderné energetiky
na území evropského kontinentu**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Bakalant: Andrea Pacáková

Praha, 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Andrea Pacáková

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Enviromentální dopady jaderné energetiky na území evropského kontinentu

Název anglicky

Environmental impacts of nuclear energy on the territory of the European continent

Cíle práce

Předmětem bakalářské práce je literární rešerše na téma Enviromentální dopady jaderné energetiky na evropském území. Cílem bakalářské práce je studie dopadů jaderné energetiky na jednotlivé složky životního prostředí a jaderné bezpečnosti.

Metodika

Literární rešerše na uvedené téma. Studie dopadů jaderné energetiky na jednotlivé složky životního prostředí a jaderné bezpečnosti na území Evropy.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu

Klíčová slova

životní prostředí, jaderná energetika, radioaktivita, jaderná bezpečnost

Doporučené zdroje informací

Barabas K., 1985: Životní prostředí a jaderná energetika. ČVUT, Praha, 47s.

Baran V., 2002: Jaderná energetika a další problémy moderní civilizace. Academia, Praha, 159 s.

Čapoun T., Krykorková J., Mika O. J., Navrátilová L. Urban I., 2009: Chemické havárie. MV-GR HZS ČR, Praha, 149 s.

Mika O. J., Polívka L., 2010: Radiační a chemické havárie. PAČR, Praha, 172 s.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 5. 12. 2022

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 12. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Environmentální dopady jaderné energetiky na území evropského kontinentu vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, 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, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V dne

.....

(podpis autora práce)

Poděkování

Ráda bych poděkovala doc. Mgr. Markovi Vachovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce. Dále patří mé poděkování rodině, blízkým a všem, kteří mě během mé práce podporovali.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou environmentálních dopadů jaderné energetiky na území evropského kontinentu. Práce se zaměřuje na analýzu výhod a nevýhod této formy energetiky, srovnává jadernou energetiku s jinými zdroji energie, posuzuje rizika spojená s provozem jaderných elektráren a předkládá možná řešení pro bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem. Zohledňovány jsou také aktuální politické a ekonomické trendy v oblasti energetiky v Evropě a plány na budoucnost, včetně záměru zdvojnásobit výrobu jaderné energie do poloviny století, jak navrhuje IEA. Cílem práce je poskytnout literární rešerši o stavu jaderné energetiky v Evropě a jejích dopadech na životní prostředí, a tím přispět k odborné diskusi o této kontroverzní tématice.

Klíčová slova:

životní prostředí, jaderná energetika, radioaktivita, jaderná bezpečnost

Abstract

The bachelor's thesis deals with the issue of environmental impacts of nuclear energy on the territory of the European continent. The thesis focuses on analyzing the advantages and disadvantages of this form of energy, comparing nuclear energy with other sources of energy, assessing the risks associated with the operation of nuclear power plants, and presenting possible solutions for the safe disposal of radioactive waste. Current political and economic trends in the field of energy in Europe are also taken into account, including plans for the future, such as the IEA's proposal to double nuclear energy production by the mid-century. The aim of the thesis is to provide a literature review on the state of nuclear energy in Europe and its impact on the environment, and thus contribute to the professional discussion on this controversial topic.

Keywords:

environment, nuclear energy, radioactivity, nuclear safety and security

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce.....	3
3. Literární rešerše	4
3.1 Jaderná energie	4
3.1.1 Radioaktivita	4
3.1.2 Definice jaderné energie	5
3.1.3 Jaderný reaktor	6
3.1.4 Jaderné palivo.....	8
3.2 Environmentální dopady	10
3.2.1 Vliv jaderné energie na ovzduší.....	10
3.2.2 Vliv jaderné energie na vodu	11
3.2.3 Vliv jaderné energie na půdu	13
3.2.4 Vliv jaderné energetiky na klimatické změny.....	14
3.2.5 Řešení environmentálních dopadů.....	16
3.2.6 Vyřazení jaderných elektráren z provozu a jejich následná likvidace .	16
3.2.7 Jaderný odpad a jeho ukládání	18
3.3 Jaderná energetika vs ostatní zdroje energie	21
3.3.1 Konvenční elektrárny	21
3.3.2 Alternativní elektrárny	21
3.4 Historie jaderné energie v Evropě	24
3.5 Současný stav politiky jaderné energetiky v Evropě.....	24
3.6 Bezpečnost.....	29
3.6.1 Bezpečnostní opatření a protokoly pro jaderné elektrárny	29
3.6.2 Mezinárodní spolupráce a sdružení.....	30
3.6.3 Mezinárodní stupnice jaderných událostí.....	32
3.6.4 Monitoring radioaktivity	34
3.7 Legislativa a regulace	35
3.7.1 Směrnice EU	35
3.7.2 Mezinárodní smlouvy a úmluvy	36
3.8 Příklady konkrétních dopadů jaderné energetiky v Evropě	37
3.8.1 Havárie v jaderné elektrárně v Černobyli	37
3.8.2 Jaderná elektrárna Sellafield (Velká Británie)	38
3.8.3 Skládky radioaktivního odpadu – Asse II, La Hague	39
3.8.4 Jaderná elektrárna Fukushima Daiichi	40

4. Výsledné zhodnocení.....	41
5. Diskuze	43
6. Závěr	46
7. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	47

1. Úvod

Vyvážení environmentálních a ekonomických cílů je důležité pro rozvíjející se světovou ekonomiku. Rychlý růst světových ekonomik v posledních desetiletích umožnil vytvoření základní infrastruktury, snížení chudoby a zlepšení životní úrovně obyvatel. Avšak v důsledku rychlého hospodářského rozvoje globální ekonomiky se kompromituje přírodní kapitál, což vede k vážným environmentálním problémům, jako jsou využívání energetických zdrojů, ztráta biodiverzity, degradace půdy a znečištění vody a vzduchu. Tento problém zvyšuje zranitelnost společnosti a ekologického prostředí naší planety (Wallace-Wells, 2019).

Podle některých odhadů celosvětová spotřeba energie a produkce výrobků představuje 25 % globálních emisí znečištění. Proto je nezbytné dosáhnout udržitelného hospodářského rozvoje, který nijak neohrozí kvalitu životního prostředí a bude vyvažovat lidské potřeby s regenerativním biologickým potenciálem naší planety. Hlavním cílem je dosáhnout ekonomického rozvoje, aniž by se ohrožovala kvalita životního prostředí, a hledat udržitelné způsoby, jak předcházet socioekologickým katastrofám. Rostoucí obavy o degradaci životního prostředí vedly země k navrhování a implementaci ekonomických a environmentálních politik, které mají snížit celkovou ekologickou stopu a řešit environmentální krize. I přesto se některé ekonomiky stále potýkají s vysokou ekologickou a uhlíkovou stopou. Největších deset zemí s největší ekologickou stopou využívající jadernou energii také nesou vliv environmentálních problémů, neboť rychlý ekonomický a energetický růst v posledních desetiletích způsobil významné ekologické obtíže (Comby, 2007).

Růst ekologické stopy člověka ukazuje nerovnováhu mezi lidmi a jejich prostředím. Většina světové populace žije v ekologicky deficitních zemích, kde asi 80 % obyvatelstva spotřebovává více zdrojů, než je Země schopna regenerovat. S výjimkou Ruska a Brazílie překračuje poptávka lidí v ostatních zemích kapacitu Země, což způsobuje ekologické překročení a tlaky na ekosystémy v podobě degradace půdy a vyčerpávání zdrojů (odlesňování a nadměrný rybolov), emisí znečišťujících látek a snižování biodiverzity. Energie je důležitou součástí výroby a hraje klíčovou roli v ekonomickém rozvoji. Zvyšující se poptávka po energii je přímo spojena s lidským a ekonomickým pokrokem. Téměř 80 % stávajícího energetického portfolia je závislé na spalování fosilních paliv, což je hlavní příčinou

znečištění na celém světě. Proto se celosvětově stojí před dvěma výzvami: uspokojit rostoucí poptávku po energii a zachovat životní prostředí prostřednictvím přechodu na nízkouhlíkové energie s minimálním ekologickým dopadem. Jaderné a obnovitelné zdroje energie mohou tuto výzvu řešit a pomoci snížit ekologické dopady energetiky, nicméně je potřeba také zvážit jejich environmetální dopady (Comby, 2007).

2. Cíl práce

Kvůli jaderným haváriím, které svět postihly ve 20. a 21. století, se jaderná energie stala diskutovaným tématem nejen v médiích, ale i v řadách odborníků. Cílem bakalářské práce je literární rešerše na téma Environmentální dopady jaderné energetiky na území evropského kontinentu.

Budou řešeny tyto základní otázky:

1. Je využití jaderné energie v porovnání s ostatními zdroji energie příznivější pro životní prostředí?
2. Je výhodné z finančního hlediska i s ohledem na životní prostředí budovat další jaderné elektrárny na území evropského kontinentu?
3. Jaká rizika jsou spojena s provozem jaderných elektráren a jaké mají dopady na životní prostředí?
4. Jsou bezpečnostní opatření jaderných elektráren na území evropského kontinentu dostačující?
5. Zhodnocení současného stavu a perspektiv jaderné energetiky v Evropě vzhledem k cílům EU pro snižování emisí skleníkových plynů.

3. Literární rešerše

3.1 Jaderná energie

3.1.1 Radioaktivita

Radioaktivita je spontánní proces rozpadu nestabilních atomových jader, při kterém dochází k uvolnění ionizujícího záření. Tento proces je způsoben nevyváženým počtem protonů a neutronů v jádře atomu, což způsobuje jeho nestabilitu. Radioaktivní izotopy se snaží dosáhnout větší stability tím, že uvolňují energii a částice, například alfa částice (jádra helium) nebo beta částice (elektrony nebo pozitrony) (Wong, 1998).

Existují tři základní druhy radioaktivního rozpadu: alfa rozpad, beta rozpad a gama rozpad. Při alfa rozpadu dochází k rozpadu jádra na částici alfa, která se skládá ze dvou protonů a dvou neutronů. Při beta rozpadu dochází k přeměně neutronu na proton a uvolnění elektronu nebo pozitronu. Při gama rozpadu je uvolněno elektromagnetické záření o velmi vysoké energii. Alfa záření je nejméně pronikavé a může být zastaveno vrstvou papíru nebo kůží. Beta záření je pronikavější a zastavuje se vrstvou hliníku nebo skla. Nejvíce pronikavé gama záření lze zastavit pouze tlustou vrstvou olova nebo betonu (Semat, Katz, 1958).

Radioaktivita může být přirozená, tedy způsobena přítomností radioaktivních prvků v přírodě, nebo umělá, kdy jsou vytvářeny radioaktivní izotopy uměle v jaderných reaktorech nebo jiných zařízeních. Radioaktivita má mnoho využití, například v lékařství, v průmyslu, v archeologii nebo v jaderné energetice. Nicméně, radioaktivita může být také nebezpečná pro lidské zdraví a životní prostředí, protože může dojít k poškození buněčné struktury ionizujícím zářením a způsobit mutace (Wong, 1998).

Mezi příklady přirozené radioaktivity patří uran, který je nejrozšířenějším radioaktivním prvkem v zemské kůře. Jeho rozpad vede k produkci radia a dalších radioaktivních prvků. Dalším příkladem je radon, který vzniká při rozpadu uranu. Tento plynový prvek je silným zdrojem alfa záření a může se hromadit v uzavřených prostorech, jako jsou podzemní studny a sklepy. Další příklady přirozené radioaktivity jsou thorium, draslík-40 a uhlík-14. Thorium je silným zdrojem alfa záření a vyskytuje se v zemské kůře. Draslík-40 je radioaktivní izotop draslíku, vyskytující se v malém množství v banánech. Uhlík-14 je izotop uhlíku, který se vyskytuje v atmosféře

a je používán k radiokarbonovému datování v archeologii a geologii (Semat, Katz, 1958).

3.1.2 Definice jaderné energie

Jaderná energie je produkována dvěma způsoby – štěpením těžkých jader a jadernou fúzí. Při štěpení těžkých jader (nukleární štěpení) jsou velká jádra (např. uran, plutonium) rozštěpena na menší jádra, čímž je uvolněna energie a další neutrony. Proces je prováděn v jaderném reaktoru a je řízen řetězovou reakcí, kdy se uvolněné neutrony podílejí na dalším štěpení atomových jader. Energie se uvolňuje i při procesu jaderné fúze, kdy dochází k spojování lehčích jader (např. deuteria a tritia) do těžšího jádra. Proces probíhá v jádrech hvězd a sluncích, kde jsou velmi vysoké teploty a tlaky, které umožňují fúzi. Rozdílem je také množství energie, které se uvolňuje. Při fúzi dochází k uvolnění mnohem větší energie než při štěpení, ale na druhé straně je mnohem těžší ji dosáhnout a udržet ji v provozu. Fúzní reaktory se dosud nepodařilo efektivně provozovat, a tak se v současné době využívá pouze jaderné štěpení pro generování jaderné energie (Baran, 2002). Jakmile člověk ovládne jadernou fúzi, získáme téměř 1 procento z klidové energie slučovaných částic (Svět energie, 2020).

Ve většině jaderných elektráren je využívána štěpná reakce. Štěpná reakce je proces, při kterém dochází k rozštěpení jádra na menší jádra, přičemž se uvolní velké množství energie a několik neutronů. Tyto neutrony mohou následně reagovat s dalšími jádry a spustit další štěpné reakce, což vede k uvolňování další energie. Proces štěpení je řízen řetězovou reakcí, kde se neutrony vyslané z jednoho štěpení atomového jádra mohou účastnit dalšího štěpení atomových jader. Řetězová reakce musí být udržována v rovnováze, aby se zabránilo haváriím a přehřátí jaderného reaktoru. Pro štěpení je nejčastěji používána uranová hmota. Uran je v přírodě poměrně běžný, ale uran-235, který je vhodný pro štěpení, tvoří pouze malé procento přírodního uranu. Aby mohl být uran použit v jaderné elektrárně, musí být zpracován a obohacen (Ferguson, 2011).

3.1.3 Jaderný reaktor

Jaderný reaktor je zařízení, které umožňuje řízenou štěpnou reakci uranu nebo plutonia. Energie uvolněná během rozpadu jaderných jader je využívána při tomto procesu a může být použita k výrobě elektřiny nebo jako zdroj paliva pro jaderné zbraně. Jaderný reaktor je složen z několika základních částí, které společně umožňují kontrolu štěpné reakce. Mezi tyto části patří například jádro reaktoru, moderátor, kontrolní tyče, chladič systém a kontejner (Bell, Glasstone, 1970).

Jádro reaktoru obsahuje palivo, které je používáno pro štěpení. Palivem může být uran nebo plutonium a musí být dostatečně čisté, aby byla minimalizována pravděpodobnost jiných vedlejších reakcí (Bell, Glasstone, 1970).

Moderátor, který je umístěn kolem jádra, má za úkol zpomalit neutrony a tím zvýšit pravděpodobnost štěpení. Mezi nejčastěji používané moderátory patří voda nebo těžká voda (Bell, Glasstone, 1970).

Kontrolní tyče jsou umístěny uvnitř jádra a slouží k regulaci reakce. Tyče obsahují materiály, jako je kadmium nebo bor, které mohou absorbovat neutrony a tím snížit pravděpodobnost štěpení. Tyče se mohou pohybovat dovnitř a ven z jádra, což umožňuje řízení intenzity štěpení (Bell, Glasstone, 1970).

Chladič systém je další klíčovou částí jaderného reaktoru a slouží k odvodu tepla, které vzniká během štěpení. Tento tepelný výkon se převádí na páru, která následně pohání turbínu a vyrábí elektřinu. Mezi nejčastěji používaná chladič média patří voda, těžká voda nebo heliový plyn (Bell, Glasstone, 1970).

Kontejner slouží k uchování všech částí reaktoru a chrání personál i okolní prostředí před ionizujícím zářením, které vzniká během štěpení. Kontejnery jsou obvykle vyrobeny z oceli a jsou obvykle uzavřené, aby zabránily úniku radiace (Bell, Glasstone, 1970)

Existuje několik typů jaderných reaktorů, z nichž každý má své výhody a nevýhody.

Tlakovodní reaktor (PWR) je nejrozšířenějším typem jaderného reaktoru na světě. Tento typ reaktoru používá jako chladivo a moderátor lehkou vodu, která proudí kolem paliva a odvádí teplo z reaktoru. PWR jsou obvykle využívány pro výrobu elektrické energie a jsou vhodné pro velké elektrárny, kde je zapotřebí vysoká výrobní kapacita (Ott, Neuhold, 1985).

Reaktor s těžkovodním moderátorem (CANDU) je dalším typem jaderného reaktoru, který se používá k výrobě elektrické energie. Tento typ reaktoru používá jako moderátor těžkou vodu a jako chladivo opět lehkou vodu. CANDU reaktory jsou vhodné pro menší elektrárny a mohou být konstruovány tak, aby využívaly uran různého stupně obohacení (Ott, Neuhold, 1985).

Reaktor na rychlé neutrony (FBR) je typ jaderného reaktoru, který využívá rychlé neutrony ke štěpení jaderného paliva. Tyto reaktory mohou být využity pro výrobu elektrické energie, ale také pro výrobu plutonia pro jaderné zbraně. FBR reaktory jsou však náročné na výrobu a jejich údržba a oprava mohou být nákladné (Ott, Neuhold, 1985).

Reaktor s pevným ložem (SFR) je dalším typem jaderného reaktoru, který používá rychlé neutrony ke štěpení jaderného paliva. Tento typ reaktoru používá kruhový tvar s pevným palivovým ložem a je obvykle využíván pro výrobu elektřiny. SFR reaktory jsou vhodné pro vysokou úroveň využití paliva a mohou být konstruovány tak, aby minimalizovaly množství radioaktivního odpadu (Ott, Neuhold, 1985).

V současné době existuje i výzkum jaderných reaktorů tzv. čtvrté generace, které mají být ještě bezpečnější a efektivnější než stávající typy. Tyto reaktory využívají nové technologie a materiály, které umožňují lepší řízení a minimalizování nežádoucích vedlejších produktů. Mezi tyto reaktory patří například reaktory s tekutým palivem (LFTR), reaktory s vysokou teplotou (VHTR) a reaktory s jaderným štěpením (GFR) (Ott, Neuhold, 1985).

Výběr správného typu jaderného reaktoru závisí na mnoha faktorech, jako jsou energetické požadavky, dostupnost paliva a bezpečnostní aspekty. Proto je důležité pečlivě posoudit všechny tyto faktory při plánování nové jaderné elektrárny.

V současné době je většina jaderných reaktorů konstruována tak, aby minimalizovaly riziko nehod a ochránily okolní prostředí před škodlivými účinky ionizujícího záření. Nicméně, i přes bezpečnostní opatření, zůstává jaderná energie kontroverzní téma a vzbuzuje různé obavy a námitky (Ott, Neuhold, 1985).

3.1.4 Jaderné palivo

Jaderné palivo je materiál, který je používán v jaderných reaktorech k výrobě jaderné energie. Materiál je složen ze speciálních jaderných materiálů, z nichž nejčastěji používaným je uran. Jaderné palivo je charakterizováno svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi, které se liší v závislosti na typu paliva a jeho použití. Jaderné palivo slouží k produkování tepla a elektrické energie pomocí jaderného štěpení. Při tomto procesu dochází k uvolnění velkého množství energie, která je využívána pro výrobu elektrické energie. Jaderné palivo je složeno z malých kuliček nebo tablet, které jsou vloženy do palivových tyčí. Kuličky nebo tablety jaderného paliva jsou vyrobeny pomocí speciálních technologií, jako je například prášková metalurgie, což je proces, při kterém se uranový prášek smísí s dalšími materiály a následně se stlačí do kuliček nebo tablet. Kuličky nebo tablety mají obvykle průměr kolem několika milimetrů a jsou vysoce odolné vůči teplu a radiaci. Palivové tyče s jaderným materiálem jsou poté umístěny do jádra reaktoru, kde se vyskytuje proces jaderného štěpení (Crossland, 2012).

Většina jaderného paliva se těží z uranových ložisek. Uranová ruda se vyskytuje v podobě uraninitu a dalších minerálů, jako je například karnotit. Těžba uranu se provádí hlubinným nebo povrchovým dobýváním. **Hlubinným dobýváním** se rozumí těžba uranu pomocí šachet nebo hlubinných důlních prací. **Povrchovým dobýváním** se rozumí těžba uranu na otevřených povrchových dolech. Při povrchovém dobývání se nejprve odstraňuje hornina, aby se získal přístup k uranové rudy. Následně se ruda rozdrťí a následně chemicky zpracuje, aby se z ní získal uranový koncentrát (Murray, Holbert, 2020).

Kromě uranu se jako jaderné palivo mohou používat také jiné radioaktivní prvky, jako je plutonium. Plutonium se získává jako vedlejší produkt jaderného štěpení uranu a může být opět použito jako palivo v jaderných reaktorech. Je důležité, aby těžba jaderného paliva byla prováděna v souladu s přísnými bezpečnostními normami,

aby se minimalizovaly negativní dopady na životní prostředí a zdraví lidí (Murray, Holbert, 2020).

Největší světové zásoby uranu se nacházejí v Kanadě, Austrálii, Kazachstánu, Rusku a Namibii. Tyto země společně poskytují asi 70 % celosvětových dodávek uranu. Další země, které těží uran, jsou USA, Brazílie, Argentina, Jihoafrická republika, Čína, Indie a Francie. Tyto země poskytují zbytek světové dodávky uranu. Kromě uranu se jako jaderné palivo mohou používat také jiné radioaktivní prvky, jako je plutonium. Plutonium se získává jako vedlejší produkt jaderného štěpení uranu a může být opět použito jako palivo v jaderných reaktorech (Bodansky, 2005).

Ukládání vyhořelého jaderného paliva je velkým výzvou pro jadernou energetiku. Vyhořelé jaderné palivo obsahuje velké množství radioaktivních látek, které mohou být nebezpečné pro životní prostředí a zdraví lidí. Existují různé způsoby, jak lze vyhořelé jaderné palivo ukládat, včetně trvalého ukládání do geologických formací, přepracování a opětovného využití jako palivo v jaderných reaktorech a meziskladování. **Trvalé ukládání** do geologických formací je považováno za nejbezpečnější a nejúčinnější způsob ukládání vyhořelého jaderného paliva. Tento proces zahrnuje umístění vyhořelého paliva do geologické formace, jako je například hlubinný úložný prostor, kde bude v bezpečí před přístupem lidí a životním prostředím po tisíce let. **Přepracování** vyhořelého jaderného paliva a opětovné využití jako palivo v jaderných reaktorech se v minulosti používalo, ale dnes se toto řešení upouští kvůli vysokým nákladům a bezpečnostním obavám. **Meziskladování** vyhořelého jaderného paliva se používá jako dočasný způsob ukládání, dokud nebudou k dispozici trvalé úložné prostory. Meziskladování může být buď na místě jaderné elektrárny, nebo v centrálním meziskladovacím zařízení (Greenberg, 2013).

3.2 Environmentální dopady

Jaderná energetika je v posledních desetiletích stále více diskutovaným tématem. Jedním z hlavních aspektů této problematiky jsou environmentální dopady spojené s provozem jaderných elektráren.

Byly provedeny mnohé studie a výzkumy, které se zaměřují na dlouhodobé environmentální dopady provozu jaderných elektráren. Tyto dopady jsou výsledkem vysokého množství radioaktivního odpadu, který se tvoří během procesu výroby energie v jaderných reaktorech. Tento odpad může způsobovat znečištění půdy, vody a ovzduší, což může mít negativní dopad na zdraví a životní prostředí.

V případě jaderné elektrárny dochází k pravidelné kontrole, zda nedochází k ohrožování člověka a životního prostředí při jejím provozu. Pro výpočet se obvykle používají následující matematické modely:

- a) Atmosférické modely – zkoumá rozptyl radioaktivních látek v ovzduší v okolí jaderných elektráren.
- b) Hydrologické modely – slouží k získání informací o koncentraci radioaktivních látek v sedimentech a vodních organismech.
- c) Hydrogeologické modely – slouží k získání informací o důsledcích šíření radioaktivních látek v podzemních vodách (Barabas, 1985).

3.2.1 Vliv jaderné energie na ovzduší

Jedním z klíčových aspektů, které mají dopad na životní prostředí, mohou být emise radioaktivních látek do ovzduší. Tento problém se vyskytuje v rámci celého procesu využívání jaderné energie; od těžby a zpracování paliva až po výrobu elektřiny, a nakonec i ukládání vyhořelého jaderného paliva. Jaderné elektrárny vypouští do ovzduší několik druhů radioaktivních látek, jako jsou například radon, krypton, xenon a tritium. Tyto látky vznikají především při rozpadu jaderných materiálů a jsou uvolňovány do ovzduší. Ve vysokých koncentracích mohou způsobit závažné zdravotní problémy, zejména pokud jsou vdechovány. Například radon, který se uvolňuje z hornin a země, může způsobit rakovinu plic, zatímco tritium může ovlivnit genetické materiály v buňkách a vést k narušení buněčného dělení (Murray, Holbert, 2019).

Při těžbě a obohacování uranu vznikají emise, které mohou způsobit znečištění ovzduší. Mezi hlavní znečišťující látky patří oxid uhličitý, oxid dusičitý, oxidy síry a prachové částice (Wang, Guo, Li, Jiang, 2023). Oxidy dusíku a síry přispívají ke vzniku kyselých dešťů a dalších environmentálních problémů (Simionescu, 2023). Vznikají především během těžby a obohacování uranu, výroby paliva, provozu jaderné elektrárny, a nakonec také během likvidace jaderného zařízení. Kromě emisí při samotné výrobě elektřiny a těžby uranu může docházet i ke znečištění ovzduší v případě havárií jaderných elektráren, přičemž v takovém případě se mohou do ovzduší dostat radionuklidy, které mohou mít negativní vliv na zdraví lidí a životní prostředí. V porovnání s fosilními palivy jsou emise z jaderných elektráren relativně nízké. Nicméně, i přesto by se měly emise minimalizovat a stále více se zaměřovat na využívání obnovitelných zdrojů energie (Wang, Guo, Li, Jiang, 2023). Jaderné elektrárny musí být v souladu s přísnými bezpečnostními opatřeními a norem, aby minimalizovalo riziko uvolnění nebezpečných látek do ovzduší (Arndt, 2023). Je také nutné provádět pravidelná měření emisí a podnikat opatření ke snížení emisí škodlivých látek (Pomponi, Hart, 2021).

Je důležité dodat, že hodnoty radioaktivních látek vypouštěných jadernými elektrárnami do ovzduší jsou pod přísným monitorováním a jejich emise jsou stanoveny na základě bezpečnostních norem. Hodnoty jsou obvykle mnohonásobně nižší než hodnoty, které by mohly být zdraví nebezpečné. Pokud jsou emise kontrolovány a dodržovány stanovené limity, tak jsou pro obyvatelstvo obvykle bezpečné (Comby, 2007). V případě standardního provozu jaderná elektrárna nemá významný dopad na znečištění ovzduší. Oproti tomu uhelné elektrárny znečišťují ovzduší 400x více než jaderné elektrárny. Je důležité zmínit, že důležitou roli hrají i topografické a meteorologické vlastnosti krajiny, například směr větru nebo struktura terénu (Barabas, 1985).

3.2.2 Vliv jaderné energie na vodu

Jednou z oblastí, které jsou předmětem obav, je vodní prostředí, které může být ovlivněno různými faktory spojenými s jadernou energií.

Prvním faktorem, který může mít dopad na vodní prostředí, je teplota vody. Jaderné elektrárny potřebují velké množství vody k chlazení systému. Voda, která je použita k ochlazení reaktoru, se následně vypouští zpět do okolního vodního toku, což může mít negativní dopad na místní životní prostředí. Tento proces může vést k nárůstu teploty vody v okolí elektrárny a tím způsobit změny v ekosystémech, jako je například změna složení populací vodních organismů nebo snížení kyslíku v případě vodních toků. Tento vliv na vodní prostředí může být ovlivněn vlastnostmi konkrétního vodního toku, který slouží jako zdroj chladicí vody (Cravens, 2008).

Dalším faktorem, který může mít dopad na vodní prostředí, je narušení ekosystému vodního toku. Jaderné elektrárny často vyžadují vodní tok s vysokou úrovní stability, aby byla zajištěna nepřerušovaná dodávka chladicí vody. Tyto vodní toky mohou být regulovány pomocí vodních nádrží a přehrad, což může mít dopad na životní prostředí v oblasti. Regulace toku vody může mít dopad na migraci ryb, kvalitu vody a mnoho dalších faktorů ovlivňujících ekosystém vodního toku (Ferguson, 2011).

Jaderné elektrárny mohou také mít dopad na vodní prostředí v případě havárií. V případě havárie dochází k úniku radioaktivních látek do okolního prostředí, což může mít negativní dopad na kvalitu vody v oblasti. Radioaktivní látky mohou proniknout do vodních zdrojů, jako jsou řeky, jezera a podzemní vody, a způsobit kontaminaci vody. Kontaminovaná voda může mít negativní dopad na místní životní prostředí a zdraví lidí, kteří se zdrojem vody zásobují (Comby, 2007).

Dalším faktorem, který může mít vliv na vodní prostředí, je skladování jaderného odpadu. Jaderná elektrárna produkuje velké množství radioaktivního odpadu, který musí být skladován v bezpečných podmínkách, aby nedošlo k jeho úniku do okolního prostředí. Skladování jaderného odpadu může mít vliv na kvalitu vody v oblasti, zejména pokud jsou skladovací zařízení umístěna blízko vodních toků nebo podzemních vod (Pomponi, Hart, 2021).

V neposlední řadě, jaderné elektrárny mohou mít dopad na vodní prostředí i z hlediska spotřeby vody. Jaderné elektrárny potřebují velké množství vody k chlazení systému a pokud jsou umístěny v oblastech s omezeným zdrojem vody, může to vést k omezení vodních zdrojů pro místní obyvatelstvo a zemědělské aktivity. Vodní toky

neznečišťuje pouze provoz jaderné elektrárny, nýbrž i těžba jaderného materiálu (Barabas, 1985).

3.2.3 Vliv jaderné energie na půdu

Jedním z hlavních problémů je skladování radioaktivních odpadů z jaderných elektráren. Tyto odpady jsou velmi nebezpečné pro životní prostředí a mohou způsobit kontaminaci půdy, nedojde-li k jejich náležitému skladování (Lee et al. 2013).

Dalším faktorem, který může mít negativní dopad na půdu, je těžba uranu, který slouží jako palivo pro jaderné reaktory. Těžba uranu může mít negativní dopad na půdu a způsobit její degradaci. Kromě toho může těžba způsobit i erozi půdy, narušení přirozeného prostředí a ovlivnění biodiverzity. Jaderné elektrárny vyžadují také velké množství vody pro chlazení reaktoru. To může mít dopad na množství vody dostupné pro zemědělské účely a způsobit nedostatek vody pro zemědělskou produkci, zde může dojít k nepřímému dopadu na zemědělskou půdu (Barabas, 1985).

V neposlední řadě může mít jaderná energetika dopad na půdu prostřednictvím průmyslových havárií. Známým příkladem je havárie jaderné elektrárny v Černobylu v roce 1986, která měla devastující dopad na životní prostředí a půdu v okolí. Havárie způsobila zvýšenou úroveň radioaktivního záření v půdě, což negativně ovlivnilo zemědělskou produkci v této oblasti (Plochy, 2018).

Vzhledem k těmto potenciálním dopadům jaderné energetiky na půdu a na životní prostředí je důležité, aby byly přijaty opatření, která minimalizují tyto rizika. To může zahrnovat lepší skladování a nakládání s radioaktivními odpady, zajištění bezpečnosti jaderných elektráren a minimalizaci rizika havárií a úniků radioaktivního materiálu. Kromě toho je důležité zvážit i alternativní zdroje energie, které by mohly nahradit jadernou energii a minimalizovat její dopad na životní prostředí (Comby, 2007).

Dalším důležitým krokem je zvýšení povědomí o dopadech jaderné energetiky na půdu a na životní prostředí mezi veřejností a odbornou veřejností. Tímto způsobem se mohou identifikovat hlavní rizika a problémy spojené s jadernou energetikou

a mohou být vyvinuty strategie pro minimalizaci jejího dopadu na půdu a na životní prostředí (Comby, 2007).

3.2.4 Vliv jaderné energetiky na klimatické změny

Chladicí věže vypouštějí do atmosféry zbytkovou páru, kterou můžeme rozdělit do následujících skupin:

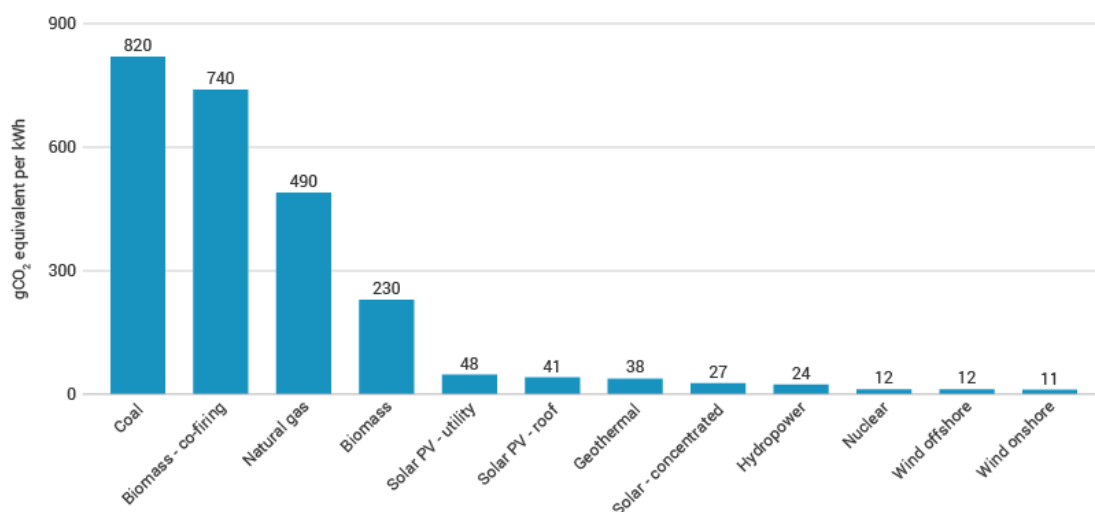
- a) Tvorba přízemní mlhy v okolí chladicích věží – vytvářeno pouze v případě, že chladicí věž dosahuje výšky 80 metrů. Nad tuto výšku je tvorba přízemních mlh nereálná.
- b) Tvorba viditelné vlečky vodních par – snižuje intenzitu slunečního záření o 2-3 % jeho původní hodnoty
- c) Zvýšená tvorba srážek v okolí chladicí věže – vyzorováno pouze ve vzdálenosti dvou až čtyřnásobku výšky chladicí věže, roční hodnota nepřesahuje 10–20 mm.
- d) Sedimentace chemický sloučenin v okolí chladicí věže – dopadají neodpařené kapky znečišťují povrch země v okolí chladicích věží
- e) Tvorba námrazy – při minusových teplotách může docházet ke tvorbě námrazy v okolí chladicích věží, kam dopadají vlečky vodních par.
- f) Nárůst teploty v okolí – dle studií nedochází k nárůstu teploty o více než o 0,21 °C.
- g) Synergické efekty – na radioaktivní výpary vypouštěné komínem jaderné elektrárny mohou působit následující efekty:
 - a. Srážení výparů v závětrí chladicí věže (zvyšuje radiační dávky).
 - b. Interakce radioaktivních výparů, srážek a vymývání radioaktivních výparů z vlečky na povrch (zvyšuje radiační dávky).
 - c. Zvýšení výšky vlečky radioaktivních výparů v důsledku tepelné emise chladicí věže (snižuje radiační dávky).
- h) Vliv na regionální klimatické poměry – nebylo dosud prokázáno (Barabas, 1985).

Dalším faktorem, které je potřeba s ohledem na vliv na klimatické změny zvážit, je obohacování uranu. Jedná se o proces, který umožňuje získávat palivo pro jaderné reaktory. Avšak, jak ukazuje řada výzkumů, obohacování uranu může mít negativní

dopady na životní prostředí a způsobovat emise skleníkových plynů. Při obohacování uranu k uvolňování uranových sloučenin, které mohou způsobit znečištění ovzduší (Zhang, 2018). Podle studie, kterou publikovala Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA), produkce jaderné energie způsobuje emise CO₂ v průběhu celého cyklu výroby elektřiny, včetně těžby uranu, obohacování a nakládání s jaderným odpadem. Tyto emise se mohou výrazně lišit v závislosti na použité technologii a místních podmínkách (IEA, 2023).

Je tedy zřejmé, že obohacování uranu může mít negativní dopady na životní prostředí a způsobovat emise skleníkových plynů. Je důležité, aby byla přijímána opatření, která minimalizují tyto dopady, včetně používání efektivnějších technologií a zvyšování bezpečnostních standardů. Tyto opatření mohou přispět k tomu, aby byla jaderná energie využívána co nejefektivněji a s co nejnižším dopadem na životní prostředí (Pentreath, 2021).

Jaderná elektrárna má výhodu v tom, že neprodukuje emise skleníkových plynů, které přispívají ke klimatickým změnám (obrázek č. 1). Výhoda je vykompenzována negativními dopady jaderné energetiky na životní prostředí. Například při těžbě uranu a při stavbě jaderných elektráren dochází k emisím skleníkových plynů. Navíc jaderná energetika produkuje radioaktivní odpady, které musí být bezpečně uskladněny po mnoho let. Tyto odpady mohou také způsobovat znečištění půdy, vody a ovzduší, což má vliv na klimatické změny a na celkovou životní prostředí (Cohn, 1997).



Obr. 1: Průměrné emise CO₂ během životního cyklu různých zdrojů elektřiny (WNA, 2023).

Z výše přiloženého přehledu můžeme analyzovat, že jaderná energie neprodukuje tak vysoký objem emisí CO₂ na rozdíl od fosilních paliv.

3.2.5 Řešení environmentálních dopadů

Mezi technologie, které slouží k redukci rizika environmentálních dopadů patří například ochranná opatření, jako jsou kontejnmenty a zpomalovací bazény, které slouží ke kontrole a snižování radioaktivního odpadu. Dalšími opatřeními jsou například recyklace jaderného paliva a jeho opakované využití, čímž se snižuje množství vyhořelého paliva a vytváří se méně jaderného odpadu. Aktuálně jsou vyvíjeny nové technologie, jako jsou reaktory čtvrté generace, které by měly být schopny produkovat méně radioaktivního odpadu a mít lepší bezpečnostní parametry. Výzkum a vývoj těchto technologií je zaměřen na minimalizaci environmentálních dopadů jaderné energetiky a zvyšování bezpečnosti výroby elektřiny (Pentreath, 2021).

Aktuálně je kladen důraz na nutnost rozvoje nových technologií v oblasti jaderné energetiky a spolupráce mezi vládami a průmyslem, aby bylo dosaženo bezpečnějšího a čistšího využívání jaderné energie. Zmiňují se také o výzkumu a vývoji nových materiálů a technologií, které by umožnily efektivnější využití jaderné energie s minimálním dopadem na životní prostředí (Holgate, 2022).

Výhodou jaderné fúze oproti jadernému štěpení je, že nevytváří radioaktivní odpad, který je dlouhodobě nebezpečný pro životní prostředí. Jaderná fúze tak může být alternativou k jaderné energetice založené na štěpné reakci (Holgate, 2022).

3.2.6 Vyřazení jaderných elektráren z provozu a jejich následná likvidace

Vyřazení jaderných elektráren z provozu a jejich likvidace jsou klíčové úkoly v oblasti jaderné energetiky. Proces likvidace jaderných elektráren je složitý a vyžaduje efektivní plánování a provádění, aby bylo minimalizováno riziko pro lidské zdraví a životní prostředí (Laraia, 2012).

Proces likvidace jaderné elektrárny zahrnuje několik fází, včetně fáze plánování, přípravy, provádění a následného monitorování. V první fázi se provádí analýza a plánování celého procesu likvidace, včetně stanovení cílů, termínů a nákladů. V této fázi je také stanovena metodika likvidace, včetně výběru technologií a postupů, které budou použity k demontáži a ukládání radioaktivního materiálu (OECD, 2003).

Další fáze zahrnuje přípravu na likvidaci, včetně demontáže zařízení, manipulace s radioaktivním materiálem a ochrany proti radiaci. Tato fáze je velmi důležitá, protože zajišťuje bezpečnost a minimalizuje rizika spojená s prováděním samotné likvidace (OECD, 2003).

Provádění likvidace jaderné elektrárny zahrnuje demontáž a odstraňování zařízení a konstrukcí, manipulaci s radioaktivním odpadem a likvidaci radioaktivního materiálu. Tato fáze vyžaduje použití speciálních technologií a postupů, aby bylo minimalizováno riziko pro lidské zdraví a životní prostředí (OECD, 2003).

Poslední fází procesu likvidace jaderné elektrárny je následné monitorování, které zajišťuje, že neexistují žádné stopy po jaderné elektrárně a že životní prostředí není narušeno radioaktivním materiálem. V této fázi se také provádí hodnocení úspěšnosti celého procesu likvidace (OECD, 2003).

Nejjednodušším a finančně nejvýhodnějším způsobem je tzv. zakonzervování do betonového sarkofágu, avšak tato varianta není vhodná, jelikož poukazuje na pozůstatky jaderných elektráren i dalším generacím. Je důležité zmínit, že každá země má své vlastní postupy pro likvidaci jaderných elektráren. Například ve Švédsku a Belgii je uzákoněno, aby k likvidaci došlo co nejdříve od odstavení, v případě Švédska se jedná o lhůtu do 6 let. Oproti tomu v USA je termín 100 let (Laža, 1993).

Celý proces likvidace jaderné elektrárny je velmi nákladný a vyžaduje efektivní plánování a provádění. Při likvidaci jaderné elektrárny je také důležité zajistit bezpečnost a minimalizovat rizika pro lidské zdraví a životní prostředí. Proto se při procesu likvidace využívají speciální technologie a postupy, které minimalizují vznik radiace a zabezpečují manipulaci s radioaktivním odpadem (Laraia, 2012).

V současné době se likvidace jaderných elektráren řeší na celosvětové úrovni a existuje celá řada mezinárodních organizací, které se věnují této problematice. Jednou z nejdůležitějších organizací je Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA), která vydává doporučení a normy pro likvidaci jaderných elektráren.

Další organizací je Evropská komise, která se v rámci své strategie pro udržitelnou energetiku zaměřuje na zlepšení bezpečnosti jaderných elektráren a likvidace jaderného odpadu v Evropě. Evropská komise také financuje projekty v oblasti likvidace jaderných elektráren a podporuje spolupráci mezi zeměmi v této oblasti.

Celkově lze říci, že likvidace jaderných elektráren je velmi důležitý úkol, který vyžaduje efektivní plánování a provádění. Proces likvidace musí být řízen s cílem minimalizovat rizika pro lidské zdraví a životní prostředí. Mezinárodní spolupráce a normy jsou klíčové pro zajištění úspěšné likvidace jaderných elektráren a minimalizaci rizik spojených s tímto procesem (OECD, 2003).

3.2.7 Jaderný odpad a jeho ukládání

Účinné a bezpečné řízení radioaktivního odpadu je klíčovou výzvou, se kterou se současné společnosti potýkají. Jedním z nejvýznamnějších zdrojů radioaktivního odpadu je využití jaderné energie, která přispívá k výrobě elektřiny na celém světě. Radioaktivní odpad vzniká při výrobě jaderné energie, při průmyslových procesech a v zdravotnickém odvětví. Obsahuje prvky, které mohou způsobovat zdravotní problémy a poškozovat životní prostředí. Proto je bezpečné a efektivní řízení radioaktivního odpadu zásadní pro minimalizaci rizik spojených s jeho ukládáním (Greenberg, 2013).

V současnosti existují různé metody řízení radioaktivního odpadu, včetně ukládání do podzemních skládek, recyklace a využití alternativních zdrojů energie. **Ukládání do podzemních skládek** je nejběžnější metodou řízení radioaktivního odpadu. Jedná se o metodu, při které je odpad umístěn do uzavřených kontejnerů a poté skladován v geologických formacích, jako jsou například solné útvary nebo vrstvy hluboko v zemi. Tyto geologické formace poskytují ochranu proti úniku radioaktivních látek

do okolního prostředí. Další metodou řízení radioaktivního odpadu je **recyklace**. Tato metoda umožňuje využít znovu některé části radioaktivního odpadu a minimalizovat tak jeho množství určené k ukládání. Recyklace se využívá zejména u jaderného paliva, které může být recyklováno a znovu použito v jaderných reaktorech. V poslední době se stále více hovoří o alternativních zdrojích energie, jako jsou například obnovitelné zdroje energie. Tyto zdroje mají potenciál snížit závislost na jaderné energii a minimalizovat produkci radioaktivního odpadu (Rohlig, 2022).

Regulační orgány hrají klíčovou roli v řízení radioaktivního odpadu. Jejich úkolem je zajistit bezpečnost a ochranu před únikem radioaktivních látek do prostředí. Regulace zahrnuje stanovení přísných bezpečnostních standardů pro skladování, manipulaci a přepravu radioaktivního odpadu. Mezinárodní spolupráce v oblasti řízení radioaktivního odpadu je také klíčová. Existuje řada mezinárodních organizací, jako například Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA), které se zabývají otázkami týkajícími se radioaktivního odpadu a jeho řízení. Tyto organizace pomáhají rozvíjet nové technologie a metodiky pro řízení radioaktivního odpadu, které jsou bezpečné a účinné. Je také důležité si uvědomit, že řízení radioaktivního odpadu je proces, který je neustále v vývoji. Výzkum a vývoj nových technologií a metod pro řízení radioaktivního odpadu je neustálý a poskytuje nové možnosti pro minimalizaci rizik spojených s jeho ukládáním (Rohlig, 2022).

Existuje řada mýtů a nedorozumění týkajících se jaderného odpadu. Jedním z nich je, že jaderný odpad se musí ukládat do podzemních skládek na neomezenou dobu. Ve skutečnosti je cílem většiny zemí, které využívají jadernou energii, recyklovat co největší množství jaderného odpadu a snížit tak jeho množství určené k trvalému ukládání (Comby, 2007).

Dalším mýtem je, že jaderný odpad se ukládá do otevřených jam. To není pravda, protože jaderný odpad se ukládá do uzavřených kontejnerů, které jsou navrženy tak, aby minimalizovaly riziko úniku radioaktivních látek do životního prostředí. kontejnery jsou pak uloženy do geologických skládek, kde jsou obklopeny geologickými vrstvami, které zabraňují úniku radioaktivního materiálu (Rohlig, 2022).

Je také důležité zmínit, že jaderný odpad se skládá z různých typů odpadu s různou mírou radioaktivity. Některé druhy odpadu jsou méně nebezpečné a mohou být zpracovány nebo recyklovány, zatímco jiné druhy odpadu jsou velmi nebezpečné a musí být ukládány do speciálních úložišť. V současnosti existují různé metody ukládání jaderného odpadu, včetně ukládání v podzemních skládkách a využití geologických formací. V mnoha zemích se také zkoumají alternativní metody, jako například využití umělých bariéry, které by mohly zabezpečit bezpečnost ukládání jaderného odpadu na tisíce let. Zásadní pro bezpečné ukládání jaderného odpadu také výběr vhodné lokality, kde jsou vhodné geologické podmínky pro ukládání (WNA, 2022).

Závěrem kapitoly lze říci, že management radioaktivního odpadu je velmi důležitou výzvou, která vyžaduje efektivní a bezpečný přístup. Existuje řada metod a technologií, které umožňují minimalizovat riziko pro lidi a životní prostředí. Je však důležité pokračovat v inovacích a vylepšování technologií pro řízení radioaktivního odpadu a zároveň věnovat pozornost regulačním opatřením, které zajišťují bezpečnost a minimalizují riziko pro životní prostředí.

3.3 Jaderná energetika vs ostatní zdroje energie

3.3.1 Konvenční elektrárny

Jaderné elektrárny a neobnovitelné zdroje energie jsou oba spojeny s výrobou elektřiny, ale mají zásadní rozdíly v tom, jak se získávají a jak ovlivňují životní prostředí.

Jaderné elektrárny využívají jaderné štěpení atomů, aby vytvářely elektrickou energii. Jaderná energie je zdrojem energie, která neprodukuje emise skleníkových plynů, což je jedna z jejích hlavních výhod. Nicméně, jaderná energie je také spojena s riziky, jako jsou možné nehody a ztráta kontroly nad jaderným materiálem, což může mít katastrofické dopady na životní prostředí a zdraví lidí. Na druhé straně, neobnovitelné zdroje energie, jako jsou fosilní paliva, jsou zdrojem energie, který se těží z přírodních zdrojů a je omezený. Fosilní paliva jsou spojena s emisemi skleníkových plynů, které mají negativní vliv na životní prostředí a zdraví lidí. Tyto emise také přispívají ke klimatickým změnám, které mohou mít katastrofické dopady na život na Zemi (Comby, 2007).

Existují také neobnovitelné zdroje energie, které nejsou tak spojeny s emisemi skleníkových plynů, jako například vodní elektrárny a geotermální energie. Tyto zdroje jsou méně škodlivé pro životní prostředí než fosilní paliva, ale stále mají omezenou dostupnost a jsou náchylné k nepředvídatelným přírodním událostem (Wolfson, 2017).

3.3.2 Alternativní elektrárny

Jaderné elektrárny a obnovitelné zdroje energie jsou dva hlavní způsoby, jak vyrábět elektrickou energii. Jaderné elektrárny využívají jadernou energii k výrobě elektrické energie, zatímco obnovitelné zdroje energie využívají přírodní zdroje jako slunce, vítr a vodu (Wolfson, 2017).

Jaderné elektrárny mají několik výhod oproti obnovitelným zdrojům energie. Jednou z nejvýznamnějších výhod je vysoká spolehlivost. Jaderné elektrárny mohou být v provozu po mnoho let bez významného poklesu výkonu. To znamená, že jaderné

elektrárny jsou vhodné pro zásobování elektrickou energií v době špičkové poptávky. Další výhodou jaderných elektráren je vysoká výkonnost. Jaderné elektrárny jsou schopné produkovat velké množství elektrické energie na jednotku času. To znamená, že jaderné elektrárny jsou efektivní pro zásobování elektrickou energií velkých měst a průmyslových oblastí (Comby, 2007).

Obnovitelné zdroje energie mají také několik výhod oproti jaderným elektrárnám. Jednou z nejvýznamnějších výhod je, že obnovitelné zdroje energie nevytvářejí radioaktivní odpad, který může mít negativní dopad na životní prostředí a zdraví lidí. Obnovitelné zdroje energie také nevyužívají omezené zdroje, jako je uran, který je využíván jako palivo v jaderných elektrárnách. Další výhodou obnovitelných zdrojů energie je, že jsou šetrné k životnímu prostředí. Obnovitelné zdroje energie nevypouštějí do ovzduší ani vody škodlivé emise, což minimalizuje negativní dopady na klima a přírodu (Masters, 2013).

Porovnání jaderných elektráren s obnovitelnými zdroji energie je velmi důležité z hlediska udržitelné energetiky a ochrany životního prostředí. Zatímco jaderné elektrárny mají vysokou spolehlivost a výkonnost, jsou s nimi spojeny rizika pro životní prostředí a lidské zdraví. Obnovitelné zdroje energie jsou na druhé straně šetrné k přírodě, ale mohou být omezené v době nízkého výkonu. Jsou proto pravděpodobně vhodné jako doplněk k jaderným elektrárnám. Tento koncept se nazývá hybridní energetický systém a zahrnuje kombinaci různých zdrojů energie, jako jsou slunce, vítr, voda a jaderná energie (Masters, 2013).

Solární energie

Jaderné elektrárny a solární energie jsou dva způsoby, jak vyrábět elektrickou energii. Jaderné elektrárny využívají jadernou energii k výrobě elektrické energie, zatímco solární elektrárny využívají sluneční energii.

Jaderné elektrárny mají několik výhod oproti solární energii. Jednou z nejvýznamnějších výhod je vysoká spolehlivost. Jaderné elektrárny mohou být v provozu po mnoho let bez významného poklesu výkonu. To znamená, že jaderné elektrárny jsou vhodné pro zásobování elektrickou energií v době špičkové poptávky (Comby, 2007).

Solární energie na druhé straně má několik výhod oproti jaderným elektrárnám. Jednou z nejvýznamnějších výhod je, že solární energie je obnovitelná a šetrná k životnímu prostředí. Solární panely nevytvářejí žádné emise a nevyžadují žádné pohonné hmoty k výrobě elektřiny. Navíc solární panely mohou být instalovány na střechy budov, což umožňuje decentralizovanou výrobu elektrické energie. Nicméně, solární energie má také své nevýhody. Solární panely jsou omezené v době nízké intenzity slunečního záření, jako je noční doba nebo oblačnost. To znamená, že solární energie není vhodná pro zásobování elektrickou energií v době špičkové poptávky. Další nevýhodou je, že solární panely jsou značně nákladné na výrobu a instalaci. Tyto náklady mohou být vysoké, zejména v porovnání s jadernými elektrárnami (MacKay, 2009).

Větrné elektrárny

Větrné elektrárny na druhé straně mají několik výhod oproti jaderným elektrárnám. Jednou z nejvýznamnějších výhod je, že větrná energie je obnovitelná a šetrná k životnímu prostředí. Větrné elektrárny stejně jako solární nevytvářejí emise a nevyžadují žádné pohonné hmoty k výrobě elektřiny. Navíc větrné elektrárny mohou být instalovány na různých místech, jako jsou pobřeží, hory nebo otevřené krajiny (MacKay, 2009).

Nicméně, větrné elektrárny také mají své nevýhody. Větrné elektrárny jsou závislé na intenzitě větru, což znamená, že produkují elektřinu pouze v době, kdy fouká vítr. To může být problematické v oblastech s nízkou intenzitou větru. Větrné elektrárny také mohou mít vliv na migraci ptáků a vliv na krajinné panorama (MacKay, 2009).

Vodní elektrárny

Vodní elektrárny mají několik výhod oproti jaderným elektrárnám. Jednou z nejvýznamnějších výhod je, že vodní energie je obnovitelná a šetrná k životnímu prostředí. Vodní elektrárny nevytvářejí emise a stejně jako solární a větrná elektrárna nevyžadují žádné pohonné hmoty k výrobě elektřiny. Navíc vodní elektrárny mohou být instalovány v mnoha oblastech světa, kde je dostatek vody. Nicméně, vodní elektrárny také mají své nevýhody. Vodní elektrárny jsou závislé na dostatku vody, a proto jsou náchylné k suchu nebo povodním. Vodní elektrárny mohou mít také negativní vliv na přírodu, zejména na migraci ryb a dalších živočichů. Vodní

elektrárny mohou mít také vliv na kvalitu vody, zejména na úroveň kyslíku v řece. Navíc stavba vodních elektráren může vyžadovat velké území a může mít vliv na krajinné panorama (MacKay, 2009).

Na druhé straně jaderné elektrárny jsou čisté a nevyžadují velké množství vody, což je velkou výhodou v oblastech s omezenými zdroji vody. Jaderné elektrárny také nejsou závislé na přírodních podmínkách natolik jako vodní elektrárny a jsou proto vhodné pro výrobu elektřiny v mnoha oblastech světa.

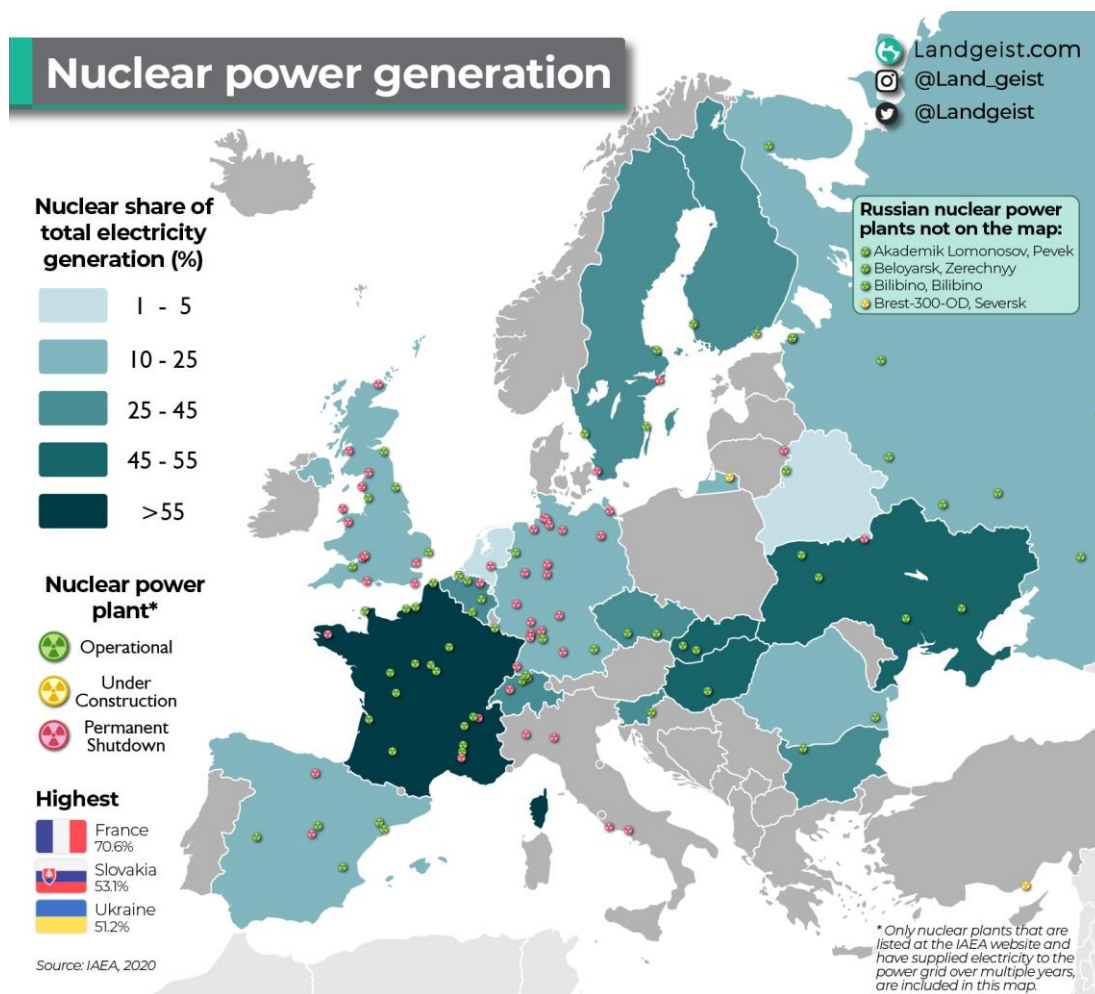
3.4 Historie jaderné energie v Evropě

V průběhu 21. století sehrála jaderná energie v Evropě důležitou roli v ekonomice, politice a vědě. Historie jaderné energie v Evropě sahá až do doby, kdy se začaly zkoumat jaderné vlastnosti atomů a začaly být využívány v průmyslu a v armádě. První jaderné reaktory v Evropě byly postaveny během 50. a 60. let 20. století. Jedním z nejvýznamnějších projektů bylo výstavba reaktoru Calder Hall v Británii, který se stal prvním komerčním jaderným reaktorem na světě v roce 1956. Následovaly další elektrárny v Německu, Francii, Švédsku a dalších zemích. V 70. a 80. letech došlo v Evropě k rozmachu jaderné energetiky, kdy byly postaveny nové elektrárny a zvyšovala se kapacita existujících. Nicméně po havárii v Černobylu v roce 1986 se mnoho zemí rozhodlo omezit nebo zcela ukončit své programy v oblasti jaderné energetiky. V současné době jsou v Evropě jaderné elektrárny provozovány v 14 zemích. Největší podíl na výrobě jaderné energie mají Francie a Velká Británie. Zbylé země mají menší výrobní kapacity nebo jsou v procesu omezování či ukončování využívání jaderné energie. Historie jaderné energie v Evropě byla poznamenána technickými výzvami, ale také politickými a ekonomickými faktory (Murray, 2019).

3.5 Současný stav politiky jaderné energetiky v Evropě

Současný stav jaderné energetiky v Evropě byl ovlivněn mnoha faktory. V minulosti se jaderná energetika stala významnou součástí energetického mixu mnoha evropských zemí. Nicméně, po havárii jaderné elektrárny v černobylyské oblasti v roce 1986 a později po havárii v japonské Fukušimě v roce 2011, se výsledkem stala změna

postojů vůči jaderné energetice. V této kapitole bude přiblížen aktuální stav, či postoj zemí Evropy k jaderné energetice. Stav je platný k březnu 2023.



Obr. 2: Přehled využití jaderné energie na území evropského kontinentu v jednotlivých státech (Landgeist, 2022).

Jaderná energetika je v současné době jedním z hlavních zdrojů elektřiny ve Francii (obrázek 2). Francie zkoumala, zda je schopna postavit více než 14 nových jaderných bloků, což by mohlo mít velký vliv na místní ekosystémy a obyvatelstvo. Proto musela vláda pečlivě posoudit dopady na životní prostředí a bezpečnost. Byly zohledněny faktory jako životnost zařízení, finanční náklady, bezpečnost a dopady na životní prostředí. Nakonec bylo rozhodnuto, že takový projekt by mohl mít příliš negativní dopad na životní prostředí a bezpečnost obyvatelstva, a proto by měly být zvažovány alternativní zdroje energie. Francouzská vláda musí najít rovnováhu mezi potřebou energetické nezávislosti, ochranou životního prostředí a zdraví obyvatelstva (Voříšek, 2023).

V roce 2022 byla produkce elektřiny ve Francii ovlivněna výpadkem jaderných bloků, což vedlo ke snížení produkce na nejnižší úroveň za posledních 30 let. Snížení produkce elektřiny mělo značný dopad na energetickou nezávislost Francie, která se výrazně spoléhá na jadernou energetiku. Přestože má jaderná energetika mnoho výhod, jako je nízká emise skleníkových plynů a vysoká spolehlivost, jsou s ní také spojena rizika a náklady. Výpadky jaderných bloků mohou mít významný dopad na energetickou nezávislost a ekonomiku země, a proto by měl být kladen větší důraz na rozvoj alternativních zdrojů energie (ČTK, 2023).

Francouzský Senát v roce 2023 navrhl zrušit cíl snížení podílu jaderných elektráren na výrobě elektřiny na 50 % do roku 2035. Senát věří, že snižování podílu jaderné energie by mohlo způsobit energetickou nestabilitu a zvýšené náklady na elektřinu, a proto by měla být tato otázka znovu přezkoumána. Tento návrh vzbudil kontroverze a diskuse o tom, zda by měla být Francie nadále závislá na jaderné energii, nebo by měla podporovat obnovitelné zdroje energie a snižovat svůj podíl na jaderné energii. Jedním z argumentů pro zachování jaderné energie je její spolehlivost a schopnost dodávat velké množství elektřiny bez emisí skleníkových plynů. Nicméně, jaderná energetika je také spojena s riziky, jako jsou havárie a náklady na likvidaci jaderného odpadu (Voříšek, 2023).

Několik evropských zemí včetně Rakouska a Lucemburska podalo žalobu k Soudnímu dvoru EU, aby se přezkoumala definice "zelených investic" a bylo vyloučeno financování projektů, které nejsou v souladu s cíli boje proti klimatickým změnám. Jednou z kontroverzních oblastí jsou investice do jaderné energetiky a zemního plynu, které nejsou považovány za obnovitelné zdroje energie. V současné době jsou tyto zdroje považovány za "přechodové", což znamená, že mohou být využívány jako zdroje energie při postupném přechodu na obnovitelné zdroje. Žalobci tvrdí, že jaderná energetika a zemní plyn představují velké riziko pro životní prostředí a nejsou dlouhodobě udržitelné, a proto by neměly být financovány jako "zelené investice". Vlády však tvrdí, že jaderná energetika a zemní plyn jsou stále nezbytné pro zajištění stability energetického systému a snížení emisí skleníkových plynů v krátkodobém horizontu. Rozhodnutí Soudního dvoru EU bude mít významný dopad na to, jaké projekty budou považovány za "zelené investice" a jakým způsobem budou financovány v rámci Evropské unie (ČTK, 2022).

Francie, Polsko a Švédsko plánují postavit nové jaderné reaktory, což vyvolává kontroverze a kritiku ze strany zemí, které mají defenzivní postoj vůči jaderné energii, jako je Rakousko. Tyto země se snaží snížit svou závislost na fosilních palivech a zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energie, ale i přesto se rozhodly věnovat pozornost jaderné energetice jako alternativnímu zdroji energie. Avšak, mnozí odpůrci jaderné energie mají obavy z potenciálních ekologických a zdravotních rizik spojených s jadernou energetikou, zejména po havárii v jaderné elektrárně v japonské Fukushima v roce 2011. Rakousko, například, tvrdí, že nové jaderné reaktory jsou nebezpečné a nestabilní a navrhuje namísto toho investovat do obnovitelných zdrojů energie. Nicméně, země plánující výstavbu jaderných elektráren tvrdí, že při výstavbě nových jaderných reaktorů budou uplatňovat nejvyšší standardy bezpečnosti a ochrany životního prostředí (ČTK, 2023).

Polsko, které v současné době nedisponuje jadernou elektrárnou (obrázek 2) plánuje postavit svou první jadernou elektrárnu u Baltského moře, což vzbudilo kontroverze a protesty ze strany obyvatel. Polsko má ambiciózní plán na snížení své závislosti na uhlí a podporu obnovitelných zdrojů energie, a to včetně výstavby jaderné elektrárny. Polská vláda tvrdí, že jaderná energie je klíčovým krokem k dosažení cílů v oblasti energetické nezávislosti a snižování emisí skleníkových plynů. Nicméně, mnozí obyvatelé a aktivisté proti jaderné energii mají obavy z potenciálních ekologických a zdravotních rizik spojených s jadernou energetikou. Protesty a petice vyzývají k větší transparentnosti a zapojení obyvatel do procesu rozhodování o stavbě jaderné elektrárny. Polsko se však snaží uklidnit obavy tím, že při výstavbě nové jaderné elektrárny bude uplatňovat nejvyšší standardy bezpečnosti a ochrany životního prostředí (ČTK, 2023).

Německá vládní koalice se opětovně zabývá otázkou jaderné energie. Odstavení jaderných elektráren v Německu bylo rozhodnuto po havárii jaderné elektrárny v japonské Fukushima v roce 2011. Nicméně, zvýšení nákladů na elektřinu a snížení spolehlivosti dodávek elektřiny v posledních letech vedlo k debatě o návratu k jaderné energii. Mezi hlavními body sporu je otázka, zda by měly být některé odstavené jaderné elektrárny opětovně spuštěny a zda by měly být postaveny nové jaderné elektrárny. Tyto otázky jsou stále kontroverzní, protože zahrnují otázky bezpečnosti,

ekonomiky a životního prostředí. Nicméně, je důležité uvažovat o alternativách ke zdrojům energie, jako jsou fosilní paliva, která jsou zdrojem znečištění ovzduší a globálního oteplování (ČTK, 2023).

V únoru 2023 postihlo Turecko rozsáhlé zemětřesení, které způsobilo velké škody na majetku a životech lidí, avšak nezpůsobilo žádné škody na stavbě jaderné elektrárny Akkuyu. To ukázalo, že stavba elektrárny splňuje nejvyšší bezpečnostní standardy, což je klíčové pro minimalizaci rizik spojených s jadernou energií. Stavba jaderné elektrárny Akkuyu v Turecku je jedním z největších projektů jaderné energetiky v regionu a bude mít kapacitu 4 800 MW. Projekt má potenciál přispět k energetické nezávislosti Turecka a snížení emisí skleníkových plynů. Je důležité, aby byla stavba postavena s nejvyšší bezpečností, bylo minimalizováno riziko úniků a havárií, a aby bylo zajištěno bezpečí obyvatelstva a životního prostředí (Salavec, 2023).

Kromě živelných katastrof se Evropa aktuálně nachází také ve válečném konfliktu na ukrajinském území. Ukrajinské jaderné elektrárny hlásí odpojení jednoho nebo více bloků po útocích na ruské elektrárny. Jedná se o preventivní opatření k minimalizaci rizika případného poškození elektráren a vlivu na bezpečnost jejich provozu. Ukrajina je známá svými bezpečnostními opatřeními, která jsou důležitá zejména v oblasti jaderné energetiky, a v případě ruských útoků byla schopna rychle reagovat. Vzhledem k tomu, že jaderné elektrárny jsou kritické infrastruktury, je nezbytné chránit je před útoky a minimalizovat rizika jejich poškození. Ukrajina prokázala, že má schopnosti k účinnému řízení a zvládnutí krizových situací v oblasti jaderné energetiky a že se tato bezpečnostní opatření neustále zdokonalují (ČTK, 2022).

Rusko je aktuálně světovou velmocí v oblasti jaderné technologie a aktivně prosazuje své produkty na mezinárodním trhu. Země dodává jaderné reaktory do různých zemí a nabízí také služby související s jadernou energetikou, jako například likvidaci jaderného odpadu. Ruská vláda také posiluje své vlivy na mezinárodní scéně prostřednictvím jaderné diplomacie, například uzavřením dohod o spolupráci v oblasti jaderné energetiky s různými zeměmi. Rusko však také čelí kritice ze strany západních zemí kvůli nedostatečné transparentnosti a bezpečnosti v oblasti jaderné energie. Zprávy o incidentech v ruských jaderných elektrárnách v minulosti vyvolaly obavy

a kritiku zahraničních zemí. Celkově lze říci, že Rusko si díky svému vlivu v oblasti jaderné energetiky udržuje významnou pozici na mezinárodní scéně (Voříšek, 2022).

V americké laboratoři Lawrence Livermore se podařil historický průlom v oblasti jaderné fúze, což je proces, při kterém jsou dvě jádra atomů sloučena do jednoho většího jádra, což uvolňuje energii. Vědci použili vysoký výkon laserů k zahřátí a stlačení palivové směsi na takovou teplotu a tlak, aby se dosáhlo stavu, kdy proběhne fúze. Tento úspěch může znamenat značný pokrok v oblasti jaderné fúze jako alternativního zdroje energie, protože fúze je mnohem čistší a bezpečnější než štěpení atomů, které se používá v současných jaderných elektrárnách i na území evropského kontinentu. Nicméně, stále ještě existují technologické výzvy a finanční náklady, které musí být překonány, aby bylo možné využít jadernou fúzi pro energetické účely na velkou škálu (ČTK, 2022).

3.6 Bezpečnost

3.6.1 Bezpečnostní opatření a protokoly pro jaderné elektrárny

V dnešní době, kdy se společnost snaží maximalizovat svou energetickou účinnost a současně minimalizovat její dopad na životní prostředí, se jaderná energetika stává přitažlivou alternativou. Nicméně, aby bylo zajištěno bezpečné a efektivní provozování jaderné elektrárny, musí být splněna přísná bezpečnostní opatření.

Vzhledem k významu jaderné energetiky v současné době je nezbytné, aby byla bezpečnost a ochrana životního prostředí zajištěna prostřednictvím přísných bezpečnostních opatření a právních předpisů. Spolupráce a transparentní komunikace jsou nezbytné k minimalizaci rizik a dopadů na životní prostředí a zajištění bezpečného provozu jaderných elektráren (Comby, 2007).

Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA) vydala seznam bezpečnostních návodů a předpisů pro jaderné elektrárny, ve kterých popisuje, která bezpečnostní opatření je nutné dodržovat. Dojde-li k uzavření dohody s IAEA o pomoci s umístováním, projektováním, výstavbě, uvádění do provozu, provozu, či vyřazování

z provozu jaderné elektrárny, je vyžadováno, aby se členské země tímto návodem řídily (IAEA, 2000).

Jaderné elektrárny jsou povinny dodržovat přísná bezpečnostní opatření, jako jsou pravidelné kontroly a údržba zařízení, a také musí být navrženy tak, aby minimalizovaly škody na okolním prostředí v případě havárie. Kromě toho musí být zajištěna bezpečnost a spolehlivost procesu obohacování uranu, který je nezbytný pro provoz jaderné elektrárny (Svět energie, 2020).

Všechny jaderné elektrárny jsou vybaveny mnoha bezpečnostními systémy a opatřeními, které jsou navrženy tak, aby minimalizovaly pravděpodobnost havárie a maximalizovaly ochranu proti následkům havárií. Mezi tyto systémy a opatření patří například bezpečnostní kontejnment, oddělení zdroje energie od okolního prostředí, kontroly a inspekce zařízení, nouzové záložní zdroje energie a mnoho dalších. Důležitá jsou také pravidelné inspekce a údržby, které jsou prováděny v souladu s přísnými bezpečnostními standardy a požadavky. Výsledkem těchto opatření by mělo být minimalizování rizika a nebezpečí spojeného s provozem jaderné elektrárny a zajištění bezpečnosti jak pro zaměstnance elektrárny, tak pro okolní obyvatele a životní prostředí (Mika, Polívka, 2010).

3.6.2 Mezinárodní spolupráce a sdružení

Dalším krokem k zajištění bezpečného a účinného provozu jaderné elektrárny je transparentní přístup k informacím a spolupráce s veřejností a vládními orgány. Zajištění bezpečnosti a prevence havárií v jaderných elektrárnách vyžaduje širokou spolupráci a otevřenou komunikaci mezi všemi zúčastněnými stranami.

Jednou z mezinárodních dohod je Pařížská klimatická dohoda z roku 2015, která má za cíl omezit globální oteplování na 2 stupně Celsia nad předindustriální úroveň a usilovat o omezení na 1,5 stupně. Dohoda vyzývá ke snižování emisí skleníkových plynů a podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie. Členské státy se rovněž zavázaly k monitorování a zveřejňování svých emisí a k pravidelnému zvyšování svých ambicí v oblasti snižování emisí (Nuclear Energy, 2023).

International Atomic Energy Agency (IAEA)

Mezinárodní agentura pro atomovou energii, jejíž cílem je bezpečné a mírové využití jaderné vědy a technologie, přispívá k mezinárodnímu míru a bezpečnosti podporuje cíle OSN (IAEA, 2023).

Nuclear Energy Agency (NEA)

Mezivládní agentura sdružující země z Ameriky, Evropy a asijsko-pacifického regionu s cílem sdílet znalosti v oblasti jaderné energie (NEA, 2023).

European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG)

ENSREG je nezávislá odborná poradní skupina, které byla vytvořena v roce 2007 na základě rozhodnutí Evropské komise. Je složena z vyšších úředníků národních dozorných orgánů pro jadernou bezpečnost, bezpečnost radioaktivních odpadů nebo radiační ochrany a vyšších státních úředníků s kompetencí v těchto oblastech. Je omezena pouze na členy Evropské Unie. Úkolem ENSREG je vytvářet podmínky pro neustále zlepšování a dosáhnout společného porozumění v oblastech jaderné bezpečnosti a nakládání s radioaktivními odpady. Poskytuje také informace o seznamu národních regulátorů pro jednotlivé státy Evropské Unie a právních nástrojích (ENSREG, 2023).

European Technical Safety Organisations Network (ETSON)

ETSON (Evropská organizace pro technickou bezpečnost) založena v roce 2006 hraje důležitou roli v jaderné bezpečnosti a zabezpečení. Jejím hlavním úkolem je poskytovat kompetentní, spolehlivou a nestrannou technickou expertizu orgánu jaderného dozoru v příslušné zemi. Kromě toho se mnoho provozovatelů přenosových soustav silně angažuje v podpoře stavu vědy a technologie prováděním výzkumu a vývoje (R&D), čímž poskytuje jak znalosti, tak analytické nástroje potřebné k zajištění vysoké úrovně bezpečnosti a zabezpečení v jaderné oblasti (ETSON, 2023).

European and Central Asian Safety Network (EuCAS)

Byla vytvořena s cílem podpořit posílení infrastruktury jaderné a radiační bezpečnosti v souladu s bezpečnostními standardy MAAE na regionální úrovni prostřednictvím výměny informací, zkušeností, odborných znalostí a osvědčených postupů, koordinace a rozvoj činnosti (IAEA, 2023).

Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities (HERCA)

Dobrovolné sdružení, ve kterém vedoucí orgánů radiační ochrany spolupracují, aby identifikovali společné problémy a navrhli jejich praktická řešení. HERCA pracuje na tématech, na která se obecně vztahují ustanovení Smlouvy o Euratomu. Program práce HERCA je založen na společném zájmu o významné regulační otázky.

Cílem HERCA je přispět k vysoké úrovni radiologické ochrany v celé Evropě. K dosažení tohoto cíle sdružení buduje a udržuje evropskou síť hlavních regulačních orgánů radiační ochrany s jasným přáním zapojit všechny takové regulační orgány v celé Evropě. Podporovat výměnu nápadů a zkušeností, zamezit zbytečnému zdvojení práce a učit se jeden od druhého osvědčenými postupy. Vyvinout společný přístup k radiační ochraně a způsob její transpozice do regulace. Projednat a případně vyjádřit své konsensuální stanovisko k významným regulačním otázkám (HERCA, 2023).

Western European Nuclear Regulators Association (WENRA)

Založena v roce 2009 ve Švýcarsku za účelem vyvinutí společného přístupu k jaderné bezpečnosti a poskytnout nezávislou schopnost zkoumat jadernou bezpečnost v zemích (WENRA, 2023).

3.6.3 Mezinárodní stupnice jaderných událostí

Mezinárodní stupnice jaderných událostí (INES) je systém, který slouží ke klasifikaci a hodnocení jaderných událostí podle závažnosti. Stupeň závažnosti je určen na základě mnoha faktorů, jako je rozsah uvolnění radioaktivních látek, účinky na lidské zdraví a životní prostředí a míra škod na majetku. INES byla vytvořena Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA) v roce 1990 a od té doby byla použita pro klasifikaci mnoha jaderných událostí po celém světě (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2023).

Systém INES se skládá z 7 úrovní, přičemž úroveň 1 značí událost s minimálními dopady a úroveň 7 je rezervována pro nejzávažnější události, které mají globální dopady na zdraví a životní prostředí. Každá úroveň INES má stanovená kritéria, které

musí být splněna, aby se událost kvalifikovala pro danou úroveň (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2023).

Úroveň 1 označuje událost s minimálními dopady, kdy došlo k menšímu úniku radioaktivních látek, ale bez vlivu na zdraví lidí nebo životní prostředí. **Úroveň 2** zahrnuje události s mírnými dopady, kdy došlo k mírnému úniku radioaktivních látek s omezeným vlivem na zdraví lidí a životní prostředí. **Úroveň 3** označuje události s většími dopady, kdy došlo k významnému úniku radioaktivních látek s omezeným vlivem na zdraví lidí a životní prostředí.

Úroveň 4 až 7 zahrnuje závažné události, při kterých došlo k významnému úniku radioaktivních látek s významným dopadem na zdraví lidí a životní prostředí. **Úroveň 4** zahrnuje události, kdy došlo k úniku radioaktivních látek s významným dopadem na zdraví pracovníků. **Úroveň 5** označuje události, kdy došlo k významnému úniku radioaktivních látek s významným dopadem na zdraví obyvatel v blízkosti události. **Úroveň 6** označuje vážné události s významným dopadem na zdraví a životní prostředí. **Úroveň 7** je vyhrazena pro nejtěžší jaderné nehody, které mají globální dopad na zdraví a životní prostředí a vedou ke značnému úniku radioaktivních látek do okolí. Jedinou událostí, která byla dosud klasifikována na úroveň 7, je havárie v Černobylu v roce 1986. Tato katastrofa měla katastrofální dopad na zdraví lidí a životní prostředí v okolí, a její následky jsou stále cítit dodnes.

Význam mezinárodní stupnice jaderných událostí spočívá v tom, že umožňuje přesné a jednotné hodnocení závažnosti jaderných nehod a poskytuje cenné informace pro rozhodování a plánování reakcí na takové události. INES je široce uznávaný systém hodnocení jaderných nehod a je používán vládami, mezinárodními organizacemi a jadernými společnostmi po celém světě (IAEA, 2023).

Stupeň	Popis	Příklady havárií jaderných elektráren (JE)
0	Odchylka	-
1	Anomálie	-
2	Nehoda	JE Mihama, Japonsko
3	Vážná nehoda	JE Vandellòs, Španělsko
4	Havárie bez rizika vně zařízení	JE Saint Laurent, Francie 1969; Sellafield, Anglie 1973; JE Jaslovské Bohunice, Československo 1977
5	Havárie s rizikem vně zařízení	Windscale Pile, Anglie, 1957; Three Mile Island, Anglie 1979
6	Těžká havárie	Majak, SSSR, 1957
7	Velmi těžká havárie	Černobyl, SSSR, 1986; Fukušima, Japonsko, 2011

Tab. 1: Stupnice jaderných událostí v historii (IAEA, 2023).

3.6.4 Monitoring radioaktivity

Vzhledem k přirozené radioaktivitě, která je inherentní součástí Země, neexistuje na planetě místo, které by nebylo radioaktivní (Wong, 1998).

Existuje mnoho různých typů detektorů, které jsou k dispozici pro měření radioaktivity. Mezi nejpoužívanější patří scintilační detektory, které přeměňují ionizující záření na světelný signál a umožňují měření velmi nízkých úrovní radioaktivity. Geigerova-Müllerova sonda je další často používaný typ detektoru, který měří úroveň záření pomocí ionizačních procesů v plynové komoře (Ferguson, 2011).

Měření radioaktivity se také využívá v lékařství, především pro diagnostiku a terapii rakoviny. Například v oblasti nukleární medicíny se používají speciální radiofarmaka, která obsahují radioaktivní izotopy a slouží k detekci rakovinných buněk. Tyto radiofarmaka jsou vstříkovány pacientovi a jejich radioaktivní emise jsou následně zachycovány speciálními detektory, aby se získaly informace o rozložení a chování nádorů v těle. Měření radioaktivity je nezbytné pro ochranu lidí a životního prostředí před negativními účinky radiace. V dnešní době se používají moderní a sofistikované detektory, které umožňují rychlé a přesné měření úrovně radioaktivity v různých prostředích. Díky těmto detektorům může být zajištěna ochrana před škodlivým zářením a zachování bezpečnosti v oblasti jaderné energie a medicíny, aby

se monitorovaly emise z jaderných elektráren nebo průmyslových zařízení. Také se používá k měření radioaktivity v potravinách a vodě, aby se zabezpečilo, že jsou tyto zdroje bezpečné pro konzumaci a neobsahují nadměrné množství radioaktivních látek. V oblasti jaderné bezpečnosti a kontroly se měření radioaktivity používá k ověřování souladu s mezinárodními standardy a požadavky na bezpečnost. To zahrnuje pravidelné měření úrovně radioaktivity v jaderných elektrárnách a výrobních závodech, jakož i v prostředí v jejich okolí. Tato měření pomáhají předcházet nehodám a haváriím a minimalizovat rizika pro zdraví a bezpečnost lidí i životní prostředí (Malley, 2011).

V dnešní době máme k dispozici technologie, které snímají úroveň radioaktivity v reálném čase, a tak je možné online zjistit, které místo má jakou úroveň radioaktivity. Jedním z nástrojů je Radioactivity Environmental Monitoring (Joint Research Centre, 2023).

3.7 Legislativa a regulace

Každý stát v Evropě vnitřně upravuje právními zákony jadernou bezpečnost. Sdružení ENSREG pojednává o všech členských zemích Evropské Unie a uvádí, které zákony upravují jadernou bezpečnost v dané zemi (ENSREG, 2023).

3.7.1 Směrnice EU

Jaderná energie je často považována za kontroverzní téma, proto jsou směrnice EU a předpisy v jednotlivých zemích velmi důležité, aby se zajistila maximální bezpečnost a minimalizovaly se rizika spojená s touto technologií. Směrnice EU jsou v platnosti všemi zeměmi EU a stanoví minimální požadavky na jadernou bezpečnost a nakládání s radioaktivními odpady.

Mezi nejvýznamnější směrnice patří Směrnice Rady 2014/87/Euratom ze dne 8. července 2014, kterou se mění směrnice 2009/71/Euratom, kterou se stanoví rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení. Tato směrnice se zaměřuje na prevenci havárií, minimalizaci dopadu na životní prostředí a zajištění bezpečného provozu jaderných elektráren. Důležitou součástí směrnice je také poskytování

informací o jaderné bezpečnosti a minimalizaci rizik pro zaměstnance pracující s těmito látkami.

Další důležitou směrnicí je Směrnice Rady 92/3/EURATOM ze dne 3. února 1992 o dozoru nad přepravou radioaktivního odpadu mezi členskými státy a do Společenství a ze Společenství a o její kontrole, která stanoví minimální požadavky na nakládání s radioaktivními odpady. Tato směrnice má za cíl minimalizovat riziko pro lidské zdraví a životní prostředí. Nařízení o přístupu k informacím o jaderné energii zajišťuje, že veřejnost má přístup k informacím o bezpečnosti jaderných elektráren a radioaktivních odpadech. To umožňuje veřejnosti se aktivně zapojit do diskuse o jaderné energetice a kontrole jaderných elektráren.

3.7.2 Mezinárodní smlouvy a úmluvy

Úmluva o jaderné bezpečnosti (Convention on Nuclear Safety – CNS) – zabývá se bezpečností jaderných elektráren mezi členskými státy EU (IAEA, 2023).

Společná úmluva (Joint Convention) – o bezpečnosti nakládání s vyhořelým palivem a o bezpečnosti nakládání s radioaktivním odpadem (IAEA, 2023).

Úmluva o fyzické ochraně jaderných materiálů (Convention on the Physical Protection of Nuclear Material) - Úmluva CPPNM stanoví pro smluvní strany právní závazky týkající se fyzické ochrany jaderného materiálu používaného pro mírové účely během mezinárodní přepravy; kriminalizace určitých trestných činů týkajících se jaderného materiálu; a mezinárodní spolupráce, například v případě krádeže, loupeže nebo jiného nezákonného odebrání jaderného materiálu nebo jeho věrohodné hrozby (IAEA, 2023).

Úmluva o včasném oznámení jaderné havárie (Convention on Early Notification of a Nuclear Accident) - Úmluva o včasném oznamování jaderné havárie, přijatá v roce 1986 po havárii jaderné elektrárny v Černobylu, zavádí systém oznamování jaderných havárií, při nichž dochází nebo pravděpodobně dojde k úniku radioaktivního materiálu a které vedly nebo mohou vést k mezinárodnímu přeshraniční únik, který by mohl mít význam pro radiační bezpečnost pro jiný stát. Vyžaduje, aby státy hlásily čas

nehody, místo, povahu a další údaje nezbytné pro posouzení situace. Oznámení má být učiněno postiženým státům přímo nebo prostřednictvím MAAE a samotné MAAE. Hlášení je povinné pro jakoukoli jadernou havárii zahrnující zařízení a činnosti uvedené v článku 1. Podle článku 3 mohou státy oznamovat i jiné jaderné havárie (IAEA, 2023).

Úmluva o pomoci v případě jaderné havárie nebo radiační mimořádné události (Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency) - Úmluva o pomoci v případě jaderné havárie nebo radiační mimořádné situace, přijatá v roce 1986 po havárii jaderné elektrárny v Černobylu, stanoví mezinárodní rámec pro spolupráci mezi smluvními státy a s MAAE s cílem usnadnit okamžitou pomoc a podporu v případě havárie jaderné elektrárny v Černobylu. jaderných havárií nebo radiačních mimořádných událostí. Vyžaduje, aby státy informovaly MAAE o svých dostupných expertech, vybavení a materiálech pro poskytování pomoci. V případě žádosti každý smluvní stát rozhodne, zda může poskytnout požadovanou pomoc, jakož i její rozsah a podmínky (IAEA, 2023).

Smlouva o Euratomu (Euratom Treaty)

Smlouva o Euratomu, původně vytvořená za účelem koordinace výzkumných programů členských států pro mírové využití jaderné energie, dnes pomáhá sdružovat znalosti, infrastrukturu a financování jaderné energie. Zajišťuje bezpečnost dodávek atomové energie v rámci centralizovaného monitorovacího systému (EUR-Lex, 2007).

3.8 Příklady konkrétních dopadů jaderné energetiky v Evropě

3.8.1 Havárie v jaderné elektrárně v Černobylu

Radiační havárie v Černobylu byla jednou z nejhorších havárií v historii jaderné energetiky a měla obrovský dopad na celý svět. Tato havárie se stala v roce 1986, kdy v reaktoru sovětského typu RBMK-1000, číslo čtyři došlo k explozi a výbuchu.

První následky této havárie byly vidět okamžitě. Do ovzduší se dostalo velké množství radioaktivních látek, což způsobilo významné znečištění vzduchu. V místech, které byly nejbližší k havárii, museli lidé opustit své domovy a nevrátili se do nich už nikdy.

Kromě toho bylo několik tisíc lidí vystaveno velké dávce radiace, což způsobilo vážné zdravotní problémy (Mika, Polívka, 2010).

Znečištění ovzduší bylo však jen začátek problémů. Radioaktivní látky se dostaly také do vody a půdy, což způsobilo významné znečištění životního prostředí. Tento dopad se projevil nejen na místě havárie, ale také v jiných částech světa, protože radioaktivní částice se rozptýlovaly v ovzduší a byly unášeny větrem. Jedním z hlavních faktorů, které přispěly k havárii, byla lidská chyba. Při pokusu o simulaci nouzového stavu došlo k chybě v řízení reaktoru, což způsobilo jeho přehřátí a výbuch. Tato událost ukázala, že je důležité, aby byly jaderné elektrárny provozovány s maximální opatrností a bezpečnostními opatřeními (Plochy, 2018).

Dnes je situace v oblasti Černobylu stabilizovaná, ale dopady této havárie se stále projevují. V místech havárie jsou stále oblasti, kde je vysoká úroveň radiace a kde je stále nebezpečné pobývat. Tato havárie je také stále často zmiňována jako argument proti jaderné energetice a jako příklad toho, jak nebezpečná může být tato forma energie. Vzhledem k tomu, že havárie v Černobylu byla jednou z nejhorších havárií v historii jaderné energetiky, je důležité, aby byly jaderné elektrárny provozovány s maximální opatrností a bezpečnostními opatřeními. Havárie v Černobylu měla také vliv na celosvětový přístup k jaderné energetice a bezpečnosti jaderných elektráren. Jedním z významných kroků k vylepšení bezpečnosti jaderných elektráren po havárii v Černobylu byla Úmluva o jaderné bezpečnosti, kterou podepsalo více než 100 zemí. Tato konvence stanovuje základní standardy pro bezpečnost jaderných elektráren a vymezuje odpovědnost za havárie v této oblasti. Dále byly přijaty další opatření, jako například zavedení nových technologií a lepší výcvik personálu. Výrazně se také zlepšila kontrola a dohled nad provozem jaderných elektráren. V důsledku těchto opatření se podařilo výrazně zvýšit bezpečnost jaderných elektráren a minimalizovat riziko vzniku havárií (Plochy, 2018).

3.8.2 Jaderná elektrárna Sellafield (Velká Británie)

V roce 1947 byla otevřena jaderná elektrárna Sellafield, dříve známá jako Windscale, v anglickém hrabství Cumbria. V průběhu let se tato elektrárna stala středem pozornosti kvůli řadě havárií a incidentů, které se zde udály. Jednou z nejzávažnějších

havárií byla nehoda v roce 1957. V průběhu 2. října 1957 došlo k požáru v jednom z reaktorů, který se následně šířil do druhého reaktoru a způsobil uvolnění radioaktivního materiálu do okolí. Incident byl považován za jednu z nejhorších havárií v historii jaderné energetiky v Británii. Způsobené škody byly však minimální ve srovnání s jadernou katastrofou v Černobyli v roce 1986 (Arnold, 2007).

Nehoda byla způsobena chybami v konstrukci reaktoru a špatným řízením provozu. Přestože havárie nezpůsobila mnoho obětí, měla výrazný dopad na veřejné mínění a vyvolala obavy z bezpečnosti jaderných elektráren. Sellafield se od té doby potýkala s řadou dalších problémů, jako jsou úniky radioaktivních látek do ovzduší a vody, havárie a narušení bezpečnostních opatření. Tyto problémy vyvolaly vlnu protestů a kritiky ze strany veřejnosti a ochránců životního prostředí (Arnold, 2007).

Havárie v Sellafieldu měla výrazný negativní dopad na životní prostředí. Do ovzduší uniklo velké množství radionuklidů, včetně plutonia, které se následně dostaly do okolí elektrárny a do moře. V důsledku toho se zvýšila úroveň radioaktivity v půdě, vodě a potravinách v okolí Sellafieldu. Existují studie, které ukazují vysokou úroveň radioaktivity v půdě a vegetaci v blízkosti Sellafieldu a také v rybách a korýších, kteří obývají vody poblíž elektrárny. Tyto zvýšené hladiny radioaktivity mohou mít významné dopady na zdraví lidí, kteří se nacházejí v blízkosti Sellafieldu a konzumují potraviny původu z tohoto regionu. Dopady havárie v Sellafieldu byly také významné v oblasti ekonomiky a společnosti. Okolní oblasti byly vystaveny ztrátě turistických příjmů a někteří obyvatelé se museli stěhovat kvůli zvýšené úrovni radioaktivity. Havárie v Sellafieldu také zvýšila povědomí o rizicích jaderné energie a vyvolala otázky ohledně bezpečnosti jaderných elektráren jako celku (Arnold, 2007).

3.8.3 Skládky radioaktivního odpadu – Asse II, La Hague

Skládka Asse II byla založena v roce 1967 a sloužila k ukládání radioaktivního odpadu z německých jaderných elektráren. Avšak již v 70. letech se ukázalo, že skládka není dostatečně bezpečná, a tak byla uzavřena v roce 1978. V roce 2008 bylo zjištěno, že dochází k prosakování radioaktivního odpadu do okolních vod, což vedlo k obavám z vážného ohrožení zdraví lidí a životního prostředí. Po dlouhých letech plánování a příprav byl nakonec radioaktivní odpad z Asse II odstraněn v letech 2013 až 2019. Skládka La Hague ve Francii slouží k ukládání radioaktivního odpadu z francouzských

jaderných elektráren a je největší skládkou radioaktivního odpadu v Evropě. Skládku se nachází u pobřeží a v posledních letech bylo zjištěno, že radioaktivní odpad prosakuje do okolních vod. Problém se snaží řešit francouzská vláda a energetická společnost EDF, ale situace je stále velmi závažná a vyžaduje okamžité kroky (Arentsen, Van Est, 2023).

3.8.4 Jaderná elektrárna Fukushima Daiichi

Následující havárie se nenachází na území evropského kontinentu, avšak měla vážný dopad na situaci jaderných elektráren v Evropě. V březnu 2011 došlo v jaderné elektrárně Fukushima Daiichi v Japonsku k havárii, která měla významné dopady na životní prostředí. Havárie byla způsobena zemětřesením a následnou vlnou tsunami, která zaplavila elektrárnu a poškodila čtyři ze šesti reaktorů. Docházelo k únikům radioaktivních látek do okolí a do oceánu. Dopady havárie na životní prostředí jsou rozsáhlé a dlouhodobé. Radioaktivní látky se dostaly do ovzduší, vody a půdy a způsobily znečištění a zvýšenou úroveň radiace v okolí. Místní obyvatelé byli evakuováni a nemohli se vrátit do svých domovů. Zemědělské a rybářské aktivity v oblasti byly omezeny a mnoho lidí ztratilo své zdroje obživy (Lochbaum et al. 2014).

V důsledku havárie ve Fukushimě byly přijaty opatření pro ochranu životního prostředí a obyvatelstva. Dochází k monitorování radiace a přijímání opatření k omezení dalšího šíření radioaktivních látek. Úsilí je vynakládáno na obnovu zasažených oblastí a zlepšení podmínek pro místní obyvatelstvo. Je také důležité poučit se z havárie ve Fukushimě a přijmout opatření, která pomohou minimalizovat riziko podobných nehod v budoucnu (Lochbaum et al. 2014).

4. Výsledné zhodnocení

Jaderná energie je čistá a produkuje relativně malé množství emisí skleníkových plynů během provozu, což z ní dělá potenciálně příznivější zdroj energie pro životní prostředí než fosilní paliva, jako jsou uhlí, ropa a zemní plyn. Je třeba zohlednit náklady na výstavbu a provoz jaderných elektráren. Výstavba jaderných elektráren může být velmi nákladná a může trvat desetiletí, než se investice zaplatí. Je potřeba návratnost brát v úvahu při porovnávání s jinými zdroji energie, jako jsou obnovitelné zdroje energie, jako jsou solární, větrné a hydroelektrické elektrárny, které jsou stále více dostupné a cenově dostupné.

Provoz jaderných elektráren nese řadu rizik, které mohou mít závažné dopady na životní prostředí a zdraví lidí. Jedním z největších rizik je nehoda, která může mít vážné následky. Příkladem může být havárie v elektrárně v Černobyli v roce 1986, která měla katastrofické následky na okolní obyvatelstvo a životní prostředí. Podobně vážná byla havárie v japonské elektrárně Fukušima v roce 2011, která vedla k radiaci a zamoření okolí. Dalším rizikem spojeným s provozem jaderných elektráren je nakládání s radioaktivním odpadem. Radioaktivní odpad je velmi nebezpečný a zůstává nebezpečný po tisíce let. Jeho bezpečné ukládání je složitý a nákladný proces. Těžba uranu a dalších surovin potřebných pro jadernou energetiku také nese rizika pro životní prostředí. Těžba může mít dopad na biodiverzitu, vodní zdroje a zemědělskou půdu. Dalšími riziky spojenými s jadernou energetikou jsou například teroristické útoky, které by mohly vést k poškození jaderných elektráren, či špatná údržba a nevhodná úprava elektráren.

Vliv jaderné energetiky na životní prostředí může být velmi rozmanitý. Provádění těžby uranu může mít negativní dopad na okolní přírodu a zdroje vody. Samotný provoz jaderné elektrárny může mít negativní dopad na zdroje vody v důsledku zvýšené teploty vody a vyhořelých palivových tyčí. V případě nehody může dojít k radiaci okolního prostředí, která může mít vážné následky na zdraví lidí a životní prostředí. Kromě toho může být radiace přenášena na velké vzdálenosti vzduchem nebo vodou, což může mít dopady na ekosystémy a zdraví lidí v širokém okolí.

Bezpečnost jaderných elektráren je zásadní pro ochranu životního prostředí a lidského zdraví. Evropská unie vynakládá velké úsilí na to, aby jaderné elektrárny na jejím území byly co nejbezpečnější. Nicméně i přesto se v minulosti staly v Evropě vážné nehody spojené s provozem jaderných elektráren, jako například havárie v Černobylu nebo v Asii v japonské elektrárně Fukušima. V Evropě existuje mnoho právních předpisů a standardů, které mají zajistit bezpečnost jaderných elektráren. Tyto předpisy se týkají například návrhu a výstavby elektráren, provozu a údržby, havarijních plánů, nakládání s radioaktivním odpadem a ochrany pracovníků a obyvatel v okolí elektráren. Existují také mezinárodní organizace, jako je Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA) a Evropská organizace pro jadernou bezpečnost (ENSREG), které sledují dodržování bezpečnostních standardů v jaderných elektrárnách v Evropě. Nicméně i přes přísné předpisy a dohled se stále mohou vyskytnout rizika spojená s provozem jaderných elektráren. Kritici poukazují na riziko nehod a jejich následků, jako jsou zdravotní problémy a poškození životního prostředí, stejně jako na riziko teroristických útoků a nelegálního obchodu s jaderným materiálem. Je tedy důležité, aby byla bezpečnost jaderných elektráren v Evropě pravidelně kontrolována a případně zpřísnována. Navíc by měly být podporovány alternativní zdroje energie, jako jsou obnovitelné zdroje, aby byla snížena závislost na jaderné energii a minimalizována rizika spojená s jejím využíváním.

Evropská unie se zavázala k ambicióznímu cíli snížit emise skleníkových plynů o 55 % do roku 2030 ve srovnání s úrovní z roku 1990 a dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050. V této souvislosti byla jaderná energetika uznána jako důležitý zdroj nízkouhlíkové energie, který může přispět ke snížení emisí a k dosažení cílů klimatické neutrality. Nicméně existuje diskuse ohledně toho, zda je jaderná energie nezbytná pro dosažení těchto cílů, nebo zda by měla být prioritou spíše obnovitelná energie. Některé země, jako je Německo, se rozhodly pro postupné ukončení provozu jaderných elektráren a náhradu jaderné energie obnovitelnými zdroji energie, avšak v současné době Německo nedokáže nahradit jadernou energii a proto došlo k rozhodnutí, kdy byla prodloužena životnost některých reaktorů v Německu. V současné době je v provozu více než 100 jaderných reaktorů v Evropě, přičemž největším producentem jaderné energie v EU je Francie. Některé země, jako Polsko a Česká republika, plánují rozšíření jaderné energetiky a výstavbu nových jaderných bloků. Jaderná energie je dle výsledků vhodnou alternativou k alternativním zdrojům energie.

5. Diskuze

Jaderná energie je čistým zdrojem energie s nízkými emisemi skleníkových plynů, což představuje výhodu pro životní prostředí v porovnání s fosilními palivy. Nicméně, výroba jaderné energie vyžaduje těžbu uranu, která může mít negativní dopady na okolní ekosystémy a životní prostředí. Kromě toho, výroba jaderné energie je nákladná a může vést k silné závislosti na jaderných palivech z jiných zemí (Barabas, 1985).

Nukleární energie má minimální emise uhlíku, vysokou výkonnost a hustotu energie a schopnost rychlého generování elektřiny s menší potřebou pozemků. Rozšiřování jaderné energie má vliv na technologický rozvoj průmyslu a vede ke snižování nákladů na výrobu elektřiny a závislost na energii. Nukleární energie přispívá k dosažení cílů udržitelné energie a zeleného růstu. Navzdory výhodám nukleární energie však stále existuje riziko vlivu na životní prostředí v důsledku radioaktivního záření a nehod. Fukushima způsobila veřejné obavy a nedůvěru v kontrolu jaderných reaktorů za extrémních podmínek (Pentreath, 2021).

Jedním z negativ, který je spojen s jadernou energií, je bezpečnost. Jaderné elektrárny musí být postaveny tak, aby byly odolné proti nejrůznějším rizikům, včetně přírodních katastrof, teroristických útoků a lidské chyby. Nicméně, nehoda jako je Černobyl ukazují, že i při nejlepších bezpečnostních opatřeních může dojít k vážnému nebezpečí pro životní prostředí a zdraví obyvatelstva v důsledku lidského pochybení (Comby, 2007).

Dalším z problémů spojených s jadernou energií je nakládání s radioaktivním odpadem. Jaderný odpad je velmi nebezpečný a jeho ukládání musí být zajištěno tak, aby nebyl životní prostředí ohroženo. V Evropě se používají hlubinné geologické úložiště, aby byl radioaktivní odpad ukládán co nejbezpečněji. Nicméně, stále se jedná o velký problém a otázka bezpečného nakládání s jaderným odpadem zůstává nevyřešena (Greenberg, 2013).

Je zcela zřejmé, že skládky radioaktivního odpadu představují vážné riziko pro životní prostředí a lidské zdraví. Je proto nezbytné, aby byly tyto skládky řádně monitorovány

a případné problémy okamžitě řešeny. Je třeba najít bezpečné a trvalé řešení pro ukládání radioaktivního odpadu, aby se minimalizovaly negativní dopady na naši planetu a budoucí generace (Crossland, 2012).

Existuje také riziko, že jaderné elektrárny mohou být cílem teroristických útoků. Tyto útoky by mohly mít katastrofické důsledky pro životní prostředí a obyvatelstvo. Bezpečnostní opatření musí být nastavena tak, aby minimalizovala rizika (Comby, 2007).

Kromě toho, výroba jaderné energie má také dopad na vodní zdroje. Jaderné elektrárny potřebují velké množství vody k chlazení reaktorů, což může vést k vysychání řek a říček v okolí. To může mít negativní dopad na ekosystémy a biodiverzitu v těchto oblastech (Wolfson, 2017).

V současné době je diskutováno o budoucnosti jaderné energetiky v Evropě. Některé země plánují stavět nové jaderné elektrárny, které by mohly nahradit ty, které budou uzavřeny, zatímco jiné země se rozhodly pro úplné odstavení jaderných elektráren a náhradu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (ČTK, 2022).

Jaderná energetika také zůstává důležitou součástí energetického mixu některých evropských zemí, jako je Francie, která má vysoký podíl jaderné energie v jejím energetickém mixu. Tyto země se snaží zlepšit bezpečnost a efektivitu svých jaderných elektráren a zároveň hledají způsoby, jak předcházet negativním dopadům na životní prostředí (ČTK, 2023).

Téma bezemisnosti do roku 2050 které si stanovila EU za cíl, bývá často odsuzována, jelikož lidé považují evropskou produkci CO₂ za minimální oproti jiným zemím světa a považují tento krok za „kapku v moři“, která je zbytečná, dokud země jako například Indie, Čína, Amerika tento krok nezavede také. Dle mého názoru i malý krok, který může sloužit jako vzor pro ostatní země, je důležitý. Například již 22 amerických států si stanovilo za cíl 100% bezemisní výroby elektřiny (Budín, 2022).

Zpráva, kterou nedávno publikovala Mezinárodní agentura pro energetiku (IEA), ukazuje, že je nezbytné zdvojnásobit výrobu jaderné energie do poloviny tohoto

století, aby bylo dosaženo cílů v oblasti klimatu. Tato zpráva se zaměřuje na výzvy, kterým bude čelit energetický sektor v budoucnu, a navrhuje řešení, která by mohla pomoci snížit emise skleníkových plynů a zlepšit energetickou bezpečnost (ČTK, 2022).

Neobnovitelné zdroje energie jsou škodlivé pro životní prostředí, ale jsou běžně používány kvůli své dostupnosti. V dlouhodobém horizontu je však nutné přejít na obnovitelné zdroje energie, které jsou šetrné k životnímu prostředí a mají neomezenou dostupnost (Wolfson, 2017).

Jaderné elektrárny a solární energie jsou udržitelné zdroje energie. Nicméně, optimální řešení spočívá v kombinaci těchto zdrojů energie. Hybridní energetické systémy, které kombinují jadernou energii a solární energii, mohou být vhodným řešením. Jaderné elektrárny mohou být použity jako zdroj energie v době špičkové poptávky, zatímco solární energie může být využita pro výrobu energie v době, kdy jaderné elektrárny nejsou plně využívány (MacKay, 2009).

Hybridní energetické systémy mohou být navrženy tak, aby využívaly výhody jednotlivých zdrojů energie. Například solární panely mohou být instalovány v oblastech s vysokým slunečním zářením, zatímco větrné turbíny mohou být instalovány na pobřeží nebo na vrcholech hor. Jaderné elektrárny mohou být použity jako zdroj energie v době špičkové poptávky, kdy obnovitelné zdroje energie nedostatečně zásobují elektrickou síť (Comby, 2007).

Porovnání jaderných elektráren s obnovitelnými zdroji energie je složitá otázka, která vyžaduje komplexní řešení. Jaderné elektrárny a obnovitelné zdroje energie mají své výhody a nevýhody a optimální řešení spočívá v kombinaci těchto zdrojů energie. Hybridní energetické systémy jsou vhodným řešením, které umožňuje využít výhody jednotlivých zdrojů energie a minimalizovat jejich nevýhody (Masters, 2004).

Havárie v jaderné elektrárně Fukushima Daiichi byla tragickým příkladem toho, jaké dopady může mít radioaktivní znečištění na životní prostředí a obyvatelstvo. Je nutné pokračovat v monitorování radiace a přijímat opatření k minimalizaci rizik. Je také

důležité se poučit z této nehody a využít ji k vytvoření bezpečnějších a udržitelných zdrojů energie pro budoucí generace (Lochbaum et al., 2014).

Kromě ekonomických a bezpečnostních otázek, hraje významnou roli i veřejné mínění, které je stále více kritické k jaderné energetice. V mnoha zemích EU jsou protesty proti výstavbě nových jaderných elektráren a mnoho zemí zvažuje postupné odstavení stávajících jaderných reaktorů (ČTK, 2022).

Aby došlo ke zlepšení energetické situace, je potřeba změny spotřebitelského chování pro ochranu klimatu. Každý jednotlivec může přispět k ochraně klimatu tím, že zvolí šetrnější alternativy a sníží svou spotřebu energie a vody (Comby, 2007).

Z diskuze lze vyčíst, že většina autorů podporuje hybridní model využívání jaderné energie, který je dle mého ideální variantou, jak pokrýt energetickou poptávku a tam, kde je to možné, použít obnovitelné zdroje. Mnoho zemí se obává teroristických útoků nebo havárií a například Rakouskou je velkým odpůrcem jaderné energie a jak již bylo zmíněno v kapitole 3.5, nesouhlasí s uvedením jaderné energie jako alternativního zdroje.

6. Závěr

Je důležité si uvědomit, že jaderná energie je stále velmi důležitou součástí energetického mixu mnoha zemí. Výhody jaderné energie jsou mnohé, včetně vysoké energetické účinnosti a nízkého množství emisí skleníkových plynů. Avšak jako každá technologie má i jaderná energetika svá rizika a vlivy na životní prostředí. Proto je důležité pokračovat v posilování bezpečnostních opatření a zlepšování technologií, aby se minimalizovaly rizika vzniku havárií a snížily jejich dopady na životní prostředí. Současně by se měla dále rozvíjet i obnovitelná energetika a zlepšovat energetická účinnost, aby se minimalizovalo množství využívané jaderné energie a postupně se přešlo k ekologičtějším zdrojům energie. Celkově lze tedy říci, že havárie v Černobyli a Fukušimě měla obrovský dopad na jadernou energetiku a bezpečnost jaderných elektráren. Bylo přijato mnoho opatření, aby se minimalizovalo riziko vzniku havárií a zlepšila bezpečnost jaderných elektráren. Nicméně je důležité pokračovat v posilování bezpečnostních opatření, dále rozvíjet obnovitelné zdroje energie a využívat hybridní modely.

7. Přehled literatury a použitých zdrojů

Odborné publikace

Arentsen M., Van Est R., 2023: The Future of Radioactive Waste. Springer, Berlin, 345 s.

Arnold L., 2007: Windscale 1957. Palgrave Macmillan, London, 236 s.

Barabas K., 1985: Životní prostředí a jaderná energetika. ČVUT, Praha, 47 s.

Baran V., 2002: Jaderná energetika a další problémy moderní civilizace. Academia, Praha, 159 s.

Bell G. J., Glasstone S., 1970: Nuclear Reactor Theory. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 619 s.

Bodansky D., 2004: Nuclear Energy: Principles, Practices, and Prospects. Springer, New York, 716 s.

Cohn S. M., 1997: Too Cheap to Meter: An Economic and Philosophical Analysis of the Nuclear Dream. SUNY Press, New York, 467 s.

Comby B., 2007: Environmentalisté pro jadernou energii. Pragma, Praha, 321 s.

Cravens G., 2008: Power to Save the World: The Truth About Nuclear Energy. Vintage, New York, 439 s.

Crossland I., 2012: Nuclear Fuel Cycle Science and Engineering. Woodhead Pub, Cambridge, 648 s.

Ferguson Ch. D., 2011: Nuclear Energy: What Everyone Needs to Know. Oxford University Press, USA, 222 s.

Greenberg M., 2013: Nuclear Waste Management, Nuclear Power, and Energy Choices. Springer, London, 168 s.

Holgate S. A., 2022: Nuclear Fusion: The Race to Build a Mini-Sun on Earth. Icon Books, London, 176 s.

Laraia M., 2012: Nuclear decommissioning planning, execution and international experience. Woodhead Pub, Philadelphia, 856 s.

- Laža R., 1993: Jaderná energie a náš svět. Panorama, Praha, 107 s.
- Lee W., Ojovan M. I., Jantzen C. M., 2013: Radioactive Waste Management and Contaminated Site Clean-Up. Woodhead Publishing, Philadelphia, 912 s.
- Lochbaum D., Lyman E., Stranahan S. Q., 2014: Fukushima: The Story of a Nuclear Disaster. The New Press, New York, 320 s.
- MacKay D. J.C., 2009: Sustainable Energy - Without the Hot Air. UIT Cambridge Ltd., Cambridge, 384 s.
- Malley M. C., 2011: Radioactivity: A History of a Mysterious Science. Oxford University Press, London, 280 s.
- Masters G. M., 2013: Renewable and Efficient Electric Power Systems. Wiley-IEEE Press, New York, 720 s.
- Mika O. J., Polívka L., 2010: Radiační a chemické havárie. Policejní akademie České republiky, Praha, 169 s.
- Murray R., Holbert K. E., 2019: Nuclear Energy: An Introduction to the Concepts, Systems, and Applications of Nuclear Processes. Elsevier - Health Sciences Division, Woburn, 624 s.
- Ott K. O., Neuhold R. J., 1985: Introductory Nuclear Reactor Dynamics. Amer Nuclear Society, La Grange Park, 362 s.
- Pentreath R. J., 2021: Nuclear Power, Man and the Environment. Routledge, Oxfordshire, 266 s.
- Plochy S., 2018: Černobyl – Historie nukleární katastrofy. Nakladatelství Jota, Brno, 400 s.
- Rohlig K., 2022: Nuclear Waste: Management, disposal and governance. Iop Publishing, Bristol, 300 s.
- Semat, H., Katz, R., 1958: Chapter 45: Natural Radioactivity. In: Semat, H., Katz, R.,: Physics. Rinehart & Company, Inc., New York. S. 835 – 853.
- Wallace-Wells D., 2019: The Uninhabitable Earth: Life After Warming. Tim Duggan Books, London, 320 s.

Wolfson R., 2017: Energy, Environment, and Climate. W. W. Norton & Company, New York, 528 s.

Wong S. S. M., 1998: Introductory Nuclear Physics, 2nd Edition. WILEY-VCH Verlag Gmbl I & Co. KGaA, Weinheim, 472 s.

Zhang J., 2018: Nuclear Fuel – Reprocessing and Waste Management. World Scientific Publishing Company, Singapore, 308 s.

Legislativní zdroje

Směrnice Rady 2014/87/Euratom ze dne 8. července 2014, kterou se mění směrnice 2009/71/Euratom, kterou se stanoví rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení, v platném znění.

Směrnice Rady 92/3/EURATOM ze dne 3. února 1992 o dozoru nad přepravou radioaktivního odpadu mezi členskými státy a do Společenství a ze Společenství a o její kontrole.

Internetové zdroje

Arndt, Ch., 2023: Climate change vs energy security? The conditional support for energy sources among Western Europeans (online) [cit. 2023.01.03], dostupné z <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113471>>.

Budín, J., 2022: Již 22 amerických států si stanovilo cíl 100% bezemisní výroby elektřiny (online) [cit. 2022-12-16], dostupné z <<https://oenergetice.cz/emise-co2/jiz-22-americky-ch-statu-si-stanovilo-cil-100-bezemisni-vyroby-elektriny>>.

ČTK, 2022: Američtí vědci oznámili historický průlom v oblasti jaderné fúze (online) [cit. 2023-01-15], dostupné z <<https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/americti-vedci-oznamili-historicky-prulom-v-oblasti-jaderne-fuze>>.

ČTK, 2022: IEA: Do poloviny století je třeba zdvojnásobit výrobu energie z jádra (online) [cit. 2022-12-16], dostupné z <<https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/iea-do-poloviny-stoleti-je-treba-zdvojnaso-bit-vyrobu-energie-z-jadra>>.

ČTK, 2023: Jaderné reaktory postaví Francie, Švédsko či Polsko, odpůrcem jádra je Rakousko (online) [cit. 2023-01-20], dostupné z <<https://oenergetice.cz/jaderne->

elektrarny/jaderne-reaktory-postavi-francie-svedsko-ci-polsko-odpurcem-jadra-je-rakousko>.

ČTK, 2023: Polsko chce postavit jadernou elektrárnu u Baltského moře, mnozí protestují (online) [cit. 2023-02-01], dostupné z <<https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/polsko-chce-postavit-jadernou-elektrarnu-u-baltskeho-more-mnozi-protestuji>>.

ČTK, 2023: Produkce elektřiny ve Francii byla kvůli výpadku jádra loni nejnižší za 30 let (online) [cit. 2023-03-10], dostupné z <<https://oenergetice.cz/elektrina/produkce-elektriny-ve-francii-byla-kvuli-vypadku-jadra-loni-nejnizsi-za-30-let>>.

ČTK, 2022: Ukrajinské jaderné elektrárny hlásí po ruských úderech odpojení bloků (online) [cit. 2022-12-28], dostupné z <<https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/ukrajinske-jaderne-elektrarny-hlasi-po-ruskych-uderech-odpojzeni-bloku>>.

ČTK, 2023: V německé vládní koalici se znovu otevírá spor ohledně jaderné energie (online) [cit. 2023-01-15], dostupné z <<https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/v-nemecke-vladni-koalici-se-znovu-otevira-spor-ohledne-jaderne-energie>>.

ČTK, 2022: Vídeň se kvůli zařazení jádra a plynu mezi zelené investice obrátila na soud EU (online) [cit. 2022-12-28], dostupné z <<https://oenergetice.cz/evropska-unie/viden-se-kvuli-zarazeni-jadra-a-plynu-mezi-zelene-investice-obratila-na-soud-eu>>.

ENSREG, ©2023: European Nuclear Safety Regulators Group (online) [cit. 2023-02-27], dostupné z <<https://www.ensreg.eu/>>.

ETSON, ©2023: European Technical Safety Organisations Network (online) [cit. 2023-02-27], dostupné z <<https://www.etson.eu/members>>.

EUR-Lex, ©2007: Access to European Union Law (online) [cit. 2022-12-16], dostupné z <<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>>.

HERCA, ©2023: Heads of European Radiological Protection Competent Authorities (online) [cit. 2023-02-27], dostupné z <<https://www.herca.org/>>.

IAEA, ©2023: International Atomic Energy Agency (online) [cit. 2023-02-27], dostupné z <<https://www.iaea.org/about/overview>>.

IEA, ©2023: International Energy Agency: CO₂ Emissions in 2022 (online) [cit. 2023-02-17], dostupné z <<https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>>.

JRC, ©2023: Joint Research Centre (online) [cit. 2022-12-29], dostupné z <<https://remon.jrc.ec.europa.eu/>>.

LANDGEIST, ©2022: Landgeist: Nuclear Energy in Europe (online) [cit. 2023-01-17], dostupné z <<https://landgeist.com/2022/03/15/nuclear-energy-in-europe/>>.

NEA, ©2023: Nuclear Energy Agency (online) [cit. 2023-02-27], dostupné z <https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_36846>.

OECD/NEA, ©2003: Decommissioning Nuclear Power Plants: Policies, Strategies and Costs, Nuclear Development (online) [cit. 2022-11-13], dostupné z <<https://doi.org/10.1787/9789264104334-en>>.

Pomponi, F., Hart, J., 2021: The greenhouse gas emissions of nuclear energy – Life cycle assessment of a European pressurised reactor (online) [cit. 2023.02.03], dostupné z <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116743>>.

Sadiq, M., Shinwari, R., Wen, F., Usman, M., Hassan, S. T., Taghizadeh-Hesary, F., 2023: Do globalization and nuclear energy intensify the environmental costs in top nuclear energy-consuming countries? (online) [cit. 2023-03-02], dostupné z <<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104533>>.

Salavec, J., 2023: Zemětřesení nepoškodila stavbu turecké jaderné elektrárny Akkuyu (online) [cit. 2023-02-20], dostupné z <<https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/zemetreseni-neposkodila-stavbu-turecke-jaderne-elektrarny-akkuyu>>.

Simionescu, M., 2023: The renewable and nuclear energy-economic growth nexus in the context of quality of governance (online) [cit. 2023.02.27], dostupné z <<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2023.104590>>.

SÚJB, ©2023: Státní úřad pro jadernou bezpečnost (online) [cit. 2022-12-15], dostupné z <<https://www.sujb.cz/>>.

Svět energie, ©2020: Energetika zblízka – Bezpečnostní systémy (online) [cit. 2022-12-05], dostupné z <<https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-podrobne/bezpecnostni-systemy/vyklad>>.

Svět energie, ©2020: Energetika zblízka – Charakteristika zdroje (online) [cit. 2022-12-06], dostupné z <<https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-podrobne/charakteristika-zdroje/fyzikalni-zaklady>>.

Voříšek, M., 2023: Francouzský senát navrhl zrušit cíl, podle kterého měla Francie snížit podíl jaderných elektráren na výrobě elektřiny na 50 % (online) [cit. 2023-01-28], dostupné z <<https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/francouzsky-senat-navrhli-zrusit-cil-podle-ktereho-mela-francie-snizit-podil-jadernych-elektraren-na-vyrobe-elektriny-na-50>>.

Voříšek, M., 2023: Odvážné jaderné plány Francie: Vláda zjišťuje, zda země zvládne postavit více než 14 nových bloků (online) [cit. 2023-03-11], dostupné z <<https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/odvazne-jaderne-plany-francie-vlada-zjistuje-zda-zeme-zvladne-postavit-vice-nez-14-novych-bloku>>.

Voříšek, M., 2022: Rusko si udržuje vliv na světovou jadernou energetiku (online) [cit. 2022-12-27], dostupné z <<https://oenergetice.cz/zahranicni/rusko-si-udrzuje-vliv-na-svetovou-jadernou-energetiku>>.

Wang, Q., Guo, J., Li, R., Jiang, X., 2023: Exploring the role of nuclear energy in the energy transition: A comparative perspective of the effects of coal, oil, natural gas, renewable energy, and nuclear power on economic growth and carbon emissions (online) [cit. 2023.03.03], dostupné z <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115290>>.

WENRA, ©2023: Western European Nuclear Regulators Associations (online) [cit. 2023-02-27], dostupné z <<https://www.wenra.eu/about>>.

WNA, ©2022: World Nuclear Association: Radioactive Waste – Myths and Realities (online) [cit. 2022-10-05], dostupné z <<https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-wastes-myths-and-realities.aspx>>.

Ostatní zdroje

IAEA, 2000: Safety of Nuclear Power Plants: Operation. IAEA, Vídeň, 31 s.