



## **Bakalářská práce**

### **Malé jaderné zdroje**

*Studijní program:*

B0714A270001 Mechatronika

*Autor práce:*

**Adam Engler**

*Vedoucí práce:*

Ing. Věra Pelantová, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Liberec 2023

FAKULTA MECHATRONIKY,  
INFORMATIKY A MEZIOBOROVÝCH  
STUDIÍ TUL





## Zadání bakalářské práce

### Malé jaderné zdroje

*Jméno a příjmení:*

**Adam Engler**

*Osobní číslo:*

M2100085

*Studijní program:*

B0714A270001 Mechatronika

*Zadávací katedra:*

Ústav mechatroniky a technické informatiky

*Akademický rok:*

2023/2024

#### Zásady pro vypracování:

1. Provedte úvod do problematiky malých jaderných zdrojů.
2. Identifikujte a vyhodnoťte rizika malých jaderných zdrojů.
3. Specifikujte odpovědnosti, pravomoci a dopady těchto technologií na základní zainteresované strany v ČR.
4. Provedte srovnání s jinými zdroji energie pro pomoc tuzemským obcím a organizacím při rozhodování o jejich energetické koncepci.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

Dle potřeby dokumentace  
30–40 stran  
Tištěná/elektronická  
Čeština

**Seznam odborné literatury:**

- [1] ČEZ, a. s. *Základní typy jaderných reaktorů*. Praha: ČEZ, a.s., 2023. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/je-ve-svete/zakladni-typy-jadernych-reaktoru>
- [2] LIU, J. *What are Small Modular Reactors (SMRs)?* Vienna: IAEA, 9/2023. Dostupné z: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>
- [3] IAEA. *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*. Edition A, Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS). Vienna: IAEA, 2022. Dostupné z: [https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_booklet\\_2022.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_booklet_2022.pdf)
- [4] ŠEVEČEK, M. *Malé modulární reaktory u nás a ve světě*. Praha: O Energetice.cz, 3/2018. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/male-modularni-reaktory-u-nas-ve-svete>

*Vedoucí práce:*

Ing. Věra Pelantová, Ph.D.  
Ústav mechatroniky a technické informatiky

*Datum zadání práce:*

12. října 2023

*Předpokládaný termín odevzdání:*

14. května 2024

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.  
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Černohorský, Ph.D.  
vedoucí ústavu

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom/a toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom/a povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom/a následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

13. května 2024

Adam Engler



## Malé jaderné zdroje

### Abstrakt

Již delší dobu se diskutuje o malých jaderných zdrojích pro regiony. S touto problematikou se pojí řada rizik, která je potřeba identifikovat a vyhodnotit. Zároveň je potřeba specifikovat odpovědnosti, pravomoci a dopady těchto technologií na základní zainteresované strany, tzv. stakeholdery. Práce má napomoci orientaci obcí a organizací v základech této problematiky při jejich rozhodování o energetické koncepci i ve srovnání s jinými zdroji energie.

### Klíčová slova

Malý modulární reaktor, rizika, zainteresované strany, alternativní zdroje energie

## Small nuclear sources

### Abstract

For some time now, there has been discussion about small nuclear sources for regions. This issue is associated with a number of risks that need to be identified and evaluated. At the same time, it is necessary to specify the responsibilities, powers, and impacts of these technologies on the key stakeholders, the so-called stakeholders. The work aims to help municipalities and organizations orient themselves in the fundamentals of this issue when making decisions about energy concepts, as well as in comparison with other energy sources.

### Keywords

Small modular reactor, risks, stakeholders, alternative energy sources

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Věře Pelantové, Ph.D., za její cenné vedení a odborné rady během mé práce na bakalářském projektu. Dále bych rád poděkoval Ing. Janu Leistnerovi za jeho odborné konzultace, které mi poskytl během procesu psaní práce.



## Obsah

Seznam obrázků .....	8
Seznam grafů .....	9
Seznam tabulek.....	10
Seznam zkratk .....	11
Úvod.....	12
<b>1 Historie energetiky v České republice .....</b>	<b>13</b>
1.1 Hydroenergetika.....	13
1.2 Uhelné elektrárny.....	13
1.3 Jaderné elektrárny .....	14
1.4 Větrné elektrárny .....	14
1.5 Fotovoltaické elektrárny .....	14
1.6 Současná energetika v ČR .....	15
<b>2 Jaderné elektrárny .....</b>	<b>16</b>
2.1 Typy jaderných reaktorů .....	16
2.1.1 Tlakovodní reaktor .....	16
2.1.2 Varný reaktor.....	17
2.1.3 Těžkovodní reaktor .....	18
2.1.4 Plynem chlazený reaktor.....	18
2.1.5 Lehkovodní grafitový reaktor .....	19
2.1.6 Rychlý množivý reaktor .....	20
<b>3 Malé modulární reaktory .....</b>	<b>21</b>
3.1 BWRX-300 .....	21
3.2 VOYGR .....	21
3.3 SMR-160.....	21
3.4 Westinghouse SMR.....	22
3.5 Nuward .....	22
3.6 Rolls-Royce .....	22
3.7 Parametry uvažovaných designů malých modulárních reaktorů pro použití v České republice.....	23
<b>4 Jiné zdroje energie .....</b>	<b>25</b>
4.1 Fotovoltaické elektrárny .....	25
4.2 Větrné elektrárny .....	25
4.3 Paroplynové elektrárny.....	27
4.4 Bioplynové stanice.....	27

4.5	Tepelná čerpadla .....	27
4.6	Kotel na biomasu .....	27
<b>5</b>	<b>Rizika spojená s malými modulárními reaktory .....</b>	<b>28</b>
5.1	Bezpečnostní rizika.....	28
5.2	Ekonomická rizika .....	28
5.3	Environmentální rizika .....	29
5.4	Sociální rizika .....	29
5.5	Vyhodnocení rizik bodovou metodou.....	29
5.6	Metoda KARS .....	32
5.6.1	Identifikace a zpracování rizik metodou KARS .....	34
5.6.2	Vyhodnocení rizik .....	38
<b>6</b>	<b>Specifikace odpovědnosti, pravomoci a dopadů na zainteresované strany .....</b>	<b>42</b>
6.1	Zmapování zainteresovaných stran.....	43
6.2	Vliv a zájem jednotlivých stran .....	43
6.2.1	Klíčoví hráči.....	44
6.2.2	Silní hráči .....	44
6.2.3	Slabí hráči .....	47
6.2.4	Dav .....	47
<b>7</b>	<b>Alternativní zdroje energie.....</b>	<b>48</b>
7.1	Vyrovnané náklady na elektřinu a teplo.....	48
7.1.1	Vyrovnané náklady na elektřinu a teplo malých jaderných reaktorů.....	49
7.1.2	Vyrovnané náklady na elektřinu fotovoltaických elektráren .....	49
7.1.3	Vyrovnané náklady na elektřinu větrných elektráren.....	50
7.1.4	Vyrovnané náklady na elektřinu a teplo bioplynových stanic .....	51
7.1.5	Vyrovnané náklady na teplo tepelného čerpadla.....	51
7.1.6	Vyrovnané náklady na teplo kotle na biomasu .....	51
7.1.7	Srovnání alternativních zdrojů energie .....	53
	<b>Závěr.....</b>	<b>55</b>
	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>56</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Tlakovodní reaktor [9]

Obrázek 2: Varný reaktor [9]

Obrázek 3: Plynem chlazený reaktor [9]

Obrázek 4: Lehkovodní grafitový reaktor [9]

Obrázek 5: Druhy větrných vertikálních turbín [30]

Obrázek 6: Mapa možných zainteresovaných stran [vlastní zpracování]

Obrázek 7: Matice vlivu a zájmu zainteresovaných stran [vlastní zpracování]

## Seznam grafů

Graf 1: Graf instalovaného výkonu elektráren v České republice [7]

Graf 2: Rozdělení rizik do oblastí [vlastní zpracování]

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání uvažovaných reaktorů, první část [5]

Tabulka 2: Srovnání uvažovaných reaktorů, druhá část [5]

Tabulka 3: Pravděpodobnost vzniku rizika

Tabulka 4: Závažnost následků rizika

Tabulka 5: Míra rizika [vlastní zpracování]

Tabulka 6: Souvztažnost rizik [13]

Tabulka 7: Seznam možných rizik [vlastní zpracování]

Tabulka 8: Souvztažnosti možných rizik [vlastní zpracování]

Tabulka 9: Vypočtené koeficienty aktivity a pasivity [vlastní zpracování]

Tabulka 10: Srovnání nákladů na jednotlivé zdroje energie [vlastní zpracování]

## Seznam zkratk

MVE	Malá vodní elektrárna
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
VE	Větrná elektrárna
JE	Jaderná elektrárna
FVE	Fotovoltaická elektrárna
EDU	Elektrárna Dukovany
USNRC	Regulační úřad pro jadernou bezpečnost v USA
PWR	Tlakovodní reaktor
BWR	Varný reaktor
PHWR	Těžkovodní reaktor
CGR	Plynem chlazený reaktor
AGR	Pokročilý plynem chlazený reaktor
RBMK	Lehkovodní grafitový reaktor
FBR	Rychlý množivý reaktor
ČR	Česká Republika
ČSSR	Československá socialistická republika
MMR	Malé modulární reaktory
JZ	Jaderný zdroj
PG	Parogenerátor
BSVP	Bazén skladování vyhořelého paliva
ZIZ	Zdroj ionizujícího záření
NN	Nebezpečný náklad
USA	Spojené státy americké
SEK	Státní energetické koncepce
ÚEK	Územní energetická koncepce
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
KARS	Kvalitativní analýza rizik s využitím jejich souvztažností
NAP	Národní akční plán
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
EURATOM	Evropské společenství pro atomovou energii
EU	Evropská unie
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj
NEA	Nuclear Energy Agency
WENRA	Wester European Nuclear Regulators Association
ICRP	Mezinárodní komise pro radiační ochranu
LCOE	Vyrovnané náklady na elektřinu
LCOH	Vyrovnané náklady na teplo
UAMPS	Utahské sdružení městských energetických systémů

## Úvod

Problematika současného stavu energetického sektoru staví lidi před nové možnosti a výzvy. S nárůstem spotřeby energie se stává prioritou zajistit stabilitu dodávek, minimalizovat environmentální dopady a snižovat závislost na fosilních palivech. Obnovitelné zdroje energie hrají stále významnější roli, ale jejich často proměnlivé dodávky představují výzvu pro dosažení plné energetické nezávislosti. Proto může být využití malých jaderných zdrojů důležitým krokem směrem k udržitelnému energetickému modelu. Cestu k energetické udržitelnosti a nezávislosti ukazuje Státní energetická koncepce [18], která se zaměřuje na větší využití obnovitelných zdrojů a jaderných technologií.

Důležitým prvkem veřejného plánování na regionální úrovni je Územní energetická koncepce. Ta klade důraz na využití lokálních zdrojů energie a podporu decentralizovaných energetických systémů. Soběstačné vesnice, které využívají své vlastní zdroje energie, nabízejí zajímavý pohled na budoucnost.

Malé jaderné reaktory mohou nabídnout spolehlivé řešení, které může být klíčové k zajištění energetické stability a ke snížení emisí. Ve spojení se soběstačnými vesnicemi by mohly malé jaderné zdroje poskytnout alternativní řešení pro regiony s rostoucí poptávkou po elektřině a teple, přispívající k jejich energetické soběstačnosti.

Nezbytné je provést srovnání malých jaderných reaktorů s jinými uvažovanými zdroji energie, jako jsou zdroje solární a větrné nebo zdroje spalující biomasu. Toto srovnání povede k lepšímu porozumění přínosům a omezením jaderné technologie v kontextu energetické udržitelnosti.

Tímto se otevírá diskuse o tom, jaký přínos a rizika mohou malé jaderné reaktory představovat pro energetickou budoucnost České republiky. Jejich začlenění do energetického mixu vyžaduje důkladné zhodnocení technických, ekonomických, bezpečnostních a environmentálních aspektů, zohledňující potřeby státu a lokálních komunit.

# 1 Historie energetiky v České republice

Prvními využitelnými zdroji v historii byla energie vodní a větrná. Již v 8. století se na území současné ČR začaly budovat první mlýnská kola, poháněná nejprve vodní energií a o zhruba 500 let později i větrnou. Počátky elektrické energie v ČR sahají do 80. let 19. století, kdy byla uvedena do provozu parní elektrárna v Praze na Žižkově, která dodávala stejnosměrný proud pro pouliční osvětlení a soukromou spotřebu [1].

## 1.1 Hydroenergetika

Ke konci 19. století se také začaly instalovat malé vodní elektrárny pro osvětlení a elektrizaci malých měst a obcí. V následujících 60 letech docházelo k budování malých i větších vodních elektráren jako Štěchovice nebo Vrané a hydroenergetické zdroje v roce 1950 představovaly výkon 336,2 MW. Po roce 1950 dochází k masivnímu odstavení a dosluhování malých vodních elektráren, jelikož o ně nebyl ze stran velkých energetických státních podniků zájem a začínala se budovat velká vodní díla, hlavně akumulární nádrže na řece Vltavě. Po roce 1970 začalo být jasné, že potenciál využití vodních elektráren nebude s nárůstem spotřeby stačit a začaly se budovat už jen přečerpávací elektrárny. Vliv na rozhodnutí o dalším rozvoji vodních elektráren, byl i fakt, že se naplno projevíly výhody tepelných elektráren, které měly nižší náklady vzhledem k vyrobenému množství energie a v tuto dobu se ještě neřešil jejich negativní vliv na životní prostředí. Rozvoj dalších MVE byl tedy upozaděn a přednost se dávala výstavbě přečerpávacích vodních elektráren jako například PVE Dalešice, která byla vybudována v souvislosti se stavbou blízké jaderné elektrárny Dukovany, nebo PVE Dlouhé Stráně o instalovaném výkonu 650 MW. Po roce 1990 docházelo k obnovování starých MVE a výstavbě nových zdrojů. Už se nejednalo o žádná velká díla, což plyne především z nárůstu výkonu fotovoltaických elektráren a zavadenými omezeními na řekách [1].

## 1.2 Uhelné elektrárny

Výstavba tepelných zdrojů se naplno rozjela počátkem 20. století, kdy se začala zvyšovat spotřeba elektrické energie a tepla vlivem rozvoje průmyslu. Často se jednalo o teplárny s parními protitlakovými turbínami, využívající místní uhlí jako zdroj energie pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny. V roce 1950 zajišťovaly uhelné elektrárny 96 % výroby elektřiny v ČR. Po tomto období se energetický průmysl dále orientoval na velké uhelné elektrárny s postupným zvyšováním výkonů jednotlivých bloků. Rozvoj energetiky také



vyžadoval vybudování nové rozvodné sítě a rozvoden. Původní 110 kV sítě byly rozšiřovány a začala výstavba nejprve 220 kV a poté 400 kV sítě. Po roce 1980 docházelo k budování elektrárny Pruněřov II s pěti bloky o celkovém instalovaném výkonu 1050 MW a elektrárny Mělník III s jediným blokem o výkonu 500 MW. V 90. letech minulého století také docházelo k odsíření většiny uhelných elektráren a tím snížení ekologické zátěže ovzduší [1].

### 1.3 Jaderné elektrárny

Na českém území začala stavba první jaderné elektrárny (Dukovany) až v roce 1978, uvedena do provozu byla, ale až mezi lety 1985-87. Pro činnost elektrárny byly navrženy čtyři tlakovodní reaktory VVER-440 typ 213, tedy vodou chlazený reaktor, každý s nominálním výkonem 440 MW. V roce 1982 se také spustily plány na stavbu jaderné elektrárny Temelín. Původně byly pro elektrárnu navrženy čtyři reaktory VVER-1000 typ 320 s instalovaným výkonem 2x1125 MW. V roce 1990 byly zastaveny práce na reaktoru 3 a 4. Po rozdělení ČSSR se vláda shodla na dokončení prací na reaktorech 1 a 2, které vstoupily do provozu v roce 2002 a 2003. Teplo z Temelína je odváděno do blízkého Týna nad Vltavou a ve výstavbě je také spojení s Českými Budějovicemi, kde by teplo pokrylo zhruba 30 % potřeby. Podobné řešení je také v plánu s EDU, která by teplem mohla zásobovat 40 km vzdálené město Brno [1][2][3].

### 1.4 Větrné elektrárny

Počátky větrné energetiky se v ČR datují ke konci 80. a začátku 90. let. Jednalo se o tuzemské výrobky, které nebyly konkurenceschopné. Hlavní rozkvět VE přišel až mezi lety 1993-1995, kdy na trh vstoupili velcí výrobci a začala vznikat první větrná soustrojí o výkonech 600-2000 kW a následně první větrné parky o výkonech v jednotkách MW. K roku 2022 je v ČR postaveno přes 70 větrných elektráren s instalovaným výkonem 339,4 MW. Největší z nich je VE Kryštofovy Hamry v Krušných horách s 21 rotory a instalovaným výkonem 42 MW [1].

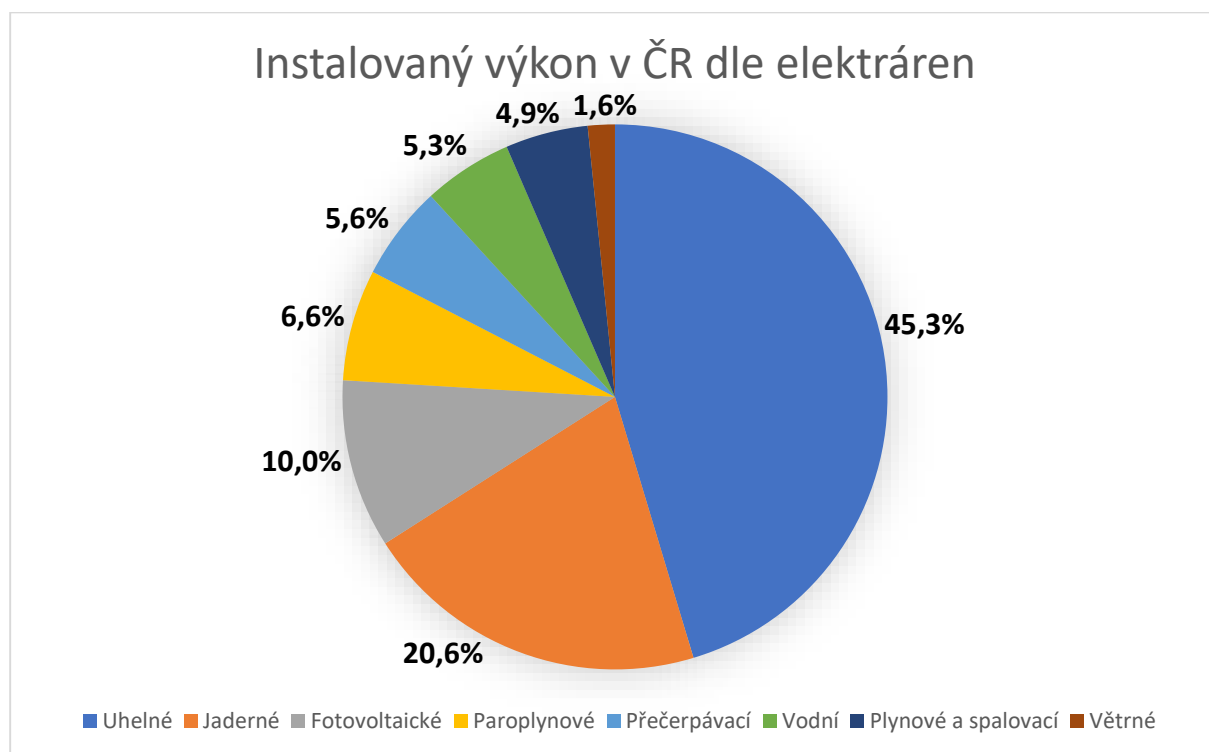
### 1.5 Fotovoltaické elektrárny

První fotovoltaické elektrárny v ČR začaly vznikat až koncem 20. století. FVE Mravenečník s instalovaným výkonem 10 kW byla první fotovoltaickou elektrárnou v ČR. Elektrárna byla dostavěna až v roce 2002 a dnes je součástí informačního střediska EDU. Zájem o výstavbu FVE začal růst až s vydaným zákonem č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů [58]. Nepočítalo se s tím, že se mezi lety 2009 až 2011 vybuduje téměř

148 FVE a instalovaný výkon FVE v ČR dosáhne 2 GW. Nastal tedy problém i v provozu elektrizační soustavy v letním období, kdy je potřeba ponechat JE a další běžné zdroje v běžném zatížení a nepřetěžovat elektrizační soustavu FVE. V platnost tedy vešel zákon č. 165/2012 Sb. [40], který omezil podporu FVE pouze pro instalované výkony do 30 kW [1].

## 1.6 Současná energetika v ČR

V současné době se meziročně snižuje hodnota vyrobené elektřiny uhelnými elektrárnami a pomalu se začíná nahrazovat elektrárnami, využívajícími obnovitelné zdroje energie. K roku 2022 instalovaný výkon v ČR činil 20 796 MW a oproti předešlému roku klesl o 76 MW. Více než 45 % výkonu připadalo na parní elektrárny, dalšími elektrárnami s nejvyšším instalovaným výkonem byly jaderné elektrárny a za nimi s desetinou celkového výkonu elektrárny fotovoltaické [7][8].



Graf 1: Graf instalovaného výkonu elektráren v České republice [7]

## 2 Jaderné elektrárny

V uhelných elektrárnách se jako palivo spaluje uhlí a teplo při tom vytvořené slouží k vytvoření páry, která pohání parní turbínu. Ta dále pohání generátor, který vyrábí elektrickou energii. Jaderné elektrárny v podstatě fungují na stejném principu. Jako palivo se používá uran nebo případně plutonium a teplo se získá štěpením jejich jader.

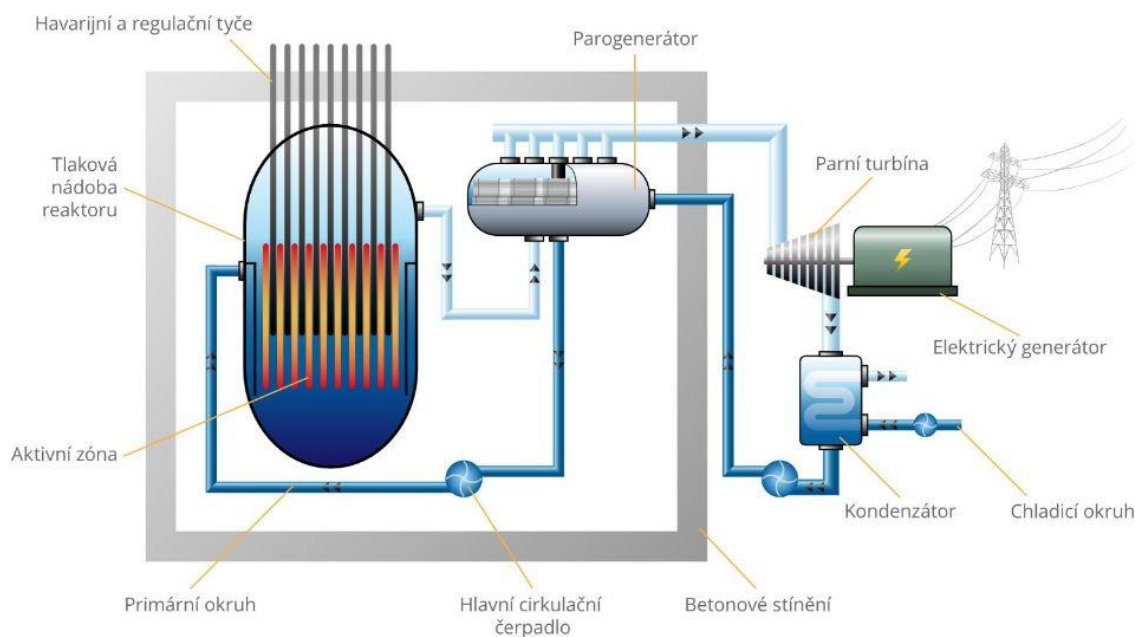
### 2.1 Typy jaderných reaktorů

Historie jaderných reaktorů zahrnuje zhruba 60 let vývoje. Technologie jednotlivých reaktorů se dle technické rozvoje řadí do kategorií tzv. generací. První generace zahrnuje reaktory projektované mezi lety 1950-1960. Řadí se sem například první československá elektrárna v Jaslovských Bohunicích na Slovensku. Do druhé generace patří reaktory, projektované v 70. letech 20. století. Tyto elektrárny mají stále největší podíl na výrobě elektrické energie v ČR. Jedná se o reaktory typu PWR nebo ruské VVER. Oproti první generaci došlo k velkému zvýšení úrovně, hlavně co se bezpečnostních systémů týče. Ve třetí generaci se používají standardizované projekty, což zkracuje dobu schvalování a dobu výstavby elektrárny. Dochází také k posunutí výluky mezi odstávkami, snížení investičních nákladů a dalšímu zlepšení bezpečnostních systémů. Nejlepší dostupnou technologií jsou reaktory generace III+. Hlavními přednostmi těchto reaktorů je zvýšená bezpečnost vůči vnějším vlivům, vyšší autonomie a také diverzita bezpečnostních systémů pro řešení základních nehod, vícenásobných poruch i těžkých havárií. Poslední generací reaktorů, které jsou zatím ve vývoji, je generace IV. Jde převážně o reaktory, pracující s rychlými neutrony a uzavřeným palivovým cyklem. To umožní efektivnější využití paliva a snížení množství radioaktivního odpadu. Nicméně, komerční nasazení těchto reaktorů se odhaduje až po roce 2050 [1][3].

#### 2.1.1 Tlakovodní reaktor

Jedná se o nejrozšířenější druh jaderných reaktorů, představují zhruba 60 % všech světových reaktorů. Palivem je oxid uraničitý ve formě tabletek, uspořádaných do palivových tyčí. Výměna paliva probíhá po roce provozu, přičemž na zvoleném provozním cyklu se vymění jen  $\frac{1}{4}$  nebo  $\frac{1}{3}$  článků. Moderátorem, neboli látkou, zpomalující rychlé neutrony za účelem udržení štěpné reakce, je voda, proudící primárním okruhem. V parogenerátoru dochází k ohřevu vody sekundárního okruhu na páru, která se přivádí na vstup parní turbíny [3].

## TLAKOVODNÍ REAKTOR PWR

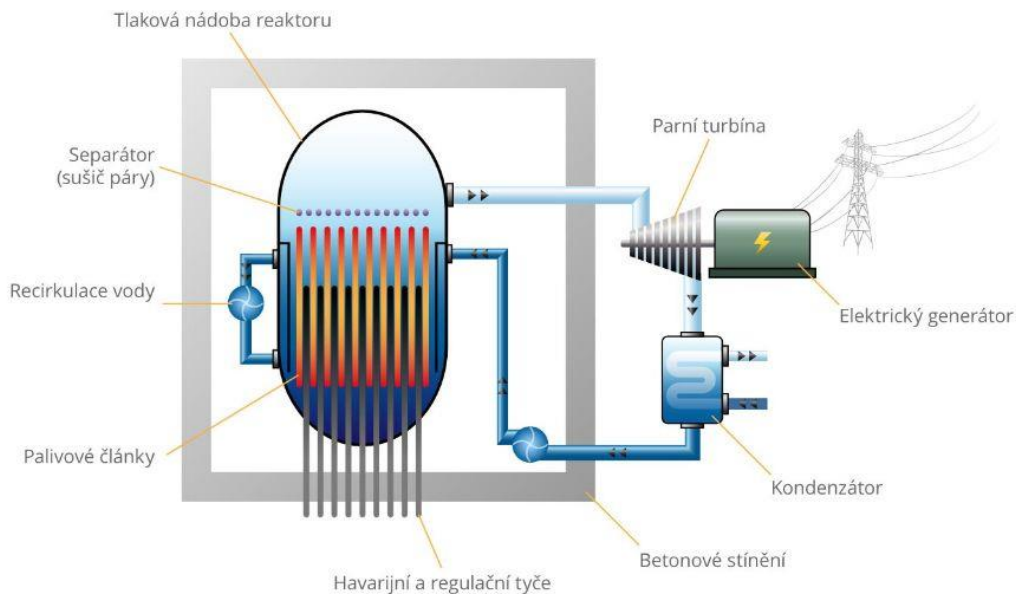


Obrázek 1: Tlakovodní reaktor [9]

### 2.1.2 Varný reaktor

Tento typ reaktoru zahrnuje zhruba 18 % celkového počtu světových reaktorů a je tedy druhým nejrozšířenějším. Stejně jako tlakovodní reaktory i BWR používají jako palivo mírněji obohacený oxid uranický ve formě tabletek v palivových tyčích, a tedy i jejich výměna probíhá stejně jako u PWR, moderátorem je také voda. Oproti PWR mají BWR jen jeden vodní okruh, kdy se pára hromadí v horní části reaktoru přímo v tlakové nádobě. Pára je poté odvlhčena a odvedena přímo na parní turbínu [3].

## VARNÝ REAKTOR BWR



Obrázek 2: Varný reaktor [9]

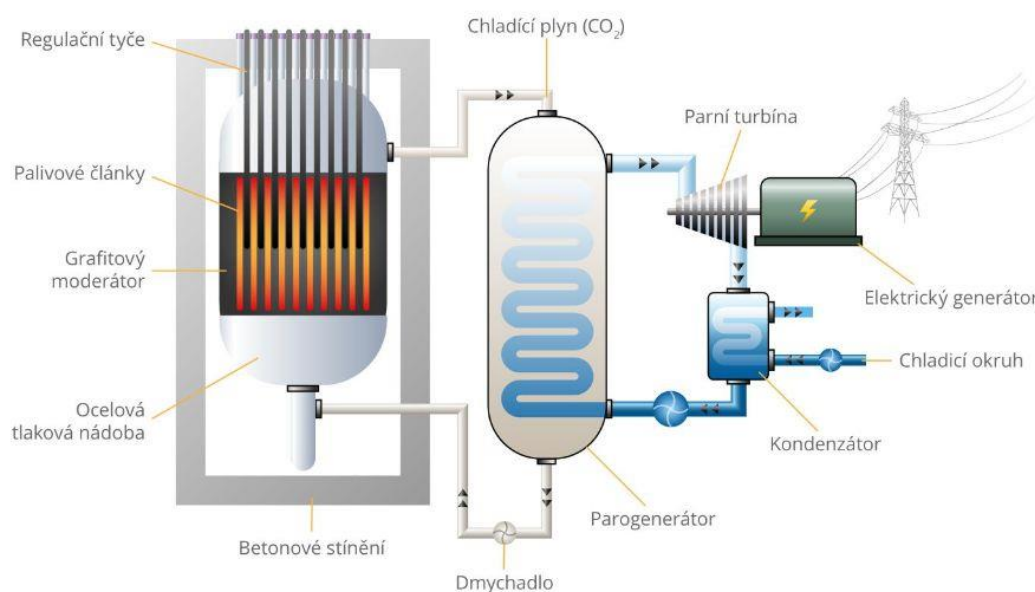
### 2.1.3 Těžkovodní reaktor

Třetím nejzastoupenějším reaktorem ve světě s přibližně 11 % zastoupením jsou reaktory PHWR. Palivem je také přírodní uran ve formě oxidu uraničitého, chladivem a zároveň i moderátorem je těžká voda  $D_2O$ . Aktivní zónou je nádoba s tlakovými kanály a těžká voda z primárního okruhu je vedena do parogenerátoru, odkud je poté vedena pára na vstup turbíny [3].

### 2.1.4 Plynem chlazený reaktor

Tento druh reaktoru byl provozován výhradně ve Velké Británii. Palivem byl oxid uraničitý ve formě palivových tyčí, pokrytých oxidem magnezia. Moderátorem byly grafitové bloky a chladivem, jak již z názvu vypovídá, oxid uhličitý, který po ohřátí proudil do parogenerátoru, kde ohříval vodu ze sekundárního okruhu a ta následně byla přivedena na parní turbínu. Aktuálně se používá vylepšená verze tohoto reaktoru, tzv. pokročilý plynem chlazený reaktor (AGR). V současné době jich je v provozu 14, všechny ve Velké Británii [3].

## PLYNEM CHLAZENÝ REAKTOR MAGNOX GCR

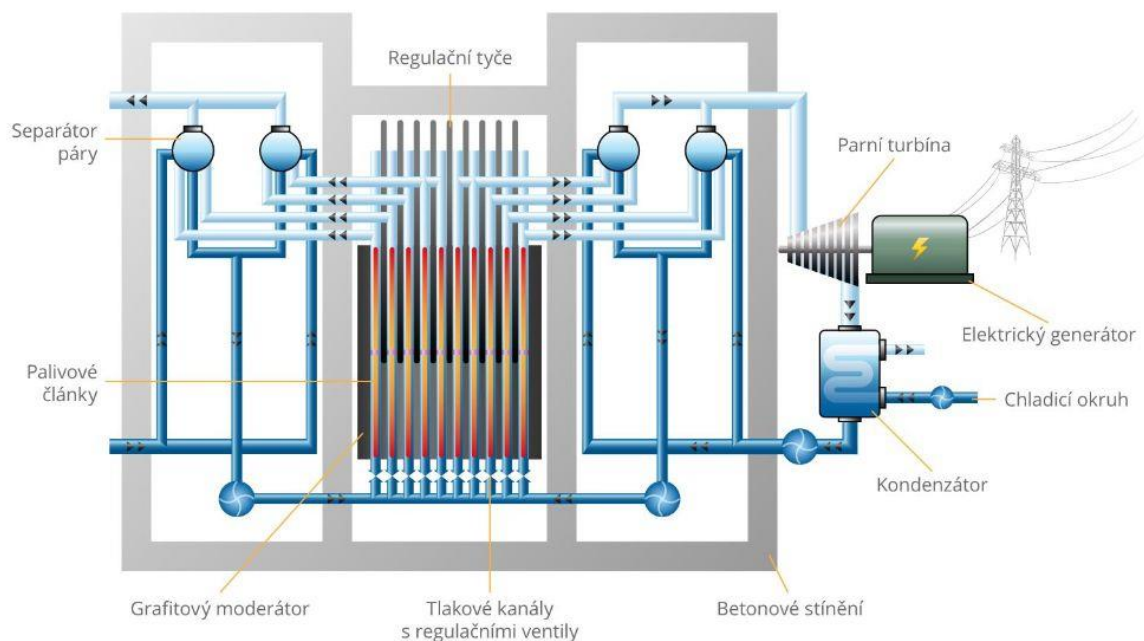


Obrázek 3: Plynem chlazený reaktor [9]

### 2.1.5 Lehkovodní grafitový reaktor

Reaktory RBMK jsou provozovány výhradně na území bývalého Sovětského svazu. Jejich další výstavba se již neplánuje a žádný z těchto reaktorů se ani nestaví. Palivem je uran ve formě oxidu uraničitého. Jako chladivo se používá obyčejná voda a moderátorem je grafit, který obklopuje tlakové kanály. V těchto kanálech přímo vzniká pára, která je po odvedení vlhkosti přímo vedena na vstup parní turbíny [3].

## REAKTOR TYPU RBMK



Obrázek 4: Lehkodivný grafitový reaktor [9]

### 2.1.6 Rychlý množivý reaktor

Jedná se o reaktory, komerčně používané v Rusku a Číně. Palivem je směs oxidu plutoničitého a oxidu uraničitého. Během jeho provozu vyprodukuje více plutoniového paliva, než kolik sám spotřebuje. Reaktor nevyužívá moderátor, ale pracuje s tzv. rychlými neutrony. Elektrárna pracuje se třemi okruhy. Aktivní zóna je ponořena do nádoby s roztaveným sodíkem. Uvnitř reaktoru je výměník, kde sodík předává teplo sekundárnímu okruhu, pracujícím rovněž s tekutým sodíkem. Sekundárním okruhem tedy proudí sodík do parogenerátoru, kde předává teplo vodě, proudící v terciárním okruhu a ta je následně odváděna na vstup parní turbíny [3].

### 3 Malé modulární reaktory

Malé modulární reaktory jsou reaktory s instalovaným výkonem do 300 MW. Již z názvu je patrné, že se jedná o malé reaktory, které je možné provozovat na místech, kde není možné provozovat velkou jadernou elektrárnu. Malé modulární reaktory (MMR) jsou většinou vyráběny na díly a sestaveny až na místě, jelikož jsou často projektovány na míru dané lokalitě, kde mohou pokrýt zvyšující se energetické nároky. V porovnání s většími reaktory jsou MMR jednodušší, jejich bezpečnost závisí především na pasivních bezpečnostních prvcích a pracují s nižšími teplotami a tlakem. Při nehodě tedy není potřeba zásah člověkem a bezpečnostní systémy významně snižují riziko úniku radioaktivity do ovzduší [4][6].

#### 3.1 BWRX-300

Reaktor, který pracuje na principu BWR s předpokládaným instalovaným výkonem do 300 MW, vznikl za spolupráce americko-japonské firmy GE Hitachi a jedná se již o desátou generaci reaktoru od jeho začátku vývoje v roce 1955 a vychází z reaktoru ESBWR, který byl dříve licencován v USA. První spuštění reaktoru je plánováno na rok 2028 v Kanadě [5].

#### 3.2 VOYGR

Tlakovodní reaktor vyvíjený americkou společností NuScale, která na projektu pracuje téměř dvacet let, se v roce 2020 stal prvním malým modulárním reaktorem, který získal licenci od USNRC. Integrované reaktory jsou standardně uspořádány do čtyř, šesti nebo dvanácti modulů, které tvoří jeden samostatný blok. Každý samostatný modul má instalovaný výkon 77 MW. Bloky tedy mohou dosáhnout až 924 MW. První komerční spuštění je plánováno na rok 2029 v Idaho, USA [5].

#### 3.3 SMR-160

Dalším americkým projektem je tlakovodní reaktor od společnosti Holtec International s instalovaným výkonem 160 MW. Dle výrobce jde o design, který má skvělé pasivní bezpečnostní systémy, které by měly zabezpečit bezproblémový chod až na 80 let, což je oproti jiným projektům delší o 20 let [5].



### 3.4 Westinghouse SMR

Reaktor od stejnojmenné společnosti o výkonu 225 MW je zmenšená verze tlakovodního reaktoru AP1000, který byl dříve nabízen pro JE Dukovany. Projekt je prozatím v příliš rané fázi a od USNRC dostal teprve prvotní licenci pro testování [5].

### 3.5 Nuward

Francouzská společnost EDF vyvíjí tlakovodní reaktor v dvoumodulovém uspořádání s instalovaným výkonem 170 MW/modul. Projekt je ve finální fázi dokončování designu a připravuje se na licencování. Mezi EDF a francouzskou vládou již bylo předběžně dohodnuto postavení reaktoru na území Francie a aktuálně se vybírají potencionální místa pro výstavbu, která se plánuje začít budovat v roce 2030 [5].

### 3.6 Rolls-Royce

Reaktor, vyvíjený britskou společností za účelem vysoké dostupnosti, nízké uhlíkové stopy a výbornou schopností výroby energie s instalovaným výkonem 470 MW. Tímto výkonem se již výkonem neřadí do MMR, přesto sem patří kvůli své kompaktnosti, kdy se většina dílů vyrobí a testuje v továrních podmínkách a do bloků se skládá přímo na místě elektrárny. Projekt je aktuálně ve fázi licencování a první komerční použití je plánováno na rok 2030 [5].

### 3.7 Parametry uvažovaných designů malých modulárních reaktorů pro použití v České republice

Tabulka 1: Srovnání uvažovaných reaktorů, první část [5]

	<b>BWRX-300</b>	<b>VOYGR</b>	<b>SMR-160</b>
<b>Výrobce, země původu</b>	GE Hitachi, USA/Japonsko	NuScale, USA	Holtec International, USA
<b>Typ reaktoru</b>	BWR	iPWR	PWR
<b>Instalovaný výkon modulu/bloku [MW]</b>	300	77	160
<b>Typ paliva</b>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>
<b>Obohacení paliva [%]</b>	3,81 - 4,95	≤4,95	<5
<b>Cyklus doplnění paliva [měsíce]</b>	24	24	24
<b>Životnost [roky]</b>	60	60	80
<b>Typ bezpečnostních systémů</b>	Pasivní	Pasivní	Pasivní

Tabulka 2: Srovnání uvažovaných reaktorů, druhá část [5]

	<b>Westinghouse SMR</b>	<b>Nuward</b>	<b>Rolls-Royce</b>
<b>Výrobce, země původu</b>	Westinghouse, USA	EDF, Francie	Rolls-Royce, Velká Británie
<b>Typ reaktoru</b>	iPWR	iPWR	PWR
<b>Instalovaný výkon modulu/bloku [MW]</b>	225	170	470
<b>Typ paliva</b>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>
<b>Obohacení paliva [%]</b>	<5	<5	<4,95
<b>Cyklus doplnění paliva [měsíce]</b>	24	24	18
<b>Životnost [roky]</b>	80	60	60
<b>Typ bezpečnostních systémů</b>	Pasivní	Pasivní	Pasivní i aktivní

Z Tabulky 1 a 2 je patrné že, jediným reaktorem využívající technologii BWR je BWRX-300. Ostatní reaktory se zakládají na technologii PWR případně iPWR, kde se aktivní zóna, primární chladicí okruh, parogenerátory nebo i havarijní chlazení nachází v jedné reaktorové nádobě. Hlavní výhodou této technologie je možnost hromadné výroby, jelikož se reaktor dodá jako celek. Největším výkonem disponuje reaktor VOYGR, který může mít až dvanácti modulové uspořádání a dosáhnout výkonu až 924 MW. Naopak nejnižší instalovaný výkon má reaktor SMR-160, který je dodáván pouze v jednoblokovém provedení. Jako palivo je u všech reaktorů používán oxid uraničitý obohacený na méně než 5%. Nejméně obohacené palivo je možno využít u reaktoru BWRX-300, kde se také liší rozložení do palivových článků. Jako jediný tento reaktor využívá rozložení článků 10x10. Všechny ostatní reaktory používají rozložení 17x17. Palivový cyklus reaktoru Rolls-Royce je 18 měsíců, kdy je po uplynutí této doby vyměněno zhruba 40% paliva za nové. U ostatních reaktorů palivový cyklus trvá 24 měsíců. Velmi podstatným údajem z tabulky je životnost. Pro nejdelší provoz jsou navrženy reaktory SMR-160 a Westinghouse SMR. Tyto reaktory mají předpokládanou životnost osmdesát let. Další reaktory jsou navrženy pro častější provozuschopnost šedesát let.

## 4 Jiné zdroje energie

Jaderné zdroje nemusí být pro organizace a obce jediným zdrojem energie. Podle Státní energetické koncepce (SEK) [18] by se pomalu mělo tlumit využívání uhlí při výrobě elektřiny a tepla. Zvýšit by se měl podíl obnovitelných zdrojů. K roku 2050 by mělo dojít ke kompletnímu zastavení uhelných elektráren k výrobě elektřiny. Je tedy vhodné přemýšlet do budoucna i o zdroji solárním nebo zemním plynem, který bude časem nahrazen plynem obnovitelnými (vodík, biometan). Teplo je možné získávat z tepelných čerpadel, bioplynové stanice nebo kotle na biomasu.

### 4.1 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny pracují na principu fotoelektrického jevu, čímž se umožní přímá přeměna energie ze slunečního záření na elektrický proud. Při dopadu fotonů na polovodič dochází k uvolňování nosičů náboje a ty jsou dále pomocí kovových kontaktů odváděny. Nejvyužívanější materiál pro výrobu fotovoltaických článků je křemík. Články, využívající krystalický křemík, mají velmi dobré vlastnosti z hlediska generace volných nosičů náboje a v závislosti na typu fotovoltaického článku dosahují v laboratoři účinnosti až 25%. Jsou také nejvyužívanějším typem solárních článků, tvoří 95 % světové produkce. Další druhy panelů využívají tenkovrstvé technologie na bázi amorfního křemíku nebo teluridu kadmennatého. Každá výstavba fotovoltaické elektrárny by měla začínat prohlídkou technika na případném místě instalace. Technik zjistí využitelnost plochy, její stínění, možnosti kotvení konstrukcí a možnosti vedení kabelů. Na základě prohlídky se provede předběžný náčrt stavebních výkresů a určení instalovaného výkonu. Pokud se elektrárna instaluje na volnou plochu, je potřeba zajistit souhlas všech majitelů sousedních pozemků a obce. Poté následuje vypracování technické dokumentace a vyřízení stavebního povolení. Při návrhu fotovoltaické elektrárny jsou nejčastěji využívány panely s výkonem 160 - 240 W. Ty se uchycují na nosné konstrukce, které lze rozdělit na dva typy [19][20]:

- Konstrukce pro volná prostranství – jsou tvořeny ocelovými pozinkovanými profily trojúhelníkového tvaru, uchycení se zemí se provádí buď závrtnými šrouby, profily zatlačenými do země nebo betonovými základy
- Polohovatelné systémy – automaticky otáčejí a naklání panely ke Slunci a umožňuje tím maximální možnou výtěžnost. Nevýhody tohoto systému jsou velké pořizovací náklady, vlastní spotřeba systému na otáčení a naklání panelů a nutná údržba

## 4.2 Větrné elektrárny

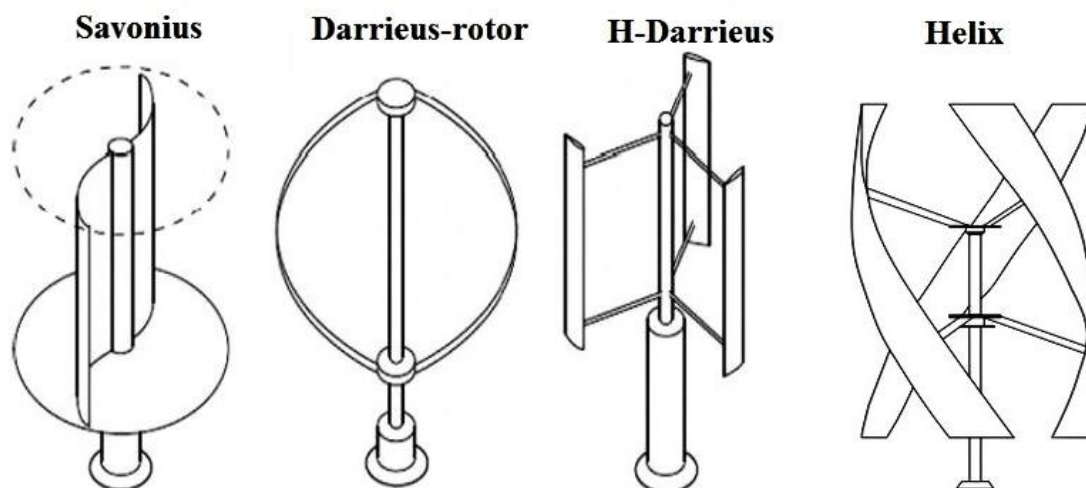
Větrná elektrárna pracuje na principu přeměny kinetické energie větru na elektřinu. Turbína převádí sílu větru na mechanickou energii, která je generátorem převedena na elektrickou energii. Turbíny lze dělit podle funkce na [31]:

- Odporové – Mají jednodušší princip, ale dosahují menší účinnosti. Využívají se v menší míře.
- Vztlkové – Jsou nejpoužívanějším typem. Díky tvaru lopatek při obtékání rotorového listu vzniká vztlková síla.

Dále lze turbíny rozdělit podle osy [31]:

- Horizontální – Musí vždy směřovat proti větru. Využívá se u nich směrových lopatek a větrného senzoru. Tento typ turbíny je v dnešní době nejpoužívanější a dosahuje nejvyšší účinnosti (48%).
- Vertikální – U těchto turbín není potřeba měnit směr. Jejich použití je tedy vhodné na místech kde se směr větru často mění. Zabírají méně prostoru a jsou méně hlučné. Jejich cena je vyšší než u horizontálních turbín a jejich účinnost menší (38%)

Vertikální turbíny lze dále rozdělit na turbíny Savoniovy, Darrieovy a různé verze H-Darrieovy turbíny [21][30][31].



Obrázek 5: Druhy větrných vertikálních turbín [30]

### 4.3 Paroplynové elektrárny

Paroplynové elektrárny využívají variantu kombinovaného oběhu, kde vstupní teplo je v oběhu vícenásobně využito. Energie získaná při spalení plynu se v plynové turbíně a spalínovém kotli využije nejdříve k výrobě páry, kterou je poháněna turbína. Elektrická energie se následně získává z generátoru obou turbín [22].

Velkým potenciálem do budoucna je využití paroplynových elektráren, ve kterých se bude využívat vodík jako palivo. V některých již existujících elektrárnách (Donaustadt, Rakousko) se vodík používá ve směsi se zemním plynem. V jiných, především nově postavených (Leipzig Sued, Německo) se počítá od roku 2025 s provozem na čistý vodík [21].

### 4.4 Bioplynové stanice

Bioplynové stanice jsou zařízení, které zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv (biomasa). Pomocí řízené fermentace se biomasa přemění na bioplyn, který je dále využíván pro výrobu elektrické energie a tepla. Po vyčištění je bioplyn odváděn do kogenerační jednotky, která vyrábí elektrickou energii a teplo. Elektrická energie je následně nejčastěji odváděna do distribuční sítě. Teplo je odváděno do topného systému objektu [25][36][25].

### 4.5 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo funguje na principu odnímání tepla z okolí a jeho převedení na vyšší teplotu. Ve výparníku je teplo předáno pracovní látce, ta se začne odpařovat a páry jsou odváděny do kompresoru. Zde jsou páry stlačeny a tím dojde k ohřátí. V kondenzátoru páry následně odevzdávají uloženou energii do topného systému objektu. Páry se zkapalní a putují zpět do výparníku, kde se cyklus opakuje [38].

### 4.6 Kotel na biomasu

Kotel je součástí topného systému, který využívají domácnosti nebo celé obce. V kotli se nachází rošt, na kterém se pomocí hořáku spaluje dodávaná biomasa. Spaliny propadávají roštem a vzniklé teplo je předáváno do trubek, které jsou zapuštěny do kotle. V trubkách proudí voda, která je následně hnána do jednotlivých větví topného systému [26].

## 5 Rizika spojená s malými modulárními reaktory

Některé výhody malých modulárních reaktorů, jako je například možnost postavení několika menších modulů místo jednoho velkého reaktoru, již byly zmíněny. Dalšími výhodami je zajištění možnosti rozložení výkonu k připojené elektrické síti nebo použití reaktorů v oblastech izolovaných od rozvodné sítě. Je nutno se pozastavit také u rizik těchto reaktorů, které se dají rozdělit do několika kategorií:

1. Bezpečnostní rizika
2. Ekonomická rizika
3. Enviromentální rizika
4. Sociální rizika

### 5.1 Bezpečnostní rizika

Bezpečnostními riziky se dají nazvat situace, které mohou ohrozit bezpečnost obyvatel nebo prostředí. Tato rizika je možno rozdělit do dvou kategorií:

- Rizika spojená s bezpečností a ochranou zdraví při práci (dále jen BOZP)
- Rizika vyvolaná mimořádnými událostmi

Rizika, spojená s BOZP, se týkají rizik, která vytvářejí nebezpečné pracovní podmínky a zaměstnanci mohou být vystaveny těmto rizikům i několikrát za pracovní směnu. Identifikace a vyhodnocení těchto rizik je podrobněji řešena v Kapitole 5.5. Aby se tato rizika minimalizovala, je důležité dodržovat bezpečnostní standardy a daná opatření. Mezi tato opatření patří pravidelné školení zaměstnanců v oblasti bezpečnosti, používání adekvátní ochranné výbavy, pravidelná údržba všech zařízení a monitorování pracovního prostředí.

Rizik vyvolaných mimořádnými událostmi v JE existuje mnoho. Zpravidla se jedná o selhání některého z bezpečnostních systémů, ztrátu vnějšího napájení elektrickou energií, prasknutí potrubí, poruchu v systému rychlého odstavení reaktoru nebo výpadek dodávky napájecí vody do parogenerátorů. Blíže specifikována a vyhodnocena jsou tato rizika v Kapitole 5.6.

## 5.2 Ekonomická rizika

Dalším důležitým aspektem jsou ekonomická rizika spojená s investicemi domalých modulárních reaktorů. Tyto reaktory díky menším rozměrům nabízejí nižší náklady na výstavbu a provoz. Ale mohou skrývat velké náklady na vývoj technologie, regulaci, dodržování bezpečnostních standardů a potencionální náklady při doplnění reaktoru a další moduly.

Mezi hlavní ekonomické rizika patří vysoké počáteční investice do vývoje a výstavby malých modulárních reaktorů. Při úspěšném schválení projektů je vysoká pravděpodobnost, že se projekt dokončí, ale není bezriziková. Především očekávání a skutečné náklady na vývoj a výstavbu se mohou lišit, což může způsobit problémy s financováním projektu, zvýšením nákladů a zpoždění dokončení a uvedení do provozu.

Druhým významným ekonomickým rizikem je možná nízká efektivita provozu malých modulárních reaktorů. Přestože jsou jaderné reaktory navrženy pro maximalizaci spolehlivosti a efektivitu provozu, mohou nastat náhlé technické poruchy nebo obtížné provozní podmínky, které by mohly snížit výkon a spolehlivost provozu. Pokud by se dlouhodobě skutečná efektivita lišila od očekávané, mohlo by to mít negativní dopad na výnosnost projektu. Takové finanční ztráty mohou omezit možnosti dalšího vývoje a investic.

## 5.3 Environmentální rizika

Environmentální riziko je potenciální nebezpečí, které ohrožuje životní prostředí. U jaderných reaktorů mezi tato rizika patří například možnost úniku radioaktivních látek do životního prostředí, s tím je spojeno riziko havárií, otázky odpadového managementu, dopady na biologickou rozmanitost a ekosystémy.

Nejvýraznějším environmentálním rizikem je možnost úniku radioaktivních látek do životního prostředí k čemuž může dojít při haváriích nebo nehodách. To má potenciál vážně poškodit životní prostředí a ohrozit zdraví lidí a živočichů. Kontaminace půdy, vody nebo vzduchu může mít dlouhodobé následky pro ekosystémy a může vyžadovat nákladné opravy a čistící akce.

## 5.4 Sociální rizika

Sociální rizika jsou součástí diskuze o využívání jaderných zdrojů energie a zahrnují otázky, týkající se veřejného přijetí a veřejného mínění. Řízení sociálních rizik vyžaduje transparentní komunikaci, zapojení veřejnosti do rozhodovacích procesů a respektování obav komunity.



Jedním z hlavních sociálních rizik je odpor a nespokojenost veřejnosti vůči jaderným zdrojům energie. Jejich provoz může vyvolat obavy především z bezpečnosti, zdravotních rizik a dopadů na životní prostředí. Také havárie a nehody v minulosti způsobily nedůvěru veřejnosti v jaderné zdroje. Tyto obavy dále mohou vést ke kampaním a protestům vůči výstavbě a provozu jaderných zdrojů. Důsledkem může být zpomalení nebo zastavení projektu a ztráta důvěryhodnosti veřejnosti k institucím, zapojeným do projektu. Dalším faktorem, který může ovlivnit přijetí jaderného zdroje energie veřejností, jsou sociální a ekonomické nerovnosti. Kdy umístění takového zdroje energie může v určitých lokalitách zvýšit tlak na infrastrukturu a zvýšit náklady na bydlení a živobytí.

## 5.5 Vyhodnocení rizik bodovou metodou

Výstavba, provoz a následná demontáž jaderného reaktoru má mnoho identifikovatelných a vyhodnotitelných rizik v rámci BOZP. Pro vyhodnocení bezpečnostních rizik sepsaných v Tabulce 5 byla použita tzv. Bodová metoda. Rovnice 1 vyjadřuje výslednou míru rizika – R jako součin pravděpodobnosti vzniku rizika – P a závažnosti následků – Z [12].

$$R = P \times Z \quad (1)$$

Tabulka 3: Pravděpodobnost vzniku rizika, inspirováno [12]

Pravděpodobnost vzniku rizika - P	Komentář	Hodnota
Nahodilý výskyt	Výskyt události je téměř nemožný	1
Nepravděpodobný výskyt	Výskyt události je velmi ojedinělý	2
Pravděpodobný výskyt	Výskyt události je možný několikrát za pracovní směnu	3
Velmi pravděpodobný výskyt	Nejedná se o trvalé ohrožení, ale výskyt je velmi pravděpodobný	4
Trvalý výskyt	Trvalé ohrožení	5

Tabulka 4: Závažnost následků rizika, inspirováno [12]

Závažnost následků - P	Komentář	Hodnota
Zanedbatelné poranění	Není vyžadováno ošetření mimo pracoviště	1
Lehké poranění	Je vyžadováno ošetření mimo pracoviště, bez pracovní neschopnosti	2
Vážné poranění	Je vyžadováno ošetření mimo pracoviště, s pracovní neschopností	3
Těžké poranění	Úraz, jehož důsledek je invalidita	4
Smrtelné poranění	Úraz, jehož důsledkem je smrt	5

Tabulka 5: Míra rizika [vlastní zpracování]

Riziko	Pravděpodobnost vzniku rizika	Závažnost následků	Míra rizika
Úrazy při práci ve výšce	2	3-4	6-8
Úrazy na pracovišti (zakopnutí, naražení)	3	2-3	6-9
Úrazy způsobené spadlými předměty	2	2-3	4-6
Popáleniny	3	2	6
Vystavení škodlivým chemikáliím	2	3	6

Z Tabulky 5 se následně vyhodnotí míra rizika:

- 0-4 : zanedbatelné riziko
- 5-10 : akceptovatelné riziko
- 11-15 : přijatelné riziko
- 16-20 : nežádoucí riziko
- 21-25 : nepřijatelné riziko

Při přiřazení hodnot z tabulky do skupin lze říci, že výše zmíněná rizika patří do skupiny pro bezvýznamná nebo akceptovatelná rizika. Bodová metoda je tedy poměrně snadno použitelná a čitelná. Pro vyhodnocení rizik spojených s mimořádnými událostmi v jaderné elektrárně,

může být využita například metoda KARS (kvantitativní analýza rizik s použitím souvztažnosti rizik).

## 5.6 Metoda KARS

Metoda KARS je kvalitativní analytická metoda, při které je důležité dodržet několik kroků, vedoucích ke zjištění míry nebezpečnosti rizik, kterým rizikům se věnovat prioritně a která se mohou řešit později [13].

Prvním krokem analýzy je vypsání seznamu rizik, který by měl být co nejvíce obsáhlý a podrobný. Dalším krokem je sestavení tabulky souvztažnosti rizik, která se sestaví jako matice, kde je počet řádků a sloupců roven počtu rizik a platí, že riziko  $R_{1i}$  je rizikem prvního sloupce  $R_{1j}$ . Jelikož riziko  $R_i$  nemůže vyvolat samo sebe, hlavní diagonála matice se vyplní nulami. Pro vyplnění dalších pozic se postupuje po řádcích zleva doprava a vyplní se hodnoty [13]:

Tabulka 6: Souvztažnost rizik [13]

	<b>Riziko</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>
<b>1.</b>		0				
<b>2.</b>			0			
<b>3.</b>				0		
<b>4.</b>					0	
<b>5.</b>						0

- 1 – je-li možnost, že riziko  $R_i$  může vyvolat riziko  $R_j$
- 0 – V případě, že riziko  $R_i$  nemůže vyvolat riziko  $R_j$

Následuje doplnění tabulky o jeden řádek a jeden sloupec. Jednotlivé pozice v novém řádku a sloupci představují součty jednotlivých řádků a sloupců. Tyto součty se následně použijí k výpočtu koeficientu aktivity a pasivity. Cílem dalšího kroku je výslednou tabulku převést na matematicky a graficky prezentované podoby. K posouzení přítomných rizik budou využity tzv. koeficienty aktivity a pasivity [13].

Koeficient aktivity  $K_{ARi}$  je vyjádření počtu návazných rizik v procentech, která mohou být vyvolána působením rizika  $R_i$

Koeficient pasivity  $K_{PRi}$  je vyjádření počtu rizik v procentech, která mohou vyvolat působení rizika  $R_i$

Pro vyjádření těchto koeficientů je nutné stanovit počet kombinací, kdy riziko  $R_i$  může vyvolat ostatní rizika, nebo jimi může být vyvoláno. Pro  $x$  = počet rizik platí, že počet kombinací je roven  $x - 1$  [13].

Výpočty koeficientů se poté provádí dle následujících vztahů:

$$\text{Koeficient aktivity: } K_{ARi} = \frac{\sum 1R_i}{x-1} \times 100, \text{ pro } \sum 1 \text{ v řádku } i \quad (2)$$

$$\text{Koeficient pasivity: } K_{PRi} = \frac{\sum 1R_i}{x-1} \times 100, \text{ pro } \sum 1 \text{ v řádku } j \quad (3)$$

Každé z rizik je charakterizováno těmito koeficienty a pro lepší práci s výsledkem výpočtu je vhodné sestavit tabulku koeficientů  $K_{ARi}$  a  $K_{PRi}$ .

Pro přehlednější zpracování výsledků z předchozích kroků je možné využít grafického zobrazení grafu souvztažnosti  $K_{ARi}$  a  $K_{PRi}$  pro jednotlivé  $R_i$ . Hlavním cílem grafu je stanovení rizikovosti jednotlivých rizik podle jejich souvztažnosti s ostatními riziky v systému. Rozdělením grafu na 4 kvadranty se dosáhne stanovení významnosti rizik, kde jednotlivé kvadranty jsou [13]:

- Oblast primárně i sekundárně nebezpečných rizik (I. kvadrant)
- Oblast sekundárně nebezpečných rizik (II. kvadrant)
- Oblast primárně nebezpečných rizik (III. kvadrant)
- Oblast relativně bezpečná (IV. kvadrant)

Posledním krokem analýzy KARS je samotné vyhodnocení, kterým je graf souvztažnosti rizik, zpracovaný na základě údajů z tabulky koeficientů  $K_{ARi}$  a  $K_{PRi}$  [13].

### 5.6.1 Identifikace a zpracování rizik metodou KARS

Jak již bylo zmíněno, prvním krokem metody je sepsat podrobný soupis rizik. S pomocí údajů získaných z Dokumentace vlivu nového jaderného zdroje v lokalitě Dukovany na životní prostředí [14] a brainstormingu možných událostí jsou sepsána rizika, která mohou být uplatněna i pro MMR, viz. Tabulka 7.

Tabulka 7: Seznam možných rizik [vlastní zpracování]

č.	Riziko	č.	Riziko
1	Radiační havárie	11	Nehoda vozidel s nebezpečným nákladem
2	Přírodní katastrofy	12	Havárie letadla
3	Teroristická hrozba	13	Únik toxických látek
4	Prasknutí potrubí	14	Poškození kontejnmentu
5	Ztráta vnějšího napájení elektrickou energií	15	Poškození reaktorové nádoby
6	Požár	16	Vážné újmy na zdraví
7	Lidská chyba	17	Ztráta kontroly nad reaktorem
8	Výpadek dodávky napájecí vody do parogenerátorů	18	Výpadky různých zařízení
9	Netěsnosti primárního okruhu	19	Netěsnosti sekundárního okruhu
10	Ztráta chlazení bazénu pro skladování vyhořelého paliva	20	Poškození bazénu pro skladování vyhořelého paliva

Tabulka 8: Souvztažnosti možných rizik [vlastní zpracování]

Riziko	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	$\sum K_{ARI}$
1. Radiační havárie	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	5
2. Přírodní katastrofy	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	16
3. Teroristická hrozba	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
4. Prasknutí potrubí	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	11
5. Ztráta napájení elektrické energie	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	10
6. Požár	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	13
7. Ekologická havárie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
8. Výpadek dodávky vody do PG	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	8
9. Netěsnosti primárního okruhu	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	6
10. Ztráta chlazení BSVP	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	5
11. Nehoda vozidel s NN	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	7
12. Havárie letadla	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	17
13. Únik toxických látek	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
14. Poškození kontejnmentu	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
15. Poškození reaktorové nádoby	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	7
16. Vážné újmy na zdraví	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
17. Ztráta kontroly nad ZIZ	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3
18. Výpadky různých zařízení	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	11
19. Lidská chyba	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	18
20. Poškození BSVP	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	6
$\sum K_{PRI}$	16	0	1	6	5	7	17	10	3	11	3	2	6	10	9	18	14	12	4	8	

Následujícím krokem metody KARS je vytvoření tabulky souvztažností, doplnění sloupců a řádků o součty souvztažnosti a následné vyplnění tabulky dle úvahy zda riziko v řádku může vyvolat jednotlivá rizika ve sloupcích. Z Tabulky 8 lze vidět, že určení souvztažností mezi riziky je poměrně subjektivní a velmi záleží na způsobu, jakým je k událostem přistupováno. Z tabulky je zřejmé, že některá rizika by bylo možné konkrétněji rozepsat na jednotlivá rizika. Tím by mohly být například přírodní katastrofy, výpadky zařízení nebo poruchy při ztrátě elektrické energie. K těmto rizikům je přistupováno jako k celkům, tudíž například zemětřesení a záplavy by každé mohly ovlivňovat jiné mimořádné události.

Dalším krokem je výpočet koeficientů aktivity a pasivity rizik a následné převedení do graficky prezentované metody. Pro výpočet  $K_{ARi}$  a  $K_{PRi}$  je nutné stanovit počet kombinací, kdy riziko v řádku může vyvolat rizika ve sloupci. V tomto případě je počet celkových rizik roven  $x = 20$  a počet kombinací, které riziko může vyvolat je roven  $x - 1$ , tedy 19 kombinací. Výpočty koeficientů se provedou podle výše zmíněných Rovnic 2 a 3. Procentuální vyjádření koeficientů je následně zpracováno do Tabulky 9 pro lepší orientaci a práci s výsledky.

Tabulka 9: Vypočtené koeficienty aktivity a pasivity [vlastní zpracování]

Riziko	$K_{ARi}$ [%]	$K_{PRi}$ [%]	Riziko	$K_{ARi}$ [%]	$K_{PRi}$ [%]
1. Radiační havárie	31,58	84,21	11. Nehoda vozidel s NN	42,11	15,79
2. Přírodní katastrofy	84,21	5,26	12. Havárie letadla	89,47	10,53
3. Teroristická hrozba	89,47	5,26	13. Únik toxických látek	15,79	31,58
4. Prasknutí potrubí	52,63	31,58	14. Poškození kontejnmentu	10,53	52,63
5. Ztráta napájení elektrické energie	52,63	26,32	15. Poškození reaktorové nádoby	36,84	47,37
6. Požár	73,68	36,84	16. Vážné újmy na zdraví	5,26	94,74
7. Ekologická havárie	10,53	89,47	17. Ztráta kontroly nad ZIZ	21,05	73,68
8. Výpadek napájecí vody do PG	47,37	52,63	18. Výpadky různých zařízení	63,16	63,16
9. Netěsnosti primárního okruhu	36,84	15,79	19. Lidská chyba	94,74	89,47
10. Ztráta chlazení BSVP	31,58	57,89	20. Poškození BSVP	36,84	42,11

V následující fázi se pomocí Rovnice 4 dopočítá hodnota, ve které osa  $O_1$  protne osu  $x$  a pomocí Rovnice 5 se vypočítá hodnota, kde osa  $O_2$  protne osu  $y$ . Je třeba si nejdříve určit, jak ideálně do čtyř kvadrantů rizika rozdělit. Obecně je doporučeno rozdělit graf na čtyři kvadranty tak, aby 80 % analyzovaných rizik patřilo do oblasti primárně i sekundárně nebezpečných rizik.

Vzorce pro výpočet os  $O_1$  a  $O_2$  pro pokrytí 80% analyzovaných rizik:

$$O_1 = K_{Amax} - \frac{K_{Amax} - K_{Pmin}}{100} \times 80 \quad (4)$$

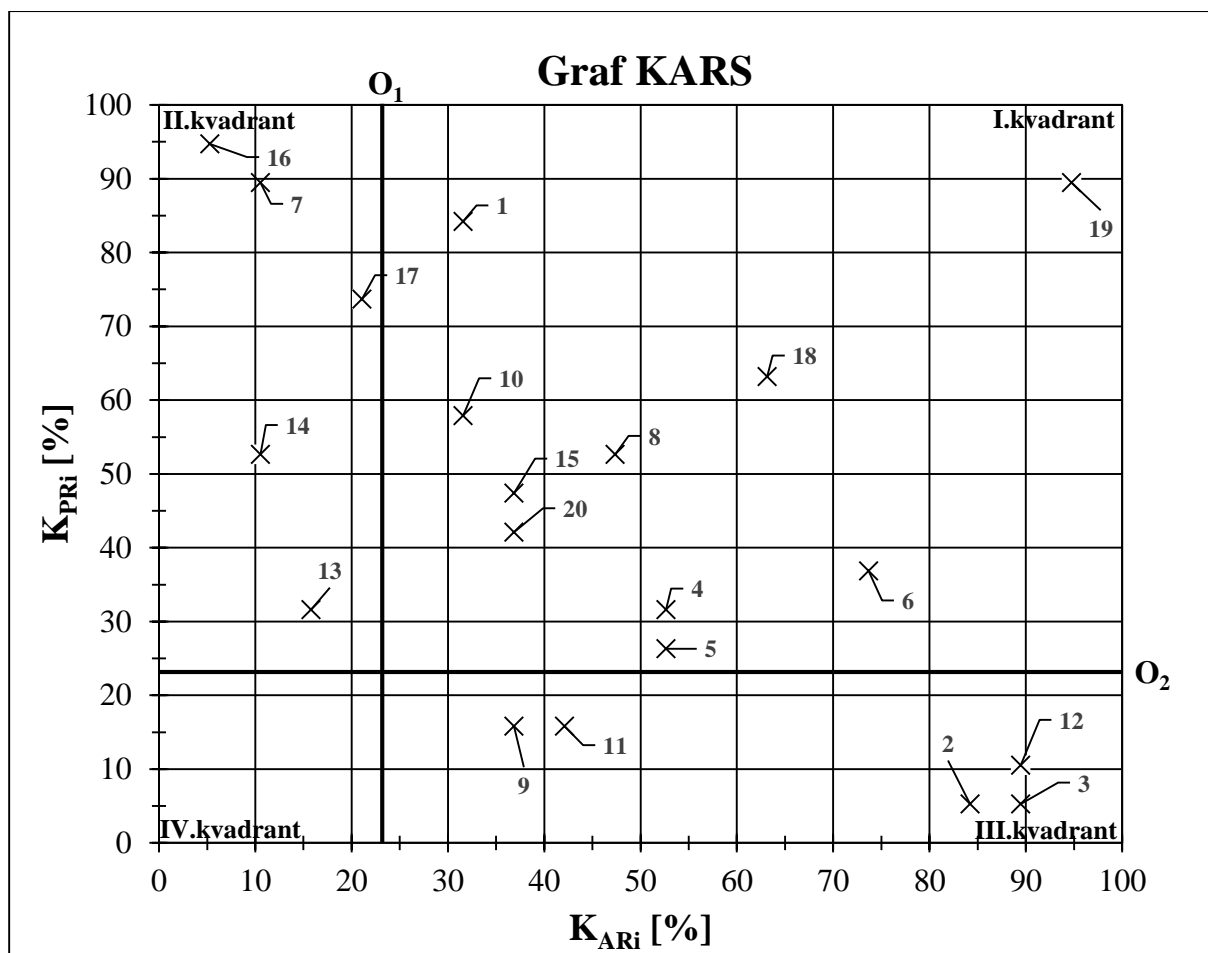
$$O_1 = 94,74 - \frac{94,74 - 5,26}{100} \times 80 = 23,16$$

$$O_2 = K_{Pmax} - \frac{K_{Pmax} - K_{Pmin}}{100} \times 80 \quad (5)$$

$$O_2 = 94,74 - \frac{94,74 - 5,26}{100} \times 80 = 23,16$$

Po zanesení koeficientů aktivity a pasivity do grafu se může vynést osa  $O_1$  a  $O_2$  podle předchozích výpočtů. Osa  $O_1$  je vynesena na ose  $x$  v bodě 23,16 a ve stejném bodě na ose  $y$  je vynesena osa  $O_2$ . V Grafu 2 lze vidět konečnou podobu grafu s označenými kvadranty.





Graf 2: Rozdělení rizik do oblastí [vlastní zpracování]

### 5.6.2 Vyhodnocení rizik

Cílem metody je určit, která rizika jsou nejrizikovější a tzv. patří do oblastí primárně i sekundárně nebezpečných rizik. Z grafu je zřejmé projmutí většiny rizik touto oblastí neboli prvním kvadrantem, jak metoda doporučuje. Zbývá rizika jsou rozložena do druhého a třetího kvadrantu.

V oblasti primárně i sekundárně nebezpečných rizik (I. kvadrant) se nacházejí rizika, která mohou být často vyvolána nebo vyvolat jiné mimořádné události. Nejrizikovější mimořádnou událostí je lidská chyba. Ta může být, mimo jiné, způsobena nedostatečným školením nebo znalostmi zaměstnanců. Je tedy vhodné klást velký důraz na jejich výběr.

Dalším nebezpečným rizikem je požár. Pro přesnější specifikaci rizika by bylo třeba určit místo požáru, nebo která zařízení mohou potenciálně začít hořet. Podle bližšího určení požáru by mohlo dojít k lidské chybě nebo výpadku některých zařízení. Mohlo by se také jednat „jen“ o požár v areálu JE. Požadavky na požární ochranu jaderného zdroje (JZ) stanovuje zákon č.

263/2016 Sb., atomový zákon [41]. Základní právo pro požární ochranu je dáno zákonem č. 133/1985 Sb. [42] a vydanými vyhláškou Ministerstva vnitra č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci) [43] a vyhláškou č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb [44].

Následují rizika, která mají za následek poškození různých zařízení nebo jejich výpadky. Mezi tato rizika patří prasknutí potrubí, ztráta napájení elektrické energie, poškození reaktorové nádoby, poškození BSVP, ztráta chlazení BSVP, výpadky napájecí vody do PG a výpadky různých zařízení. Tato rizika nejsou v provozu příliš častá. I přes to je potřeba je zahrnout do možných mimořádných událostí.

Ztráta napájení elektrické energie je potenciálně vážným problémem a může vyvolat některé výše zmíněné situace. Pokud by k tomuto došlo, může nastat vyřazení většiny bezpečnostních systémů a dojít k selhání reaktoru, jako v JE Černobyl. Ke zlepšení bezpečnosti je vhodné mít spolehlivý systém nouzového napájení nebo přemýšlet o zavedení třetího systému chlazení BSVP. Tento bazén se nachází hned vedle reaktoru a slouží jako mezisklad pro vyhořelé palivo. Pokud by došlo ke ztrátě chlazení, voda by se začala vypařovat a mohlo by to vést k výbuchu. Ten by měl vážné následky. Mohl by se poškodit samostatný bazén a únik radioaktivních látek do okolí by se zvýšil. Podpůrné systémy chlazení a odvodu zbytkového tepla jsou některá z důležitých bezpečnostních systémů. Druhým řešením skladování vyhořelého paliva je umístění do hermeticky uzavřených kontejnerů, které jsou chlazeny vzduchem. Tyto barely se následně rozmístí do haly. Tento způsob skladování se využívá v JE Temelín i JE Dukovany.

Dalším významným rizikem je ztráta napájecí vody do parogenerátoru. V nich se generované teplo přemění na páru, která pohání turbíny. Pokud by došlo k zastavení nebo nedostatečnému proudění vody, mohla by teplota vystoupat až do bodu, kdy by bylo nutné snížit výkon reaktoru nebo ho kompletně zastavit. Jaderné elektrárny mají pro tyto situace systémy pro nouzové chlazení a zásoby vody. Prasknutí potrubí může být jednou z příčin nedostatečných dodávek vody. Prasknutí může být vyvoláno například mechanickým poškozením, přetlakem nebo lidskou chybou, jako je nedostatečná údržba. Pro přesnější souvztažnost rizik by bylo vhodné rozepsat potrubí na okruhy. Pokud by došlo k poškození sekundárního okruhu, případně okruhu chlazení kondenzátoru, důsledky by mohly být mírnější než u primárního okruhu. V něm dochází k přímému kontaktu chladiva s jaderným palivem. Pokud by došlo k prasknutí, chladivo by mohlo uniknout do okolí a hrozilo by vzniknutí radiační havárie.

Většina těchto rizik může přímo ohrozit reaktorovou nádobu, ve které se nachází aktivní zóna. Ačkoliv je pravděpodobnost poškození aktivní zóny velmi malá, není nemožná, jak již minulost ukázala (JE Černobyl, Fukušima). Pokud by k poškození došlo, následky by mohly zahrnovat únik chladiva, kontaminaci prostředí až jadernou havárii. Pokud by k havárii došlo, aktivní zóna má několik výkonných bezpečnostních systémů. K těm patří například systém rychlého zaplavení aktivní zóny, nízkotlaký havarijní systém, který slouží k odvodu zbytkového tepla a vysokotlaký havarijní systém, ten slouží k potlačení havárií s rychlým nárůstem výkonu.

V oblasti sekundárně nebezpečných rizik (II. kvadrant) leží rizika, která mají poměrně nízkou možnost vyvolat jiné mimořádné události, ale často mohou být jinými událostmi vyvolány.

Přímá ztráta kontroly nad zdrojem ionizujícího záření by mohla nastat především při teroristické hrozbě, nehodě při přepravě nebo lidskou chybou. Pro minimalizaci těchto událostí je nutné řádně podrobit personál výcviku a dodržovat přísné bezpečnostní podmínky. Česká republika má zavedený systém řešení situací, spojených se ztrátou kontroly nad zdrojem ionizujícího záření. Základním prvkem je vydání povolení podle §§ 9, 10 zákona č. 263/2016 Sb, atomový zákon [41].

Mezi toxické látky s potenciálem úniku patří bór, který se používá pro regulační tyče ve varných i tlakovodních reaktorech. Další toxické látky se mohou objevit při úpravě chladiva. Zdánlivě zanedbatelnými se mohou zdát látky pro údržbu, čištění a chlazení systémů. Nejčastěji je tímto prvkem chlór, který je součástí některých chemikálií pro údržbu.

Ekologická havárie způsobuje poškození životního prostředí. To může být zapříčiněno úniky chemikálií, požáry nebo znečištěním vod. Důsledky mohou být kontaminace vody, půdy a vzduchu nebo ztráta biodiverzity. Oproti tomu radiační havárie je událost, která může způsobit únik radioaktivního materiálu. Tyto termíny je třeba nezaměňovat, jinak by mohlo dojít k nesprávnému vyhodnocení rizik.

Kontejnment je navržen, aby odolal všem vnějším i vnitřním vlivům (havárie letadla, zemětřesení, výbuch). V kontejnmentu se také nachází všechny důležité části JE. Uvnitř je vytvořen podtlak, aby se v případě úniku radioaktivní látky nedostaly mimo něj. Menší úniky z primárního okruhu již dříve byly zpozorovány v JE Temelín a JE Krško [15][16]. Při obou událostech byl únik malý a nedošlo ke spuštění bezpečnostních sprchových systémů chlazení.

V oblasti primárně nebezpečných rizik (III. kvadrant) se nacházejí tyto mimořádné události: havárie letadla, teroristická hrozba, přírodní katastrofy, nehoda vozidel s nebezpečným

nákladem a netěsnosti primárního okruhu. Všechna tato rizika mají poměrně vysoký potenciál vyvolat jiné rizikové události.

Pád letadla je velmi nepravděpodobný, ale i přesto v projektu nové elektrárny musí být zvaženo. Základním bezpečnostním cílem je minimalizovat důsledky na obyvatelstvo a prostředí. Zvláště musí být bezpečnostní systémy schopny řídit reaktivitu a případně odstavit reaktor. Nesmí dojít k přerušení chlazení aktivní zóny a ochranné obálky nesmí být narušeny, aby nedošlo k únikům radioaktivních látek. S havárií letadla se pojí i možnost teroristického útoku na JE. Bezpečnostní a ochranné systémy by této hrozbě měly zabránit. Mezi ně patří například laserové a satelitní systémy, které jsou schopny lokalizovat i drony. V okolí jaderných zařízení se také nachází speciální jednotky České republiky, kdy jeden člen této jednotky je vždy přítomen v elektrárně.

Rizikem pro jaderné elektrárny jsou také přírodní jevy. Ty by se mohly dále rozdělit na jednotlivé mimořádné události (záplavy, zemětřesení...). V geografických podmínkách ČR je velmi nepravděpodobný vznik velmi vážných přírodních katastrof (tornádo, zemětřesení, tsunami). V případě umístění jaderné elektrárny v blízkosti vodního díla či řeky je třeba zahrnout do projektu protipovodňové opatření pro zvýšení odolnosti JE. Dalšími přírodními jevy, kterými by se mělo při návrhu projektu zabývat, jsou extrémní teploty a srážky, bouřky a vichřice. Bližší kritéria o umístění jaderných zařízení a zdrojů ionizujícího záření určuje zákon č. 263/2016 Sb, atomový zákon [41].

Posledním rizikem v oblasti primárně nebezpečných rizik je nehoda vozidel, přepravujících nebezpečný náklad. Zamezení tohoto rizika je v podstatě nemožné, ale pravděpodobnost vzniku je možno snížit důsledným výcvikem personálu a kvalitní komunikací s ostatními zainteresovanými stranami.

V oblasti relativně bezpečné (IV. kvadrant) se podle autorovy analýzy nenachází žádné riziko. Pokud by se některé zanalyzovaných rizik blíže specifikovalo, je možné, že by do této kategorie minimálně jedná událost spadala.

## 6 Specifikace odpovědnosti, pravomoci a dopadů na zainteresované strany

Výstavba a provoz malých modulárních reaktorů představuje nové řešení a perspektivní přístup k výrobě jaderné energie, který nabízí řadu potenciálních výhod v porovnání s tradičními jadernými elektrárnami. Důkladné porozumění procesu výstavby a provozu těchto reaktorů je klíčové pro efektivní a udržitelné využívání jaderné energie jako součásti energetického mixu. Zahrnutí MMR do energetických strategií a plánů vyžaduje zohlednění široké škály faktorů a zainteresovaných stran a to jak na úrovni národní, tak mezinárodní.

Zainteresované strany, zapojené do projektu, mohou být definovány jako subjekty, které mohou mít na projekt pozitivní nebo negativní vliv. Tyto zainteresované strany se většinou účastní projektu a mohou tento vliv uplatnit. Pro identifikaci zainteresovaných stran slouží systematické i nesystematické přístupy. V praxi se častěji vyskytují metody nesystematické, kvůli jejich snadné aplikaci. Použití těchto metod jako brainstorming, snowball a komunikace s klíčovými informanty zpravidla vede k neúplné identifikaci. Pro přesné určení je vhodné použít kombinaci obou přístupů [11].

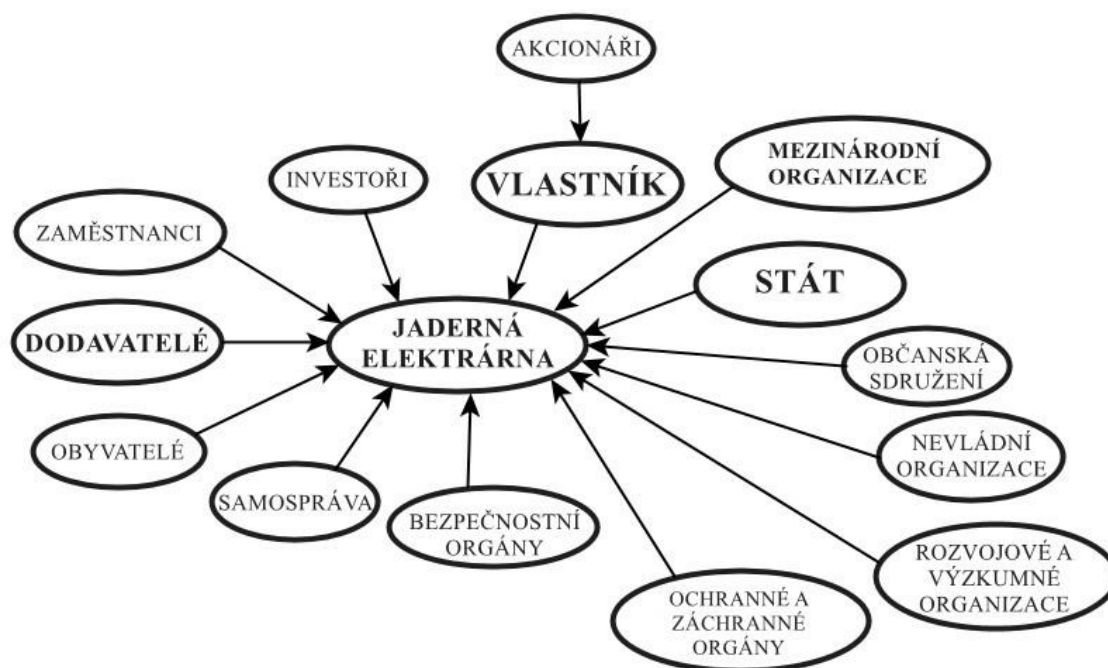
Zainteresované strany neboli „stakeholders“ mohou být rozděleny například podle svého významu. Toto rozdělení zahrnuje následující kategorie:

1. Primární. Jsou pro chod organizace nezbytné. Tato kategorie zahrnuje vlastníky a investory, akcionáře, sponzory, věřitele, obchodní partnery a dodavatele, zaměstnance, zákazníky a místní komunitu [10].
2. Sekundární. Tyto strany mají vliv na chod podniku, ale nejsou klíčové pro jeho přežití. Do této kategorie patří vládní instituce a regulační orgány, místní samosprávné orgány, charitativní a nevládní organizace, média, občanská a profesní sdružení [10].

Z tohoto rozdělení je patrné, že některé ze stran nemusí být do projektu přímo zapojeny, ovšem budou projektem dotčeny [11].

## 6.1 Zmapování zainteresovaných stran

Prvním krokem identifikace zainteresovaných stran je vytvořit mapu potenciálních stakeholderů. Za pomoci Národního akčního plánu rozvoje jaderné energetiky v ČR (NAP) [17] a brainstormingu je na Obrázku 6 vytvořená mapa základních zainteresovaných stran při výstavbě nového jaderného zařízení.



Obrázek 6: Mapa možných zainteresovaných stran [vlastní zpracování]

## 6.2 Vliv a zájem jednotlivých stran

Pro určení tzv. klíčových hráčů neboli stran, které mají na projekt nejvýznamnější vliv a největší zájem, lze použít například Matici vlivu a zájmu. Ta rozdělí zainteresované strany do čtyř kvadrantů [11]:

- Klíčoví hráči – v této části matice se nacházejí strany, které mají největší zájem a vliv na dokončení projektu
- Silní hráči – strany jsou zde reprezentovány velkým vlivem a nízkým zájmem, tuto skupinu je třeba pečlivě informovat, jelikož je možnost přesunutí do kvadrantu pro klíčové hráče

- Slabí hráči – strany s nízkým vlivem a velkým zájmem, pro uspokojení stran je nutné je průběžně informovat
- Dav – zainteresované strany, jejichž vliv i zájem na projekt je malý



Obrázek 7: Matice vlivu a zájmu zainteresovaných stran [vlastní zpracování]

### 6.2.1 Klíčoví hráči

Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE) je hlavní mezinárodní organizací pro jadernou bezpečnost. Monitoruje mírové využití jaderné energie, poskytuje směrnice a normy členským zemím. Evropské společenství pro atomovou energii (Euratom) je samostatným orgánem, stojící vedle Evropské unie (EU) a má pravomoci na navrhování směrnic a norem v jaderné energetice pro státy EU. Dále podporuje a financuje výzkum v oblasti jaderné energie. Česká Republika je členem Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD), která má specializovanou agenturu Nuclear Energy Agency (NEA). Ta poskytuje pomoc členům

v rámci udržování a rozvoje bezpečného, ekologicky šetrného a mírového využívání jaderné energie formou mezinárodní spolupráce.

V rámci národního orgánu je hlavním regulátorem Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). SÚJB je nezávislým státním orgánem, který je přímo podřízen vládě. V jeho pravomocích je vydávání licencí pro provoz jaderných zařízení a regulace jaderné bezpečnosti v souladu se zákonem č. 263/2016 Sb., atomový zákon [41], vyhláškou č. 21/2017 Sb. o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení [50], vyhláškou č. 329/2017 Sb. o požadavcích na projekt jaderného zařízení [51] a vyhláškou č. 361/2016 Sb. o zabezpečení jaderného materiálu [52]. Dále úřad schvaluje havarijní plány, stanovuje podmínky a požadavky na radiační ochranu obyvatel a zaměstnanců, stanovuje požadavky havarijní připravenosti a další.

Hlavním politickým orgánem je Vláda České republiky. Ta rozhoduje o strategických a politických rozhodnutích a vydává nařízení vlády. Jedním z takových nařízení jsou podle § 42 zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon [41], stanoveny poplatky za odbornou činnost Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Tyto poplatky musí vlastníci zaplatit za povolení k výstavbě a provozu JZ. Vláda dále podle § 156 stanoví povinnosti subjektů k zóně havarijního plánování. Vláda schvaluje dokumenty jako Státní energetická koncepce (SEK) [18], která určuje budoucí směr a vývoj energetického mixu v následujícím období.

Ministerstvo průmyslu a obchodu zpracovává Státní energetickou koncepci na základě zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií [45]. Ustanovení § 30a zákona č. 458/2000 Sb., energetický zákon [46], uděluje Ministerstvu průmyslu a obchodu pravomoc udělit státní autorizaci na výstavbu výroby elektřiny o výkonu 1 MW a více.

Při každém umístění nového jaderného zdroje je povinností Ministerstva životního prostředí vypracovat posudek k záměru na základě zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí [48]. Dále ministerstvo vydává stanovisko z hlediska vlivu stavby na životní prostředí na základě zákona České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny [49].

Orgánem státní správy v rámci ochrany utajovaných informací a bezpečnostní způsobilosti je Národní bezpečnostní úřad. Tento úřad vydává osvědčení o bezpečnostní způsobilosti a umožňuje osobám provádět citlivé činnosti, které jsou dány § 162 zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon [41].

Při provozu jaderné elektrárny vznikají radioaktivní odpady. Jejich bezpečné uložení zajišťuje Správa úložišť radioaktivních odpadů. Ta v rámci § 111 zákona č. 263/2016 Sb., atomový



zákon [41], uzavírá smlouvu s každým původcem odpadu o převodu práva nakládat s radioaktivním odpadem.

Dodavatel musí mít v místě zavedený, dokumentovaný a udržovaný systém řízení, který splňuje požadavky Atomového zákona a prováděcích vyhlášek č. 408/2016 Sb., vyhláška o požadavcích na systém řízení [54], a č. 358/2016 Sb., vyhláška o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení [55]. Tyto vyhlášky vydává SÚJB.

Vlastníka projektu nelze jednoznačně určit. Podle NAP [17] je možno zvažovat tři varianty vlastníků. První a preferovanou variantou je výstavba jaderného zdroje skupinou ČEZ, a.s. Majoritním akcionářem je Česká Republika. Tato varianta je proveditelná jen za předpokladu, že společnost ČEZ vypracuje investiční záměr. Výhody této varianty jsou především ve zkušenostech s již vystavěnými jadernými zdroji. Druhou variantou je sdružení investorů. Toto sdružení by mohlo být spojení ať už organizací nebo jednotlivců. Pokud by se k tomuto řešení stát rozhodl, investoři by od něj mohli požadovat určitou formu garance. Při poskytnutí garancí by stát obdržel poplatek do státního rozpočtu v souladu se zákonem č. 218/2000 Sb., o rozpočtových pravidlech a o změně některých souvisejících zákonů [53]. Třetí variantou, nejméně pravděpodobnou, je výstavba státním podnikem. Hlavní nevýhodou tohoto řešení by bylo vysoké zatížení státního rozpočtu.

### 6.2.2 Silní hráči

Ministerstvo pro místní rozvoj má dle zákona č. 283/2021 Sb., stavební zákon [47], pravomoc, která mu umožňuje vykonávat úkoly stavebního úřadu, související s vydáváním územního rozhodnutí. Tato pravomoc se týká staveb, spojených s úložišti radioaktivních odpadů, obsahujících přírodní radionuklidy, staveb s jaderným zařízením a staveb a zařízení pro přenos elektřiny a výroby elektřiny s instalovaným výkonem 100 MW a více.

Podle zákona č. 283/2021 Sb., stavební zákon [47], mají kraje pravomoc vydávat zásady územního rozvoje. Kraje a případně obce dále mohou vstoupit do stavebního řízení jako účastníci, pokud jsou vlastníky pozemku nebo pozemku sousedního. S kraji a obcemi je následně projednáván havarijní plán na základě zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon [41].

Zaměstnanci mají zájem na pracovních podmínkách a bezpečnosti v jaderné elektrárně.

Subdodavatelé mohou být zapojeni do projektu v různých odvětvích. Jedním z nich je dodání vybavení nebo technické služby. V dalších fázích by mohli subdodavatelé zahrnovat firmy, poskytující stavební práce.

### 6.2.3 Slabí hráči

Wester European Nuclear Regulators Association (WENRA) sdružuje dozorné orgány zemí EU s jadernými elektrárnami. Jedním z hlavních cílů asociace je sjednotit přístupy v oblasti zajištění jaderné bezpečnosti energetických jaderných reaktorů, vyřazování jaderných zařízení z provozu a skladování radioaktivních odpadů a vyhořelého paliva prostřednictvím svých dokumentů v co největší míře v členských zemích. Mezinárodním poradním orgánem, který vydává doporučení a návody v oblasti radiační ochrany je Mezinárodní komise pro radiační ochranu (ICRP).

Výzkumné a rozvojové organizace hrají důležitou roli při poskytování odborných znalostí a výzkumu v oblasti jaderné energetiky. Nicméně, jejich vliv je menší než u jiných skupin.

Obyvatelé mohou být ovlivněni dopady jaderného průmyslu na životní prostředí, zdraví nebo zaměstnání. Jejich zájem směřuje především k bezpečnosti a ochraně lidského zdraví. Někteří obyvatelé mohou vidět v novém jaderném projektu vytvoření pracovních míst. Obyvatelé mají omezený vliv a jsou slyšeni skrze veřejné konzultace.

### 6.2.4 Dav

Mezi nevládní organizace patří například Greenpeace. Cílem těchto organizací je především ochrana životního prostředí. Dále do davu patří různá družstva, média nebo odborové organizace.

## 7 Alternativní zdroje energie

Energetická soběstačnost obcí nebo regionu je vhodným příspěvkem, jak naplnit Státní energetickou koncepci. Hlavní výhodou územní energetické koncepce by měla být možnost volby druhu zdroje. Ideální situace nastane, pokud by obec měla vhodnou lokalitu pro větrné, vodní i fotovoltaické elektrárny. Obec by také disponovala vhodnou technickou infrastrukturou pro instalaci bioplynové stanice. Místní komunita by podporovala komunitní energetiku zapojením vlastních zdrojů. V případě většího města nebo regionu by komunita měla souhlasit s umístěním většího zdroje energie.

V České republice již některé soběstačné obce existují (Kněžice, Jindřichovice pod Smrkem). Tyto obce však nevyužívají všech zdrojů, jelikož se nenachází ve vhodné lokalitě. Ideální lokalitu v ČR zřejmě ani nikdo nenajde.

Kněžice ke své soběstačnosti využívají pouze bioplynovou stanici, která ročně vyrobí 2200 MWh. Vyráběná elektřina není narozdíl od tepla zavedena přímo do jednotlivých domů, ale je dodávána do distribuční sítě společnosti ČEZ Distribuce, ze které domácnosti elektřinu odebírají [23].

Jindřichovice pod Smrkem se nachází v regionu, ve kterém se na základě Koncepce energeticky soběstačného mikroregionu budují elektrárny větrné. V obci se nachází dvě turbíny, každá o výkonu 600 kW. Součástí obce je také fotovoltaická elektrárna o výkonu 120 kW. Teplo v obci je zajišťováno tepelnými čerpadly, umístěnými v každém domě [24].

Při rozhodování obcí, svazku obcí nebo regionu o jejich územní energetické koncepci (ÚEK) by z výše zmíněného měly být zohledněny:

- Lokalita a lokální zdroje energie
- Mapa spotřeby energie a oblastí, které mohou být samosprávou ovlivněny

Kraj nebo obec mohou v oblasti energetiky vydávat vyhlášky na základě čtyř zákonů a navazujících vyhlášek a nařízení. Těmito zákony jsou:

- Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií [45]
- Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší [56]
- Zákon č. 64/1998 Sb., o územním plánování a stavebním řádu [57]
- Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) [46]

## 7.1 Vyrovnané náklady na elektřinu a teplo

Jedním z nástrojů pro srovnání zdrojů energie je výpočet vyrovnaných nákladů na elektřinu/teplo (LCOE/LCOH). Lze je vypočítat jako náklady na životní cyklus dělených produkovanou energií během životnosti [27]. Výpočet je blíže specifikován v Rovnici 6 kde:

T – Životnost projektu [roky]

t – Rok t

$E_t$  – Vyrobená energie v roce t [Kč]

$I_t$  – Počáteční náklady na systém včetně výstavby, instalace, atd. [Kč]

$M_t$  – Náklady na údržbu v roce t [Kč]

$O_t$  – Provozní náklady v roce t [Kč]

$$P_e = \frac{\sum_{t=0}^T (I_t + O_t + M_t + D_t)}{\sum_{t=0}^T E_t} \quad (6)$$

Pro výpočet vyrovnaných nákladů na elektřinu byla vytvořena modelová situace. V obci žije 250 obyvatel. Průměrná roční spotřeba na obyvatele je 4 MWh. V obci se nachází městský úřad a knihovna s roční spotřebou 10 MWh. V obci je zajištěno osvětlení pomocí LED lamp, které ročně spotřebují 10 MWh. Celková roční spotřeba elektrické energie obce je poté 1020 MWh. Spotřeba tepelné energie vesnice činí 4500 GJ (18 GJ/osoba).

### 7.1.1 Vyrovnané náklady na elektřinu a teplo malých jaderných reaktorů

Plně funkční již komerčně používané modulární reaktory jsou pouze dva, jeden v Rusku a druhý v Číně. Vzhledem k tomuto počtu se těžko odhadují veškeré investice do výstavby a provozu reaktorů.

Vyrovnané náklady na elektřinu MMR byly převzaty z oznámení [28], které vydala společnost NuScale a Utahské sdružení městských energetických systémů (UAMPS). Z původního plánu použití dvanácti modulového reaktoru bylo ustoupeno a rozhodnuto o šesti modulovém reaktoru. Odhadovaná cena výstavby se vývojem cen vyšplhala na 261 miliard Kč. Tato cena je poté snížena dotacemi ve výši 100 miliard Kč, které NuScale a UAMPS očekávají od daňových poplatníků a Ministerstva energetiky. Odhadované vyrovnané náklady se po těchto

změnách pohybují okolo 2,5 Kč/kWh. Tepelná energie tohoto reaktoru je 250 MWh. Odhadnuté náklady na výrobu tepelné energie jsou 2,9 Kč/kWh.

### 7.1.2 Vyrovnané náklady na elektřinu fotovoltaických elektráren

U fotovoltaických elektráren závisí LCOE především na technologii panelů. Pro velkokapacitní elektrárny se používají panely monokrystalické nebo polykrystalické. Tenkovrstvé panely jsou vhodnější pro použití na nerovných površích nebo konstrukcích, které nejsou dimenzovány na velkou nosnost. Životnost fotovoltaických panelů je udávána mezi 25-30 lety. Energie, kterou solární panel ročně vyrobí, závisí také na lokalitě. V průměru lze říci, že jeden solární panel vyrobí ročně 0,4 MWh.

$$\text{Počet solárních panelů} = \frac{\text{Celková roční produkce elektřiny}}{\text{Roční produkce elektřiny jednoho panelu}} \quad (7)$$

Pro pokrytí spotřeby modelové obce z Kapitoly 7.1 by bylo zapotřebí 2550 panelů dle Rovnice 7. Tato elektrárna by měla podobný výkon, jako například FV elektrárna Dukovany [39]. Celková investice do elektrárny by mohly dosáhnout 30 miliónů Kč. Náklady na údržbu a revize byly odhadnuty na 60000 Kč/rok. Mezi provozní náklady mohou patřit střídače. Ty nemají tak dlouhou životnost a po 15 letech je třeba je vyměnit. Náklady na střídače ve FVE o požadované velikosti mohou činit až 4 miliony Kč. Odhadnuté náklady na vyřazení FVE z provozu se mohou lišit dle použité technologie panelu a jejich případném dalším využití. Podle publikace [29] je odhadnuta průměrná cena vyřazení panelů 8600 Kč/kW. Pro modelový návrh vesnice by se jednalo o poplatek zhruba 9 miliónů Kč. Po sečtení odhadnutých hodnot byly náklady vyčísleny na 45 miliónů Kč. Vypočtené vyrovnané náklady na elektřinu FVE podle Rovnice 1 jsou 1,46 Kč/kWh.

### 7.1.3 Vyrovnané náklady na elektřinu větrných elektráren

Použití větrných elektráren je v geografických podmínkách ČR velmi omezený. Přesto je vhodné o nich uvažovat především v pohraničních oblastech, které mají kopcovitý charakter.

Větrných turbín existuje velké množství, pro účely této práce byla vybrána turbína E-44 o výkonu 900 kW od společnosti Enercon. Orientační náklady na technologii, výstavbu a instalaci byly v roce 2022 odhadnuty na 30 miliónů Kč za jednotku. Náklady na údržbu a provoz lze určit jako část z nákladů na elektrárnu (2 % z nákladů na turbínu). Životnost větrných elektráren je udávána mezi 20-25 roky. Po dosloužení elektrárny je třeba ji demontovat. Náklady na

demontáž se mohou pohybovat kolem 1,5 milionu Kč [32]. K určení skutečného výstupu energie z turbíny lze využít tzv. kapacitní faktor. Pro určení kapacitního faktoru ho lze spočítat pomocí Rovnice 8.

$$\text{Kapacitní faktor} = \frac{\text{Skutečný výstup energie z turbíny}}{\text{Výstup z turbíny za ideálních podmínek}} \times 100 \quad (8)$$

Pro účely této práce byl zvolen kapacitní faktor 25 %. Po zahrnutí kapacitního faktoru do výpočtu roční vyrobené energie by zvolená turbína ročně vyrobila 1971 MWh elektrické energie. Vyrovnané náklady na elektřinu vypočtené s pomocí zmíněných hodnot činí 0,82 Kč/kWh.

#### 7.1.4 Vyrovnané náklady na elektřinu a teplo bioplynových stanic

Bioplynové stanice jsou ideálním řešením soběstačnosti obce díky její možné výrobě tepelné i elektrické energie. Stanice jsou, ale závislé na biomase, kterou obec nemusí vytvářet.

Investice do bioplynové stanice o výkonu 500 kW může činit až 50 miliónů Kč [34]. K provozním nákladům zde přibude již zmíněné palivo a plat operátorů. Cena paliva se může lišit podle jeho zdroje. Pro účel výpočtu LCOE lze uvést průměrnou cenu 1,50 Kč/kg. Ročně by se cena za palivo (trávní senáž) mohla vyšplhat až na 4 miliony Kč [35]. Plat každého ze dvou operátorů stanice byl vyčíslen na 30000 Kč/měsíc. Údržbové náklady stanice se dle textu [34] pohybují okolo 6,5 % z investičních nákladů, tedy 3,25 milionu Kč. Projekt bioplynové stanice je realizován s ohledem na životnost 20 let. Při provozu stanice 8500 hodin/rok s účinností 40 % by tedy mohlo být dosaženo výroby 1700 MWh ročně. Tepelná účinnost stanice bývá o pár procent vyšší. Pro výpočet roční výroby tepla lze uvažovat účinnost 45 %. Ročně stanice vyrobí 1900 MWh tepla.

#### 7.1.5 Vyrovnané náklady na teplo tepelného čerpadla

Pro výpočet LCOH byly vybrány čtyři tepelná čerpadla Stiebel Eltron WPF 66 s tepelným výkonem 67 kW a příkonem 18 kW. Čerpadlo pracuje na principu země/voda a jeho koeficient účinnosti (kolik vyprodukuje tepelné energie za každý kilowatt, který spotřebuje) je 3,7. Za rok by čerpadla mohla dohromady vyprodukovat 2340 MWh tepelné energie. Životnost čerpadla země/vzduch je 20 let. Investiční náklady zahrnují 4x čerpadlo WPF 66, 16 120 m hlubokých vrtů, montáž a rozvody. Provozní náklady tvoří energie, spotřebovaná čerpadlem, tedy 620 MWh při ceně 2393 Kč/MWh [4.5.2024][35].

### 7.1.6 Vyrovnané náklady na teplo kotle na biomasu

Vypočtené vyrovnané náklady na teplo pro kotel na biomasu byly převzaty a upraveny ze článku Tepelná čerpadla, dřevní biomasa a fosilní paliva při renovaci budov [37]. Hodnota LCOH pro kotle na dřevěnou biomasu autorům vychází 1,9 Kč/kWh teplené energie. Výpočet byl proveden pro kotel o výkonu 65-70 kW. Odhadované investiční náklady na kotel jsou 250 tisíc Kč. Provozní náklady tvoří cena za palivo (3,76 Kč/kg). Náklady na údržbu jsou vyčísleny na 5500 Kč/rok

## 7.1.7 Srovnání alternativních zdrojů energie

Tabulka 10: Srovnání nákladů na jednotlivé zdroje energie [vlastní zpracování]

Zdroj elektrické energie	Investiční náklady [Kč]	Náklady na údržbu [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Cena demontáže [Kč]	Cena paliva [Kč/kg]	Životnost [roky]	LCOE [Kč/kWh]
Malý modulární reaktor	261 miliard	-	-	-	38700	60	2,50
Fotovoltaická elektrárna	30 miliónů	1,8 milionu	4 miliony	9 miliónů	-	30	1,46
Větrná elektrárna	30 miliónů	1,2 milionu	1,5 milionu	1,5 milionu	-	20	0,83
Bioplynová stanice	50 miliónů	3,25 milionu	4,75 milionu	-	1,5	20	1,71
Zdroj tepelné energie	Investiční náklady [Kč]	Náklady na údržbu [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Cena demontáže [Kč]	Cena paliva [Kč/kg]	Životnost [roky]	LCOH [Kč/kWh]
Malý modulární reaktor	261 miliard	-	-	-	38700	60	2,90
Bioplynová stanice	50 miliónů	3,25 milionu	4,75 milionu	-	1,5	20	1,63
Tepelné čerpadlo	8 miliónů	2 miliony	30 miliónů	-	-	20	0,85
Kotel na biomasu	250 tisíc	110 tisíc	-	-	3,76	20	1,9



Při výpočtech vyrovnaných nákladů na elektřinu a teplo byly uvažovány ideální podmínky (konstantní rychlost větru, vyšší doba slunečního svitu, vysoká účinnost). Často byly z nedostatku přesných informací ceny odhadnuty. Při výpočtu nákladů na teplo bylo počítáno s výrobou tepla v průběhu celého roku. Dále nejsou ve výpočtech zahrnuty případné dotace na jednotlivé technologie (s výjimkou malého modulárního reaktoru společnosti NuScale).

Z Tabulky 10 je zřejmé, že nejmenší náklady na elektrickou energii jsou při využití větrných elektráren. Je to zapříčiněno především nezapočítáním jakýchkoliv výměn součástí elektrárny. Naopak nejvyšší náklady jsou u malého modulárního reaktoru, kde je prozatím velmi obtížné odhadovat celkové náklady. Poměrně nízké vyrovnané náklady má FVE. Do jejích nákladů, ale není započtena cena, kterou by obec musela zaplatit za pozemek, který by chtěla využít a neměla ho ve svém vlastnictví. Největší náklady na elektřinu z již důsledně prozkoumaných možností má bioplynová stanice. Vyšší náklady jsou zapříčiněny rozdělením účinnosti na výrobu elektřiny a tepla. Bioplynová stanice je tedy ideálním řešením pro obce, které produkují biomasu jako odpadní produkt (například pila), nebo které mají k dispozici ideální pozemky pro její pěstování.

Využití MMR by z hlediska instalovaného výkonu bylo vhodné spíše pro větší města nebo případně celé regiony. Jejich tepelná energie by mohla představovat vhodný doplněk do topného systému města. Pro menší obce připadá v úvahu využití již zmíněné bioplynové stanice. Alternativním řešením by se mohlo stát velkokapacitní tepelné čerpadlo pro celou obec nebo jednotlivá menší tepelná čerpadla pro budovy a domy. Podle lokality obce by se mohlo rozhodovat o druhu čerpadla. V případě obce, ležící v blízkosti vodní plochy, by se dalo uvažovat o čerpadlu země/vodní plocha. Při zavedení čerpadla země/vodní plocha, země/voda – vrt je nutné zavedení stavebního povolení.

Kvalitním záložním zdrojem tepla by mohl být kotel na biomasu, pokud by například teplo z bioplynové stanice nestačilo pro vytápění. Kotel se nehodí pro obec, která se rozhodne pro zdroj energie nevyužívající biomasu a sama žádnou biomasu nevytváří.

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo pomoci obcím a organizacím rozhodnout se o jejich energetické koncepci. V rešerši se autor práce zabývá popsáním minulého a současného stavu energetiky v České republice. Následně jsou popsány základní typy jaderných reaktorů, avšak uvažované modulární reaktory jsou navrženy pouze pro dva typy reaktorů, PWR a BWR. Poté jsou představeny a porovnány uvažované malé modulární reaktory pro použití v České Republice a alternativní zdroje energie.

Ve druhé části práce se autor nejprve zabýval identifikací a vyhodnocením rizik pomocí kvalitativní metody KARS. Výsledkem metody je graf rozdělený do čtyř oblastí. Nejrizikovější mimořádnou událostí je dle této metody lidská chyba, která má potenciál vyvolat většinu rizik. Dalším potenciálně velmi nebezpečným rizikem je havárie letadla. Dopady těchto rizik mohou být různé, ale často vedou k vážným újmám na zdraví a ekologické havárii.

V další části se autor zabýval účastí subjektů při výstavbě a provozu jaderného zařízení v České republice. Za pomoci Matice vlivu a zájmu byly určeny role jednotlivých stran, jejich pravomoci a dopady. Z této analýzy lze vyvodit, že klíčové mezinárodní organizace jsou MAAE a NEA. Tyto organizace poskytují směrnice a normy v oblasti jaderné bezpečnosti. Na národní úrovni jsou důležitými orgány SÚJB a Ministerstvo životního prostředí. Ti mají klíčovou roli při vydávání licencí, regulaci bezpečnosti a posuzování vlivu na životní prostředí. Rozhodnutí o energetické koncepci státu jsou v kompetenci Vlády ČR a Ministerstva průmyslu a obchodu, kteří stanovují cíle v oblasti energetiky a vydávají povolení pro stavbu jaderných zdrojů.

V poslední části autor provedl srovnání zdrojů energie pomocí vyrovnaných nákladů na elektřinu a teplo. Při výpočtu nákladů byly uvažovány ideální podmínky, avšak nedostatek přesných informací o cenách a faktorech, jako je cena pozemků, může ovlivnit konečné rozhodnutí. Zjištěné náklady na elektrickou energii a teplo naznačují, že každá možnost má své výhody a nevýhody v závislosti na konkrétních podmínkách. Fotovoltaika a větrné elektrárny se jeví jako efektivní a ekonomicky přínosné možnosti, zatímco malé modulární reaktory vykazují vyšší náklady. Bioplynové stanice se ukázaly jako vhodné řešení pro obce s dostatkem biomasového materiálu, zatímco pro menší obce mohou být atraktivní tepelná čerpadla. Důležité je brát v úvahu specifika dané lokality a dostupné zdroje energie.

## Použitá literatura

- [1] BOUŠKA, Jan. *Historie energetiky* [online] [cit. 2023-10-17]. Praha: SPVEZ z.s., 2018. Dostupné z: <https://www.spvez.cz/cs/historie>
- [2] WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. *Nuclear power in Czech Republic* [online] [cit. 2023-10-17]. 2023 Dostupné z: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/czech-republic.aspx>
- [3] ČEZ, a. s. *Encyklopedie energetiky* [online] [cit. 2023-10-18]. Praha: ČEZ, a.s., 2011. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/encyklopedie-jaderna-energie-e.pdf>
- [4] LIOU, J. *What are Small Modular Reactors (SMRs)?* Vienna: IAEA, 2023. Dostupné z: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>
- [5] IAEA. *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. Edition A, Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)*. Vienna: IAEA, 2022. Dostupné z: [https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_booklet\\_2022.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_booklet_2022.pdf)
- [6] ŠEVEČEK, Martin. *Malé modulární reaktory u nás a ve světě*. Praha: O Energetice.cz, 2018. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/jaderna-elektrarny/male-modularni-reaktory-u-nas-ve-svete>
- [7] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Výroba a spotřeba elektřiny v Libereckém kraji v roce 2022*. Liberec: ČSÚ, 2023. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xl/vyroba-a-spotreba-elekriny-v-libereckem-kraji-v-roce-2022>
- [8] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR pro rok 2022* [online]. Jihlava: ERÚ, 2023. Dostupné z: <https://www.eru.cz/rocni-zprava-o-provozu-elektrizacni-soustavy-cr-pro-rok-2022>
- [9] ČEZ, a. s. *Základní typy jaderných reaktorů*. Praha: ČEZ, a.s., 2023. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/je-ve-svete/zakladni-typy-jadernych-reaktoru>
- [10] BOČKOVÁ, Kateřina, Albert OLÁH a Michal HANÁK. *Projektový management: Učebnice pro studijní program management* [online]. Dubnica nad Váhom: VŠ DTI, 2020 [cit. 2024-05-05]. ISBN 978-80-89732-94-4. Dostupné z: <https://www.dti.sk/data/files/file-1591599185-5edde0518f26b.pdf>
- [11] JOHNSON, Gary, Kevan SCHOLLES a Richard WHITTINGTON. *Exploring corporate strategy*. 8th edition. 2008. ISBN 978-0-273-71191-9.
- [12] CRDR spol. s.r.o. *Metody a způsoby hodnocení rizik na pracovišti* [online]. 2018 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: [https://www.dokumentacebozp.cz/aktuality/metody-hodnoceni-rizik-bozp/#kap\\_11](https://www.dokumentacebozp.cz/aktuality/metody-hodnoceni-rizik-bozp/#kap_11)
- [13] JELŠOVSKÁ, Katarína a Andrea PETERKOVÁ. *Řešení krizových situací - metody a jejich aplikace* [online]. Opava: VŠ SLU, 2013, 33-36 [cit. 2024-05-05]. Dostupné z: <http://projects.math.slu.cz/AM/activ/soubory/opory/ResKrizi.pdf>

- [14] ČEZ, a.s. *Nový jaderný zdroj v lokalitě Dukovany: Dokumentace vlivů záměru na životní prostředí* [online] [cit. 2024-05-05]. Praha: ČEZ, a.s., 2017. Dostupné z: <https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/2023/04/dokumentace-vlivu-noveho-jaderneho-zdroje-v-lokalite-dukovany-na-zivotni-prostredi-20230403-122151.pdf>
- [15] SÚJB. *Únik kondenzátu v JE ETE* [online]. Praha: SÚJB, 2006 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://sujb.gov.cz/aktualne/detail/unik-kondenzatu-v-je-ete>
- [16] SÚJB. *Menší únik primárního chladiva na elektrárně Krško* [online]. Praha: SÚJB, 2008 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://sujb.gov.cz/aktualne/detail/mensi-unik-primarniho-chladiva-na-elektrarne-krsko>
- [17] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Národní akční plán rozvoje jaderné energetiky v ČR (2015)* [online]. Praha: MPO, 2015 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/elektroenergetika/jaderna-energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty---narodni-akcni-plan-rozvoje-jaderne-energeticky-v-ceske-republice--166679/>
- [18] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Státní energetická koncepce* [online]. Praha: MPO, 2015 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/statni-energeticka-politika/statni-energeticka-koncepce--223620/>
- [19] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [20] AHMAD, Lujean, Navid KHORDEHGAH, Jurgita MALINAUSKAITE a Hussam JOUHARA. *Recent advances and applications of solar photovoltaics and thermal technologies* [online]. 2020 [cit. 2024-05-06]. ISSN 0360-5442. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054422031361X>
- [21] SIEMENS ENERGY. *Hydrogen Power Plants* [online]. c2024 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/hydrogen-power-plants.html#Upgrade-for-existing-plants-tab-1>
- [22] ČEZ, a. s. *O paroplynové energetice*. Praha: ČEZ, a.s., 2024. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/je-ve-svete/zakladni-typy-jadernych-reaktoru>
- [23] Obec Kněžice. *Energeticky soběstačná obec*. Kněžice: Obec Kněžice, c2010-2023. Dostupné z: <https://obec-knezice.cz/obec-knezice/energeticky-sobestacna-obec>
- [24] Jindřichovice pod Smrkem. *Větrné elektrárny*. Jindřichovice pod Smrkem, c2024. Dostupné z: <https://www.jindrichovice.cz/obec/o-obci/eco-energetika/vetrne-elektrarny/>
- [25] PAPEŽ, Karel. *Jak fungují bioplynové stanice* [online]. 2015 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/103210>

- [26] Viessmann, spol. s.r.o. *Princip fungování kotle na biomasu*. Chráštany: Viessmann, spol. s.r.o, 2024. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/technologie/peletove-kotle/fungovani-kotle-na-biomasu.html#2>
- [27] BRANKER, K., M.J.M. PATHAK a J.M. PEARCE. *A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity* [online]. 2011, 15(9), 4470-4482 [cit. 2024-05-06]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003492?via=ihub>
- [28] SCHLISSEL, David. IEEFA. *Eye-popping new cost estimates released for NuScale small modular reactor* [online]. 2023 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://ieefa.org/resources/eye-popping-new-cost-estimates-released-nuscale-small-modular-reactor>
- [29] CURTIS, Taylor, Garvin HEATH, Andy WALKER, Jal DESAI, Edward SETTLE a Cesar BARBOSA. *Best Practises at the End of the Photovoltaic system Performance Period* [online]. Golden, CO: NREL, 2021 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78678.pdf>
- [30] ČERNÝ, Jan. *Typy větrných turbín* [online]. Praha, 2023 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://oze-info.cz/typy-vetrnych-turbin/>
- [31] VOBOŘIL, David. *Větrné elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR* [online]. Třebíč, 2015 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-ekonomicky-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [32] ČSVE. *Likvidace dosloužilých větrných elektráren*. Praha: ČSVE, 2021. Dostupné z: <https://www.csve.cz/clanky/likvidace-doslouzilych-vetrnych-ekonomicky-492>
- [33] SUSANTO, H., T. SURIA, S.H. PRANOLO. *Economic analysis of biomass gasification for generating electricity in rural areas in Indonesia* [online]. Banda Aceh: IOP Science, 2018 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/334/1/012012>
- [34] ČERVENÁ, Kristýna, Barbora LYČKOVÁ a kolektiv. *Fáze procesu kompostování* [online]. Ostrava: VŠB -TU [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Bioplynova\\_stanice.html](http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Bioplynova_stanice.html)
- [35] E.ON Energie, a.s. *K čemu slouží a kolik stojí vrty pro tepelná čerpadla*. České Budějovice: E.ON Energie, a.s., 2024 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vytapeni-a-ventrni/tepelna-čerpadla/k-cemu-slouzi-a-kolik-stoji-vrty-pro-tepelna-čerpadla/>
- [36] MOLEK, Tomáš. *Bioplyn a bioplynové stanice v ČR* [online]. Třebíč, 2015 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/bioplyn-a-bioplynove-stanice-v-cr>
- [37] RUFFINO, Edoardo, Bruno PIGA, Alessandro CASASSO a Rajandrea SETHI. *Heat Pumps, Wood Biomass and Fossil Fuel Solutions in the Renovation of Buildings: A Techno-Economic Analysis Applied to Piedmont Region (NW Italy)* [online]. *Energies* 2022, 15, 2375 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/7/2375>

- [38] Viessmann, spol. s.r.o. *Jak funguje tepelné čerpadlo*. Chráštany: Viessmann, spol. s.r.o, 2024. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/typy-a-navody/jak-funguje-tepelne-cerpadlo.html>
- [39] ČEZ, a. s. *V jaderné elektrárně Dukovany vzniklo největší parkoviště s fotovoltaickou elektrárnou u nás*. Praha: ČEZ, a.s., 2021. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/v-jaderne-elektrarne-dukovany-vzniklo-nejvetsi-parkoviste-s-fotovoltaickou-elektrarnou-u-nas-146092>
- [40] ČESKO. Zákon č. 165/2012, o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů*. 2012, částka 59, číslo 165. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2012/165?zalozka=text>
- [41] ČESKO. Zákon č. 263/2016, atomový zákon. In: *Sbírka zákonů*. 2016, částka 102, číslo 263. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2016/263?zalozka=text>
- [42] ČESKO, SLOVENSKO a ČESKOSLOVENSKO. Zákon České národní rady č. 133/1985, o požární ochraně. In: *Sbírka zákonů*. 1985, částka 34, číslo 133. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/1985/133?zalozka=text>
- [43] ČESKO. Vyhláška Ministerstva vnitra č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). In: *Sbírka zákonů*. 2001, částka 95, číslo 246. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2001/246?zalozka=text>
- [44] ČESKO. Vyhláška č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb. In: *Sbírka zákonů*. 2008, částka 10, číslo 23. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2008/23?zalozka=text>
- [45] ČESKO. Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. In: *Sbírka zákonů*. 2000, částka 115, číslo 406. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2000/406?zalozka=text>
- [46] ČESKO. Zákon č. 458/2000 Sb., podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: *Sbírka zákonů*. 2000, částka 131, číslo 458. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2000/458?zalozka=text>
- [47] ČESKO. Zákon č. 283/2021 Sb., stavební zákon. In: *Sbírka zákonů*. 2021, částka 124, číslo 283. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2021/283?zalozka=text>
- [48] ČESKO. Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí). In: *Sbírka zákonů*. 2001, částka 40, číslo 100. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2001/100?zalozka=text>
- [49] ČESKO. Zákon České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. In: *Sbírka zákonů*. 1992, částka 28, číslo 114. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/1992/114?zalozka=text>
- [50] ČESKO. Vyhláška č. 21/2017 Sb., o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení. In: *Sbírka zákonů*. 2017, částka 7, číslo 21. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2017/21?zalozka=text>

- [51] ČESKO. Vyhláška č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení. In: *Sbírka zákonů*. 2017, částka 112, číslo 329. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2017/329?zalozka=text>
- [52] ČESKO. Vyhláška č. 361/2016 Sb., o zabezpečení jaderného zařízení a jaderného materiálu. In: *Sbírka zákonů*. 2016, částka 143, číslo 361. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2016/361?zalozka=text>
- [53] ČESKO. Zákon č. 218/2000 Sb., o rozpočtových pravidlech a o změně některých souvisejících zákonů (rozpočtová pravidla). In: *Sbírka zákonů*. 2000, částka 65, číslo 218. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2000/218?zalozka=text>
- [54] ČESKO. Vyhláška č. 408/2016 Sb., o požadavcích na systém řízení. In: *Sbírka zákonů*. 2016, částka 166, číslo 408. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2016/408?zalozka=text>
- [55] ČESKO. Vyhláška č. 358/2016 Sb., o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení. In: *Sbírka zákonů*. 2016, částka 143, číslo 358. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2016/358?zalozka=text>
- [56] ČESKO. Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů*. 2012, částka 69, číslo 201. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2012/201?zalozka=text>
- [57] ČESKO. Úplné znění zákona č. 64/1998 Sb., Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) - (úplné znění, jak vyplývá z pozdějších změn a doplnění). In: *Sbírka zákonů*. 1998, částka 64, číslo 197. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/1998/197?zalozka=text>
- [58] ČESKO. Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů). In: *Sbírka zákonů*. 2005, částka 66, číslo 180. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2005/180?zalozka=text>