

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

**MALÉ MODULÁRNÍ REAKTORY A JEJICH MOŽNÉ VNÍMÁNÍ
JAKO BEZPEČNOSTNÍ HROZBA**

Diplomová práce

Autor: Jan Klíma

Studijní program: Učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň ZŠ a SŠ a
ochrana obyvatelstva

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Otřísal, Ph.D., MBA

Olomouc 2023

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Jan Klíma

Název práce: Malé modulární reaktory a jejich možné vnímání jako bezpečnostní hrozba.

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Otřísal, Ph.D., MBA

Pracoviště: Katedra aplikovaných pohybových aktivit

Rok obhajoby: 2023

Abstrakt:

Tato práce kombinuje kvantitativní a kvalitativní výzkumné metody. Nejprve byla provedena důkladná rešerše literatury s cílem poskytnout základní znalosti o malých modulárních reaktorech (SMR) a jejich bezpečnostních aspektech. Následovala kvantitativní fáze s dotazníkem mezi širokou veřejností. Dotazník se zaměřil na jejich vnímání SMR jako potenciální bezpečnostní hrozby, jejich obavy a priority související s bezpečností SMR, nakládání s radioaktivním odpadem, budování SMR a možná výstavba SMR v ČR.

Zjištění jsou analyzována a interpretována za účelem identifikace klíčových faktorů ovlivňujících vnímání SMR jako bezpečnostní hrozby. Diskuse a závěry se zaměřují na možné důsledky těchto výsledků pro regulaci a veřejnou komunikaci v oblasti jaderné energetiky.

Tato práce přispívá k lepšímu pochopení vnímání SMR jako bezpečnostní hrozby a poskytuje užitečné informace pro rozhodovací procesy a veřejnou diskusi.

Klíčová slova:

Malý modulární reaktor, malý reaktor, modulární reaktor, jaderný reaktor, jaderná bezpečnost, bezpečnost SMR, SMR v České republice

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Jan Klíma

Title: Small modular reactors and their perception as a security threat

Supervisor: prof. Ing. Pavel Otřisal, Ph.D., MBA

Department: Department of Adapted Physical Activities

Year: 2023

Abstract:

This thesis combines quantitative and qualitative research methods. First, a thorough literature search was conducted to provide a basic understanding of small modular reactors (SMRs) and its safety aspects. This was followed by a quantitative phase with a questionnaire survey among the public. The questionnaire focused on their perception of SMRs as a potential safety threat, their concerns and priorities related to SMR safety, radioactive waste management, SMR construction and possible SMR construction in the country.

The findings are analyzed and interpreted to identify key factors influencing the perception of SMRs as a security threat. The discussion and conclusions of the paper focus on the possible implications of these results for nuclear energy policy, regulation, and public communication.

This thesis contributes to a better understanding of the perception of SMRs as a security threat and provides useful information for decision-making processes and public debate.

Keywords:

Small modular reactor, small reactor, modular reactor, nuclear reactor, nuclear safety, SMR safety, SMR in the Czech Republic

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Pavel Otřísal, Ph.D., MBA, uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. června 2023



.....

Děkuji panu prof. Ing. Pavlu Otřísalovi, Ph.D., MBA za jeho trpělivost, vstřícnost a vedení během celého procesu tvorby diplomové práce. Jeho konstruktivní kritika a návrhy mi pomohly rozvíjet své myšlenky a posunout práci vpřed.

OBSAH

Obsah

Obsah	7
1 Úvod	11
2 Přehled poznatků	13
2.1 Obecné vymezení dané problematiky	13
2.2 Jaderná energetika	17
2.3 Jaderné reaktory.....	18
2.4 Státní energetická koncepce České republiky	24
2.5 Národní akční plán rozvoje jaderné energetiky v České republice.....	25
2.6 Malé modulární reaktory.....	26
2.7 Bezpečnost malých modulárních reaktorů.....	28
2.8 Vnější havarijní plán JE Dukovany	34
2.9 Vnější havarijní plán JE Temelín.....	36
2.10 Základní informace pro případ radiační havárie jaderné elektrárny	37
2.11 Malé modulární reaktory v ČR.....	43
3 Cíle	62
3.1 Cíle	62
3.2 Výzkumné otázky.....	62
4 Metodika	63
4.1 Výzkumný soubor	63
4.2 Metody sběru dat	63
4.3 Statistické zpracování dat.....	64
5 Výsledky a diskuze	65
6 Návrhy a opatření k rozvoji oboru.....	103
6.1 Návrhy a opatření v oblasti rozvoje ochrany obyvatelstva	103
6.2 Návrhy a opatření v oblasti rozvoje vzdělávání v ochraně obyvatelstva.....	103
7 Závěr.....	105
8 Souhrn	107
9 Summary	108

10	Referenční seznam	109
	10.1 Seznam literatury.....	109
	10.2 Seznam obrázků	114
	10.3 Seznam tabulek.....	114
	10.4 Seznam grafů	116
11	Přílohy.....	118
	11.1 Příloha 1: Vzor dotazníku.....	118
	11.2 Příloha 2: Tabulky.....	124

Seznam použitých zkratek

BOP	Bilance konstrukce zařízení
BWR	Varný reaktor (Boiling water reactor)
CANDU	Kanadský těžkovodní reaktor (Canada deuterium uranium)
CNV	Kontejnmentová nádoba (Containment Vessel)
CNSC	Kanadská komise pro jadernou bezpečnost (Canadian Nuclear Safety Commission's)
DCIS	Distribuční řídicí a informační systém (Distributive Control and Information System)
DID	Ochrana do hloubky (Defence in depth)
DHRS	Systém odvodu tepla z rozpadu (decay heat removal systém)
ECCS	Systém havarijního chlazení aktivní zóny (Emergency core cooling systém)
ESBWR	Ekonomický zjednodušený varný reaktor (Economic Simplified Boiling Water Reactor)
GCR	Plynem chlazený reaktor (Gas cooled reactor)
HFE	Lidské faktory inženýrství (human factors engineering)
HIPS	Integrovaný systém ochrany (highly integrated protection systém)
IAEA	Mezinárodní agentura pro atomovou energii (International Atomic Energy Agency)
I&C	Přístrojové vybavení a řízení (Instrumentation and Control)
ICS	Izolační kondenzátor (isolation condenser systém)
LOCA	Nehoda s únikem chladicí kapaliny (loss of coolant accident)
LTR	Licenční zprávy (Licensing Topical Reports)
LWGR	Lehkovodní grafitový reaktor (Light water cooled graphite moderated reactor)
MELTAC	Mitsubishi Electric Total Advanced Controller
MWe	Megawatt elektrický
NRC	Komise pro jaderný dozor
NPM	Reaktor modulu NuScale (NuScale power module)
OPG	Ontario Power Generation
PCS	Pasivní systém chlazení jádra (Passive Core Cooling Systém)
PHWR	Tlakovodní těžkovodní reaktor (Pressurized water reactor)
PWR	Tlakovodní reaktor
RCS	Chladicí systém reaktoru (reactor coolant systém)

RVV Odvzdušňovací ventily reaktoru (reactor recirculation valves)
SMR Malý modulární reaktor
SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost
The U.S. NRC Jaderná regulační komise USA
VVER Ruský tlakovodní reaktor

1 ÚVOD

Malé modulární reaktory (SMR) jsou inovativní jadernou technologií s potenciálem poskytovat bezpečnou a udržitelnou energii. Na rozdíl od tradičních velkých jaderných bloků se SMR vyznačují menšími rozměry, flexibilitou a modulární konstrukcí. Zatímco nová generace reaktorů slibuje mnoho výhod, jako je snížení emisí skleníkových plynů a zvýšená energetická soběstačnost, někteří lidé mohou malé modulární reaktory vnímat jako potenciální bezpečnostní hrozbu.

Při zvažování skutečných rizik a bezpečnostních opatření spojených s provozem SMR je důležité těmto obavám porozumět. Zkušenosti a poučení z minulých jaderných havárií, jako jsou Černobyl a Fukušima, jsou důležitými zdroji znalostí pro konstrukci a bezpečnost nových reaktorů. Tato diplomová práce se zaměřuje na zkoumání potenciálu malých modulárních jaderných reaktorů, které jsou vnímány jako bezpečnostní hrozba. Je vhodné posoudit v rámci analýzy faktorů (např. design, bezpečnostní opatření a regulační rámce), zda jsou obavy z bezpečnostní hrozby opodstatněné nebo zda je možné zajistit bezpečný provoz SMR.

S rostoucími požadavky na energii a snahou o snížení emisí skleníkových plynů se hledají nové a inovativní způsoby výroby elektřiny. Malé modulární reaktory nabízejí potenciál pro účinnou, spolehlivou a udržitelnou jadernou energii. V současnosti je důležité být si vědom bezpečnostních aspektů SMR, protože jejich vývoj a nasazení může mít dopad na veřejné zdraví, životní prostředí a regionální bezpečnost. Rizika spojená s těmito technologiemi musí být pečlivě vyhodnocena a musí být zajištěny přísné regulační a kontrolní mechanismy, aby se minimalizovalo riziko nehod nebo zneužití.

Vzhledem k současnému zájmu o jadernou energii a potřebě nalézt alternativní zdroje energie, je důležité prozkoumat SMR z hlediska potenciálních bezpečnostních hrozeb a zajistit, aby jejich vývoj a provoz byl založen na pevných bezpečnostních základech. Můžeme tak využít výhod jaderné energetiky a zároveň minimalizovat rizika pro veřejnost a životní prostředí.

Je důležité mít vyvážený pohled na problematiku malých modulárních reaktorů a jejich bezpečnostních aspektů. I když se jedná o novou technologii, která nabízí mnoho výhod, je důležité provést komplexní bezpečnostní posouzení, aby bylo zajištěno, že její provoz splňuje nejvyšší bezpečnostní standardy a regulační požadavky. To je jediný

způsob, jak dosáhnout udržitelné a bezpečné budoucnosti jaderné energetiky s malými modulárními reaktory.

K SMR a zájmu k tématu jsem se dostal hlavně díky předmětu „Jaderná zařízení“, které jsem absolvoval v prvním ročníku pod vedením pana prof. Ing. Pavla Otřísala, Ph.D., MBA. Toto téma mě zajímá, protože představuje novou generaci jaderných reaktorů, které by mohly způsobit revoluci v energetickém průmyslu. Chtěl bych pochopit, jak fungují, jejich výhody a rizika spojená s jejich provozní bezpečností. S vědomím rizik spojených s jadernou energetikou bych se rád zaměřil na možné bezpečnostní hrozby spojené s používáním a přispěl k lepšímu porozumění a diskusi o bezpečnosti jaderné energetiky.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Obecné vymezení dané problematiky

Jaderná energie se stala důležitým zdrojem elektřiny pro mnoho zemí po celém světě. Hlavní výhodou jaderné energie je její vysoká hustota energie, což znamená, že může poskytnout velké množství elektřiny s relativně malým množstvím paliva. Jaderná energie také produkuje minimální množství emisí skleníkových plynů ve srovnání s fosilními palivy, což má pozitivní dopad na životní prostředí.

Jaderná energetika však přináší i určitá rizika, jako jsou havárie a otázky nakládání s jaderným odpadem. Jaderné elektrárny jsou navíc nákladné na stavbu a vyžadují rozsáhlá bezpečnostní opatření a přísnou regulaci.

K úplnému pochopení problematiky je potřeba znát i pojmy související s tímto oborem, proto jsou v této kapitole nejprve představeny základní pojmy související s danou problematikou.

Bezpečnostní hrozba

„Potenciální příčina nežádoucí události, která může mít za následek poškození systému a jeho aktiv, např. zničení, nežádoucí zpřístupnění (kompromitaci), modifikaci dat nebo nedostupnost služeb“ (Ministerstvo vnitra, 2016, p. 23-24)

Hrozba je subjekt, který svým jednáním (činností) může poškodit nebo zničit určitý chráněný majetek nebo zájmy jiného subjektu (úmyslné ohrožení). nebo jako přímá příčina poškození nebo zničení konkrétní chráněné hodnoty nebo prospěchu (neúmyslná hrozba) (Novák, 2014).

Bezpečnostní strategie České republiky (2003) naopak definuje hrozbu jako „jakýkoli fenomén, který má potenciální schopnost poškodit zájmy ČR. Hrozba může být přírodním, tedy na lidské činnosti přímo nezávislým jevem, nebo může být způsobena aktérem nadaným vůlí a úmyslem - jedincem, skupinou, organizací, státem. Bezpečnostní strategie zohledňuje hrozby plynoucí z úmyslného jednání, které může poškodit zájmy a hodnoty ČR“

Jaderná bezpečnost

Stav a schopnost jaderných zařízení a osob provozujících jaderná zařízení zabránit nekontrolovanému výskytu štěpné řetězové reakce nebo nedovolenému úniku radioaktivního materiálu nebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezit následky havárií. (Ministerstvo vnitra, 2016).

Jaderná havárie

V březnu 1990 Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE) a Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD/NEA) společně vytvořily Mezinárodní stupnici jaderných událostí (INES). Jeho hlavním účelem je usnadnit komunikaci a porozumění mezi jadernou expertní komunitou, médií a veřejností ohledně havárií v jaderných zařízeních a radioaktivních materiálů nebo incidentů souvisejících s radiací, včetně přepravy radioaktivních materiálů (SÚJB, 2016).

Škála klasifikuje události do sedmi úrovní: 1.-3. úrovně se označují jako nehody a úrovně 4-7. úrovně pro havárie. Události, které nemají žádný bezpečnostní význam jsou klasifikovány jako 0 (pod stupnicí), se označují jako odchylky. (SÚJB, 2016).

7
VELMI TĚŽKÁ HAVÁRIE
6
TĚŽKÁ HAVÁRIE
5
HAVÁRIE S RIZIKEM VNĚ ZAŘÍZENÍ
4
HAVÁRIE BEZ RIZIKA VNĚ ZAŘÍZENÍ
3
VÁŽNÁ NEHODA
2
NEHODA
1
ANOMÁLIE
0
ODCHYLKA

Obrázek 1 – Stupnice INES, zdroj: státní úřad pro jadernou bezpečnost

Vazebná energie jádra

Vazebná energie atomového jádra je energie, kterou je potřeba dodat atomovému jádru, aby se rozštěpilo na jednotlivé nukleony (protony a neutrony). Tuto energii lze také chápat jako energii uvolněnou při vzniku jádra z jeho nukleonů. Vazebná energie atomového jádra závisí na počtu protonů a neutronů v jádře. Jádra s malým počtem nukleonů (např. jádra vodíku) mají malou vazebnou energii, zatímco jádra s velkým počtem nukleonů mají velkou vazebnou energii (MEF, 2006).

Důležitou roli pro pochopení, jak neutrony a protony a jedním neutronem jsou svázány spolu v jádře, je ekvivalence hmotnosti, energie a zachování energie (Kopečný, 2000).

Kopečný (2000) ve své práci uvádí, že: „Vazebná energie jádra je důležitým parametrem jádra, ale nedává nám přímo informace o stabilitě jádra, tedy schopnost jádra odolávat rozdělení.“

Štěpná reakce

Když James Chadwick v roce 1932 bombardoval beryllium částicemi alfa, z následných výsledků objevil neutron. Jeho hmotnost je o něco větší než hmotnost protonu a jak název napovídá, jedná se o částici elektricky neutrální (Kopečný, 2000).

Ihned po objevení neutronu, začali badatelé s bombardováním nejtěžšího prvku, tedy uranu, který má atomovou hmotnost 238 (McCracken a Stott, 2019).

Otto Hahn a Fritz Strassman v roce 1938 vykonali řadu experimentů, které vedli k výsledku, že uranové jádro se po ostřelování rozštěpilo na dvě přibližně stejné části. Těmito prvky byly baryum a lanthan s atomovými čísly 139 a 140. Mimo zmíněné prvky proces uvolní další neutrony, čímž si vědci uvědomili možnost řetězové reakce, což vedlo Enrika Fermiho k postavení prvního jaderného reaktoru v roce 1943 (McCracken a Stott, 2019).

Jaderné palivo

Jaderné palivo se obvykle skládá z obohaceného uranu, který je umístěn v palivových tyčích. Tyč je utěsněná válcová nádoba, která chrání uranové palivo před kontaminací a ztrátou. Jaderné elektrárny využívají uranové palivo obohacené na asi 3 % až 5 % uran-235, který je těžší než jiné izotopy uranu a je schopen štěpení pod vlivem neutronů (Sklenka & Heraltová, 2016).

Jaderné palivo se používá v jaderných reaktorech k výrobě tepla, které se pak používá k výrobě elektřiny. Palivové tyče jsou umístěny v aktivní zóně reaktoru, kde jsou bombardovány neutrony, což způsobí uvolnění více neutronů a rozdělení uranového jádra. Při tomto procesu se uvolňuje velké množství tepla, které se využívá k ohřevu vody ve výměnících tepla, které pak pohánějí turbíny k výrobě elektřiny.

Mezi jaderné palivo patří i další materiály, jako jsou zdroje neutronů a stínící materiály, které chrání reaktor před poškozením. Vzhledem k vysoké radioaktivitě jaderného paliva jsou jeho manipulace a skladování přísně regulovány a vyžadují přísná bezpečnostní opatření (Sklenka & Heraltová, 2016).

Nakládání s vyhořelým jaderným palivem podle atomového zákona zahrnuje několik fází:

1. Sběr a zpracování: Vyhořelé jaderné palivo je vyváženo z jaderných reaktorů a přepravováno do zařízení ke zpracování a meziskladování.
2. Mezisklad: Vyhořelé jaderné palivo je dočasně skladováno v zabezpečených zařízeních, jako jsou bazény chladiwa nebo suché skladovací kontejnery. Tento stupeň slouží k dočasnému uskladnění paliva před jeho přepravou do trvalého skladu.

3. Stálé skladování: Vyhořelé jaderné palivo je přepravováno do zařízení trvalého skladování, které je navrženo tak, aby poskytovalo dlouhodobou bezpečnost a ochranu před únikem radioaktivního materiálu do životního prostředí. Česká republika plánuje výstavbu hlubinného úložiště jaderného odpadu.
4. Likvidace: Nakonec je vyhořelé jaderné palivo po dlouhodobém skladování ponecháno v úložištích, kde jeho radioaktivita časem klesá na přijatelnou úroveň (zákon č. 263/2016 Sb. atomový zákon - znění od 01.02.2022).

Palivový cyklus

Označuje koloběh paliva v procesu výroby elektrické energie. V kontextu projektování palivových vsázek je palivovým cyklem označována celková doba pobyt v reaktoru. Podle typu činnosti se palivový cyklus rozděluje na přední (těžba a výroba jaderného paliva), střední (pobyt paliva v JE) a zadní část (nakládání s vyhořelým palivem od okamžiku vyvezení z reaktoru) (Sklenka & Heraltová, 2016).

Palivový cyklus se obvykle používá k popisu procesů souvisejících s výrobou a spotřebou paliva v jaderných reaktorech. Tento cyklus se skládá z několika kroků, které jsou:

1. Těžba uranové rudy - uranová ruda se těží v podobě oxidů, které se následně chemicky upravují.
2. Obohacování uranu - uran-238 musí být oddělen od uranu-235, který je nutný pro štěpnou reakci v jaderném reaktoru. Tento proces se obvykle provádí pomocí centrifugace.
3. Výroba palivových tablet - obohacený uran se převede do formy tablet, které jsou umístěny do palivových tyčí.
4. Palivové tyče - tablety se umísťují do tenkých trubek z kovu, obvykle ze zirkonia, které jsou hermeticky uzavřeny.
5. Jaderný reaktor - palivové tyče se umístí do jaderného reaktoru, kde dochází ke štěpení jader uranu-235 a uvolňování energie.
6. Odpařování - teplo z jaderné reakce se používá k ohřevu vody v primárním okruhu, která se poté odpařuje a pohání turbíny.
7. Uložení vypáleného paliva - po vyhoření paliva se palivové tyče odstraňují z reaktoru a umísťují se do vodou chlazených bazénů, kde se uchovávají, dokud nejsou připraveny na konečné uložení (World Nuclear Association, 2016).

Reaktivita

Reaktivita měří, jak rychle se mění výkon jaderného reaktoru při změně vstupních podmínek. V jaderných reaktorech se reaktivita obecně řídí počtem neutronů, které mohou interagovat s palivovým jádrem.

Řízení reaktivity je klíčem k bezpečnému a efektivnímu provozu jaderných reaktorů. Řídicí tyče, které se obvykle používají pro řízení reaktivity, mohou být vysouvány do aktivní zóny reaktoru a ven z ní pro regulaci počtu neutronů dostupných pro štěpení jádra paliva (The U.S. NRC, 2021).

Kladný přírůstek reaktivity znamená posun k nadkritičnosti (zvýšení výkonu). Záporný přírůstek reaktivity znamená posun směrem k podkritičnosti (pokles výkonu) (The U.S. NRC, 2021).

Kritičnost

Normální provozní stav reaktoru, kdy jaderné palivo udržuje štěpnou řetězovou reakci. Reaktor dosahuje kritičnosti (a říká se, že je kritický), když se při každém štěpení uvolní dostatečný počet neutronů, aby se udržela probíhající série reakcí (The U.S. NRC, 2021).

Rozkladné teplo

Teplo vznikající při rozpadu radioaktivních štěpných produktů po odstavení reaktoru (The U.S. NRC, 2021).

Rozkladné teplo a může být velmi intenzivní, zejména v prvních hodinách a dnech po vypnutí reaktoru. Proto je velmi důležité zajistit dostatečné chlazení jaderného paliva i po vypnutí reaktoru, aby nedošlo k přehřátí paliva a jeho poškození. Rozkladné teplo je jedním z faktorů, které musí být zohledněny při plánování havarijních opatření v jaderných elektrárnách (Nuclear Power for Everybody, 2023).

2.2 Jaderná energetika

„Energie se vyskytuje v mnoha různých formách, včetně elektřiny, světla, tepla. Chemická energie či energie pohybové (neboli kinetické).“ (McCracken & Stott, 2019, p. 31)

Jaderná energie je nejúčinnějším a nejsilnějším zdrojem energie, který je mocnou hnací silou rozvoje jaderné energetiky. V jaderných elektrárnách se využívají jaderné reaktory, které uvolňují energii v podobě tepla, které se dále využívá k výrobě elektřiny. Jaderná energie má

několik výhod, mezi něž patří vysoká hustota energie a zároveň se jedná o nízkoemisní a nízkouhlíkový zdroj, který poskytuje možnost zpomalit změnu klimatu způsobenou globálním oteplováním (Ďurďovič et al., 2022).

2.3 Jaderné reaktory

Jaderné reaktory obvykle kategorizujeme podle vývojové „generace“. V současné době máme generaci I, II, III, III+ a IV. Klíčové atributy charakterizující vývoj a rozmístění jaderných reaktorů ukazují zásadní rozdíl mezi různými generacemi reaktorů. Stávající koncepty reaktorů jsou rozděleny podle šesti klíčových parametrů (Goldberg & Rosner, 2011).

1. Efektivita nákladů

Z pohledu zákazníka jaderna kilowatthodina je kromě nákladů k nerozeznání od energie z obnovitelných zdrojů nebo energie spalující fosilní palivo. Jaderná energie proto musí být ekonomicky konkurenceschopná. Energie z fosilních paliv, dnes stanovují tržní hodnotu energie a pravděpodobně v tom bude pokračovat během příštího desetiletí. Jaká politiky nebo iniciativa mohou způsobit jadernou energii konkurenceschopnější se současnými cenami fosilních paliv (Goldberg & Rosner, 2011).

2. Bezpečnost

Jaderné systémy zahrnují pasivní konstrukční prvky k zajištění bezpečného provozu jaderných reaktorů oproti aktivním bezpečnostním systémům vyžadující zásah lidské činnosti. Toto je způsobeno řadou technických důvodů a důvodů veřejné politiky, včetně kvantitativní snížení rizika havárie (Goldberg & Rosner, 2011).

3. Zabezpečení

Systémy jaderné energetiky musí mít minimalizovaná rizika krádeže jaderných materiálů a cílů teroristických útoků. Designy konstrukce musí také minimalizovat rizika státem sponzorovaných šíření a výrobu jaderných zbraní. Obavy z technologií dvojího užití (tj. technologie, které byly původně vyvinuty pro armádu nebo jiné účely a jsou nyní v komerčním využití) tuto hrozbu zesilují (Goldberg & Rosner, 2011).

4. Rozvodná síť

Schopnosti místních i národních přenosových sítí musí odpovídat elektrickému výkonu navrhovaného reaktoru, který bude dodávat energii do sítě (Goldberg & Rosner, 2011).

5. Komerzializace

Historicky byl přesun energetických zdrojů k alternativním zdrojům spíše evolučním procesem než náhlým, radikálním přechodem. Pokusy o „posouvání limitů“ vynucováním příkazů obvykle nejsou ekonomicky životaschopné. Investoři například do značné míry nejsou ochotni nést finanční náklady spojené se zaváděním alternativních technologií do stávající architektury. Plány komercializace by proto měly zahrnovat spolehlivý harmonogram zavádění. Vzhledem k současné potřebě připravenosti na budoucnost (zejména v nově vznikajících technologických velmocích, jako je Čína, Indie a Jižní Korea), stojí za zvážení pouze technologie, které již byly testovány na trhu nebo se blíží komerčnímu využití (Goldberg & Rosner, 2011).

6. Palivový cyklus

Podrobnosti o palivovém cyklu daného reaktoru jsou kritickými prvky při určování úrovně rizik pro jadernou bezpečnost, zabezpečení a jistotu (Goldberg & Rosner, 2011).

2.3.1 Historie jaderných reaktorů

- **Jaderné reaktory I. generace**

Do této generační třídy řadíme reaktory, které byly vytvořeny v rozmezí let 1950-1960. Jedná se například o československou první jadernou elektrárnu A1 vybudovanou v Jaslovských Bohunicích na Slovensku. Posledním reaktorem této generace byl 1. blok jaderné elektrárny Wylfa ve Velké Británii, který byl roku 2015 odstaven (skupina ČEZ, 2023).

- **Jaderné reaktory II. generace**

Projektování a následné budování jaderných elektráren s reaktory II. generace byla zahájena v sedmdesátých letech minulého století. V současnosti mají tyto reaktory největší podíl na výrobě elektrické energie v jaderných elektrárnách. Přes polovinu reaktorů II. generace tvoří reaktory tlakovodní (PWR), které se ruský označují jako VVER. Právě tyto reaktory byly budované

a provozované v Československu. Reaktory II. mají oproti generaci první výrazně vyšší úroveň hlavně co se bezpečnosti týče (skupina ČEZ, 2023).

- **Jaderné reaktory III. generace**

Dalším evolučním stupněm v oblasti vývoje jsou reaktory III. generace. Hlavními rozdíly oproti reaktorům II. generace je použití standardizovaných projektů, zkracujících dobu schvalování a také dobu výstavby. Dále zlepšení ekonomiky provozu prodloužením doby provozu mezi odstávkami, zvýšení hodnoty vyhoření jaderného paliva a v souvislosti se standardizovaným projektem i snížení investičních nákladů. Významné je také zlepšení celkové bezpečnosti elektrárny (zvládnutí vícenásobných poruch a těžkých havárií a také zlepšení odolnosti vůči vnějším vlivům) (skupina ČEZ, 2023).

- **Jaderné reaktory III. + generace**

Nejlepší dostupnou technologii v oblasti jaderných elektráren. To je další generace jaderných reaktorů, která vychází z III. generace. Tato generace zahrnuje vyšší odolnost proti vnějším vlivům, protože jsou v projektech zpracovány závěry z analýz havárie jaderné elektrárny ve Fukušimě. Jmenovitě se jedná o vyšší autonomie, vícenásobných poruch i těžkých havárií a také možnost využití mobilních prostředků pro plnění bezpečnostních funkcí (skupina ČEZ, 2023).

- **Jaderné reaktory IV. Generace**

Projekty GENERACE IV byly vypracovány v rámci několika různých koncepcí. Především se jedná o první demonstrační reaktory s rychlými neutrony a uzavřeným palivovým cyklem, které umožňují efektivnější využití jaderného paliva a zároveň snižují množství radioaktivního odpadu. V závislosti na vývoji se odhaduje, že první pilotní zařízení této generace budou v provozu mezi lety 2030 a 2040 a komerční nasazení po roce 2050 (skupina ČEZ, 2023).

Klíčové atributy charakterizující vývoj a rozmístění jaderných reaktorů ukazují zásadní rozdíl mezi různými generacemi reaktorů. Stávající koncepty reaktorů jsou rozděleny podle šesti klíčových parametrů (Goldberg & Rosner, 2011).

Ke dni 11.4.2023 byly podle webu PRIS (2023) v provozu 422 energetických reaktorů, nejvíce z nich je tlakovodních (304). Druhou nejrozšířenější technologií energetických reaktorů jsou reaktory varné BWR (48), následně jsou reaktory těžkovodní PHWR (47), vodou chlazené

reaktory LWGR (11) a plynem chlazené grafitové reaktory GCR (8), předposlední jsou rychlé množivé reaktory FBR (3) a poslední reaktor je vysokoteplotní plynem chlazený reaktor HTGR.

Typ reaktoru	Popisný název typu reaktoru	Počet reaktorů
PWR	Tlakovodní reaktor	307
BWR	Varný reaktor chlazený a moderovaný lehkou vodou	60
PHWR	Tlakovodní těžkovodní reaktor	48
RMBK (LWGR)	Lehkovodní grafitový reaktor	11
GCR	Plynem chlazený reaktor	8
FBR	Rychlý množivý reaktor	3
HTGR	Vysokoteplotní plynem chlazený reaktor	1
Celkem		422

Tabulka 1– Aktuálně provozované reaktory ve světě, zdroj: PRIS In operation & suspended operation reactor

2.3.2 Tlakovodní reaktor (PWR)

Tlakovodní reaktory jsou nejběžnějším typem tepelných reaktorů, které jsou v současnosti v provozu. Moderátorem a chladičem je lehká voda udržovaná pod vysokým tlakem pro lepší přenos tepla. Z hlediska designu se rozlišují dvě základní koncepce. Západní reaktory PWR se čtvercovou mříží a východní reaktory PWR s trojúhelníkovou mříží, známé jako VVER (Sklenka & Heraltová, 2016).

Aktivní zóna reaktoru PWR je naplněna vodou pod tlakem 150 atmosfér, což umožňuje, aby voda dosáhla teploty 325 °C bez varu. Primární chladivo nepohání parní turbínu. Místo toho se teplo z primárního vodního chladicího systému zachycuje ve výměníku tepla a předává se vodě v sekundárním systému. Voda v tomto druhém systému se nechá vařit a vytváří páru pro pohon turbíny. Použití druhého vodního cyklu přináší energetické ztráty, které snižují účinnost PWR při přeměně energie z jaderné reakce na elektřinu (Breeze, 2019).

Tlakovodní reaktory jsou jedinou technologií, která se v současné době v České republice používá a nelze očekávat, že se to po zavedení reaktorů IV. generace změní. Dokonce i možné malé modulární reaktory v naší zemi budou pravděpodobně založeny na technologii tlakové vody (Sklenka & Heraltová, 2016).

2.3.3 Varné reaktory (BWR)

Stejně jako tlakovodní reaktory patří i varné reaktory do kategorie lehkovodních reaktorů, které používají H₂O jako chladivo a moderátor. Od tlakovodních reaktorů se liší právě tím, že voda se vaří v reaktorové nádobě za vzniku páry (Sklenka & Heraltová, 2016). V aktivní zóně reaktoru se voda nechá vařit pod tlakem 75 atmosfér, čímž se zvýší bod varu na 285 °C, a vzniklá pára se používá přímo k pohonu parní turbíny. Tato pára se pak kondenzuje a recykluje zpět do aktivní zóny reaktoru. Protože je pára vystavena aktivní zóně, dochází k určitému radioaktivnímu zamoření turbín, které je však krátkodobé a k turbínám je obvykle možné se dostat brzy po odstavení (Breeze, 2019).

BWR představuje pravděpodobně nejjednodušší možnou konfiguraci jaderného reaktoru, protože nejsou zapotřebí žádné další výměníky tepla ani parogenerátory. Vnitřní systémy reaktoru BWR jsou však složité. Tlak a teplota páry jsou ve srovnání s moderní uhelnou elektrárnou nízké a parní turbína je obecně velmi velká. Výkony BWR dosahují až 1400 MW a účinnost je přibližně 33 % (Breeze, 2019).

2.3.4 Těžkovodní reaktory (PHWR; CANDU)

Jedná se o reaktor, který využívá přírodní uran jako jaderné palivo a těžkou vodu jako chladivo a moderátor (Těžká voda má výborné moderační vlastnosti a neutrony pohlcuje jen velmi slabě. Těžká voda a grafit jsou jedinými moderátory, které umožňují za specifických podmínek použít přírodní směsi izotopů uranu jako jaderné palivo) Aktivní plocha reaktoru CANDU je umístěna v horizontální nerezové nádrži (válci) naplněné těžkou vodou. Vnější povrch nádrže je obehnán betonovou vodotěsnou konstrukcí, která obsahuje vodu a vlastně představuje tepelnou ochranu a biologickou ochranu. Vodorovně rozmístěné pracovní kanály jsou tvořeny palivovými kazetami, které se za provozu reaktoru vyměňují vkládáním nových palivových kazet z jedné strany kanálu a vysouváním kazet vyhořelého paliva z druhé strany. Chladivo protéká kanály, předává své teplo v parogenerátoru pracovní látce (obvyčejné vodě) sekundárního okruhu a vrací se zpět do reaktoru. Moderátor je umístěn v mezikanálovém prostoru (Sklenka & Heraltová, 2016).

Tento typ reaktoru je fyzikálně velmi stabilní a bezpečný. Byl vlastně navržen pro podmínky v Kanadě, která má velké zásoby uranu a dostatečnou kapacitu na výrobu těžké vody. Kanada však svou reaktorovou technologii „vyvezla“ i do zahraničí, například do Rumunska, kde

v prosinci 1996 vstoupila do komerčního provozu první z pěti JE Cernavoda (neboli Černa Voda). Mezi další země s různými úpravami takových reaktorů patří Indie, Jižní Korea a Argentina (Sklenka & Heraltová, 2016).

2.3.5 Reaktory RBMK (LWGR)

Reaktory s grafitovým kanálem RBMK představují pouze malý zlomek reaktorů v provozu. Tyto reaktory, stejně jako reaktory CANDU, jsou zcela odlišné od tlakovodních a varných reaktorů. Koncepce reaktoru vznikla na základě zkušeností s provozem vojenských grafitových reaktorů na výrobu plutonia. Byly vyvinuty tři výkonové verze těchto reaktorů, a to 11MW, 1000MW a 1500MW. Kanálový reaktor RBMK-1000 využívá jako moderátor grafit a jako chladivo lehkou vodu. Reaktory RBMK využívají kontinuální palivový cyklus, který umožňuje dlouhodobý provoz reaktoru bez odstavení reaktoru. U RBMK lze jednotlivé palivové kanály postupně odpojovat od chladicího systému a palivo je možné za provozu vyměňovat pomocí vyhrazeného nakladače (Sklenka & Heraltová, 2016).

2.3.6 Plynem chlazené reaktory

Plynem chlazené reaktory GCR dominovaly první generaci energetických reaktorů a také hrály důležitou roli ve druhé generaci energetických reaktorů, které v současnosti představují méně než 2 % počtu reaktorů v provozu. První generaci plynem chlazených reaktorů tvořily především britské magnoxové reaktory a do této skupiny patřil i první prototyp jaderné elektrárny A1 v Československu. Ty reaktory byly dnes odstaveny. Britský magnoxový reaktor byl v novém plynem chlazeném reaktoru (AGR) vylepšen. Tyto reaktory chlazené plynem CO₂ a moderované grafitem, jako jsou reaktory CANDU a RBMK, využívají kontinuální palivový cyklus (Sklenka & Heraltová, 2016).

2.3.7 Rychlý množivý reaktor (FBR)

Rychlý množivý reaktor (RMR) je jaderný reaktor schopný produkovat více paliva, než spotřebuje, a přitom stále efektivně využívat jadernou energii. RMR využívá techniku zvanou štěpné násobení, která umožňuje vytvoření dalšího štěpného materiálu při štěpení jaderného paliva. FBR může používat různé druhy paliva, jako je plutonium, vysoce obohacený uran nebo dokonce thorium. Vzhledem k tomu, že FBR vyrobí více paliva, než spotřebuje, jde o velmi zajímavou technologii z hlediska energetické soběstačnosti a snížení jaderného odpadu (Sklenka & Heraltová, 2016).

Rychlé množivé reaktory mají potenciál přinést mnoho výhod, ale také představují určitá rizika a technické výzvy, které je třeba vzít v úvahu. Bezpečnost, kontrola štěpení a nakládání s jaderným odpadem jsou jen některé z klíčových oblastí, které vyžadují další výzkum a vývoj, než budou rychlé množivé reaktory rozsáhlejší (Sklenka & Heraltová, 2016).

2.3.8 Vysokoteplotní plynem chlazený reaktor (HTGR)

Plynem chlazený vysokoteplotní reaktor (HTDR) je typ jaderného reaktoru, který využívá plynné chladivo k odvodu tepla z aktivní zóny reaktoru. Tento typ reaktoru je navržen tak, aby dosahoval velmi vysokých teplot v aktivní zóně typicky přes 700°C až 1000°C. Tyto vysoké teploty umožňují efektivní využití tepla k výrobě elektřiny pomocí vysoce účinného tepelného cyklu, jako je cyklus plynové turbíny. Navíc díky svým vysokým teplotám může HTGR fungovat jako zdroj tepla v průmyslových procesech, včetně chemických reakcí a výroby vodíku (Sklenka & Heraltová, 2016).

2.4 Státní energetická koncepce České republiky

Jaderné elektrárny dodávají přes 33 % celkového objemu elektrické energie. V důsledku toho se jaderné zdroje často budují mimo obydlené oblasti a produkují elektrickou energii v základním zatížení. Pravidelný špičkový provoz, technicky možný a také využívaný některými zeměmi (Německo, Francie), z ekonomického hlediska není smysluplný. Výhodou provozu v základním zatížení jsou nízké variabilní náklady a relativně malý rozdíl v cenách elektřiny mezi špičkovým a základním pásmem. Dlouhá životnost, vysoká míra využití, spolehlivý, levný a předvídatelný provoz jsou typické vlastnosti jaderných zdrojů. Důležitou strategickou výhodou je vysoká koncentrace paliva, která umožňuje, na rozdíl od ostatních zdrojů elektrické energie, budovat strategickou rezervu paliva na několik let dopředu. Výkon, výše počáteční investice a zejména dlouhá doba provozu jaderné elektrárny je předem určena pro velké a dlouhodobé investice (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015).

Jaderné zdroje jsou vysoce investičně náročné, a proto nejcitlivější na stabilitu politického a ekonomického prostředí, ke kterému koncepce národní energetiky směřuje. Oblast je velmi citlivá i z hlediska mezinárodních vztahů. V časovém horizontu Národní energetické koncepce je aktuální dostavba dalších jaderných bloků přibližně s výrobou 20 TWh do roku 2035 v závislosti na projekcích rovnováhy mezi výrobou a spotřebou. Prodloužení životnosti JE Dukovany a jejich současných čtyř bloků (na 50-60 let) a možnost následné výstavby dalšího bloku v rámci odstavení JE Dukovany. V dlouhodobém horizontu by jaderná energie mohla přesáhnout 50

% výroby elektřiny a nahradit významnou část uhelných zdrojů. Část tepelné energie vyrobené z jaderného zdroje by přitom mohla být využívána k vytápění větších mytských celků. Aby bylo možné pokračovat ve využívání jaderné energie v dlouhodobém horizontu, je nutné uvažovat o budoucích areálech jaderných elektráren po roce 2040 a podle potřeby je připravit (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015).

2.5 Národní akční plán rozvoje jaderné energetiky v České republice

Při výpadku dodávek elektrické energie z vnějších zdrojů je z hlediska bezpečnosti jaderná energie zásadním prvkem. Bezpečnostní podmínkou pro chod elektrárny je udržení dostatečných strategických zásob uranového koncentrátu a je důležité zabezpečit separační obohacení a bezpečnost výrobního procesu. Pro rozsah předpokládaného využití jaderné energetiky a její dlouhodobý podíl energie je vhodné zajistit výrobní proces na území ČR, případně ve střední Evropě v rámci mnohostranných mezinárodních dohod. Podle rozvoje světového trhu s uranem, se budou zásoby uranového koncentrátu vyrábět v rozmezí spotřeby 4 a více let. V případě konverzních a obohacovacích prací se očekává, že budou poskytovány v rámci mezinárodních dohod, které zaručují jeho dlouhodobou dostupnost. Za těchto předpokladů je jaderná energetika z hlediska bezpečnosti tím nejvíce bezpečným zdrojem, a to i v porovnání s obnovitelnými zdroji energie, která může kolísat v důsledku přírodních změn (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015).

Z pohledu státu je jaderná bezpečnost nejvíce prioritní z celého jaderného cyklu. Zajištění jaderné bezpečnosti je povinností všech subjektů, vlád, vlastníků/provozovatelů jaderné elektrárny, regulace jaderné bezpečnosti, dodavatelé jaderných technologií a zařízení a další organizace a musí být prováděna ve všech částech programu rozvoje jaderného energetického průmyslu. Požadavky na jadernou bezpečnost jsou definovány MAAE a Agenturou pro jadernou energii (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015).

Roli vlády v jaderné energetice zastupuje Ministerstvo průmyslu a obchodu MPO. Má také zodpovědnost za nakládání s radioaktivními odpady, které zajišťuje Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO). Dále dohlíží nad společností DIAMO s.p., která mimo jiné těží uran a zajišťuje nápravná opatření po rané těžbě, popř. zprostředkovává mezinárodní spolupráce v oblasti jaderné energetiky (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015).

2.6 Malé modulární reaktory

Malé a střední nebo modulární reaktory jsou možností, jak naplnit potřebu flexibilní výroby energie pro širší škálu uživatelů a jejich využití. Malé modulární reaktory, které jsou buď samostatné, nebo jako součást více modulové elektrárny, nabízejí možnost kombinovat jadernou energii s alternativními zdroji energie, včetně obnovitelných zdrojů (IAEA, nedatováno).

SMR by mohly významně přispět k dosažení globálních cílů v oblasti klimatu a bezpečnosti dodávek energie. Avšak vzhledem k tomu, že v 18 zemích se vyvíjí více než 70 návrhů SMR – včetně inovativních reaktorů, které mají být ještě licencovány, a nových metod modulu modulární výroby, které jsou v jaderném průmyslu nové – zůstává široce nasazení SMR v čase k řešení změny klimatu velkým úkolem (IAEA, nedatováno).

Vývoj malých modulárních reaktorů je ve světě velmi dynamická. Neustále se objevují nové koncepty reaktorů a často se mění koncepty těch nových. (Sklenka, 2014).

Ve světě se nejčastěji jako označení pro malé nebo modulární reaktory používá členění Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA – International States Department Agency). Podle této klasifikace můžeme rozdělit reaktory do třech skupin podle výkonu. Reaktory, které mají elektrický výkon pod 300 MWe řadíme mezi malé reaktory, mezi střední reaktory patří reaktory s výkonem mezi 300 a 700 MWe (včetně) a reaktory s výkonem nad 700 MWe již patří do skupiny velkého výkonu (Sklenka, 2014). Naproti tomu Ministerstvo energetiky USA (DOE) uvádí, že více než elektrický výkon může být důležitější tepelný výkon, protože malé reaktory jsou často zvažovány pro dodávky tepla nebo odsolování slané vody. Definice dolní hranice je ještě méně přesná. Reaktory s elektrickým výkonem nižším než 10 MWe se nazývají minireaktory nebo mikroreaktory (Ďurďovič et al., 2022).

2.6.1 Historie

Historie SMR sahá až do 50. let 20. století, kdy byly vyvíjeny první malé jaderné reaktory pro výrobu elektřiny. V roce 1954 byla ve Spojených státech spuštěna první jaderná elektrárna s SMR nazvaná "Shippingport Atomic Power Station". Tento reaktor byl navržen pro výrobu elektřiny a byl prvním komerčním jaderným reaktorem na světě (IAEA, nedatováno).

V 60. a 70. letech byla výroba SMR zintenzivněna a v roce 1978 byl spuštěn první jaderný reaktor typu SMR v Japonsku. Tento reaktor, známý jako "Fugen", byl provozován až do roku 2003 a sloužil k výzkumu a výrobě plutonia pro japonský jaderný program (JAEA, nedatováno).

V průběhu svého provozu se reaktor Fugen stal cenným zdrojem vědeckých dat a umožnil japonským vědcům zkoumat mnoho různých aspektů malých modulárních reaktorů, včetně bezpečnostních funkcí a možností využití jaderné energie pro výrobu elektrické energie a tepla. Po ukončení provozu reaktoru byl Fugen postupně odstavován a jeho palivové tyče byly vyřazeny z provozu (IEAE, nedatováno).

V roce 2000 začala společnost Toshiba vyvíjet nový typ SMR nazvaný "4S" (Super-Safe, Small and Simple), který byl navržen pro výrobu elektřiny a tepla pro malé komunity a odlehlé oblasti. Tento reaktor měl být instalován pod zemí a měl být plně automatický a bezpečný (CRIEPI, 2013).

Toshiba 4S je navržen tak, aby byl plně automatický a měl minimální požadavky na obsluhu. Reaktor byl také vybaven bezpečnostními funkcemi, jako je například automatické vypnutí v případě nouze a schopnost udržovat bezpečnou teplotu i v případě selhání systému chlazení (CRIEPI, 2013).

Od té doby se vývoj SMR rozvinul a mnoho zemí, včetně Spojených států, Kanady a Velké Británie, se zabývá výzkumem a vývojem nových typů SMR pro budoucí využití. Tyto reaktory se vyznačují nižšími náklady na výstavbu a provoz a mohou být snadno přenášeny na různá místa podle potřeby.

2.6.2 Výroba a přeprava

Malé rozměry komponent a systémů SMR umožňují vyšší stupeň modularity konstrukce, zatímco ve velkých jaderných elektrárnách je několik subsystémů neoddělitelných od sebe a jejich velké rozměry je nutí stavět na místě, menší fyzické rozměry SMR umožňují větší míru modularity, tedy více systémů vyrobit v továrně a následně je přepravit na místo. Modularizace vyžaduje větší úsilí při řízení projektu a složitější přepravu modulů. Pro stanovení harmonogramů a zajištění synchronizace dodávek je nutná přesná komunikace a spolupráce mezi dodavateli a zhotoviteli. Pokud lze tuto dodatečnou zátěž vyvážit zjednodušením uspořádáním a návrhu elektrárny, aby bylo možné modularizaci realizovat a usnadnit, může být modularizace skutečným přínosem z hlediska nákladů a času (Ďurdovič et al., 2022).

V případě mikromodulárních reaktorů by bylo ideální realizovat kontejnerové řešení, kdy se již otestovaný reaktor vloží do kontejneru společně s chladícím okruhem a energetickým zařízením, stačilo by jej pouze připojit k připravenému vstupu a díky palivu, které je do reaktoru vloženo již z továrny, může reaktor být provozován nepřetržitě po několik let. Po spotřebování

paliva bude kontejner odvezen zpět do výrobního závodu, kde proběhne výměna paliva a generální oprava reaktoru (Đurdovič et al., 2022).

2.6.3 Doba výstavby SMR

Doba výstavby malých modulárních reaktorů (SMR) se může lišit v závislosti na konkrétním typu reaktoru, jeho velikosti, účelu a mnoha dalších faktorech. Nicméně většina SMR je navržena tak, aby mohla být rychleji postavena než klasické velké jaderné elektrárny.

2.6.4 Ekonomika a financování SMR

Jaderný průmysl běžně shlukuje náklady životního cyklu JE jako: kapitálové náklady, náklady na provoz a údržbu, palivo a vyřazení z provozu. vyřazení. K výpočtu nákladů lze použít dvě obecné techniky odhadu nákladů shora dolů a zdola nahoru. První z nich spojuje různé náklady a eskalační koeficienty. Pokud jde o elektrárenský průmysl, jsou těmito faktory velikost, technologie, umístění atd. Při analýze zdola nahoru se určují množství a jednotkové náklady. Konečné náklady jsou jejich součtem. Nejdůležitějším ukazatelem jsou vyrovnané náklady na elektřinu vyrobenou v elektrárně. Tento ukazatel, se obvykle označuje jako "vyrovnané jednotkové náklady na elektřinu" (LUEC) a zohledňuje všechny náklady životního cyklu elektřiny a je vyjádřen v energetické měně, obvykle [$\$/KWh$] (Locatelli, Bingham, & Mancini, 2014).

Využívání jaderné energie obecně je přímo konkurenceschopné s ostatními technologiemi (uhelné elektrárny, plynové elektrárny, elektrárny na obnovitelné zdroje různých typů) v Brazílii, Japonsku, Korejské republice, Ruské federaci a Spojených státech, nikoli však v Číně. SMR, včetně dvoublokových a vícemodulových elektráren, mají obecně vyšší LUEC, než JE s velkými reaktory. Jak ukazují Locatelli a Mancini (2010), podobně jako u velkých JE se očekává, že některé SMR budou konkurenceschopné vůči několika projektům uhelných, plynových a obnovitelných elektráren různých typů, včetně těch s malým až středním výkonem (pod 700 MWe).

2.7 Bezpečnost malých modulárních reaktorů

Použití SMR v blízkosti hustě obydlených oblastí může přinést několik výhod, jako je menší ztráta energie při přenosu energie a snížená závislost na velkých přenosových sítích. Kromě toho může být SMR vhodný pro odlehlejší oblasti, kde je obtížné nebo nákladné se připojit k přenosové síti.

SMR může přinést několik výhod, pokud jde o ochranu obyvatelstva v takto charakteristických oblastech. Například na možné nehody lze reagovat rychleji a efektivněji díky menší velikosti a snadnějšímu sledování. Kromě toho mohou být SMR navrženy tak, aby vydržely přírodní katastrofy.

Je však třeba připomenout, že SMR je stále jaderným reaktorem, a proto má potenciál k nebezpečným haváriím. Proto je důležité zajistit bezpečnostní opatření a řádné proškolení zaměstnanců. Zároveň je nutné zvážit ekonomické a regulační aspekty, které mohou ovlivnit rozhodnutí o použití SMR v konkrétní oblasti.

Podle Sklenky (2014) se bezpečnost SMR srovnává s III. Generací reaktorů „Bezpečnost a technické parametry malých a modulárních reaktorů jsou většinou srovnatelné s reaktory generace III a III+, mnohé z konceptu malých reaktorů mají progresivní integrální provedení, které může výrazně posunout bezpečnostní parametry těchto reaktorů.

Autoři Ďurdovič et al.,(2022) ale uvádí, že „SMR jsou často založeny na nových pasivně bezpečných konceptech reaktorů IV. Generace a SMR, které vycházejí prostého zmenšení stávajících velkých reaktorů, mají přepracované a zdokonalené systémy pasivní ochrany.“

Koncepce hloubkové obrany byla vyvinuta z původní myšlenky umístit více bariér mezi radioaktivní materiály a okolí. prostředí. V současné době tato koncepce zahrnuje obecnější strukturu více fyzických bariér a doplňkových prostředků k ochraně bariér samotných, takzvaných úrovní obrany. Zajišťuje vysokou úroveň bezpečnosti spolehlivě dosažena s dostatečnou rezervou pro kompenzaci vybavení. selhání a lidské chyby (International Atomic Energy Agency, 2015).

2.7.1 Aplikace ochrany do hloubky

Podle zákona č. 263/2016 Sb. ochranou do hloubky (DiD) se rozumí způsob ochrany založený na několika nezávislých úrovních stupňovitě bránících vzniku možnosti ozáření pracovníků a obyvatelstva, šíření ionizujícího záření a úniku radioaktivních látek do životního prostředí (§ 43 písm. c) zákona č. 263/2016 Sb. atomový zákon - znění od 01.02.2022).

Princip ochrany do hloubky je takový, že pokud některá úroveň selže, na jeho místo nastoupí úroveň vyšší. To však neznamená, že situace uvažované v dané úrovni DiD jsou systematicky způsobeny poruchami a chybami na předchozí úrovni. Byly stanoveny různé úrovně DiD, aby pokryly různé situace, které je třeba vzít v úvahu při projektování a provozu jaderných elektráren. Tento přístup má poskytnout robustní způsob implementace základních

funkcí zabezpečení jako je funkce řízení reaktivity, funkce odvádění zbytkového tepla z aktivní zóny, omezení úniku radioaktivních látek atd...

U nové generace jaderných elektráren by měla být „superprojektová“ situace zahrnuta přímo do projektu a podle možnosti technického řešení může být zahrnuta i do stávajících jaderných elektráren. Tyto inzerované podmínky projektu by měly zohledňovat vícenásobné poruchy a následné havárie, jakož i havárie při tavení aktivní zóny. Kromě toho by měli definovat inženýrské metody pro řízení a zmírnění těchto naddimenzovaných podmínek. V literatuře (IAEA, 2016) jsou tyto podmínky zavedeny jako Extended Design Conditions (DEC - Design Extended Conditions). Je však důležité poznamenat, že uvažované rozšířené projektové podmínky se liší, pro již provozované JE a vznikající projekty JE (WENRA RHWG, 2013).

Úrovně obrany do hloubky		Cíl	Hlavní prostředky	Radiologické následky	Asociovaný provozní stav
Úroveň 1		Prevence chyb a poruch normálního provozu. Zabránění přechodu do abnormálního provozu	Konzervativní projekt, zajištění jakosti a celková kultura bezpečnosti	Žádné radiologické následky na okolí (svázáno se stanovenými provozními limity řízení výpustí)	Normální provoz
Úroveň 2		Kontrola a řízení abnormálního provozu, detekce poruch a zabránění rozvoji do projektových havarijních podmínek	Kontrolní, limitační a ochranné systémy		Očekávané provozní události. Abnormální provoz
Úroveň 3	Úroveň 3a	Kontrola nehod zahrnutých v projektu JE. Cílem je zabránění poškození AZ a zamezení možným radioaktivním únikům uvnitř hermetické obálky.	Bezpečnostní systémy, systém ochrany reaktoru, havarijní postupy	Žádné nebo zanedbatelné radiologické následky na okolí	Postulované iniciační události – jednoduché
	Úroveň 3b		Dodatečné bezpečnostní prvky, havarijní postupy		Postulované iniciační události – vícenásobné
Úroveň 4		Kontrola a zmírnění havárií s tavením aktivní zóny k omezení úniků radioaktivních látek do okolí.	Doplňkové bezpečnostní prvky ke zmírnění tavení aktivní zóny. Havarijní plánování	Radiologické následky způsobené únikem radioaktivních látek, mohou znamenat ochranná opatření v závislosti na lokalitě a čase	Postulované tavení aktivní zóny (krátkodobé nebo dlouhodobé)
Úroveň 5		Zmírnění radiologických následků významných úniků radioaktivních látek v důsledku nehod.	Vnější zóna havarijního plánování	Radiologické následky způsobené velkým únikem radioaktivních látek, které vyžadují nezbytná ochranná opatření	

Obrázek 2– Úrovně ochrany do hloubky, zdroj: RHWG

2.7.2 Funkce řízení reaktivity

Při běžném provozu a předpokládaných provozních událostech (AOO) kompenzují regulační tyče reakční účinky změn teploty paliva a vody, které doprovázejí změny úrovně výkonu v rozsahu od plného zatížení až po nulové zatížení. Kromě toho systém regulačních tyčí

zajišťuje minimální rezervu pro odstavení během AOO a je schopen zajistit podkritičnost aktivní zóny, aby se zabránilo překročení přijatelných limitů poškození paliva za předpokladu, že regulační tyč s nejvyšší hodnotou je v plně vytažené poloze. Rozpustný bór v chladivu reaktoru kompenzuje změny reaktivity při vyhoření xenonu a udržuje reaktivitu aktivní zóny v rámci požadavků na odstavení za studena (Widodo Surip et al., 2022).

2.7.3 Funkce odvádění zbytkového tepla z aktivní zóny

Po odstavení jaderného reaktoru za normálních podmínek se zbytkové teplo a teplo rozpadu odvádí z aktivní zóny reaktoru na konečný chladič pomocí systému normálního odvodu zbytkového tepla (NRHRS). Tento systém využívá k cirkulaci chladicího média čerpadlo poháněné elektrickou energií. Jaderné elektrárny druhé generace jsou vybaveny havarijním systémem odvodu zbytkového tepla (ERHRS), který nahrazuje NRHRS v případě přerušení nebo ztráty elektrické energie zvenčí. Tento systém ERHRS je poháněn elektřinou z diesellového generátoru a musí být v provozu nejméně po dobu 1 hodiny. 8 hodin, zatímco čeká na obnovení dodávky elektřiny zvenčí (Widodo Surip et al., 2022).

2.7.4 Hrozby pro SMR

Podle předpisů Komise pro jaderný dozor (NRC) existuje pět typů hrozeb radiační sabotáže: násilný vnější útok, tajný útok, útok bombou na pozemní vozidlo nebo plavidlo, vnitřní hrozba a kybernetický útok (Lee & Woo, 2012).

Další hrozbou pro SMR je možnost nehod, i když je pravděpodobnost vzniku nehody u SMR menší než u větších reaktorů. Malé modulární reaktory musí být navrženy tak, aby odolaly nárazům a katastrofám, jako jsou zemětřesení, tsunami nebo teroristické útoky (Lee & Woo, 2012).

SMR mají vysokou úroveň zajištění bezpečnosti a dodržují všechny bezpečnostní požadavky pro nové generace jaderných elektráren. Využívají například zápornou zpětnou vazbu, což je jedna ze základních inherentních vlastností, a dále používají různorodé pasivní systémy chlazení. Aktivní systémy jsou vždy použity pouze jako doplňující (World Nuclear Association, 2016).

2.7.5 Ochranné opatření

Jaderné elektrárny mají etickou a regulační odpovědnost za ochranu bezpečnosti a ochrany okolní veřejnosti. Tato povinná odpovědnost převažuje nad jakýmikoliv jinými úvahami, takže bezpečnost elektrárny by měla být nejvyšší prioritou v jakékoli prováděcí strategii. Bezpečnostní systémy elektrárny SMR by měly být navrženy tak, aby splňovaly požadavky na integritu bezpečnosti (Lee & Woo, 2012).

Ochrana malých modulárních reaktorů před napadením je klíčovým aspektem zajištění bezpečnosti a spolehlivosti těchto zařízení. Existuje několik opatření, která mohou být použita k ochraně SMR před napadením:

1. **Fyzická ochrana:** Fyzická ochrana malého modulárního reaktoru (SMR) je kritickou součástí jeho bezpečného provozu. Základním principem fyzické ochrany je minimalizovat expozici lidí a životního prostředí nebezpečným radiologickým materiálům. Tyto ochranné prvky by měly být navrženy tak, aby chránily reaktor před neoprávněným vniknutím nebo sabotáží. Podrobnosti strategie fyzické ochrany se liší podle typu hrozby. Hlavní rozdíly jsou v taktice útoku a počtu útočníku (Lee & Woo, 2012).

Důležitou součástí fyzické ochrany SMR jsou také systémy, které minimalizují riziko úniku radiologických materiálů, jako jsou například kontejnery pro skladování vyhořelého paliva. Dalšími opatřeními fyzické ochrany SMR mohou být například přístupová kontrola, kamerové systémy a vysoké ploty, které minimalizují riziko krádeže radiologického materiálu nebo úmyslného vniknutí do areálu (Badwan, Demuth, Miller, Pahakin, 2015).

Celkově lze říci, že fyzická ochrana SMR zahrnuje celou řadu opatření, která mají minimalizovat riziko havárie a následných následků pro lidstvo a životní prostředí. Je třeba, aby byla vždy předmětem pozornosti při plánování, výstavbě a provozu SMR.

2. **Kybernetická ochrana:** Kybernetická ochrana malých modulárních reaktorů (SMR) je velmi důležitá, protože tyto reaktory jsou významnou součástí energetického průmyslu a představují potenciální cíl pro kybernetické útoky. Tyto reaktory jsou navrženy tak, aby byly bezpečné a spolehlivé, ale útoky na systémy řízení a kontrolu by mohly mít katastrofické následky (Lee & Woo, 2012)

Existuje několik opatření, která mohou být implementována k ochraně SMR před kybernetickými útoky. Jedním z nich je použití šifrování a autentizace pro komunikaci mezi různými systémy, aby se minimalizovalo riziko neoprávněného přístupu. Další

opatření zahrnují monitorování sítě a identifikaci neobvyklé aktivity, včetně detekce pokusů o průnik do systému. To zahrnuje využití firemních bezpečnostních protokolů a softwaru, které mohou chránit proti ransomwaru, phishingovým útokům a dalším kybernetickým hrozbám (Bentoumi, Chaudhuri, Ende, Bhaskar, 2020).

Procesy řízení SMR mohou být také odděleny od ostatních systémů, aby se minimalizovalo riziko, že by útok na jeden systém mohl mít dopad na celý reaktor. To znamená, že by měly být vytvořeny samostatné sítě pro různé systémy, a měly by být implementovány bezpečnostní protokoly, jako je segmentace sítě a oddělení funkcí (Bentoumi, Chaudhuri, Ende, Bhaskar, 2020).

3. **Návrh SMR:** Malé modulární reaktory musí být navrženy tak, aby odolaly teroristickým útokům a sabotážím. To znamená, že musí být odolné proti výbuchům, nárazům a zemětřesením a musí mít redundantní systémy, které mohou chránit reaktor před selháním (Lee & Woo, 2012).
4. **Monitorování a detekce:** SMR by měly být vybaveny senzory a systémy pro monitorování a detekci anomálií. Tyto senzory mohou být použity k detekci neoprávněného vniknutí, požárů, úniků radioaktivních látek nebo jiných hrozeb (Lee & Woo, 2012).
5. **Vzdělávání a trénink:** Zaměstnanci pracující s SMR by měli být pečlivě vyškoleni a vzděláni, aby mohli rozpoznat a zvládnout potenciální hrozby. To zahrnuje školení v oblasti kybernetické bezpečnosti, fyzické ochrany, detekce hrozeb a reakce na mimořádné situace (Lee & Woo, 2012).

Jestliže dojde k havárii v jaderné elektrárně, je potřeba jednat tak, aby nedocházelo k újmě na zdraví civilistů, proto je vypracováván vnější havarijní plán. Vnější havarijní plán (VHP) jaderné elektrárny je součástí celkového bezpečnostního systému a jeho účelem je minimalizovat rizika a potenciální důsledky jaderné havárie pro veřejnost a životní prostředí. Pro každou jadernou elektrárnu je vypracován VHP a obsahuje opatření a postupy, které je třeba zavést v případě mimořádné události nebo havárie.

VHP jsou vytvářeny před uvedením jaderné elektrárny do provozu a jsou pravidelně aktualizovány a implementovány podle změny technologie a legislativy. Vyžaduje také přezkoumání a schválení příslušnými dozornými orgány, jako je Český úřad pro jadernou bezpečnost (Doležal, Kyselák, Mika, & Novák, 2014).

Existuje několik důvodů, proč je VHP důležitý:

Ochrana veřejnosti (VHP jsou navrženy tak, aby minimalizovaly dopad jaderné havárie na obyvatele žijící v blízkosti jaderných elektráren. Patří sem evakuační plány, styk s veřejností, distribuce jódových tablet (na ochranu před radioaktivním jódem) a další opatření na ochranu a informování veřejnosti (Doležal, Kyselák, Mika, & Novák, 2014).

Koordinace záchranných a ochranných složek: Součástí VHP je plán spolupráce s místními záchrannými a ochrannými složkami jako jsou hasiči, policie a zdravotníci. Tyto plány definují role a odpovědnosti v případě jaderné havárie a zajišťují koordinaci a spolupráci mezi různými zúčastněnými stranami (Doležal, Kyselák, Mika, & Novák, 2014).

Technická opatření a nouzové postupy: VHP poskytuje technické podrobnosti o provozních systémech a zařízení závodu, včetně nouzových postupů pro řízení a minimalizaci následků havárie. To zahrnuje plány na zabránění úniku radioaktivních látek a ochranu kritických zařízení před poškozením (Doležal, Kyselák, Mika, & Novák, 2014).

2.8 Vnější havarijný plán JE Dukovany

Plán pro případ havárie v Jaderné elektrárně Dukovany (VHP JE Dukovany) je klíčovým dokumentem, který zajišťuje připravenost na havárie a určuje základní postupy pro složky IZS a další subjekty v případě potenciální závažné radiační havárie. Tento plán také stanovuje opatření k minimalizaci dopadů závažné havárie mimo objekt nebo zařízení - v zóně havarijního plánování. VHP JE Dukovany je v souladu s vyhláškou č. 328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému ve znění pozdějších předpisů, zákonem č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, zákonem č. 263/2016 Sb. atomový zákon a dalšími právními předpisy (Hasičský záchranný sbor České republiky, 2023).

Zóna havarijního plánování (ZHP) je označení pro oblast kolem jaderné elektrárny Dukovany, kde se uplatňují požadavky na havarijní plánování na základě analýz možných následků radiační havárie. Tato oblast se nachází v okruhu 20 km od jaderné elektrárny a je rozdělena do tří pásem, která odpovídají kružnicím s poloměry 5 km, 10 km a 20 km od elektrárny. Každé pásmo je dále rozděleno na 16 kruhových výsečí o úhlu 22,5 stupňů. Tyto výseče jsou orientovány podle směru větru, začínajícího od 0 stupňů. V Zóně havarijního plánování se plánují a připravují ochranná opatření, která mají zajistit ochranu obyvatelstva v případě havárie jaderné elektrárny (Hasičský záchranný sbor České republiky, 2023).



Základní informace pro případ radiální havárie | 20

Obrázek 3 – Vnější havarijní plán JE Dukovany, zdroj <https://www.hzscr.cz/clanek/vnejsi-havarijni-plany-vnejsi-havarijni-plany.aspx>

Vnější havarijní plán (VHP) pro zónu havarijního plánování jaderné elektrárny Dukovany schválil hejtman Kraje Vysočina v březnu 2019. Na přípravě VHP a jeho obnově, tedy plánování konkrétních činností, se podílely především HZS kraje, Policie ČR, odbor zdravotnictví, odbor zdravotnictví, veterinární správa, RC SÚJB, KÚ, OÚ a zvýšení AČR. Na základě zpracovaného VHP je zpracován výpis z VHP a akční plán pro vedení města pro případ radiální havárie v Jaderné elektrárně Dukovany. VHP jsou zpracovávány v papírové i elektronické podobě. Pro zvýšení funkčnosti a aktuálnosti údajů obsažených ve vnějším havarijním plánu budou všechny obce a dotčené orgány Kraje Vysočina o těchto změnách podrobně informovány na Portálu krizového řízení Jihomoravského kraje. Přezkoumání cvičení se provádí nejméně jednou za tři roky. Jakékoli změny obsahu VHP budou okamžitě aktualizovány. Na základě vyhlášky MV 429/2003, kterou se mění vyhláška 328/2001, provedly HZS Kraje Vysočina a HZS Jihomoravského kraje poslední obnovu VHP v roce 2022. Tato aktualizace byla schválena hejtnanem kraje Vysočina dne 15. prosince 2022. Jedná se o realizaci Národního radiálního havarijního plánu, aktualizaci počtu

obyvatel obcí v oblasti havarijního plánování, aktualizaci kontaktních údajů, zřízení nových dekontaminačních míst apod. a realizaci následných dekontaminačních, evakuačních a omezení provozu cestujících, včetně změn v terénu (Hasičský záchranný sbor České republiky, 2023).

2.9 Vnější havarijní plán JE Temelín

Vnější krizový plán Jaderná elektrárna Temelín (dále jen VHP JE Temelín) je dokument řízený na strategické úrovni v Jihočeském kraji. Obsahuje návrhy opatření k omezení následků radiační havárie na JE Temelín a základní úkoly k jejich realizaci. Jednotky IZS, orgány veřejné správy a dotčené subjekty tento dokument využívají ke zpracování vlastních prováděcích dokumentů a k přípravě na záchranné a sanační práce po radiační havárii JE Temelín (Hasičský záchranný sbor České republiky, 2023).

VHP JE Temelín se zpracovává v souladu s vyhláškou MV č. 328/2001 Sb. ve znění zákona č. 239/2000 Sb., o podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému, o integrovaném záchranném systému a změně některých zákonů, zákon č. 263/2018 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Zpracovatelem VHP JE Temelín je Hasičský záchranný sbor Jihočeského kraje (dále jen HZS JČK) (Hasičský záchranný sbor České republiky, 2023).

VHP JE Temelín je zpracovávána na základě podkladů předložených držitelem povolení k provozu jaderných zařízení (ČEZ, as), podkladů zpracovaných krajskými úřady, jednotlivými složkami IZS a ve spolupráci s příslušným centrálním správa, územní správa, s nástavbou Obce působnost, Obce dotčené okresním krizovým plánováním a daňové obce (Hasičský záchranný sbor České republiky, 2023).

Opatření uvedená ve VHP JE Temelín navazují na Vnitřní havarijní plán JE Temelín. Držitel povolení za účasti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) projednal provázanost dvou plánů havarijní připravenosti s KÚ JČK a příslušnými obcemi s rozšířenou působností a je nadále pravidelně konzultován (Hasičský záchranný sbor České republiky, 2023).

Od roku 2001 je příprava plánu v souladu se zákonem v gesci HZS JČK. V listopadu 2001 byl VHP JE Temelín poprvé schválen hejtmánem Jihočeského kraje po projednání s dotčenými obcemi a správními orgány. Dle vyhlášky MV č. 328/2001 Sb., některé podrobnosti týkající se zabezpečení IZS a jejich pozdějších změn novelizované VHP JE Temelín v lednu 2003 a říjnu 2003. Obě zmíněné novely byly projednány Bezpečnostní radou Jihočeského kraje a následně schváleny hejtmánem. Poslední rozsáhlou aktualizaci schválil guvernér dne 19. března 2019.

Aktualizace se zaměřuje na změny vyplývající z novely zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona a prováděcích právních předpisů. Dále došlo k úpravě VHP JE Temelín na novou variantu dekontaminace, následovala další opatření jako změna hlavní evakuační trasy, uzavření lokality prostoru havarijního plánování atd (Hasičský záchranný sbor České republiky, 2023).



Obrázek 4 – Vnější havarijní plán JE Temelín, zdroj: <https://www.hzscr.cz/clanek/vnejsi-havarijni-plan-jaderne-elektrarny-temelin.aspx>

2.10 Základní informace pro případ radiční havárie jaderné elektrárny

Radiční havárie jaderné elektrárny je situace, kdy dojde k poruše jaderného reaktoru a úniku radioaktivních látek do životního prostředí. Tento typ havárie může nastat z mnoha důvodů, jako je útok na JE, selhání chladicího systému, chyba operátora, přírodní katastrofa nebo lidská chyba.

Při radiční havárii je narušen běžný provoz jaderné elektrárny, což může vést k úniku radioaktivních materiálů do atmosféry, vody nebo půdy. Vystavení těmto radioaktivním materiálům může mít negativní účinky na lidské zdraví a životní prostředí. Krátkodobé vystavení vysokým úrovním záření může způsobit akutní zdravotní problémy, jako jsou popáleniny,

poškození buněk a orgánů a akutní expozice. Dlouhodobé vystavení nižším úrovním záření zvyšuje riziko rakoviny a dalších chronických onemocnění.

V případě radiační havárie jaderné elektrárny je důležité znát několik základních informací a postupů. Podle :

1) Varování a informace

Cílem upozornění a informování je zajistit, aby lidé dodržovali předepsaná bezpečnostní opatření (ukrytí, jódová profylaxe) vedoucí ke snížení účinků úniku radioaktivních látek na minimum. Prvním krokem při vzniku radiační havárie je vydání všeobecného varování obyvatelstva pomocí varovného signálu všeobecná výstraha (kolísavý tón po dobu 140 sekund, který se může opakovat 3x po sobě) pomocí sítí sirén a místních informačních systémů. Bezprostředně po doznění varovného signálu bude následovat tísňová informace s pokyny pro obyvatelstvo prostřednictvím televize a rozhlasu (Krizport, 2022).

2) Ukrytí

Nouzové ukrytí se plánuje pouze na nezbytně dlouhou dobu, tudíž nejvýše na dva dny. Pokud se v době vyhlášení ukrytí nacházíte doma, doporučuje se zachovat klid, shromáždit všechny přítomné v jedné místnosti, kde bude možné poslouchat televizní nebo rozhlasové vysílání, neboť stálý přístup k informacím je velmi důležitý, zapnout televizi, rozhlas nebo internetové vysílání na stanici, kde budou sdělovány pokyny pro vaši další činnost (Krizport, 2022).

Po návratu do budovy je nutné provést individuální dekontaminaci: před dveřmi domu (v chodbě před vstupem do bytu) odložit použité ochranné prostředky a použité vrchní oblečení. Tyto věci vložte do předem připraveného plastového pytle, který je nutné těsně uzavřít, podle možností se osprchovat nebo omýt vlažnou mýdlovou vodou, přičemž největší pozornost věnovat umytí rukou, obličeje, vlasů a vousů. Ústa, nos a oči vypláchnout obyčejnou vodou (na oči můžete použít i borovou vodu nebo oční vodu), poté si obléknout čistý oděv (Krizport, 2022).

a. Stravování v období ukrytí

Konzumace pouze chráněných potravin (uzavřené v obalech, v lahvích, uložené v ledničkách, konzervy a podobně), nekonzumovat potraviny, zejména zeleninu a ovoce, které se nacházely po vyhlášení radiační havárie mimo úkryt, ve volné přírodě na zahradě nebo v nechráněném prostoru, vodu z vodovodu pro veřejnou potřebu je možné používat bez obav,

bude kontrolována a v případě kontaminace budou obyvatelé včas informováni, vodu z uzavřených studní můžete v případě nutnosti použít, nepijte vodu z povrchových zdrojů (Krizport, 2022).

b. Péče o zvířata

Snažit se zabránit zvířatům v konzumaci nechráněného krmiva, zejména trávy a vody z povrchových zdrojů. Zabezpečit další zásobní krmivo a vodu, aby nedošlo k jejich kontaminaci, například překrytím plachtou nebo plastovou fólií. Provádět ošetrovatelskou péči pouze v nezbytně nutném rozsahu a pouze tehdy, pokud to neohrozí zdraví lidí. Pro označení místa s přechovávanými zvířaty viditelně označte objekt s ukrytými zvířaty vyvěšením formuláře „C“ – označení opouštěného objektu pro péči o zvířata (Krizport, 2022).

3) Jódová profylaxe

Jodová profylaxe je opatření, které se používá pro ochranu štítné žlázy před vlivy radioaktivního jodu při radiační havárii, zejména v případě úniku radioaktivního jodu do ovzduší. Jodová profylaxe je součástí připravenosti na takové havárie a je prováděna v souladu s pokyny a rozhodnutími zdravotnických autorit a krizových řídicích týmů.

Jód je esenciálním prvkem pro normální funkci štítné žlázy. Při expozici radioaktivnímu jodu může štítná žláza absorbovat tuto látku a následně ji uvolňovat do těla, což může zvýšit riziko vzniku rakoviny štítné žlázy.

Tablety jodidu draselného jsou pravidelně obměňovány před uplynutím doby jejich použitelnosti. Tablety se požívají po výzvě v hromadných sdělovacích prostředcích jednorázově v předepsaném dávkování (Skupina ČEZ, 2023).

a. Dávkování

Jodid draselný nemá běžně vedlejší účinky. Proto by měla být jódová profylaxe podávána všem osobám, včetně dětí, těhotných žen a kojících matek, s výjimkou těch, kteří jsou alergičtí na podávané přípravky. Lidé s prokázanou alergií na jódové preparáty nebo onemocněním štítné žlázy (zejména po 40-45 letech) by se již při deklaraci jódové profylaxe měli poradit se svým lékařem, jak postupovat (Skupina ČEZ, 2023).

- Novorozenci do 1 měsíce – ¼ tablety (16 mg jodidu draselného)

- Kojenci a děti do 3 let – ½ tablety (32 mg jodidu draselného)
- Děti od 3 do 12 let – 1 tableta (65 mg jodidu draselného)
- Osoby starší 12 let – 2 tablety (130 mg jodidu draselného)

V případě, že z nějakého důvodu nejsou v budově, kde se právě nacházíte, dostupné tablety, nedoporučuje se vycházet ven za nimi. Pro vaši ochranu je důležitější zůstat v úkrytu (Skupina ČEZ, 2023).

4) Sledování pokynů

Je nutné trvale sledovat informační prostředky a naslouchat pokynům. Především pak informacím z hromadných sdělovacích prostředků (Skupina ČEZ, 2023).

5) Ochranné prostředky

Před vstupem do otevřených prostor je nutné použít dočasné osobní ochranné prostředky k ochraně těla před radioaktivními látkami přítomnými ve vzduchu (radiační riziko v mracích) a na povrchu (radiační riziko v sedimentech). Snažte se co nejméně pobývat na otevřených místech a nedovolte, aby se povrch vašeho těla dostal do kontaktu s okolním prostředím. Vždy je vyžadována ochrana povrchu těla a dýchacích cest improvizovanými prostředky (Skupina ČEZ, 2023):

Dýchací cesty lze chránit pomocí ochranné roušky. Pokud není k dispozici, je možné použít náhradní prostředky, jako je navlhčený kus látky, oblečení nebo ručník. Na nos a ústa se přiloží vlhký hadr a za hlavou se upevní šálou nebo šátkem. Tímto způsobem se vytvoří bariéra, která odfiltruje částice a omezí přímý kontakt s vdechovaným vzduchem (Krizport, 2022).

Oči lze zakrýt vhodným typem brýlí, jako jsou zavřené brýle používané při lyžování, potápění nebo jízdě na motorce. Pokud mají brýle větrací otvory, bude nutné tyto větrací otvory utěsnit páskou, aby se minimalizovala možnost vniknutí škodlivých látek. V případě nouze lze použít průhledný plastový sáček, který se přetáhne přes hlavu a zajistí gumou nebo látkou přes nos, aby vytvořil bariéru, která minimalizuje přímý kontakt nebezpečné látky s očima (Krizport, 2022).

Povrch těla je potřeba chránit ochranným oděvem, čepicí a vhodnou obuví. Ideální jsou vodě odolné součásti oděvu jako pláštěnka, větrovka s kapucí, jednorázové (např. montážní)

soupravy nebo overaly, rukavice, gumové holínky případně igelitové sáčky upevněné gumičkou na ruku nad zápěstím a na nohu nad kotníky (Krizport, 2022).

Po návratu z volného prostranství ihned sundat ochranné pomůcky a bundu, vložit je do igelitového sáčku a pečlivě uzavřít. Poté ihned pečlivě osprchovat a omýt celé tělo mýdlem vč. vlasy a vousy a důkladně si umýt obličej (vypláchnout také oči, uši a ústa). Důležité je kontaminovaný oblek, tedy oblek, který byl jednou použit, nepoužívat znovu (Krizport, 2022).

6) Evakuační zavazadlo

Obsah doporučeného zavazadla lze podle portálu Krizport (2020) rozdělit do několika logických skupin. Lze je rozdělit do logických skupin:

- 1) Jídlo a pití plus kuchyňské náčiní – Pevně zabalené potraviny, pitná voda (vše na 2-3 dny pro každou rodinu), hrnky nebo misky, otvírák na lahve. Hrnky nebo misky, příbory, otvírák na lahve a otvírák na konzervy.
- 2) Cennosti a doklady – Osobní doklady (rodné listy, občanské průkazy, pasy, kartičky zdravotní pojišťovny), další důležité dokumenty (pojistné smlouvy, stavební spoření, investiční smlouvy, akcie, případně aktuální lékařská potvrzení), hotovost + platební karty.
- 3) Léky a hygienické potřeby – Pravidelně užívané léky nebo zdravotní pomůcky (např. brýle, kontaktní čočky), přiměřené množství toaletních potřeb.
- 4) Oblečení a lůžkoviny – Sezónní oblečení, náhradní spodní prádlo nebo obuv, spací pytel, lůžkoviny. Spodní prádlo, obuv, spací pytel, matrace, mackintosh nebo deštník.
- 5) Elektrické spotřebiče, nářadí a zábava – Mobilní telefon (s nabíječkou), svítilna, zavírací nůž, šicí potřeby, psací potřeby, věci pro volný čas (knihy, dětské hračky, společenské hry).

Nutné označit každou tašku jménem, adresou a číslem mobilního telefonu. Vše zabalit do plastového pytle a pevně uzavřít. Je dobré stejný štítek nalepit na kapsy malých dětí. V případě dekontaminace uložit náhradní oblečení včetně spodního prádla a bot do sáčku, který lze snadno uzamknout. Příruční i evakuační zavazadlo je potřeba chránit před kontaminací (Skupina ČEZ, 2022).

7) Zabezpečení domácnosti

Před odchodem z bytu je nebo domu je podle portálu Krizport (2020) nutné provést několik kroků a opatření

- Vypnout a odpojit ze sítě všechny elektrické spotřebiče, jedině, co zůstane zapojené a nevypíná se je lednice a mrazák. Hlavní jistič nevypínat
- Potraviny, které podléhají zkáze buď uložit do lednice nebo mrazáku, nebo je vyhodit do popelnice
- Uzavřít hlavní uzávěr plynu a vody
- Ujistit se, že všechna zařízení na topení a spalování paliv jsou vypnutá
- Všechny okna a dveře důkladně uzavřít
- Zajistit, aby měla zvířata před evakuací dostatek potravy a vody, a to i v případě, že musí být držena venku

8) Evakuace

a. Samoevakuace

Při evakuaci je vhodné využít vlastní dopravní prostředek, avšak za určitých podmínek (Doležal, Kyselák, Mika, & Novák, 2014):

- Vozidlo musí být technicky způsobilé (v dobrém technickém stavu, s dostatečným množstvím paliva v nádrži) a vhodné pro evakuaci (nezahrnuje například kabriolety, motocykly atd.)
- Vozidlo by mělo být ideálně ukryto v garáži nebo pod plachtou a zaparkováno v blízkosti úkrytu osob, řidič vozidla musí znát trasu k dekontaminačnímu místu nebo evakuačnímu a přijímacímu středisku a dodržovat ji
- Posádka vozidla musí dodržovat zásady improvizované ochrany (chránit povrch těla a dýchací cesty při přechodu do vozidla)
- Zbytečně nezastavovat a nevystupovat z vozidla při průjezdu kontaminovaným prostorem, neotvírat okna vozidla a nepoužívat topnou a klimatizační soustavu vozidla, v případě kontaminace vozidla je nezbytné podrobit se dekontaminaci na dekontaminačním místě (Doležal, Kyselák, Mika, & Novák, 2014).

Pokud nebyl průjezd dekontaminační linkou vyžadován na dekontaminačním místě, je vhodné vozidlo umýt po příjezdu na místo náhradního ubytování (Doležal, Kyselák, Mika, & Novák, 2014).

b. Hromadná evakuace

Pro osoby žijící v oblastech s kontaminací a bez vlastního dopravního prostředku bude k dispozici autobus pro evakuaci. Během pobytu v úkrytu kontaktuje obyvatele starosta nebo krizový štáb obce, aby byl zjištěn počet lidí v úkrytu a zajistil se dostatek evakuačních autobusů. Nařízení evakuace bude vysílán přes místní rozhlas a informace o místech a čase, kdy bude autobus k dispozici, budou poskytnuty. Čas strávený venku pro přesun je dobré co nejvíce minimalizovat, používat nejkratší cesty k místu, kde bude autobus přistaven. Před nástupem do autobusu odstranit improvizované prostředky ochrany s výjimkou ochrany dýchacích cest a vzít s sebou evakuační zavazadlo a případně domácího mazlíčka (Doležela, Kyselák, Mika, & Novák, 2014).

2.11 Malé modulární reaktory v ČR

V České republice je velký zájem o výstavbu malých modulárních reaktorů (SMR) jako alternativy k tradičním velkým jaderným zařízením. Tento zájem je veden potřebou diverzifikovat energetický mix, snížit emise skleníkových plynů a zvýšit energetickou soběstačnost.

- V lednu 2020 si Ústav jaderného výzkumu ÚJV Řež nechal patentovat projekt fluoridového vysokoteplotního reaktoru SMR s názvem Energy Well, který má kapacitu 20 MWt a sedmiletý palivový cyklus. V květnu 2021 ÚJV Řež oznámil svůj projekt, v jehož rámci chce do roku 2035 navrhnout vysokoteplotní plynem chlazený reaktor (HTR) zaměřený na teplárství a průmysl. Tento projekt HeFasto má vyvinout reaktor o výkonu 200 MWt pracující při teplotě až 900 °C. Tři verze budou určeny pro teplárství, kogeneraci a chemický průmysl. Vychází z projektu Allegro na vývoj plynem chlazeného rychlého reaktoru o výkonu 50-100 MWt, který rovněž podporují Maďarsko, Polsko a Slovensko a který je zaměřen na centrum excelence V4G4 zřízené na Slovensku v roce 2015 (World nuclear association, 2023).
- V únoru 2020 podepsal ČEZ se společností GE Hitachi memorandum o porozumění, jehož cílem je prověřit možnost výstavby malého modulárního reaktoru (SMR) BWRX-300 o výkonu 300 MWe v České republice. To následovalo po podpisu memoranda o porozumění se společností NuScale v září 2019, jehož cílem bylo

prozkoumat možnosti nasazení SMR v zemi. Od té doby byl výkon SMR společnosti NuScale zvýšen na 77 Mwe (Slavík, 2023).

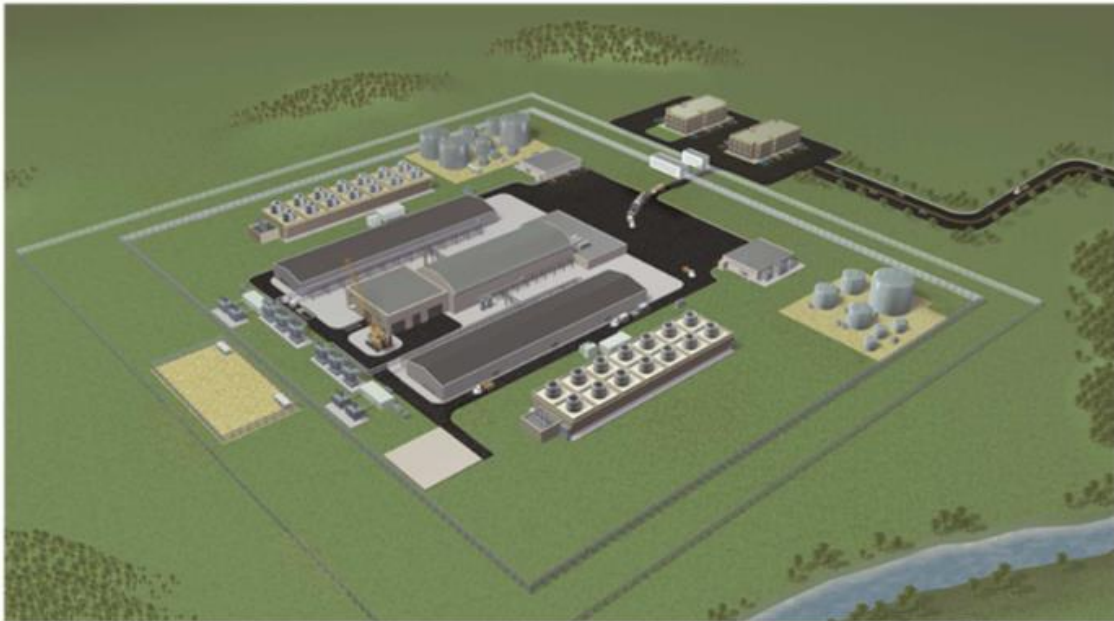
- V listopadu 2020 podepsala společnost ČEZ memorandum o porozumění se společností Rolls-Royce s cílem prozkoumat možnosti nasazení jejího SMR o výkonu 400 MWe (od té doby zvýšeného na 470 MWe) v České republice. ČEZ podepsal memoranda o porozumění týkající se nasazení SMR také se společnostmi EDF, Westinghouse, Holtec a KHNP (World nuclear association, 2023).
- V březnu 2022 ČEZ oznámil, že ve svém areálu v Temelíně vyčlenil plochu, která bude v budoucnu využita pro výstavbu prvních malých a středně velkých reaktorů v zemi (World nuclear association, 2023).

Tendr na výstavbu nového jaderného zdroje v Dukovanech je téma, které v posledních měsících ve společnosti rezonuje. O stavbu již dříve projevily zájem tři společnosti, včetně francouzské firmy EDF, jihokorejské firmy KHNP a severoamerického Westinghouse. Dříve byli vyloučeni žadatelé z Ruska a Číny. Blok představuje největší investici v novodobé historii České republiky a předpokládá se, že bude dokončen do roku 2036. Je ale na místě přemýšlet i o tom, jestli by nebylo možné místo nového bloku vybudovat malý modulární reaktor v areálu JE Dukovany (o energetice, 2022). S malými reaktory počítá i ministr Síkela, který pro portál e15 (2023) řekl: „Nemůžeme bohužel se stavbou velkých bloků čekat, jak to dopadne s těmi malými. Musíme se soustředit na oba typy, připravovat je souběžně. Musíme si v tom nechat určitou flexibilitu, abychom případně mohli zohlednit technologický vývoj. V jeho rámci může ostatně dojít i k pokroku v oblasti akumulace energie,“ Tomáš Pleskač (2022) doplnil v rozhovoru pro stejný portál ministra Síkelu, když řekl že „malé modulární reaktory nejsou náhradou velkých jaderných bloků, ale doplněním energetického mixu ČR jako vhodná náhrada uhelných elektráren a velkých tepláren.“

Na otázku, jak vnímáte možnost využití malým modulárních reaktorů a jaká rizika spojená s využíváním vznikají paní Ing. Dana Drábová, Ph.D., dr. h. c. mult. (2022) odpověděla : „ Malé reaktory budou jistě vhodným doplňkem těch tzv velkých. Nejsou úplným všelékem, to znamená, spoléhat se na to, že nám všechno vyřeší by bylo naivní, ale v určitých oblastech využití svoji roli najdou zejména v teplárenství a co se týká těch úplně malých, těch, kterých se říká mikroreaktory, která by mohli být umístěny i přímo v nějaké lokalitě jako je město nebo továrna, tak tam ty projekty počítají s tzv integrální bezpečností a měly také poměrně nízký výkon, čím nižší výkon tím nižší riziko, že se tam něco ošklivého stane.“

- Koncem února 2023 Skupina ČEZ veřejnost informovala, že vybral dvě další preferované lokality pro Malý modulární reaktor (SMR), druhou a třetí. Po prvním projektu JMK v areálu jaderné elektrárny Temelín je lze pěstovat také v Dětmarovicích a Tušimicích. Tedy tam, kde jsou stávající uhelné elektrárny. Lokality elektráren v Dětmarovicích a Tušimicích projdou celou řadou dalších intenzivních průzkumných a monitorovacích prací, než bude definitivně jasné, zda jsou vhodné pro umístění jaderného zdroje (Slavík, 2023).

2.11.1 VOYGR™ (NuScale Power Corporation, United States of America)



Obrázek 5 Jaderná elektrárna s moduly SMR Voygr firmy NuScale, zdroj: www.nuscalepower.com

1) Úvod

Jedná se o malý, lehkou vodou chlazený tlakovodní reaktor (PWR). NuScale elektrárna je rozšiřitelná a může být postavena tak, aby vyhovoval různému počtu SMR, vyhovoval požadavkům a energetické nároky zákazníka. 60 MW(e) SME poskytuje výkon, který lze škálovat až na 720 MW(e) v jediném zařízení s dvanácti moduly. Dvanácti modulová konfigurace je referenční velikost pro návrh a licenční činnosti. Každý SMR je samostatný modul, který funguje nezávisle na ostatních modulech v konfiguraci s více moduly. Všechny moduly jsou řízeny z jednoho dispečinku, který je součástí komplexu (IAEA, 2021).

2) Výroba a výstavba

Reaktor Voygr dodává své modulární reaktory jako hotové jednotky, tzv. "moduly". Každý modul je 60 metrů vysoký a 4,6 metru široký a obsahuje jednu jadernou reakční nádobu, která je umístěna v betonovém obalu. Každý modul může produkovat 77 megawattů elektřiny.

Výroba modulárních reaktorů Voygr probíhá v několika krocích. Nejprve se vyrobí nádoba reaktoru, která je poté umístěna do betonového obalu. Následně se instalují další komponenty, jako jsou turbíny, generátory a systémy pro chlazení. Každý modul prochází přísnými testy a inspekce, aby se zajistila jeho bezpečnost a spolehlivost. Po dokončení výroby jsou modulární

reaktory přepraveny na místo určení. Než jsou moduly připojeny k síti a začnou produkovat elektřinu, provádí se série testů a ověření, aby se předešlo možným chybám (IAEA, 2022).

Podle informací poskytnutých společnostmi NuScale by měl být jeden modulární reaktor dodán zákazníkovi v průběhu 4-6 let od podepsání smlouvy. Samotná instalace a provozování pak může trvat dalších několik let (IAEA, 2022).

3) Cílová aplikace

Cílovou aplikací modulárního reaktoru je výroba elektřiny v malých a středních městech nebo na odlehlých místech. NuScale se zaměřuje na "distribuovanou energii", což znamená, že reaktory jsou umístěny blízko spotřebitelů elektřiny, čímž se snižují ztráty přenosu elektřiny v distribučních sítích (IAEA, 2021)

Modulární reaktor firmy NuScale může být využit k výrobě elektřiny pro městské a průmyslové zóny, nemocnice, letiště, ale také k výrobě elektřiny pro těžbu. Další cílovou aplikací je nahrazení elektráren spalujících fosilní paliva a snižování emisí skleníkových plynů, což přispívá ke zlepšení životního prostředí a ochraně klimatu (IAEA, 2022).

4) Hlavní konstrukční vlastnosti

a) Filozofie návrhu

Při konstrukci elektrárny se používá zjednodušená technologie lehkovodního reaktoru, továrně vyrobené moduly pro dodávku energie a pasivní bezpečnostní systémy, které poskytují dostatek času na reakci v případě výpadku dodávky elektrického proudu. Tato nová generace elektrárny je navržena tak, aby efektivně fungovala i při maximálním výkonu díky přirozené cirkulaci chladicí kapaliny jádrem, což znamená, že nejsou potřeba čerpadla pro chladicí kapalinu (IAEA, 2021).

b) Jádro reaktoru

Konfigurace jaderného paliva se skládá z 37 palivových kazet a 16 regulačních tyčí. Design palivové konstrukce vychází ze standardní palivové sestavy PWR 17 x 17 s 24 místy pro kontrolní tyče a centrální trubicí. Sestava je poloviční než standardní stavba reaktoru (IAEA, 2021).

c) Řízení reaktivity

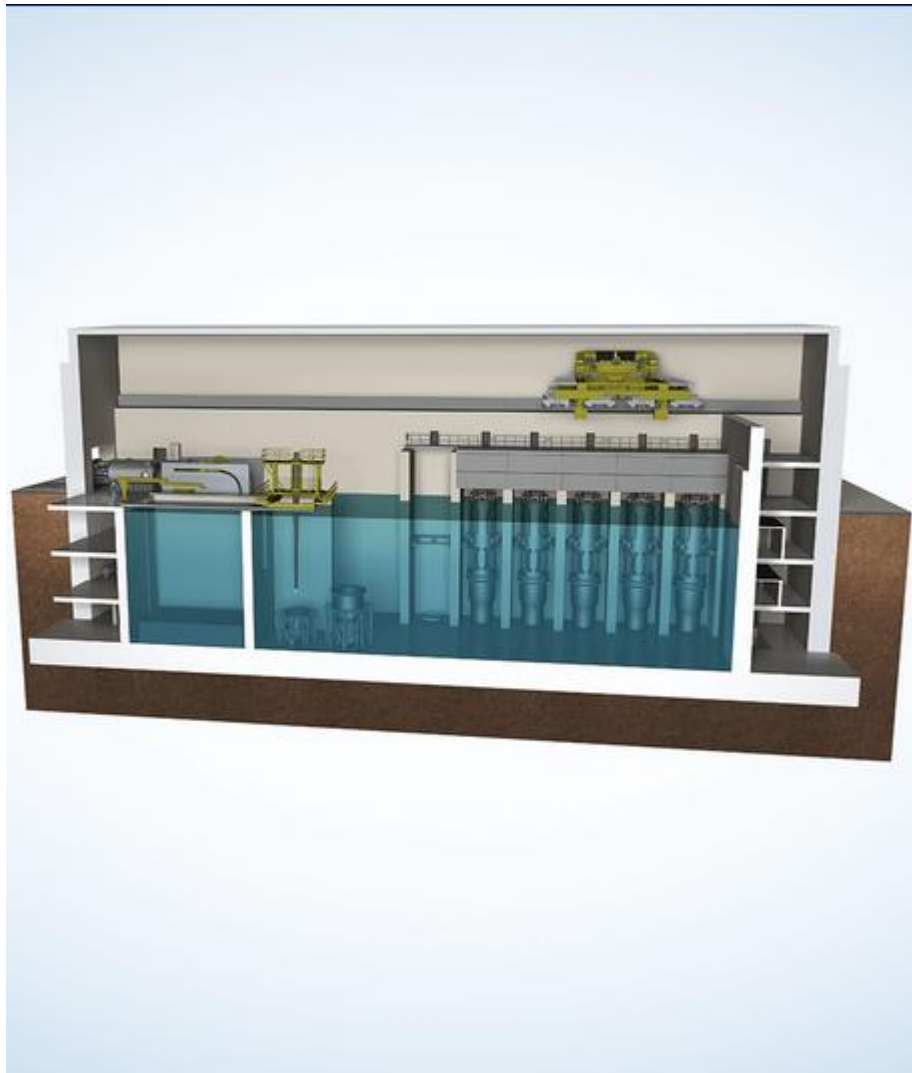
Regulace reaktivity je dosahována především rozpustným bórem v primárním chladivu a 16 sestavami regulačních tyčí. Řídící tyče jsou uspořádány do dvou skupin: kontrolní a odstavené skupiny. Kontrolní skupina, sestávající ze čtyř tyčí symetricky umístěných v jádru, funguje jako regulační skupina, která se při běžném provozu zařízení používá ke kontrole reaktivity. Odstavná skupina skládající se z 12 tyčí se používá při vypnutí a odstavení. Absorpční materiál regulačních tyčí je karbid boru a délka kontrolní tyče je 2 metry (IAEA, 2022).

d) Chladicí systém reaktoru

Chladicí systém reaktoru (RCS) je podsystém, který zajišťuje cirkulaci primární chladicí kapaliny spoléhající na přirozenou cirkulaci. RCS tedy nevyžaduje čerpadla chladicí kapaliny reaktoru ani systém vnějšího potrubí (IAEA, 2021).

e) Tlaková nádoba a vnitřní zařízení reaktoru

Tlaková nádoba se skládá z válcové ocelové nádoby s vnitřním průměrem 2,7 m, celkovou výškou přibližně 17,7 m, a je konstruován pro provozní tlak 13,8 MPa (IAEA, 2021).



Obrázek 6 – Reaktorová budova s malými modulárními reaktory NuScale, zdroj: www.nuscalepower.com

5) Bezpečnost a provozní prvky

Voygr je zabezpečen sadou bezpečnostních prvků, které mají zajistit spolehlivé dlouhodobé chlazení jádra za všech podmínek, včetně zmírnění následků těžkých havárií. Patří mezi ně integrovaný primární systém konfiguraci, kontejnment, pasivní systémy odvodu tepla a prvky pro zmírnění následků těžkých havárií (IAEA, 2022)

Každé SMR obsahuje několik jednoduchých, redundantních a nezávislých bezpečnostních prvků, které jsou popsány takto:

a) Systém pro odstraňování tepla z rozkladu

Systém odvodu tepla z rozpadu (DHRS) zajišťuje sekundární chlazení boční strany reaktoru pro případy, které nejsou v režimu LOCA, kdy není k dispozici běžná přívodní voda. Jedná se o

uzavřený dvoufázový systém chlazení s přirozenou cirkulací. K dispozici jsou dvě soustavy zařízení pro odvod rozpadového tepla, jedna připojená ke každé smyčce parogenerátoru. Každé je schopno odvádět 100 % kapacity rozpadového tepla (IAEA, 2022).

b) Systém nouzového chlazení jádra

Systém havarijního chlazení aktivní zóny (ECCS) se skládá ze tří nezávislých odvzdušňovacích ventilů reaktoru (RVV) a dvou nezávislých ventilů recirkulace reaktoru (RRV). V případě LOCA uvnitř kontejnmentu vrací ECCS chladivo z CNV do reaktorové nádoby. ECCS zajišťuje odvod rozpadového tepla v případě ztráty průtoku i vody. Systém havarijního chlazení aktivní zóny odvádí teplo a omezuje tlak v kontejnmentu kondenzací páry na vnitřním povrchu CNV a konvekčním přenosem tepla (IAEA, 2022).

c) Kontejnment

Funkce kontejnmentu (CNV) je zamezit úniku radioaktivity. Chránit RPV před vnějšími riziky a zajišťovat odvod tepla do bazénu reaktoru po havárii spuštěním ECCS. Každá CNV se skládá z ocelového válce o vnějším průměru 4,5 m a celkové výšce 4,5 m. V CNV jsou umístěny RPV, mechanismy pohonu regulačních tyčí a související potrubí a součásti NSSS. CNV je ponořeno do bazénu reaktoru, který poskytuje zajištěný pasivní odvod tepla odvádění tepla z kontejnmentu za podmínek LOCA (IAEA, 2022).

6) Bezpečnost a provozní výkonnost zařízení

Každý modul SMR je provozován nezávisle na ostatních modulech. Modul je doplňován palivem tak, že se odpojí od provozního prostoru a přemístí se do společného prostoru pro doplňování paliva. Modul je dělen do tří hlavních komponentů: spodní část RPV, která obsahuje aktivní zónu a spodní vnitřní části, dolní sekci CNV a horní sekci RPV/CNV, která obsahuje parogenerátory a přetlakovou komoru. Po kontrole sekcí modulu a doplnění paliva do aktivní zóny se modul znovu sestaví a přemístí do svého provozního prostoru a znovu se připojí k parnímu potrubí. Ostatní moduly v elektrárně pokračují v provozu, zatímco je jeden modul doplňován palivem (IAEA, 2022).

7) Přístrojové a řídicí systémy

Konstrukce Voygr zahrnuje plně digitální řídicí systém založený na použití technologie FPGA (field programmable gate array). Platforma vysoce integrovaného ochranného systému

(HIPS), schválená americkou Komisí pro jaderný dozor, je založena na základních principech návrhu I&C. Platforma HIPS se skládá ze čtyř typů modulů, které lze vzájemně propojit a realizovat tak více konfigurací pro podporu různých typů bezpečnostních systémů reaktoru. Technologie FPGA není zranitelná vůči kybernetickým útokům. Konstrukce Voygr účinně integruje inženýrství lidského faktoru (HFE) do vývoje, návrhu a provozu elektrárny (IAEA, 2022).

8) Uspořádání rozmístění zařízení

a) Budova reaktoru

Elektrárna NuScale se skládá především z budovy reaktoru, budovy velínu, dvou budov turbogenerátoru, budovy pro zpracování radioaktivního odpadu, chladicích věží, rozvodny a suchého skladovacího prostoru pro vyhořelé palivo. Budova reaktoru se skládá až z 12 reaktorů, zařízení pro montáž/demontáž reaktorů, zařízení pro manipulaci s palivem a bazénu vyhořelého paliva. Každý NPM pracuje ponořen ve společném reaktorovém bazénu v odděleném poli s betonovým krytem, který slouží jako biologický štít. Podzemní reaktorový bazén a budova reaktoru jsou navrženy podle seismických norem kategorie 1 (IAEA, 2021).

b) Řídicí budova

Hlavní velín je umístěn pod úroveň terénu v řídicí budově. Všechna SMR jsou řízena z jediné řídicí místnosti. Operátoři reaktoru mohou sledovat automatizovaný systém řízení pro každý reaktor zvlášť a každý reaktor je vybaven softwarovými ovládacími prvky. Stanice supervizora poskytuje přehled o všech reaktorech pomocí několika monitorů, kdy všechny jsou navrženy s využitím analýzy lidského faktoru (IAEA, 2021).

c) Bilance plánu

Elektrárna firmy NuScale má dvě samostatné turbínové budovy, v každé z nich je možné umístit až šest turbín vzduchem chlazených generátorů. Budovy turbín jsou nadzemní stavby, v nichž jsou umístěny turbogenerátory s pomocnými zařízeními. Každý turbogenerátor je spojen s jedním SMR a má vyhrazená čerpadla kondenzátu a napájecí vody (IAEA, 2021).

9) Palivový cyklus

Doplňování paliva ve třech dávkách se provádí v 24měsíčním cyklu, a to v režimu "in-out". Během procesu doplňování paliva je jedna třetina palivových souborů vyjmuta ze SMR, umístěna

do bazénu vyhořelého paliva. Bazén je spojen s konečným chladičem, a je chráněn budovou reaktoru (IAEA, 2021).

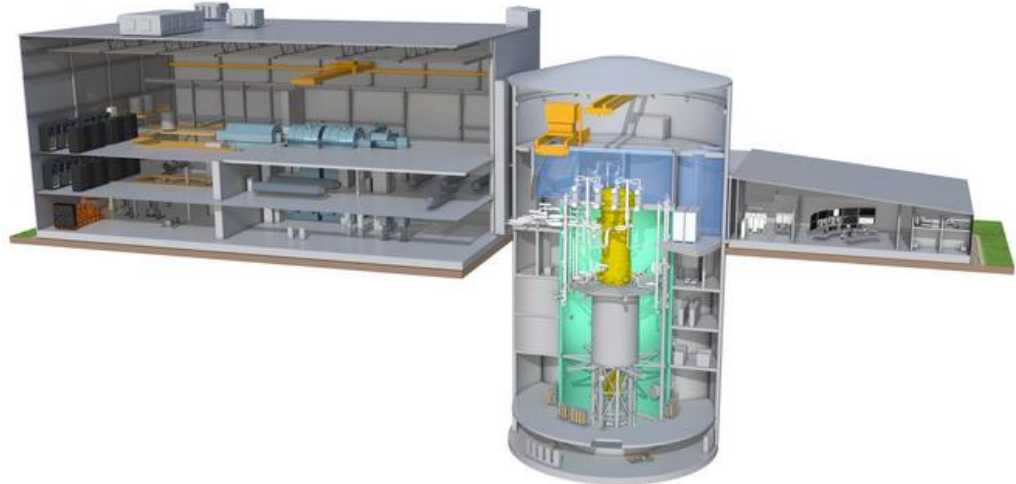
10) Plán odpadového hospodářství a likvidace

Vyjmuté palivové soubory jsou uloženy v bazénu použitého paliva k počátečnímu ochlazení a později jsou přemístěny do suchého skladu. Projekt elektrárny počítá s dostatečným prostorem pro skladování veškerého vyhořelého paliva vyrobeného během 60 let životnosti elektrárny. Očekává se, že konečné uložení bude v národním úložišti paliva, jakmile bude k dispozici (IAEA, 2022).

11) Rozvojové milníky

- 2003 – Vyvinutý počáteční koncept a zprovozněné testovací zařízení
- 2007 – Vznik společnosti NuScale Power
- 2012 – Zprovoznění simulované řídicí místnosti s dvanácti reaktory
- 2016 – Žádost o certifikaci projektu byla předložena Komisi pro jadernou regulaci USA.
- 2020 – Dokončení přezkumu certifikace projektu NuScale
- 2023 – Zahájení výroby/výstavby první plnohodnotné elektrárny NuScale (NPP) ve Spojených státech.
- 2027 – První komerční elektrárna NuScale má být uvedena do provozu v Idahu (IAEA, 2022)

2.11.2 BWRX-300 (GE-Hitachi Nuclear Energy, USA and Hitachi-GE Nuclear Energy, Japan)



Obrázek 7 – Malý modulární reaktor BWRX-300, zdroj: www.nuclear.gepower.com

1) Úvod

BWRX-300 společnosti GE-Hitachi Nuclear Energy (GEH) je 300 MWe vodou chlazený reaktor využívající jednoduché bezpečnostní systémy řízení. Jedná se o desátou generaci varného vodního reaktoru (BWR) a představuje nejjednodušší konstrukci BWR od roku 1955, kdy společnost GE zahájila vývoj jaderných reaktorů. BWRX-300 je evolucí reaktoru ESBWR (Economic Simplified Boiling Water Reactor) s výkonem 1 520 MWe, na který získala licenci americká Komise pro jaderný dozor (NRC) (IAEA, 2022).

2) Cílová aplikace

Cílové aplikace zahrnují výrobu elektřiny se základním zatížením, následnou výrobu elektřiny v rozsahu 50 až 100 % energie, dálkové vytápění, výrobu syntetických paliv, výrobu vodíku a další procesní tepelné aplikace (IAEA, 2022).

3) Hlavní konstrukční vlastnosti

a) Filozofie designu

BWRX-300 se vyznačuje designem ESBWR schváleným US NRC, osvědčenými materiály a povrchovou úpravou. Komponenty a provozní parametry jsou v rozsahu současných zkušeností s reaktory BWR. BWRX-300 je navržen tak, aby byl nasazen v blízké budoucnosti, přičemž komerční provoz hlavní jednotky je naplánován na rok 2028 (IAEA, 2022).

b) Jádro reaktoru

Aktivní zóna reaktoru BWRX-300 je uspořádána jako vzpřímený válec obsahující palivové soubory umístěné v plášti aktivní zóny. Během provozu vstupuje chladivo/moderátor do spodní části aktivní zóny jako podchlazená voda a z aktivní zóny vychází jako nasycená pára. BWRX-300 používá stejné palivo, jaké se dnes používá ve většině reaktorů BWR. Konstrukce paliva je tvořena soustavou 10x10 78 palivových tyčí plné délky, 14 palivových tyčí částečné délky tyčí a dvou velkých centrálních vodních tyčí (IAEA, 2022).

c) Řízení reaktivity

Řízení reaktivity zajišťují regulační tyče s neutronovými absorbéry. Regulační tyče mají dva nezávislé způsoby pohybu řídicích tyčí - motoricky poháněné jemné pro řízení reaktivity během normálního provozu a hydraulické rychlé zasunutí během odstavení nebo v případě hrozícího nebezpečí (IAEA, 2022).

d) Chladicí systém reaktoru

BWRX-300 využívá chladicí systém, který je založen na principu přirozeného oběhu vody. To znamená, že voda v reaktoru cirkuluje bez použití čerpadel nebo jiných mechanických zařízení. Místo toho je využívána gravitace a termální vlastnosti vody, aby se voda samovolně pohybovala v systému. Chladicí systém BWRX-300 obsahuje primární a sekundární okruh. V primárním okruhu se voda zahřívá v reaktoru, kde slouží jako chladivo a absorbuje teplo vyprodukované štěpnou reakcí. Sekundární okruh obsahuje vodu s nižší radioaktivitou, která se používá jako primární zdroj páry pro pohánění turbín (IAEA, 2022).

4) Bezpečnost a provozní prvky

a) Systém pro odstraňování tepla z rozkladu

Běžný chladicí systém s odvodem odpadního tepla, se skládá ze dvou samostatných systémů čerpadla a výměníku tepla. Tyto systémy poskytují redundantní schopnosti chlazení rozpadovým teplem. Hlavními součástmi jsou čerpadla a výměníky, dále ventily, potrubí, přístroje a ovládací prvky a napájecí zdroje (IAEA, 2022).

b) Systém nouzového chlazení jádra

Systémy nouzového chlazení jádra pro BWRX-300 je systém izolačního kondenzátoru (ICS). ICS odvádí rozpadové teplo po každém odpojení a odstavení reaktoru z provozu za normálních nebo abnormálních podmínek. ICS se skládá ze tří nezávislých smyček, z nichž každá obsahuje výměník tepla a izolační kondenzátor (IC) o výkonu přibližně 33 MW. Potrubí ICS kondenzují páru z RPV na vnitřním povrchu a předávají teplo na vnějším povrchu do bazénu IC, který je pod atmosférickým tlakem. Tato kondenzace páry a gravitace umožňují, aby se BWRX-300 chladil minimálně sedm dní bez napájení nebo zásahu obsluhy (IAEA, 2022).

5) Bezpečnost a provozní výkonnost zařízení

Přístup "obranu do hloubky" použitý u BWRX-300 má za následek frekvenci poškození jádra při interních událostech méně než 10^{-7} za rok a četnost velkých úniků méně než 10^{-7} za rok. Získané zkušenosti a nejlepší a osvědčené postupy reaktorů BWR byly použity u reaktoru BWRX-300 (IAEA, 2022).

6) Přístrojové a řídicí systémy

Systém I&C BWRX-300 (označovaný také jako Distribuční řídicí a informační systém nebo "DCIS") je zcela integrovaný řídicí a monitorovací systém elektrárny. Celkový systém I&C je rozdělen na systémy - bezpečnostní třída 1, bezpečnostní třída 2/3 a ne-bezpečnostní (IAEA, 2022).

7) Uspořádání rozmístění zařízení

Referenční místo pro BWRX-300 má rozlohu 260 x 332 m. Tento prostor se skládá z reaktorové budovy, turbíny a dalších částí, řídicí budovy a budovy s radioaktivním odpadem. Plocha energetického bloku je přibližně 140 m x 70 m. Nad PCV je umístěn vodní bazén. Tři

bazény ICS se nacházejí vedle bazénu nad PCV, přičemž v každém bazénu je umístěn jeden ICS. V řídicí budově se nachází řídicí místnost, elektrické, kontrolní a přístrojové vybavení. Turbínová budova uzavírá turbínu, generátor, hlavní kondenzátor, systémy kondenzátu a napájecí vody, systém čištění kondenzátu a systém vypínání plynu (GE Power, n.d.).

8) Stav licencování

BWRX-300 prošel předběžným posouzením Úřadem pro jadernou regulaci Spojeného království (ONR), Komisí pro jadernou regulaci Spojených států (U.S. NRC) a Kanadskou komisí pro jadernou bezpečnost (CNSC). Ve Spojeném království prošel BWRX-300 hodnocením, které financovalo britské ministerstvo pro obchod, energetiku a průmyslovou strategii (Department for Business, Energy and Industrial Strategy), a to na základě projektu Mature Technology. V USA bylo předloženo a schváleno pět tematických zpráv o licencování (Licensing Topical Reports, LTR) pro konstrukční prvky a analytické metody, které jsou považovány za rizikové z hlediska regulace (GE Power, n.d.).

9) Palivový cyklus

BWRX-300 má stejný otevřený palivový cyklus jako provozované reaktory BWR. Odstávky pro doplňování paliva trvají 10-20 dní podle počtu palivových souborů, které je třeba vyměnit s ohledem na vytížení cyklu elektrárny. Délku cyklu 12 až 24 měsíců lze přizpůsobit potřebám zákazníka. Přibližně 32 svazků se vyměňuje po 12měsíčního cyklu a 72 svazků po 24měsíčním cyklu (GE Power, n.d.).

10) Plán odpadového hospodářství a likvidace

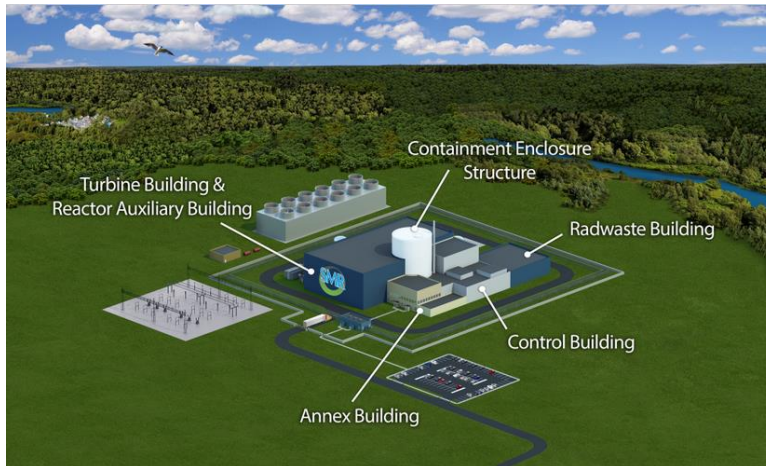
BWRX-300 využívá poznatky a osvědčené postupy získané během desetiletí provozních zkušeností v oblasti nakládání s odpady a jejich likvidace. Vzniklý odpad bude tříděn pro optimální zpracování, skladování a konečné likvidace. Plynné odpady budou z parního systému odstraňovány pomocí vzduchových ejektorů s parním paprskem a budou procházet vrstvami dřevěného uhlí pro absorpci (IAEA, 2022).

11) Rozvojové milníky

- 2017 – Zahájení koncepčního návrhu
- 2018 – BEIS financuje hodnocení vyspělé technologie UK ONR
- 2019 – Zahájeny činnosti před podáním žádosti u US NRC

- 2020 – zahájena fáze 1 a 2 přezkoumání návrhu dodavatele s kanadskou CNSC.
- 2021 – BWRX-300 vybrán OPG po rozsáhlém hodnocení všech SMR.
- 2022 – Plánované předložení licence k výstavbě pro DNNP-1 ze strany OPG.
- 2028 – Plánovaný komerční provoz hlavního reaktoru BWRX-300 (IAEA, 2022).

2.11.3 SMR-160 (Holtec International, United States of America)



Obrázek 8 – Jaderná elektrárna SMR-160, zdroj: www.holtecinternational.com

1) Úvod

Reaktor SMR-160 vyvinula společnost Holtec International jako pokročilý malý modulární reaktor PWR s tepelným výkonem 525 MW. Konstrukce elektrárny zahrnuje robustní pasivní bezpečnostní systémy. V souladu s konstrukční filozofií společnosti Holtec je reaktor SMR-160 navržen jako elektrárna "bezpečná při odchodu" - pro zvládnutí projektových havárií a bezpečné odvedení rozpadového tepla nejsou nutné žádné zásahy obsluhy. Elektrárna je oproti běžným elektrárnám značně zjednodušena, aby se zlepšila její vyrobiteľnosť, kontrolovateľnosť a udržiteľnosť. Modulárny plán výstavby SMR-160 zahrnuje výrobu a montáž největších přepravitelných komponent před příjezdem na místo (Holtec International, n.d.).

2) Cílová aplikace

Primárním využitím SMR-160 je výroba elektřiny s volitelným kogeneračním zařízením (tj. výroba vodíku, skladování tepelné energie, dálkové vytápění, odsolování mořské vody). Konstrukce je snadno konfigurovatelná pro umístění v lokalitách s nedostatkem vody s využitím patentované technologie vzduchem chlazeného kondenzátoru společnosti Holtec International. Zařízení SMR-160 je schopno izolovaného provozu, což z něj činí ideální zařízení pro destinace s nestabilními energetickými sítěmi nebo pro aplikace mimo síť (IAEA, 2022).

3) Hlavní konstrukční vlastnosti

a) Filozofie návrhu

Ochrany do hloubky je dosaženo zahrnutím pasivních bezpečnostních chladicích systémů a aktivních nebezpečnostních systémů v rámci NSSS, přičemž všechny kritické komponenty jsou instalovány pod úroveň terénu a chráněny robustní konstrukcí ochranného krytu (IAEA, 2022).

b) Jádro reaktoru

Aktivní zóna reaktoru obsahuje standardní palivové soubory PWR o rozměrech 17x17, které jsou komerčně dostupné, spolu s typickými řídicími tyčemi poháněnými magnetickým zvedákem. Vnitřní části reaktorové nádoby podpírají aktivní zónu reaktoru, sestavy regulačních tyčí a hřídele pohonu regulačních tyčí v RPV. Aktivní zóna je navržena pro nominální dvouletý cyklus s možností kratších nebo delších cyklů v závislosti na požadavcích provozovatele (IAEA, 2022).

c) Řízení reaktivity

Dlouhodobou regulaci reaktivity zajišťují spalitelné absorbéry, které jsou součástí paliva. Krátkodobé změny reaktivity jsou řízeny úpravou rozpustného boru a pohyby řídicích tyčí (IAEA, 2022).

d) Chladicí systém reaktoru

Chladicí systém SMR-160 pracuje výhradně na základě přirozené cirkulace vyvolané rozdílem hustoty v primární vrstvě, výškou tlakové nádoby reaktoru a parogenerátoru. V systému nejsou žádná čerpadla chladiva reaktoru. Chladicí systém se skládá ze tří hlavních částí: tlakové nádoby reaktoru, parogenerátoru a chladicího systému integrovaného přetlakového reaktoru (IAEA, 2022).

4) Bezpečnost a provozní prvky

Bezpečnostní základna SMR-160 zahrnuje ochranu prostřednictvím četných cest pro odvádění rozpadového tepla. Všechny bezpečnostní systémy jsou umístěny uvnitř konstrukce ochranného obalu, a jsou tak bezpečně chráněny před vnějšími hrozbami. Veškerá potřebná doplňovací voda pro předpokládanou havárii se ztrátou chladicího média se nachází uvnitř kontejnmentu (Holtec International, n.d.)

a) Systém nouzového chlazení jádra

Systém Pasivní systém chlazení jádra je navržen tak, aby zajišťoval nouzové chlazení aktivní zóny a doplňování paliva během havárií. Systém využívá pasivní prostředky, jako je přirozená cirkulace pro chlazení aktivní zóny a expanze stlačeného plynu, bez použití aktivních komponent, jako jsou čerpadla. PCS se skládá ze čtyř hlavních subsystémů: i) primární systém odvodu tepla z rozpadu; ii) sekundární systém odvodu tepla z rozpadu; iii) automatický systém snižování tlaku (ADS) a iv) pasivní systém doplňování aktivní zóny (IAEA, 2022).

b) Kontejnment

Kontejnment SMR-160 se skládá z ocelové kontejnmentové konstrukce. Železobetonová konstrukce poskytuje ochranu před vnějšími mimořádnými událostmi. Kromě toho, že zabraňuje úniku radioaktivních štěpných produktů do životního prostředí, kontejnment funguje jako velký pasivní výměník tepla. Pasivní systém odvodu tepla ochlazuje objem kontejnmentu a velká plocha pro přenos tepla a vysoká vodivost kovové stěny kontejnmentu má za následek téměř okamžité odvedení tepla do okolí (IAEA, 2022).

5) Uspořádání rozmístění zařízení

a) Konstrukce ochranného krytu

Reaktor SMR-160 je umístěn v prostoru kontejnmentu, který je vložen konstrukčního ochranného obalu kontejnmentu tvořenou ocelobetonovými moduly. Ochranný obal je odolný proti raketovému útoku a chrání reaktor a bezpečnostní systémy před vnějšími vlivy nebo sabotáží. Téměř polovina kontejnmentu a ochranného obalu je vestavěna pod zemí, v těchto strukturách jsou umístěny všechny bezpečnostní systémy (IAEA, 2022).

b) Pomocná budova reaktoru

V této budově reaktoru se nachází pomocné systémy elektrárny. Budova je určena ke zpracování vyhořelého paliva pro suché dočasné skladování v areálu elektrárny v patentovaných modulech HI-STORM UMAX společnosti Holtec International bez jakýchkoli úprav standardního projektu elektrárny. Integrovaný systém kanystrů HI-STORM UMAX lze rovněž použít pro přepravu mimo lokalitu elektrárny do centralizovaného úložiště (IAEA, 2022).

c) Bilance elektrárny

Parní turbína a související systémy jsou umístěny v budově turbíny na úrovni terénu. SMR-160 má parní turbínu s bočním vývodem, volitelně konfigurovanou pro vzduchem chlazenou kondenzací. Systém elektrické energie se skládá z hlavního generátoru, hlavního transformátoru, pomocných transformátorů, dieselových generátorů a baterií třídy (IAEA, 2022).

6) Palivový cyklus

Palivový cyklus reaktoru SMR-160 je navržen tak, aby se při každém cyklu vyměnila přibližně jedna třetina palivových souborů v aktivní zóně. Vyhořelé palivo je krátkodobě skladováno v bazénu vyhořelého paliva, který je jedinečným způsobem chráněn ve stejném kontejneru jako reaktor (Holtec International, n.d.).

7) Plán odpadového hospodářství a likvidace

Nakládání s radioaktivním odpadem a jeho likvidace v případě reaktoru SMR-160 je jedinečným přínosem integrace technologií suchého skladování společnosti Holtec International. Po vyjmutí vyhořelého paliva z bazénu vyhořelého paliva může být veškeré vyhořelé palivo po dobu životnosti elektrárny uloženo na místě v soustavě modulů HI-STORM UMAX (podzemní vertikální skladovací sudy) (IAEA, 2022).

8) Rozvojové milníky

- 2012 – Zahájení koncepčního návrhu SMR-160
- 2015 – Dokončení koncepčního návrhu SMR-160
- 2020 – Dokončení předběžného projektu SMR-160
- 2023 – Připraveno ke komercializaci pomocí procesu založeného na stavebním povolení (IAEA, 2022)

3 CÍLE

3.1 Cíle

1. Formou sociologického (dotazníkového) šetření (výzkumu) zjistit u vybraného vzorku laické a odborné veřejnosti aktuální informace a názory týkající se bezpečnosti malých modulárních reaktorů a obdobných technologií. Zjištěná data vyhodnotit, graficky a statisticky zpracovat a diskutovat. Na jejich základě navrhnout možné přístupy ke zvýšení povědomí obyvatelstva o problematice bezpečnosti malých jaderných reaktorů.
2. Na základě rešeršní literární činnosti pojednat o současných technologických trendech týkajících se takzvaných malých modulárních jaderných reaktorů nejenom v rámci České republiky, ale i ve vybraných státech světa.
3. Pozornost zaměřit na malé modulární reaktory, jejichž použití se předpokládá v blízkosti obydlených oblastí. Zaměřit se na problematiku možností ochrany obyvatelstva v takto charakteristických oblastech.
4. Práci zpracovat v souladu s požadavky na formální úpravu závěrečných prací na FTK UP v Olomouci.

3.2 Výzkumné otázky

1. Jaké jsou možnosti ochrany obyvatelstva v oblastech, kde se předpokládá použití malých modulárních jaderných reaktorů v blízkosti obydlených oblastí?
2. Jaká je úroveň povědomí laické veřejnosti a jejich názory o problematice bezpečnosti malých jaderných reaktorů?
3. Jsou současné trendy ochrany proti účinkům ionizujícího záření vztažené na klasické jaderné reaktory aplikovatelné na reaktory typu SMR?
4. Jsou současné zákony a vyhlášky spadající do kategorie ochrany obyvatelstva dostatečně flexibilní a aplikovatelné na SMR?

4 METODIKA

Při zpracování závěrečné práce bylo využito několik vědeckých metod. Pro zpracování teoretické části byl proveden literární průzkum odborné literatury, webových stránek, elektronických dokumentů a právních předpisů v oblasti jaderné energetiky a malých modulárních reaktorů. Pro získání podkladů byly využity veřejně dostupné zdroje.

Základem praktické části bylo provedení výzkumu formou dotazníkového šetření u vzorku veřejnosti. Dotazník jsem vytvořil a následně diskutoval s panem prof. Ing. Pavlem Otřísačem, Ph.D., MBA a následně zavěsil na internetový portál survio.cz

4.1 Výzkumný soubor

Zpracovaný online dotazník jsem umístil pro co nejširší spektrum respondentů po dobu 31 dnů (1. 5. 2023 - 1. 6. 2023) na internetový portál Survio.com. Dotazník byl přístupný skrze přímý odkaz do webového nástroje (aplikace) Survio.com. Odkaz na dotazník jsem vyvěsil do několika facebookových skupin, ve kterých jsou zastoupeni převážně studenti a zaměstnanci Univerzity Palackého a současně jsem elektronickou formou s žádostí o vyplnění dotazníku oslovil příbuzné a přátele. Výhodou online dotazníku je snazší a levnější distribuce mezi respondenty, vyšší návratnost, anonymita a vyhodnocení dat v reálném čase. Nevýhodou naopak je hůře kontrolovatelný vzorek respondentů.

4.2 Metody sběru dat

Online dotazník byl polostrukturovaný, z celkového počtu 25 otázek bylo 15 uzavřených a respondent vybíral z několika uvedených možností. Jedna otázka byla formou stupnice, jedna otázka byla otevřená a respondenti kde psali svůj názor na téma a 8 otázek bylo polouzavřených, kdy respondenti měli na výběr z několika odpovědí, ale zároveň mohli svůj názor napsat.

První 3 otázky informativního charakteru o respondentovi zjišťovaly pohlaví, věk a nejvyšší dosažené vzdělání tak, aby bylo možné sledovat vzájemnou korelaci s dalšími odpověďmi na otázky.

Otázky 4 – 12 jsou směřovány na základní znalosti a přístup k obecné jaderné technologii a malých modulárních technologií, jejich výhody a negativa, využívání technologie SMR a otázky bezpečnosti. Zároveň tu byla otázka, která se přímo ptala na to, co si pod pojmem SMR respondenti představují.

Otázky 13 – 19 zjišťovaly jaký respondenti mají postoj k řešení různých problémů s využíváním jaderné elektrárny, jako jsou bezpečnost provozu, nakládání s jaderným odpadem, podpory strany státu při výstavbě SMR, otázky dopadu na životní prostředí atd...

Otázky 20 – 25 jsou zaměřeny na postoj veřejnosti k výstavbě SMR mimo naši republiku v oblastech s nízkou úrovní demokracie a státech, které nejsou tolik vyspělé. Dále je cíleno na možnou výstavbu SMR v ČR, a to v lokalitě JE Temelín, popřípadě preference výstavby SMR před klasickým reaktorem v oblasti JE Dukovany.

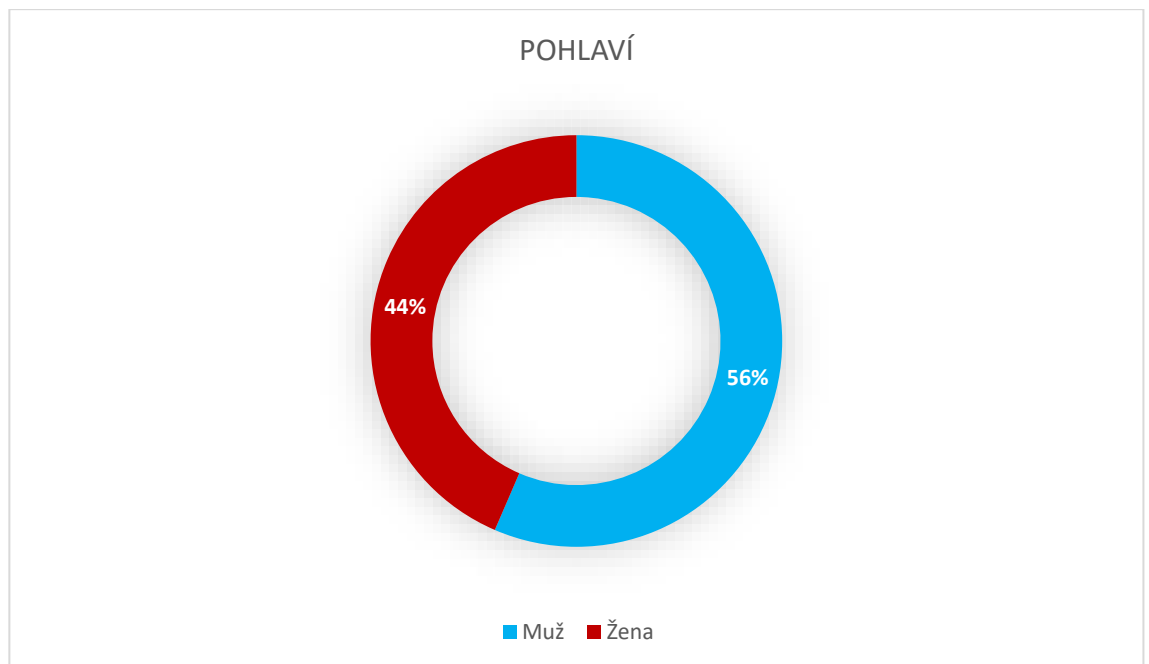
4.3 Statistické zpracování dat

Ke statistickému zpracování dat v diplomové práci slouží program Excel. Prvním krokem je výběr relevantních dat pro analýzu podle stanovených cílů práce. Pokud data nejsou ve formátu Excel, importujte data do programu.

Po importu jsou provedeny úpravy dat zahrnující například odstranění chybějících hodnot, vyřazení neplatných dat nebo přepočítání jednotek. Poté je strukturuje jako tabulku v Excelu a vytvoří grafy pro lepší vizualizaci a pochopení dat. V rámci příspěvku jsou vysvětleny a diskutovány výsledky statistické analýzy. Získané výsledky jsou porovnány se stanovenými předpoklady a pracovními cíli.

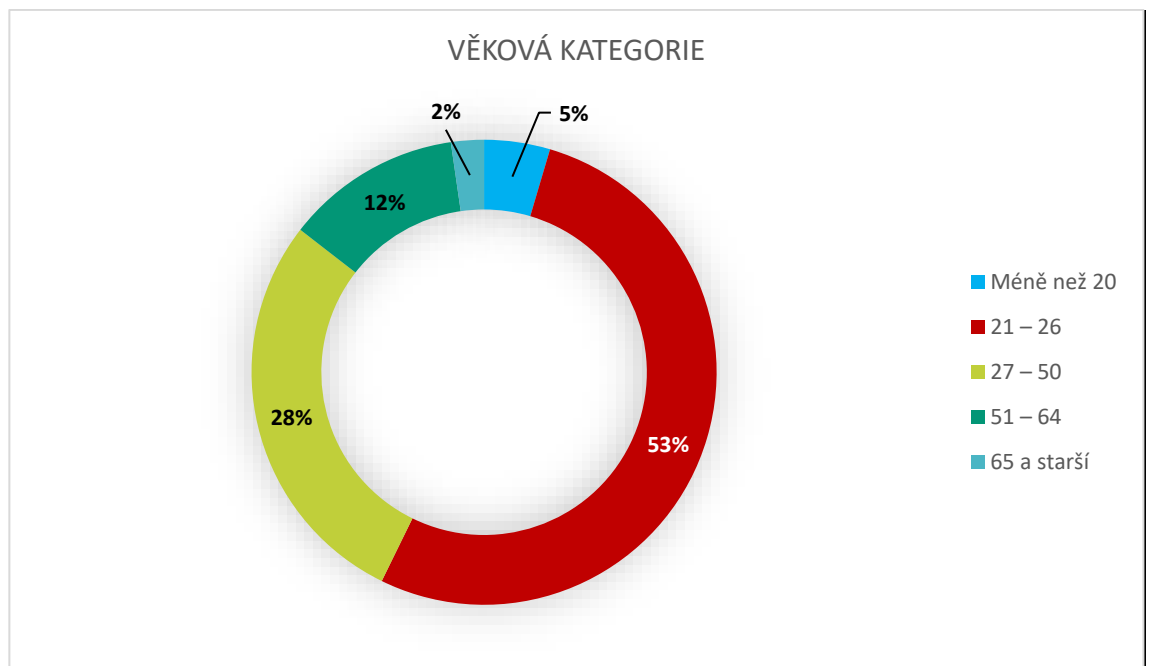
5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Otázka č. 1 – Jaké je vaše pohlaví



Graf 1 – Pohlaví respondentů, zdroj: vlastní zpracování

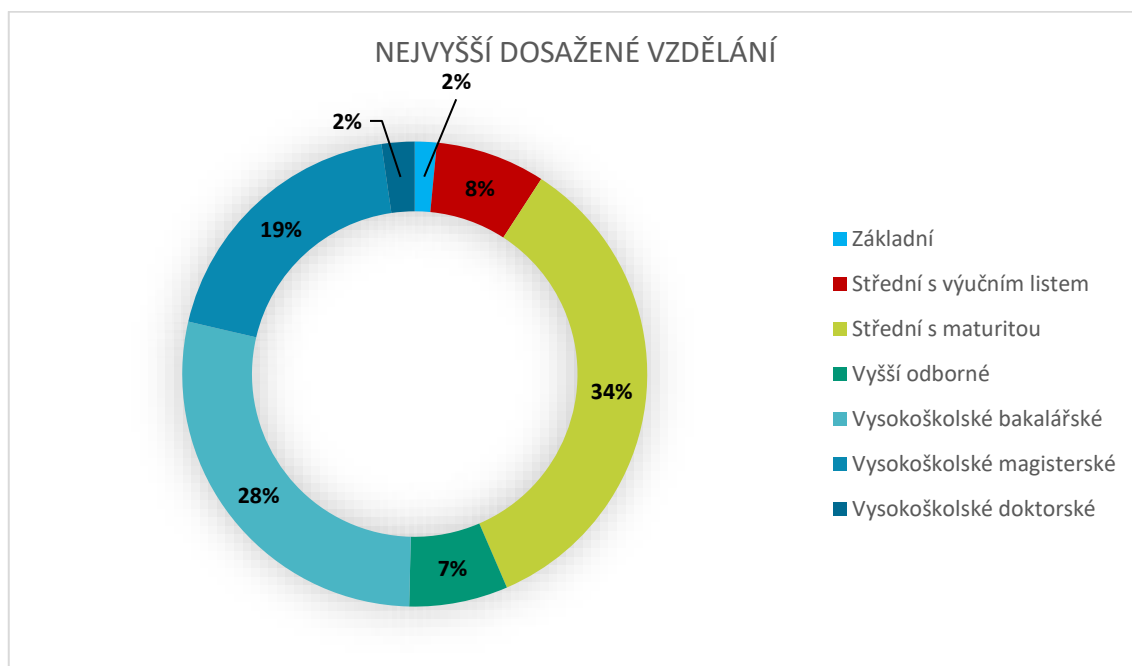
Otázka č. 2 – Do jaké věkové kategorie patříte ?



Graf 2 – Věková kategorie, zdroj: vlastní zpracování

Podle údajů získaných z této odpovědi můžeme zjistit, že největší procento odpovědí přišlo z věkové kategorie 21 – 26, dokonce více než půlka. U této části populace lze předpokládat, že je jejich technická gramotnost na veliké úrovni a je tedy velmi pravděpodobné, že o bezpečnosti SMR nebo o bezpečnosti samotných reaktorů slyšeli, nebo se dočetli. Na druhou stranu u starších ročníků může schopnost ovládat moderní techniku menší, za to ale mají větší zkušenosti, třeba s havárií jaderné elektrárny Černobyl, tudíž zde lze očekávat určitou míru skepse z nových jaderných technologií.

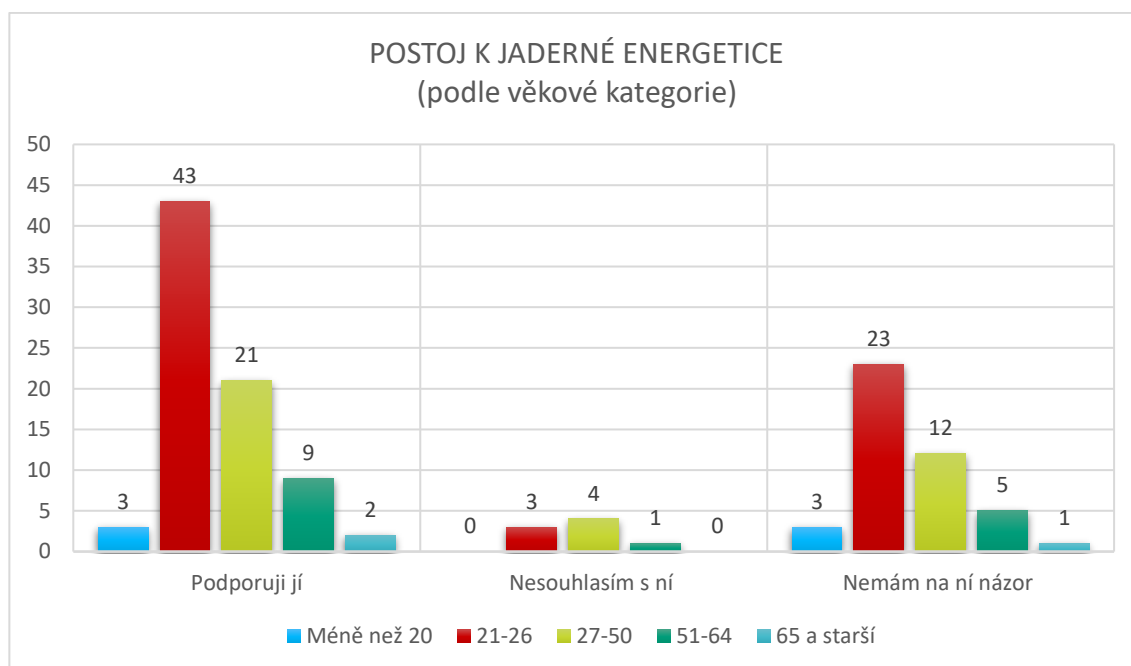
Otázka č. 3 – Jaké je Vaše nejvyšší dosažené vzdělání ?



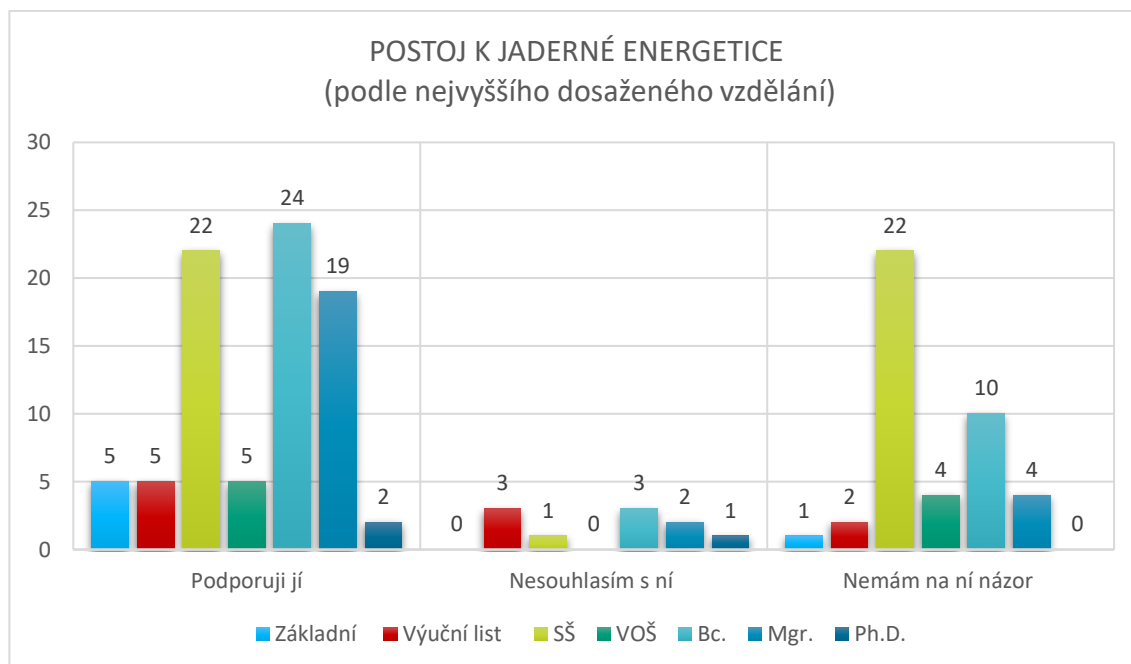
Graf 3 – Nejvyšší dosažené vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů koresponduje s předešlou otázkou, tedy věkovou kategorií. Ukazuje se, že nejfrekventovanější odpověď na dosažené vzdělání je střední škola s maturitou, vysokoškolské bakalářské a vysokoškolské magisterské, což odpovídá právě věkové kategorii 21 – 26. U starší věkové kategorie lze předpokládat, že dosažené vzdělání může být nižší z důvodu, že dříve bylo populárnější a dostupnější řemeslné vzdělání, tedy s výučním listem, popřípadě vyšší odborné. Samozřejmě to nebyvalo pravidlem, a i v těchto kategoriích nalezneme vysokoškolské vzdělání.

Otázka č. 4 – Jaký je Váš postoj k využívání jaderné energie obecně ?



Graf 4 – Postoj k používání jaderné energie podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování



Graf 5 – Postoj k používání jaderné energie podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

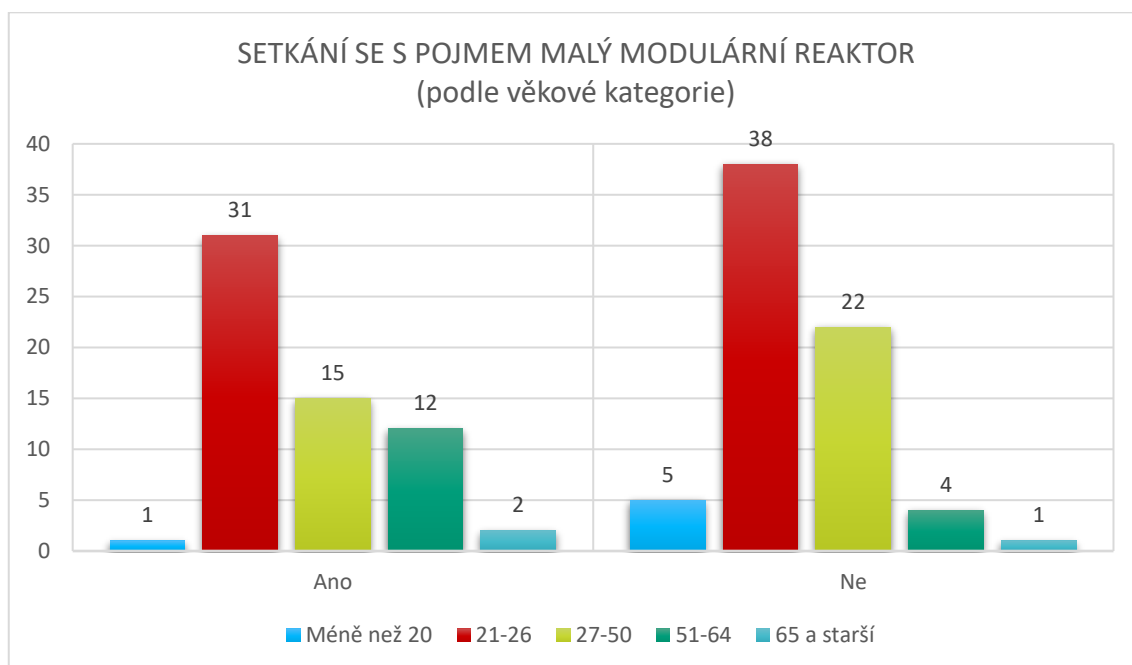
Stejně jako u rozdělení podle věkové kategorie, tak i u vzdělání a názoru na jadernou energetiku jsou si čísla dost podobná. Ve výsledcích se odráží nejpočetnější věková skupina (21 – 26) a to i v nejvyšším dosaženém vzdělání. Výsledky ukazují, že největší podpora využívání

jaderné energie pochází od vzdělanější skupiny. Vysokou podporu jaderné energetiky vykazovali respondenti s vysokoškolským bakalářským (Bc.) nebo magisterským (Mgr.) vzděláním. Z tohoto údaje vyplývá, že informovanost této vysokoškolské skupiny ohledně jaderné energetiky bude na velké úrovni. Lze předpokládat, že dávají přednost jaderné energii před elektrárnami spalující fosilní palivo. Jedna z variant, proč tomu tak je, je preference nulových emisí při provozu jaderné elektrárny oproti tepelným elektrárnám spalující fosilní palivo.

Naproti tomu základní a střední školství vykazovalo menší podporu využívání jaderné energie a častěji vyjadřovalo neutrální nebo protichůdné postoje. Důvodem, proč tomu tak je, může být několik. Z mého pohledu se opět jedná o informovanost dané skupiny o bezpečnosti provozu jaderných elektráren. Samozřejmě výsledkům nenapomáhá konflikt, který probíhá na Ukrajině s Ruskou federací ani Ruský útok na záporožskou elektrárnu, která je svým výkonem největší v Evropě, nebo protržení Kachovské přehrady na jejímž břehu elektrárna leží. Důležitým činitelem pro větší podporu jaderné energetiky je tedy větší osvěta a lepší informovanost o technologiích.

U této otázky jde vidět, jak je ovlivněna dosaženým vzděláním, se kterým souvisí vyhledávání informací a ověřování si jich.

Otázka č. 5 - Setkal/a jste se někdy s pojmem malý modulární reaktor ?



Graf 6 – Setkání s pojmem SMR podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování

Na otázku, jestli se respondenti někdy setkali s pojmem malý modulární reaktor, jsou odpovědi velmi vyrovnané. Ve všech věkových kategoriích, kromě kategorie 51–64, kde převládá odpověď kladná, převažuje negativní odpověď, tedy že se s pojme „malý modulární reaktor“ nesetkali.

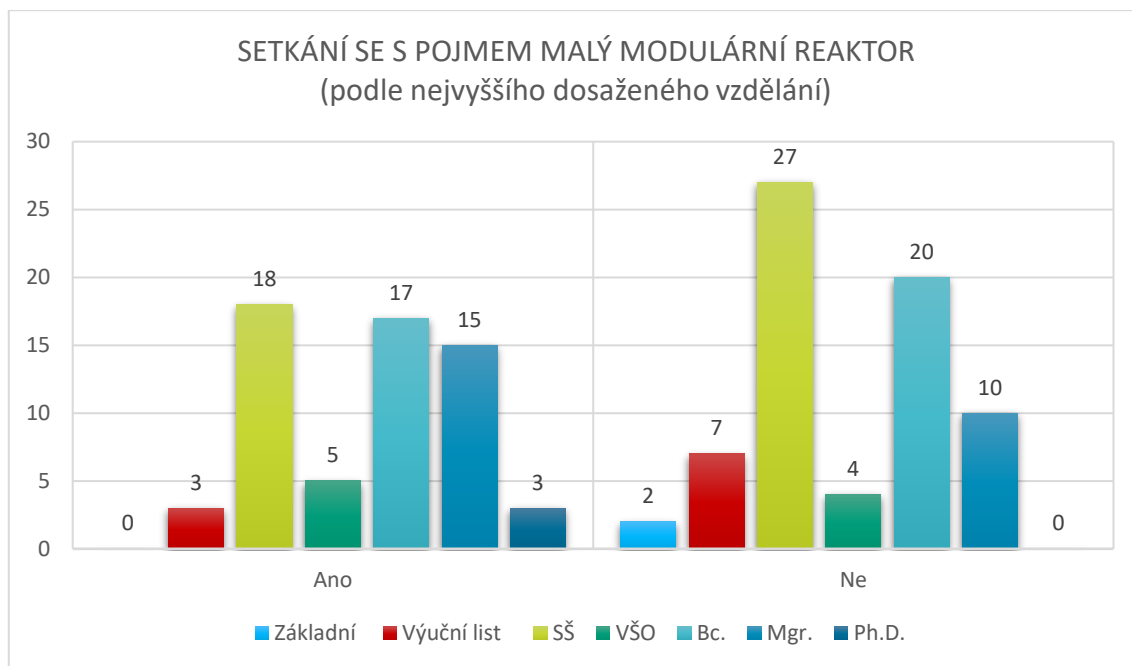
Co se týče mladší populace (méně než 20), vysvětlením může být, že většina škol se zaměřuje na základní koncepty energetiky, obnovitelných zdrojů a změny klimatu, takže ponechává jen malý prostor pro diskusi o jaderné energii a malých modulárních reaktorech.

Kromě mladší věkové kategorie (méně než 20) i ta starší věková skupin (21–50) vykazuje vyrovnané výsledky, i tak ale převažují víc ty záporné. V tomto případě se jedná o absenci informací z nejfrekventovanějšího zdroje, tedy z médií. Mediální pokrytí SMR nemusí být tak rozsáhlé jako jiná energetická témata. Většina médií se zaměřuje na aktuální dění, politiku a sociální témata, zatímco jaderná energetika a malé modulární reaktory mohou odsouvat na okraj veřejného zájmu. To znamená, že lidé často nemají možnost dozvědět se o těchto tématech prostřednictvím mainstreamových médií. Navíc může být omezená dostupnost aktuálních informací. Pokud informace o malých modulárních reaktorech nejsou široce dostupné nebo aktivně sdílené na online platformách, může být pro tuto skupinu lidí obtížné se s tímto konkrétním konceptem seznámit.

Jak tedy dostat povědomí o SMR mezi lidskou populaci? Prvním krokem je vzdělávání a školení. Musí začít u vzdělávacího systému a začlenit informace o SMR do školních a univerzitních osnov. Studenti by měli mít možnost se s těmito technologiemi a jejich výhodami seznámit. K šíření povědomí o této problematice mezi širší veřejností může přispět i pořádání workshopů, přednášek a diskusí na téma SMR.

Dalším důležitým faktorem jsou komunikační a informační aktivity. Informační kampaň zaměřená na SMR může pomoci veřejnosti lépe porozumět jejich principům, výhodám a bezpečnosti. Tyto kampaně by měla veřejnost přijmout a pochopit a měla by využívat různá média, včetně tištěných materiálů, webových stránek, videa a sociálních médií.

Neméně důležitým opatřením je podpora výzkumných a vývojových aktivit. Investice do výzkumu a vývoje v oblasti SMR mohou vést ke zlepšení technologií, zvýšení jejich účinnosti a bezpečnosti. Podpora inovací a financování projektů souvisejících s malými modulárními reaktory může přitáhnout pozornost a zvýšit povědomí o této technologii.



Graf 7 – Setkání s pojmem SMR podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Oproti otázce, která byla zaměřena na věk, tato naznačují, že úroveň vzdělání může ovlivnit míru, s jakou se respondenti setkávají s pojmem malý modulární reaktor. Respondenti s vyšším vzděláním, zejména ti s bakalářským (Bc.) a magisterským (Mgr.) titulem, jsou o technologii více informováni. Jsou si vědomi potřeby najít udržitelné zdroje energie s nízkým obsahem CO₂, které pomohou snížit emise skleníkových plynů a chránit životní prostředí. SMR může být jednou z možností, kterou vzdělaní lidé chápou a podporují jako součást udržitelné energetické budoucnosti. Zároveň je zřejmé, že méně často se s tímto pojmem setkají respondenti s nižší úrovní vzdělání.

Tento výsledek zdůrazňuje potřebu zvýšení povědomí a vzdělávání veřejnosti o nových technologiích v oblasti jaderné energetiky. Prvním krokem je vzdělávání a školení. Musí začít u vzdělávacího systému a začlenit informace o SMR do školních a univerzitních osnov. Studenti by měli mít možnost se s těmito technologiemi a jejich výhodami seznámit. K šíření povědomí o této problematice mezi širší veřejností může přispět i pořádání workshopů, přednášek a diskusí na téma SMR. Zvyšování povědomí a vzdělávání přispívá k objektivnějším diskusím a rozhodování o využití malých modulárních reaktorů v energetice.

Dalším důležitým aspektem budoucího výzkumu je zjistit, proč se někteří respondenti s pojmem SMR neseťkali. Tyto informace mohou poskytnout užitečný vhled do faktorů, které ovlivňují povědomí o této technologii, a mohou pomoci vyvinout vhodné komunikační strategie pro sdělování informací veřejnosti.

Otázka č. 6 – Popište, co si pod pojmem malý modulární reaktor představujete?

V této otevřené otázce jsem nechal respondentům volný průběh kreativity a myšlenkovým pochodům a některé výsledky, které jsem obdržel, mě mile překvapili. Samozřejmě tu byla řada odpovědí, které byly typu „nevím“, „nic“, atd...

V textu níže jsem vypsals některé odpovědi, ze kterých jsem měl radost a popisují buď celkově, nebo alespoň z části principy malých modulárních reaktorů.

„Reaktor určený k výrobě elektrické energie pomocí jaderného štěpení, který je nejspíše podstatně menší než normální velké reaktorové bloky. Budované nejspíše za účelem úspory místa, času výstavby, bezpečnosti, ale na úkor výkonnosti a produkci vyrobené elektřiny.“

„Zdroj elektrické energie z jádra, který je ovšem menší, než standardní JE. Obdoba jaderných reaktorů v ponorkách. Modularitu chápu v jeho přizpůsobení se prostředí a technickým podmínkám instalace.“

„Představuji si pod tímto pojmem malou jadernou elektrárnu zabezpečující lokální zdroj elektrické třeba pro menší město.“

„Může být vyráběn jako hotový produkt a následně instalován na místě. Tyto reaktory mají obvykle výkon do 300 MW.“

„Reaktor určený k výrobě elektrické energie pomocí jaderného štěpení, který je nejspíše podstatně menší než normální velké reaktorové bloky. Budované nejspíše za účelem úspory místa, času výstavby, bezpečnosti, ale na úkor výkonnosti a produkci vyrobené elektřiny.“

„Reaktor s výkonem do 300mw, který bude moct být sériově vyráběn, a proto bude jeho výroba i výstavba o poznání rychlejší a levnější“

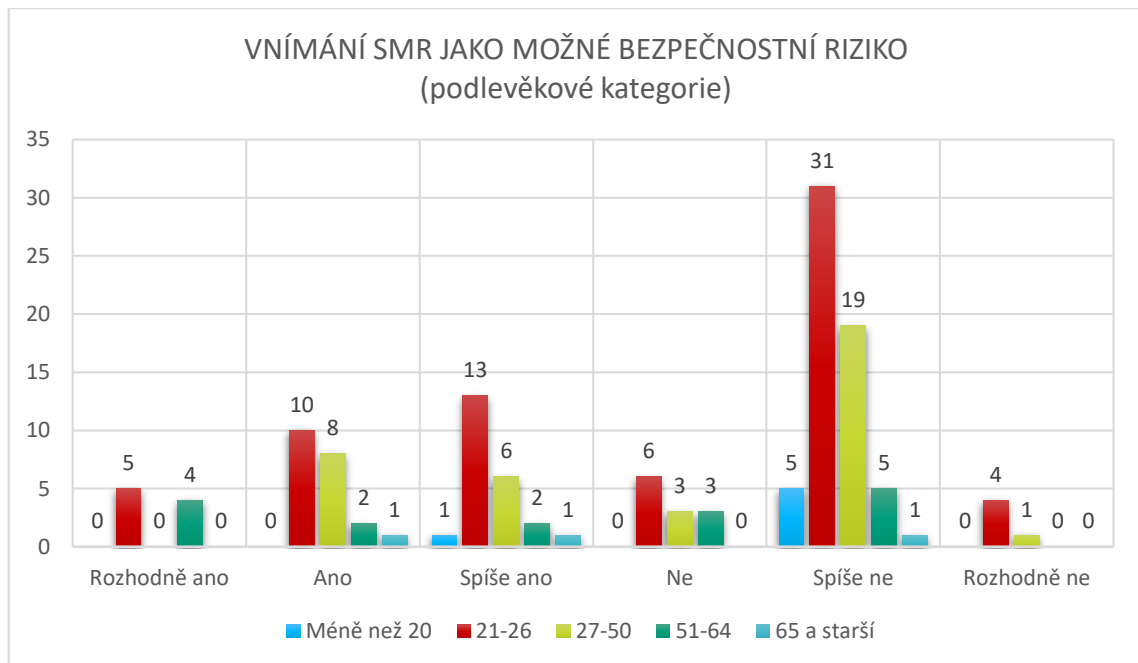
„Reaktor složený z menších celků, které lze vyrobit samostatně a následně na daném místě smontovat.“

Tyto odpovědi svědčí o tom, že někteří respondenti mají dostatečné povědomí o tom, co technologie SMR znamená a jaké je jejich využití. Často se odpovědi shodovali v otázce modularity, z toho usuzuji, že část veřejnosti dobře chápe, co to modularita znamená a jaké je její využití v oblasti energetiky, tedy u SMR, a jak moc by to zrychlilo celý proces od výroby až po výstavbu SMR. Pár jedinců dobře odpovědělo i na výkon malého reaktoru, tedy že se jedná o reaktory schopného výkonu do 300MW a že tedy nejde o konvenční reaktory používané v jaderných elektrárnách v současnosti, to u těchto jedinců opět odráží výbornou orientaci.

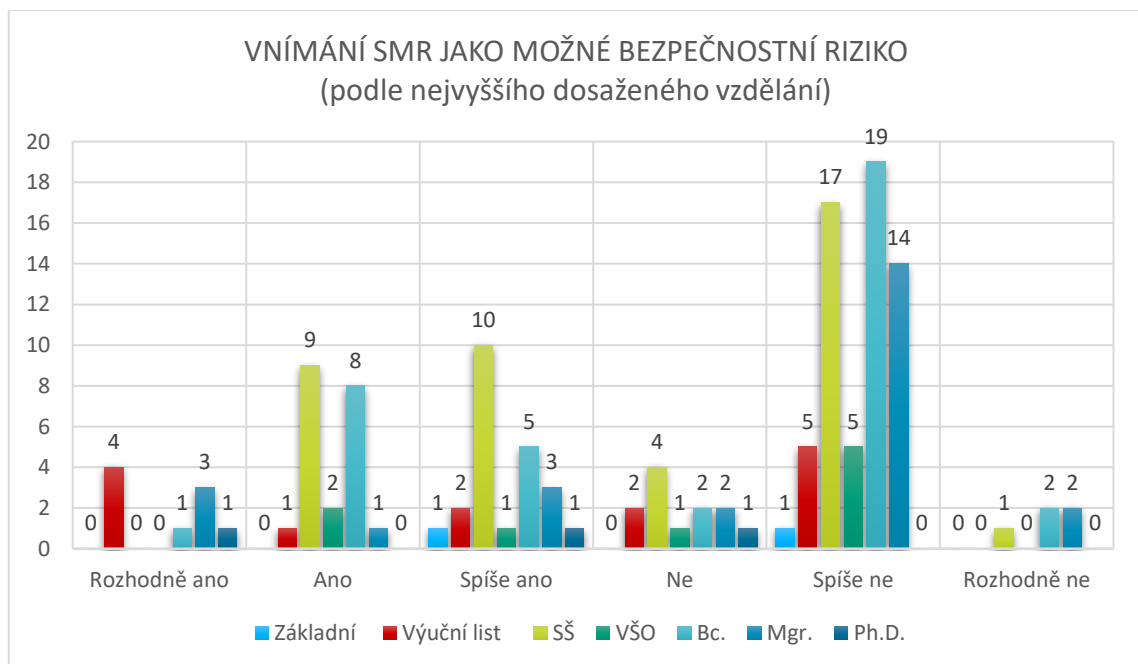
Jak jsem zmiňoval, některé výsledky mě mile překvapili bohužel se dost jedinců této odpovědi vyhnulo nebo nechtěli odpovědět, je možné že to je právě z nevědomosti,

z nedostatku informací o technologii, a proto je potřeba se zaměřit na veřejnost a na toto téma s nimi více komunikovat.

Otázka č. 7 - Mohou malé modulární reaktory představovat bezpečnostní riziko?



Graf 8 – Vnímání SMR jako bezpečnostní riziko podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování



Graf 9 – Vnímání SMR jako bezpečnostní riziko podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

U obou grafů této otázky lze jednoznačně vidět, že veřejnost chápe SMR jako bezpečný zdroj energie, který v budoucnu může být velmi důležitý a rozhodující. Stejně jako u každé otázky nebo technologie se najde několik odpůrců, ale to může být způsobeno nevědomostí o SMR a jak s tímto nedostatkem informací nakládat, tak jak bylo uvedeno výše. Co je ovšem velmi pozitivní, jsou odpovědi „ne“, „spíše ne“ a „rozhodně ne“. Když tyto tři odpovědi spojíme, dostaneme 73 odpovědí, že SMR pro tuto skupinu lidí nepředstavuje riziko a byli by tedy s největší pravděpodobností pro výstavbu těchto reaktorů. Vyplývá tedy otázka, jak nejenom tuto skupinu, ale hlavně tu, která vnímá SMR jako bezpečnostní riziko, přesvědčit o tom, že je to technologie bezpečná a čistá?

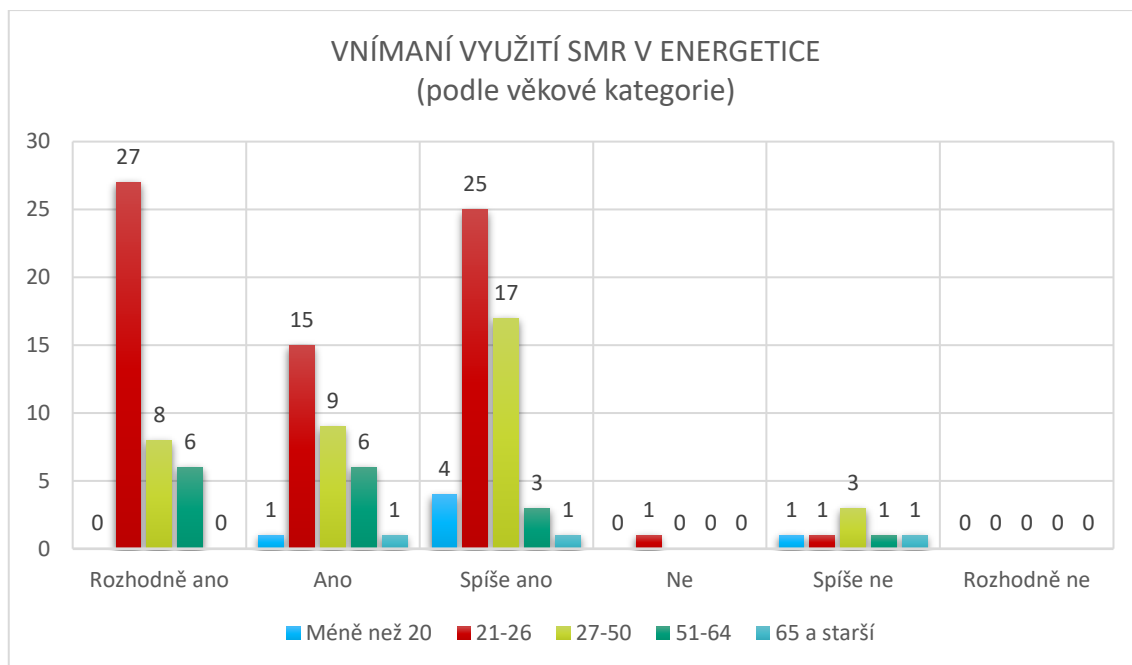
K jaderné energii panuje široká nedůvěra a obavy z jejích potenciálních rizik. Lidé se mohou obávat možného dlouhodobého působení jaderného odpadu, úniku radiace nebo nedostatečné ochrany před teroristickými útoky. Tyto obavy mohou posílit přesvědčení, že SMR představují nová rizika jako nový typ jaderné energie. Termín „malý modulární reaktor“ by mohl být mylně interpretován jako menší než konvenční jaderná elektrárna, a tudíž potenciálně méně bezpečný. Lidé mohou k novým technologiím přistupovat opatrněji a považovat je za neosvědčené, a tedy i rizikovější.

Důležitým a dle mého názoru hlavním faktorem jsou minulé jaderné havárie. Havárie jako Černobyl a Fukušima, nebo útok na Záporožskou jadernou elektrárnu zanechaly v lidech hluboký dojem a mohou vyvolat obavy o bezpečnost jaderných technologií obecně, včetně SMR. Přestože jsou tyto havárie způsobeny specifickými okolnostmi a technologiemi, přispívají k obecným obavám z potenciálních rizik jaderné energetiky.

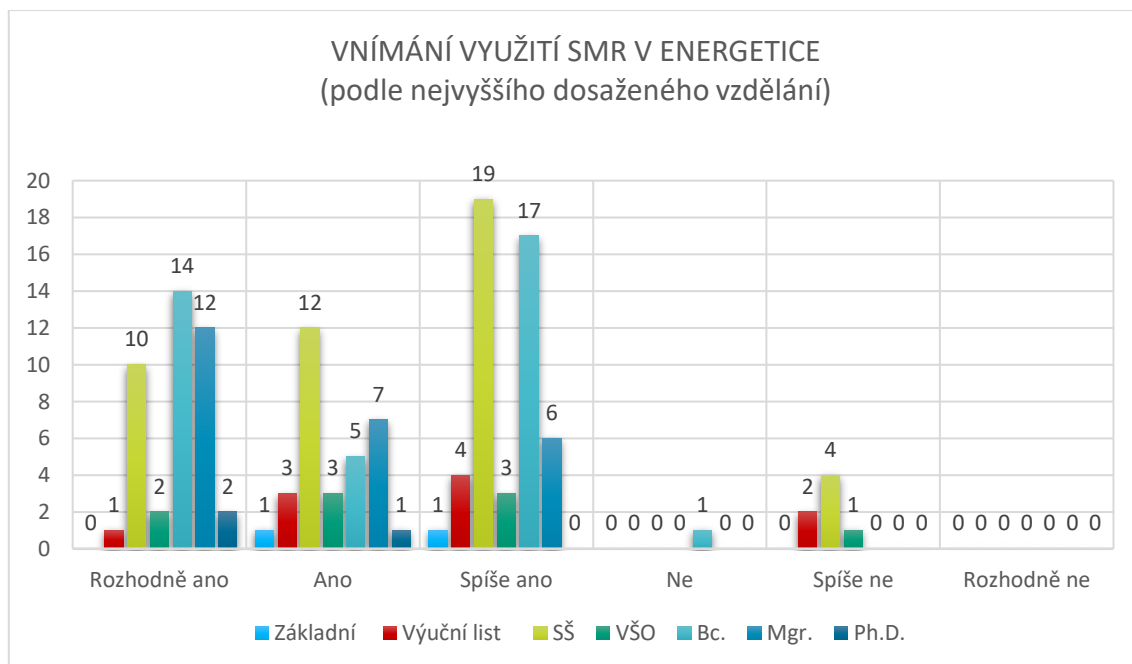
Nutno ale říci, že jaderné elektrárny, ale hlavně i SMR jsou zabezpečeny velmi dobře. Co se týče SMR a jejich bezpečnostních opatření, jsou na vysoké úrovni, a to především díky samotnému modulárnímu designu (ten je navržen tak, aby byly modulární a jednodušší než klasické jaderné elektrárny. To umožňuje snadnější ovládání, monitorování a údržbu systému. Modulární přístup také umožňuje testovat a opravovat jednotlivé moduly bez odstavení celého reaktoru, což zvyšuje flexibilitu bezpečnosti a minimalizuje riziko odstávek.) anebo pasivního bezpečnostního systému (SMR typicky používají pasivní bezpečnostní systémy, které se spoléhají na přírodní jevy a fyzikální principy, aby se snížilo riziko kolize. Tyto systémy minimalizují závislost na lidském zásahu a elektřině. Jedním z příkladů je chladicí systém s přirozenou cirkulací, který využívá termodynamických vlastností vody nebo jiných chladicích kapalin k chlazení reaktoru i v případě výpadku proudu.) Mimo jiné se počítá se zapuštěným designem

SMR, tedy že by část elektrárny byla skryta pod povrchem země, což by vyústilo k lepší ochraně před ionizujícím zářením v případě jaderné havárie.

Otázka č. 8 - Mohly by být tyto reaktory využívány v oblasti energetiky?



Graf 10– Vnímání využití SMR v energetice podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování

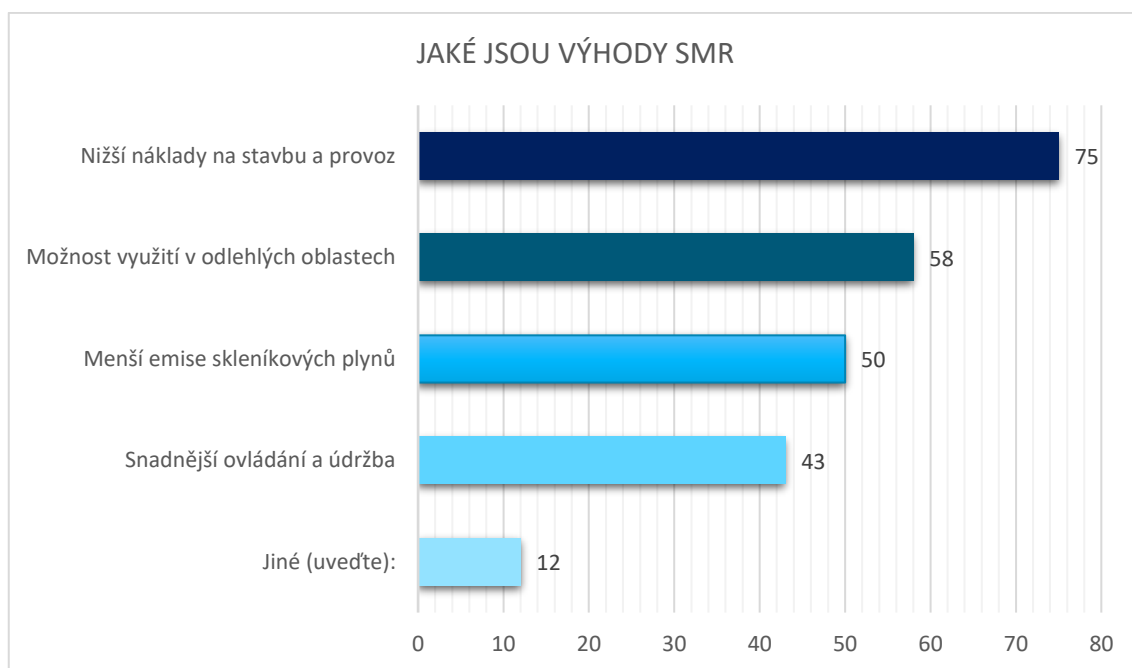


Graf 11 – Vnímání využití SMR v energetice podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Otázka, která úmyslně navazuje na otázku vnímání SMR jako bezpečnostní riziko. Veřejnost vnímá SMR jako budoucí potencionální zdroj energie nehledě na věk nebo na vzdělání. Oproti výsledkům v předešlé otázce jde vidět, že trend odpovědí v této otázce jde směrem k velké důvěře v tuto technologii. Pouze 7 respondentů v nevnímá SMR jako budoucí možný zdroj elektrické energie, naopak téměř 95% v SMR věří. Více než třetina odpovědí na otázku byla „spíše ano“. V předešlé otázce, jestli SMR mohou představovat bezpečnostní riziko odpovědělo 61 respondentů „spíše ne“. Tyto čísla jsou si podobná a lze na nich pozorovat, že lidé mají v SMR důvěru, ale nejsou touto technologií přesvědčeny do takové míry, aby se za ní rezolutně postavili. I nejvyšší dosažené vzdělání jsou si v obou otázkách v počtu odpovědí blízko. To jenom potvrzuje již zmíněný fakt, že je potřeba o tomto tématu mluvit a šířit potřebné informace, aby lidé měli větší důvěru v jadernou energetiku.

Oproti bakalářskému a středoškolskému vzdělání můžeme u magisterského a doktorského vidět vzestupnou tendenci směrem k úplnému přesvědčení o SMR a jaderné energetice. To si vysvětlují tím, že lidé s vyšším vzděláním mají tendenci hlouběji chápat vědecké principy a techniky, mají lepší pochopení fyzikálních a chemických procesů, které probíhají v jaderných reaktorech. To jim umožnilo lépe pochopit, jak SMR fungují, a uvědomit si jejich potenciál jako čistého a spolehlivého zdroje energie. Jsou více nakloněni důvěře vědeckým důkazům a analýzám. Při hodnocení možnosti použití SMR se řídí dostupnými daty a studii hodnotícími jejich bezpečnost, účinnost a ekonomickou efektivitu. Tito lidé potřebují objektivní informace a spoléhají na vědeckou metodu hodnocení technologie.

Otázka č. 9 - Jaké jsou podle Vás největší výhody malých modulárních reaktorů?



Graf 12 – Výhody SMR, zdroj: vlastní zpracování

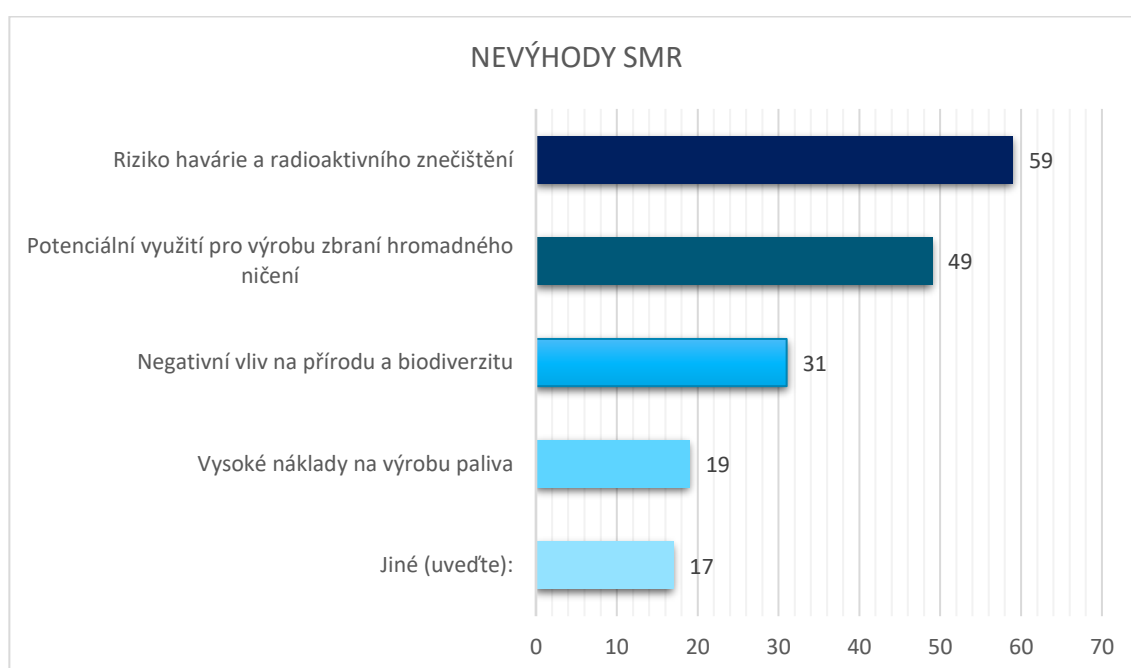
Nejfrekventovanější odpovědí této otázky bylo, že SMR mají nižší náklady na výstavbu a provoz. SMR má potenciál snížit investiční náklady ve srovnání s klasickými jadernými elektrárnami. Důvodem je jejich modulární konstrukce a menší velikost, která umožňuje jednotlivé reaktorové bloky vyrábět sériově a instalovat po etapách. To může snížit výrobní, materiálové a pracovní náklady potřebné k jejich vybudování. SMR jsou termodynamicky účinnější, umožňují efektivnější využití paliva a snižují potřebu častého doplňování paliva. Menší velikost reaktoru také usnadňuje výrobu a dopravu na místo instalace, což může snížit náklady spojené s výstavbou místa. Díky modulární konstrukci lze jednotlivé reaktorové bloky instalovat postupně podle potřeby a poptávky. To snižuje počáteční investiční náklady a minimalizuje riziko přeinvestování. S modularitou je úzce spjata i možnost výstavby elektráren na odlehlých místech, jediné, co je důležité pro samotnou výstavbu je kvalitní infrastruktura pro převoz modulů elektrárny

Možnost výstavby v odlehlých oblastech může tyto oblasti učinit energeticky nezávislými. Tyto oblasti často nemají přístup k síti nebo tradičním zdrojům energie, jako je zemní plyn. SMR poskytují schopnost vyrábět elektřinu na místě, čímž eliminují potřebu dlouhých a drahých přenosů energie. Vybudování SMR na takto odlehlých místech vyžaduje mimo jiné vybudování infrastruktury. To může zahrnovat výstavbu přenosových vedení, chladiřenských skladů,

skladovacích zařízení a dalších prvků infrastruktury. Tato investice může zlepšit životní podmínky a podpořit ekonomický rozvoj v daném regionu.

Co se týče odpovědí, která se týkala menších emisí skleníkových plynů, tato odpověď je jednoznačná, protože jaderný reaktor při svém provozu neprodukuje žádné skleníkové plyny oproti tepelným elektrárnám spalující fosilní paliva. Tuto možnost zvolila 1/3 dotázaných. Je tedy patrné, že tito respondenti mají zcela milnou představu o technologii výroby elektrické energie z jaderných zdrojů a tímto se opět dostáváme k tomu, že je malá informovanost o technologiích, které nejen využíváme v současnosti, ale plánujeme nadále používat a vyvíjet.

Otázka č. 10 - Jaké jsou podle Vás největší nevýhody malých modulárních reaktorů?



Graf 13 – Nevýhody SMR, zdroj: vlastní zpracování

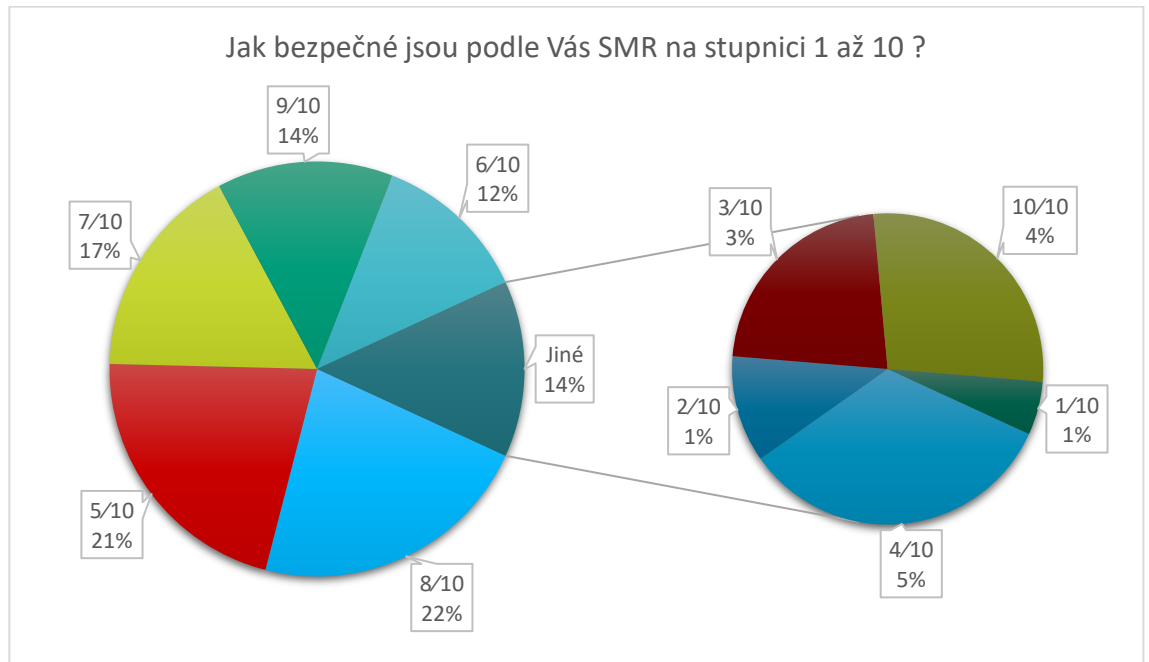
Z odpovědí vyplývá, že respondenti vidí různé nevýhody malých modulárních reaktorů. Nejčastěji uváděnými nevýhodami bylo riziko havárií a radioaktivního znečištění. Tato reakce ukazuje, že otázky bezpečnosti a potenciální dopady na životní prostředí jsou pro ně velmi důležité, avšak malé modulární reaktory nepředstavují takovou bezpečnostní hrozbu jako jiné zdroje energie (viz otázka č. 7).

U této otázky můžeme pozorovat trend, který souvisí s jadernými haváriemi moderní doby jako byla havárie v Černobylu v roce 1986 nebo v japonské elektrárně Fukušima v roce 2011. Přestože tyto události byly závažné a následky v případě Černobylu byly rozsáhlé, je důležité si uvědomit, že moderní jaderné elektrárny jsou navrženy s ohledem na vysokou bezpečnost.

Vnímání možného využití malých modulárních reaktorů k výrobě zbraní hromadného ničení by mohlo být vážným problémem. Jaderné reaktory, včetně malých modulárních reaktorů, podléhají přísné regulaci a dohledu na domácí i mezinárodní úrovni. Mezinárodní organizace, jako je Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE), pracují na zachování a posílení mezinárodních dohod zaměřených na prevenci šíření jaderných zbraní. Technologie používaná v SMR je navíc navržena tak, aby minimalizovala riziko zneužití. To zahrnuje vstup do palivového cyklu, který vyžaduje specializovaná paliva a materiály, které se obtížně používají při výrobě zbraní. Kromě toho existují technická a bezpečnostní opatření, která mají zabránit neoprávněnému přístupu k jadernému materiálu a technologiím.

Jedním z důvodů, proč veřejnost vnímá vysoké náklady na výrobu jaderného paliva jako nevýhodu, je jeho srovnání s jinými formami energie, zejména s fosilními palivy a obnovitelnými zdroji. V porovnání s těmito zdroji se náklady na výrobu paliva mohou zdát vyšší. Například fosilní paliva jako uhlí nebo zemní plyn jsou dnes pro výrobu elektřiny často levnější. Obnovitelné zdroje energie, jako je slunce nebo vítr, jsou také konkurenceschopnější a jejich náklady se snižují. SMR jsou relativně novou technologií, a proto mohou být údaje, které by mohly poskytnout konkrétní informace o nákladech na výrobu paliva, omezené. Tento nedostatek dat může vést k obecné nejistotě. Informace jsou důležité pro odhad reálné ceny paliva a porovnání s jinými zdroji energie. Bez dostatečných údajů je obtížné posoudit, zda jsou výrobní náklady paliva SMR skutečně vyšší než u jiných technologií.

Otázka č. 11 – Vyjádřete na stupnici od 1 do 10, kde 1 je velmi nebezpečné, a 10 je velmi bezpečné. Jaký je Váš názor na to, zda jsou malé modulární reaktory bezpečné?



Graf 14 – Vnímání bezpečnosti SMR, zdroj: vlastní zpracování

Celkově převažuje mírně pozitivní hodnocení bezpečnosti malých modulárních reaktorů. Některé odpovědi však naznačují obavy nebo nízkou důvěru v bezpečnost malých modulárních reaktorů. Dle mého názoru toto tvrzení ovlivňuje několik faktů, které se mi jeví do začarovaného kruhu. Na začátku je obava z historických havárií, nedostatek mediálního prostoru, neinformovanost o technologii, a tudíž malá důvěra v ní a opět obava z možné havárie.

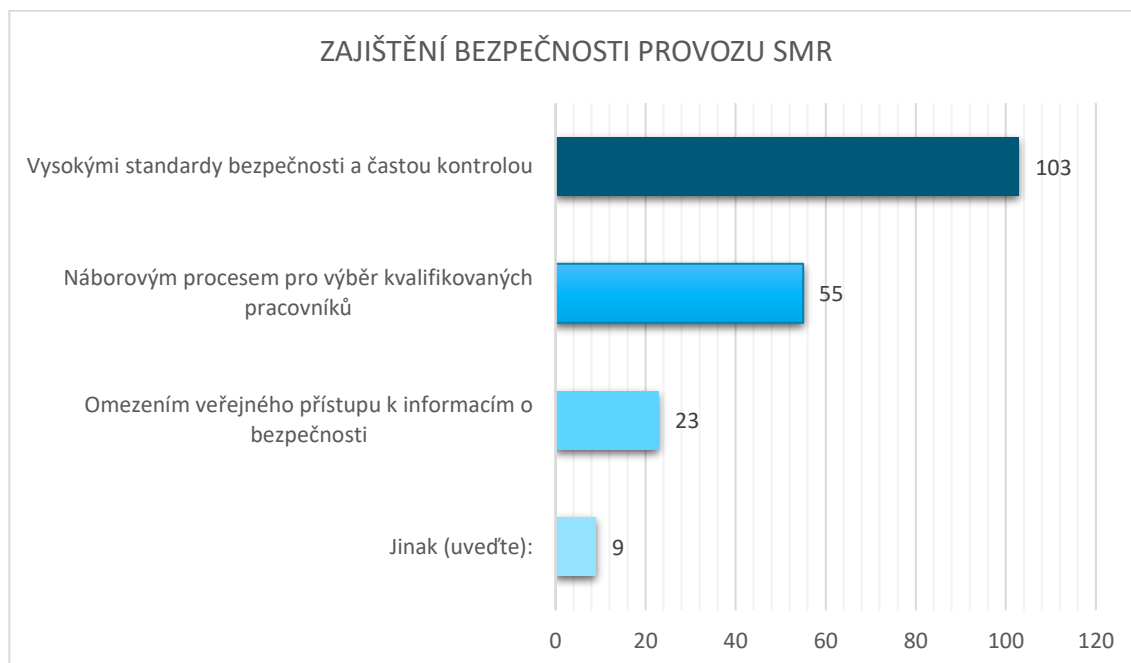
Jaderné havárie v Černobylu a Fukušimě měly vážné důsledky jak pro lidské zdraví, tak pro životní prostředí. Obě tragédie zanechaly silný dojem ve veřejném povědomí a vyvolaly oprávněné obavy o bezpečnost jaderné technologie obecně. Přestože malé modulární reaktory mají různé konstrukce a bezpečnostní opatření, nehody v minulosti mohou stále ovlivnit vnímání veřejnosti a snížit bezpečnost SMR.

Nedostatek dostupných a srozumitelných informací o jejich bezpečnostních aspektech, technických detailech a provozu může vést ke strachu a nedůvěře. Veřejnost často závisí na médiích, která často poskytují zjednodušené informace. Nedostatek důvěry veřejnosti v technologii malých modulárních reaktorů může přispět ke zhoršení bezpečnosti, zejména pokud nejsou dostatečně informováni o výhodách a inovacích v této oblasti, toto vede k tomu, že část veřejnosti jaderné energii obecně nedůvěřuje. Tato nedůvěra může pramenit z obav z

možných následků havárií, problémů s nakládáním s jaderným odpadem nebo z potenciálního zneužití jaderné technologie, toto může vést k všeobecné skepsi ohledně malých modulárních reaktorů a jejich bezpečnosti. Přestože malé modulární reaktory mají různé konstrukce a bezpečnostní opatření, všeobecná nedůvěra v jadernou energii může přetrvávat a ovlivnit veřejné vnímání bezpečnosti těchto reaktorů.

Řešením, jak naklonit veřejnost pro větší důvěru SMR je transparentnost a otevřená komunikace. Operátoři, výzkumníci a odborníci by mohli aktivně sdílet informace o bezpečnostních opatřeních, technických specifikacích a provozních postupech pro jaderné reaktory. Veřejnost by tak měla přístup k relevantním a srozumitelným informacím, a pochopila a vyhodnotila by bezpečnostní aspekty. Transparentnost a otevřenost v komunikaci mohou pomoci odstranit nedůvěru a obavy veřejnosti. Neméně důležité jsou vzdělávací kampaně, veřejné prezentace, workshopy a přístup k informačním zdrojům. Pro překonání nedůvěry veřejnosti, je jako jedna z možností, porovnávat malé modulární reaktory s jinými zdroji energie, a to především z hlediska bezpečnosti. Důkladné srovnání s fosilními palivy a dalšími obnovitelnými zdroji energie může ukázat, že malé modulární reaktory jsou konkurenceschopnou a udržitelnou alternativou. Poskytování konkrétních informací a dat může pomoci veřejnosti pochopit, že malé modulární reaktory jsou bezpečnou volbou oproti jiným zdrojům energie

Otázka č. 12 - Jak by podle Vás měla být zajištěna bezpečnost provozu malých modulárních reaktorů?



Graf 15 – Možnosti zajištění bezpečného provozu SMR, zdroj: vlastní zpracování

Největší důraz je kladen na vysoké bezpečnostní standardy a časté kontroly, což je očekávaný a obvyklý přístup k zajištění bezpečnosti provozu jaderných elektráren. Z odpovědí respondentů vyplývá, že důvěra v bezpečnost malých modulárních reaktorů je spojena s přísnými bezpečnostními opatřeními a přítomností kvalifikovaného personálu, který může reaktory provozovat a udržovat s vysokou mírou odbornosti.

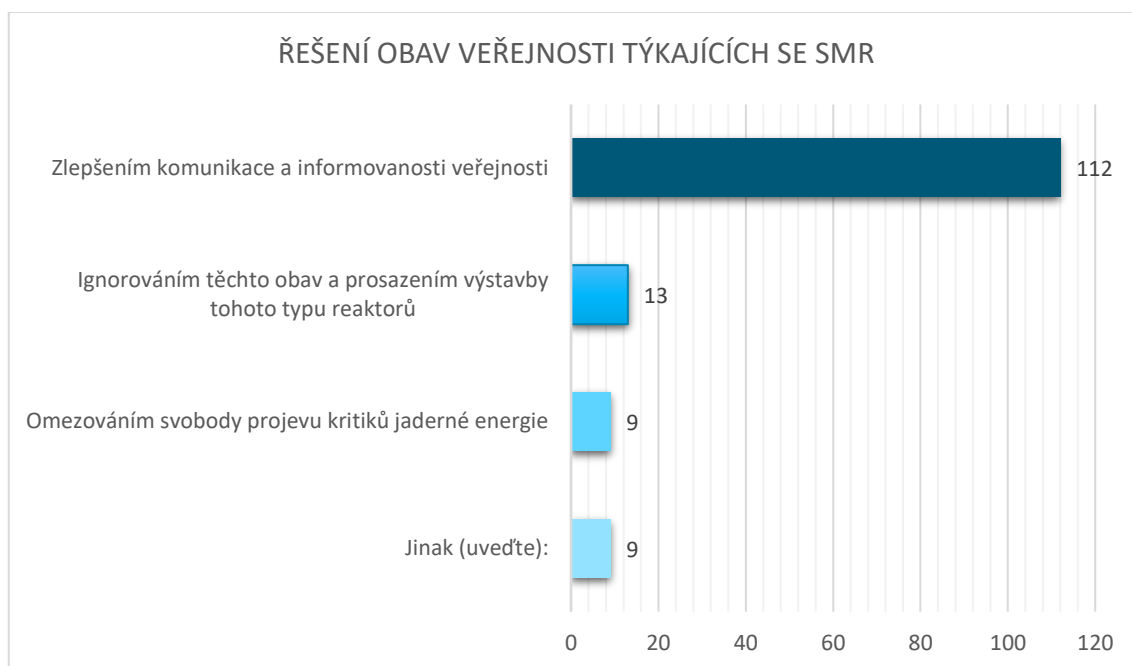
Dalším způsobem, jak docílit zajištění bezpečnosti provozu je neustálý technologický vývoj a inovace. Výrobci musí investovat do výzkumu a vývoje nových technologií a materiálů ke zlepšení bezpečnostních prvků SMR. Vývoj systémů pasivní bezpečnosti, spolehlivých chladicích mechanismů a autonomního monitorování může výrazně zlepšit bezpečnost práce a minimalizovat možnost havárie.

Je důležité poskytovat veřejnosti relevantní a srozumitelné informace pro pochopení a hodnocení bezpečnostních aspektů SMR. Některé aspekty zabezpečení však mohou být citlivé a vyžadovat omezený přístup z důvodu možného zneužití nebo rizika pro veřejné zdraví a bezpečnost. Mohou zde být například informace o speciálních technických detailech, použitých materiálech nebo zvláštních opatřeních na ochranu před sabotáží nebo zneužitím.

Pokud je z bezpečnostních důvodů nutné omezit dostupnost určitých informací, je důležité, aby se tak dělo na základě zásad transparentnosti a přístupu k informacím. Zásahy do

přístupu k informacím by měly být řádně odůvodněné, vyvážené s právem veřejnosti na přístup k informacím a prováděny v souladu se zákony a předpisy. Při zavádění omezení přístupu k informacím je důležité udržovat aktivní dialog s veřejností. Musí být vysvětleno, proč jsou na určité informace uvalena omezení, důvody pro to a jaká opatření se zavádějí k zajištění bezpečnosti.

Otázka č. 13 - Jakým způsobem by měly být řešeny obavy veřejnosti týkající se bezpečnosti malých modulárních reaktorů?



Graf 16 – Řešení obav veřejnosti týkající se bezpečnosti SMR, zdroj: vlastní zpracování

V odpovědi na tuto otázku je shrnuta většina předešlých v tom, jak řešit nedostatečnou informovanost veřejnosti, bezpečnost SMR, obavy ze zneužití... a to tím, že selepší komunikace a informovanost veřejnosti.

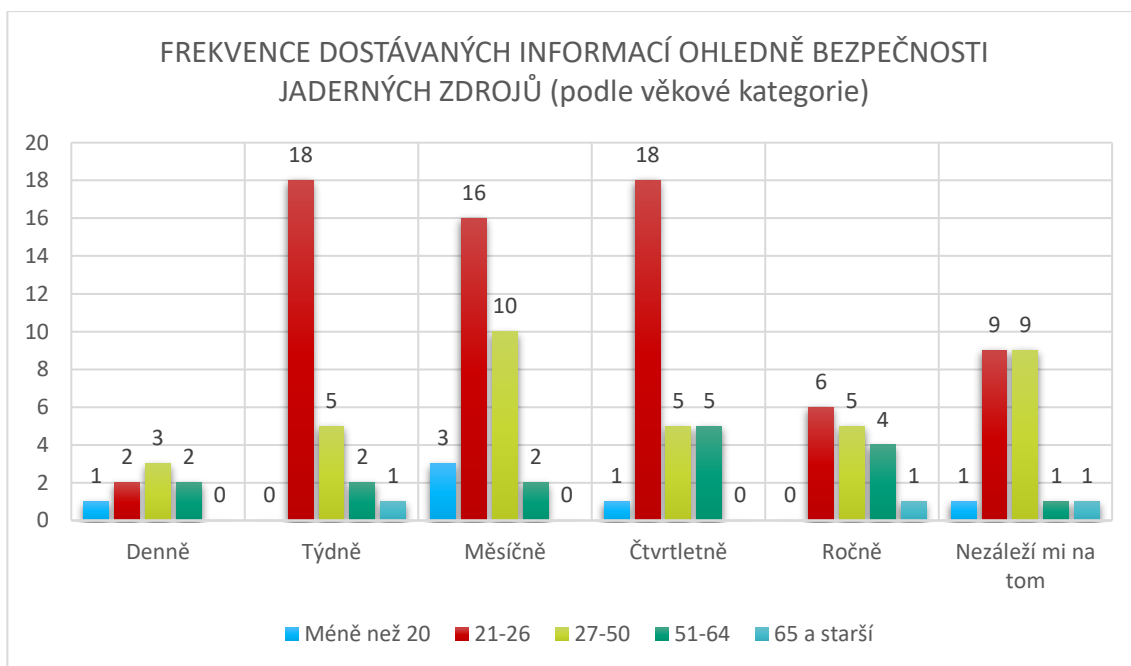
Dále by mohlo napomáhat s důvěrou veřejnosti sdílení a propagace zkušeností se státy, které vyvíjejí nebo požívají technologii malých modulárních reaktorů. Toto může přispět k lepšímu porozumění a větší bezpečnosti, popřípadě k mezinárodní spolupráci na společných projektech.

Možnost jako ignorování těchto obav a prosazení výstavby SMR není dobré řešení. Je důležité brát obavy veřejnosti o bezpečnost malých modulárních reaktorů vážně a neignorovat je. Místo toho by měla být zajištěna důkladná bezpečnostní analýza a otevřená diskuse o těchto obavách. Veřejnost by měla mít možnost aktivně se podílet na rozhodování o výstavbě SMR. To

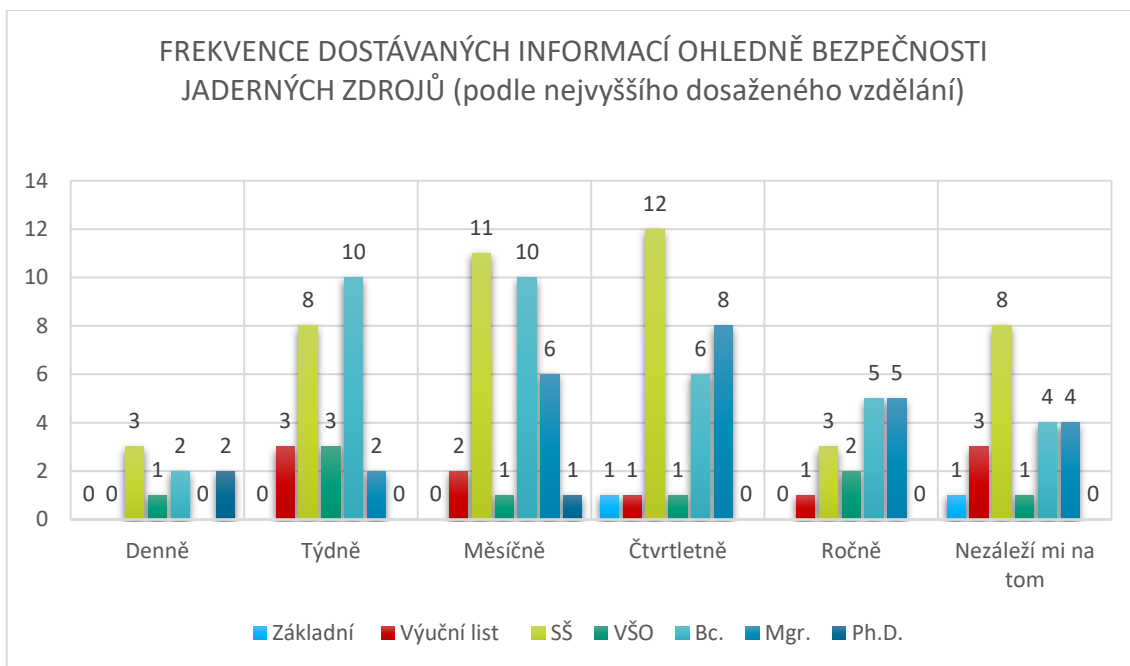
zahrnuje přístup k informacím, veřejná slyšení a diskuse o možných dopadech a bezpečnostních opatřeních. Při zavádění nové jaderné technologie je důležité, aby byly splněny nejvyšší bezpečnostní standardy a aby byla veřejnost dostatečně informována.

Poslední možnost, která byla omezování projevu kritiků jaderné energie, je velmi špatný přístup. Je důležité naslouchat obavám a argumentům kritiků. Dát jim prostor a příležitost vyjádřit své názory a obavy. Omezování svobody projevu jaderných odpůrců není správný ani etický způsob, jak řešit obavy veřejnosti o bezpečnost malých modulárních reaktorů. Veřejnost má právo vyjádřit své obavy a pochybnosti o nových technologiích, včetně SMR. Zlepšení komunikace a informovanosti veřejnosti je klíčem k získání důvěry a podpory. Svoboda projevu je základní právo, které je třeba respektovat a chránit i při kritice nebo nesouhlasu s určitými technologiemi. Místo omezování svobody slova je namísto konstruktivní a otevřený postoj k jaderné energetice a kritikům jaderné energie.

Otázka č. 14 - Jak často byste chtěli být informováni o bezpečnosti malých modulárních reaktorů a reaktorů obecně?



Graf 17 – Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných reaktorů podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování



Graf 18 – Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných reaktorů podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Informovanost na základě denních aktualit si zvolilo 8 respondentů. Denní briefingy poskytují veřejnosti nejaktuálnější informace o bezpečnosti reaktorů. To znamená, že se podají veřejnosti informace o aktuální situaci a událostech v oblasti. Tato frekvence umožňuje rychlou reakci na narušení bezpečnosti a havárie, když k nim dojde. Veřejnost může být okamžitě informována o přijatých opatřeních k řešení problému a aktuální situaci v oblasti informační bezpečnosti. V neposlední řadě každodenní reporting zvyšuje transparentnost, protože veřejnost má pravidelný přístup k aktualizacím bezpečnostních opatření, provozním informacím a důležitým událostem. To může pomoci zvýšit důvěru veřejnosti v bezpečnost reaktorů. Denní informace mohou znamenat mnoho informací, které může být pro veřejnost příliš mnoho. To může vést ke ztrátě zájmu a pozornosti veřejnosti. Obecně lze tvrdit, že upřednostňování každodenních informací o bezpečnosti reaktorů přináší výhody ve smyslu včasnosti, rychlé reakce a zvýšené transparentnosti. Je však třeba pečlivě zvážit nevýhody, jako je přetížení informací, nedostatek časové perspektivy a spolehlivost zdrojů.

Naproti tomu často frekventovaná odpověď napříč věkovými skupinami i nejvyšším dosaženým vzděláním, tedy týdenní možnost informovanosti, umožňuje poskytovat veřejnosti relativně aktuální informace o bezpečnosti reaktorů v určitém časovém období. Tento interval také umožňuje data vyhodnotit a zpracovat pro dosažení lepší přesnosti a kvality dat. Mimo jiné umožňuje veřejnosti shrnout nejdůležitější bezpečnostní události, opatření a vývoj reaktorů daného týdne. Týdenní frekvence umožňuje efektivní komunikaci mezi provozovateli reaktorů,

odbornou veřejností a občany. Umožňuje koordinovat a strukturovat komunikaci a diskuse, což usnadňuje porozumění a dialog mezi různými stranami.

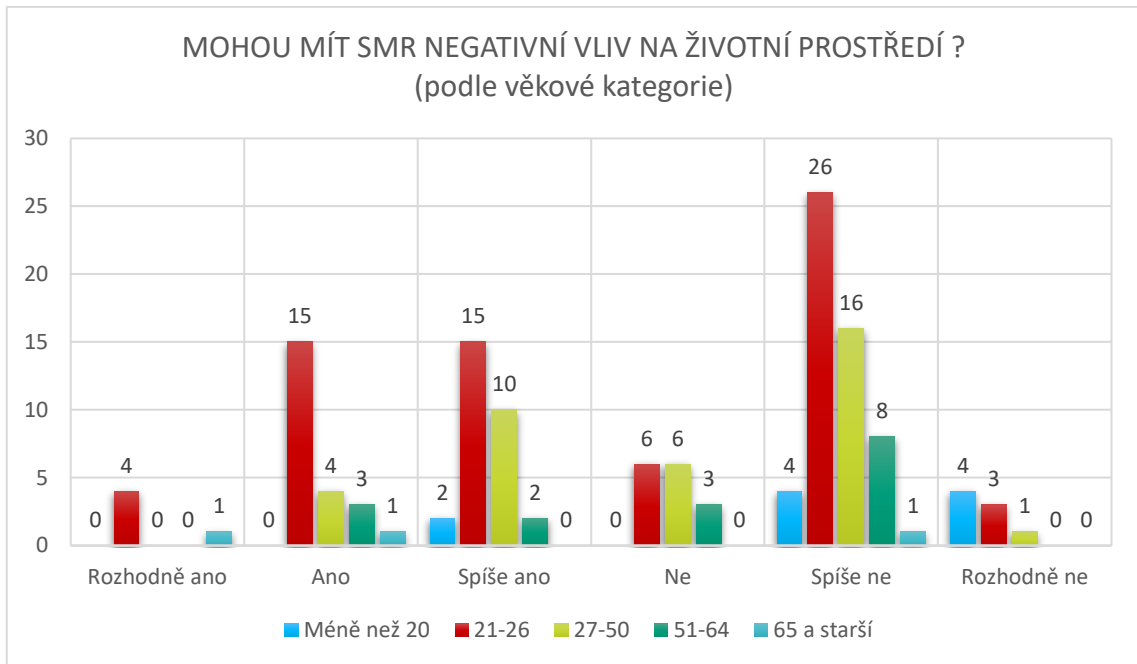
Nejvyšší počet odpovědí měla možnost měsíčního zpravodajství. Zaznamenala nejvíce respondentů napříč skupin z věkové kategorie 27–50 a z bakalářské skupiny. Informace lze shrnout, analyzovat a prezentovat pro lepší pochopení dlouhodobého vývoje a trendů v oblasti bezpečnosti. Tato frekvence umožňuje informace důkladně zpracovat a vyhodnotit před jejich zveřejněním. To zajišťuje vyšší kvalitu a spolehlivost. Měsíční reporting umožňuje širší obraz o bezpečnostních událostech a vývoji reaktoru v dlouhodobém horizontu. Tento přístup může pomoci lépe pochopit dlouhodobé trendy, změny a ochranná opatření. Naopak se zde může projevit neaktuálnost zpráv, což může vést k frustraci veřejnosti. Na druhou stranu se zde vytrácí pravidelná informovanost, a tedy podvědomí o SMR a ztráta aktuality z oboru.

Čtvrtletní informovanost zvolilo nejvíce respondentů s magisterským vzděláním a se středním vzděláním s maturitou. Tento typ frekventovanosti umožňuje poskytnout veřejnosti širší a ucelenější obraz o bezpečnostních událostech a vývoji reaktoru v určitém časovém období. Zlepšuje schopnost porozumět a vyhodnocovat dlouhodobé trendy, akce a výsledky v oblasti informační bezpečnosti. Pečlivé zpracování a analýzu informací před jejich zveřejněním. To zvyšuje přesnost a spolehlivost dat při použití a vyhodnocení v delším časovém období. Přiměřenější frekvence aktualizací může pomoci veřejnosti lépe přijímat a porozumět sdělovaným informacím a zároveň minimalizovat riziko přetížení informacemi. Informace ovšem budou zveřejněny s větším zpožděním. To může oslabit schopnost veřejnosti reagovat na převládající situace a získat okamžité poznatky o bezpečnosti reaktoru. Populace nemusí být dostatečně aktuálně informována, zejména pokud během určitého období dojde k významným incidentům nebo změnám v bezpečnosti reaktoru. To může ovlivnit schopnost veřejnosti reagovat na aktuální dění a hodnotit bezpečnostní situaci.

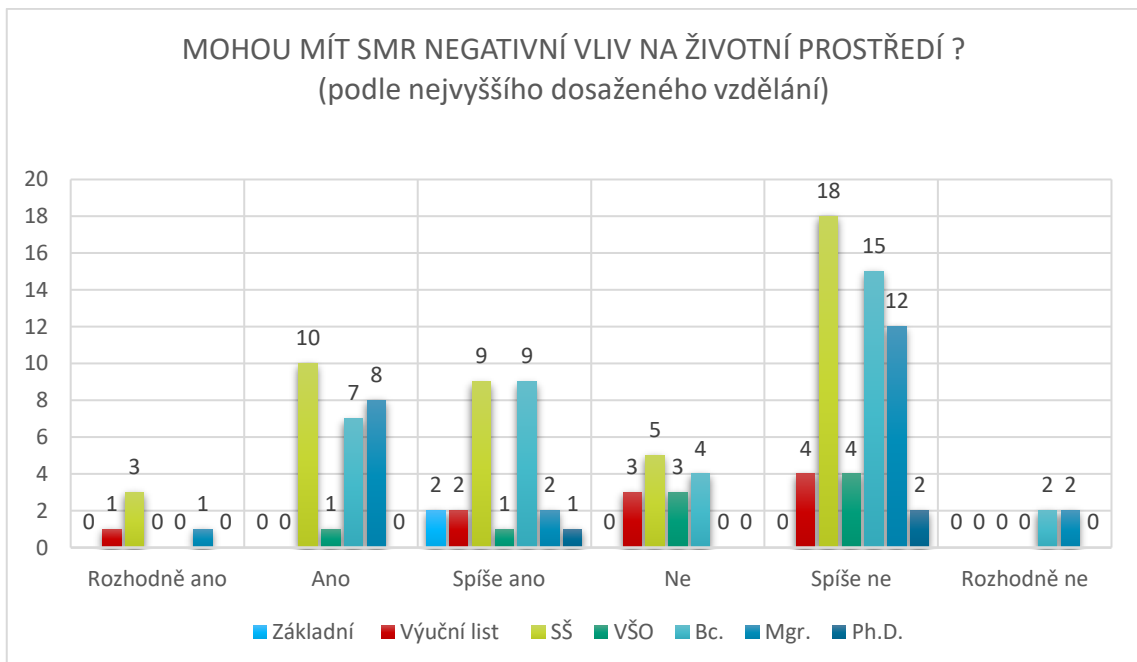
Je důležité pochopit, že informace o bezpečnosti reaktoru jsou důležité pro veřejnost a mohou ovlivnit bezpečnost a budoucnost energetického průmyslu.

Spolehlivé a transparentní informace o bezpečnosti reaktoru umožňují veřejnosti lépe porozumět bezpečnostním rizikům jaderného reaktoru, opatřením a preventivním opatřením. Veřejnost má právo být informována o bezpečnostních pokynech, výsledcích testů, opatřeních k řízení rizik a potenciálních nebezpečných situacích. Díky těmto informacím může aktivněji a informovaněji přispívat k řízení energetického průmyslu a podporovat rozvoj a používání bezpečných a udržitelných technologií.

Otázka č. 15 - Mohou malé modulární reaktory mít negativní vliv na životní prostředí?



Graf 19 – Mohou SMR mít negativní dopad na životní prostředí, vnímání podle věkové skupiny, zdroj: vlastní zpracování



Graf 20 – Mohou SMR mít negativní dopad na životní prostředí, vnímání podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

V této otázce si 78 respektive 74 respondentů myslím, že SMR nemají negativní vliv na životní prostředí, což určitě správná odpověď, protože jaderná elektrárna za svého provozu neprodukuje žádné CO₂ oproti elektrárnám spalující fosilní palivo.

Malé modulární jaderné reaktory (SMR) jsou navrženy tak, aby minimalizovaly negativní dopady na životní prostředí. Tato nová generace reaktorů je vyvíjena s cílem dosáhnout vyšší úrovně bezpečnosti a ochrany životního prostředí ve srovnání s tradičními velkými jadernými reaktory.

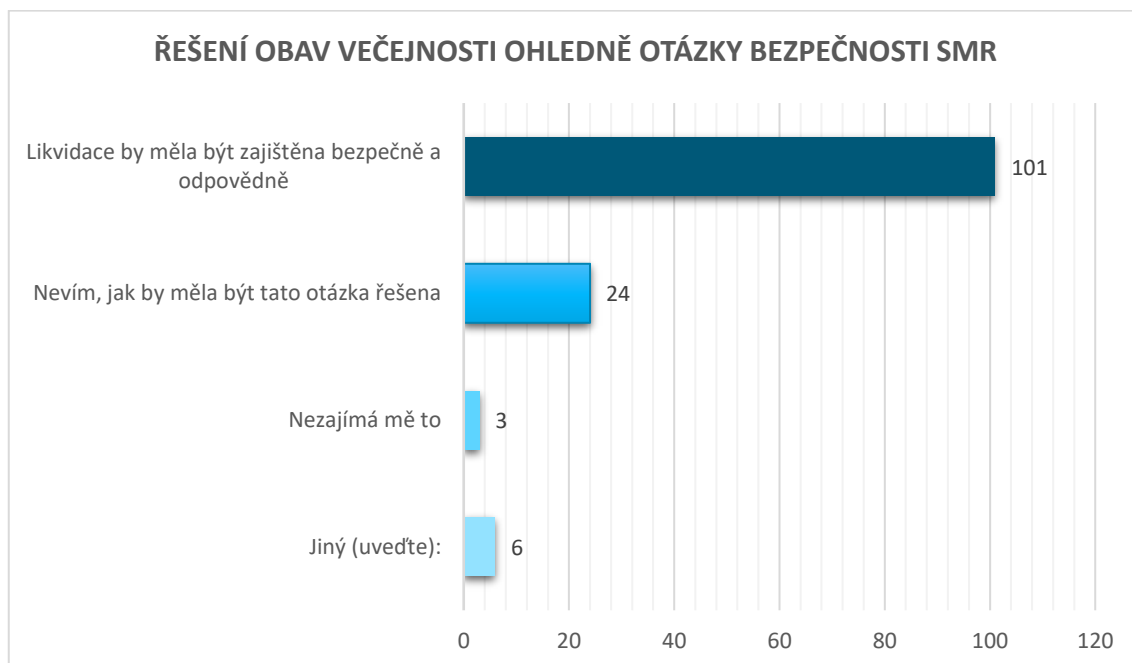
Jedním z klíčových faktorů, které ovlivňují negativní vliv SMR na životní prostředí, je množství radioaktivního odpadu produkovaného během provozu těchto reaktorů. Vývoj technologií palivových cyklů a snaha o optimalizaci procesů vedly k minimalizaci produkce dlouhodobého radioaktivního odpadu. Některé typy SMR využívají pokročilé palivové cykly, které snižují množství a závažnost radioaktivního odpadu.

Dalším aspektem, který je brán v úvahu, je jaderná bezpečnost. SMR jsou konstruovány s důrazem na bezpečnostní prvky a inovativní technologie, které minimalizují riziko úniku radioaktivních látek do životního prostředí v případě nehody. Mnoho z těchto reaktorů využívá pasivní systémy chlazení, které se spoléhají na přirozené fyzikální principy, aby udržely reaktor v bezpečném stavu i v případě selhání aktivních systémů.

Lokalizace SMR je dalším faktorem, který ovlivňuje jejich vliv na životní prostředí. Jednou z charakteristik SMR je jejich umístění v blízkosti obydlených oblastí. Při plánování a provozu těchto reaktorů je proto nezbytné provést řádnou analýzu vlivu na životní prostředí (EIA), která zahrnuje posouzení možných dopadů na biodiverzitu, vodní zdroje, vzduch a další faktory. Cílem je minimalizovat potenciální negativní dopady na životní prostředí a zajistit trvalou udržitelnost provozu.

Je tedy nasnadě zbývajících 53 respektive 58 jedinců a s nimi zbytek populace, který sdílí stejný názor, dostatečným způsobem informovat a dovzdělat tak, abychom je „přetáhli“ na druhou stranu a tím tak zvětšili informovanost ale hlavně podporu SMR.

Otázka č. 16 - Jaký je Váš názor na to, jak by měla být řešena otázka likvidace jaderného odpadu z malých modulárních reaktorů a reaktorů obecně?



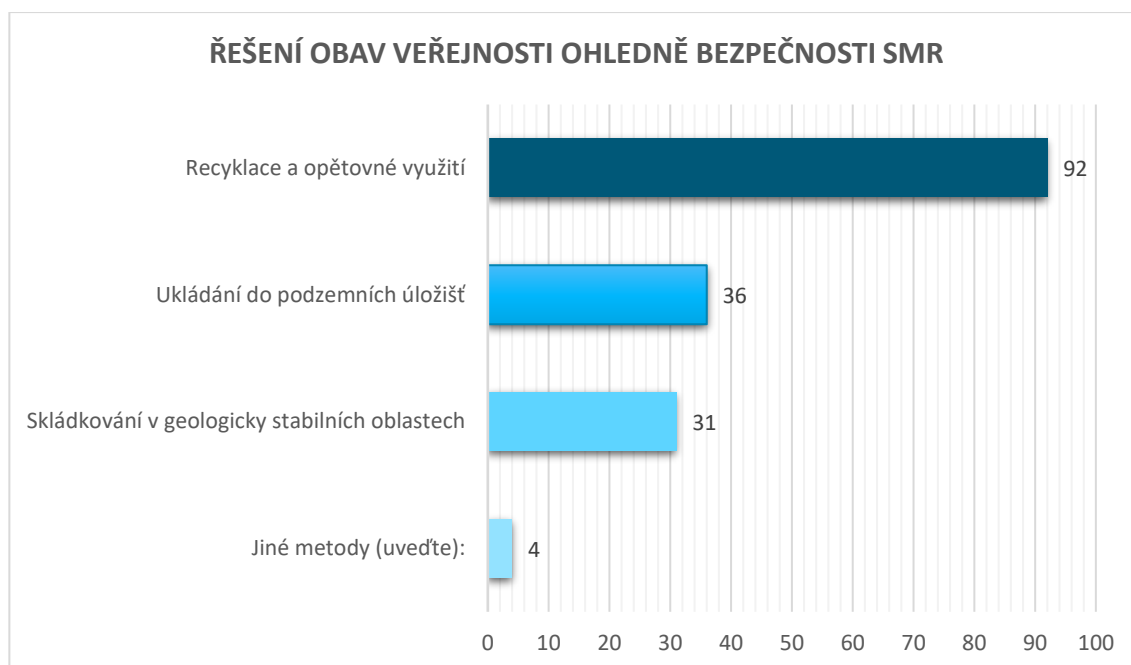
Graf 21– Řešení obav veřejnosti ohledně bezpečnosti SMR, zdroj: vlastní zpracování

Správná odpověď na otázku, jak naložit s likvidací malých modulárních reaktorů a jaderného odpadu z reaktorů, by měla zdůraznit důležitost bezpečnosti a odpovědnosti. Likvidace jaderného odpadu vyžaduje pečlivé plánování, výzkum a přísné bezpečnostní a regulační normy. Nakládání s radioaktivním odpadem se obvykle řídí příslušnými zákony a předpisy každé země. Existuje také mezinárodní rámec pro nakládání s radioaktivním odpadem, který koordinuje Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE) a další mezinárodní organizace. V České republice je nakládání s radioaktivním odpadem upraveno několika zákony a předpisy. Jako první tu máme například Atomový zákon (č. 263/2016 Sb.), který stanovuje základní pravidla pro využívání jaderné energie v České republice. Obsahuje ustanovení o nakládání s jaderným materiálem a radioaktivními odpady, včetně požadavků na jejich sběr, skladování, přepravu a konečné uložení. Jako další v ČR máme vyhlášku o nakládání s radioaktivním odpadem (č. 354/2005 Sb.). Tato vyhláška upravuje podrobnosti nakládání s radioaktivními odpady. Zahrnuje technické a administrativní požadavky na sběr, skladování, přepravu a odstraňování odpadů. Stanoví také podmínky pro udělování licencí a odbornou činnost v oblasti nakládání s radioaktivními odpady.

Všechny subjekty zapojené do nakládání s radioaktivními odpady musí dodržovat tyto zákony a předpisy a podléhají příslušnému dohledu a kontrole ze strany náležejících orgánů. To

zajišťuje bezpečnost nakládání s radioaktivními odpady a minimalizuje rizika pro lidské zdraví a životní prostředí.

Otázka č. 17 - Jaké metody likvidace jaderného odpadu jsou podle Vás nevhodnější?



Graf 22 – Nejlepší metody likvidace jaderného odpadu, zdroj: vlastní zpracování

V ČR jsou radioaktivním odpadem a vyhořelé jaderné palivo zpracovávány podle koncepce schválené vládou ČR. Koncepce je dokument, který formuluje politiku a strategii státu a státních orgánů při nakládání s vyhořelým jaderným palivem a radioaktivním odpadem (jejichž zdrojem jsou jak jaderná zařízení, tak pracoviště se zdroji ionizujícího záření ve zdravotnictví, vědě a průmyslu). Koncepce byla v letech 2010 až 2014 aktualizována tak, aby odrážela současnou situaci nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým palivem.

Skládkování v geologicky stabilních oblastech je metoda, která spočívá v umístění vyhořelého jaderného paliva a jiného vysoce radioaktivního odpadu do geologicky stabilních oblastí, které zajišťují dlouhodobou bezpečnost a izolaci. Jedná se o hlubinná úložiště, kde jsou odpady ukládány do podzemních vrstev, které poskytují přirozenou ochranu před únikem radioaktivních látek do životního prostředí. Tato metoda je považována za jednu z nejbezpečnějších a 31 respondentů tuto možnost vidí jako nejlepší možnou. V současné době je v provozu úložiště radioaktivních odpadů z jaderných elektráren Dukovany a Temelín.

Stejně jako skládkování v geologicky stabilních oblastech, ukládání do podzemních úložišť zahrnuje umístění jaderného odpadu do podzemních skladovacích zařízení. Podzemní skladovací

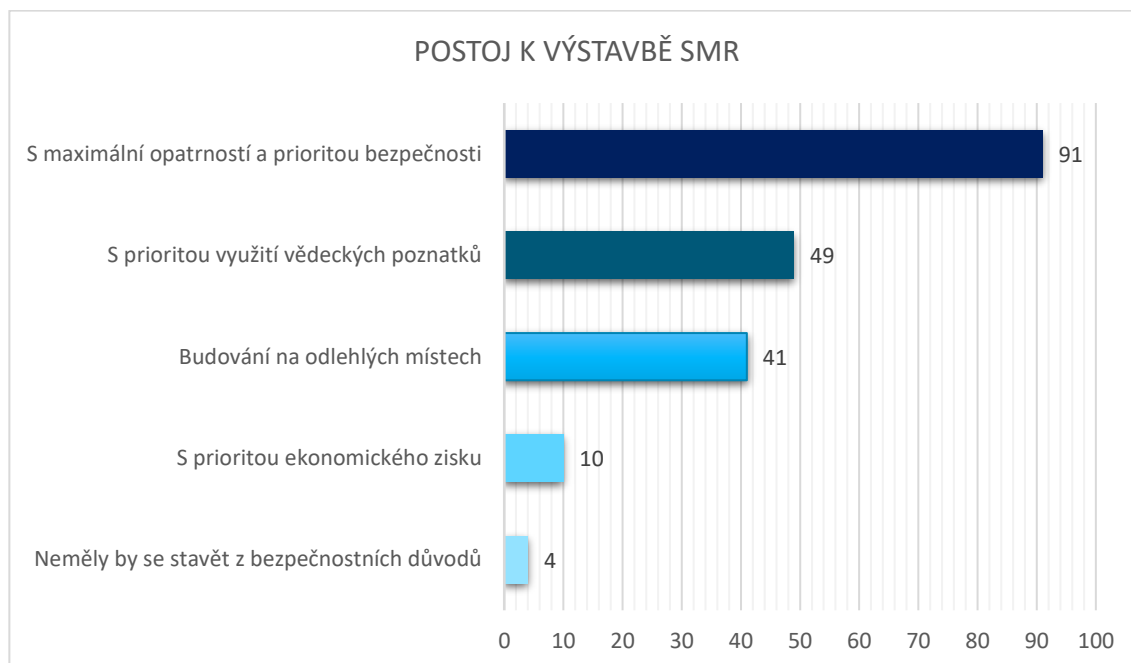
prostory jsou navrženy tak, aby zajistily dlouhodobou izolaci a bezpečnost odpadu. Tato konečná úložiště využívají vhodné geologické útvary, jako jsou hlubinná solná ložiska nebo zaniklé důlní šachty, které minimalizují riziko úniku radioaktivního materiálu do životního prostředí.

Nejčastěji respondenti zvolili možnost recyklace a opětovné využití jaderného odpadu. Celkem vybralo tuto odpověď 92 dotázaných, což představuje 70%. Recyklace jaderného paliva, se zabývá opětovným využitím určitých složek vyhořelého jaderného paliva k výrobě nového. Tato metoda může zahrnovat různé procesy, které umožňují separaci a úpravu určitých materiálů obsažených ve vyhořelém jaderném palivu. Jedním z hlavních cílů recyklace je efektivnější využití jaderných zdrojů a snížení množství skladovaného nebo likvidovaného radioaktivního odpadu.

Z výsledků je patrné, že většina lidí, troufnu si říci, že to byla skupina s vyšším dosaženým vzděláním, volí recyklaci z důvodu snižování odpadu. Jelikož vyhořelé palivo obsahuje i určité množství nevyhořelého paliva, tzn. uran nebo plutonium, které nebylo během provozu reaktoru zcela fyzikálně a chemicky spotřebováno. Toto nespálené palivo lze recyklovat a znovu použít jako palivo pro další reaktory. Navíc palivo obsahuje různé štěpné produkty, které vznikají při štěpení atomových jader. Mezi tyto produkty patří například různé izotopy xenonu, jódu, krypto, stroncia, oxidu ceru a dalších prvků. Tyto štěpné produkty jsou obvykle radioaktivní a vyžadují správné zacházení a řízení.

Je důležité si uvědomit, že konkrétní složení vyhořelého jaderného paliva se liší v závislosti na řadě faktorů, a proto se může lišit mezi reaktory a palivovými cykly.

Otázka č. 18 - Jakým způsobem by se dle Vašeho názoru mělo přistupovat k výstavbě malých modulárních reaktorů?



Graf 23 – Přístup k výstavbě SMR, zdroj: vlastní zpracování

Podle mého názoru by se ke stavbě malých modulárních reaktorů mělo přistupovat co nejpečlivěji a bezpečně. Bezpečnost musí být vždy prioritou jak při návrhu a konstrukci samotného reaktoru, tak při využívání a údržbě jaderného odpadu. Stejného názoru je i 91 dotázaných, kteří zvolili možnost „s maximální opatrností a prioritou bezpečnosti“. Je důležité zajistit, aby reaktory splňovaly nejvyšší bezpečnostní standardy a fungovaly podle přísných pravidel a předpisů.

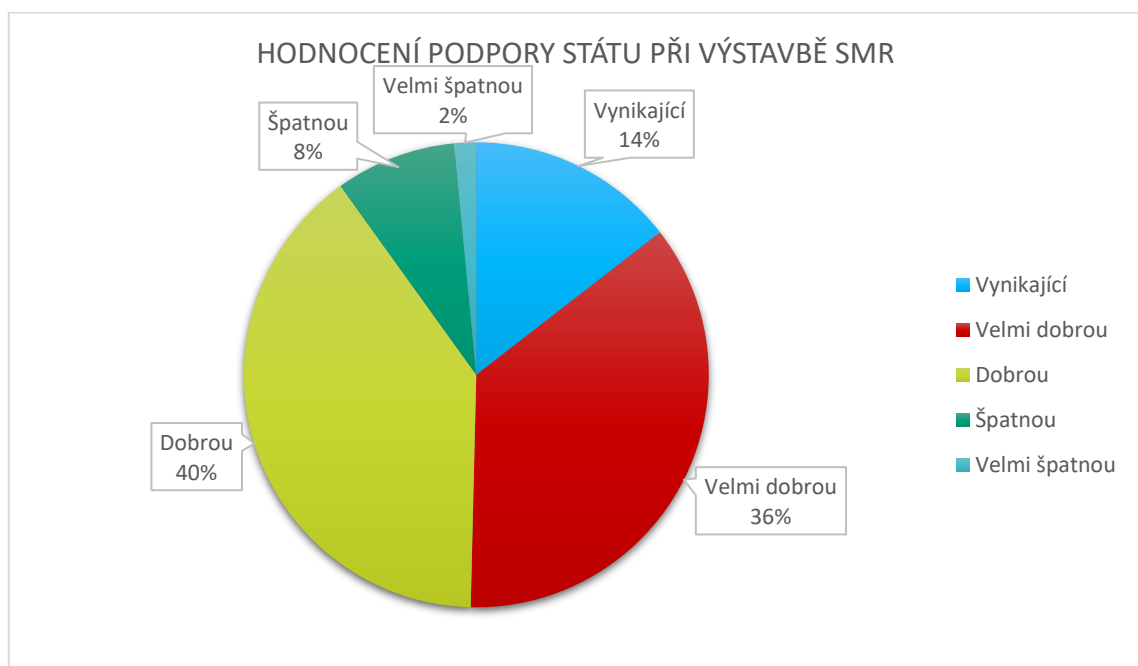
Při výstavbě by měly být upřednostněny vědecké a technické znalosti. Aby byly reaktory co neúčinnější a nejbezpečnější, je důležité využívat nejnovější poznatky a inovace v jaderné energetice. Jedná se o novou technologii a je potřeba na ní pracovat. Vědecké znalosti jsou hnací silou inovací a technologického rozvoje. Nové výzkumné a vývojové projekty pro malé modulární reaktory mohou vést ke zlepšení a vylepšení reaktoru, což následně zvýší účinnost, spolehlivost, bezpečnost a životnost. 49 respondentů, kteří zvolili tuto možnost, oceňují využití vědeckých poznatků, protože cítí, že přináší potenciál pro pokrok a inovace v oblasti jaderné energetiky.

Výstavba SMR by neměla upřednostňovat ekonomický přínos před bezpečností. Na druhou stranu SMR, je zdroj energie a snižuje závislost na dovozu energie. Efektivní využívání jaderné energie může poskytnout ekonomickou výhodu, protože země nemusí být závislá na dovozu fosilních paliv a může snížit náklady spojené s energetickou nezávislostí. Budování a

provoz SMR může přinést hospodářský růst a pracovní místa. Investice do jaderné energetiky mohou podpořit infrastrukturní projekty, výzkum a vývoj a přispět tak k rozvoji regionu.

S ohledem na možnosti jaderné energetiky a možnosti malých modulárních reaktorů je vhodné, aby byly stavěny s důrazem na bezpečnost a využití vědeckých poznatků. Správným přístupem je vyhodnotit a řešit bezpečnostní úvahy a potenciální rizika, aby bylo zajištěno, že malé modulární reaktory jsou bezpečné a přínosné pro energetický sektor a zároveň minimalizují negativní dopady na životní prostředí a veřejnost.

Otázka č. 19 - Myšlenku, že by stát podporoval výstavbu malých modulárních reaktorů hodnotím jako:



Graf 24 – Státní podpora při výstavbě SMR, zdroj: vlastní zpracování

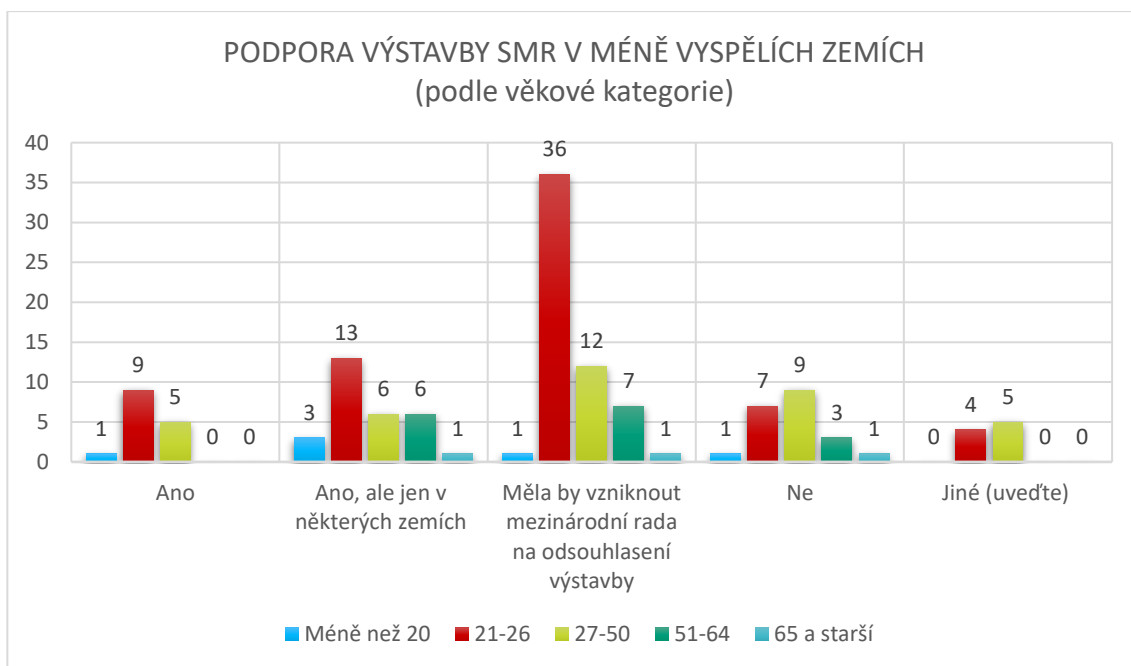
Na základě uvedených hodnocení je vidět, že většina dotázaných (celkem 118) hodnotí myšlenku státní podpory výstavby malých modulárních reaktorů jako vynikající, velmi dobrou nebo dobrou. Tyto pozitivní recenze ukazují významnou veřejnou podporu této myšlenky. Existuje několik důvodů, proč lidé tento nápad vítají.

Za prvé, malé modulární reaktory mají potenciál vyrábět čistou energii bez skleníkových plynů, což je slučitelné s ochranou životního prostředí a bojem proti změně klimatu. Tímto způsobem by mohly podpořit udržitelnost a snížit závislost na fosilních palivech. Stavba malých modulárních reaktorů by navíc mohla přinést ekonomické výhody, jako je vytváření pracovních

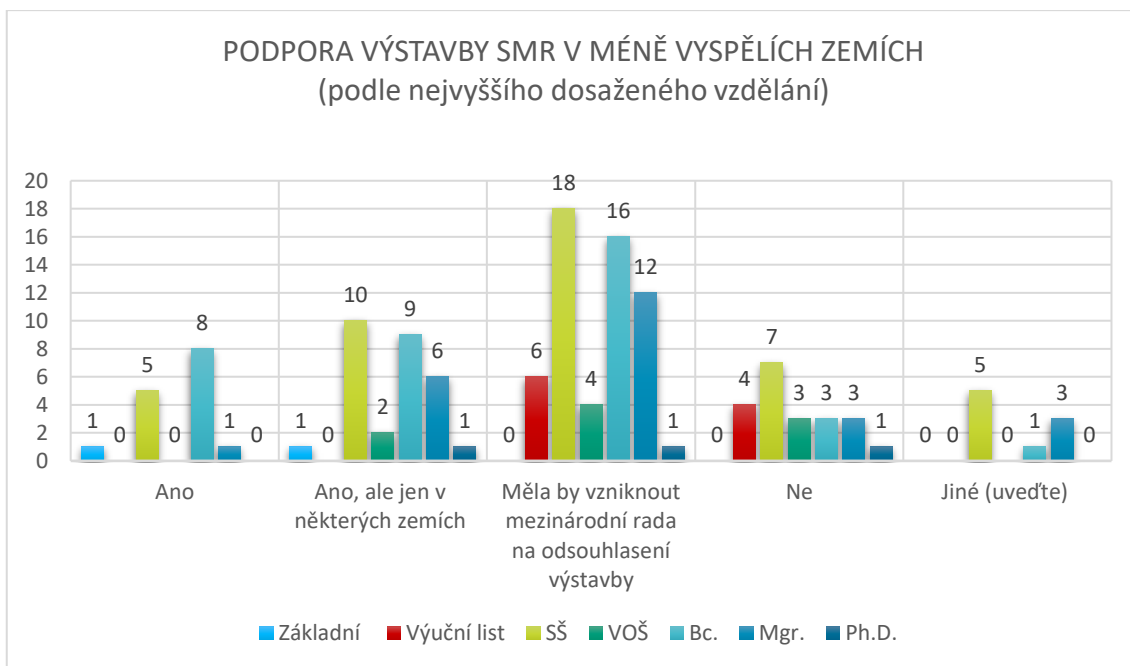
míst a podpora místní ekonomiky. Zároveň by reaktory by mohly představovat inovativní technologii, která by mohla zvýšit konkurenceschopnost regionu a přilákat investice. SMR by přitom mohly najít uplatnění vědeckých poznatků a technologického pokroku v oblasti jaderné energetiky. To by mohlo podpořit vědeckou a technologickou kapacitu země, a to jak v samotném jaderném průmyslu, tak v souvisejících oblastech výzkumu a vývoje.

Na druhou stranu menší skupina respondentů hodnotila tento nápad jako špatný nebo velmi špatný. To může souviset s jejich obavami o bezpečnost jaderné energie a rizika spojená s provozem reaktorů. Kvůli historickým událostem nebo známým haváriím mohou také preferovat jiné zdroje energie. Je důležité pochopit, že veřejné mínění může být velmi různorodé a závisí na mnoha faktorech, včetně kulturních, ekonomických a ekologických hledisek. Konstrukce malých modulárních reaktorů by měla zohledňovat pozitivní i negativní aspekty z bezpečnostního a ekologického hlediska a také z ekonomického a vědeckého hlediska.

Otázka č. 20 - Měli by být podle Vašeho názoru malé modulární reaktory využívány v méně rozvinutých zemích?



Graf 25 – Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle věku respondentů, zdroj: vlastní zpracování



Graf 26 – Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Využití malých modulárních reaktorů v méně rozvinutých zemích je téma, které vyžaduje důkladné posouzení různých faktorů a podmínek. Při vývoji této problematiky je třeba zvážit několik aspektů.

Za prvé, nejméně rozvinuté země se často potýkají s energetickými problémy, zejména pokud jde o elektrifikaci a dostupnost spolehlivých a cenově dostupných zdrojů energie. Používání malých modulárních pecí může zajistit bezpečnost dodávek energie a přispět k hospodářskému rozvoji. To by mohlo vést ke zlepšení životních podmínek obyvatel a stimulovat průmyslový růst v těchto zemích. Zároveň SMR je možné využívat jako nástroj pro odsolování vody. To je jeden důvodů, proč by SMR mělo potenciál výstavby v méně rozvinutých zemích, popřípadě v zemích s nedostatkem pitné vody.

Dalším faktorem je přístup k tradičním zdrojům energie. Některé z nejméně rozvinutých zemí mají omezené zdroje fosilních paliv, jako je uhlí a zemní plyn. Pokud je k dispozici přístup k jaderným palivům, jako je uran, mohlo by být využití SMR alternativou k zajištění energetické soběstačnosti a snížení závislosti na dovozu paliv.

Výstavba malých modulárních reaktorů může rovněž poskytnout příležitost k rozvoji infrastruktury a technické úrovně v nejméně rozvinutých zemích. Tento proces by mohl zahrnovat přenos technologií, školení odborníků a vytváření pracovních míst, což by přispělo k hospodářskému růstu a zlepšení životní úrovně. Zavedení malých modulárních reaktorů však pro méně rozvinuté země představuje několik výzev. Jedním z nich jsou investiční náklady: výstavba

jaderných elektráren, včetně malých modulárních reaktorů, vyžaduje značné finanční a technické zdroje, což může být pro nejméně rozvinuté země chudé na zdroje problémem.

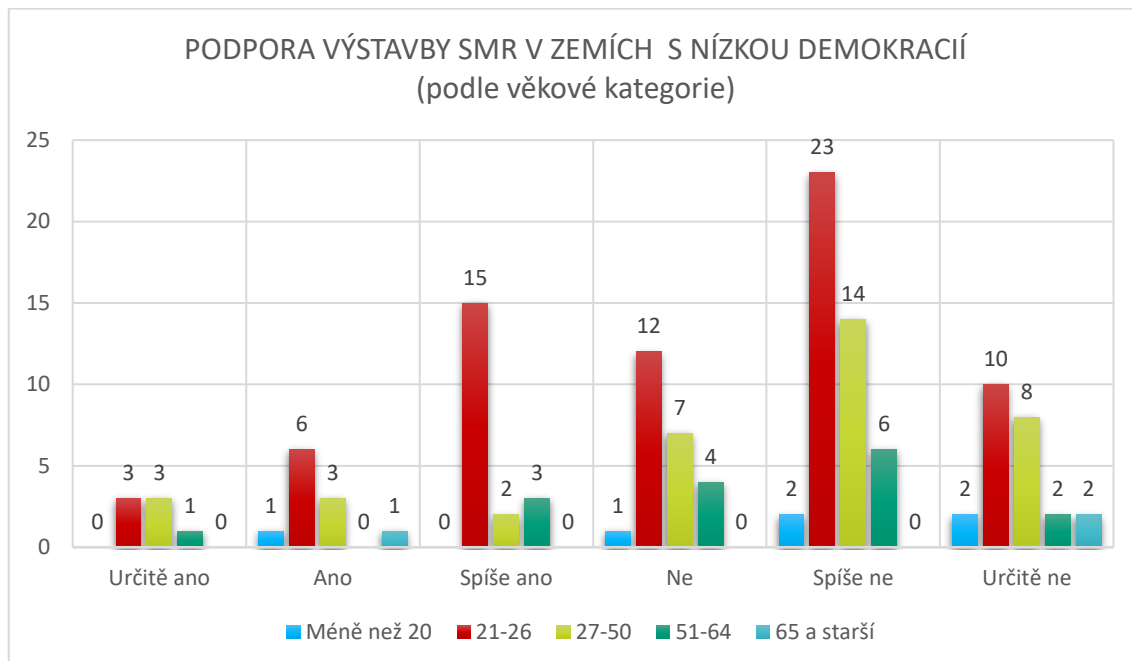
Jaderné reaktory vyžadují přísná bezpečnostní opatření a odborné řízení. Nejméně rozvinuté země mohou čelit problémům, pokud jde o školení, infrastrukturu a dodržování norem a předpisů. Je důležité, aby tyto země měly dostatečné kapacity a zdroje pro řádný provoz a údržbu jaderných zařízení.

V neposlední řadě je třeba vzít v úvahu i alternativní zdroje energie. Méně rozvinuté země mohou mít přístup k obnovitelným zdrojům energie, které jsou často levnější, dostupnější a méně složité na výrobu, logistiku a provoz než jaderná energie. Při určování energetického mixu je třeba tyto alternativy zohlednit, aby se našlo nejlepší řešení pro konkrétní podmínky a potřeby dané země.

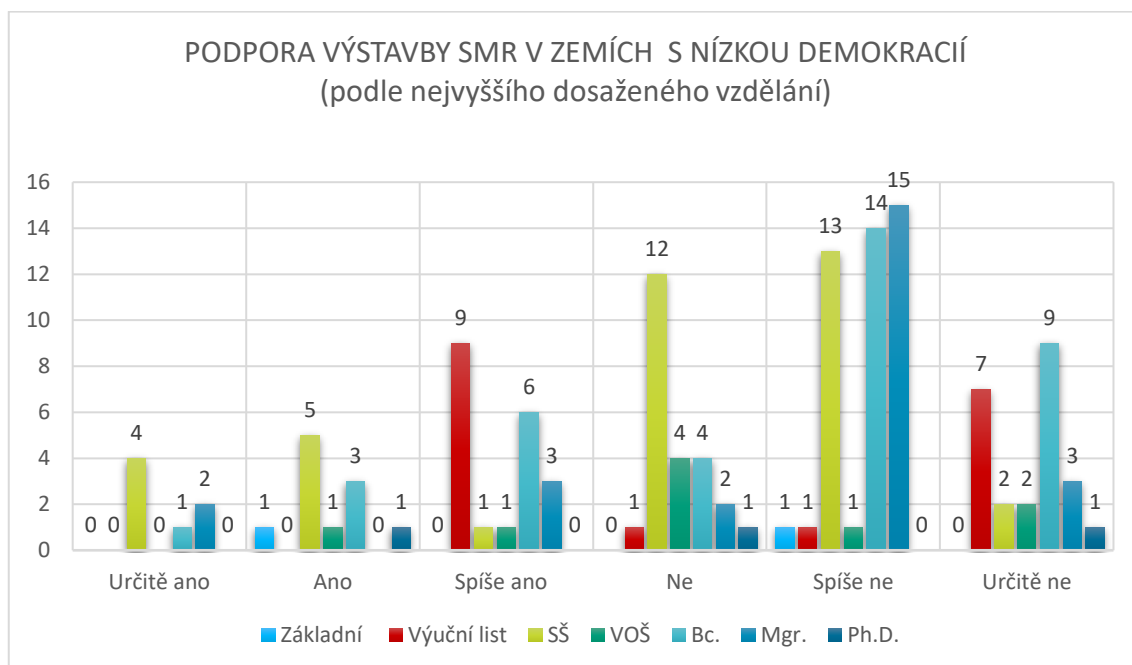
Je důležité zvážit energetické potřeby, přístup k palivu, finanční a technické zdroje, bezpečnostní aspekty, právní rámec a veřejnou podporu. Rozvoj jaderné energetiky musí být pečlivě naplánován a realizován v souladu s národními strategiemi a mezinárodními standardy.

Kdyby měla vzniknout Mezinárodní rada, dle nejčastěji volené odpovědi, mohla by podporovat vývoj norem a postupů pro konstrukci, provoz a bezpečnost SMR v méně rozvinutých zemích. Tím by byl zajištěn soulad s mezinárodními standardy a minimalizována rizika spojená s nedostatečnými dovednostmi a zkušenostmi v těchto zemích. Tato organizace by mohla být fórem pro spolupráci a výměnu informací mezi méně rozvinutými zeměmi, které by se rozhodly SMR využívat. To by umožnilo výměnu zkušeností, technologií a know-how, což by podpořilo efektivní využívání těchto zařízení a minimalizovalo rizika nedostatečné kapacity a zdrojů. Mohla by provádět nezávislé hodnocení projektů a hodnotit jejich bezpečnost, technickou účinnost a dopad na životní prostředí. To by pomohlo zajistit, aby stavba probíhala podle přísných norem a předpisů.

Otázka č. 21 - Měli by být podle Vašeho názoru malé modulární reaktory využívány v zemích s nízkou mírou demokracie?



Graf 27 – Podpora výstavby SMR v Zemích s nízkou demokracií podle věku respondentů, zdroj: vlastní zpracování



Graf 28 – Podpora výstavby SMR v zemích s nízkou demokracií podle vzdělání respondentů, zdroj: vlastní zpracování

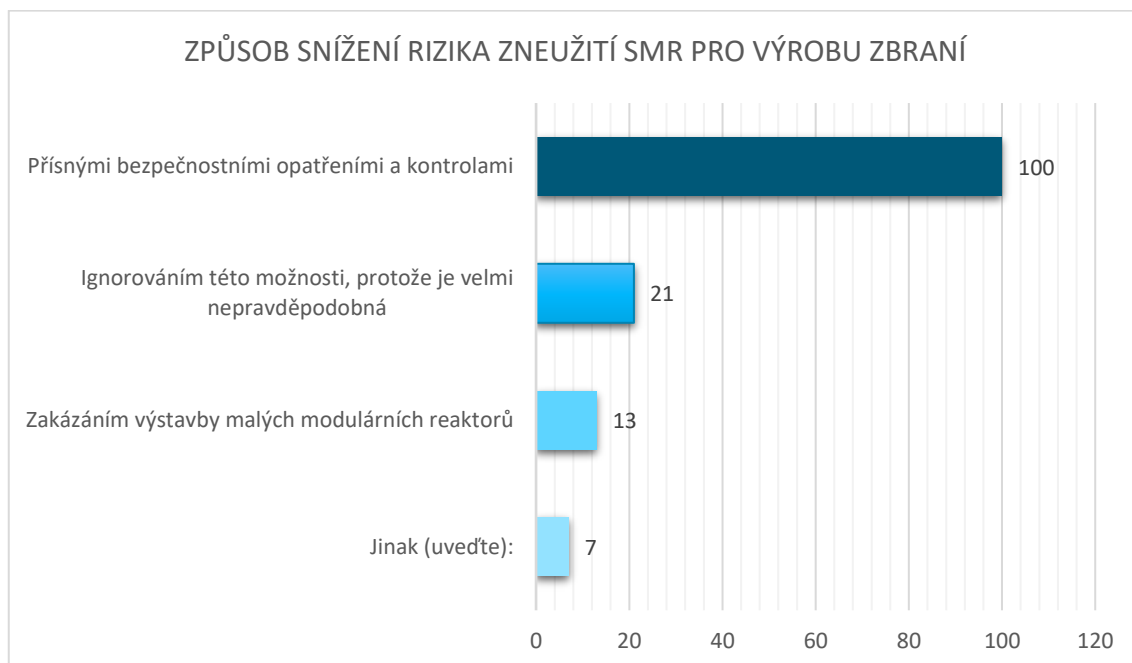
V zemích s nízkou úrovní demokracie může nedostatek transparentnosti vyplývat z omezeného přístupu veřejnosti k informacím a nedostatku svobodných médií. To brání veřejnosti a občanské společnosti sledovat a monitorovat provoz jaderných reaktorů. Bez dostatečné transparentnosti bude obtížné zajistit důvěru a řádné fungování jaderných programů.

Dalším důležitým aspektem je bezpečnost a regulace jaderných zařízení. Aby byla zajištěna bezpečnost, musí mít země s nízkou dostatečnou kapacitu a kapacitu pro řádné provádění a dodržování bezpečnostních opatření. To zahrnuje stanovení přísných norem, správných provozních postupů, odpovídající odborné školení a monitorování.

V zemích s nízkou úrovní demokracie může být rovněž omezena účast veřejnosti a občanské společnosti na rozhodovacích procesech souvisejících s energetikou a jaderným průmyslem. Absence demokracie a ústavů může omezovat schopnost veřejnosti vyjadřovat názory, vznášet názory a podílet se na rozhodování. To může vést k nedostatečnému zohlednění veřejného mínění a zájmů, což je důležitý aspekt procesu rozhodování o energetické strategii.

Z výsledků je patrné, že veřejnost přistupuje k této otázce opatrně. Většina má obavu u využití jaderných reaktorů v těchto zemích, ale je zde i pár desítek respondentů, kteří by z nějakého důvodu jsou pro výstavbu reaktorů v zemích s nízkou mírou demokracie. V těchto regionech může být rozhodovací proces rychlejší a méně byrokratický, navíc je zde ve většině případů silná centrální vláda nebo autoritářská vláda s větší mocí a kontrolou nad rozhodováním. To může zjednodušit proces výstavby a rychlejšímu zahájení a dokončení výstavby SMR, což lze vnímat jako výhodu pro ty, kteří chtějí co nejrychleji rozvíjet energetickou infrastrukturu. Na druhou stranu je potřeba aby výstavba, ale hlavně potom samotný provoz, dodržovala všechny bezpečnostní normy. Je tedy otázka, jestli by nebyla tato rychlost schvalování a výstavba nebyla na úkor bezpečnosti.

Otázka č. 22 - Jakým způsobem by měla být snížena rizika možného zneužití malých modulárních reaktorů pro výrobu zbraní hromadného ničení?



Graf 29 – Způsob snížení rizika zneužití SMR pro výrobu zbraní, zdroj: vlastní zpracování

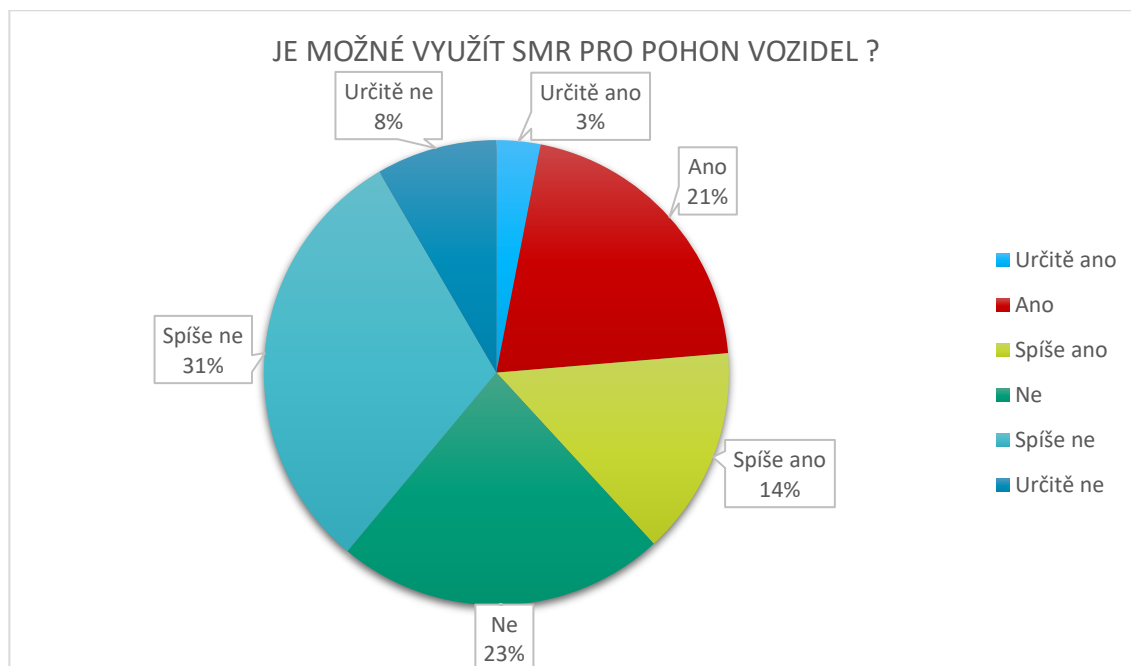
Přísnými bezpečnostními opatřeními a kontrolami je odpověď, kterou zvolilo nejvíce respondentů a z této odpovědi je jasné, že chtějí, aby se s tímto materiálem pracovalo velmi obezřetně. Nejde jen o manipulaci v rámci elektrárny, to je samozřejmostí. Kontrola a monitorování jaderných materiálů, jako je obohacený uran nebo plutonium zahrnuje jejich sledování od výroby po skladování a přepravu. Přísné mezinárodní dohody a kontroly mohou zvýšit spolehlivost a zabránit jejich neoprávněnému použití.

Malé modulární reaktory využívají speciální palivové cykly a struktury navržené tak, aby minimalizovaly množství jaderného materiálu ve srovnání s konvenčními jadernými reaktory. Jejich hlavním zaměřením je výroba elektřiny a tepla pro mírové účely. SMR obvykle běží na méně jaderného paliva než konvenční jaderné reaktory, a proto obsahují méně materiálu, který by mohl být zneužit pro vojenské účely. Tedy odpověď „Ignorováním této možnosti, protože je velmi nepravděpodobná“ je na místě, jelikož možnost zneužití je malá, ale ignorovat tuto obavu, nebo snížit bezpečnost a obezřetnost, je naprosto vyloučeno. Je však třeba poznamenat, že žádný systém není zcela bezpečný a neexistuje úplná záruka proti možnému zneužití. Proto je důležité, aby se bezpodmínečně dodržovaly přísné bezpečnostní opatření a kontroly.

Respondenti, kteří odpověděli zakázáním výstavby SMR, jsou dle mého názoru špatně informováni nebo nejsou informováni vůbec. SMR je technologie, která může přispět k dosažení

energetické nezávislosti v dané oblasti. Jsou bezemisní a mohou být sériově vyráběny, tudíž výstavba by nebyla tak zdlouhavá a rychlost výstavby by nebyla na úkor bezpečnosti, jelikož SMR jsou nejenom svým designem, ale přísnými bezpečnostními opatřeními a kontrolami velmi bezpečné.

Otázka č. 23 - Domníváte, že by malé modulární reaktory mohly být využívány k pohonu motorových vozidel?



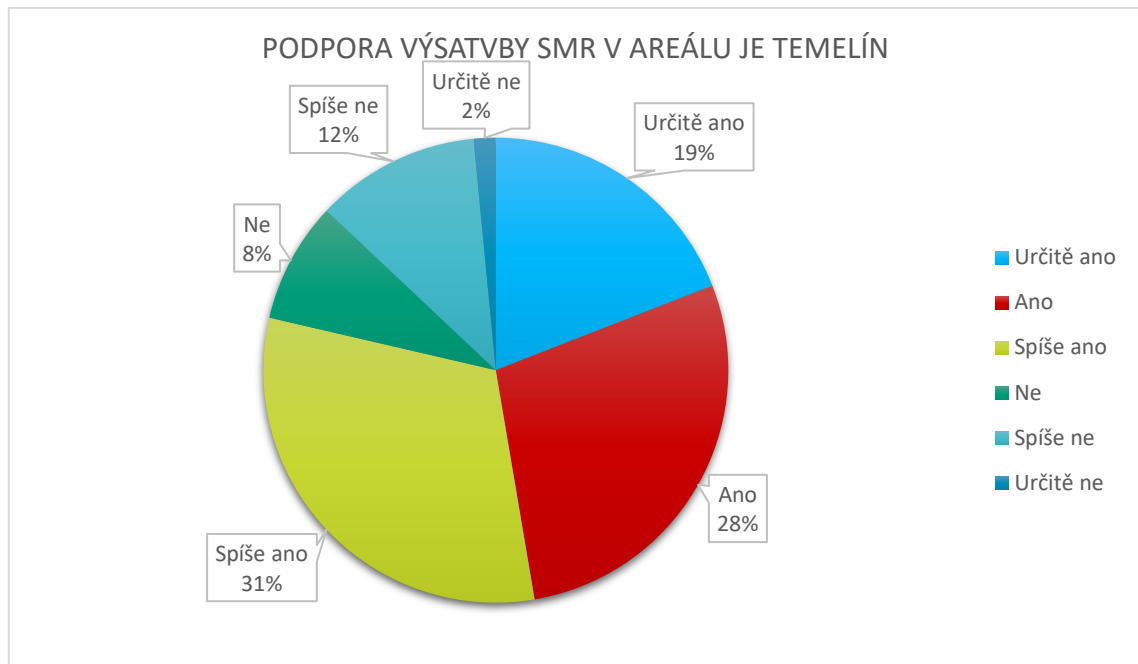
Graf 30 – Využití SMR pro pohon vozidel, zdroj: vlastní zpracování

Jaderné reaktory se v minulosti používaly k pohonu určitých typů vozidel. Nejznámějším příkladem jsou jaderné ponorky a letadlové lodě, které využívají jadernou energii jako zdroj energie pro přepravu lodí a pohyb pod vodou. Jaderné ponorky jsou schopny fungovat po dlouhou dobu bez doplňování paliva a nabízejí vysokou energetickou kapacitu.

Pohon jaderných vozidel je omezen na určité aplikace, zejména vojenské použití. Využití jaderné energie v běžných civilních vozidlech (např. osobní automobily) je stále teoretický a zahrnuje mnoho technických, bezpečnostních a regulačních problémů spojených s používáním jaderného reaktoru. Toto si uvědomuje i většina respondentů, kteří na otázku odpověděli buď „ne“, „spíše ne“ nebo „určitě ne“. V současnosti je největší překážkou váha a bezpečnost reaktoru. Co se týče váhy, Jaderný reaktor by musel být dostatečně malý a lehký, aby se dal umístit do vozidla, ale stále dostatečně výkonný, pro pohon a pohyb. Z bezpečnostního aspektu by jaderný reaktor měl být navržen a provozován tak, aby riziko úniku radioaktivního materiálu

do okolí bylo v případě havárie nebo jiné mimořádné události minimální a zároveň aby při provozu byli civilisté dobře stíněni od radioaktivních látek.

Otázka č. 24 - Souhlasili byste s výstavbou malého modulárního reaktoru v oblasti JE Temelín?



Graf 31 – Podpora výstavby SMR v areálu JE Temelín, zdroj: vlastní zpracování

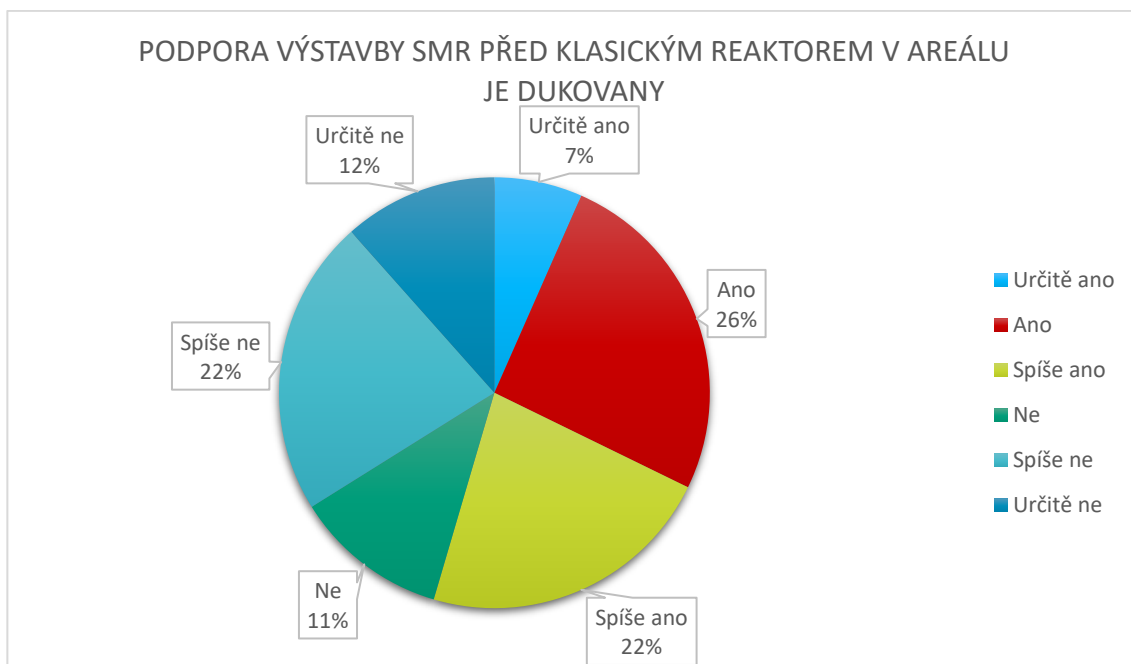
Jak bylo uvedeno výše v textu, existuje víze, že v oblasti JE Temelín bude do roku 2035 stát mimo klasických reaktorů i malý modulární reaktor. Tato myšlenka byla vznesena před konfliktem na Ukrajině a je tedy možné, že kvůli finančním nákladům bude toto datum posunuto. Je ovšem jasné, že se s výstavou počítá. Snahu výstavby potvrzuje i podepsaná referenda s firmami vyrábějící malé modulární reaktory.

Respondenti, kteří na otázku možné výstavby odpovídali, jsou naklonění této možnosti. 78% odpovědí bylo kladné, tedy „určitě ano“, „ano“ a „spíše ano“. Toto dokazuje, že lidé v této technologii vidí potenciál. Dle mého názoru tomu napomáhá i oblast, kde by se SMR měla stavět, tedy areál JE Temelín. Tomuto může nahrávat, že v oblasti jsou lidé zvyklí na přítomnost elektrárny. Samozřejmostí je bezpečnost obyvatel. Z důvodu, že by se stavělo v areálu JE Temelín, otázka bezpečnosti je už dlouhodobě zajatá, jelikož elektrárna byla uvedena do provozu na přelomu tisíciletí, zkušenosti s prevencí a ochranou obyvatelstva je na vysoké úrovni. Dále je to pracovní příležitost pro místní obyvatele, což lze chápat také jako výhodu, že výstavba a následný provoz přinese do lokality pracovní pozice. Toto jsou možné faktory, které motivovali

respondenty k odpovědi „určitě ano“ a „ano“. U jedinců, kteří odpověděli „spíše ano“ je patrná důvěra v SMR, ale zároveň tam je prostor pro obavy, které můžou pramenit z nové technologie jaderné energetiky.

Respondenti, kteří technologii nevěří, nebo z nějakého důvodu mají obavy, nebo jednoduše nechtějí podporovat jadernou energetiku zvolili možnosti „ne“, „spíše ne“ a „určitě ne“. V návaznosti na otázku č. 8 (Mohly by být tyto reaktory využívány v oblasti energetiky?), kde valná většina, až na jedince v řádu jednotek, byla přesvědčena, že je technologie vhodná na výrobu energie se mohou lidé obávat bezpečnosti, v tomto případě v otázce č. 11 (Vyjádřete na stupnici od 1 do 10, kde 1 je velmi nebezpečné, a 10 je velmi bezpečné. Jaký je Váš názor na to, zda jsou malé modulární reaktory bezpečné) odpovědělo 31,4% respondentů v rozmezí 1–5, tedy že SMR nejsou moc bezpečné, respektive že jsou nebezpečné. Je tedy patrné, že panuje obava z bezpečného využití SMR u nás.

Otázka č. 25 - Preferovali byste, aby se vláda České republiky při rozhodování o výstavbě nových reaktorů v JE Dukovany rozhodla spíše pro malý modulární reaktor než pro klasický reaktor?



Graf 32 – Podpora výstavby SMR před klasickým reaktorem v areálu JE Dukovany, zdroj: vlastní zpracování

V současné době běží tendr na dostavbu jaderného bloku Dukovan. Tato ohromná investice do jaderné energetiky má za cíl vybudování reaktoru do roku 2036. Je tedy otázkou, jestli upřednostnit vyzkoušenou technologii, která tu desítky let funguje, nebo dát přednost nové

technologii, tedy preferovat výstavbu SMR. U této otázky jsou výsledky na první pohled nerozhodně, tedy že polovina by preferovala SMR před velkým reaktorem a druhá polovina je proti a volila by radši roky osvědčený klasický velký reaktor, které jsou v JE Dukovany aktuálně v provozu čtyři.

Jak bylo zmíněno v předešlé otázce, je pravděpodobné, že se jedná o bezpečnostní stránku věci, protože v otázce na možné využití malých modulárních reaktorů v energetice jsou naprosto odlišné odpovědi oproti vnímání bezpečnosti SMR. I když SMR vychází z bezpečnostních standardů a poznatků velkých reaktorů nejnovější generace, jsou tedy na podobné ne-li lepší úrovni než konvenční reaktory z důvodu velikosti a množství používaného jaderného materiálu, stále panují obavy z bezpečnosti. Toto může pramenit z nedostatku informovanosti o této technologii.

Pro přesvědčení veřejnosti je důležité spustit rozsáhlou informační kampaň, která přináší jasnou a srozumitelnou prezentaci výhod a bezpečnosti malých modulárních reaktorů. Je důležité informovat veřejnost o vyspělých technologiích SMR a zdůrazňovat jejich potenciál snižovat dopady na životní prostředí a zajišťovat energetickou bezpečnost. Tato kampaň by měla zahrnovat nejnovější informace a důkazy podporující bezpečnost a účinnost SMR.

6 NÁVRHY A OPATŘENÍ K ROZVOJI OBORU

6.1 Návrhy a opatření v oblasti rozvoje ochrany obyvatelstva

Při návrhu SMR je třeba dbát na maximální bezpečnost a minimalizaci možnosti vstupu radioaktivních látek do životního prostředí. To zahrnuje použití bezpečnostních zařízení, kvalitní konstrukci a instalaci pasivních bezpečnostních systémů, důkladný výzkum a vývoj nových technologií a materiálů. Je důležité, aby SMR disponovaly systémy monitorování a měření ionizujícího záření. Tyto systémy musí být rozmístěny ve strategických oblastech a v obydlených lokalitách a pravidelně monitorovány. To umožňuje včasnou detekci potenciálních úniků radiace a vhodnou reakci. Je nezbytné mít nouzové evakuační a komunikační plány pro danou oblast. Tato opatření musí být vypracována ve spolupráci s místními úřady a měla by zahrnovat jasně definované postupy, komunikační kanály a úkryty pro evakuované obyvatele.

Pro zajištění bezpečného provozu SMR je nezbytná vysoká odborná příprava a školení personálu. Je důležité realizovat specifické školicí programy a kurzy zaměřené na SMR a jejich specifické provozní a bezpečnostní požadavky. Toto školení by mělo zahrnovat technické aspekty i aspekty bezpečnosti, řízení rizik a krizového řízení. Kromě toho by se měly pořádat pravidelná školení a cvičení, aby byli zaměstnanci pravidelně informováni o nejnovějších postupech a předpisech a aby byl personál vyškolený, aby se co nejvíce předešlo havárii.

Dalším klíčovým faktorem pro budování důvěry v SMR je komunikace a veřejný dialog. Musí být vytvořena otevřená, srozumitelná a vědecky podložená komunikační strategie. Veřejnost by měla být informována o bezpečnostních opatřeních, kontrolách a ochranných opatřeních zavedených k minimalizaci rizik spojených s MMR. K tomuto účelu lze využít různé komunikační kanály, jako jsou veřejné diskuse, webové stránky, informační listy, veřejné prezentace a setkání s občany.

6.2 Návrhy a opatření v oblasti rozvoje vzdělávání v ochraně obyvatelstva

Zařazení problematiky do školních osnov umožní žákům získat znalosti v oblasti jaderné energetiky. Je důležité, aby školní vzdělávací program obsahoval informace o různých typech reaktorů a SMR, principu řízení jaderné štěpné reakce a příslušných bezpečnostních systémech. Komplexní zařazení v rámci předmětu do školního vzdělávacího programu by mělo zahrnovat i studium historických havárií jaderných elektráren a zaměřené na příčiny a následky těchto nehod. Žáci by tak byly schopni porozumět významu bezpečnostních opatření a

preventivních mechanismů ve vztahu k provozu. Vzdělávání v oblasti ochrany obyvatelstva by měl klást důraz i ochranu před ionizujícím zářením, které by bylo nutné v případě havárie jaderné elektrárny.

Důležitou součástí rozvoje vzdělávání je také spolupráce s provozovateli, laboratořemi jaderného výzkumu, bezpečnostními agenturami a vysokými školami specializovanými na jadernou technologii. Tato spolupráce by měla zahrnovat přednášky, workshopy, exkurze do jaderných zařízení a sdílení vědeckých poznatků a zkušeností se studenty a učiteli.

V neposlední řadě je důležité vytvářet a distribuovat speciální školicí materiály jako jsou učebnice, manuály a online zdroje, které obsahují komplexní informace o ochraně veřejnosti před ionizujícím zářením při provozu jaderné elektrárny. Tyto materiály by měly být snadno dostupné a jasné, s použitím vhodné grafiky, příkladů a obrázků, které pomohou porozumět technickým a bezpečnostním aspektům SMR.

Realizace těchto návrhů a opatření v oblasti rozvoje vzdělávání na ochranu obyvatelstva ve vzdělávání je krokem k vytvoření informované a zmocněné společnosti proti možným rizikům spojeným s používáním malých modulárních reaktorů. Tímto způsobem lze zvýšit povědomí studentů o problematice jaderné energetiky, jejich schopnost analyzovat rizika a činit informovaná rozhodnutí v této oblasti.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo shrnout a poskytnout informace o současném stavu výzkumu a rozvoji SMR a jejich technická a bezpečná realizace. Bylo zjištěno, že ačkoliv je v české literatuře o SMR velmi málo informací, tak v zahraničních publikacích (zejména dokumenty IAEA) věnují SMR velkou pozornost. V současné době existuje více než 50 různých typů SMR fáze vývoje, ale v této práci jsou popsány hlavně 3 typy, u kterých se předpokládá možná výstavba v ČR.

Při vývoji SMR jsou uplatňovány přísné bezpečnostní normy a předpisy. Reaktory jsou navrženy tak, aby vydržely očekávaná nebezpečí a minimalizovaly možnost úniku radioaktivních materiálů. Návrhy mají integrované bezpečnostní prvky a ochranné bariéry, které oddělují jaderný materiál od okolí a snižují riziko úniku. Při plánování umístění SMR jsou zohledněny bezpečné vzdálenosti od obydlených oblastí. Vzhledem ke své malé velikosti a výkonu mají SMR menší nároky na půdu a mohou být umístěny v odlehlých oblastech, které minimalizují potenciální dopad na obyvatelstvo. V případě výstavby v ČR se první stavba SMR plánuje v areálu JE Temelín, kde za celou provozní historii jsou připraveni na havárii a ochranu obyvatelstva.

Jaderná energetika je komplexní obor, takže povědomí lidí o malých jaderných reaktorech může být omezené. Veřejnost často dostává informace o jaderné energetice prostřednictvím médií. Mediální pokrytí jaderné energetiky se často zaměřuje na nehody a incidenty, což může vést k obecně negativnímu vnímání jaderné energetiky. Názory laiků na bezpečnost malých jaderných reaktorů se mohou lišit. Existuje skupina lidí, kteří obecně nedůvěřují jaderné energii a bezpečnosti jaderných reaktorů bez ohledu na jejich velikost. Pro ně může být jakýkoli jaderný reaktor považován za potenciální hrozbu. A naopak, existují i lidé, kteří vidí potenciál pro bezpečnější a čistší energii v malých modulárních reaktorech. V rámci dotazníkového šetření bylo zjištěno, že laická veřejnost je o malých modulárních technologiích dobře informovaná, i když se jedná o novou technologii. Většina veřejnosti věří, že je bezpečná a mohla by být v budoucnu využívána jako zdroj elektrické energie a podpořili by výstavbu SMR v areálu JE Temelín, popřípadě jako variantu pro výstavbu v areálu JE Dukovany.

Malé modulární reaktory, jakožto zmenšená verze velkých konvenčních reaktorů používaných v současné době, mají úroveň zabezpečení na stejné úrovni ne-li vyšší. Potencionální větší bezpečnost SMR je zajištěna mimo jiné samotnou velikostí a menším výkonem reaktoru, důsledkem je třeba menší množství jaderného paliva. S nižším množstvím paliva klesá potenciační riziko v případě havárie. Menší objem paliva také umožňuje efektivnější chlazení a ovládání elektrárny. Mnoho typů SMR je navrženo s důrazem na systémy

pasivní bezpečnosti. Tyto systémy využívají fyzikálních jevů a přírodních zákonů k řízení a regulaci provozu reaktoru jako jsou například pasivní chladicí systémy. Ty mohou využívat přirozené proudění vzduchu nebo vody, čímž se minimalizuje potřeba externích zdrojů energie a snižuje se riziko selhání systému. Modularita také usnadňuje kontrolu kvality a kontrolu jednotlivých modulů v továrnách ještě před instalací. Proto předpokládáme, že SMR bude mít větší spolehlivost a bezpečnost.

Konkrétní trendy v ochraně před ionizujícím zářením se mohou lišit v závislosti na typu SMR a jeho provedení. Každý výrobce může mít vlastní inovace a technologie zaměřené na zajištění bezpečnosti provozu reaktoru a minimalizaci účinků ionizujícího záření, všechny SMR jsou ale v podstatě menší verze konvenčních jaderných reaktorů s nižším výkonem. I když se mohou v některých technických detailech lišit, základní principy ochrany před ionizujícím zářením zůstávají stejné a lze je aplikovat na SMR (obal reaktoru, chladicí systém, kontrola reaktoru, ochrana proti haváriím...).

V České republice se jaderné reaktory obecně řídí platnými právními předpisy o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení, která se vztahuje na jaderné reaktory obecně. Orgány odpovědné za monitorování jaderné bezpečnosti a předpisů v České republice, jako je Národní úřad pro jadernou bezpečnost, by mohly při implementaci a výkladu této legislativy zvážit flexibilitu a aplikovatelnost zákonů a předpisů SMR. Tyto orgány by měly sledovat vývoj technologií SMR a v případě potřeby navrhnout legislativní změny k zajištění jejich flexibility a vhodné aplikace na novou formu jaderného reaktoru.

8 SOUHRN

Diplomová práce „Malé modulární reaktory a jejich možné vnímání jako bezpečnostní hrozby“ se zabývá analýzou a posouzením možných rizik spojených s využitím malých modulárních reaktorů (SMR) jako alternativního zdroje jaderné energie. Práce se zaměřuje na bezpečnostní aspekty SMR a jejich možné negativní důsledky.

Úvodní teoretická část práce zkoumá historický vývoj jaderných reaktorů, které se v současnosti používají ve světě. Legislativní rámce zajišťující a podmiňující bezpečný provoz jaderné energetiky. Pozornost v závěrečné práci je upřena především na malé modulární reaktory, jejich vývoj, výrobu a výstavbu, ale hlavně především na bezpečnost SMR.

Hlavní část práce je zaměřena na dotazníkové šetření, které cílí na širokou veřejnost a její znalost o problematice SMR a jejich bezpečnou aplikaci, bezpečnost, nakládání s jaderným odpadem a možnou výstavbou v ČR v lokalitách našich dvou jaderných elektráren, tedy JE Dukovany a JE Temelín.

Diplomová práce se zaměřuje na posouzení potenciálních rizik souvisejících s SMR a jejich vnímání jako bezpečnostní hrozby. Výsledkem práce jsou doporučení, která pomáhají minimalizovat bezpečnostní rizika a zlepšit vnímání SMR veřejností jako bezpečného a udržitelného zdroje energie.

9 SUMMARY

The thesis "Small Modular Reactors and their perception as a security threat „deal with the analysis and assessment of risks associated with the use of small modular reactors (SMR) as an alternative source of nuclear energy. The thesis focuses on the safety aspects of SMRs and their possible negative consequences.

The introductory theoretical part of the thesis examines the historical development of nuclear reactors, the reactors that are currently used in the world. Legislative frameworks ensuring and conditioning the safe operation of nuclear power. The focus in the thesis is on small modular reactors, their development, production, and construction, but on the safety of SMRs.

The main part of the thesis is focused on a questionnaire survey, which targets the public and their knowledge about SMRs and their safe application, safety, nuclear waste management and construction in the Czech Republic at the sites of our two nuclear power plants, i.e., NPP Dukovany and NPP Temelín.

The thesis focuses on the assessment of potential risks associated with SMRs and their perception as a safety threat. The thesis results in recommendations that help to minimize safety risks and improve the public perception of SMR as a safe and sustainable energy source.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

10.1 Seznam literatury

1. ASME. (2019). Part A: A Scalable Approach to Commercial Nuclear Power: NuScale Power's New Approach to Safety and Deployment of Nuclear Plants. In Continuing and Changing Priorities of the ASME Boiler & Pressure Vessel Codes and Standards (pp. 32-1-32–21). ASME Press. doi:10.1115/1.860199_ch32PRIS - Home. *Object moved* [online]. Copyright © 2023 International Atomic Energy Agency [cit. 11.04.2023]. Dostupné z: <https://pris.iaea.org/PRIS/>
2. Badwan, F. M., Demuth, S. F., Miller, M. C., Pahakin, G. (2015). Safeguards and Security by Design (SSBD) for Small Modular Reactors (SMRs) through a Common Global Approach. LA-UR-14-26422. Los Alamos National Laboratory.
3. Bentoumi, G., Chaudhuri, A., Ende, B. v. d., Bhaskar, S. (2020). Safety and Security for small modular reactor (SMRs). Federal Nuclear Science and Technology Program.
4. Bezpečnostní strategie České republiky, Praha: ÚZV pro MZV, 2003, 28 s., ISBN 8086506345., [online]. 2011 [cit. 2022-12-2]. dostupné z <https://www.mocr.army.cz/2003>
5. Česko. § 43 písm. c) Zákona č. 263/2016 Sb., Atomový zákon - znění od 1. 2. 2022. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 12. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263#p43-1-c>
6. Česko. Zákon č. 263/2016 Sb., Atomový zákon - znění od 1. 2. 2022. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 11. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263#f5854983>
7. Doležel, M., Kyselák, J., Mika, O. J., & Novák, J. (2014). Základy ochrany obyvatelstva. Univerzita Palackého v Olomouci.
8. Ďurdovič, M., et al. (2022). Malé modulární reaktory. Vydání 1. Praha: Středisko společenských činností AV ČR, v.v.i., pro Kancelář Akademie věd ČR. Strategie AV21. Udržitelná energetika. ISBN 978-80-200-3395-6
9. E15.cz. (2021). Investice do jaderné energetiky směřují do modulárních reaktorů. [online] Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/investice-do-jadernerne-energetiky-smeruji-do-velkych-i-modularnich-reaktoru-1397026> [citováno 20.02.2023]International Atomic Energy Agency, Assessment of Defence in Depth for Nuclear Power Plants, Safety Reports Series No. 46, IAEA, Vienna (2005)

10. Goldberg, S., Rosner, R. (2011). Nuclear Reactors: Generation to Generation [online]. Citace 2022-12-2. Dostupné z: <http://www.amacad.org/pdfs/nuclearreactors.pdf>
11. GE Power. (n.d.). BWRX-300. Retrieved from <https://nuclear.gepower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/bwrx-300>
12. Holtec International. (n.d.). SMR Technology Overview. Retrieved from <https://holtecinternational.com/products-and-services/smr/technology/overview/>
13. Horák, J., & Mynář, P. (2010). Nový jaderný zdroj v lokalitě Temelín včetně vyvedení výkonu do rozvodny Kočín: dokumentace vlivů záměrů na životní prostředí. Vydání 02. Praha; Ústí nad Labem (Czech Republic): SCES - Group. Dostupné z: http://tomcat.cenia.cz/eia/download.jsp?view=eia_cr&id=MZP230&file=dokumentaceDO_C
14. HZS Jihočeského kraje - Vnější havarijní plán Jaderné elektrárny Temelín - Hasičský záchranný sbor České republiky. Úvodní strana - Hasičský záchranný sbor České republiky [online]. Copyright © 2023 Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, všechna práva vyhrazena [cit. 22.05.2023]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/vnejsi-havarijni-plan-jaderne-elektrarny-temelin.aspx>
15. HZS Kraje Vysočina - Vnější havarijní plány - Hasičský záchranný sbor České republiky. Úvodní strana - Hasičský záchranný sbor České republiky [online]. Copyright © 2023 Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, všechna práva vyhrazena [cit. 19.05.2023]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/vnejsi-havarijni-plany-vnejsi-havarijni-plany.aspx>
16. IAEA. (2022). Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. In A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2022 Edition.
17. IAEA. (2021). NuScale Power Modular and Scalable Reactor. Dostupné z: <https://aris.iaea.org/PDF/NuScale.pdf>
18. Ingersoll, D., & Carelli, M. (2020). Handbook of Small Modular Nuclear Reactors. In Handbook of Small Modular Nuclear Reactors: Second Edition. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823916-2.09991-4>
19. Ingersoll, D., & Carelli, M. (2020). Handbook of Small Modular Nuclear Reactors. In Handbook of Small Modular Nuclear Reactors: Second Edition. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823916-2.09991-4>.
20. International Atomic Energy Agency. (1998). Small modular reactors (SMR) [online]. International Atomic Energy Agency | Atoms for Peace and Development. Copyright © 1998 [cit. 06.01.2023]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors>

21. International Atomic Energy Agency. (1998). Regulatory and Industrial Harmonization for SMR Deployment. In IAEA. Retrieved from <https://www.iaea.org/newscenter/news/accelerating-smr-deployment-new-iaea-initiative-on-regulatory-and-industrial-harmonization>
22. International Atomic Energy Agency. (2016). Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1). Vienna: IAEA.
23. International Atomic Energy Agency. (2020). Advances in Small Modular Reactor Technology Developments: A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition (INIS-XA--20K0995). Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA).
24. Kopečný, J. (2000). Fyzika II b: elektromagnetické záření a Atomové jádro. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita.
25. Lee, M., & Woo, S. M. (2018). A new security strategy for small medium-sized reactor (SMR) plants. *Progress in Nuclear Energy*, 108. doi:10.1016/j.pnucene.2018.05.012.
26. Locatelli, G., Bingham, C., & Mancini, M. (2014). Small modular reactors: A comprehensive overview of their economics and strategic aspects. *Progress in Nuclear Energy*, 73, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.01.010>
27. Locatelli, G., & Mancini, M. (2010). Small-medium sized nuclear coal and gas power plant: A probabilistic analysis of their financial performances and influence of CO2 cost. *Energy Policy*, 38(10), 6360–6374. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.027>
28. McCracken, G. M., & Stott, P. E. (2019). Fúze: energie vesmíru [Fusion: Energy of the Universe] (2nd ed.). Praha: Academia. Galileo; svazek 71
29. MEF. (2006). Vazebná energie jádra. Retrieved from <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/799-vazebna-energie-jadra>
30. Ministerstvo průmyslu a obchodu. (2005). Státní energetická koncepce [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu. Copyright © 2005 [cit. 30.03.2023]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument158059.html>
31. Ministerstvo vnitra. (2016). Terminologický slovník pojmů z oblasti krizového řízení, ochrany obyvatelstva, environmentální bezpečnosti a plánování obrany státu [Terminological Dictionary of Terms in the Field of Crisis Management, Civil Protection, Environmental Security, and Defense Planning]. Praha [online]. Retrieved from <https://www.mvcr.cz/clanek/terminologicky-slovník-krizove-řízení-a-planování-obrany-státu.aspx>

32. Národní akční plán rozvoje jaderné energetiky v České republice | MPO. (2005). Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Retrieved from <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/jaderna-energetika/narodni-akcni-plan-rozvoje-jaderne-energeticky-v-ceske-republice--166679/>
33. Národní ústav pro jadernou bezpečnost. (2016). Stupnice INES. [Online]. Retrieved from <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/ines/stupnice-ines>
34. Novák, J. (2014). Krizové řízení. Univerzita Palackého v Olomouci.
35. Nuclear Power. (n.d.). Decay Heat - Decay Energy. In: Nuclear Power for Everybody - What is Nuclear Power [online]. Copyright © 2023 Nuclear Power [cit. 12.04.2023]. Dostupné z: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/reactor-operation/residual-heat/decay-heat-decay-energy/>
36. Nuclear Regulatory Commission. (n.d.). Decay heat. In: NRC.gov [online]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/decay-heat.html>
37. Nuclear Regulatory Commission. (n.d.). Criticality. In: NRC.gov [online]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/criticality.html>
38. Nuclear Regulatory Commission. (n.d.). Reactivity. In NRC.gov. Retrieved from <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/reactivity.html>
39. Oenergetice.cz. (s.d.). Tendr na dukovanský blok postoupí do další fáze, vyprší termín pro první nabídky. [Online]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/jadern-elektřarny/tendr-na-dukovansky-blok-postoupi-do-dalsi-faze-vyprsi-termin-pro-prvni-nabidky>
40. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2016). Implementation of Defence in Depth at Nuclear Power Plants. <https://doi.org/10.1787/9789264253001-en>
41. Rady pro občany - radiční havárie. (n.d.). In Portál krizového řízení HZS JmK. Retrieved May 22, 2023, from <https://www.krizport.cz/rady/rady-pro-obcany-radiacni-havarie#a3>
42. Reactor Decommissioning Research and Development Center. (n.d.). History of Fugen. In: [online]. Dostupné z: <https://www.jaea.go.jp/04/fugen/en/guide/history/>
43. Sklenka, Ľ. (2014). Malé a modulární jaderné reaktory a jejich potenciální využití v České republice = Small and modular reactors and its potential use in the Czech Republic. V Praze: České vysoké učení technické.
44. Sklenka, Ľ., Heraltová, L., & Sklenka, Ľ. (2016). Provozní reaktorová fyzika (2. přepracované vydání). České vysoké učení technické.

45. Slavík, J. (2023). Proelektrotechniky.cz elektrotechnika nejen pro odborníky [online]. Copyright © 2012 [cit. 06.01.2023]. Dostupné z: <https://www.proelektrotechniky.cz/onas.php>
46. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. (2022). Národní zpráva české republiky pro účely Úmluvy o jaderné bezpečnost. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost.
47. Toshiba Corporation & Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI). (2013). SUPER-SAFE, SMALL AND SIMPLE REACTOR (4S, TOSHIBA DESIGN), Japan.
48. World Nuclear Association. (2016). Small nuclear power reactors [online]. World Nuclear Association - World Nuclear Association. Copyright © 2016 [cit. 12.04.2023]. Dostupné z: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>
49. Western European Nuclear Regulators Association – Reactor Harmonisation Working Group. (2013). Safety of new NPP designs. Retrieved from https://www.wenra.eu/sites/default/files/publications/rhwg_safety_of_new_npp_designs.pdf
50. World Nuclear Association. (2016). Nuclear Fuel Cycle Overview. Retrieved from <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/nuclear-fuel-cycle-overview.aspx>
51. World Nuclear Association. (2016). Small nuclear power reactors [online]. World Nuclear Association - World Nuclear Association. Copyright © 2016 [cit. 12.04.2023]. Dostupné z: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>
52. World Nuclear Association. (2016). Nuclear Power in the Czech Republic | Nuclear Power in Czechia. Retrieved from <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/czech-republic.aspx#smrs>
53. Widodo Surip, Nandy Putra, Anhar Riza Antariksawan. (2022). Design of passive residual heat removal systems and application of two-phase thermosyphons: A review. Progress in Nuclear Energy, 154, 104473. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104473>
54. Základní informace pro případ radiační havárie jaderné elektrárny | skupina ČEZ. České energetické závody [online]. Copyright © 2023 [cit. 06.01.2023]. Dostupné z: http://file:///C:/Users/Admin/Downloads/informace_EDU_DUKOVANY_300x140-2.pdf

55. Základní typy jaderných reaktorů | skupina ČEZ. České energetické závody[online].
Copyright © 2023 [cit. 06.01.2023]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobnizdroje/jaderna-energetika/je-ve-svete/zakladni-typy-jadernych-reaktoru>

10.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Stupnice INES	14
Obrázek 2– Úrovně ochrany do hloubky.....	30
Obrázek 3 – Vnější havarijní plán JE Dukovany.....	35
Obrázek 4 – Vnější havarijní plán JE Temelín.....	37
Obrázek 5 Jaderná elektrárna s moduly SMR Voygr firmy NuScale.....	46
Obrázek 6 – Reaktorová budova s malými modulárními reaktory NuScale	49
Obrázek 7 – Malý modulární reaktor BWRX-300.....	53
Obrázek 8 – Jaderná elektrárna SMR-160.....	58

10.3 Seznam tabulek

Tabulka 1– Aktuálně provozované reaktory ve světě, zdroj.....	21
Tabulka 2 – Pohlaví respondentů.....	124
Tabulka 3 – Věková kategorie	124
Tabulka 4 – Nejvyšší dosažené vzdělání.....	124
Tabulka 5 – Postoj k používání jaderné energie podle věkové kategorie	125
Tabulka 6 – Postoj k používání jaderné energie podle nejvyššího dosaženého vzdělání.....	125
Tabulka 7 – Setkání s pojmem SMR podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování.	125
Tabulka 8 – Setkání s pojmem SMR podle nejvyššího dosaženého vzdělání.....	125
Tabulka 9 – Vnímání SMR jako bezpečnostní riziko podle věkové kategorie	126
Tabulka 10 – Vnímání SMR jako bezpečnostní riziko podle nejvyššího dosaženého vzdělání	126
Tabulka 11 – Vnímání využití SMR v energetice podle věkové kategorie.....	127
Tabulka 12 – Vnímání využití SMR v energetice podle nejvyššího dosaženého vzdělání	127
Tabulka 13 – Výhody SMR.....	127

Tabulka 14 – Nevýhody SMR	128
Tabulka 15– Vnímání bezpečnosti SMR.....	128
Tabulka 16 – Možnosti zajištění bezpečného provozu SMR.....	129
Tabulka 17 – Řešení obav veřejnosti týkající se bezpečnosti SMR	129
Tabulka 18 – Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných reaktorů podle věkové kategorie	129
Tabulka 19– Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných reaktorů podle nejvyššího dosaženého vzdělání	130
Tabulka 20 – Mohou SMR mít negativní dopad na životní prostředí, vnímání podle věkové skupiny	130
Tabulka 21 – Mohou SMR mít negativní dopad na životní prostředí, vnímání podle nejvyššího dosaženého vzdělání	131
Tabulka 22 – Řešení obav veřejnosti ohledně bezpečnosti SMR.....	131
Tabulka 23 – Nejlepší metody likvidace jaderného odpadu	131
Tabulka 24 – Přístup k výstavbě SMR	132
Tabulka 25 – Státní podpora při výstavbě SMR	132
Tabulka 26 – Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle věku respondentů	132
Tabulka 27 – Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle nejvyššího dosaženého vzdělání.....	133
Tabulka 28 – Podpora výstavby SMR v Zemích s nízkou demokracií podle věku respondentů.....	133
Tabulka 29 – Podpora výstavby SMR v zemích s nízkou demokracií podle vzdělání respondentů.....	134
Tabulka 30 – Způsob snížení rizika zneužití SMR pro výrobu zbraní	134
Tabulka 31 – Využití SMR pro pohon vozidel.....	135
Tabulka 32 – Podpora výstavby SMR v areálu JE Temelín	135
Tabulka 33– Podpora výstavby SMR před klasickým reaktorem v areálu JE Dukovany .	135

10.4 Seznam grafů

Graf 1 – Pohlaví respondentů	65
Graf 2 – Věková kategorie.....	65
Graf 3 – Nejvyšší dosažené vzdělání	66
Graf 4 – Postoj k používání jaderné energie podle věkové kategorie	67
Graf 5 – Postoj k používání jaderné energie podle nejvyššího dosaženého vzdělání.....	67
Graf 6 – Setkání s pojmem SMR podle věkové kategorie	68
Graf 7 – Setkání s pojmem SMR podle nejvyššího dosaženého vzdělání	70
Graf 8 – Vnímání SMR jako bezpečnostní riziko podle věkové kategorie.....	72
Graf 9 – Vnímání SMR jako bezpečnostní riziko podle nejvyššího dosaženého vzdělání .	72
Graf 10– Vnímání využití SMR v energetice podle věkové kategorie	74
Graf 11 – Vnímání využití SMR v energetice podle nejvyššího dosaženého vzdělání.....	74
Graf 12 – Výhody SMR	76
Graf 13 – Nevýhody SMR	77
Graf 14 – Vnímání bezpečnosti SMR.....	79
Graf 15 – Možnosti zajištění bezpečného provozu SMR.....	81
Graf 16 – Řešení obav veřejnosti týkající se bezpečnosti SMR	82
Graf 17 – Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných reaktorů podle věkové kategorie.....	83
Graf 18 – Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných reaktorů podle nejvyššího dosaženého vzdělání	84
Graf 19 – Mohou SMR mít negativní dopad na životní prostředí, vnímání podle věkové skupiny	86
Graf 20 – Mohou SMR mít negativní dopad na životní prostředí, vnímání podle nejvyššího dosaženého vzdělání	86
Graf 21– Řešení obav veřejnosti ohledně bezpečnosti SMR	88
Graf 22 – Nejlepší metody likvidace jaderného odpadu.....	89
Graf 23 – Přístup k výstavbě SMR	91
Graf 24 – Státní podpora při výstavbě SMR.....	92
Graf 25 – Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle věku respondentů	93
Graf 26 – Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle nejvyššího dosaženého vzdělání.....	94

Graf 27 – Podpora výstavby SMR v Zemích s nízkou demokracií podle věku respondentů	96
Graf 28 – Podpora výstavby SMR v zemích s nízkou demokracií podle vzdělání respondentů	96
Graf 29 – Způsob snížení rizika zneužití SMR pro výrobu zbraní	98
Graf 30 – Využití SMR pro pohon vozidel	99
Graf 31 – Podpora výstavby SMR v areálu JE Temelín.....	100
Graf 32 – Podpora výstavby SMR před klasickým reaktorem v areálu JE Dukovany.....	101

11 PŘÍLOHY

11.1 Příloha 1: Vzor dotazníku

*Jmenuji se Jan Klíma a jsem studentem oboru **Učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň ZŠ a SŠ a ochrana obyvatelstva** na FTK UP v Olomouci. Zpracovávám diplomovou práci na téma **Malé modulární reaktory a jejich možné vnímání jako bezpečnostní hrozba**. Zabývám se problematikou malých modulárních reaktorů, a to z pohledu možných přístupů k realizaci opatření ochrany obyvatelstva. Žádám Vás o vyplnění dotazníku k mé diplomové práci.*

*Vyplněním **souhlasíte se zpracováním údajů**, které zde poskytnete. S daty bude nakládáno v souladu s platnou legislativou. Účast ve výzkumu je zcela **dobrovolná**. Osobní údaje účastníka výzkumu (sociodemografická data, mezi která patří například věk, pohlaví, dosažené vzdělání apod.) budou v rámci řešení závěrečná práce zpracována v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady EU 2016/679 ze dne 27. dubna 2016 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů a o zrušení směrnice 95/46/ES a zákonem č. 110/2019 Sb., o zpracování osobních údajů. Získané výsledky budou využity pro účely mé diplomové práce. Data budou zpracována standardním aplikačním a programovým vybavením a dále publikována, komentována a diskutována v této práci. Zabere Vám to přibližně 10 minut.*

Předem děkuji za spolupráci

1. Vaše pohlaví:

- Muž
- Žena

2. Váš věk:

- Méně než 20
- 21-26
- 27-50
- 51-64
- 65 a starší

3. Vaše nejvyšší dosažené vzdělání

- Základní

- Střední s výučním listem
- Střední s maturitní zkouškou
- Vyšší odborné
- Vysokoškolské bakalářské
- Vysokoškolské magisterské
- Vysokoškolské doktorské

4. Jaký je Váš postoj k využívání jaderné energie obecně?

- a) Podporuji ji
- b) Nesouhlasím s ní
- c) Nemám na ní názor

5. Setkal/a jste se někdy s pojmem malý modulární reaktor ?

- Ano
- Ne

6. Co si pod pojmem malý modulární reaktor představujete? Uveďte stručný popis.

- Vlastní popis

7. Mohou malé modulární reaktory představovat bezpečnostní riziko?

- Rozhodně ano
- Ano
- Spíše ano
- Ne
- Spíše ne
- Rozhodně ne

8. Mohly by být tyto reaktory využívány v oblasti energetiky?

- Rozhodně ano
- Ano
- Spíše ano
- Ne
- Spíše ne
- Rozhodně ne

9. Jaké jsou podle Vás největší výhody malých modulárních reaktorů?

- a) Nižší náklady na stavbu a provoz
- b) Menší emise skleníkových plynů

- c) Možnost využití v odlehlých oblastech
- d) Snadnější ovládání a údržba
- e) Jiné (uveďte):

10. Jaké jsou podle Vás největší nevýhody malých modulárních reaktorů?

- a) Riziko havárie a radioaktivního znečištění
- b) Vysoké náklady na výrobu paliva
- c) Potenciální využití pro výrobu zbraní hromadného ničení
- d) Negativní vliv na přírodu a biodiverzitu
- e) Jiné (uveďte):

11. Vyjádřete na stupnici od 1 do 10, kde 1 je velmi nebezpečné, a 10 je velmi bezpečné.

Jaký je Váš názor na to, zda jsou malé modulární reaktory bezpečné?

- Stupnice 1 až 10

12. Jak by podle Vás měla být zajištěna bezpečnost provozu malých modulárních reaktorů?

- a) Vysokými standardy bezpečnosti a častou kontrolou
- b) Omezením veřejného přístupu k informacím o bezpečnosti
- c) Náborovým procesem pro výběr kvalifikovaných pracovníků
- d) Jinak (uveďte):

13. Jakým způsobem by měly být řešeny obavy veřejnosti týkající se bezpečnosti malých modulárních reaktorů?

- a) Zlepšením komunikace a informovanosti veřejnosti
- b) Ignorováním těchto obav a prosazením výstavby tohoto typu reaktorů
- c) Omezováním svobody projevu kritiků jaderné energie
- d) Jiné (uveďte):

14. Jak často byste chtěli být informováni o bezpečnosti malých modulárních reaktorů a reaktorů obecně?

- a) Denně
- b) Týdně
- c) Měsíčně
- d) Čtvrtletně
- e) Ročně
- f) Nezáleží mi na tom

15. Mohou malé modulární reaktory mít negativní vliv na životní prostředí?

- Rozhodně ano
- Ano
- Spíše ano
- Ne
- Spíše ne
- Rozhodně ne

16. Jaký je Váš názor na to, jak by měla být řešena otázka likvidace jaderného odpadu z malých modulárních reaktorů a reaktorů obecně?

- a) Likvidace by měla být zajištěna bezpečně a odpovědně
- b) Nevím, jak by měla být tato otázka řešena
- c) Nezajímá mě to
- d) Jiný (uved'te):

17. Jaké metody likvidace jaderného odpadu jsou podle Vás nejvhodnější?

- a) Skládání v geologicky stabilních oblastech
- b) Ukládání do podzemních úložišť
- c) Recyklace a opětovné využití
- d) Jiné metody (uved'te, jaké):

18. Jakým způsobem by se dle Vašeho názoru mělo přistupovat k výstavbě malých modulárních reaktorů?

- a) S maximální opatrností a prioritou bezpečnosti
- b) Budování na odlehlých místech
- c) S prioritou ekonomického zisku
- d) S prioritou využití vědeckých poznatků
- e) Neměly by se stavět z bezpečnostních důvodů

19. Myšlenku, že by stát podporoval výstavbu malých modulárních reaktorů hodnotím jako:

- a) Vynikající
- b) Velmi dobrou
- c) Dobrou
- d) Špatnou
- e) Velmi špatnou

20. Měli by být podle Vašeho názoru malé modulární reaktory využívány v méně rozvinutých zemích?

- a) Ano
- b) Ano, ale jen v některých zemích
- c) Měla by vzniknout mezinárodní rada na odsouhlasení výstavby
- d) Ne
- e) Jiné (uveďte):

21. Měli by být podle Vašeho názoru malé modulární reaktory využívány v zemích s nízkou mírou demokracie?

- Určitě ne
- Spíše ne
- Ne
- Spíše ano
- Ano
- Určitě ano

22. Jakým způsobem by měla být snížena rizika možného zneužití malých modulárních reaktorů pro výrobu zbraní hromadného ničení?

- a) Přísnými bezpečnostními opatřeními a kontrolami
- b) Zakázáním výstavby malých modulárních reaktorů
- c) Ignorováním této možnosti, protože je velmi nepravděpodobná
- d) Jinak (uveďte):

23. Domníváte, že by malé modulární reaktory mohly být využívány k pohonu motorových vozidel?

- Rozhodně ano
- Ano
- Spíše ano
- Ne
- Spíše ne
- Rozhodně ne

24. Souhlasili byste s výstavbou malého modulárního reaktoru v oblasti JE Temelín?

- Rozhodně ano
- Ano

- Spíše ano
- Ne
- Spíše ne
- Rozhodně ne

25. Preferovali byste, aby se vláda České republiky při rozhodování o výstavbě nových reaktorů v JE Dukovany rozhodla spíše pro malý modulární reaktor než pro klasický reaktor?

- Rozhodně ano
- Ano
- Spíše ano
- Ne
- Spíše ne
- Rozhodně ne

11.2 Příloha 2: Tabulky

Tabulka 2 – Jaké je vaše pohlaví

Pohlaví	Absolutní počet
Muž	74
Žena	54
Celkem	131

Tabulka 2 – Pohlaví respondentů, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 3 – Do jaké věkové kategorie patříte ?

Věková kategorie	Absolutní počet
Méně než 20	6
21 – 26	69
27 – 50	37
51 – 64	16
65 a starší	3
Celkem	131

Tabulka 3 – Věková kategorie, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 4 – Jaké je Vaše nejvyšší dosažené vzdělání ?

Nejvyšší dosažené vzdělání	Absolutní počet
Základní	2
Střední s výučním listem	10
Střední s maturitou	45
Vyšší odborné	9
Vysokoškolské bakalářské	37
Vysokoškolské magisterské	25
Vysokoškolské doktorské	3
Celkem	131

Tabulka 4 – Nejvyšší dosažené vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 5 – Jaký je Váš postoj k využívání jaderné energie obecně ?

Postoj k jaderné energetice podle věkové kategorie	Méně než 20	21-26	27-50	51-64	65 a starší	Celkem
Podporuji jí	3	43	21	9	2	78
Nesouhlasím s ní	0	3	4	1	0	9
Nemám na ní názor	3	23	12	5	1	44
Celkem	6	69	37	15	3	131

Tabulka 5 – Postoj k používání jaderné energie podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 6 – Jaký je Váš postoj k využívání jaderné energie obecně ?

Postoj k jaderné energetice podle nejvyššího dosaženého vzdělání	Základní	Výuční list	SŠ	VŠO	Bc.	Mgr.	Ph.D.	Celkem
Podporuji jí	1	5	22	5	24	19	2	78
Nesouhlasím s ní	0	3	1	0	3	2	1	10
Nemám na ní názor	1	2	22	4	10	4	0	43
Celkem	2	10	45	9	37	25	3	131

Tabulka 6 – Postoj k používání jaderné energie podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 7 – Setkal/a jste se někdy s pojmem malý modulární reaktor ?

Setkání s pojmem SMR	Méně než 20	21-26	27-50	51-64	65 a starší	Celkem
Ano	1	31	15	12	2	61
Ne	5	38	22	4	1	70
Celkem	6	69	37	15	3	131

Tabulka 7 – Setkání s pojmem SMR podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 8 – Setkal/a jste se někdy s pojmem malý modulární reaktor ?

Setkání s pojmem SMR	Základní	Výuční list	SŠ	VŠO	Bc.	Mgr.	Ph.D.	Celkem
Ano	0	3	18	5	17	15	3	61
Ne	2	7	27	4	20	10	0	70
Celkem	2	10	45	9	37	25	3	131

Tabulka 8 – Setkání s pojmem SMR podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 9 – Mohou malé modulární reaktory představovat bezpečnostní riziko?

Mohou SMR představovat bezpečnostní riziko ? (vnímání podle věku)	Méně než 20	21-26	27-50	51-64	65 a starší	Celkem
Rozhodně ano	0	5	0	4	0	5
Ano	0	10	8	2	1	21
Spíše ano	1	13	6	2	1	23
Ne	0	6	3	3	0	12
Spíše ne	5	31	19	5	1	61
Rozhodně ne	0	4	1	0	0	5
Celkem	6	69	37	16	3	131

Tabulka 9 – Vnímání SMR jako bezpečnostní riziko podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 10 – Mohou malé modulární reaktory představovat bezpečnostní riziko?

Mohou SMR představovat bezpečnostní riziko ? (vnímání podle vzdělání)	Základní	Výuční list	SŠ	VŠO	Bc.	Mgr.	Ph.D.	Celkem
Rozhodně ano	0	4	0	0	1	3	1	9
Ano	0	1	9	2	8	1	0	21
Spíše ano	1	2	10	1	5	3	1	23
Ne	0	2	4	1	2	2	1	12
Spíše ne	1	5	17	5	19	14	0	61
Rozhodně ne	0	0	1	0	2	2	0	5
Celkem	2	10	45	9	37	25	3	131

Tabulka 10 – Vnímání SMR jako bezpečnostní riziko podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 11 – Mohou malé modulární reaktory představovat bezpečnostní riziko?

Využití SMR v energetice (vnímání podle věku)	Méně než 20	21-26	27-50	51-64	65 a starší	Celkem
Rozhodně ano	0	27	8	6	0	41
Ano	1	15	9	6	1	32
Spíše ano	4	25	17	3	1	50
Ne	0	1	0	0	0	1
Spíše ne	1	1	3	1	1	7
Rozhodně ne	0	0	0	0	0	0
Celkem	6	69	37	16	3	131

Tabulka 11 – Vnímání využití SMR v energetice podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 12 – Mohou malé modulární reaktory představovat bezpečnostní riziko?

Využití SMR v energetice (podle vzdělání)	Základní	Výuční list	SŠ	VOŠ	Bc.	Mgr.	Ph.D.	Celkem
Rozhodně ano	0	1	10	2	14	12	2	41
Ano	1	3	12	3	5	7	1	32
Spíše ano	1	4	19	3	17	6	0	50
Ne	0	0	0	0	1	0	0	1
Spíše ne	0	2	4	1	0	0	0	7
Rozhodně ne	0	0	0	0	0	0	0	0
Celkem	2	10	45	9	37	25	3	131

Tabulka 12 – Vnímání využití SMR v energetice podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 13 – Jaké jsou podle Vás největší výhody malých modulárních reaktorů?

Výhody SMR	Absolutní počet
Nižší náklady na stavbu a provoz	75
Menší emise skleníkových plynů	50
Možnost využití v odlehlých oblastech	58
Snadnější ovládání a údržba	43
Jiné (uved'te):	12

Tabulka 13 – Výhody SMR, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 14 – Jaké jsou podle Vás největší nevýhody malých modulárních reaktorů?

Nevýhody SMR	Absolutní počet
Riziko havárie a radioaktivního znečištění	59
Vysoké náklady na výrobu paliva	19
Potenciální využití pro výrobu zbraní hromadného ničení	49
Negativní vliv na přírodu a biodiverzitu	31
Jiné (uveďte):	17

Tabulka 14 – Nevýhody SMR, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 15 – Vyjádřete na stupnici od 1 do 10, kde 1 je velmi nebezpečné, a 10 je velmi bezpečné. Jaký je Váš názor na to, zda jsou malé modulární reaktory bezpečné?

Jak bezpečné jsou podle Vás SMR na stupnici 1 až 10 ? 1 = velmi nebezpečná 10 = velmi bezpečná	Počet odpovědí	Poměr [%]
1/10	1	0,8
2/10	2	1,5
3/10	4	3,1
4/10	6	4,6
5/10	28	21,4
6/10	16	12,2
7/10	22	16,8
8/10	29	22,1
9/10	18	13,7
10/10	5	3,8
Celkem	131	100 %

Tabulka 15– Vnímání bezpečnosti SMR, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 16 – Jak by podle Vás měla být zajištěna bezpečnost provozu malých modulárních reaktorů?

Zajištění bezpečnosti provozu SMR	Absolutní počet
Vysokými standardy bezpečnosti a častou kontrolou	103
Omezením veřejného přístupu k informacím o bezpečnosti	23
Náborovým procesem pro výběr kvalifikovaných pracovníků	55
Jinak (uved'te):	9

Tabulka 16 – Možnosti zajištění bezpečného provozu SMR, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 17 – Jakým způsobem by měly být řešeny obavy veřejnosti týkající se bezpečnosti malých modulárních reaktorů?

Řešení obav veřejnosti týkající se bezpečnosti SMR.	Absolutní počet
Zlepšením komunikace a informovanosti veřejnosti	112
Ignorováním těchto obav a prosazením výstavby tohoto typu reaktorů	13
Omezováním svobody projevu kritiků jaderné energie	9
Jinak (uved'te):	9

Tabulka 17 – Řešení obav veřejnosti týkající se bezpečnosti SMR, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 18 – Jak často byste chtěli být informováni o bezpečnosti malých modulárních reaktorů a reaktorů obecně?

Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných zdrojů podle věkové kategorie	Méně než 20	21-26	27-50	51-64	65 a starší	Celkem
Denně	1	2	3	2	0	8
Týdně	0	18	5	2	1	26
Měsíčně	3	16	10	2	0	31
Čtvrtletně	1	18	5	5	0	29
Ročně	0	6	5	4	1	16
Nezáleží mi na tom	1	9	9	1	1	21
Celkem	6	69	37	16	3	131

Tabulka 18 – Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných reaktorů podle věkové kategorie, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 19 – Jak často byste chtěli být informováni o bezpečnosti malých modulárních reaktorů a reaktorů obecně?

Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných zdrojů podle vzdělání	Základní	Výuční list	SŠ	VOŠ	Bc.	Mgr.	Ph.D.	Celkem
Denně	0	0	3	1	2	0	2	8
Týdně	0	3	8	3	10	2	0	26
Měsíčně	0	2	11	1	10	6	1	31
Čtvrtletně	1	1	12	1	6	8	0	29
Ročně	0	1	3	2	5	5	0	16
Nezáleží mi na tom	1	3	8	1	4	4	0	21
Celkem	2	10	45	9	37	25	3	131

Tabulka 19– Frekvence informací ohledně bezpečnosti jaderných reaktorů podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 20 – Mohou malé modulární reaktory mít negativní vliv na životní prostředí?

Mohou mít SMR negativní vliv na životní prostředí ?	Méně než 20	21–26	27–50	51–64	65 a starší	Celkem
Rozhodně ano	0	4	0	0	1	5
Ano	0	15	4	3	1	23
Spíše ano	2	15	10	2	0	29
Ne	0	6	6	3	0	15
Spíše ne	4	26	16	8	1	55
Rozhodně ne	4	3	1	0	0	4
Celkem	6	69	37	16	3	131

Tabulka 20 – Mohou SMR mít negativní dopad na životní prostředí, vnímání podle věkové skupiny, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 21 – Mohou malé modulární reaktory mít negativní vliv na životní prostředí?

Mohou mít SMR negativní vliv na životní prostředí ?	Základní	Výuční list	SŠ	VOŠ	Bc.	Mgr.	Ph.D.	Celkem
Rozhodně ano	0	1	3	0	0	1	0	5
Ano	0	0	10	1	7	8	0	29
Spíše ano	2	2	9	1	9	2	1	23
Ne	0	3	5	3	4	0	0	15
Spíše ne	0	4	18	4	15	12	2	55
Rozhodně ne	0	0	0	0	2	2	0	4
Celkem	2	10	45	9	37	25	3	131

Tabulka 21 – Mohou SMR mít negativní dopad na životní prostředí, vnímání podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 22 – Jaký je Váš názor na to, jak by měla být řešena otázka likvidace jaderného odpadu z malých modulárních reaktorů a reaktorů obecně?

Řešení likvidace jaderného odpadu	Absolutní počet
Likvidace by měla být zajištěna bezpečně a odpovědně	101
Nevím, jak by měla být tato otázka řešena	24
Nezajímá mě to	3
Jiný (uvedte):	6

Tabulka 22 – Řešení obav veřejnosti ohledně bezpečnosti SMR, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 23 – Jaké metody likvidace jaderného odpadu jsou podle Vás nevhodnější?

Nejlepší metody likvidace jaderného odpadu	Absolutní počet
Skládkování v geologicky stabilních oblastech	31
Ukládání do podzemních úložišť	36
Recyklace a opětovné využití	92
Jiné metody (uvedte):	4

Tabulka 23 – Nejlepší metody likvidace jaderného odpadu, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 24 – Jakým způsobem by se dle Vašeho názoru mělo přistupovat k výstavbě malých modulárních reaktorů?

Přístup k výstavbě SMR	Absolutní počet
S maximální opatrností a prioritou bezpečnosti	91
Budování na odlehlých místech	41
S prioritou ekonomického zisku	10
S prioritou využití vědeckých poznatků	49
Neměly by se stavět z bezpečnostních důvodů	4

Tabulka 24 – Přístup k výstavbě SMR, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 25 – Myšlenku, že by stát podporoval výstavbu malých modulárních reaktorů hodnotím jako:

Státní podpora při výstavbě SMR	Absolutní počet
Vynikající	19
Velmi dobrou	47
Dobrou	52
Špatnou	11
Velmi špatnou	2

Tabulka 25 – Státní podpora při výstavbě SMR, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 26 – Měli by být podle Vašeho názoru malé modulární reaktory využívány v méně rozvinutých zemích?

Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle věku respondentů	Méně než 20	21-26	27-50	51-64	65 a starší	Celkem
Ano	1	9	5	0	0	15
Ano, ale jen v některých zemích	3	13	6	6	1	29
Měla by vzniknout mezinárodní rada na odsouhlasení výstavby	1	36	12	7	1	57
Ne	1	7	9	3	1	21
Jiné (uved'te)	0	4	5	0	0	9
Celkem	6	69	37	16	3	131

Tabulka 26 – Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle věku respondentů, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 27 – Měli by být podle Vašeho názoru malé modulární reaktory využívány v méně rozvinutých zemích?

Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle vzdělání respondentů	Základní	Výuční list	SŠ	VOŠ	Bc.	Mgr.	Ph.D.	Celkem
Ano	1	0	5	0	8	1	0	15
Ano, ale jen některých zemích	1	0	10	2	9	6	1	29
Měla by vzniknout mezinárodní rada na odsouhlasení výstavby	0	6	18	4	16	12	1	57
Ne	0	4	7	3	3	3	1	21
Jiné (uved'te)	0	0	5	0	1	3	0	9
Celkem	2	10	45	9	37	25	3	131

Tabulka 27 – Podpora výstavby SMR v méně rozvinutých zemích podle nejvyššího dosaženého vzdělání, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 28 – Měli by být podle Vašeho názoru malé modulární reaktory využívány v zemích s nízkou mírou demokracie?

Podpora výstavby SMR v Zemích s nízkou demokracií podle věku respondentů	Méně než 20	21-26	27-50	51-64	65 a starší	Celkem
Určitě ano	0	3	3	1	0	7
Ano	1	6	3	0	1	20
Spíše ano	0	15	2	3	0	11
Ne	1	12	7	4	0	24
Spíše ne	2	23	14	6	0	45
Určitě ne	2	10	8	2	2	24
Celkem	6	69	37	16	3	131

Tabulka 28 – Podpora výstavby SMR v Zemích s nízkou demokracií podle věku respondentů, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 29 – Měli by být podle Vašeho názoru malé modulární reaktory využívány v zemích s nízkou mírou demokracie?

Podpora výstavby SMR v zemích s nízkou demokracií podle vzdělání respondentů	Základní	Výuční list	SŠ	VOŠ	Bc.	Mgr.	Ph.D.	Celkem
Určitě ano	0	0	4	0	1	2	0	7
Ano	1	0	5	1	3	0	1	11
Spíše ano	0	9	1	1	6	3	0	20
Ne	0	1	12	4	4	2	1	24
Spíše ne	1	1	13	1	14	15	0	45
Určitě ne	0	7	2	2	9	3	1	24
Celkem	2	10	45	9	37	25	3	131

Tabulka 29 – Podpora výstavby SMR v zemích s nízkou demokracií podle vzdělání respondentů, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 30 – Jakým způsobem by měla být snížena rizika možného zneužití malých modulárních reaktorů pro výrobu zbraní hromadného ničení

Způsob snížení rizika zneužití SMR pro výrobu zbraní	Absolutní počet
Přísnými bezpečnostními opatřeními a kontrolami	100
Zakázáním výstavby malých modulárních reaktorů	13
Ignorováním této možnosti, protože je velmi nepravděpodobná	21
Jinak (uvedte):	7

Tabulka 30 – Způsob snížení rizika zneužití SMR pro výrobu zbraní, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 31 – Domníváte, že by malé modulární reaktory mohly být využívány k pohonu motorových vozidel?

Je možné využít SMR pro pohon vozidel ?	Absolutní počet
Rozhodně ano	4
Ano	27
Spíše ano	19
Ne	30
Spíše ne	40
Rozhodně ne	11

Tabulka 31 – Využití SMR pro pohon vozidel, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 32 – Souhlasili byste s výstavbou malého modulárního reaktoru v oblasti JE Temelín?

Podpora výstavby SMR v areálu JE Temelín	Absolutní počet
Určitě ano	25
Ano	37
Spíše ano	41
Ne	11
Spíše ne	15
Určitě ne	2

Tabulka 32 – Podpora výstavby SMR v areálu JE Temelín, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 33 – Preferovali byste, aby se vláda České republiky při rozhodování o výstavbě nových reaktorů v JE Dukovany rozhodla spíše pro malý modulární reaktor než pro klasický reaktor?

Podpora výstavby SMR před klasickým reaktorem v areálu JE Dukovany	Absolutní počet
Určitě ano	8
Ano	31
Spíše ano	44
Ne	14
Spíše ne	27
Určitě ne	7

Tabulka 33– Podpora výstavby SMR před klasickým reaktorem v areálu JE Dukovany, zdroj: vlastní zpracování