

Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická

Nahrazení uhelných zdrojů energie v České republice malými modulárními reaktory (SMR)

Bc. Vít KLAJBL

Vedoucí práce: Ing. Stanislav Bouček
2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Klajbl** Jméno: **Vít** Osobní číslo: **483519**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Nahrazení uhelných zdrojů energie v ČR malými modulárními reaktory (SMR)

Název diplomové práce anglicky:

Replacement of coal-fired power sources in the Czech Republic by small modular reactors (SMRs)

Pokyny pro vypracování:

- 1) Transformace energetiky České republiky dle dekarbonizačních cílů Evropské unie.
- 2) Klíčové vlastnosti lokalit pro umístění SMR.
- 3) Posouzení vhodnosti vybraných technologií SMR k umístění ve zvolených lokalitách.
- 4) Posouzení proveditelnosti záměny zdrojů.

Seznam doporučené literatury:

- 1) BEČVÁŘ, Josef. Jaderné elektrárny: celostátní vysokoškolská učebnice. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978. Řada strojírenské literatury.
- 2) DOLEŽAL, Jaroslav. Jaderné a klasické elektrárny. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.
- 3) HEŘMANSKÝ, Bedřich. Jaderné reaktory. Praha: SNTL, 1981. Populární přednášky o fyzice.
- 4) IEA, Nuclear Power and Secure Energy Transitions, IEA, Paris, 2022.
<https://www.iea.org/reports/nuclear-power-and-secure-energy-transitions>, License: CC BY 4.0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Stanislav Bouček katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **20.02.2023** Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **16.02.2025**

Ing. Stanislav Bouček
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 24. 5. 2023

Bc. Vít Klajbl

Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Stanislavu Boučkovi za jeho ochotu, vstřícnost a připomínky k této práci a za čas, který mi věnoval při vedení diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou nahrazení uhelných zdrojů energie v České republice malými modulárními reaktory (SMR). Popisuje současný stav energetiky ČR, problematiku fosilních paliv a národní plány ústupu od využívání uhlí.

Součástí práce je náhled na klíčové vlastnosti lokalit pro umístění malého modulárního reaktoru včetně vytipování vhodných lokalit v ČR s jejich následným ohodnocením. Dále je v práci posouzena vhodnost vybraných technologií SMR k umístění ve zvolených lokalitách.

Jádrem práce je posouzení proveditelnosti několika variant záměny zdrojů neboli náhrady uhelného zdroje jednou z alternativ, jimž jsou plynový zdroj, malý modulární reaktor, velký jaderný reaktor a fotovoltaická, respektive větrná elektrárna. Zkoumána byla také varianta zachování uhelného zdroje v provozu.

V závěru jsou jednotlivé varianty vyhodnoceny jak jednotlivě, tak v konečném souhrnu hodnocení.

Klíčová slova

Malý modulární reaktor (SMR), náhrada uhelných zdrojů energie, transformace energetiky

Abstract

The diploma thesis deals with the issue of replacing coal-fired power sources in the Czech Republic with small modular reactors (SMR). It describes the current state of the Czech energy sector, the issue of fossil fuels and national plans for the phase-out of coal.

The work includes an insight into the key characteristics of sites for siting a small modular reactor, including the identification of suitable sites in the Czech Republic with their subsequent evaluation. Furthermore, the paper assesses the suitability of the selected SMR technologies for siting in the selected locations.

The core of the thesis is the assessment of the feasibility of several options of source substitution or replacement of the coal source by one of the alternatives, which are gas source, small modular reactor, large nuclear reactor and photovoltaic or wind power plant. The option of keeping the coal source in operation was also examined.

Finally, the options are evaluated both individually and in the final summary assessment.

Keywords

Small Modular Reactor (SMR), replacement of coal-fired power sources, energy transition

Obsah

1. Úvod	1
2. Transformace energetiky ČR dle dekarbonizačních cílů EU	3
2.1. Současný stav energetiky ČR	5
2.1.1. Elektroenergetika	5
2.1.2. Teplárenství	9
2.2. Fosilní paliva a jejich negativa	9
2.2.1. Problematika zdrojů energie na bázi uhlí	10
2.2.2. Problematika zdrojů energie spalujících zemní plyn	12
2.3. Plány ústupu od využívání fosilních paliv v ČR	13
2.3.1. Problematika OZE	14
2.3.2. Scénáře ústupu od využívání uhlí	16
3. Klíčové vlastnosti lokalit pro umístění SMR	33
3.1. Požadavky na jadernou lokalitu v ČR	33
3.2. Požadavky na jadernou lokalitu ve světě	34
3.3. Vytipování vhodných lokalit	36
3.3.1. Jaderné elektrárny	36
3.3.2. Brownfieldy elektráren	37
3.3.3. Průmyslové závody	39
3.3.4. Zelená louka	40
3.4. Ohodnocení vybraných lokalit	41
3.4.1. Kritéria hodnocení zvolená autorem práce	41
3.4.2. Výsledky hodnocení lokalit	47
4. Posouzení vhodnosti vybraných technologií SMR k umístění ve zvolených lokalitách	51
4.1. Technologie SMR ve světě	53
4.1.1. Typy reaktorů	54
4.2. Zvolené technologie pro ČR	57
5. Posouzení proveditelnosti záměny zdrojů	59
5.1. Zvolená kritéria	59
5.2. Parametry analýzy	61
5.3. Zachování stávající uhelné elektrárny v provozu	63
5.3.1. Zhodnocení varianty	64
5.4. Nahrazení uhelné elektrárny zdrojem spalujícím zemní plyn	66

5.4.1.	Zhodnocení varianty.....	67
5.5.	Nahrazení uhelné elektrárny malým modulárním reaktorem (SMR) ..	69
5.5.1.	Zhodnocení varianty.....	70
5.6.	Nahrazení uhelné elektrárny velkým jaderným reaktorem.....	72
5.6.1.	Zhodnocení varianty.....	73
5.7.	Nahrazení uhelné elektrárny pomocí FVE/VTE	75
5.7.1.	Zhodnocení varianty.....	76
5.8.	Vyhodnocení analýz	78
6.	Závěr	83
7.	Seznam literatury	87

Obrázky

Obrázek č.1: Podíl zdrojů na instalovaném výkonu v ES ČR	5
Obrázek č.2: Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny v ČR	8
Obrázek č.3: Podíl paliv a technologií na výrobě tepla v ČR	9
Obrázek č.4: Instalovaný výkon zdrojů elektrické energie v Německu	14
Obrázek č.5: Podíl FVE na celkové výrobě v prosinci 2022 v Německu	14
Obrázek č.6: Podíl zdrojů na výrobě v prosinci 2022 v Německu	15
Obrázek č.7: Scénáře spotřeby MAF CZ 2022	20
Obrázek č.8: Instalovaný výkon a roční bilance v Respondentním scénáři	21
Obrázek č.9: Instalovaný výkon a roční bilance v Konzervativním scénáři	23
Obrázek č.10: Instalovaný výkon a roční bilance v Progresivním scénáři	25
Obrázek č.11: Instalovaný výkon a roční bilance v Dekarbonizačním scénáři	27
Obrázek č.12: Teploty potřebné pro různé výrobní postupy	39

Tabulky

Tabulka č.1: Environmentální cíle EU	4
Tabulka č.2: Hodnoty LOLE pro jednotlivé scénáře v jednotlivých letech	29
Tabulka č.3: Hodnoty EENS pro jednotlivé scénáře v jednotlivých letech	30
Tabulka č.4: Vybrané uhelné elektrárny ČR	37
Tabulka č.5: Hodnocení lokalit dle ČEZ	38
Tabulka č.6: Ohodnocení vybraných lokalit autorem práce	46
Tabulka č.7: Zvažované technologie SMR společností ČEZ a.s.	57
Tabulka č.8: Kriteriační rozlišení jednotlivých variantních řešení	61
Tabulka č.9: Analýza zachování uhelného zdroje	65
Tabulka č.10: Analýza nahrazení plynovým zdrojem	68
Tabulka č.11: Analýza nahrazení malým modulárním reaktorem	71
Tabulka č.12: Analýza nahrazení velkým jaderným reaktorem	74
Tabulka č.13: Analýza nahrazení pomocí FVE/VTE	77
Tabulka č.14: Vyhodnocení analýz	79

Seznam zkratk

BAT	Best available techniques, Nejlepší dostupné techniky
BREF	Best available techniques Reference document Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách
BRKO	Biologicky rozložitelná část komunálního odpadu
BWR	Boling Water reactor Varný reaktor
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
NO _x	Oxidy dusíku
EENS	Expected Energy Not Served Odhad nedodané elektřiny
ENTSO-E	Evropská síť provozovatelů PS pro elektřinu
ESČR	Elektrizační soustava České republiky
EU	Evropská unie
EU ETS	The European Union Emissions Trading System Evropský systém pro obchodování s emisemi
EURATOM	European Atomic Energy Community Evropské společenství pro atomovou energii
FOAK	First Of A Kind První svého druhu
GW	Gigawatt; jednotka výkonu
GWh	Gigawatthodina; jednotka energie
HWR	Hard Water Reactor, Těžkovodní reaktor
HTGR	High Temperature Gas-cooled Reactor Vysokoteplotní plynem chlazený reaktor
IAEA	International Atomic Energy Agency Mezinárodní agentura pro atomovou energii
IEA	International Energy Agency Mezinárodní agentura pro energii
IED	Industrial Emission Directive Směrnice o průmyslových emisích
JE	Jaderná elektrárna
LCOE	Levelised Cost Of Electricity Sdružená cena elektřiny
LOLE	Loss Of Load Expectation Počet hodin, kdy není pokryté zatížení
LWR	Light Water Reactor, Lehkovodní reaktor
MAF	Mid-term Adequacy Forecast Střednědobé hodnocení zdrojové přiměřenosti
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu

MSR	Molten Salt Reactor, Reaktor s roztavenými solemi
MWe/MWt	Megawatt elektrický/tepelný; jednotka výkonu
MWh	Megawatthodina; jednotka energie
NEA	Nuclear Energy Agency Agentura pro jadernou energii
NRC	Nuclear Regulatory Commission Jaderná regulační komise
OZE	Obnovitelné zdroje energie (intermitentní)
PE	Parní elektrárny
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
PS	Přenosová soustava
PWR	Pressurized Water Reactor, Tlakovodní reaktor
SEK	Státní energetická koncepce
SMR	Small Modular Reactor, Malý modulární reaktor
TWh	Terawatthodina; jednotka energie

1. Úvod

Uhelné elektrárny jsou historicky pro Českou republiku nejvýznamnějším zdrojem elektrické energie a tepla. V uhelných elektrárnách je spalováno uhlí, hnědé či černé. Při tomto procesu spalování vznikají nežádoucí látky, které jsou posléze vypouštěny z elektráren do ovzduší. V posledních letech roste snaha o snižování emisní stopy nejen národní, ale i v rámci celé Evropské unie. V důsledku toho započala diskuse o ukončení provozu uhelných elektráren jakožto nemalých producentů emisí. Dalším důvodem pro jejich ukončení je konečná zásoba uhlí v tuzemských dolech. S úvahami o ukončení uhelných zdrojů vyvstala otázka, který zdroj je adekvátně nahradí.

Tato diplomová práce se věnuje nahrazení uhelných zdrojů energie v České republice malými modulárními reaktory. Na malé modulární reaktory je v posledních letech nahlíženo jako na možného spasitele energetiky ve světě, a to díky jejich vlastnostem, díky nimž je lze dobře využívat v kombinaci s obnovitelnými zdroji elektrické energie. Zároveň jsou malé modulární reaktory schopné kogenerační výroby energií. V druhé kapitole se práce zaměřuje na transformaci energetiky České republiky dle dekarbonizačních cílů Evropské Unie. Součástí kapitoly je náhled na současný stav energetiky ČR, problematiku využívání fosilních paliv a národní plány ústupu od využívání uhlí. Ve třetí kapitole práce nahlíží na klíčové vlastnosti lokalit pro umístění malých modulárních reaktorů. Součástí kapitoly je také vytipování vhodných lokalit v ČR a jejich následné ohodnocení dle zvolených kritérií. Předmětem čtvrté kapitoly je posouzení vhodnosti vybraných technologií malých modulárních reaktorů k umístění ve vybraných lokalitách včetně rozlišení jednotlivých typů. Pátá kapitola je věnována posouzení proveditelnosti několika variant záměny zdrojů neboli náhrady uhelného zdroje jednou z alternativ, jimž jsou plynový zdroj, malý modulární reaktor, velký jaderný reaktor a fotovoltaická, respektive větrná elektrárna. Zkoumána byla také varianta zachování uhelného zdroje v provozu.

Cílem této práce je jednak ohodnocení zvolených lokalit z hlediska vhodnosti pro instalaci malého modulárního reaktoru, a jednak analýza variant záměny zdrojů, respektive varianty zachování uhelných zdrojů, a jejich následné vyhodnocení.

2. Transformace energetiky ČR dle dekarbonizačních cílů EU

Dekarbonizační cíle Evropské Unie stanovuje a upravuje několik balíčků a iniciativ. Nejznámějšími jsou *Evropská zelená dohoda (Green Deal)*, *balíček Fit for 55* a emisní povolenky v rámci *EU ETS (European Union Emissions Trading System)*.

Evropská zelená dohoda je balíček politických iniciativ, jejichž cílem je nastartovat EU na cestu k ekologickému přechodu s konečným cílem dosáhnout do roku 2050 klimatické neutrality. Zdůrazňuje potřebu meziodvětvového přístupu, v němž všechny příslušné oblasti politiky přispívají ke konečnému cíli souvisejícímu s klimatem. Balíček zahrnuje iniciativy týkající se klimatu, životního prostředí, energetiky, dopravy, průmyslu, zemědělství a udržitelných financí. Evropská zelená dohoda byla Evropskou Komisí (dále jen Komise) představena v prosinci 2019 a Evropská rada (dále jen Rada) ji schválila (na svém prosincovém zasedání).

Cílem EU dle evropského zákona o klimatu je snížení emisí v EU do roku 2030 nejméně o 55 % oproti hodnotám z roku 1990. Země EU pracují na nových právních předpisech, které mají tohoto cíle dosáhnout a zajistit, aby EU byla do roku 2050 klimaticky neutrální. Balíček „Fit for 55“ je souborem návrhů na revizi a aktualizaci právních předpisů EU a na zavedení nových iniciativ s cílem zajistit, aby politiky EU byly v souladu s cíli v oblasti klimatu, na nichž se dohodla Rada a Evropský parlament. Cílem balíčku návrhů je poskytnout rámec pro dosažení cílů EU v oblasti klimatu, který zajišťuje sociálně spravedlivý přechod a zachovává a posiluje inovace a konkurenceschopnost průmyslu EU a zároveň zajišťuje rovné podmínky vůči hospodářským subjektům ze třetích zemí a podporuje vedoucí postavení EU v celosvětovém boji proti změně klimatu.

Systém EU pro obchodování s emisemi (EU ETS) je systém „cap and trade“ trh obchodování s emisemi (nebo možností vypouštět znečišťující látky) založený pro energeticky náročná průmyslová odvětví a odvětví výroby energie. Je hlavním nástrojem EU pro snižování emisí. Od jeho zavedení v roce 2005 se emise v EU snížily o 41 %. Cílem balíčku „Fit for 55“ je reformovat systém EU ETS tak, aby byl ambicióznější. Nová ustanovení zahrnují:

- rozšíření na emise z námořní dopravy
- rychlejší snižování emisních povolenek v systému a postupné rušení bezplatných povolenek pro některá odvětví
- zavedení celosvětového systému kompenzace a snižování emisí uhlíku v mezinárodní letecké dopravě prostřednictvím EU ETS

- navýšení finančních prostředků pro modernizační fond a inovační fond

Kromě toho by měl být vytvořen nový samostatný systém obchodování s emisemi pro budovy, silniční dopravu a paliva pro další odvětví. Rada pro životní prostředí přijala obecný přístup k revizi systému EU ETS v červnu 2022. V prosinci 2022 Rada dosáhla předběžné dohody s Evropským parlamentem. Ta zahrnuje zvýšení celkové ambice snížení emisí do roku 2030 v odvětvích, na něž se vztahuje EU ETS, na 62 % oproti cíli 61 %, který navrhovala Komise. Přehled environmentálních cílů EU je v tabulce č.1 níže.

	Referenční rok	Cílový rok	Aktuální stav	Návrh
Celková redukce emisí skleníkových plynů v EU	1990	2030	40 %	55 %
Redukce emisí CO₂ EU ETS (elektrárny, průmysl, letectví, námořnictví)	2005	2030	43 %	62 %
Nařízení o sdílení úsilí (emitenti kteří nespádají pod EU ETS)	2005	2030	30 %	40 %

Tabulka č.1: Environmentální cíle EU¹

V České republice vzhledem k současné energetické krizi téma ukončení chodu uhelných elektráren ještě více nabylo na důležitosti. Současná situace víceméně nahrává konvenčním zdrojům v tom smyslu, že se ve společnosti mírně snížily tlaky na jejich ukončení. Současná vláda ČR počítá stále s relativně brzkým datem odchodu od využívání uhlí k roku 2033. Ovšem občanům, kteří jsou v současné době nejvíce zasaženi krizí, se myšlenka ukončení provozu nejlevněji vyrábějících elektráren jistě nelíbí. Stejný názor sdílejí sami provozovatelé těchto zdrojů.

¹ ČEPS, a.s. *Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022)*. Sekce 18300 – Strategie, Praha, 2023.

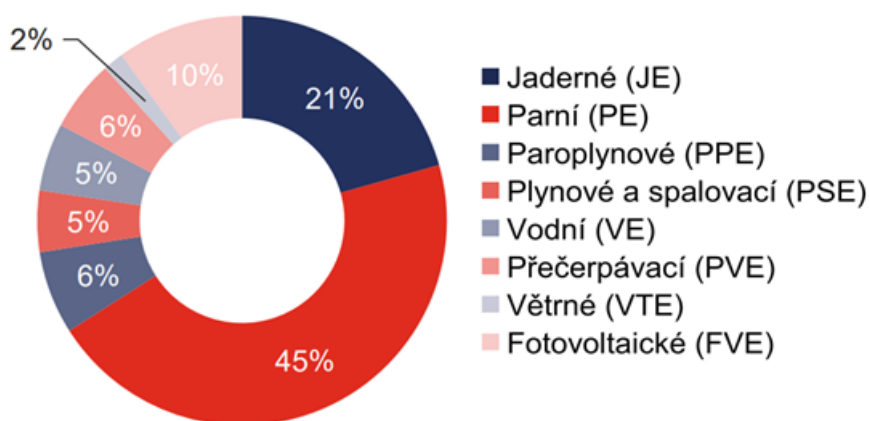
2.1. Současný stav energetiky ČR

V České republice jsou výrobními zdroji v rámci energetiky zejména energetické zdroje fosilní, a to jak v elektroenergetice, tak v teplárenství. Do jaké míry jsme jako stát závislí na fosilních zdrojích a jakým způsobem se na pokrývání potřeb obyvatelstva podílejí ostatní zdroje, je obsahem této podkapitoly.

2.1.1. Elektroenergetika

V současnosti tvoří převážnou část instalovaného výkonu elektroenergetického mixu České republiky elektrárny uhelné a jaderné. Společně činí 66 % celkového instalovaného výkonu.

Podíl instalovaného výkonu v ES ČR



Obrázek č.1: Podíl zdrojů na instalovaném výkonu v ES ČR²

Uhelné elektrárny

Uhelné elektrárny jsou historicky dominantním zdrojem elektroenergetické soustavy. Je tomu tak kvůli velkým ložiskům hnědého uhlí, která patří k největším ve střední Evropě. K tomuto faktu lze ještě přidat ložiska černého uhlí. Tuto kombinaci fosilních paliv v Evropě těží kromě ČR už jen Německo, Polsko a Rumunsko. K rozmachu těžby uhlí došlo v dobách průmyslové revoluce a od té doby se v ČR rozrůstal průmysl, který taktéž bude v blízké budoucnosti nucen od fosilních paliv ustupovat a hledat nové ekologické zdroje energie. ČR dodnes disponuje instalovaným výkonem přes 9,4 GW v uhelných elektrárnách.

² ERÚ, Oddělení statistiky a sledování kvality. *Čtvrtletní zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky za IV. čtvrtletí 2022*. Praha, 2023.

Jaderné elektrárny

Jaderné zdroje má ČR ve svém energetickém portfoliu dva. První JE Dukovany byla uvedena do provozu již v roce 1978. Čtvrtý blok byl spuštěn posléze v roce 1987. Celkový výkon JE elektrárny v Dukovanech dnes stále činí 4 x 510 MW, tedy celkem 2 040 MW. V současnosti probíhá tendr na nový blok pro JE Dukovany o výkonu 1 200 až 1 700 MW a měl by nahradit alespoň polovinu starých bloků. Dokončení výstavby bloku je odhadováno na druhou polovinu 30. let. Plánované odstavení stávající elektrárny je ovšem již do roku 2035. Minimálně do dokončení výstavby nového bloku by bylo vhodné prodloužit certifikaci stávající elektrárny v zájmu zachování energetické bezpečnosti ČR. Druhou JE ČR je elektrárna v Temelíně uvedená do provozu v roce 2003 v současnosti disponující výkonem 2 x 1 028 MW dodávaných do sítě, tedy 2 056 MW celkem. Od velikosti bloku elektrárny v Temelíně jako největšího samostatného bloku v ES ČR se odvíjí i povinná výkonová rezerva provozovatele přenosové soustavy pro případ náhlého výpadku.

Oba výše zmíněné typy zdrojů jsou stabilními energetickými zdroji. Jejich výroba nebývá v ideálním případě přerušována a je tak využívána pro pokrytí základního zatížení. Další nespornou výhodou těchto zdrojů jsou točivá soustrojí, kde parní turbíny roztáčejí turbogenerátory, které přeměňují kinetickou energii na energii elektrickou. Jejich velký moment setrvačnosti je pozitivem zejména při případných výkyvech frekvence.

Paroplynové elektrárny

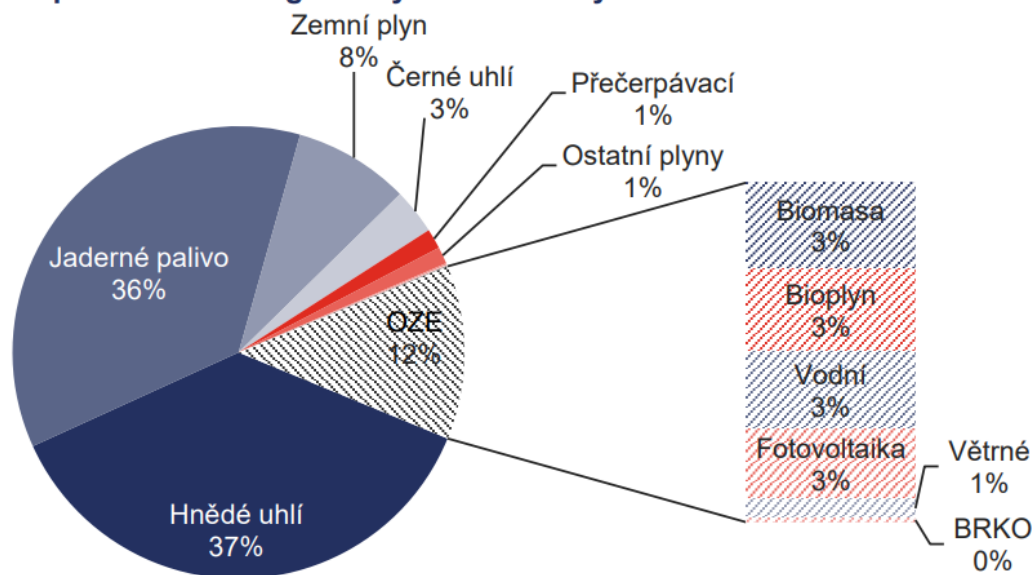
Stejně rotující soustrojí využívají také plynové a paroplynové elektrárny. Jsou také elektrárnami stabilizujícími provoz ES. Bonusem je jejich vysoká flexibilita, kterou lze využít pro neutralizaci výkyvů dodávek vytvořených intermitentními zdroji elektrické energie. Paroplynové a plynové elektrárny společně s elektrárnami spalovacími tvoří 11 % instalovaného výkonu elektroenergetického mixu ČR. Plynové a paroplynové elektrárny se v současnosti používají pouze v době nejvyšších cen na trhu vzhledem k provozním nákladům, které jsou tvořeny převážně cenou plynu, která je v současnosti extrémní. Při centralizovaném řízení bylo pořadí takové, že elektrárny s nejnižšími mezními náklady byly nasazovány do provozu jako první, aby pokrývaly denní odběrový diagram a elektrárny s nejvyššími mezními náklady byly nasazeny do provozu jako poslední. Dispečerské řízení výroby tímto způsobem, známým jako ekonomický dispečink, minimalizoval náklady na výrobu elektřiny. Dnes se řízení zdrojů řídí náklady zprostředkovaně podle tržní ceny v posuzovaném období. Někdy musí být výrobní jednotky spuštěny mimo pořadí podle výkonnosti, a to z důvodu přetížení přenosové soustavy (redispečink), resp. spolehlivosti soustavy nebo z jiných důvodů. V případě environmentálního dispečinku problém dispečerského řízení výroby elektřiny komplikují další hlediska týkající se snižování znečištění. Základní omezení

ekonomického dispečerského problému zůstávají zachována, ale model je optimalizován tak, aby kromě minimalizace nákladů na palivo a celkového úbytku výkonu minimalizoval i emise znečišťujících látek.

Obnovitelné zdroje

Zbylými zdroji v ES ČR jsou obnovitelné zdroje energie (OZE). Fotovoltaické elektrárny (FVE), vodní elektrárny (VE), přečerpávací vodní (PVE) a větrné elektrárny (VTE) tvoří zbylých 23 % instalovaného výkonu ES ČR. Průtočné vodní elektrárny mají obdobně jako JE stabilní provoz na pokrývání odběrového diagramu. Potenciál pro výstavbu průtočných vodních elektráren je v ČR ovšem vyčerpán. Akumulační vodní elektrárny jsou v současné době využívány spíše pro podpůrné služby pro provozovatele přenosové soustavy, jímž je společnost ČEPS a.s. Přečerpávací vodní elektrárny jsou využívány ve špičkách zatížení, stejně jako akumulční, pro pokrytí výkyvů v elektroenergetické bilanci. Jejich charakteristickým rysem je ovšem, že vyrobí méně elektrické energie, než spotřebují na načerpání do horní nádrže. Intermitentní zdroje elektrické energie vyrábí pouze, když jim to umožní počasí. Jde jednak o fotovoltaické elektrárny, které vyrábí pouze, dopadá-li na ně sluneční svit. Množství jimi vyrobené elektrické energie tak závisí i na roční době, úhlu dopadu paprsků, okolní teplotě, či lokálnímu zastínění a dalších faktorech. V neposlední řadě se liší účinnostmi podle typu použitých článků i. Druhým z intermitentních zdrojů jsou větrné elektrárny (VTE), které vyrábí pouze, proudí-li dostatečný vítr pro roztočení jejich vrtulí. Účinnost jimi zprostředkovaná energetické přeměny závisí na okamžité hodnotě rychlosti větru, kterou nelze nijak ovlivnit. Pokud proudí příliš silný vítr, musí být elektrárny zabrzděny, aby nedošlo k jejich poškození. Jedná se tak o zdroje s velmi omezenou regulovatelností.

Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto – 2021



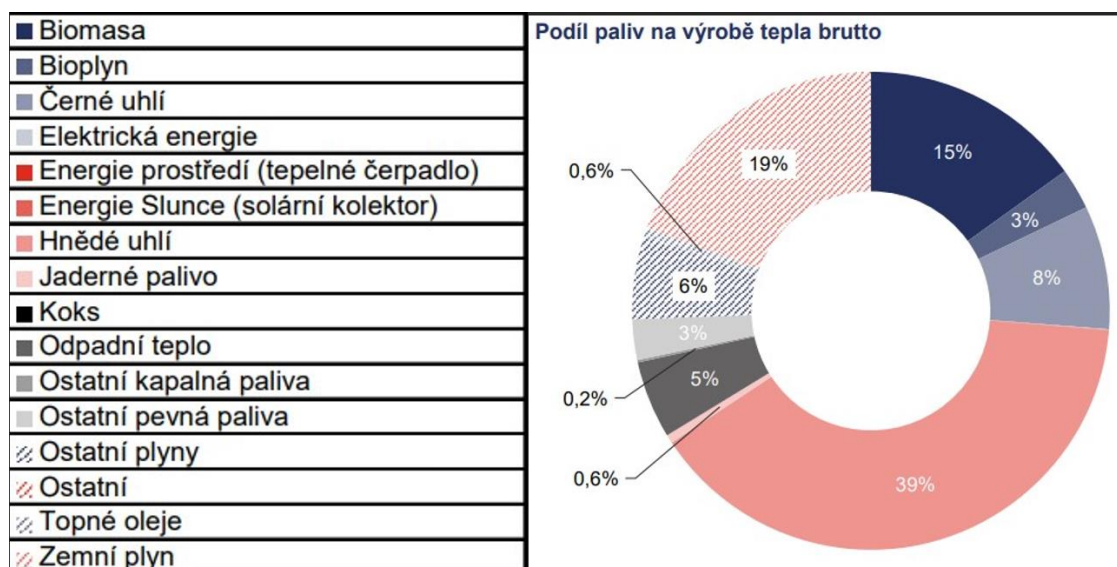
Obrázek č.2: Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny v ČR³

Z koláčového grafu podílu paliv a technologií na výrobě elektřiny na obrázku č. 2 je patrný jednak charakter využívání jednotlivých paliv a technologií na výrobu elektřiny, s čímž souvisí jejich ovladatelnost. Jaderné elektrárny ČR je možné regulovat v relativně malém rozsahu a se zpožděním daným technologií, nejedná se o ekonomicky výhodnou regulaci, proto se využívá spíše pro nouzové situace. Nízké náklady JE je předurčují pro využití na pokrytí základního zatížení spolu s průtočnými vodními elektrárnami. Uhelné elektrárny jsou o poznání snáze regulovatelné. Ještě lépe na tom jsou elektrárny paroplynové. Uhelné elektrárny se podílejí na pokrytí základního zatížení, ale i zatížení pološpičkového spolu s plynovými. Špičkové zatížení je pokrýváno plynovými, akumulacími a přečerpávacími vodními elektrárnami. Nárazová výroba intermitentních zdrojů díky svému zvýhodnění vytlačují přes cenu zejména plynové, ale i parní elektrárny, aniž by jejich funkce nahradily. Tyto zdroje tedy snižují roční využití elektráren na fosilní paliva.

³ ERÚ, Oddělení statistiky a sledování kvality. *Čtvrtletní zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky za IV. čtvrtletí 2022*. Praha, 2023.

2.1.2. Teplárenství

V teplárenství je ČR kvůli zmíněnému historickému kontextu ještě více nakloněna k používání uhlí, ať už černého, či hnědého. Společně se tato dvě paliva v roce 2022 podílela téměř na polovině celkem vyrobeného tepla, jak je patrné z grafu na obrázku č. 3 níže. Nejen na vytápění se téměř 20 % v roce 2022 podílel zemní plyn. Nutno zmínit, že relativně teplá zima a vysoké ceny této strategické komodity si vynutily střídmejší využívání zemního plynu v zimě roku 2022/2023. Například v prosinci 2022 bylo dosaženo meziročního poklesu výroby tepla ze zemního plynu o téměř 18 %. Zbytek spotřeby tepla byl pokryt zejména biomasou a bioplynem, tedy palivy, na které je všeobecně nahlíženo jako na paliva obnovitelná a bezemisní.



Obrázek č.3: Podíl paliv a technologií na výrobě tepla v ČR⁴

2.2. Fosilní paliva a jejich negativa

V Evropě tvoří téměř 1/3 instalovaného výkonu elektrárny využívající fosilní paliva. Výhodami těchto zdrojů je stabilita výroby a současně vysoká flexibilita (zejména zdroje využívající plyn). Díky těmto vlastnostem lze dosahovat ekonomické dostupnosti elektrické energie i tepla a zároveň energetické soběstačnosti. Cílem Evropy a zejména členských států Evropské Unie je dlouhodobá ekologická udržitelnost, a to nejen energetiky, ale celého průmyslu EU. Negativa fosilních paliv se s úplnou ekologickou udržitelností neslučují.

⁴ ERÚ, Oddělení statistiky a sledování kvality. *Čtvrtletní zpráva o provozu teplárenských soustav České republiky za IV. čtvrtletí 2022*. Praha, 2023.

2.2.1. Problematika zdrojů energie na bázi uhlí

Využívání chemické energie spalovaného uhlí má dvě hlavní negativa. Prvním je, že uhlí je jedním z neobnovitelných zdrojů. Z tohoto důvodu je ukončení provozu uhelných elektráren v budoucnosti nevyhnutelné. Je propočítáno, že zásoby uhlí (nejen pro energetické účely) České republiky budou vyčerpány úplně v roce 2055. Rozvážení zásob z posledního dolu po celé republice nebude ekonomické ani efektivní již mnohem dříve. Bude tedy nutné elektrárny nahradit s dostatečným předstihem. Realitou budoucnosti se ale zdá být podstatně dřívější odstup od uhlí.

Druhým negativem jsou emise. Látkami emitovanými z uhelných elektráren jsou oxidy dusíku (NO_x), oxidy síry (především oxid siřičitý SO_2), oxid uhličitý (CO_2), oxid uhelnatý (CO) a poléťavý prach. Poléťavý prach se skládá z tuhých i kapalných částic dostatečně lehkých, aby byly přenášeny vzduchem. U částic poléťavého prachu jsou zásadním parametrem jejich velikosti – malé částice menší než 2,5 mikrometrů ($\text{PM}_{2,5}$) a větší částice do 10 mikrometrů (PM_{10}). Poléťavý prach tak představuje hrozbu pro obyvatele žijící v okolí elektrárny a jejich zdraví. $\text{PM}_{2,5}$ cestují hlouběji do dýchacích cest než PM_{10} , a proto se obecně předpokládá, že způsobuje větší hrozbu pro lidské zdraví. Kromě respiračních onemocnění může dlouhodobá expozice $\text{PM}_{2,5}$ způsobit až rakovinu plic. Oxidy dusíku reagují s chemikáliemi v atmosféře a vytvářejí znečištění v podobě produktů, jako je smog, oxid dusný (N_2O) a oxid dusičitý (NO_2). NO_2 a ozón jsou obzvláště znepokojivé. Krom negativních vlivů na lidi s astmatem může expozice NO_2 také zvýšit náchylnost k virovým a bakteriálním infekcím a při vysokých koncentracích může způsobit zánět dýchacích cest. Také se oxidy dusíku podílejí na tvorbě kyselých dešťů. S expozicí oxidu siřičitému (SO_2) emitovaného uhelnými elektrárnami je spojeno zvýšené riziko úmrtí na srdeční a plicní obtíže. Dále oxidy způsobují kyselý dešť a rostlinám brání fotosyntéze reakcí s chlorofylem. Koncentrace SO_2 se naštěstí snížily v důsledku instalace technologií pro regulaci znečištění v uhelných elektrárnách. Oxid uhelnatý (CO) vzniká nedokonalým spalováním vlivem nízké teploty a nedostatku kyslíku. Má vysokou schopnost na sebe vázat hemoglobin, jehož hlavní funkcí je transport kyslíku v organismu obratlovců, čímž negativně působí na cévní soustavu a orgány na ní závislé. Oxid uhličitý je spolu s oxidem dusným (N_2O) řazen mezi tzv. skleníkové plyny. Tyto plyny se kumulují v atmosféře a kvůli schopnosti absorbovat infračervené záření zvyšují skleníkový efekt způsobující oteplení planety. S rostoucí koncentrací těchto plynů v atmosféře se akceleruje řada důsledků, které dále podporují změny, jako je tání polárního ledu a rozmrazování arktického permafrostu. Obsah síry a popela je dán typem fosilního paliva, který je v elektrárně spalován. V České republice se v uhelných elektrárnách spaluje především hnědé uhlí s obsahem síry 0,5 – 4,5 % a obsahem popela 30 – 45 %. Produkce oxidu uhelnatého je dána

podmínkami spalování paliva. Oxidy dusíku a oxid uhličitý jsou obvyklé produkty spalování fosilních paliv a jelikož se jedná o skleníkové plyny, jsou hlavním problémem uhelných elektráren. Jejich produkci je nutno minimalizovat. V roce 2020 emise z hnědouhelných elektráren v ČR klesly k hodnotě 20,38⁵ milionů tun CO₂, a to z hodnoty 27,21⁶ milionů tun CO₂ za rok 2019.

Do povědomí veřejnosti se postupně prosazuje termín Best Available Techniques - nejlepší dostupné techniky (dále jen BAT). BAT představují nejúčinnější a nejpokročilejší fázi vývoje činností a jejich provozních metod, která ukazuje praktickou vhodnost konkrétních technik jako základu pro stanovení mezních hodnot emisí a dalších podmínek povolení, jejichž cílem je zabránit nebo alespoň snížit emise a dopad na životní prostředí. Průmyslové výrobní procesy mají značný podíl na celkovém znečištění v Evropě. EU má soubor společných pravidel pro povolování a kontrolu průmyslových zařízení popsaných ve směrnici o průmyslových emisích 2010/75/EU (směrnice Industrial Emission Directive, dále IED). Kapitola II směrnice IED vyžaduje integraci kontroly spotřeby energie, vody a surovin a prevenci znečištění vody, ovzduší a půdy z přibližně 50 000 průmyslových zařízení v Evropě. Tato kontrola je v každém členském státě EU prováděna prostřednictvím systému povolení, která zahrnují podmínky vyžadující používání BAT. Evropský úřad pro integrovanou prevenci a omezování znečištění vypracovává referenční dokumenty o nejlepších dostupných technikách – Best Available Techniques (BAT) Reference documents (dále jen BREF). Dokumenty BREF vznikají na základě výměny technických informací mezi odborníky z průmyslu, zemí EU, výzkumných ústavů, nevládních organizací zabývajících se ochranou životního prostředí a Evropské komise. BREF jsou hlavními referenčními dokumenty, které používají příslušné orgány v zemích EU při vydávání povolení k provozu průmyslových zařízení, která představují významný potenciál znečištění. Informují příslušné rozhodovací orgány o tom, co může být technicky a ekonomicky dostupné pro průmysl, aby se zlepšovalo životní prostředí. BREF je nástrojem, jehož prostřednictvím se transparentním způsobem určují BAT a nové techniky.

⁵Energy-Charts.info. (2023). *Carbon dioxide (CO₂) emissions from Lignite-fired power plants in czechia in 2020*. Načteno z Energy-Charts.info: <https://energy-charts.info/charts/emissions/chart.html?l=en&c=CZ&chartColumnSorting=default&year=2019&source=lignite>

⁶ Energy-Charts.info. (2023). *Carbon dioxide (CO₂) emissions from Lignite-fired power plants in czechia in 2020*. Načteno z Energy-Charts.info: <https://energy-charts.info/charts/emissions/chart.html?l=en&c=CZ&chartColumnSorting=default&year=2019&source=lignite>

Výsledkem implementace BAT jsou konkrétní limitní hodnoty emisí každé ze škodlivých látek opouštějící komíny emise produkujících provozů. Nejedná se přitom pouze o skleníkové plyny jako oxid uhelnatý, metan, oxid dusíku nebo sloučeniny síry ale také další škodlivé látky jako například rtuť. Veškeré emise nelze odfiltrovat jednou technologií, a proto jsou pro plnění novějších limitů třeba nemalé investice do rozličných způsobů, jak se s konkrétními prvky vypořádat.

Emise CO₂ provozů využívajících hnědé uhlí je cca 1 tuna CO₂ na 1 MWh elektrické energie. U černého uhlí se hodnota pohybuje lehce pod 1 tunou. Přesná hodnota ovšem závisí na konkrétním uhlí z konkrétního dolu či lomu. Uhlí z různých lomů či dolů se od sebe vždy alespoň trochu liší. S rostoucím emisním faktorem paliva klesá jeho výhřevnost, respektive spalné teplo. Dne 6. ledna 2022 byla zveřejněna nová pravidla pro velká spalovací zařízení s cílem snížit znečištění ovzduší stanovující nové emisní limity. Nové limity tak nahradily staré z roku 2017.

Od emisní stopy každého ze zdrojů se odvíjí množství tzv. emisních povolenek, které je provozovatel zdroje povinen odevzdat. Jedna emisní povolenka odpovídá jedné do ovzduší vypuštěné tuně emisí. S povinným nákupem emisních povolenek narostly provozovatelům dotčených zdrojů provozní náklady. Tyto provozní náklady se posléze promítají do ceny konečné komodity, kterou zaplatí všichni koncoví odběratelé energií. Navíc je nákup povolenek předmětem spekulací a tím dále roste jejich cena. V rámci posledních jednání Evropského parlamentu došlo konsensu, že bude dosaženo cíle odstavení znečišťujících provozů postupným snižováním emisních povolenek z oběhu a zastavení distribuce průmyslovým provozům.

2.2.2. Problematika zdrojů energie spalujících zemní plyn

I když je na zemní plyn nahlíženo jako na vhodnou ekologickou náhradu za uhlí, jedná se stále o fosilní palivo a jeho negativa jsou principiálně stejná jako negativa uhlí.

Z hlediska emisí CO₂ lze konstatovat, že plynové zdroje vypouští do ovzduší cca 50 % množství emisí vypouštěných uhelnými zdroji. Nižší emise znamenají i méně emisních povolenek na jednotku vyrobené energie. Mezní hodnoty dle BAT jsou sice oproti uhlí nižší, ale plynové zdroje jsou obvykle novější a limity plní snáze. Jelikož zemní plyn je metan (CH₄), skladba emisí dostávající se z komína je méně pestrá. Limity dle BAT u zařízení spalujících zemní plyn se v podstatě omezují na emise NO_x, oxidu uhelnatého (CO) a samotného metanu.

Dopad ceny emisních povolenek na provozní náklady plynových zdrojů v poměru k již vysoké ceně vlastního zemního plynu není tak markantní jako u zdrojů uhelných. Jelikož zemní plyn není na rozdíl od uhlí tuzemským zdrojem

ČR, jeho cena je vyšší o import. ČR navíc nedisponuje dlouhodobým kontraktem s protistranou, takže se volatilita ceny plynu propisuje i do cen z něj vyrobené elektřiny či tepla.

I přes všechny výše uvedené, více či méně negativní aspekty provozu plynových elektráren, tepláren či kogenerací, jsou plynové zdroje energií ve scénářích vývoje energetiky ČR stále hlavním adeptem pro nahrazení energetických zdrojů uhelných. Plynové elektrárny mají do budoucna potenciál spalovat bioplyn nebo dokonce zelený vodík, čímž by byly emise eliminovány nebo v mixu se zemním plynem alespoň významně sníženy. Rentabilita takového provozu je ovšem stále vzdálená, stejně jako technologie pro spalování vodíku v těchto zdrojích, včetně zvládnutí dostatečné produkce samotného zeleného vodíku.

2.3. Plány ústupu od využívání fosilních paliv v ČR

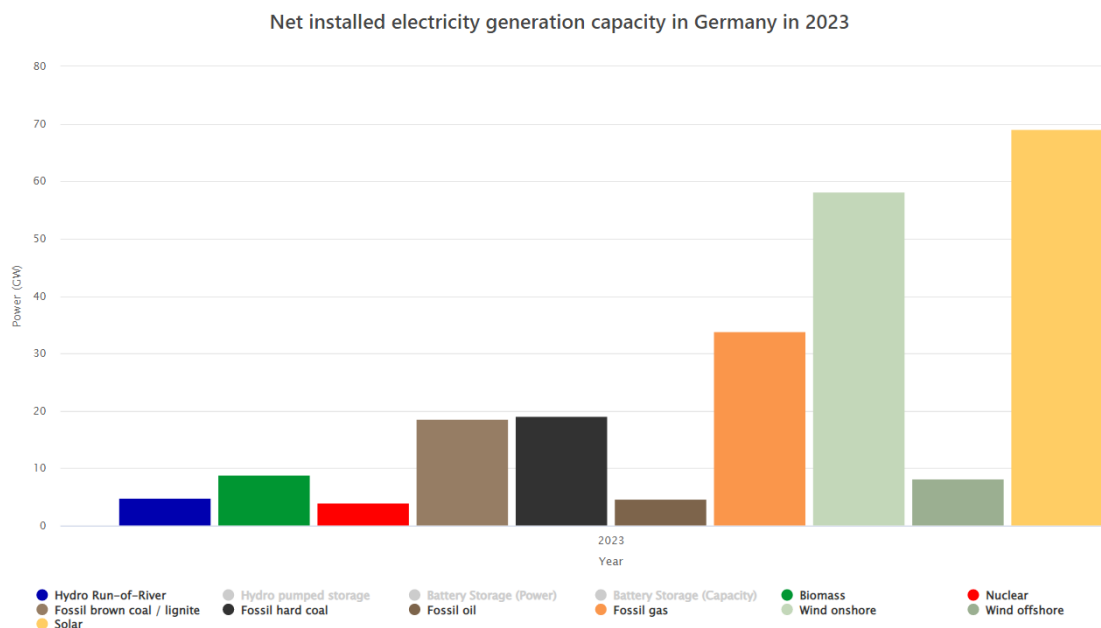
Plány ústupu od využívání fosilních paliv v ČR se odvíjí od plánů Evropské Unie. Cíl dosáhnout v roce 2050 emisní neutrality je tak i cílem ČR. Zároveň je ČR povinna plnit cíle v podílu OZE na celkové výrobě elektrické energie. Česká republika je ovšem jednou ze zemí, která bude s dosažením těchto vytyčených cílů mít větší obtíže. Další ze zemí je zejména Polsko. Jak již bylo zmíněno, obě ze zemí mají velká ložiska hnědého i černého uhlí, a tudíž na nich v historii postavily celou svou energetiku. Polsko má oproti ČR ovšem jednu významnou výhodu, a tou je pobřeží Baltského moře. Díky této přímořské lokalitě může Polsko rozvíjet offshorové parky větrné elektráren s velmi stabilním větrem, a tak navyšovat podíl OZE na výrobě elektrické energie.

Česká republika nedisponuje mnoha lokalitami, které by byly vhodné pro VTE. Ani na těch relativně vhodnějších lokalitách se nedá hovořit o stabilním větru ve srovnání právě s přímořskými lokalitami. Nemluvě o stále velké nevoli k jejich výstavbě nadohled místního obyvatelstva. Dalším významným omezením je fakt, že mnoho vhodných lokalit se nachází na hranicích ČR, na území národních parků chráněných krajinných oblastí nebo lokalit, které jsou na chráněné krajinné oblasti či národní parky „nominovány“.

Přírodní podmínky pro rozvoj FVE jsou oproti VTE zajisté lepší, ovšem stále se nejedná o podmínky optimální. Ve srovnání se státy okolo Středozemního moře v ČR výkonově stejné FVE vyrobí za rok podstatně méně elektrické energie kvůli nižší době využití. Přesto se kromě biomasy jedná o hlavní obnovitelný zdroj energie, který bude v ČR dále rozvíjen.

2.3.1. Problematika OZE

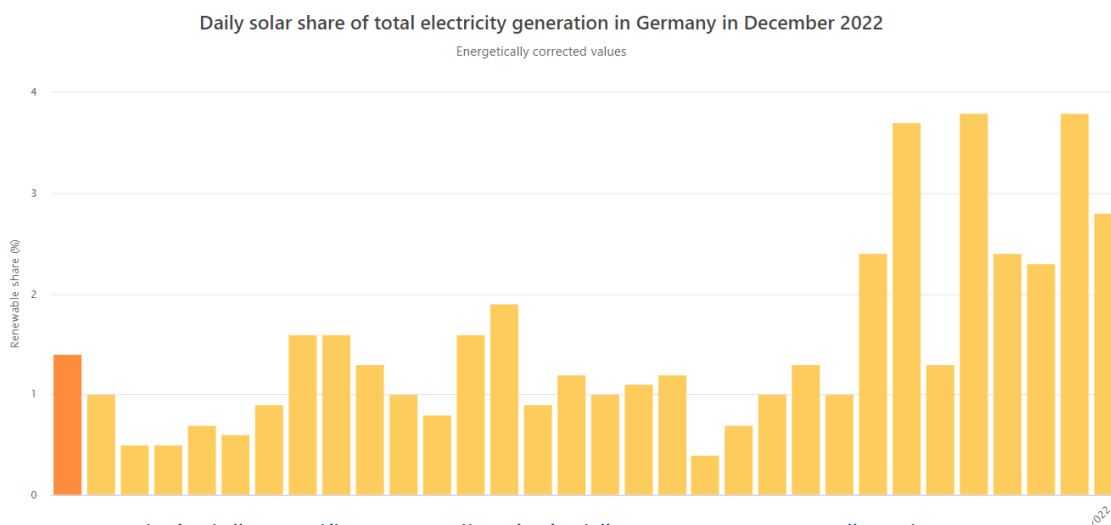
Příklad nedostatků v Německu



Obrázek č.4: Instalovaný výkon zdrojů elektrické energie v Německu

(Energy-Charts.info, 2023)

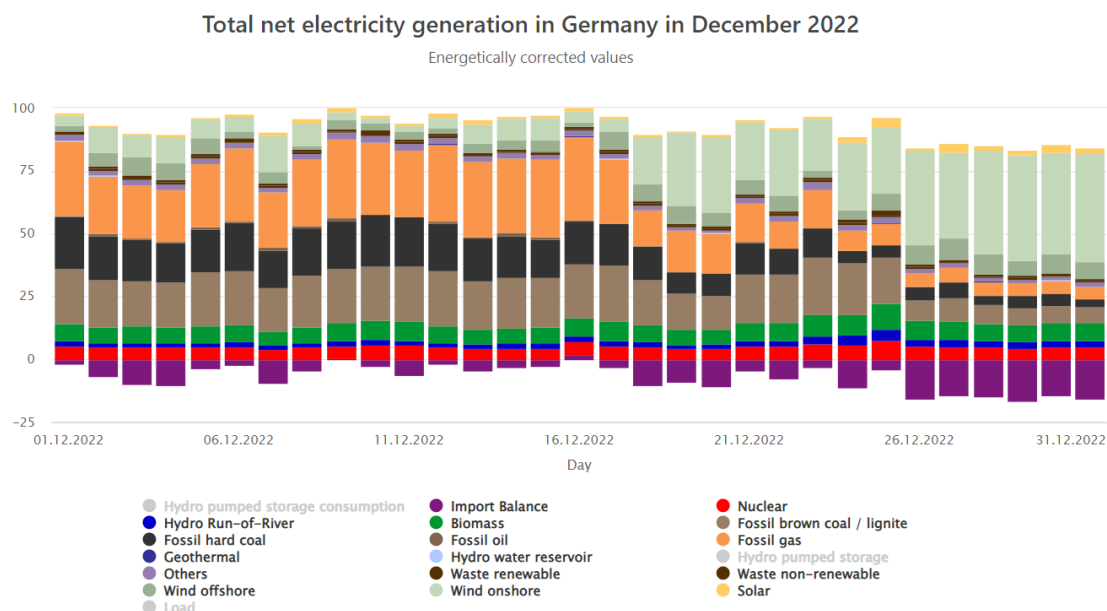
Rozvoj tohoto intermitentního zdroje má ale i svá úskalí. Ze sloupcového grafu na obrázku č. 4 lze na příkladu sousedního Německa pozorovat několikaletý dramatický rozvoj OZE. Instalovaný výkon ve FVE dosahuje hodnoty téměř 70 GW a činí 30 % celkového instalovaného výkonu Německa. I přes tyto enormní hodnoty výkonu ve FVE jsou nejen jednotlivé dny, ale dokonce řady dnů za sebou, kdy se těchto 30 % instalovaného výkonu podílelo na celkové výrobě elektrické energie méně, než 2 % viz obrázek č. 5.



Obrázek č.5: Podíl FVE na celkové výrobě v prosinci 2022 v Německu

(Energy-Charts.info, 2023)

Prosinec 2022 byl pro Německo jedním z „hnědých“ měsíců. Absentující výrobu FVE pokrývaly zatížení po všechny tyto dny fosilní zdroje, jak je patrné z obrázku č. 6.



Obrázek č.6: Podíl zdrojů na výrobě v prosinci 2022 v Německu

(Energy-Charts.info, 2023)

Příklad přebytků v ČR

V kontrastu s těmito nedostatky v zimních měsících bez dostatečné výroby FVE musí nastupovat fosilní zdroje, se najdou naopak dny, kdy je energie vůči spotřebě dostatek. Takovým dnem bylo Velikonoční pondělí 10.4.2023. V tento den byl provozovatel přenosové soustavy ČEPS a.s. nucen odpojit cca 400 MW FVE. Nastala kombinace nízké sváteční spotřeby a jasného dne s nedostatečně přesnou predikcí spotřeby i výroby. Přebytky výroby v ČR navíc nenašly odbyt v zahraničí, jelikož u sousedů byla situace obdobná a elektřina se obchodovala za zápornou cenu. Proto byl zvolen mimořádné opatření vypnutí obnovitelných zdrojů podle „Omezovacího plánu OZE“ v rámci „Plánu obrany proti šíření systémových poruch v ES ČR“ (obojí instrukce ČEPS). Situace nastala už i poměrně nízkému objemu instalovaných FVE v ČR (pouze cca 2,1 GW) –, což činí 10 % instalovaného výkonu všech zdrojů v ČR.

S plánovaným dalším rozvojem intermitentních zdrojů bude rozdíl těchto dvou výše popsaných situací markantnější než dosud. Čím více těchto zdrojů bude, tím více budou potřeba zdroje na vykrývání jejich nevýroby a bez dostatečné akumulace bude přibývat i problémů s jejich přebytky zvláště, když počasí bude stejné v ČR i v sousedních zemích.

Pěstování energetické biomasy má také své limity. Aby bylo dosaženo ekologické udržitelnosti, musí i energetická biomasa být pěstována udržitelně. Intenzivní pěstování energetické biomasy jednak „vysává“ živiny z půdy a zároveň půdu eroduje. Živiny lze nahradit pouze intenzivním chemickým hnojením. Erovanou půdu je pak nutné ponechat na čas ladem, aby obnovila své funkce. Dosažení cílů EU nebude v ČR jednoduché, a proto se této problematice věnují strategické dokumenty ČR.

2.3.2. Scénáře ústupu od využívání uhlí

Jak již bylo zmíněno, plynové zdroje jsou nejvíce uvažovanou alternativou za zdroje uhelné. Je tomu zejména kvůli snížené emisní stopě na jednotku vyrobené energie při zachování stability výroby, a navíc zvýšení její flexibility. Jejich další výhodou je krátká doba výstavby včetně veškeré projektové dokumentace apod., čímž jsou zvýhodněny se liší oproti jaderným zdrojům.

Strategické dokumenty ČR

Priority a strategické záměry z hlediska budoucnosti energetiky České republiky jsou uvedeny ve dvou hlavních strategických dokumentech, jimiž jsou Státní energetická koncepce (SEK), schválená 18. května 2015 vládou na následujících 25 let, a Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu, vydaný na základě požadavků nařízení Evropského parlamentu a schválený 13. ledna 2020.

Cíle SEK jsou bezpečnost dodávek i při skokových změnách vnějších podmínek soustavy, konkurenceschopnost energetiky v rámci Evropy a udržitelnost energetiky z hlediska ekonomického i klimatického. Obsahem SEK je také definování potenciálu OZE na území ČR. Získávání elektrické energie z kinetické energie větru je zde limitováno jednak krajinným reliéfem a jednak chráněnými krajinnými oblastmi či národními parky apod. Odhad instalovaného výkonu v rámci SEK pro větrné elektrárny je cca 2300 MW. Využívání energie slunečního svitu ve střední Evropě je limitováno především klimatickými podmínkami, které nejsou optimální. Odhad v rámci SEK činí cca 5800 MW instalovaného výkonu (již zastaralé, nezahrnuje nový boom v roce 2022). OZE s největším potenciálem rozvoje je dle SEK biomasa. U té byl očekáván každoroční velký nárůst dodávek pro využití v energetice.

Z neobnovitelných zdrojů má na území ČR dle SEK lepší podmínky jádro, a to díky již nabytým zkušenostem, počtu vhodných lokalit pro výstavbu jaderných elektráren, již funkční legislativě. Nevýhodou jádra v ČR je dosavadní malé množství vystavěných elektráren, které by bylo možné rozšířit (pouze v Temelíně a v Dukovanech). Plynové elektrárny mají zase tu nevýhodu, že dle SEK má ČR slabší pozici ve vyjednávání kontraktů s firmami na dodávku plynu než Německo, ale i například Polsko.

Vnitrostátní plán v oblasti energetiky a klimatu vychází ze SEK a Politiky ochrany klimatu v ČR z roku 2017 a obsahuje politiky a cíle na období 2021-2030 s výhledem na rok 2050. Hlavní cíle dle tohoto dokumentu jsou snižování emisí, a to minimálně o 30 % oproti hodnotě z roku 2005, tedy přibližně 44 milionů tun CO₂, zvyšování podílu OZE na hrubé tuzemské výrobě, který by měl v roce 2030 dosáhnout hodnoty 30 %, a zvyšování energetické účinnosti, jež má tři kritéria pro výše uvedené období:

- indikativní cíl pro velikost primárních energetických zdrojů, konečné spotřeby a energetické intenzity,
- závazný cíl v oblasti energetických úspor budov veřejného sektoru,
- závazné meziroční tempo úspor konečné spotřeby.

Z hlediska emisí vidí Vnitrostátní plán jako klíčovou jadernou energetiku pro dosažení přijatých cílů, proto bude třeba zachovat nejen udržet stávající instalovaný výkon, ale také urychlit další rozvoj jaderné energetiky. Pro dosažení cílů v oblasti podílu OZE na tuzemské spotřebě bude nutné udržet stávající zařízení v provozu, budou-li nadále dostatečně efektivní, modifikovat stávající principy podpor pro nová i stávající zařízení a zjednodušení administrativních postupů. Z hlediska účinnosti bude ČR naplňovat závazky pomocí kombinace finančních mechanismů podpory OZE, schématu dobrovolných dohod v oblasti zvyšování energetické účinnosti, energetických daní, regulačních a behaviorálních opatření. Pro vládu České republiky vyhotovuje možné alternativní postupy do budoucna v oblasti uhelné energetiky její poradní orgán, tedy Uhelná komise, skládající se z odborníků zastupující různé orgány či organizace v této oblasti se pohybující. Pro komisi vznikly tři pracovní skupiny:

- 1) skupina pro stanovení harmonogramu útlumu využití uhlí, a to v celkovém kontextu energetického mixu ČR a ochrany klimatu,
- 2) skupina pro stanovení parametrů pro případný útlum zdrojů a problematiku legislativy,
- 3) skupina pro identifikaci sociálních a ekonomických dopadů.

Z hlediska této práce jsou nejpodstatnější výstupy práce právě první pracovní skupiny, jimiž je hlavně harmonogram útlumu uhlí. Základními omezujícími podmínkami pro vyhotovení návrhů harmonogramu jsou:

- **energetická soběstačnost**, která je definovaná pokrytím minimálně 90 % národní spotřeby, tzn. import elektrické energie může dosáhnout maximálně 10 % národní spotřeby

- **bezpečnost provozu elektrizační soustavy ČR**, která je definovaná pomocí indikátoru LOLE (loss of load expectancy), jenž udává počet hodin ročně, během nichž se statisticky očekává, že nabídka nepokryje poptávku, který nesmí přesáhnout hodnotu 8 hodin.

Hlavními kritérii pro rozhodování mezi jednotlivými scénáři jsou:

- a) investiční náklady (CAPEX) investic do fotovoltaiky, větrných elektráren, akumulace energie a elektráren na spalování plynu,
- b) provozní náklady (OPEX) elektráren na výrobu elektřiny a
- c) kumulované emise CO₂ na výrobu elektřiny v období 2020-2050.

Nutno zmínit, že strategické dokumenty ČR nejsou už aktuální a jejich aktualizace je nanejvýš očekávána nejen celou energetickou společností. Je tomu tak zejména, protože současná vláda má ve svém programovém prohlášení odstup od uhelné energetiky směřován již k roku 2033, a to i přes to, že Uhlerná komise doporučovala jako nejdřívější možný termín rok 2038 a to pouze při splnění určitých podmínek. Jednou z podmínek byl například dokončený nový blok v jaderné elektrárně v Dukovanech. Ani tato podmínka ovšem nemusí být splněna do roku 2038. Například výstavba nových bloků JE Mochovce na Slovensku byla zahájena v roce 2008 s předpokládaným dokončením v roce 2013. Slovenský úřad jaderného dozoru (ÚJD) vydal definitivní povolení uvést do provozu dostavěný třetí blok jaderné elektrárny Mochovce teprve v srpnu roku 2022. Zbývá doufat, že v ČR bude situace jiná a nový blok bude vybudován a uveden do provozu co nejdříve.

Scénáře ústupu od využívání uhlí

Jelikož jsou oba strategické dokumenty ČR – Státní energetická koncepce a Vnitrostátní plán v oblasti energetiky a klimatu – více či méně zastaralé a nereflektují zjištění společnosti za posledních pár „krizových“ let, je třeba se na možné scénáře podívat jinak. Pro tyto účely lze využít dokument vyhotovený každoročně provozovatelem přenosové soustavy – společností ČEPS a.s. Zmíněným dokumentem je *Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ)* z roku 2022.

Analýza vzniká v souladu s Nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/943 o vnitřním trhu s elektřinou, letošní vydání přitom obsahuje čtyři scénáře – *Respondentní, Konzervativní, Progresivní a Dekarbonizační*. Jednotlivé scénáře predikují, zda bude elektrizační soustava v horizontu do roku 2040 zdrojově přiměřená či nikoliv, přičemž hodnocení zohledňuje faktory, jako je předpokládaná podoba energetického mixu, importní a exportní kapacita, výše spotřeby a socioekonomický vývoj.

Respondentní scénář zobrazuje základní trajektorii vývoje energetického mixu založenou na plánech a strategii provozovatelů zdrojů (respondentů dotazníkového šetření). V návaznosti na plány některých provozovatelů tedy neuvažuje konec uhlí před rokem 2040. Instalovaný výkon OZE narůstá pozvolna, a naproti tomu dochází k postupnému navyšování spotřeby v kontextu zvyšování životní úrovně a uvažované střední elektrifikace (zejména sektorů dopravy a vytápění).

Konzervativní scénář naznačuje směr, kterým se česká elektroenergetika může ubírat v případě ukončení výroby elektřiny z uhlí do roku 2038. Z pohledu rozvoje OZE, spotřeby a dalších vstupů se tento scénář shoduje s Respondentním scénářem.

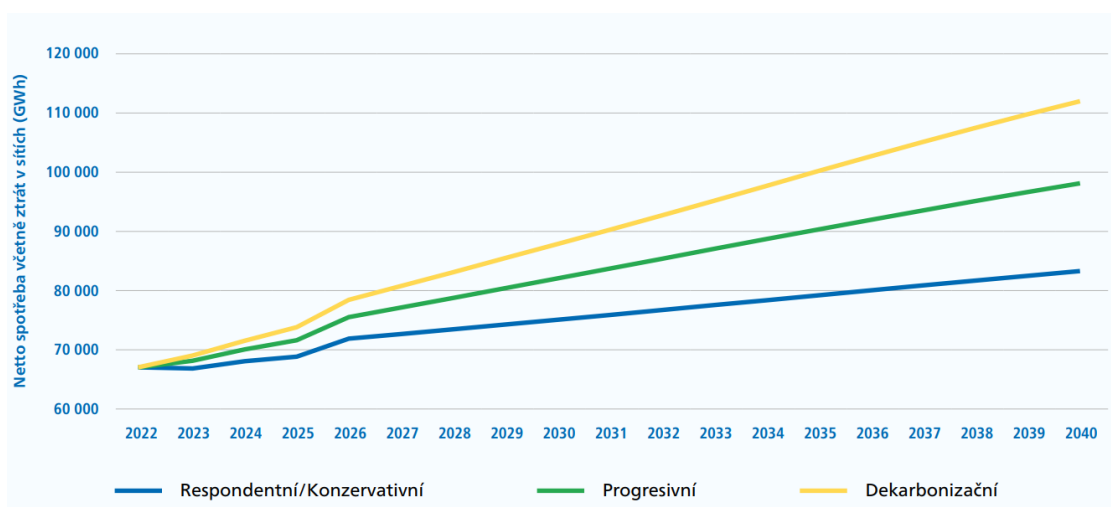
Progresivní scénář reflektuje vývoj spojený s plány dekarbonizovat nejen elektroenergetiku v souladu s klimatickými cíli EU. Zobrazuje trajektorii odklonu od uhlí do roku 2033, který je kombinován s ambicióznějším nárůstem instalované kapacity OZE a navyšující se spotřebou elektřiny v důsledku intenzivní elektrifikace.

Dekarbonizační scénář je v porovnání s ostatními scénáři charakterizován rapidní dekarbonizací, kdy rozsáhlá elektrifikace, a to zejména v dopravě, vytápění a v průmyslu vede k výraznému navýšení spotřeby elektřiny. Portfolio zdrojů je založeno na konci uhlí k roku 2030 a instalovaná kapacita OZE v něm v průběhu sledovaného horizontu narůstá na téměř dvojnásobek oproti Konzervativnímu scénáři.

S ohledem na komplexitu a šíři problematiky, kterou hodnocení zdrojové přiměřenosti pokrývá, zpracovává ČEPS toto hodnocení ve více scénářích ve snaze stanovit koridory možného vývoje ukazatelů zdrojové přiměřenosti. To rovněž umožňuje zohlednění trendů a toto hodnocení zdrojové přiměřenosti počítá tak pro letošní rok například s potenciálním vlivem implementace Fit for 55 a REPowerEU, obnovou ekonomiky po pandemii COVID-19, působením Modernizačního fondu či vývojem cen na komoditních trzích v souvislosti s konfliktem na Ukrajině. Při zpracování a vyhodnocení scénářů je kladen důraz na několik klíčových aspektů:

- Spolehlivost – udržení spolehlivosti dodávky elektřiny (zejména ukazatele LOLE pod úrovní normy spolehlivosti ČR – tj. do 15 hodin/rok)
- Importní schopnost ČR – stanovení maximálního možného importu 20 TWh za rok s ohledem na technické a bezpečnostní aspekty provozu přenosové soustavy
- Ekonomická oprávněnost – uvažování ekonomicky opodstatněného rozvoje zdrojové základny, především v oblasti rozvoje špičkových a pološpičkových zdrojů nezbytných pro udržení bezpečné a spolehlivé dodávky elektřiny
- Emisní stopa – snižování emisí skleníkových plynů

Spotřeba se pro jednotlivé scénáře liší v závislosti na rozvoji tepelných čerpadel a celkové elektrifikace vytápění a dále rozvoj elektromobility. Hodnoty spotřeby elektrické energie v letech dle scénářů jsou v grafu na obrázku č. 7.



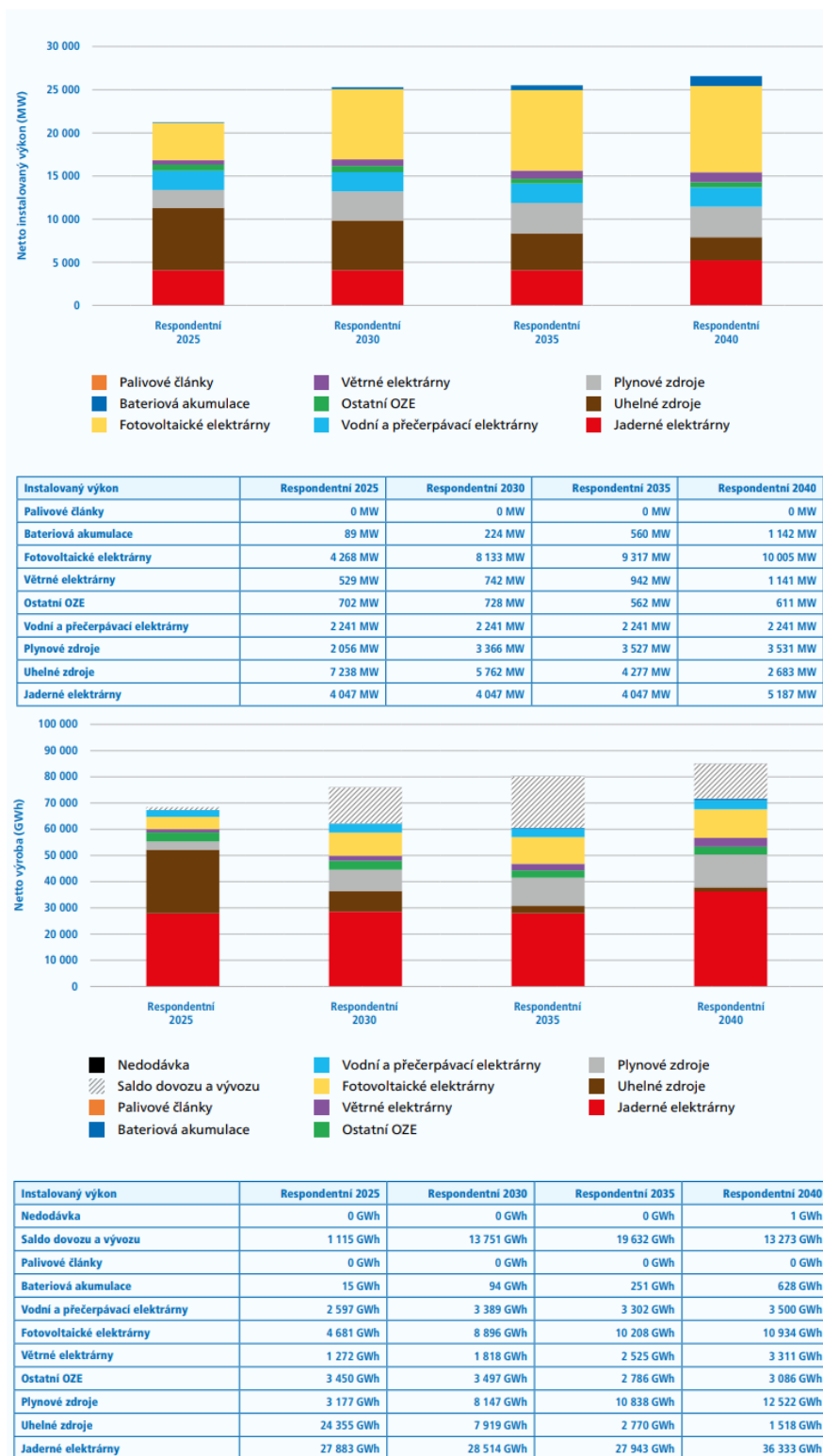
Obrázek č.7: Scénáře spotřeby MAF CZ 2022⁷

Hodnocení zdrojové přiměřenosti za rok 2022 předkládá v souladu s metodickými doporučeními ENTSO-E aktualizované výstupy hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR. Kromě zavedeného střednědobého výhledu zdrojové přiměřenosti obsahuje rovněž dlouhodobější strategický výhled do roku 2040. Hodnocení vychází ze zdrojových dat ENTSO-E platných k březnu 2022 a českých dat k říjnu 2022, přičemž zahrnuje změny zejména v německé a francouzské strategii pro energetiku. Tyto změny a zveřejněné podmínky taxonomie a balíčku Fit for 55 vyvolají zvýšenou spotřebu vodíku (zejména z OZE), což ovlivní dostupné možnosti importu elektřiny ze zahraničí.

Nutno zmínit, že v rámci MAF ČEPS počítá pouze se stávajícími zdroji a zdroji, které jsou v nějaké fázi schvalovacích procesů a lze s nimi do budoucna jistě počítat.

⁷ ČEPS, a.s. *Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022)*. Sekce 18300 – Strategie, Praha, 2023.

Respondentní scénář:



Obrázek č.8: Instalovaný výkon a roční bilance v Respondentním scénáři⁸

⁸ ČEPS, a.s. *Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022)*. Sekce 18300 – Strategie, Praha, 2023.

Respondentní scénář je jediným ze scénářů, který nepočítá s odstavením veškerých uhelných elektráren před rokem 2040 na základě úmyslů a odpovědí provozovatelů těchto zdrojů na dotazníkové šetření společnosti ČEPS z roku 2022. Část odstavených uhelných zdrojů bude dle tohoto scénáře nahrazena plynovými zdroji. Nejsou uvažovány vodíkové palivové články ani instalace elektrolyzérů. Není uvažována úplná transformace teplárenství (CZT) a závodních energetik z uhlí na zemní plyn, biomasu, odpad, popřípadě jiná alternativní paliva. Je pouze částečná a je pouze podle plánu provozovatelů zdrojů.

Instalovaný výkon v uhelných zdrojích je po roce 2033 stále přes 4 GW a po roce 2040 zbývá 2,6 GW. Snižuje se ovšem počet provozních hodin těchto elektráren, což nijak nesnižuje na významnosti těchto existence těchto zdrojů zejména v zimních měsících.

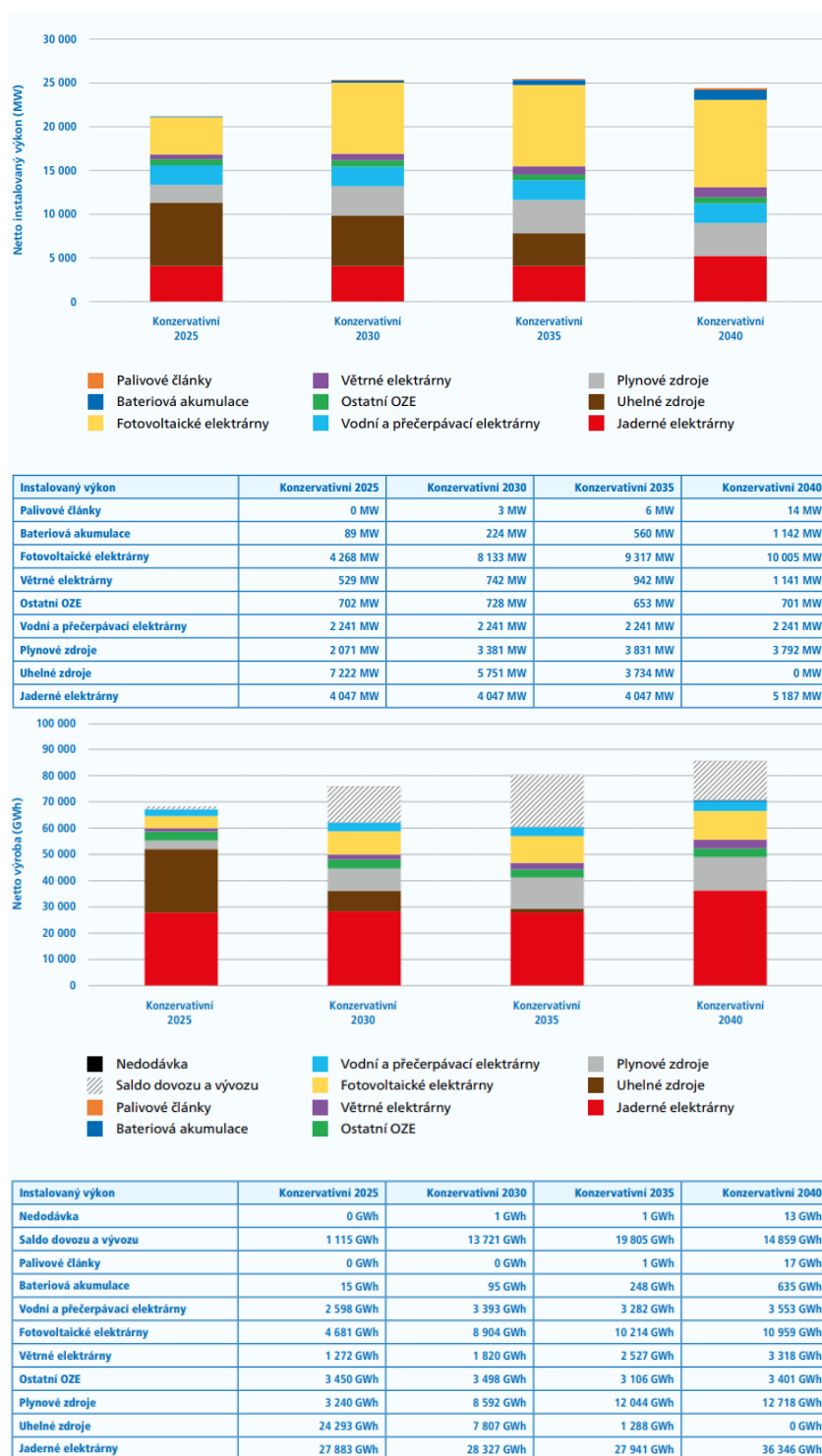
Plynové zdroje narostou na instalovaném výkonu z 2 GW na 3,5 GW, tedy 1,5 GW náhrady výkonu uhelných elektráren. Plynové zdroje na rozdíl od uhelných svou výrobu navýší, a to zejména při využívání pro vykrývání špiček vytvořených intermitentními zdroji elektrické energie.

I přes výrobu uhelných elektráren již v roce 2025 bude ČR v saldu importní, a to s dovozem přes 1 TWh. V roce 2022 ČR byla silně exportní s vývozem přes 13,5 TWh.

Import elektřiny bude dále narůstat až k hodnotě téměř 20 TWh v roce 2035, tedy k technickému a bezpečnostnímu maximu provozu přenosové soustavy. V roce 2036 je uvažováno dokončení nového jaderného bloku v Dukovanech, což hodnotu importu elektřiny sníží, ale ani z daleka neobráťí na saldo exportní.

V roce 2040 kromě importu přes 13 TWh elektrické energie je očekávána nedodávka elektrické energie ve výši 1 GWh. Jedná se o elektřinu, která nebude moci být ani importována, jelikož dle modelu nebude elektřina dostupná ani u sousedních států.

Konzervativní scénář:



Obrázek č.9: Instalovaný výkon a roční bilance v Konzervativním scénáři⁹

⁹ ČEPS, a.s. *Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022)*. Sekce 18300 – Strategie, Praha, 2023.

Konzervativní scénář vychází z dat získaných v rámci pravidelného jednou ročně prováděného dotazníkového šetření. Po roce 2030 však dochází k výrazně rychlejšímu útlumu energetických zdrojů spalujících uhlí než v případě Respondentního scénáře. K úplnému odklonu od uhelné energetiky dojde v roce 2038. Kompletní dokončení transformace teplárenství (CZT) a závodních energetik z uhlí na zemní plyn, biomasu, odpad, popřípadě jiná alternativní paliva je uvažováno do konce roku 2030.

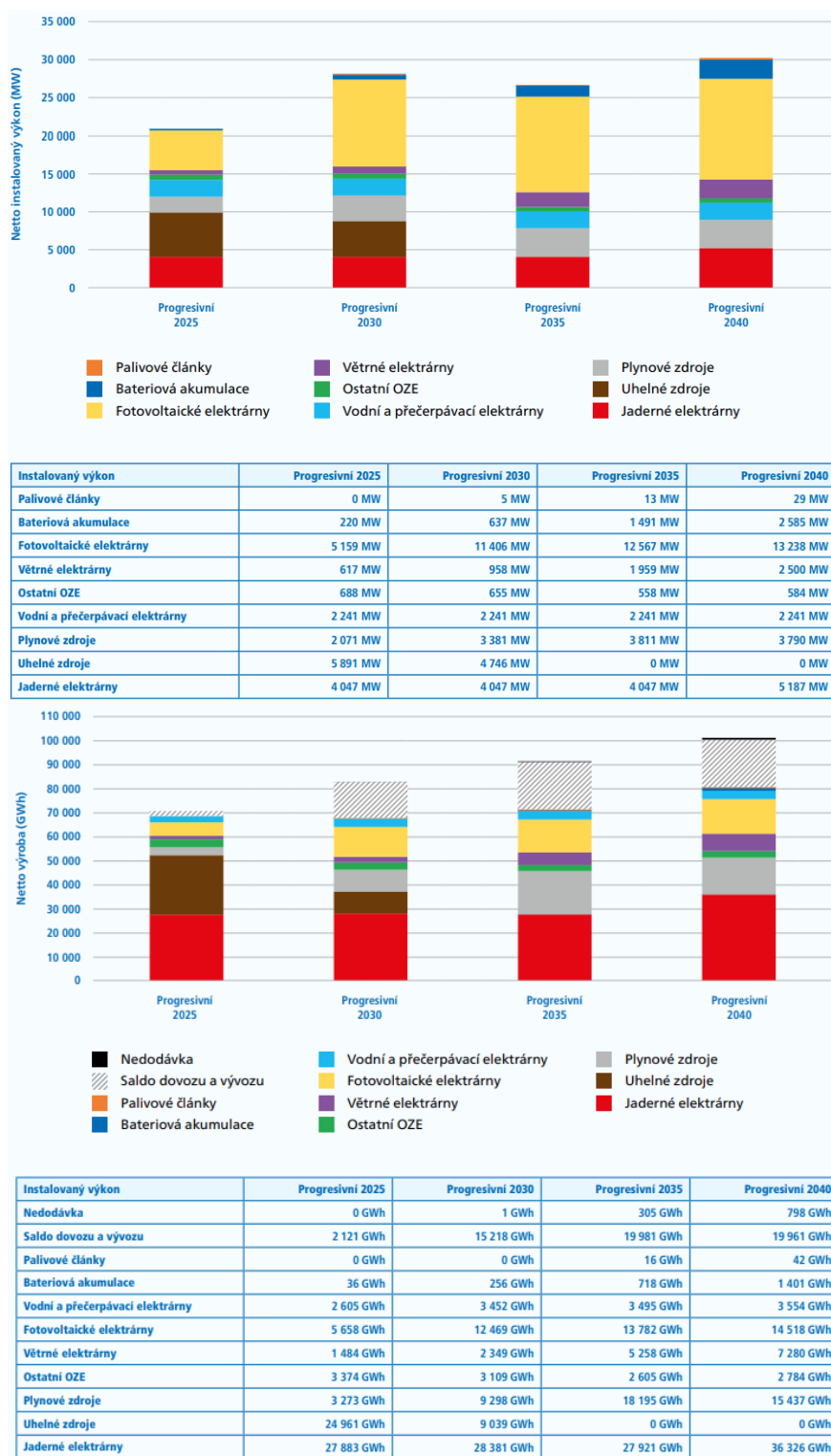
Rychlejší odklon od uhlí znamená i dřívější snižování instalovaného výkonu uhelných elektráren. Po roce 2035 zbývá v tomto scénáři v uhelných elektrárnách pouze 3,7 GW a v roce 2038 dojde k odstavení posledního GW.

Instalovaný výkon plynových zdrojů dosáhne hodnoty 3,8 GW, tedy, obdobně jako ve scénáři Respondentním, dojde k částečné náhradě výkonu uhelných elektráren plynovými a k navyšování provozních hodin plynových zdrojů.

Přeshraniční saldo dosáhne maxima stejně jako v předchozím scénáři v roce 2035 a poté klesne díky novému bloku v Dukovanech.

Oproti předchozímu scénáři však dojde k nedodávkám již v roce 2035 a v roce 2040 dosahuje očekávaná nedodávka hodnoty 13 GWh.

Progresivní scénář:



Obrázek č.10: Instalovaný výkon a roční bilance v Progresivním scénáři¹⁰

¹⁰ ČEPS, a.s. *Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022)*. Sekce 18300 – Strategie, Praha, 2023.

Progresivní scénář reprezentuje zrychlený útlum uhelných zdrojů a vyšší úroveň penetrace obnovitelných zdrojů. V porovnání s Konzervativním scénářem je kompletní odklon od uhlí stanoven na rok 2033. Předpoklad provozu tepláren a závodních energetik je shodný s Konzervativním scénářem. Kompletní dokončení transformace teplárenství (CZT) a závodních energetik z uhlí na zemní plyn, biomasu, odpad, popřípadě jiná alternativní paliva je uvažováno stejně jako ve scénáři Konzervativním do konce roku 2030.

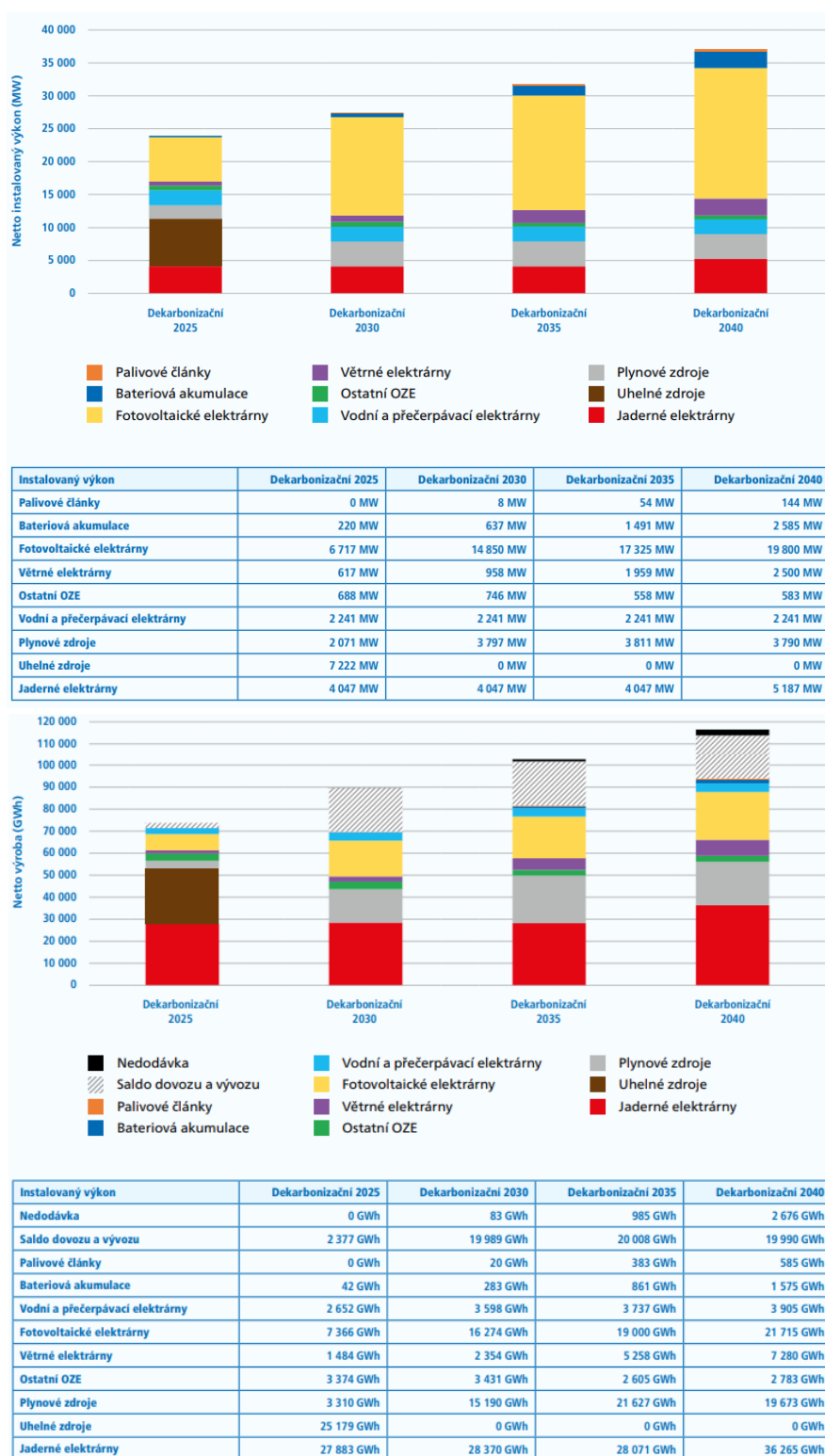
Zrychlený odklon od uhlí je ve scénáři znatelný již v roce 2025, kdy instalovaný výkon klesne k hodnotě necelých 6 GW oproti 7,2 GW ve scénáři Konzervativním. V roce 2033 dojde k odstavení posledního uhelného zdroje.

Plynové zdroje jsou i přes rychlejší odklon od uhlí v tomto scénáři rozvíjeny stejně jako ve scénáři předchozím. I proto dochází k dřívějším nedodávkám a vyšší importní závislosti. S nedosažením technické a bezpečnostní maximální hodnoty importu 20 TWh nepomůže ani nový jaderný blok.

Nedodávky elektrické energie dosahují hodnoty 300 GWh v roce 2035 a téměř 1 TWh v roce 2040.

Tento scénář je společností ČEPS předán v rámci ENTSO-E k hodnocení zdrojové přiměřenosti propojených přenosových soustav.

Dekarbonizační scénář:



Obrázek č.11: Instalovaný výkon a roční bilance v Dekarbonizačním scénáři¹¹

¹¹ ČEPS, a.s. Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022). Sekce 18300 – Strategie, Praha, 2023.

Dekarbonizační scénář ze všech zde uvedených reprezentuje nejrychlejší útlum uhelných zdrojů a nejvyšší úroveň penetrace obnovitelných zdrojů. V porovnání s Progresivním scénářem je kompletní odklon od uhlí stanoven o tři roky dříve, a to již v roce 2030. V případě provozu tepláren a závodních energetik se předpokládá o něco dřívější transformace než v případě Progresivního scénáře. Kompletní dokončení transformace teplárenství (CZT) a závodních energetik z uhlí na zemní plyn, biomasu, odpad, popřípadě jiná alternativní paliva je uvažováno do konce roku 2028.

Instalovaný výkon uhelných elektráren je v tomto scénáři mezi lety 2025 a 2028 snížen ze 7,2 GW na 0 GW. Jedná se o velmi razantní skok, zejména vezmeme-li v potaz počet provozních hodin uhelných zdrojů v současnosti. V předchozích scénářích docházelo před odstavováním zdrojů k jakési přípravě v podobě pozvolného snižování provozních hodin těchto zdrojů. V Dekarbonizačním scénáři je i tato „příprava“ velmi bryskní.

Plynové zdroje jsou vybudovány o něco rychleji oproti zbylým scénářům. Maximální hodnota instalovaného výkonu plynových zdrojů ovšem zůstává stejná, tedy cca 3,8 GW.

Tyto razantní kroky způsobí dosažení maximálního importu již v roce 2030, tedy jako přímý následek odstavení uhelných zdrojů v roce 2028. Z maximální hodnoty importu již saldo nepoklesne. ČR tedy bude maximální možnou mírou závislá na importu elektrické energie.

Nedodávka v tomto scénáři dosahuje v roce 2035 téměř 1 TWh a v roce 2040 téměř 3 TWh.

Vyhodnocení scénářů:

Zdrojová přiměřenost soustavy v jednotlivých scénářích je hodnocena zejména na základě dvou ukazatelů – LOLE a EENS.

Loss Of Load Expectation (LOLE), neboli předpokládaná ztráta zatížení, udává očekávaný počet hodin za rok, kdy výrobní zdroje elektrické energie v dané zemi nedokáží pokrýt poptávku. Norma spolehlivosti LOLE pro ČR je dána technologií s nejnižšími náklady v případě prodloužení životnosti plynového zdroje – 15 h/rok. Hodnota se stanovuje dle metodiky ENTSO-E při každém vypracování nového MAF, jelikož závisí na aktuálním stavu dané soustavy, na měnících se cenách technologií, na technických a socio-ekonomických okrajových podmínkách a jejich očekávaném vývoji.

Scénář	2025	2030	2035	2040
Respondentní	0 h	1 h	1 h	3 h
Konzervativní	0 h	1 h	1 h	12 h
Progresivní	0 h	1 h	146 h	389 h
Dekarbonizační	0 h	105 h	623 h	1 085 h

Tabulka č.2: Hodnoty LOLE pro jednotlivé scénáře v jednotlivých letech¹²

V tabulce č. 2 jsou hodnoty LOLE jednotlivých scénářů v příslušných letech. Dle hodnot lze jednoznačně konstatovat, že zdrojově přiměřené z hlediska očekávaného počtu hodin za rok, kdy výroba nepokryje poptávku, jsou pouze scénáře Respondentní a Konzervativní, tedy scénáře s odstupem od uhlí nejdříve v roce 2038, jak bylo doporučováno Uhelnou komisí. I přes normu nepřekračující hodnoty LOLE je ovšem ČR i v těchto scénářích silně závislá na importu elektrické energie.

Scénáře Progresivní a Dekarbonizační stanovenou normu LOLE neplní. Scénář progresivní hodnotu 15 h/rok překročí do roku 2035, kdy je očekávaná hodnota 146 h/rok. Dekarbonizační scénář hodnotu normy překročí do roku 2030, tedy již po odstavení uhelných zdrojů, kdy bude hodnota již 105 h/rok. V roce 2040 je v Dekarbonizačním scénáři očekávaná hodnota LOLE dokonce přes 1 000 h/rok, což činí 1/8 roku bez dostatečného výkonu v soustavě. V takovýchto hodinách by bylo nutné přistupovat k řízenému snižování spotřeby elektrické energie (flexibilita spotřeby – smart grids).

¹² ČEPS, a.s. Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022). Sekce 18300 – Strategie, Praha, 2023.

Druhým ukazatelem je Expected Energy Not Served (EENS) – odhad nedodané elektřiny. Jedná se o množství poptávky po elektřině, u kterého se očekává, že nebude v daném roce pokryto výrobou. EENS nemá normou stanovenou maximální hodnotu. Hodnocení je provedeno čistě na základě faktu, že čím nižší hodnota je, tím lépe.

Scénář	2025	2030	2035	2040
Respondentní	0 GWh	0,4 GWh	0,5 GWh	0,9 GWh
Konzervativní	0 GWh	0,6 GWh	0,7 GWh	13,0 GWh
Progresivní	0 GWh	1,2 GWh	305 GWh	798 GWh
Dekarbonizační	0 GWh	83,5 GWh	985 GWh	2 676 GWh

Tabulka č.3. Hodnoty EENS pro jednotlivé scénáře v jednotlivých letech¹³

Ani z hlediska EENS nedochází dle tabulky č.3 v Respondentním a Konzervativním scénáři k významným problémům. Naopak je tomu opět u scénářů Progresivního a Dekarbonizačního, kde hodnota dosahuje několika stovek i tisíců GWh.

Bonusovým ukazatelem je exportní saldo v příslušných letech. Importní schopnost PS ČR je dle PPS 20 TWh za rok s ohledem na technické a bezpečnostní aspekty provozu přenosové soustavy. Tato hodnota je dosažena v každém ze scénářů. Scénáře Respondentní a Konzervativní dosahují této hodnoty jedenkrát v roce 2035. Scénáři Progresivnímu v tomto nepomůže ani dokončení nového jaderného bloku a maximální hodnoty importu dosahuje nejen v roce 2035, ale také v roce 2040. Dekarbonizační scénář dosahuje této hodnoty pokaždé od ukončení provozu uhelných zdrojů.

Dle Státní energetické koncepce (SEK) je ČR energeticky soběstačná, pokrývají-li tuzemské zdroje 90 % roční spotřeby elektrické energie. V roce 2022 byla tuzemská netto spotřeba cca 60 TWh. Pokud by import v roce 2022 dosáhl hodnoty přes 6 TWh, byla dle SEK ČR energeticky nesoběstačná. I přes scénáře narůstající netto spotřeby včetně ztrát v síti, je oněch 10 % maximálně cca 11,25 TWh, a to v Dekarbonizačním scénáři spotřeby v roce 2040. Tato hodnota je překročena ve všech scénářích, tudíž lze konstatovat, že ČR nebude soběstačná.

¹³ ČEPS, a.s. Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022). Sekce 18300 – Strategie, Praha, 2023.

Na základě těchto ukazatelů lze konstatovat, že jedinými zdrojově přiměřenými scénáři jsou scénář Respondentní a scénář Konzervativní. Scénář Progresivní s cílem odklonu od uhlí v roce 2033 jakožto i cílem současné vlády zdrojově přiměřeným nazvat nelze. Scénář Dekarbonizační lze nazvat pouze jako katastrofální.

Shrnutí

Z výsledků MAF 2022 je zřejmé, že pokud do roku 2030 nebude navyšován instalovaný výkon ve stabilních a říditelných zdrojích bude ČR nejprve méně exportní a posléze začne být státem závislým na importu elektrické energie ze zahraničí, který nemusí vždy nutně být k dispozici nebo jen za extrémní cenu, nebo přenosová schopnost PS nemusí být dostatečná pro potřebný výkon.

Přehnaný tlak na odstavování uhelných zdrojů může vyústit v nespočet negativních dopadů na energetickou bezpečnost i ekonomickou dostupnost energií. Náhradou uhelných tepláren a elektráren plynovými zdroji s sebou přinese nutné zvýšení závislosti ČR na zemním plynu, a tak i na jeho dodavatelích.

O nejlevnější zdroj zemního plynu ČR z pochopitelných důvodů přišla po započetí války na Ukrajině. Zemní plyn v budoucnu nepůjde zakoupit levněji, což prodraží už tak drahý provoz plynových zdrojů, a tím i cenu elektrické energie. Pro udržení těchto nových zdrojů v provozu, aniž by jejich provozovatelé přicházeli šli do ztráty, bude nutné za jejich připravenost k okamžitým startům platit. Jednalo by se o novou formu podpůrné služby pro provozovatele přenosové soustavy ČEPS, tzv. kapacitní mechanismy. I tyto dodatečné náklady je třeba započítat proti cenové výhodě OZE. Zaplatí i totiž opět koncový spotřebitel.

Pokud dle predikcí společnosti ČEZ bude výroba energie z uhelných zdrojů již v roce 2026 nerentabilní kvůli ceně emisních povolenek, bude třeba kapacitních mechanismů nebo jejich obdoby pro udržení uhelných zdrojů v provozu, protože OZE nejsou schopny nahradit klasické zdroje ve všech situacích.

Mezi stabilní a říditelné zdroje, kterých je pro plnohodnotné nahrazení uhelných zdrojů potřeba, patří zmíněné zdroje plynové, tedy nadále emise produkující a zdroje jaderné, tedy bezemisní, v podobě například Small Modular Reactor – malý modulární reaktor (dále jen SMR).

3. Klíčové vlastnosti lokalit pro umístění SMR

Veškeré lokality zvažované pro budoucí umístění jaderného zdroje, ať už velkého jaderného bloku nebo malého modulárního reaktoru, podléhají vyhlášce č. 378/2016 Sb., známé jako *Vyhláška o umístění jaderného zařízení*. Vyhláška vyšla v platnost 18. listopadu 2016 s účinností od 1. ledna 2017 a zapracovává příslušné předpisy EURATOM (Evropské společenství pro atomovou energii). Vyhláška upravuje jednak výčet vlastností území k umístění jaderného zařízení, jednak charakteristiky vlastností území k umístění jaderného zařízení a dále požadavky na rozsah a způsob posuzování území k umístění jaderného zařízení a požadavky na obsah dokumentace pro povolovanou činnost, kterou je umístění jaderného zařízení.

3.1. Požadavky na jadernou lokalitu v ČR

Vlastnosti území jsou posuzovány z hlediska jejich způsobilosti ovlivnit jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, monitorování radiační situace, zvládání radiační mimořádné události a zabezpečení během životního cyklu jaderného zařízení. Tyto vlastnosti území k umístění jaderného zařízení se dělí na tři podskupiny dle způsobu jejich výskytu:

Přírodní vlastnosti a jevy:

- Seismicita
- Porušení území k umístění jaderného zařízení zlomem v zemské kůře neboli tzv. zlom
- Povodně
- Oběh podzemní vody
- Další geodynamické jevy a geotechnické parametry základových půd
- Klimatické a meteorologické jevy
- Biologické jevy
- Přírodní požáry

Jevy, které mají původ v činnosti člověka:

- Pád letadla a jiných objektů
- Výbuchy a požáry, které mají původ v činnosti člověka, a jejich zplodiny
- Kolize s ochranným nebo bezpečnostním pásmem
- Vliv jaderného zařízení, které je již v území umístěno
- Silné vibrace
- Elektromagnetické interference
- Vířivý elektrický proud
- Negativní projevy letecké, silniční, železniční a vodní dopravy

- Působení produktvodů a energetického vedení
- Znečištění ovzduší, horninového prostředí, povrchových a podzemních vod
- Provozu zařízení, ve kterém se nacházejí nebo z nějž se uvolňují látky snadno hořlavé, výbušné, toxické, dusivé, s korozivními účinky nebo radioaktivní

Jiné jevy, které mohou negativně ovlivnit jadernou bezpečnost, radiační ochranu, monitorování radiační situace, zvládnání radiační mimořádné události a zabezpečení jaderného zařízení.

Další vlastnosti podléhající posouzení dle vyhlášky jsou vlastnosti, posuzované z hlediska dopadu jaderného zařízení na jednotlivce, obyvatelstvo, společnost a životní prostředí. Jedná se o výskyty jevů, které jsou způsobitelné ovlivnit působení jaderného zařízení na okolí.

3.2. Požadavky na jadernou lokalitu ve světě

Pro členské státy je ústředním mezivládním fórem pro vědeckou a technickou spolupráci v jaderné oblasti Mezinárodní agentura pro atomovou energii (dále jen IAEA). Mezi členské státy patří od roku 1993 také Česká republika. Hlavní odpovědnost za jadernou bezpečnost musí nést osoba nebo organizace odpovědná za tyto činnosti. Regulace bezpečnosti je odpovědností států. Radiační rizika však mohou přesahovat hranice států. Mezinárodní spolupráce, slouží k podpoře a zvyšování bezpečnosti v celosvětovém měřítku prostřednictvím výměny zkušeností a zlepšování schopností kontrolovat nebezpečí, předcházet nehodám, reagovat na mimořádné události a zmírňovat případné škodlivé následky.

IAEA je podle svého statutu povinna podporovat mezinárodní spolupráci. Její status ji opravňuje ke stanovení nebo přijetí bezpečnostních norem na ochranu zdraví a minimalizaci ohrožení života a majetku. Agentura tyto normy vypracovává na základě otevřeného a transparentního procesu shromažďování, integrace a sdílení znalostí a zkušeností získaných při používání technologií a při uplatňování samotných bezpečnostních norem. Bezpečnostní normy se skládají ze tří souborů publikací: *Základů bezpečnosti*, *Bezpečnostních požadavků* a *Bezpečnostních pokynů*. Zatímco první z nich stanovuje základní bezpečnostní cíl a zásady ochrany a bezpečnosti, druhá stanovuje požadavky, které musí být splněny, aby byla zajištěna ochrana lidí a životního prostředí v současnosti i v budoucnosti. Bezpečnostní pokyny poskytují doporučení a návody, jak tyto požadavky splnit.

V zámoří ve Spojených státech se problematikou nejen jaderných zdrojů zabývá Nuclear Regulatory Commission (NRC). Jaderná regulační komise (dále jen NRC) byla zřízena jako nezávislá agentura Kongresem v roce 1974, aby zajistila bezpečné využívání radioaktivních materiálů pro prospěšné civilní účely a zároveň chránila lidi a životní prostředí. NRC reguluje komerční jaderné elektrárny a další využití jaderných materiálů, například v nukleární medicíně, prostřednictvím udělování licencí, inspekcí a prosazování svých požadavků.

Žádosti o schválení lokality pro komerční energetické reaktory musí dle NRC prokázat, že navrhovaná lokalita splňuje tato kritéria:

- Každá lokalita musí mít vyloučenou oblast a oblast s nízkým počtem obyvatel
- Vzdálenost středu populace musí být alespoň jeden a jedna třetina vzdálenosti od reaktoru k vnější hranici zóny s nízkým počtem obyvatel. Při použití tohoto pokynu se hranice populačního centra určí na základě rozmístění obyvatelstva. Politické hranice nejsou při uplatňování tohoto pokynu rozhodující
- Musí být vyhodnoceny charakteristiky rozptylu v atmosféře v místě a stanoveny takové parametry rozptylu, aby:
 - I. Limity pro uvolňování radiologického záření spojené s běžným provozem z typu zařízení, které je navrženo k umístění v lokalitě, mohou být splněny pro všechny osoby nacházející se mimo lokalitu;
 - II. Radiologické dávkové následky postulovaných nehod musí splňovat kritéria stanovená v § 50.34 písm. a) bodě 1 této kapitoly. pro typ zařízení navrhovaného k umístění v lokalitě;
- Fyzikální charakteristiky lokality, včetně meteorologie, geologie, seismologie a hydrologie, musí být vyhodnoceny a charakteristiky lokality musí být stanoveny tak, aby potenciální hrozby vyplývající z těchto fyzikálních charakteristik nepředstavovaly pro typ zařízení navrhovaného k umístění v lokalitě nepřiměřené riziko
- Musí být vyhodnocena potenciální ohrožení spojená s blízkými dopravními trasami, průmyslovými a vojenskými zařízeními a stanoveny takové charakteristiky lokality, aby potenciální ohrožení z těchto tras a zařízení nepředstavovalo pro typ zařízení, které se navrhuje v lokalitě umístit, nepřiměřené riziko
- Charakteristiky místa musí být takové, aby bylo možné vypracovat odpovídající bezpečnostní plány a opatření
- Fyzikální charakteristiky jedinečné pro navrhovanou lokalitu, které by mohly představovat významnou překážku pro rozvoj zařízení musí být identifikovány v havarijních plánech

- Lokality reaktoru by měly být umístěny mimo velmi hustě obydlená centra. Obecně se upřednostňují oblasti s nízkou hustotou obyvatelstva. Při určování přijatelnosti konkrétní lokality, která se nachází mimo velmi hustě osídlené centrum, ale ne v oblasti s nízkou hustotou osídlení, se však zohlední bezpečnostní, environmentální, ekonomické nebo jiné faktory, na jejichž základě může být lokalita shledána přijatelnou. Při vyhodnocení všech faktorů jdou některé přirozeně proti sobě jako například lokalita s vyšší hustotou osídlení, která má lepší seismické vlastnosti, lepší přístup ke kvalifikované pracovní síle pro výstavbu, lepší přístup k železnici a dálnici, kratší napojení na přenosovou soustavu nebo menší dopad na životní prostředí v případě nezastavěných oblastí, mokřadů nebo lokalit s výskytem ohrožených druhů živočichů atd.

3.3. Vytipování vhodných lokalit

Lokalit, které se na první pohled jeví jako vhodné pro umístění SMR, je několikero typů. Prvním z typů jsou lokality již stávajících jaderných elektráren, tedy alternativa instalace SMR v areálu lokality již klasifikované jako jaderné. Další z možností jsou brownfieldy uhelných elektráren, a to již odstavených, ale i těch v provozu, které bude třeba v budoucnu nahradit. Z hlediska poptávky po stabilní kombinované výrobě tepla i elektřiny jsou vhodnými lokalitami pro investory také průmyslové objekty či komplexy. Poslední alternativou pro výstavbu SMR se jeví tzv. zelená louka, tedy vybudování v dosud stavebně nevyužitých lokalitě, která by dosahovala potřebných parametrů.

3.3.1. Jaderné elektrárny

Jelikož jsou areály stávajících jaderných elektráren z pohledu vyhlášky č. 378/2016 Sb., o umístění jaderného zařízení již klasifikovány jako jaderné lokality, jedná se o nejvhodnější místo pro umístění jakéhokoli nového jaderného zdroje energie, tedy jak velkého reaktoru, tak i SMR. Krom této administrativní výhody skýtá tato varianta i další pozitiva. Lze využít infrastruktury stávajících jaderných bloků, což přinese úspory a zkrátí povoloovací proces. Zároveň je existence jaderného zdroje v lokalitě obyvatelstvem již vnímána jako pozitivní, tudíž by instalaci SMR nebránil ani postoj obyvatelstva. To je případ areálu JE Temelín, kde je tento záměr již zvažován a SMR má rezervovanou plochu ve stávajícím areálu elektrárny. Pro výstavbu SMR v JE Dukovany je nejprve nutné odstavení stávajících bloků po ukončení jejich životnosti. Tak by bylo uvolněno místo pro SMR nebo bloky nové. I v tomto případě bude možné konvenční část elektrárny, tedy budovy strojovny, provozny pro úpravu chladicí vody, správní a administrativní budovy, zachovat a nadále využívat.

3.3.2. Brownfieldy elektráren

Konvenční části elektráren by bylo možné využít i v případě instalace SMR v brownfieldech odstavených uhelných elektráren. Výhodami areálů uhelných elektráren jsou kromě konvenční části elektrárny také například dostatečně kapacitní silniční i železniční propojení, dostatek chladicí vody i technické vody nebo vzdálenost ke spotřebě, k připojení do PS i k pracovní síle. V tabulce níže jsou uvedeny současně provozované uhelné elektrárny, které bude alespoň částečně nutno nahradit pro udržení nejen výkonové přiměřenosti v ES ČR, ale také soběstačnosti ČR jako státu.

Elektrárna	Počet bloků	Instalovaný el. výkon [MWe]
Počerady	5	1000 (5x200)
Chvaletice	4	820 (4x205)
Tušimice	4	815,4 (4x203,85)
Ledvice	2	770 (1x110, 1x660)
Prunéřov II	3	750 (3x250)
Dětmarovice	3	600 (3x200)
Mělník	6	460 (4x60, 2x110)
Opatovice	6	378 (6x63)
Tisová	5	296 (4x46 ,1x112)
Poříčí II	3	165 (3x55)

Tabulka č.4: Vybrané uhelné elektrárny ČR

Z uhelných elektráren mimo konvenční části by bylo možné využít také stroje, tedy pomocí SMR nahradit uhelný kotel a párou z parogenerátoru pohánět stávající parní turbínu. Problémem se v této koncepci jeví vysoké požadované parametry páry pro pohánění parní turbíny. Těchto parametrů je ovšem možné dosáhnout v případě vysokoteplotních SMR. Další možností je řešení navržené společností Holtec¹⁴, která uvedla, že její technické řešení umožní zachovat většinu hmotného majetku uhelných elektráren. Koncepce spočívá v použití vícestupňových kompresorů, které jsou schopny zvýšit relativně nízkou entalpii páry jejich SMR-160 na zvýšený tlak a přehřátí potřebné pro provoz turbogenerátoru fosilní elektrárny. Uhlé elektrárny by tak mohly být přeměněny na jaderné elektrárny, což by přineslo obrovské přínosy v oblasti dekarbonizace a také hmatatelné ekonomické, zaměstnanecké a environmentální výhody pro komunitu, kde se tyto elektrárny nacházejí. Přejít z uhlí na jádro – umístění jaderného reaktoru na místě nedávno vyřazené uhelné elektrárny – by mohl pomoci zvýšit jadernou kapacitu.

¹⁴ World Nuclear News. *Holtec claims SMR-160 can repurpose any coal-fired plant.* <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Holtec-claims-SMR-160-can-repurpose-any-coal-fired>

Lokality skupiny ČEZ

Skupina ČEZ v rámci předběžné studie proveditelnosti v roce 2020 identifikovala 14 lokalit v rámci skupiny, které mají potenciál pro umístění SMR. V rámci studie byly také identifikovány možné konkrétní technologie pro instalaci v těchto lokalitách. Z původních 14 lokalit bylo dále, kromě dvou lokalit současných jaderných elektráren v Temelíně a Dukovanech, rozvíjeno zkoumání a hodnocení pěti z nich, a to elektrárny Tušimice, Prunéřov, Dětmarovice, Ledvice a Poříčí.

Oblast požadavků V378	Tušimice	Prunéřov	Dětmarovice	Ledvice	Poříčí
Seismičita	G	G	PY	G	R
Porušení území zlomem	PY	PR	PR	Y	B
Povodně	G	G	G	G	G
Oběh podzemní vody	G	G	PG	PR	G
Vulkanismus a projevy postvulkanické činnosti	G	G	G	G	G
Svahové pohyby	G	G	G	G	G
Propady a deformace území	G	G	G	Y	G
Nepříznivé vlastnosti základových půd	PY	PY	PY	Y	G
Meteorologické jevy					
Působení živých organismů					
Přírodní požáry					
Pád letadla a jiných objektů					
Výbuchy a požáry, které mají původ v činnosti člověka					
Kolize s ochrannými a bezpečnostními pásmy	G	G	G	G	G
Vliv stávajícího JZ v území					
Silné vibrace	G	G	PY	G	G
Elektromagnetické interference					
Vířivé elektrické proudy					
Negativní projevy letecké, silniční, železniční a vodní dopravy	G	Y	G	Y	G
Působení produktovodů a energetického vedení	G	G	G	G	G
Znečištění ovzduší, horninového prostředí, povrchových a podzemních vod	G	G	G	G	G
Nebezpečné provozy	G	G	G	G	G
Jiné jevy s vlivem na JB, RO, MRS, ZRMU a zabezpečení JZ	G	G	G	G	G
Jevy ovlivňující šíření RaL okolím a potravním řetězcem	PG	PG	PG	PG	PG
Rozložení a hustota osídlení	G	G	Y	G	G

Legenda:

G	Bez rizika, znalost dostatečná
PG	Bez rizika, znalost částečná
Y	Malé riziko, znalost dostatečná
PY	Malé riziko, znalost částečná
R	Významné riziko, znalost dostatečná
PR	Významné riziko, znalost částečná
B	No-Go, znalost se nevyhodnocuje
	Oblasti nerelevantní v Etapě 2

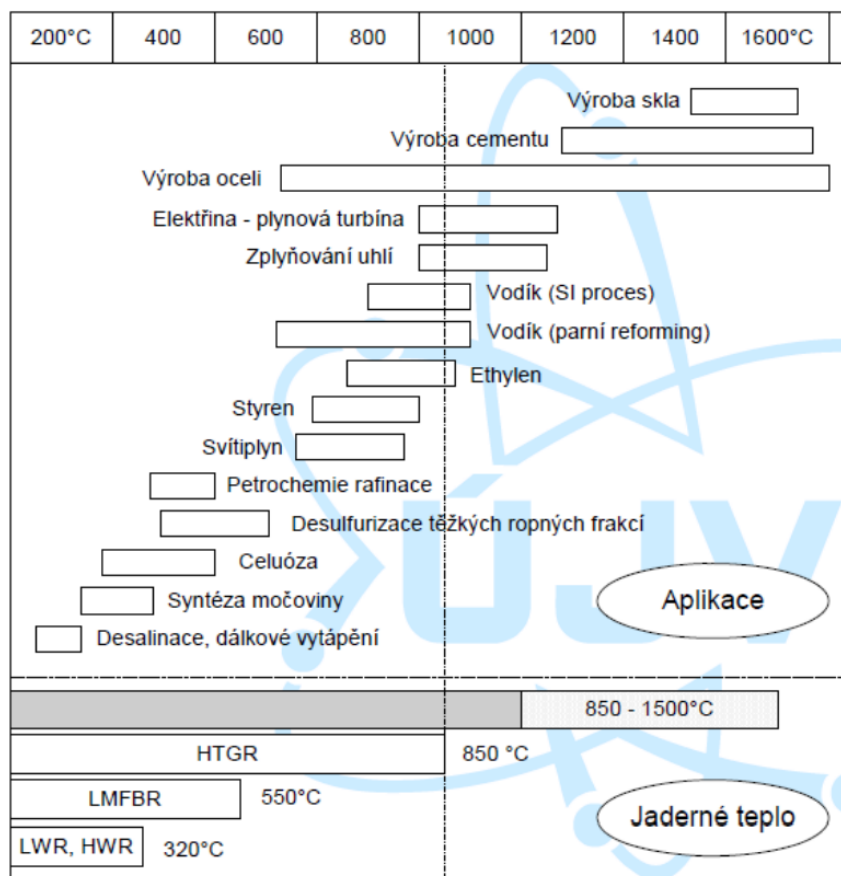
Tabulka č.5: Hodnocení lokalit dle ČEZ¹⁵

¹⁵ L. Novotný, J. Líman (ČEZ a.s.): Malé jaderné reaktory. Kariérní dny FS a FEL ČVUT <https://www.youtube.com/watch?v=nCWYIVqrgvw>

V tabulce společnosti ČEZ výše je předběžné hodnocení uvedených lokalit dle vyhlášky č. 378/2016 Sb., o umístění jaderného zařízení. Dle tohoto hodnocení bylo zmíněných pěti lokalit zredukováno na dvě, které budou podléhat budoucímu podrobnějšímu hodnocení, jakožto hlavních kandidátů na případné umístění SMR skupinou ČEZ. Zvolenými dvěma lokalitami jsou hnědouhelná elektrárna Tušimice v Ústeckém kraji a černouhelná elektrárna Dětmarovice v Moravskoslezském kraji.

3.3.3. Průmyslové závody

Průmyslové závody jsou jedním z možných investorů do technologie SMR, jelikož převážná většina takovýchto provozů vyžaduje jak elektrickou energii, která bude v budoucnu z bezemisního zdroje, tak i teplo, a to nejen vody pro přímou spotřebu zaměstnanci, ale také páry jakožto nezbytné komodity v jejich výrobním řetězci. Na obrázku č. 12 jsou uvedena rozmezí teplot vodní páry potřebných pro různé výrobní procesy jako například výroby vodíku, cementu, oceli či skla.



Obrázek č.12: Teploty potřebné pro různé výrobní postupy¹⁶

¹⁶ ÚJV ŘEŽ. *Etapa 4 - Koncepční řešení jaderného zdroje s malým reaktorem – řešení vazeb na okolí. Podetapa E.4.4: Návrh koncepce jaderného zařízení se SMR.* ÚJV Řež – divize Energoprojekt, Husinec, prosinec 2014.

Z obrázku je patrné, že z technologií SMR jsou pro většinu procesů vhodné pouze vysokoteplotní plynem chlazené reaktory, které mají na výstupu dostatečné parametry páry. Alternativou může opět být koncept společnosti Holtec s Light Water Reactor (lehkovodní reaktor dále jen LWR) v kombinaci s víceúrovňovými kompresory.

3.3.4. Zelená louka

Poslední ze zvažovaných alternativ pro umístění SMR v ČR je vybudování tohoto jaderného zdroje tzv. na zelené louce, tedy v zatím stavebně nedotčené lokalitě. V historii ČR byly kromě současných jaderných elektráren v plánu i další. Dvěma z nich byla zvažovaná JE Blahutovice a JE Tetov. Další byla například JE Radotín u hlavního města, která měla jižní část města a okolí zásobovat i teplem.

JE Blahutovice se měla nacházet u stejnojmenné části obce Jeseník nad Odrou v okrese Nový Jičín v Moravskoslezském kraji. Elektrárna Blahutovice byla plánována ještě za socialistického Československa a měla být budována částečně současně s jadernou elektrárnou Tetov. Lokalita jihozápadně od Ostravy byla zvolena kvůli optimálnímu využití odpadního tepla pro dálkové vytápění. Plánovaná elektrárna měla obsahovat 4 jaderné bloky, každý o výkonu 1 GW elektrického výkonu s uvedením do provozu do konce roku 2006. Po politickém převratu nebylo již v návrhu elektrárny pokračováno.

JE Tetov byla také předrevolučním záměrem. Zvolenou lokalitou by byla plánována jakožto čtvrtá jaderná elektrárna v polovině 80. let. Elektrárna měla obsahovat dva a později také čtyři bloky s tlakovodními reaktory typu o výkonu 1 GW a spuštění bylo plánováno v roce 2010, 4 roky po dokončení Jaderné elektrárny Blahutovice. JE Tetov měla stát u stejnojmenné obce v Pardubickém kraji cca 5 kilometrů severně od uhelné elektrárny Chvaletice. Elektrárna na územní mapě zůstala až do roku 2006, kdy bylo jasné, že v blízké době stát nebude.

I v současné době nejsou plány na nový velký jaderný zdroj mimo dva stávající od věci. Ve scénářích připravované Státní energetické koncepce bude jistě výstavba nového jaderného zdroje zahrnuta. Nový velký jaderný zdroj ovšem nelze očekávat dříve, než ve 40. letech.

I proto je alternativa výstavby jaderného zdroje na zelené louce dříve možností pro technologii SMR.

3.4. Ohodnocení vybraných lokalit

Pro ohodnocení vhodnosti vybraných lokalit byla zvolena jak některá kritéria vyhlášky č. 378/2016 Sb., o umístění jaderného zařízení, tak kritéria doplňková, která nejsou vyžadována kvůli bezpečnosti, nýbrž jejich vhodnosti pro provoz SMR.

3.4.1. Kritéria hodnocení zvolená autorem práce

Vybrané lokality byly dle kritérií hodnoceny zjednodušeně s využitím škály od hodnoty -2 do hodnoty +2, a to dle interakce s eventuální výstavbou SMR v lokalitě. Kladné hodnoty značí pozitivní interakci na možnou výstavbu, zatímco záporné hodnoty interakci negativní. Hodnota 0 je uvedena v případě nedostatku informací, a to zejména v případě, kdy se nejedná o konkrétní lokalitu. Přesto, že jednotlivá kritéria jsou pojata zjednodušeně, také pro absenci detailních podkladů, a jsou nesouměřitelná, jako výsledná indikace je použit prostý součet dílčích hodnot. Výsledky i tak mohou sloužit k indikativnímu porovnání lokalit.

Zdroj vody

Dostatečný zdroj vody je pro jaderné zdroje podstatný. Technologie LWR využívají lehkou vodu pro moderaci jaderné reakce i chlazení. V sekundárním okruhu všech SMR je vody potřeba, jelikož se jedná v podstatě o parní elektrárnu využívající páry k pohánění turbíny, a tak i generátoru. Hodnocení bylo provedeno dle přítomnosti velkého/malého vodního toku v přímé blízkosti elektrárny. Stávající JE mají ve své blízkosti zkonstruovány vodní nádrže. Velký vodní tok v přímé blízkosti elektrárny je ideální nejen pro bezproblémové doplňování chladicího okruhu – hodnota +2. Menší vodní tok je pro uzavřený chladicí okruh elektrárny s chladicími věžemi dostačující, ale nese svá rizika, jako kupříkladu opravy na přivaděči z řeky Ohře do řeky Bílina, ze kterého jsou napájeny elektrárny Prunéřov a Počeradý, které vyžádaly odstavení provozu – hodnota +1. Absence vodního toku alespoň v blízkosti zvažované lokality by byla hodnocena zápornou hodnotou, nicméně v takovéto lokalitě nelze instalaci SMR realisticky zvažovat.

Přepavní kapacita dopravního spojení

Jelikož je jedním z kladů SMR možnost dovézt reaktor do cílové provozní lokality, je třeba kapacitní dopravní propojení. Dopravní propojení je u všech stávajících elektráren dostatečné. Do uhelných elektráren obvykle vede i železniční trať. Budování nového propojení bude vyžadovat nejen další náklady, ale i čas na přípravu a projednání. Lokality s předpokladem dostatečné kapacitního přepravního spojení jsou hodnoceny hodnotou +1. Lokality, kde by takovéto spojení bylo nutné vybudovat, čímž by se navýšila finanční i časová náročnost výstavby, jsou hodnoceny hodnotou -1.

Přípojné místo PS / DS

Možnost připojení do ES ČR je stěžejní pro dodávky elektřiny do sítě. Jak JE, tak velké uhelné zdroje jsou v současnosti připojeny do PS, výjimečně do DS, a to dostatečně kapacitně pro dodávky do sítě – hodnota +2. Velké průmyslové komplexy jsou obvykle připojeny jako velkoodběratelé do DS, do které mohou eventuálně elektřinu dodávat – hodnota +1. Výstavba nového vedení i krátkého podléhá složitému procesu schvalování a může trvat až deset let – hodnota -1. Hodnota -2 by byla využita pro lokality téměř odstřižené od současné infrastruktury jako jsou národní parky a chráněné krajinné oblasti, nicméně v těchto lokalitách vybudování zamýšlené technologie nepřipadá v úvahu.

Existence inženýrských sítí

Existence inženýrských sítí v lokalitě může snížit investiční náklady na výstavbu SMR, a to za předpokladu, že budou provozuschopné. Ovšem i reinvestice do stávajících inženýrských sítí může vyjít levněji než výstavba zcela nových. Lokality se stávajícími inženýrskými sítěmi jsou hodnoceny hodnotou +1. Lokality bez těchto sítí hodnotou -1. Technický stav inženýrských sítí nemohla být zvažována jednak kvůli nedostatku informací o současném stavu, a jednak kvůli jejich dalšímu stárnutí v provozu v letech.

Seismicita

Seismicita byla posuzována dle *Seismologického informačního displeje Temelín a Dukovany*¹⁷. V systému je zveřejněna databáze vybraných zemětřesení v ČR a okolí, která byla systémem zachycena, včetně jejich intenzity. Nejvíce zemětřesení bylo u rakouských hranic a v západních Čechách. Na Karvinsku a za polskými hranicemi dochází relativně často k důlním otřesům. Další data byla použita z hodnocení lokalit společností ČEZ. To obsahuje i vyloučení lokality Poříčí z důvodu přítomnosti aktivního zlomu ve vzdálenosti cca 2 kilometry. Hodnota +1 byla použita u lokalit vzdálených od seismické aktivity v posledních 10 letech. Hodnotou -1 byly hodnoceny lokality blízké seismické aktivitě v posledních 10 letech. Hodnotou -2 byla hodnocena lokalita elektrárny Poříčí z důvodu přítomnosti již zmíněného aktivního zlomu.

Povodně

Povodňová území se rozlišují dle četnosti povodní:

- **Q5**
Označuje povodeň, jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen 1krát za 5 let.
- **Q20**
Označuje povodeň, jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen 1krát za 20 let.

¹⁷ Seismologický informační displej Temelín a Dukovany.

<https://sid.ipe.muni.cz/prev.php?lang=cs>

- **Q100**

Označuje povodeň, jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen 1krát za 100 let

Dle těchto úrovní byly lokality posouzeny za pomoci online povodňové mapy ČR na *Elektronickém digitálním povodňovém portálu*¹⁸. Hodnotou +2 byly hodnoceny lokality vzdálené povodňové aktivitě. Hodnotou +1 byly hodnoceny lokality mírně ohrožené povodňovou aktivitou. Hodnotou -1 byly hodnoceny lokality, kterých mohou dosahovat četnější povodně. Hodnota -2 by byla použita pro velmi ohrožená území, kde ovšem nestojí ani současné uhelné elektrárny.

Vlastnosti základových půd

Stávající JE jsou na základovém podloží s optimálními vlastnostmi dle požadavků vyhlášky. Lze předpokládat, že stávající uhelné elektrárny nebyly postaveny na nevhodném podloží pro SMR, je-li vhodné pro velké uhelné elektrárny. Při volbě lokality pro výstavbu na zelené louce lze předpokládat volbu pouze vhodného podloží. Lokality byly autorem práce posouzeny dle charakteru horninového prostředí¹⁹. „*Pro hodnocení charakteru první geologické vrstvy vycházející na povrch podle digitálních map GeoČR50 (V_GEO) byla obdobně jako v případě genetiky půd přiřazena všem horninovým typům legendy geologické mapy hodnota parametru 1–5 (1 – porézní horninové typy, 5 – celistvé plastické typy), váha parametru je 50 %. Zranitelnost horninového prostředí, respektive podzemních vod, vyplývá z typu zvodnění, které je podmíněno charakterem zastoupených hornin a jejich tektonické predispozice, charakterem zvětralinového pláště a kvartérního pokryvu. Stěžejním výchozím podkladem pro sestavení vrstvy charakteru horninového prostředí byl soubor geologických map České republiky, autorsky sestavený v letech 1985-1998 řešitelským týmem pracovníků Ústředního ústavu geologického.*“²⁰ Hodnotou +2 byly hodnoceny lokality s nanejvýš slabě zranitelným horninovým prostředím. Hodnota +1 připadá lokalitám se středně zranitelným horninovým prostředím. Hodnota -1 připadá lokalitám se silně zranitelným horninovým prostředím a hodnota -2 lokalitám s maximálně zranitelným horninovým prostředím. Obě negativní hodnoty lze považovat za podnět k bližšímu přezkoumání základových půd.

¹⁸ Elektronický digitální povodňový portál: Online povodňová mapa ČR. <https://www.edpp.cz/online-povodnova-mapa-cr/>

¹⁹ Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. *Zranitelnost podzemních vod*. <https://zranitelnost.vumop.cz/>

²⁰ Tamtéž

Oběh podzemních vod

Oběh podzemních vod byl hodnocen podle zranitelnosti podzemních vod pod eventuálním budoucím areálem elektrárny a v bezprostřední blízkosti tohoto areálu²¹. Je-li sledovaná proměnná nanejvýš slabě zranitelná, pak je lokalita hodnocena hodnotou +2. Je-li sledovaná proměnná alespoň středně zranitelná, je lokalita vyhodnocena hodnotou +1. Je-li sledovaná proměnná silně zranitelná, je lokalita ohodnocena hodnotou -1. Hodnotou -2 je hodnocena lokalita s maximální zranitelností podzemních vod a jedná se o podnět k podrobnějšímu posouzení lokality před realizací uvažovaného záměru.

Vliv produktovodů, ochranné pásmo

Z produktovodů byl posouzen zejména transport zemního plynu a jeho ochranné pásmo. Ochranná pásma letišť nezasahují do žádných z hodnocených lokalit. Ohrožení v případě výbuchu chemického závodu u Litvínova nebylo bráno v potaz, protože by se jednalo o katastrofu a její dosah a dopady by tak bylo obtížné hodnotit. V ochranném pásmu produktovodů nesmí v současnosti stát žádné budovy a ochranné pásmo činí obvykle 400 m v závislosti na tekutině, kterou produktovod obsahuje. Hodnotou +2 byly hodnoceny lokality, kde již stojí stavby. Hodnota +1 byla použita u průmyslových objektů, jelikož do něj mohou vézt nejrůznější produktovody s různou mírou vlivu či ohrožení v případě instalace SMR.

Vibrace (doprava, těžba, ...)

Z hlediska vibrací byl zohledněn zejména na těžební činnost v blízkosti lokalit, která nemusí nutně skončit po odstavení některých z uhelných elektráren. Těžbu by i tak poté nahradila práce na rekultivacích, která může také zahrnovat pohyb těžkých strojů. Hodnotou +1 byly hodnoceny lokality, kde se v blízkosti nenachází frekventovaný dopravní tah nebo důl či lom, ve kterém by probíhala aktivní těžba či rekultivace zahrnující provoz velkých strojů. Hodnota -1 označuje lokality, kde je alespoň jedna ze zmíněných podmínek nesplněna.

Dopad na přírodu výstavbou

Dopad na přírodu byl posuzován pouze v případech samotné výstavby v dosud nedotčené přírodě. Lokality se stávajícími stavbami byly vyhodnoceny hodnotou +1. Stavby na zelené louce byly hodnoceny hodnotou -1.

Dostupnost pracovní síly

Dostupnost pracovní síly je optimální například v rámci areálu JE ve vlastnictví jedné firmy – hodnota +2. Po odstavení uhelné elektrárny je k dispozici dostatek pracovní síly, kterou by bylo možné využít v provozu SMR – hodnota +1. Samozřejmostí by musel být reskilling a upskilling pracovních sil. V průmyslových komplexech a na zelené louce nelze očekávat dostatek pracovních sil, natož pracovních sil potřebně kvalifikovaných – hodnota -1.

²¹ Tamtéž

Hodnota -2 nebyla využita, jelikož školství v ČR stále produkuje další pracovní sílu, a tudíž je v budoucnu potenciál pro další kvalifikované pracovníky ve vhodných oborech.

Rozložení a hustota osídlení

Rozložení a hustota osídlení byly posuzovány dle bezprostřední vzdálenosti od lokality zvažované k umístění SMR a hustoty zalidnění v obcích ČR v roce 2022²². Hodnotou +2 byly hodnoceny lokality splňující standardy stávajících areálů JE. Pokud se v bližším okolí lokality, v porovnání se stávajícími jadernými lokalitami, nachází roztroušené osídlení s nízkou hustotou, byla lokalita zhodnocena hodnotou +1. Nachází-li se v okolí lokality husté osídlení, byla lokalita hodnocena hodnotou -1. Hodnota -2 nebyla v hodnocení použita, jelikož se žádný z provozů nenachází ve městě, jako například teplárna Malešice.

²² GeoPortal. *CENIA - Hustota zalidnění v obcích ČR (2004-2022)*.
<https://geoportal.gov.cz>

Lokalita	<table border="1"> <tr> <td>✔ 2</td> <td>silně pozitivní</td> </tr> <tr> <td>✔ 1</td> <td>mírně pozitivní</td> </tr> <tr> <td>! 0</td> <td>nedostatek informací</td> </tr> <tr> <td>! -1</td> <td>mírně negativní</td> </tr> <tr> <td>✘ -2</td> <td>silně negativní</td> </tr> </table>													✔ 2	silně pozitivní	✔ 1	mírně pozitivní	! 0	nedostatek informací	! -1	mírně negativní	✘ -2	silně negativní	SUMA
	✔ 2	silně pozitivní																						
✔ 1	mírně pozitivní																							
! 0	nedostatek informací																							
! -1	mírně negativní																							
✘ -2	silně negativní																							
Zdroj vody	Přepavní kapacita dopravního spojení	Přípojné místo PS / DS	Existence inženýrských sítí	Seismicita	Povodně	Vlastnosti základových půd	Oběh podzemních vod	Vliv produktovodů, ochranné pásmo	Vibrace (doprava, těžba, ...)	Dostupnost pracovní síly	Rozložení a hustota osídlení													
Temelín	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 2	20										
Dukovany	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 2	✔ 2	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 2	21										
Počerady	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	! -1	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 1	✔ 1	13										
Chvaletice	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	! -1	✔ 1	✔ 1	✔ 1	15										
Tušimice	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 2	✔ 1	✔ 2	! -1	✔ 1	✔ 1	✔ 1	16										
Ledvice	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✘ -2	✔ 2	! -1	✔ 1	✔ 1	✔ 1	12										
Prunéřov	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 2	! -1	✔ 1	✔ 1	✔ 1	15										
Dětmarovice	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	! -1	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 1	! -1	13										
Mělník	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	! -1	✔ 1	! -1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 1	✔ 1	12										
Opatovice	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	! -1	✘ -2	! -1	✔ 2	! -1	✔ 1	✔ 1	✔ 1	7										
Tisová	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✘ -2	! -1	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 1	✔ 1	✔ 1	11										
Poříčí	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✘ -2	✔ 1	✔ 1	✔ 2	✔ 2	! -1	✔ 1	✔ 1	! -1	10										
Průmyslový komplex	! 0	! 0	✔ 1	✔ 1	! 0	! 0	! 0	! 0	✔ 1	! -1	✔ 1	! 0	! 0	3										
Zelená louka	! 0	! -1	! -1	! -1	! 0	! 0	! 0	! 0	! 0	! 0	! -1	! -1	✔ 2	-3										
Blahutovice	✔ 1	! -1	! -1	! -1	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 2	✔ 1	! -1	! -1	✔ 2	7										
Tetov	✔ 1	! -1	! -1	! -1	✔ 1	✔ 2	✔ 1	✔ 2	✔ 2	✔ 1	! -1	! -1	✔ 2	7										

Tabulka č.6: Ohodnocení vybraných lokalit autorem práce

3.4.2. Výsledky hodnocení lokalit

Nejvhodnějšími lokalitami pro výstavbu SMR jsou dle očekávání areály stávajících jaderných elektráren Temelín a Dukovany. Obě jaderné lokality mají ve svém blízkém okolí velký vodní tok doplněný o vodní nádrž. Jelikož byla do lokality v minulosti dopravována rozměrná technologie, dopravní propojení je tedy dostatečně kapacitní. Stejně tak jsou v lokalitě přípojné místo na PS i inženýrské sítě. Z přírodních vlastností lokality jsou všechny optimální pro JE. Oproti JE Dukovany jsou pod areálem JE Temelín středně zranitelné podzemní vody. Do obou lokalit dosahují zemětřesení ze sousedního Rakouska, která vyvolávají vertikální pohyb litosférické desky až o 1,5 μm . K takovému případu došlo naposledy 2.4.2023 v oblasti St. Veit an der Glan cca 300 km od JE Temelín. V bezprostřední blízkosti nevede dálnice ani železnice, ani neprobíhá těžba. Areál je již zastavěný, tudíž nebude výstavbou navíc dotčena příroda. Kvalifikovaná pracovní síla se v lokalitách nachází a z výcvikových center společnosti ČEZ přijde další. Osídlení jsou v dostatečné vzdálenosti od JE. Nejbližší k JE Temelín se nachází obec Temelín cca 2 km od hranice elektrárny. Nejbližší JE Dukovany jsou obce Dukovany a Slavětice, které jsou cca 2,5 km vzdálené od hranice elektrárny.

U všech uhelných elektráren se nachází alespoň menší zdroj vody, který dostačuje provozu parní elektrárny, tudíž bude vyhovovat i SMR. Pro výstavbu uhelných elektráren bylo třeba dostatečně kapacitní dopravní propojení s distributory technologií, které by mělo vyhovět i rozměrům modulů SMR. Navíc elektrárny disponují železničním propojením. Velké uhelné elektrárny jsou připojeny do PS, výjimečně do DS, a disponují inženýrskými sítěmi. Stávající parní elektrárny nekolidují s ochrannými pásmy produktovodů ani letišť. Jelikož se jedná o zastavěné plochy, nebude stavbou zasažena nedotčená příroda. Ukončením uhelných provozů se uvolní v lokalitě dostatek schopné pracovní síly, kterou bude možné využít pro provoz SMR po procesech reskillingu a upskillingu.

Nejvhodnějšími nejadernými lokalitami se dle hodnocení jeví být lokality Tušimice, Chvaletice a Prunéřov. První z nejvhodnějších hodnocených nejaderných lokalit je uhelná elektrárna Tušimice. Ve srovnání se stávajícími jadernými lokalitami ji negativně můžou ovlivnit vibrace z přilehlého dolu Nástup Tušimice. Samotný důl ovšem bude do 30. let vytěžen a budou na něm pravděpodobně probíhat pouze rekultivace, pokud nějaký provozovatel těžební činnosti zamýšlí. Tudíž s časem toto riziko vymizí. Ukončení provozu uhelné elektrárny, jak bylo výše zmíněno, uvolní pracovní síly, které by bylo možno dále využít v provozu SMR. Jelikož je blízko elektrárny uhelný lom, nenachází se v blízkém okolí elektrárny nijak husté osídlení.

Elektrárna Chvaletice v Pardubickém kraji se nachází u řeky Labe. K zemětřesením došlo v posledních letech nejbližší Chvaleticím u vodní nádrže Orlík cca 100 km vzdálené s magnitudou pod hodnotu 2, které lze pocítit pouze v epicentrální oblasti. Proti povodním je elektrárna dobře chráněna a jejich hranic nedosahuje ani povodeň Q100. Oproti lokalitě Tušimice je středně zranitelné základové půdy. V okolí elektrárny neprobíhá těžba, jelikož je do elektrárny dováženo uhlí z lomů ČSA a Vršany, které se nachází na Mostecku. Vibrace ale způsobuje přilehlá frekventovaná železniční trať, která vede za plotem areálu elektrárny. Sídla jsou vzdálená cca 1,5 km od elektrárny.

Stejně vhodným adeptem je elektrárna Prunéřov, která, stejně jako elektrárna Tušimice, stojí u dolu Nástup Tušimice, tudíž i zde problém s vibracemi v budoucnu pravděpodobně vymizí. Oproti elektrárně Tušimice je ovšem Prunéřov napájen „pouze“ z přivaděče z Ohře do Bíliny, a to navíc spolu s elektrárnou Počerady. Dalšími rozdíly jsou středně ohrožené horninové prostředí, tedy méně vhodné než v nedalekých Tušimicích, ale vhodnější pouze slabě zranitelné podzemní vody.

Dalšími v pořadí dle hodnocení autora jsou elektrárny Počerady, Dětmárovice, Ledvice a Mělník. Elektrárna Počerady nemá v okolí velký vodní tok, je napájena „pouze“ z přivaděče z Ohře do Bíliny. I přesto hranic jejího areálu dosahují již povodně Q20. Horninové prostředí a podzemní vody jsou v jejím okolí pouze středně zranitelné.

Elektrárna Dětmárovice, zvažovaná společností ČEZ pro instalaci SMR, na Karvinsku byla v minulosti mírně ohrožována důlními otřesy z území ČR i sousedního Polska. Povodně úrovně Q100 dosahují areálu elektrárny. V okolí do 1 km elektrárny se navíc nachází relativně husté osídlení.

Elektrárna Ledvice se nachází na okraji uhelného lomu Bílina, který má díky svým zásobám uhlí potenciál pro provoz až do 40. let. Díky vysoké výhřevnosti Bílinského uhlí může zásobovat i výkonově menší hnědouhelné kotle. Vliv vibrací způsobovaných důlní technikou je tak i do budoucna nezanedbatelný. Oproti ostatním lokalitám jsou navíc v okolí elektrárny maximálně zranitelné podzemní vody. Lokalita by tak měla eventuálně podléhat podrobnějšímu průzkumu.

Elektrárna Mělník se nachází na břehu řeky Labe, což by mohlo mít negativní dopad při velkém zvýšení jeho hladiny. Lokalita Mělník byla z výběru vyřazena z důvodu přítomnosti rezervoáru podzemní vody, což je vylučujícím parametrem dle vyhlášky. Po neoficiálním jednání s Ministerstvem životního prostředí bylo vyrozuměno, že nádrž bude nevylučujícím kritériem. Lokalita Mělník bude společností ČEZ prověřena stejným způsobem jako její ostatní.

Dalšími lokalitami v pořadí dle autorova hodnocení jsou uhelné elektrárny Tisová a Poříčí. Obě tyto elektrárny trpí negativními vlivy seismicity. Elektrárna Tisová v Karlovarském kraji se nachází do 30 km od relativně časté seismické aktivity do magnituda 4 v lokalitě Luby v západních Čechách. Poslední takovouto aktivitou bylo zemětřesení 8.12.2022 s magnitudem 3,1. V blízkosti elektrárny Poříčí se nachází již zmíněný aktivní zlom. Oproti vhodnějším lokalitám lokality Tisová dosahují povodně již úrovně Q5. Lokalita Poříčí se od vhodnějších lokalit liší zejména relativně hustším osídlením ve svém okolí (obec Poříčí, město Trutnov).

Dle hodnocení autora následuje poslední z lokalit stávajících uhelných elektráren, a to elektrárna Opatovice. Lokalita je ohrožena povodněmi Q20, nedisponuje vhodným podložím (maximální zranitelnost horninového prostředí) a v okolí se nachází silně zranitelné podzemní vody. Také v blízkosti elektrárny vede jednak dálnice D35, tak i frekventovaná silnice spojující Hradec Králové a Pardubice.

Průmyslové komplexy jsou jedním z možných investorů do technologie SMR. Jelikož nebyl vybrán konkrétní průmyslový areál, nebylo možné několik z kritérií ohodnotit. Areály průmyslové výroby jsou obvykle připojeny do DS na hladině vysokého napětí a disponují inženýrskými sítěmi. Také není očekávána kolize s ochrannými pásmy produktovodů, jelikož v těchto pásmech by nemohl stát ani samotný komplex. Protože se také jedná o již zastavěné území, nedošlo by k narušení nedotčené přírody výstavbou. Ostatní kritéria závisí na poloze průmyslového objektu, typu průmyslového procesu, vzdálenosti od měst či dopravní infrastruktury.

Výstavba SMR v nezastavěné lokalitě u Blahutovic či Tetova má i svá pozitiva. Jelikož se jednalo o zvažované lokality pro velké jaderné reaktory, lze usuzovat, že přesná dříve zvažovaná lokalita byla vhodná ze všech přírodních hledisek (zdroj vody, seismicita, povodně, základové půdy a oběh podzemních vod). U Blahutovic protéká řeka Odra. Jižně od Tetova, severně od Chvaletic, teče řeka Labe. Vzdálenost řek od elektráren by ovšem závisela na konkrétním umístění provozu. V moravskoslezském kraji docházelo v minulosti k důlním otřesům, ale naposledy v roce 2014. U Tetova je situace stejná jako u elektrárny Chvaletice, kde k zemětřesením došlo v posledních letech nejbliže u vodní nádrže Orlická cca 100 km vzdálené a magnitudou pod hodnotu 2. Povodňové riziko opět závisí na konkrétním umístění, stejně tak základové půdy. Převážná část obou lokalit není v případech rozvodnění okolních vodních toků nijak ohrožena. Horninové prostředí je taktéž v obou lokalitách nanejvýš středně zranitelné. Podzemní vody jsou zranitelné pouze slabě. V okolí obou obcí není husté osídlení ani velké dopravní tahy či těžební aktivity. Lokality ovšem postrádají kapacitní dopravní propojení, přípojně místo způsobilé pro výrobu elektrické energie i inženýrské sítě. V lokalitách se nenachází dostatek pracovní

síly. Výstavba by zasáhla do přírody. Instalace na zelené louce tak bude finančně nákladnější, než výstavba v lokalitách stávajících JE nebo uhelných elektráren a příprava stavby včetně výkupu pozemků může být až neschůdná.

4. Posouzení vhodnosti vybraných technologií SMR k umístění ve zvolených lokalitách

Alternativou nebo doplňkem stávajících velkých reaktorů jsou reaktory, které jsou menší, cenově dostupnější, snadněji se staví a provozují, a proto se i snadněji řídí a financují. Zvláště slibná je právě kategorie reaktorů známá jako malé modulární reaktory (SMR).

SMR jsou obecně definovány jako jaderné reaktory s elektrickým výkonem nižším než 300 MW na modul, i když některé vyvíjené modely by mohly být větší. Patří mezi ně i mikro-modulární reaktory, které mají výkon menší než 10 MW. Různé projekty, které jsou nyní ve vývoji po celém světě a kterých je přibližně 70, zahrnují různé základní technologie, včetně reaktorů chlazených vodou, plynem, tekutým kovem nebo roztavenými solemi, a také různé palivové cykly. Výrazně se liší podle úrovně technologie a licenční připravenosti. Žádný z nich zatím není ve fázi plné komercializace.

Vzhledem k tomu, že reaktory SMR jsou menší než stávající konstrukce reaktorů, je potřeba investic v absolutních číslech nižší. Obvykle jsou navrženy tak, aby se stavěly v továrně v modulech a poté se přepravovaly na místo, kde mají být instalovány. To snižuje riziko řízení projektu během výstavby, což je jeden z nejvýznamnějších problémů při financování velkých jaderných projektů. Některé projekty však vyžadují přepravu plně natankovaných jader a neměly by se podceňovat související dopravní trasy, bezpečnostní aspekty a záruky. Několik návrhů SMR má přirozené vlastnosti v oblasti bezpečnosti a nakládání s odpady, které by mohly podpořit společenskou přijatelnost a uvolnit významný soukromý rizikový kapitál pro výzkum a vývoj, jakož i demonstraci a nasazení.

SMR jsou navrženy tak, aby byly nasazovány sériově a využívaly globální dodavatelský řetězec ke snížení nákladů, jako je tomu v jiných odvětvích, například v námořní výstavbě nebo výrobě letadel. Mohly by být instalovány jako jednotlivé moduly rozmístěné po celé elektrické síti, což by mohlo mít zvláštní význam v zemích nebo regionech s méně rozvinutými sítěmi, v odlehlých oblastech nebo jako specializované zdroje elektřiny a tepla. Mohly by být také rozmístěny ve skupinách modulů na jednotlivých místech. SMR mohou být také vhodné pro nahrazení elektráren na fosilní paliva s využitím stávajícího připojení k přenosové síti, dostupnosti vody pro chlazení a kvalifikované pracovní síly.

SMR mají důležité vlastnosti, které by je mohly dobře připravit na roli v energetických změnách. Jednou z nejdůležitějších je jejich vnitřní bezpečnost.

Nižší výkon a menší aktivní zóny reaktoru by měly zvýšit účinnost pasivních bezpečnostních systémů. Mnoho reaktorů SMR obsahuje inherentní bezpečnostní prvky, které téměř vylučují možnost závažných havárií. Větší spoléhání na pasivní chladicí systémy také umožňuje jednodušší konstrukci reaktorů, což by mělo snížit náklady. Výhody pasivních bezpečnostních systémů mohou také vést ke zmenšení zón havarijního plánování mimo lokalitu, což by usnadnilo umístění elektráren v blízkosti obyvatelstva nebo průmyslových center.

SMR nabízejí také řadu dalších technických výhod. Pokud by se využívaly k dodávkám elektřiny do sítě, například při nahrazování uhelných elektráren, snížila by se potřeba posilování přenosové sítě, což by zvýšilo jejich ekonomickou životaschopnost. Tento faktor bude nabývat na významu s tím, jak bude s rostoucím rozšířením fotovoltaiky a větrné energie narůstat i distribuovaná výroba elektřiny. Stejně jako u velkých reaktorů mohou mít i malé a středně velké reaktory různá využití nad rámec výroby elektřiny, včetně výroby tepla a vodíku a odsolování vody. Vzhledem k menším rozměrům mohou být SMR atraktivní zejména pro země s menšími a méně robustními elektrickými sítěmi, i když je nadále nezbytné, aby byly k dispozici robustní regulační orgány a nakládání s odpady. Očekává se, že doba výstavby bude mnohem kratší díky tovární výrobě a použití modulárních stavebních technik.

Několik vyvíjených pokročilých projektů SMR zahrnuje také inovativní strategie recyklace vyhořelého jaderného paliva. Cílem těchto strategií je snížit objem a radiační toxicitu vysoce radioaktivního odpadu, který bude nakonec nutné ukládat do hlubinných úložišť, a snížit potřebu těžby uranu v přední části jaderného palivového cyklu. Tyto návrhy by mohly zvýšit přínos jaderné energie k cílům dlouhodobé udržitelnosti.

SMR by mohly být rovněž využity k uspokojení potřeby flexibility při výrobě energie, kterou vyžadují elektrické systémy s vysokým podílem větrné a solární energie. Reaktory SMR mohou být vhodné pro flexibilní provoz, jak je tomu již u některých tradičně velkých reaktorů, což by ve scénářích s vysokým podílem obnovitelných zdrojů mohlo zlepšit ziskovost při růstu zachycených cen elektřiny. Flexibility by navíc mohlo být dosaženo nejen sledováním zatížení výroby elektřiny, ale také flexibilní kogenerací, například prostřednictvím výroby vodíku nebo tepelného skladování.

Menší rozměry, kratší doba realizace projektu a vlastnosti umístění SMR z nich mohou učinit atraktivní volbu pro soukromé investory. Celková velikost investice by byla cenově dostupnější, i když ne nutně levnější v přepočtu na MW. Spolu s nižšími riziky projektu spojenými s kratšími lhůtami výstavby a výstavbou v továrnách by to mohlo podpořit nové způsoby financování nových jaderných

elektráren. Výhodou SMR je také škálovatelnost, která umožňuje energetickým společnostem přidávat kapacitu do sítě po menších krocích.

4.1. Technologie SMR ve světě

S ohledem na rozsah globálních cílů v oblasti snižování emisí hraje důležitou roli jak dlouhodobý provoz stávajících jaderných elektráren, tak i výstavba nových reaktorů III. generace o gigawattovém výkonu. Vlna inovací v oblasti malých modulárních reaktorů (SMR) by navíc mohla uvolnit cestu k dalšímu snižování emisí tím, že by zasáhla těžko dostupné části ekonomiky, poskytla možnosti mimo síť a možnosti pro místa, která nevyžadují nebo nemohou podporovat výrobu energie v gigawattovém měřítku.

Zpráva Nuclear Energy Agency (NEA) z roku 2021 *Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities* (Výzvy a příležitosti) nabízí přehled nedávného pokroku při vývoji a zavádění malých modulárních reaktorů a zabývá klíčovými ekonomickými faktory této inovativní jaderné technologie a zdůrazňuje tržní příležitosti pro SMR, které mohou podpořit strategie dekarbonizace, doplnit obnovitelné zdroje energie a také usnadnit přístup k jaderné energii v nových odvětvích a regionech.

Nákladová konkurenceschopnost SMR bude záviset na několika faktorech. Modularizace má být hnacím motorem nových modelů dodávek, přičemž se očekává, že tovární výroba sníží jednotkové náklady díky úsporám ze sériové výroby. Cena emisních povolenek a regulační náklady budou rovněž klíčovými faktory ekonomiky SMR. Ačkoli tempo zavádění reaktorů SMR stále podléhá řadě nejistot, je zřejmé, že by tyto reaktory mohly zaznamenat rychle rostoucí tempo výstavby, přičemž se očekává, že několik návrhů reaktorů SMR bude komerčně zavedeno do 5 až 10 let, aby přispěly ke krátkodobému a střednědobému snižování emisí.

Do roku 2035 by podle odhadů NEA mohl globální trh s SMR dosáhnout 21 GW. Poté NEA předpokládá rychlý nárůst tempa výstavby s uvažovanou výstavbou mezi 50 a 150 GW za rok. Za předpokladu, že tempo výstavby dosáhne do roku 2050 75 GW ročně, tak by se v příštích třiceti letech vybudovalo až 375 GW instalovaného výkonu. To by znamenalo zabránění kumulativním emisím CO₂ ve výši 15 gigatun. Společnost Westinghouse a IRIS uvedli ekonomické výhody modulární výstavby svého projektu IRIS (přibližně 330 MWe). Poukázali na to, že IRIS se svou velikostí a jednoduchou konstrukcí ideálně hodí pro modulární výstavbu ve smyslu postupné výstavby velké elektrárny s několika malými provozními bloky. Úspory z rozsahu jsou zde nahrazeny úsporami ze sériové výroby mnoha malých a jednoduchých komponent a prefabrikovaných sekcí. Předpokládají, že výstavba prvního bloku IRIS bude dokončena za tři roky a

následně se zkrátí na pouhé dva roky. Byly vypracovány plány lokalit s několika jednoduchými bloky nebo několika zdvojenými bloky. V každém případě budou jednotky postaveny tak, aby existovalo dostatečné fyzické oddělení umožňující výstavbu další jednotky, zatímco předchozí jednotka bude v provozu a bude generovat energii. Navzdory tomuto oddělení může být plocha elektrárny velmi kompaktní, takže například lokalita se třemi jednoduchými moduly IRIS poskytujícími výkon 1000 MW bude mít podobnou nebo menší velikost než lokalita se srovnatelným celkovým výkonem jednoho bloku. Mnoho malých reaktorů je navrženo s ohledem na sériovou výstavbu a společný provoz jako moduly velké elektrárny. Očekává se, že nakonec budou mít elektrárny složené z několika SMR měrné investiční náklady a výrobní náklady srovnatelné s většími elektrárnami. Každá taková malá jednotka však bude mít potenciálně takový profil financování a flexibilitu, které jsou u větších elektráren nemožné. Jakmile bude jeden modul dokončen a začne vyrábět elektřinu, bude generovat pozitivní peněžní tok pro další modul, který bude postaven. Mnoho malých reaktorů je určeno pro průmyslové využití tepla i pro výrobu energie.

4.1.1. Typy reaktorů

Typů reaktorů je na světě několik. Reaktory tzv. III. generace jsou typy reaktorů chlazené vodou. Pod tyto reaktory spadají tlakovodní reaktory (PWR), varné reaktory (BWR) i těžkovodní reaktory (HWR). Reaktory IV. generace jsou vysokoteplotní, plynem chlazené reaktory (HTGR), reaktory chlazené roztavenými kovy, reaktory chlazené roztavenými solemi. Výše zmíněné typy reaktorů spadají pod tepelné reaktory. Ve vývoji jsou také reaktory rychlé, které se od tepelných reaktorů liší rychlostí neutronů štěpících jádra použitého jaderného paliva.

Lehkovodní reaktor (LWR)

Lehkovodní malé modulární reaktory jsou moderovány a chlazeny obyčejnou vodou a mají nejnižší technologické riziko, protože jsou podobné většině dnes provozovaných energetických a námořních reaktorů. Většinou používají palivo obohacené na méně než 5 % U-235, interval mezi výměnou paliva není delší než šest let a regulační překážky jsou pravděpodobně nejmenší ze všech malých reaktorů. Americká jaderná regulační komise se začíná zaměřovat na malé lehkovodní reaktory využívající konvenční palivo, jako jsou projekty společností B&W, Westinghouse, NuScale a Holtec, včetně integrálních typů. Nad rámec těchto projektů existují další. Všechny vyžadují konvenční chlazení parního kondenzátoru.

Vysokoteplotní plynem chlazené reaktory (HTGR)

K moderaci štěpné reakce se ve vysokoteplotních plynem chlazených reaktorech používá grafit a jako primární chladivo helium, oxid uhličitý nebo dusík. Zkušenosti několika inovativních reaktorů postavených v 60. a 70. letech

20. století, zejména těch v Německu, byly analyzovány zejména ve světle plánů USA na výstavbu jaderné elektrárny nové generace (NGNP) a čínského zahájení projektu HTR-PM v roce 2011. Mezi poznatky získané a zdokumentované pro NGNP patří použití paliva TRISO, použití tlakové nádoby reaktoru a použití chlazení heliem. Vyvíjejí se nové vysokoteplotní reaktory chlazené plynem (HTGR), které budou schopny dodávat helium o vysoké teplotě (700-950 °C a nakonec až kolem 1000 °C) buď pro průmyslové použití prostřednictvím výměníku tepla, nebo pro výrobu páry konvenčním způsobem v sekundárním okruhu prostřednictvím parogenerátoru, nebo přímo pro pohon plynové turbíny s Braytonovým cyklem pro výrobu elektřiny. Jeden z návrhů využívá helium k pohonu vzduchového kompresoru pro přeplňování jednotky plynového uzavřeného cyklu. Zlepšená metalurgie a technologie vyvinuté v posledním desetiletí činí HTGR praktičtějšími než v minulosti, ačkoli přímý cyklus znamená, že musí být zajištěna vysoká integrita paliva a součástí reaktoru. Palivo pro tyto reaktory je ve formě částic o průměru menším než jeden milimetr. Každá z nich má jádro (cca 0,5 mm) z oxykarbidu uranu (nebo oxidu uraničitého), přičemž uran je obohacen až na 20 % U-235, obvykle však méně. To je obklopeno vrstvami uhlíku a karbidu křemíku, které vytvářejí obal pro štěpné produkty stabilní až do teploty přes 1600 °C. Použité palivo je celkově méně radiotoxické a díky vyššímu vyhoření produkuje méně rozpadového tepla.

Reaktory s roztavenými solemi (MSR)

Reaktory s roztavenými solemi (MSR) používají jako primární chladivo roztavené fluoridové soli při nízkém tlaku. Rozšíření koncepce na rozpouštění štěpného paliva v soli však rozhodně představuje skok v myšlení ve srovnání s téměř všemi dosud provozovanými reaktory. Koncepce však není nová, jak je uvedeno níže. MSR mohou pracovat se spektrem epitermálních nebo rychlých neutronů a s různými druhy paliva. Velká část dnešního zájmu o oživení koncepce MSR se týká využití thoria (k výrobě štěpného uranu 233), kde je třeba zajistit počáteční zdroj štěpného materiálu, jako je plutonium 239. Existuje řada různých koncepcí MSR a řada zajímavých problémů při komercializaci mnohých z nich, zejména v případě thoria. Soli, které se používají jako primární chladivo, většinou fluorid lithný, zůstávají v kapalném stavu bez zvýšení tlaku při teplotách od přibližně 500 °C do přibližně 1400 °C, což je výrazný rozdíl oproti PWR, které pracují při teplotě přibližně 315 °C a tlaku 150 atmosfér. Hlavní koncepce MSR spočívá v tom, že palivo je rozpuštěno v chladivu jako palivová sůl, a nakonec se přepracovává. Thorium, uran a plutonium tvoří vhodné fluoridové soli, které se snadno rozpouštějí ve směsi, a thorium a uran lze od sebe ve fluoridové formě snadno oddělit. V krátkodobém horizontu je pravděpodobné dávkové přepracování a životnost paliva se udává na 4-7 let při vysokém vyhoření. Grafit jako moderátor je chemicky kompatibilní s fluoridovými solemi.

Rychlé reaktory

Reaktory využívající rychlých neutronů jsou menší a jednodušší než lehkovodní typy, mají lepší výkon paliva a mohou mít delší interval výměny paliva (až 20 let). Jsou navrženy tak, aby využívaly plný energetický potenciál uranu, nikoliv přibližně jedno procento, které využívají běžné energetické reaktory. Nemají moderátor, mají vyšší tok neutronů a jsou obvykle chlazeny kapalným kovem, jako je sodík, olovo nebo olovo-bismut, s vysokou vodivostí a bodem varu. Pracují při atmosférickém tlaku nebo při tlaku blízkém atmosférickému a mají pasivní bezpečnostní prvky (většina z nich má konvekční cirkulaci primárního chladiva). Automatické regulace výkonu je dosaženo díky zpětné vazbě reaktivity, tedy ztráty průtoku chladiv, která vede k vyšší teplotě aktivní zóny, která zpomaluje reakci. Rychlé reaktory obvykle používají regulační tyče z karbidu boru. palivo je většinou obohaceno o 15-20 %. Většina chladicích kapalin je z tekutých kovů, buď ze sodíku, který je hořlavý a prudce reaguje s vodou, nebo z olova, který je korozivní, ale nereaguje se vzduchem ani vodou. Odpadá tak potřeba a s ní spojené náklady na další komponenty a bezpečnostní systémy, které vyžadují jiné technologie pro ochranu před únikem chladiva. Zmíněná možnost použití obou chladicích kapalin při atmosférickém tlaku nebo při tlaku blízkém atmosférickému zjednodušuje konstrukci a snižuje náklady. Jejich vysokoteplotní provoz je přínosem pro termodynamickou účinnost.

4.2. Zvolené technologie pro ČR

Technologie IV. generace jsou stále ve fázích vývoje, proto nejsou v současnosti společností ČEZ uvažovány jako možné kandidáty pro první SMR v ČR. Skupina je ČEZ jedinou firmou v ČR, která komerčně provozuje jaderné bloky v jaderných lokalitách. V ČR se výzkumem v oblasti jaderných reaktorů a SMR zabývá zejména Ústav Jaderného Výzkumu Řež, jejíž téměř 70% podíl vlastní právě společnost ČEZ. Výzkum ÚJV Řež se zaměřuje jak na malé jaderné reaktory tlakovodního typu, tak na rychlé reaktory chlazené těžkými kovy a také na vysokoteplotní reaktory chlazené plynem.

SMR	Technologie					
Parametr	SMART	NuScale	UK SMR	SMR160	BWRX300	NUWARD
Typ reaktoru	iPWR	iPWR	PWR	PWR	BWRX300	iPWR
Uspořádání	dvoublok	až 12 modulů	jednoblok	jednoblok	jednoblok	dvoublok
Instalovaný tep. výkon [MWt]	365	200/modul	1276	5225	870	2 x 540
Instalovaný el. výkon [MWe]	107	60–77/modul	470	160	270–290	2 x 170
Oběh	Nucený	Přirozený	Nucený	Přirozený	Přirozený	Nucený
Typ paliva	UO ₂ /17x17	UO ₂ /17x17	UO ₂ /17x17	UO ₂	UO ₂ /10x10	UO ₂ /17x17
Obohacení	<5 %	<5 %	<5 %	<5 %	<5 %	<5 %
Kampaň [měsíců]	36	24	18–24	24	12–24	24
Koncept bezpečnostního systému	Pasivní	Pasivní	Aktivní i Pasivní	Pasivní	Pasivní	Pasivní
Životnost [let]	60	60	60	80	60	60
Zahájení provozu FOAK	2034	2029-2030	2030	2030	2028	2034

Tabulka č.7: Zvažované technologie SMR společností ČEZ a.s.²³

Ve výše uvedené tabulce jsou uvedeny technologie SMR, které jsou společností ČEZ zvažovány jako potenciální adepti pro první malý modulární reaktor v ČR. Jedná se o tepelné reaktory nad 100 MWe využívající mírně obohacený uran, moderované a chlazené lehkou vodou (H₂O). Technologie je stejná, jako kterou využívají i oba naše velké jaderné bloky v Temelíně a Dukovanech. Bylo by tedy možné využít znalosti z provozování velkých bloků i na zvažované SMR. Stejně jako již v ČR existují praktické technické znalosti z provozu, existují i zákony, které i s tímto typem reaktoru již počítají.

²³ L. Novotný, J. Líman (ČEZ a.s.): Malé jaderné reaktory. Kariérní dny FS a FEL ČVUT <https://www.youtube.com/watch?v=nCWYIVqrgvw>

5. Posouzení proveditelnosti záměny zdrojů

Posouzení proveditelnosti záměny zdrojů autorem práce obsahuje zohlednění několika kritérií, která rozlišují různé možnosti záměny zdrojů v horizontu 15 až 30 let.

- 1) Zachování stávající uhelné elektrárny v provozu

Jako zvolené záměny, respektive řešení vývoje elektroenergetiky, byly posuzovány čtyři alternativy nahrazení uhelné elektrárny:

- 2) Zdrojem spalujícím zemní plyn
- 3) Pomocí SMR
- 4) Velkým jaderným reaktorem
- 5) Pomocí FVE/VTE

Varianty uvažují nahrazení typického uhelného bloku o výkonu 200 MW v lokalitě, kde je blok situován. Alternativy jsou analyzovány pomocí kvantitativní SWOT analýzy. SWOT analýza se využívá pro hodnocení silných a slabých stránek projektu vzhledem k okolním vlivům, jež jsou popsány pomocí příležitostí a rizik. Výsledkem SWOT analýzy pro jednotlivá řešení je vždy indikativní konečný součet, na jehož základě lze jednotlivá řešení porovnat. Hodnocení dle kritérií i samotné hodnocení v následné kvantitativní SWOT analýze vychází pouze z autorových znalostí, a je tak subjektivní. I přes to je možné výsledky považovat za směrodatné.

5.1. Zvolená kritéria

Autorem práce bylo zvoleno následujících osm kritérií, ve kterých se jednotlivá řešení odlišují.

Stabilita zdroje

Z hlediska energetické bezpečnosti ČR považuje autor za žádoucí přítomnost dostatečného počtu stabilních zdrojů v ES. Zdroje schopné stabilní dodávky elektrické energie do sítě dle požadavku PPS byly označeny hodnotou +1, zbylé zdroje hodnotou -1.

Řiditelnost zdroje

Z důvodu opětovného velkého rozmachu instalací intermitentních zdrojů nejen v ČR, ale v celé Evropě, považuje autor za nezbytné, aby ES ČR disponovala odpovídajícím počtem zdrojů, jejichž výkon je možné dle požadavku PPS regulovat, a tím rychle reagovat na výkyvy ve výrobě intermitentních zdrojů a dle okamžitého stavu v propojených přenosových soustavách. Zdroje schopné flexibilní dodávky elektrické energie do sítě dle požadavku PPS byly označeny hodnotou +1, zbylé zdroje hodnotou -1.

Nová investice/Existující zdroj

Toto kritérium odlišuje stávající uhelné zdroje od možností eventuální náhrady. Obě varianty mají své pozitivní i negativní stránky, které budou u každého z řešení zohledněny. Stávající uhelné zdroje byly označeny hodnotou -1 a možné náhrady hodnotou +1.

Tuzemské palivo/závislost na importu paliva

Palivo elektrárny, resp. způsob získávání energie ze zdroje, má vliv zejména na provozní náklady a cenu elektrické energie z daného zdroje. Uhlé zdroje spalují tuzemské uhlí, díky čemuž je výroba elektřiny o poznání levnější, než by tomu bylo v případě jeho dovozu ze zahraničí. FVE a VTE čerpají energii ze slunce, resp. větru, což lze považovat za tuzemský zdroj energie. Oproti zmíněným zemní plyn a jaderné palivo nikdy nebudou z ČR, tudíž s sebou nesou nejen zvýšenou cenu elektrické energie, ale také závislost na ostatních státech, což snižuje soběstačnost státu. Uhlé zdroje, FVE i VTE získávají energii z tuzemských zdrojů – hodnota +1. Zdroje spalující plyn a jaderné zdroje využívají importované zdroje – hodnota -1.

Emisivita zdroje

Nejen jedním z každodenních témat v energetice, ale také jedno z témat této práce je cíl snížení emisí škodlivých látek do ovzduší při výrobě energií. Zdroje emitující tyto látky do ovzduší jsou označeny hodnotou -1. Zdroje bezemisní jsou označeny hodnotou +1.

Zajištění bezpečnosti zdroje

V současnosti lze všechny ze zdrojů považovat za zvládnuté a riziko jejich velké poruchy, která by zapříčinila katastrofu, je velmi malé. Zdroje se ovšem liší bezpečnostními opatřeními, díky kterým je toto možné konstatovat. Od ostatních se tímto odlišují zdroje jaderné, což vyplývá i z kapitoly 3. Nejaderné zdroje byly označeny hodnotou +1. Jaderné zdroje byly označeny hodnotou -1.

Dostupnost pracovních sil

Dostupnost pracovních sil je u jednotlivých zdrojů také odlišná. Pro provoz FVE a VTE v podstatě obsluha nejsou potřeba a stávající zdroje spalující uhlí již své pracovníky mají – hodnota +1. Pro provoz nového zdroje, ať už spalujícího plyn, nebo jaderného, budou třeba nové pracovní síly, byť jinak kvalifikované.

V tabulce č. 8 níže je uvedeno rozlišení jednotlivých zvažovaných řešení problému ukončení/pokračování provozu uhelných elektráren dle výše zmíněných kritérií neboli vlastností zdrojů, respektive samotného řešení, které mají vliv na silné a slabé stránky příslušného řešení.

Kritéria	Zdroje spalující uhlí	Zdroje spalující plyn	SMR	Velký jaderný reaktor	FVE/VTE
Stabilita zdroje	● 1	● 1	● 1	● 1	◆ -1
Řiditelnost zdroje	● 1	● 1	● 1	◆ -1	◆ -1
Nová investice/Existující zdroj	◆ -1	● 1	● 1	● 1	● 1
Tuzemské palivo/závislost na importu	● 1	◆ -1	◆ -1	◆ -1	● 1
Emisivita zdroje	◆ -1	◆ -1	● 1	● 1	● 1
Zajištění bezpečnosti zdroje	● 1	● 1	◆ -1	◆ -1	● 1
Dostupnost pracovních sil	● 1	● 1	◆ -1	◆ -1	● 1

Tabulka č.8: Kriteriaální rozlišení jednotlivých variantních řešení

5.2. Parametry analýzy

Jak již bylo uvedeno, jednotlivé varianty záměny zdrojů byly podrobeny kvantitativní SWOT analýze. SWOT analýza se skládá ze čtyř kategorií, jimiž jsou:

- Silné stránky (Strengths)
- Slabé stránky (Weaknesses)
- Příležitosti (Opportunities)
- Rizika (Threats)

Silné a slabé stránky jednotlivých variant či řešení, sjednocené jako *aspekty řešení*, vyplynou v příslušných podkapitolách z dříve použitých rozlišujících kritérií viz tabulka č. 8.

Příležitosti byly zvoleny autorem práce a tvoří je následující seznam položek:

- Dekarbonizace dle cílů EU
- Potřeba říditelných zdrojů v ES ČR
- Potřeba stabilních zdrojů v ES ČR
- Energetická soběstačnost ČR
- Zapojení českého průmyslu
- Ekologická udržitelnost energetiky ČR
- Ekonomická dostupnost energií

Rizika byla taktéž zvolena autorem práce a tvoří je následující seznam položek:

- Znalost technologie
- Postoj širší veřejnosti ČR
- Postoj "zelené" veřejnosti ČR
- Postoj státu
- Délka povolovacích procesů
- Velikost investice
- Doba výstavby
- Provozní náklady
- Životnost řešení

Efekty silných a slabých stránek na jednotlivé příležitosti a jednotlivá rizika jsou hodnoceny na škále od hodnoty -3 po hodnotu +3. Kladné hodnoty značí pozitivní efekt, záporné hodnoty naopak značí efekt negativní. Hodnota 0 značí, že slabá či silná stránka má efekt neutrální. Absolutní velikost zvoleného čísla pak značí míru příslušného pozitivního či negativního efektu. Veškeré hodnocení bylo vyhotoveno autorem práce a zvolené hodnoty se odvíjí od autorových znalostí.

5.3. Zachování stávající uhelné elektrárny v provozu

První variantou řešení je tzv. nulové řešení, tedy zachování stávajících uhelných elektráren v provozu.

Stabilita zdroje

Uhelné elektrárny jsou jedním ze zdrojů schopných kontinuálního provozu při požadovaném výkonu. Naplňují tak potřebu stabilních zdrojů v ES ČR. Této jejich vlastnosti je v současnosti využíváno zejména v noci a v zimních měsících, kdy je soustava více zatížena než v létě, a zároveň obnovitelné zdroje pokryjí menší část zatížení. Tato vlastnost má pozitivní vliv také na ekonomickou dostupnost elektrické energie.

Řiditelnost zdroje

Uhelné elektrárny jsou jedním z flexibilních zdrojů schopných dle požadavku PPS regulovat svůj výkon. Naplňují tak potřebu říditelných zdrojů v ES ČR. Této jejich vlastnosti je v současnosti využíváno téměř při každodenním provozu, a to kvůli všemožným výkyvům výroby či spotřeby, které se odlišují od predikcí. Tato vlastnost má pozitivní vliv také na ekonomickou dostupnost elektrické energie. Na zbylé příležitosti ani rizika tato vlastnost nemá vliv.

Existující zdroj/nová investice

Stávající uhelné elektrárny jsou dobře známou a v praxi prověřenou technologií. Ve variantě jejich zachování lze považovat počáteční investici jako nulovou. Zároveň není třeba žádných povolovacích procesů a výstavba nestojí čas. Jelikož se ale jedná o dlouho provozované zdroje, je potřeba nemalých reinvestic na jejich udržení v provozu či kvůli plnění emisních limitů a kvůli jejich stáří mají sníženou životnost.

Tuzemské palivo/závislost na importu paliva

Uhelné elektrárny spalují tuzemské uhlí. Díky svým lomům a dolům je ČR více soběstačným státem a provoz a výroba uhelných zdrojů je tak levnější, což má pozitivní vliv na postoj veřejnosti a státu.

Emisivita zdroje

Uhelné elektrárny jsou v energetické legislativě EU v současnosti nepřitelem č. 1. Z klasických zdrojů produkují nejvíce emisí v přepočtu na 1 MWh elektrické energie, a to cca 1 tunu CO_{2eq}. Jejich provoz se neslučuje s cíli EU ani s ekologickou udržitelností. Kvůli emisím k nim má převážná většina občanů negativní vliv. Nutnost pokrývání emisí vypuštěných do ovzduší emisními povolenkami negativně ovlivňuje provozní náklady uhelných elektráren, a tak i cenu elektrické energie z nich vyrobených.

Zajištění bezpečnosti zdroje

Protože se jedná o stávající zdroj, nemá tento aspekt vliv na příležitosti ani rizika.

Dostupnost pracovních sil

Pracovníci jsou v uhelných elektrárnách již přítomni a tvoří hrubý domácí produkt, což má pozitivní efekt na postoj státu a nedostatek pracovních sil nehrozí.

5.3.1. Zhodnocení varianty

Z analýzy varianty 1 (viz tabulka č. 9) lze pozorovat, že zachování uhelné elektrárny v provozu má kýžený pozitivní efekt na příležitosti vyjma dekarbonizace dle cílů EU a ekologické udržitelnosti energetiky ČR.

Dominantní silnou stránkou varianty je dostupnost paliva, tedy uhlí, v rámci ČR. Ostatní silné stránky mají srovnatelně pozitivní celkový efekt.

Převažující slabou stránkou je dle očekávání vysoká emisivita zdroje, kvůli které jsou uhelné provozny „ohroženy“. Fakt, že se jedná o stávající zdroje, má veskrze pozitivní efekt, protože není potřeba žádné investice do nového zdroje, která by vyžadovala dlouhé povolovací procesy či výkupy pozemků.

Hlavními příležitostmi tohoto řešení jsou potřeba říditelných a stabilních zdrojů v ES ČR, energetická soběstačnost ČR a ekonomická dostupnost energií.

Hlavními riziky jsou pouze postoj veřejnosti, provozní náklady a reinvestice a nízká životnost řešení.

Způsob hodnocení		Aspekty řešení							SUMA
		Stabilní zdroj energie	Řiditelný zdroj energie	Existující zdroj	Tuzemské palivo	Emisivita	Zajištění bezpečnosti zdroje	Dostupnost pracovních sil	
Velmi pozitivní	3								
Pozitivní	2								
Mírně pozitivní	1								
Neutrální	0								
Mírně negativní	-1								
Negativní	-2								
Silně negativní	-3								
Dekarbonizace dle cílů EU		0	0	0	0	-3	0	0	-3
Potřeba říditelných zdrojů v ES ČR		0	2	0	0	0	0	0	2
Potřeba stabilních zdrojů v ES ČR		3	0	0	0	0	0	0	3
Energetická soběstačnost ČR		0	0	0	3	0	0	0	3
Zapojení českého průmyslu		0	0	0	0	0	0	0	0
Ekologická udržitelnost energetiky ČR		0	0	0	0	-3	0	0	-3
Ekonomická dostupnost energií		2	2	0	3	-2	0	0	5
Znalost technologie		0	0	2	0	0	0	0	2
Postoj širší veřejnosti ČR		0	0	0	1	-2	0	0	-1
Postoj "zelené" veřejnosti ČR		0	0	0	0	-3	0	0	-3
Postoj státu		0	0	0	1	-2	0	2	1
Délka povolovacích procesů		0	0	3	0	0	0	0	3
Velikost investice		0	0	3	0	0	0	0	3
Doba výstavby		0	0	3	0	0	0	0	3
Nedostatek pracovních sil		0	0	0	0	0	0	3	3
Provozní náklady a reinvestice		0	0	-3	2	-2	0	0	-3
Životnost řešení		0	0	-3	0	0	0	0	-3
SUMA		5	4	5	10	-17	0	5	12

Tabulka č.9: Analýza zachování uhlého zdroje

5.4. Nahrazení uhelné elektrárny zdrojem spalujícím zemní plyn

Druhou variantou je nahrazení uhelné elektrárny zdrojem spalujícím zemní plyn, tedy přechodný krok k úplné dekarbonizaci EU do roku 2050. Blok plynového zdroje může nahradit uhelný blok v plném výkonu.

Stabilita zdroje

Plynové elektrárny mohou stejně jako uhelné elektrárny pracovat kontinuálně na požadovaném výkonu. V současnosti se této jejich vlastnosti používá jen velmi zřídka, kvůli vysoké ceně jejich provozu. V budoucnu se tato situace nezmění a plynové zdroje budou velmi pravděpodobně vždy využívány pro vykrývání výkyvů ve výrobě OZE. V případě odstavení všech uhelných zdrojů by mohly být namísto uhelných zdrojů používány zdroje plynové k provozu v zimních měsících i v noci.

Řiditelnost zdroje

Ve srovnání s uhelnými zdroji jsou ty plynové více flexibilní a jsou schopny ještě rychlejší odezvy na požadavky PPS, což více vyhovuje i kombinaci v provozu s intermitentními zdroji, a tak mohou držet i ceny energií stabilní.

Existující zdroj/nová investice

Nová investice do jiného zdroje, než uhelné elektrárny je žádoucí v rámci dekarbonizačních cílů EU a ekologické udržitelnosti energetiky ČR. Nový zdroj pomůže elektroenergetické soběstačnosti ČR a při jeho výstavbě se mohou zapojit tuzemské průmyslové subjekty. Plynové zdroje lze považovat za relativně investičně méně náročné. Plynové zdroje jsou ověřenou technologií, která je i v ČR provozovaná. Nová investice před výstavbou ovšem podléhá povolovacím procesům, což oddálí samotnou výstavbu, která je ale na poměry výstavby elektráren krátká.

Tuzemské palivo/závislost na importu paliva

Zemní plyn, který plynové zdroje v současnosti spalují, je komoditou, kterou ČR z vlastních zdrojů nedisponuje a nikdy ani nebude. Výstavba plynového zdroje tak sníží energetickou soběstačnost ČR a cena této komodity se propíše do provozních nákladů elektrárny i ceny elektrické energie v ní vyrobené, na což negativně nahlíží veřejnost a stát.

Emisivita zdroje

I přes snížení emisní stopy ve srovnání s uhelným zdrojem plynová elektrárna neplní cíle úplné dekarbonizace ani ekologické udržitelnosti. Navýšení provozních nákladů emisními povolenkami má negativní i na cenu elektrické energie. Postoj zeleně smýšlející části veřejnosti je stejně negativní jako u uhelných zdrojů. Širší veřejnost a stát na emise z plynového zdroje nahlíží o něco pozitivněji, protože emisní stopa z 1 MWh z tohoto zdroje je o cca polovinu menší.

Zajištění bezpečnosti zdroje

Zajištění bezpečnosti zdroje si u plynového zdroje nevyžaduje prodloužení v rámci povolovacích procesů nebo zvláštních opatření při výstavbě.

Dostupnost pracovních sil

Pracovní síly z odstavené uhelné elektrárny je bez problému možné plně využít v nové plynové elektrárně.

5.4.1. Zhodnocení varianty

Z analýzy varianty 2 (viz tabulka č. 10) je zřejmá nevhodnost této varianty, i přes fakt, že by se mělo jednat o vhodné přechodné řešení v rámci dekarbonizace energetiky.

Silné stránky řešení mají srovnatelné mírně pozitivní efekt, zatímco slabé stránky řešení mají efekt silně negativní. Dominantní jsou závislost na importu paliva a emisivita (i když nižší než u uhelného zdroje).

Varianta nevyužívá možných příležitostí vyjma potřeby stabilních a říditelných zdrojů v ES ČR a možného zapojení průmyslu při výstavbě zdroje.

Varianta zároveň neeliminuje možná rizika, a to zejména postoj veřejnosti nebo provozní náklady.

5.5. Nahrazení uhelné elektrárny malým modulárním reaktorem (SMR)

Třetí variantou je nahrazení uhelné elektrárny pomocí SMR. Jeden modul zvažovaných technologií SMR v podstatě nemůže nahradit celou uhelnou elektrárnu. Dokázal by nahradit standardní blok uhelných elektráren (200 MW) vyjma nadkritického bloku v Ledvicích. Po dostavení prvního modulu lze začít s výstavbou druhého, a tak postupně elektrárnu nahradit. Při vhodném řešení může i vícero modulů uspořít část plochy ve srovnání s velkým jaderným zdrojem.

Stabilita zdroje

Jaderné zdroje jsou v současnosti v ČR provozovány výhradně v kontinuálním provozu a pokrývají každodenně základní zatížení. I když jsou v ČR zatím pouze velké reaktory, tato vlastnost je vlastní SMR.

Řiditelnost zdroje

Ve srovnání s velkými reaktory je jednou z vlastností SMR větší flexibilita, což více vyhovuje i kombinaci v provozu s intermitentními zdroji, a tak mohou držet i ceny energií stabilní.

Existující zdroj/nová investice

Nová investice do jiného zdroje, než uhelné elektrárny je žádoucí v rámci dekarbonizačních cílů EU a ekologické udržitelnosti energetiky ČR. Nový zdroj pomůže elektroenergetické soběstačnosti ČR a při jeho výstavbě se mohou zapojit tuzemské průmyslové subjekty. SMR jsou investičně náročnější než plynové zdroje, ale v absolutní hodnotě je investičně menší než u velkého jaderného zdroje. SMR zatím nejsou v plné komercializaci, tudíž je nelze považovat za ověřenou technologii. Nová investice před výstavbou ovšem podléhá povolovacím procesům, ale také náročnému tendru, které jsou u jaderných zdrojů obzvláště dlouhé, což oddálí samotnou výstavbu. Samotná výstavba bude u SMR u prvních instalací dlouhá, ale po dosažení plné komercializace a nastartování této technologie ve světě tovární výroba a modularizace tuto dobu výrazně zkrátí. Ke zkrácení doby výstavby může při nahrazení uhelného zdroje také dojít při implementaci řešení s víceúrovňovými kompresory, bude-li to žádoucí.

Tuzemské palivo/závislost na importu paliva

Jaderné palivo je stejně jako zemní plyn importováno ze zahraničí, což snižuje energetickou soběstačnost země. Cena jaderného paliva, které je importováno ze zemí západu, není ani zdaleka tak volatilní jako cena právě zemního plynu, tudíž nemá takový vliv na ceny energií, byť se projeví v provozních nákladech elektrárny. Postoj veřejnost i státu jsou v případě dovozu jaderného paliva indiferentní.

Emisivita zdroje

Jaderné zdroje emitují do ovzduší pouze vodní páru. Jejich emisní stopu lze tudíž považovat za nulovou. Tento fakt se slučuje s dekarbonizačními cíli EU a ekologickou udržitelností energetiky ČR. Širší veřejnost i stát nahlíží na nulovou emisivitu jaderných zdrojů velmi pozitivně, zatímco zeleně smýšlející veřejnost by přeci jen preferovala OZE.

Zajištění bezpečnosti zdroje

Z hlediska bezpečnosti je postoj veřejnosti i státu k jaderným zdrojům obezřetný. Zajištění bezpečnosti jaderného zdroje s sebou nese dlouhé povolovací procesy, které oddalují jejich výstavbu. Zajištění bezpečnosti v rámci výstavby má minimální negativní dopad na dobu výstavby, jelikož je SMR dovezeno v podobě modulů, které jsou na místě propojeny. Díky zvýšené bezpečnosti lze předpokládat pozitivní dopad na poruchovost provozu.

Dostupnost pracovních sil

Pro provoz SMR lze uvažovat využití pracovníků z nahrazované uhelné elektrárny po procesech reskillingu a upskillingu. Na znovu zaměstnání pracovníků nahlíží stát velmi pozitivně.

5.5.1. Zhodnocení varianty

Výsledky analýzy varianty 3 (viz tabulka č. 11) ukazují, že varianta využívá všech příležitostí a má potenciál pomoci národní energetice. Největší riziko pro tuto variantu představují dlouhé povolovací procesy, dosavadní malá znalost technologie v rámci ČR, velikost samotné investice a doba výstavby.

Dominantní silnou stránkou varianty je bezemisní výroba, která se slučuje s cíli dekarbonizace a ekologickou udržitelností energetiky, k čemuž má pozitivní postoj celá veřejnost ČR i stát.

Dominantními slabými stránkami jsou závislost na importu jaderného paliva a vysoké nároky na zajištění bezpečnosti zdroje.

Způsob hodnocení									
Velmi pozitivní	3								
Pozitivní	2								
Mírně pozitivní	1								
Neutrální	0								
Mírně negativní	-1								
Negativní	-2								
Silně negativní	-3								
		Aspekty řešení							
Dekarbonizace dle cílů EU		0	0	2	0	3	0	0	5
Potřeba říditelných zdrojů v ES ČR		0	2	0	0	0	0	0	2
Potřeba stabilních zdrojů v ES ČR		3	0	0	0	0	0	0	3
Energetická soběstačnost ČR		0	0	2	-1	0	0	0	1
Zapojení českého průmyslu		0	0	2	0	0	0	0	2
Ekologická udržitelnost energetiky ČR		0	0	2	0	3	0	0	5
Ekonomická dostupnost energií		2	2	0	-1	0	0	0	3
Znalost technologie		0	0	-2	0	0	0	0	-2
Postoj širší veřejnosti ČR		0	0	0	0	3	-1	0	2
Postoj "zelené" veřejnosti ČR		0	0	0	0	-1	0	0	-1
Postoj státu		0	0	0	0	3	-1	3	5
Délka povolovacích procesů		0	0	-3	0	0	-2	0	-5
Velikost investice		0	0	-2	0	0	0	0	-2
Doba výstavby		0	0	-1	0	0	-1	0	-2
Nedostatek pracovních sil		0	0	0	0	0	0	-1	-1
Provozní náklady a reinvestice		0	0	0	-1	0	1	-1	-1
Životnost řešení		0	0	3	0	0	0	0	3
SUMA		5	4	3	-3	11	-4	1	17

Tabulka č.11: Analýza nahrazení malým modulárním reaktorem

5.6. Nahrazení uhelné elektrárny velkým jaderným reaktorem

Čtvrtou variantou je nahrazení uhelné elektrárny opět jaderným zdrojem, tentokrát ale velkým jaderným reaktorem. Velký jaderný reaktor by dokázal výkonově nahradit celou elektrárnu Počerady. Plánovaný nový blok v Dukovanech by měl mít výkon 1 200 až 1 700 MW. Elektrárnu Tušimice by takovýto blok nahradil minimálně jedenapůlkrát.

Stabilita zdroje

Jaderné zdroje jsou v současnosti v ČR provozovány výhradně v kontinuálním provozu a pokrývají každodenně základní zatížení.

Řiditelnost zdroje

Ve Francii je již využíváno flexibility velkých jaderných bloků, díky jiné technologii, než je v současnosti provozována v ČR. Jejich flexibility mohou využívat zejména díky tomu, že ¼ jejich elektroenergetického mixu tvoří právě jaderné zdroje. Regulací výkonu většího počtu z nich o menší hodnoty mohou tak dosáhnout velkých absolutních změn v síti. V ČR je tato možnost omezená vzhledem k počtu jaderných bloků. U nových jaderných reaktorů je očekáváno, že v případě potřeby sníží či navýší výkon rychlostí 5 procent celkového výkonu za minutu. Celkově se může výkon pohybovat mezi 50 a 100 % celkového výkonu bloku. Nadměrné manévrování s jadernými reaktory by vedlo ke snižování životnosti jednotlivých dílů, navíc je nutné přizpůsobovat palivový cyklus elektráren. Využívání flexibility JE zasahuje i do plánované kampaně samotného zdroje. Možnosti manévrovatelnosti se v jednotlivých fázích tohoto cyklu liší. V ČR se zatím neuvažuje o tak velké investici, které by posléze bylo využíváno na vykrývání výkyvů výroby OZE.

Existující zdroj/nová investice

Nová investice do jiného zdroje, než uhelné elektrárny je žádoucí v rámci dekarbonizačních cílů EU a ekologické udržitelnosti energetiky ČR. Nový zdroj pomůže elektroenergetické soběstačnosti ČR a při jeho výstavbě se mohou zapojit tuzemské průmyslové subjekty. Velký jaderný reaktor je enormní investicí. Velké jaderné reaktory jsou v ČR ověřenou technologií. Nová investice před výstavbou ovšem podléhá povolenacím procesům, ale také dlouhému tendru, které jsou u jaderných zdrojů obzvláště dlouhé, což oddálí samotnou výstavbu. Samotná výstavba je u velkých JE velmi dlouhá.

Tuzemské palivo/závislost na importu paliva

Jaderné palivo je stejně jako zemní plyn importováno ze zahraničí, což snižuje energetickou soběstačnost země. Cena jaderného paliva, které je importováno ze zemí západu, není ani zdaleka tak volatilní jako cena právě zemního plynu, tudíž nemá takový vliv na ceny energií, byť se projeví v provozních nákladech elektrárny. Veřejnost i stát jsou v případě dovozu jaderného paliva indiferentní.

Emisivita zdroje

Jaderné zdroje emitují do ovzduší pouze vodní páru. Jejich emisní stopu lze tudíž považovat za nulovou. Tento fakt se slučuje s dekarbonizačními cíli EU a ekologickou udržitelností energetiky ČR. Širší veřejnost i stát nahlíží na nulovou emisivitu jaderných zdrojů velmi pozitivně, zatímco zeleně smýšlející veřejnost by přeci jen preferovala OZE.

Zajištění bezpečnosti zdroje

Z hlediska bezpečnosti je postoj veřejnosti i státu k jaderným zdrojům obezřetný. Zajištění bezpečnosti jaderného zdroje s sebou nese dlouhé povolovací procesy, které oddalují jejich výstavbu. Zajištění bezpečnosti v rámci výstavby má negativní dopad na dobu výstavby, jelikož je oproti SMR velký jaderný blok postupně budován v lokalitě. Díky zvýšené bezpečnosti lze předpokládat pozitivní dopad na poruchovost provozu.

Dostupnost pracovních sil

Pro provoz velké JE lze uvažovat využití pracovníků z nahrazované uhelné elektrárny po procesech reskillingu a upskillingu. Pro provoz velkého zdroje jich bude potřeba více. Na znovu zaměstnání pracovníků nahlíží stát velmi pozitivně.

5.6.1. Zhodnocení varianty

Z analýzy varianty 4 (viz tabulka č. 12) je zřejmé, že i velký jaderný reaktor má potenciál využít všech příležitostí kromě potřeby říditelných zdrojů v ES ČR. Volbou technologie, kterou používají ve Francii, by se dal reaktor lépe regulovat, nicméně vzhledem k velikosti investice by se stále nejednalo o ekonomicky žádoucí zacházení.

Nejrizikovější jsou pro tuto variantu délka povolovacích procesů, velikost samotné investice, doba výstavby a nedostatek pracovních sil, který by bylo možné jen z části pokrýt z bývalého provozu uhelné elektrárny.

Dominantní silnou stránkou je stejně jako u SMR bezemisní výroba, ke které má pozitivní postoj celá veřejnost i státní orgány. Díky znalosti provozu technologie v ČR má tato nová investice pozitivnější efekt, než je tomu v případě SMR.

Dominantními slabými stránkami je opět závislost na importu jaderného paliva a zajištění bezpečnosti zdroje, stejně jako u předchozí varianty (SMR).

Způsob hodnocení									
Velmi pozitivní	3								
Pozitivní	2								
Mírně pozitivní	1								
Neutrální	0								
Mírně negativní	-1								
Negativní	-2								
Silně negativní	-3								

		Aspekty řešení							
		Stabilní zdroj energie	Řiditelný zdroj energie	Nová investice	Závislost na importu paliva	Emisivita	Zajištění bezpečnosti zdroje	Dostupnost pracovních sil	SUMA
Dekarbonizace dle cílů EU	Příležitosti	0	0	2	0	3	0	0	5
Potřeba říditelných zdrojů v ES ČR		0	-1	0	0	0	0	0	-1
Potřeba stabilních zdrojů v ES ČR		3	0	0	0	0	0	0	3
Energetická soběstačnost ČR		0	0	2	-1	0	0	0	1
Zapojení českého průmyslu		0	0	2	0	0	0	0	2
Ekologická udržitelnost energetiky ČR		0	0	2	0	3	0	0	5
Ekonomická dostupnost energií		2	0	0	-1	0	0	0	1
Znalost technologie	Rizika	0	0	1	0	0	0	0	1
Postoj širší veřejnosti ČR		0	0	0	0	3	-1	0	2
Postoj "zelené" veřejnosti ČR		0	0	0	0	-1	0	0	-1
Postoj státu		0	0	0	0	3	-1	3	5
Délka povolovacích procesů		0	0	-3	0	0	-2	0	-5
Velikost investice		0	0	-2	0	0	0	0	-2
Doba výstavby		0	0	-3	0	0	-2	0	-5
Nedostatek pracovních sil		0	0	0	0	0	0	-2	-2
Provozní náklady a reinvestice		0	0	0	-1	0	1	-1	-1
Životnost řešení		0	0	3	0	0	0	0	3
SUMA		5	-1	4	-3	11	-5	0	11

Tabulka č.12: Analýza nahrazení velkým jaderným reaktorem

5.7. Nahrazení uhelné elektrárny pomocí FVE/VTE

Poslední z analyzovaných variant je nahrazení uhelné elektrárny pomocí intermitentních zdrojů, jimiž jsou FVE a VTE. Největším úskalím této varianty je prostorová náročnost řešení. 1 MW instalovaného výkonu ve FVE přibližně zabere 1 hektar plochy. Pro nahrazení jednoho bloku elektrárny v Počeradech by tak bylo třeba plochy cca 200 hektarů a pro nahrazení celé elektrárny 1 000 hektarů. Celý areál elektrárny Počerady se přitom rozléhá na ploše pouze cca 75 hektarů. Pokud by jeden blok Počerad měla nahradit řada větrných elektráren, z nichž každá má 5 MW a mají mezi sebou rozestupy 250 m, byla by řada dlouhá 10 km. Takový větrný park by se neshledal s kladným veřejným míněním, jelikož je v ČR obtížné prosadit si výstavbu jedné větrné elektrárny. FVE elektrárny v ČR vyrábí přibližně 3 000 h/rok, tudíž aby vyrobily alespoň bilančně stejné množství energie jako nahrazovaný uhelný zdroj, je třeba FVE nutně výkonově předdimenzovat. Provoz větrných elektráren závisí na konkrétním umístění a rychlostem větru v lokalitě a není tak možné nahradit libovolnou elektrárnu v jakékoli lokalitě.

Stabilita zdroje

FVE i VTE jsou intermitentní zdroje, které vyrábí v závislosti na počasí. Jejich výrobu je tak nutné každý den predikovat a přizpůsobovat jim výrobu ostatních zdrojů. Charakter jejich výroby může mít negativní dopady na výsledné ceny energií, a to zejména bude-li v ES méně a méně flexibilních zdrojů, které mohou celkovou výrobu i cenu stabilizovat.

Řiditelnost zdroje

FVE elektrárny je možné elektronicky omezovat pomocí měničů nebo odepnout od sítě v době velkých přebytků energie. Ani jeden ze způsobů „řízení“ tohoto zdroje nejsou vítány jejich provozovateli. Odepnutí od sítě navíc může zapříčinit destrukci elektroniky. Některé VTE mají možnost natáčení lopatek a všechny je možné mechanicky zabrzdit (ochrana proti poškození při příliš silném větru). Oba typy elektráren jsou tak omezeně regulovatelné, což má opět negativní dopady na výsledné ceny energií.

Existující zdroj/nová investice

Nová investice nahrazující uhelný zdroj má pozitivní dopad na dekarbonizaci dle cílů EU a na ekologickou udržitelnost energetiky ČR. Nový zdroj pomůže elektroenergetické soběstačnosti ČR a při jeho výstavbě se mohou zapojit tuzemské průmyslové subjekty. FVE i VTE jsou v ČR ověřenou technologií. Nová investice před výstavbou také podléhá povolenacím procesům, které jsou v EU zkráceny díky různým formám podpory OZE. Příprava obrovského území pro nahrazení výkonové nahrazení uhelné elektrárny zabere mnoho času a veškeré pozemky bude nejprve třeba odkoupit a změnit jejich využití v územním plánu, kde může kdokoli vznést námitku, což vše oddálí samotnou výstavbu klidně o několik let. Následná instalace panelů je již relativně krátká. Velké

množství elektroniky pro tak velký OZE si bude vyžadovat mnoho reinvestic. Životnost FVE i VTE nedosahuje takové délky jako u plynových či jaderných zdrojů.

Tuzemské palivo/závislost na importu paliva

Slunce svítí všude a vítr fouká také všude, proto dostupnost těchto zdrojů energie nepřináší takové výhody jako dostupnost uhlí pro uhelné elektrárny. Proto je postoj veřejnosti i státu indiferentní.

Emisivita zdroje

Oba zdroje jsou bezemisní, což splňuje dekarbonizační cíle EU, požadavek ekologické udržitelnosti i představy obyvatelstva ČR o vhodném zdroji z hlediska emisí.

Zajištění bezpečnosti zdroje

Z hlediska bezpečnosti nejsou potřeba žádná opatření, díky čemuž jsou relativně zkráceny povolovací procesy i doba výstavby.

Dostupnost pracovních sil

FVE ani VTE nepotřebují provozní obsluhu, což snižuje provozní náklady a nedostatek pracovní síly nehrozí.

5.7.1. Zhodnocení varianty

Z analýzy varianty 5 (viz tabulka č. 13), poslední analyzované, lze pozorovat, že varianta těží téměř výlučně z bezemisní výroby elektrické energie. Dalšími silnými stránkami s pozitivním efektem jsou nezávislost na importu paliva a téměř nulová potřeba provozní obsluhy.

Slabé stránky řešení mají srovnatelně negativní efekt a jsou jimi nestabilita zdroje a neřiditelnost zdroje.

Aspekty varianty dominantně netěží z příležitostí ani nepotlačují rizika. Z příležitostí mají aspekty negativní dopad na potřebu stabilních a říditelných zdrojů a ekonomickou dostupnost elektrické energie. Na druhou stranu se slučují s dekarbonizací dle cílů EU a ekologickou udržitelností energetiky ČR.

Pro nahrazení uhelné elektrárny výkonově ekvivalentní FVE či VTE jsou největšími riziky doba povolovacích procesů (změna územního plánu, výkup pozemků okolo bývalého areálu uhelné elektrárny), velikost investice a doba výstavby (dlouhá příprava území pro instalaci elektrárny na tak velké ploše).

Postoj zeleně smýšlející veřejnosti má velký vliv na konečný součet hodnocení varianty.

Způsob hodnocení		Aspekty řešení							SUMA
		Stabilní zdroj energie	Řiditelný zdroj energie	Nová investice	Tuzemské palivo	Emisivita	Zajištění bezpečnosti zdroje	Dostupnost pracovních sil	
Velmi pozitivní	3								
Pozitivní	2								
Mírně pozitivní	1								
Neutrální	0								
Mírně negativní	-1								
Negativní	-2								
Silně negativní	-3								
Dekarbonizace dle cílů EU		0	0	2	0	3	0	0	5
Potřeba říditelných zdrojů v ES ČR		0	-3	0	0	0	0	0	-3
Potřeba stabilních zdrojů v ES ČR		-3	0	0	0	0	0	0	-3
Energetická soběstačnost ČR		0	0	1	1	0	0	0	2
Zapojení českého průmyslu		0	0	1	0	0	0	0	1
Ekologická udržitelnost energetiky ČR		0	0	2	0	3	0	0	5
Ekonomická dostupnost energií		-3	-3	0	1	0	0	0	-5
Znalost technologie		0	0	1	0	0	0	0	1
Postoj širší veřejnosti ČR		0	0	-1	0	3	0	0	2
Postoj "zelené" veřejnosti ČR		0	0	3	0	3	0	0	6
Postoj státu		0	0	0	0	3	0	-2	1
Délka povolovacích procesů		0	0	-2	0	0	0	0	-2
Velikost investice		0	0	-2	0	0	0	0	-2
Doba výstavby		0	0	-1	0	0	0	0	-1
Nedostatek pracovních sil		0	0	0	0	0	0	3	3
Provozní náklady a reinvestice		-1	-1	-2	3	0	0	1	0
Životnost řešení		0	0	1	0	0	0	0	1
SUMA		-7	-7	3	5	15	0	2	11

Tabulka č.13: Analýza nahrazení pomocí FVE/VTE

5.8. Vyhodnocení analýz

Předmětem analýz bylo 5 variant možného vývoje v energetice se zaměřením na náhradu uhelného zdroje. Ve srovnáních bylo uvažováno nahrazení standardního bloku uhelné elektrárny (200 MW) v lokalitě tohoto zdroje.

První variantou bylo nulové řešení, tedy zachování uhelného bloku v provozu za pomoci nemalých reinvestic. Tato varianta zdroj nenahrazuje, tudíž je počáteční investice nulová. Silnými stránkami tohoto řešení byly stabilita zdroje, říditelnost zdroje, dostupnost tuzemského paliva, zajištění bezpečnosti zdroje a dostupnost pracovních sil. Slabými stránkami bylo, že se jedná o dlouho provozovaný zdroj a emise škodlivých látek.

Druhou variantou bylo nahrazení uhelného bloku ekvivalentním blokem spalujícím zemní plyn. Výkonové nahrazení je adekvátní a řešení může využít části uhelné elektrárny pro další provoz a stejně tak i inženýrské sítě. Pro provoz plynového zdroje lze využít také pracovních sil z uhelného zdroje. Investice do plynového zdroje je relativně malá a výstavba tohoto řešení je relativně krátká. Silnými stránkami byly stabilita zdroje, říditelnost zdroje, nová investice, zajištění bezpečnosti zdroje a dostupnost pracovních sil. Slabými stránkami byly závislost na importu paliva a emisivita zdroje.

Ve třetí variantě bylo uvažováno nahrazení uhelného bloku pomocí SMR. SMR výkonově dostačuje nahrazení standardního bloku uhelné elektrárny a má potenciál k dalšímu rozšiřování pro nahrazení celé uhelné elektrárny. Stejně jako v předchozí variantě má i toto řešení možnost využít stávající infrastrukturu uhelné elektrárny pro svůj provoz. Lze zvážit také zmiňované řešení s vícestupňovými kompresory pro využití stávající turbíny. I tato varianta má možnost alespoň částečně pokrýt obsluhu pracovníky z nahrazovaného bloku. Investice do SMR je ve srovnání s předchozí variantou velká. Očekává se, že po dosažení plné komercializace této technologie se však investice sníží při současném využití modularizace, čímž by se LCOE SMR dostalo na úroveň LCOE velkého jaderného reaktoru. Doba výstavby by se v budoucnu díky modularizaci měla výrazně zkrátit. Silnými stránkami této varianty byly stabilita provozu a říditelnost zdroje, nová investice a nulová emisivita. Slabými stránkami byly závislost na importu jaderného paliva, náročné zajištění bezpečnosti zdroje a dostupnost kvalifikované pracovní síly. Nakládání s jaderným palivem po jeho využití v jaderném zdroji nebylo zahrnuto do porovnání, jelikož se stále jedná o nevyřešenou otázku.

Čtvrtou variantou bylo nahrazení uhelného bloku velkým jaderným reaktorem. Takovýto reaktor by mohl bez problému nahradit celou uhelnou elektrárnu. Záměna zdrojů by ovšem zabrala mnoho let (tendr, výběr subdodavatelů, výstavba). I toto řešení má potenciál využít část infrastruktury uhelné elektrárny a inženýrských sítí. Pro práci v rámci velké JE lze částečně využít zaměstnance z nahrazované uhelné elektrárny. Investice do velkého jaderného bloku je větší než u SMR, ale výsledné LCOE je nižší. Silnými stránkami řešení byly stabilita provozu, nová investice a nulová emisivita. Slabými stránkami varianty byly horší říditelnost zdroje, závislost na importu jaderného paliva, náročné zajištění bezpečnosti zdroje a dostupnost kvalifikované pracovní síly. Nakládání s jaderným palivem po jeho využití v jaderném zdroji nebylo ani v tomto případě zahrnuto do porovnání, jelikož se stále jedná o nevyřešenou otázku.

Poslední, pátou, variantou bylo nahrazení bloku uhelné elektrárny pomocí ekvivalentního výkonu ve FVE či VTE. I přes stejnou hodnotu výkonu, náhrada nevyrobí v roce stejné množství energie. Aby bylo alespoň v roční energetické bilanci byl uhelný blok plně nahrazen, musela by FVE mít cca 3 x větší instalovaný výkon a VTE cca 5 x větší instalovaný výkon (v závislosti na konkrétní lokalitě). Rozlohou by tato varianta vysoce převyšovala rozlohu uhelné elektrárny, což by zahrnovalo výkup dalších pozemků v lokalitě a obtížnou změnu územního plánu pro tak velkou instalaci. Zdlouhavá by také mohla být příprava území pro výstavbu. Doba výstavby FVE je poté již rychlá. Velikost investice by závisela nejen na ceně technologie, ale také na zmíněném výkupu pozemků, přípravě území, dopravě a instalaci. Na rozdíl od všech předešlých variant by tímto řešením nebylo možné využít zaměstnance z nahrazovaného bloku, kteří by tak přišli o práci. Silnými stránkami řešení byly nová investice, nulová potřeba importu paliva, nulová emisivita, zajištění bezpečnosti zdroje a nízká náročnost na obsluhu. Slabými stránkami byly nestabilita a neříditelnost zdrojů.

Varianta řešení	Hodnocení
Zachování stávající uhelné elektrárny v provozu	12
Nahrazení uhelné elektrárny zdrojem spalujícím zemní plyn	2
Nahrazení uhelné elektrárny pomocí SMR	17
Nahrazení uhelné elektrárny velkým jaderným reaktorem	11
Nahrazení uhelné elektrárny pomocí FVE/VTE	11

Tabulka č.14: Vyhodnocení analýz

V tabulce č. 14 jsou shrnuty hodnoty celkového součtu hodnocení. Jak hodnoty indikují, velký potenciál pro nahrazení uhelných bloků mají právě SMR. Svými vlastnostmi jsou uhelným zdrojům blízké a nevypouští škodlivé emise do ovzduší. Jediné, co stojí efektivní záměně zdrojů v cestě, je legislativní rámec

a zatím nedokonalá znalost technologie a její připravenost. Jednou z výhod řešení je možnost rozproštění SMR v rámci ČR stejně jako jsou rozprostřeny uhelné zdroje. Stejně tak mohou SMR pracovat v kogeneraci.

Nahrazení velkým jaderným reaktorem je z důvodu dlouhých procesů předcházejících už tak dlouhé výstavbě téměř nemožné zvažovat jako náhradu pro vícero uhelných elektráren. Je tomu tak i pro jejich omezenou schopnost regulace a nízké flexibility, což jsou vlastnosti, které budou v rámci rozvoje intermitentních zdrojů v Evropě čím dál více nepostradatelné.

Nahrazení uhelných bloků pomocí FVE a VTE je koncepčně nevhodné. Největší potíží je s provozními vlastnostmi těchto na počasí závislých zdrojů. V současnosti je přihlášeno k připojení do DS více než 14 GW nových FVE, což přinese nemalé nesnáze všem dispečerům PPS i provozovatelům DS. Nahrazovat tak navíc flexibilní zdroj zdrojem intermitentním není z hlediska stability soustavy záhodno, nemluvě o přírodních podmínkách, které nejsou pro oba v této variantě zmiňované zdroje v ČR optimální.

Plynové zdroje byly zvoleny jako přechodný zdroj v procesu úplné dekarbonizace energetiky a průmyslu EU. Tyto zdroje ovšem pro ČR přinesou pouze větší energetickou závislost na importu. Navíc k tomu se ČR nachází uprostřed Evropy a od veškerých zásobovacích cest nás dělí mnoho sousedních států. Zvýšená celoevropská poptávka po zemním plynu má již v současnosti negativní vlivy nejen na cenu této komodity, ale také na ceny energií samotných. V budoucnu lze pouze očekávat zhoršení této situace a jakýkoli výkyv ceny, přestane-li některý dodavatel dodávat, zvýší se ceny všech energií všem. V takové situaci by ČR nepomohly ani plně zásobníky, jelikož ani ty nejsou dostatečně kapacitní, aby dokázaly například celou zimu zásobovat provoz PPC v Počeradech.

V krátkém časovém horizontu do 10 let je z analyzovaných variant možné uvažovat realizace pouze OZE nebo plynových zdrojů. Vzhledem k jejich neduhům je možné zachování uhelných zdrojů alespoň do doby, než budou k dispozici plně komercializované a provozně otestované SMR. To se tak jeví variantou vhodnější než jejich uspěchané nahrazování. V současnosti je ČR elektroenergeticky exportní, tudíž je k dispozici jistá rezerva, kdyby některé z uhelných zdrojů z nějakého důvodu ukončily provoz (emisní limity, emisní povolenky, vytěžení dolu).

Z analýz je zcela zřejmé, že každý ze zdrojů má své silné a slabé stránky, což značí, že ideální je mix všeho! Nedostatky jednoho zdroje vykryje zdroj jiný

a jeho nedostatky zase zdroj další. OZE sníží emisní stopu ČR a cenu elektrické energie v době svého provozu. Při nedostatku jejich výroby nastoupí flexibilita fosilních zdrojů a v budoucnu eventuálně SMR a po celou dobu budou v základním zatížení vyrábět velké jaderné reaktory. Přehnaný tlak na odstavování fosilních zdrojů v současnosti není na místě, jelikož by mohl zapříčinit rozpad současného harmonického fungování ES ČR. Nezbyvá než doufat, že nové strategické dokumenty, které jsou připravovány, vytyčí jasný a smysluplný plán postupné transformace energetiky.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytipování vhodných lokalit pro instalaci malých modulárních reaktorů (SMR) a následné hodnocení jejich vhodnosti. Dále bylo cílem posoudit proveditelnost záměny uhelného zdroje jeho alternativou. Zkoumána byla také varianta zachování uhelného zdroje v provozu. Následně byly analyzované varianty jednotlivě a poté i vyhodnoceny.

V druhé kapitole jsem seznámil čtenáře se současným stavem energetiky ČR, a to jak částí elektroenergetickou, tak i teplárenstvím. Dále jsem poukázal na negativa využívání fosilních paliv. Jedná se především o jejich nepopíratelný vliv na klima vypouštěním emisí skleníkových plynů do ovzduší. Dalším jsou omezené zásoby uhlí v tuzemských dolech a závislost na importu zemního plynu. Negativní dopad na provoz zdrojů spalujících fosilní paliva mají také průběžně aktualizované emisní limity, které jsou důsledkem implementace tzv. „nejlepších možných technik“ (*Best Available Techniques*) a rostoucí cena emisních povolenek, která po reformách systému EU ETS v budoucnu nezvratně poroste. V poslední části jsem v této kapitole popsal plány ústupu od využívání fosilních paliv v ČR a možný vývoj energetiky dle scénářů provozovatele přenosové soustavy, společnosti ČEPS a.s., z „*Hodnocení zdrojové přiměřenosti do roku 2040 (MAF CZ 2022)*“. Ze scénářů vyplývá, že pokud do roku 2030 nebude navyšován instalovaný výkon ve stabilních a říditelných zdrojích, bude ČR nejprve méně exportní a posléze začne být státem závislým na importu elektrické energie ze zahraničí, který nemusí vždy nutně být k dispozici, nebo jen za extrémní cenu, nebo přenosová schopnost PS nemusí být dostatečná pro potřebný výkon. Přehnaný tlak na odstavování uhelných zdrojů může vyústit v nespočet negativních dopadů na energetickou bezpečnost i ekonomickou dostupnost energií. Náhradou uhelných tepláren a elektráren plynovými zdroji s sebou přinese nutné zvýšení závislosti ČR na zemním plynem, a tak i na jeho dodavatelích.

Ve třetí kapitole práce nahlíží na klíčové vlastnosti lokalit pro umístění malých modulárních reaktorů. Uvedeny jsou požadavky na jadernou lokalitu v ČR, které vychází z vyhlášky č. 378/2016 Sb., o umístění jaderného zařízení. Požadavky v ČR jsou srovnatelné s těmi ze zámoří (USA). Součástí kapitoly je také vytipování vhodných lokalit v ČR a jejich následné ohodnocení dle zvolených kritérií. Vhodnými lokalitami jsou areály stávajících jaderných elektráren, brownfieldy ostatních elektráren a průmyslové závody. Lze také zvážit výstavbu na zelené louce, ovšem předchozí možnosti mají potenciál k finančním úsporám.

Pro ohodnocení vhodnosti vybraných lokalit byla zvolena jak některá kritéria vyhlášky č. 378/2016 Sb., o umístění jaderného zařízení, tak kritéria doplňková,

kteřá nejsou vyžadována kvůli bezpečnosti, nýbrž jejich vhodnosti pro provoz SMR. Přesto, že jednotlivá kritéria jsou pojata zjednodušeně, také pro absenci detailních podkladů, a jsou nesouměřitelná, jako výsledná indikace je použit prostý součet dílčích hodnot. Výsledky i tak mohou sloužit k indikativnímu porovnání lokalit. Z hodnocení vyplynulo, že nevhodnějšími z lokalit jsou areály současných jaderných elektráren. Mezi vhodné lokality současných uhelných elektráren patří Tušimice, Chvaletice či Prunéřov. Mezi méně vhodné pak lokality Tisová, Poříčí nebo Opatovice. Průmyslové objekty a výstavby na zelené louce nemají takový potenciál pro využití infrastruktury či pro zajištění dostatečné bezpečnosti.

Předmětem čtvrté kapitoly je posouzení vhodnosti vybraných technologií malých modulárních reaktorů k umístění ve vybraných lokalitách včetně rozlišení jednotlivých typů. V kapitole jsem vyzdvihnul vlastnosti malých modulárních reaktorů, díky kterým jsou způsobilé pro pokrytí energetických potřeb ČR. Dále jsem uvedl jednotlivé typy technologií, které jsou v současnosti vyvíjeny, a to reaktory třetí a čtvrté generace. V poslední části této kapitoly jsem výběr zúžil dle doposud jediného komerčního provozovatele jaderné elektrárny v ČR, společnosti ČEZ, a.s. Ta se pro první uvažovanou instalaci SMR v ČR zaměřuje výhradně na lehkovodní reaktory třetí generace. První SMR společnost ČEZ plánuje postavit v areálu jaderné elektrárny Temelín, a to v roce 2032.

Pátá kapitola je věnována posouzení proveditelnosti několika variant záměny zdrojů. Posouzení proveditelnosti záměny zdrojů autorem práce obsahuje zohlednění několika kritérií, která rozlišují různé možnosti v horizontu 15 až 20 let. Jako kritéria jsem zvolil: *Stabilita zdroje, Řiditelnost zdroje, Nová investice/Existující zdroj, Tuzemské palivo/Závislost na importu paliva, Emisivita zdroje, Zajištění bezpečnosti zdroje, Dostupnost pracovních sil*. Alternativami jsou plynový zdroj, malý modulární reaktor, velký jaderný reaktor a fotovoltaická, respektive větrná elektrárna. Zkoumána byla také varianta zachování uhelného zdroje v provozu, tzv. nulová varianta. Varianty uvažují nahrazení typického uhelného bloku o výkonu 200 MW v lokalitě, kde je blok situován. Alternativy jsou analyzovány pomocí kvantitativní SWOT analýzy. Veškeré hodnocení se odvíjí od autorových znalostí.

První variantou bylo nulové řešení, tedy zachování uhelného bloku v provozu za pomoci nemalých reinvestic. Tato varianta zdroj nenahrazuje, tudíž je počáteční investice nulová. Silnými stránkami tohoto řešení byly stabilita zdroje, říditelnost zdroje, dostupnost tuzemského paliva, zajištění bezpečnosti zdroje a dostupnost pracovních sil. Slabými stránkami bylo, že se jedná o dlouho provozovaný zdroj, který produkuje emise škodlivých látek.

Druhou variantou bylo nahrazení uhelného bloku ekvivalentním blokem spalujícím zemní plyn. Výkonové nahrazení je adekvátní a řešení může využít části uhelné elektrárny pro další provoz a stejně tak i inženýrské sítě. Pro provoz plynového zdroje lze využít také pracovních sil z uhelného zdroje. Investice do plynového zdroje je relativně malá a výstavba tohoto řešení je relativně krátká. Plynové zdroje byly zvoleny jako přechodný zdroj v procesu úplné dekarbonizace energetiky a průmyslu EU. Tyto zdroje ovšem pro ČR přinesou pouze větší energetickou závislost na importu. Navíc k tomu se ČR nachází uprostřed Evropy a od veškerých zásobovacích cest nás dělí mnoho sousedních států. Zvýšená celoevropská poptávka po zemním plynu má již v současnosti negativní vlivy nejen na cenu této komodity, ale také na ceny energií samotných. V budoucnu lze pouze očekávat zhoršení této situace a jakýkoli výkyv ceny, přestane-li některý dodavatel dodávat, zvýší se ceny všech energií všem. V takové situaci by ČR nepomohly ani plné zásobníky, jelikož ani ty nejsou dostatečně kapacitní, aby dokázaly například celou zimu zásobovat provoz PPC v Počeradech.

Ve třetí variantě bylo uvažováno nahrazení uhelného bloku pomocí SMR. SMR výkonově dostačuje nahrazení standardního bloku uhelné elektrárny a má potenciál k dalšímu rozšiřování pro nahrazení celé uhelné elektrárny. Stejně jako v předchozí variantě má i toto řešení možnost využít stávající infrastrukturu uhelné elektrárny pro svůj provoz. I tato varianta má možnost alespoň částečně pokrýt obsluhu pracovníky z nahrazovaného bloku. Investice do SMR je ve srovnání s předchozí variantou velká. Očekává se, že po dosažení plné komercializace této technologie se však investice sníží při současném využití modularizace, čímž by se LCOE SMR dostalo na úroveň LCOE velkého jaderného reaktoru. Doba výstavby by se v budoucnu díky modularizaci měla výrazně zkrátit. Svými vlastnostmi jsou SMR uhelným zdrojům blízké a nevypouští škodlivé emise do ovzduší. Jediné, co stojí efektivní záměně zdrojů v cestě, je legislativní rámec a zatím nedokonalá znalost technologie a její připravenost. Jednou z výhod řešení je možnost rozproštění SMR v rámci ČR stejně jako jsou rozprostřeny uhelné zdroje. Stejně tak mohou SMR pracovat v kogeneraci.

Čtvrtou variantou bylo nahrazení uhelného bloku velkým jaderným reaktorem. Takovýto reaktor by mohl bez problému nahradit celou uhelnou elektrárnu. Záměna zdrojů by ovšem zabrala mnoho let (tendr, výběr subdodavatelů, výstavba). I toto řešení má potenciál využít část infrastruktury uhelné elektrárny a inženýrských sítí. Pro práci v rámci velké JE lze částečně využít zaměstnance z nahrazované uhelné elektrárny. Investice do velkého jaderného bloku je větší než u SMR, ale výsledné LCOE je nižší. Nahrazení velkým jaderným reaktorem je z důvodu dlouhých procesů předcházejících už tak dlouhé výstavbě téměř nemožné zvažovat jako náhradu pro vícero uhelných elektráren. Je tomu tak i pro jejich omezenou schopnost regulace a nízké flexibility, což jsou vlastnosti,

kteřé budou v rámci rozvoje intermitentních zdrojů v Evropě čím dál více nepostradatelné.

Poslední, pátou, variantou bylo nahrazení bloku uhelné elektrárny pomocí ekvivalentního výkonu ve FVE či VTE. I přes stejnou hodnotu výkonu, náhrada nevyrobí v roce stejné množství energie. Aby bylo alespoň v roční energetické bilanci byl uhelný blok plně nahrazen, musela by FVE mít cca 3 x větší instalovaný výkon a VTE cca 5 x větší instalovaný výkon (v závislosti na konkrétní lokalitě). Rozlohou by tato varianta vysoce převyšovala rozlohu uhelné elektrárny, což by zahrnovalo výkup dalších pozemků v lokalitě a obtížnou změnu územního plánu pro tak velkou instalaci. Zdlouhavá by také mohla být příprava území pro výstavbu. Doba výstavby FVE je poté již rychlá. Velikost investice by závisela nejen na ceně technologie, ale také na zmíněném výkupu pozemků, přípravě území, dopravě a instalaci. Na rozdíl od všech předešlých variant by tímto řešením nebylo možné využít zaměstnance z nahrazovaného bloku, kteří by tak přišli o práci. Nahrazení uhelných bloků pomocí FVE a VTE je koncepčně nevhodné. Největší potíž je s provozními vlastnostmi těchto na počasí závislých zdrojů. V současnosti je přihlášeno k připojení do DS více než 14 GW nových FVE, což přinese nemalé nesnáze všem dispečerům PPS i provozovatelům DS. Nahrazovat tak navíc flexibilní zdroj zdrojem intermitentním není z hlediska stability soustavy záhodno, nemluvě o přírodních podmínkách, které nejsou pro oba v této variantě zmiňované zdroje v ČR optimální.

Z analýz je zcela zřejmé, že každý ze zdrojů má své silné a slabé stránky, což značí, že ideální je mix všeho! Nedostatky jednoho zdroje vykryje zdroj jiný a jeho nedostatky zase zdroj další. OZE sníží emisní stopu ČR a cenu elektrické energie v době svého provozu. Při nedostatku jejich výroby nastoupí flexibilita fosilních zdrojů a v budoucnu eventuálně SMR a po celou dobu budou v základním zatížení vyrábět velké jaderné reaktory. Přehnaný tlak na odstavení fosilních zdrojů v současnosti není na místě, jelikož by mohl zapříčinit rozpad současného harmonického fungování ES ČR. Nezbyvá než doufat, že nové strategické dokumenty, které jsou připravovány, vytyčí jasný a smysluplný plán postupné transformace energetiky.

Vypracováním této diplomové práce jsem navázal problematikou na svou bakalářskou práci, která se taktéž zabývala budoucností energetiky České republiky. Můj zájem o tuto problematiku s touto prací pokračuje a bezpochyby budu její vývoj napjatě sledovat. V ideálním případě budu její součástí i v profesním životě. Práci je možné v budoucnu použít pro komparaci názorů, které se stejně jako energetika České republiky za pár let posunou.

7. Seznam literatury

- [1] BEČVÁŘ, Josef. *Jaderné elektrárny: celostátní vysokoškolská učebnice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978. Řada strojírenské literatury.
- [2] ČESKO. *Vyhláška č. 378/2016 Sb., o umístění jaderného zařízení*. In: *Zákony pro lidi.cz* <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-378>
- [3] ČESKO. *Vyhláška č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení*. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2017-329>
- [4] ČESKO. *Zákon č. 263/2016 Sb., Atomový zákon*. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>
- [5] ČEPS, a.s. *Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022)*. Sekce 18300 – Strategie, Praha, 2023. <https://www.ceps.cz/cs/tiskove-zpravy/novinka/maf-cz-prinasi-hodnoceni-zdrojove-primerenosti-cr-do-roku-2040>
- [6] DOLEŽAL, Jaroslav. *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011. ISBN 978-80-01-04936-5
- [7] EVROPSKÁ KOMISE. *Prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2021/2326 z 30. listopadu 2021 kterým se stanoví závěry o nejlepších dostupných technikách (BAT) podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU pro velká spalovací zařízení*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021D2326&from=CS>
- [8] ERÚ, Oddělení statistiky a sledování kvality. *Čtvrtletní zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky za IV. čtvrtletí 2022*. Praha, 2023. <https://www.eru.cz/ctvrtletni-zprava-o-provozu-elektrizacni-soustavy-cr-za-iv-ctvrtleti-2022>
- [9] ERÚ, Oddělení statistiky a sledování kvality. *Čtvrtletní zpráva o provozu teplárenských soustav České republiky za IV. čtvrtletí 2022*. Praha, 2023. <https://www.eru.cz/ctvrtletni-zprava-o-provozu-teplarenskych-soustav-cr-za-iv-ctvrtleti-2022>
- [10] HEŘMANSKÝ, Bedřich. *Jaderné reaktory*. Praha: SNTL, 1981. Populární přednášky o fyzice.

- [11] IAEA. *Methodologies for Seismic Soil–Structure Interaction Analysis in the Design and Assessment of Nuclear Installations*. Vídeň, 2022.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1990web.pdf>
- [12] IAEA. *Nuclear Reactor Technology Assessment for Near Term Deployment*. Vídeň, 2013.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1597_web.pdf
- [13] IAEA. *Site Evaluation for Nuclear Installations, Specific Safety Requirements, No. SSR-1*. Vídeň, 2019. ISBN 978–92–0–108718–8
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1837_web.pdf
- [14] IAEA. *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations, Specific Safety Guide, No. SSG-35*. Vídeň, 2015. ISBN 978–92–0–102415–2
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1690Web-41934783.pdf>
- [15] IEA. *Nuclear Power and Secure Energy Transitions*, IEA, Paris, 2022.
<https://www.iea.org/reports/nuclear-power-and-secure-energy-transitions>
- [16] LOCATELLI, Giorgio, MANCINI, Mauro. *Competitiveness of Small-Medium, New Generation Reactors: A Comparative Study on Decommissioning*. ASME. *J. Eng. Gas Turbines Power*. October 2010.
<https://doi.org/10.1115/1.4000613>
- [17] MIGNACCA, B., LOCATELLI, G. *Economics and finance of Small Modular Reactors: A systematic review and research agenda*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 118, 2020. ISSN 1364-0321.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109519>.
- [18] MPO. *Státní energetická koncepce*, 2014.
https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energetickapolitika/2016/12/Statni-energeticka-koncepce-_2015_.pdf
- [19] MPO. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*, 2020.
<https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcnidokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu-- 252016/>
- [20] MPO. *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce*, 2014. <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energetickapolitika/2016/12/Doplnujici-analyticky-material-k-SEK.pdf>
- [21] NUCLEAR ENERGY AGENCY (NEA). *Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities*. OECD Publishing, Francie, 2021.
https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2021-03/7560_smr_report.pdf

- [22] NUCLEAR ENERGY AGENCY (NEA). *Meeting Climate Change Targets: The Role of Nuclear Energy*. OECD Publishing, Francie, 2022.
https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_69396/meeting-climate-change-targets-the-role-of-nuclear-energy
- [23] PANNIER, Christopher P, ŠKODA, Radek. *Comparison of Small Modular Reactor and Large Nuclear Reactor Fuel Cost*. Energy and Power Engineering, 2014.
https://www.scirp.org/pdf/EPE_2014050616474305.pdf
- [24] U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (NRC). *NRC Regulations: Title 10, Code of Federal Regulations*. 2023.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/index.html>
- [25] ÚJV ŘEŽ. *Etapa 4 - Konceptní řešení jaderného zdroje s malým reaktorem – řešení vazeb na okolí. Podetapa E.4.4: Návrh koncepce jaderného zařízení se SMR*. ÚJV Řež – divize Energoprojekt, Husinec, prosinec 2014.