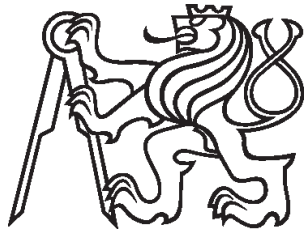


Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická

**Problematika ukončení provozu
uhelných elektráren v České
republice**

Vít KLAJBL

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.
2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

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

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Problematika ukončení provozu uhelných elektráren v České republice

Název bakalářské práce anglicky:

The issue of decommissioning of coal-fired power plants in the Czech Republic

Pokyny pro vypracování:

- 1) Uhelná energetika v České republice.
- 2) Evropa a uhelná energetika.
- 3) Legislativní úprava využívání uhlí v energetice České republiky.
- 4) Možné scénáře uhelné energetiky v České republice a jejich dopady na výrobu elektřiny.

Seznam doporučené literatury:

- 1) JIROUŠ, František. Efektivní spalování paliv. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2013. ISBN 978-80-260-5393-4.
- 2) KUBÍN, Miroslav. Přenosy elektrické energie ČR v kontextu evropského vývoje. Praha: ČEPS, [2004].
- 3) KUBÍN, Miroslav. Proměny české energetiky: historie, osobnosti, vědecko-technický rozvoj. [Praha]: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2009. ISBN 978-80-254-4524-2.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **27.01.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **21.05.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské 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 21. 05. 2021

Vít Klajbl

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za jeho ochotu a odborné rady k této práci a za čas, který mi věnoval při vedení bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematiku ukončení uhelných elektráren v České republice. Popisuje fungování uhelných elektráren, jejich roli v energetickém mixu i jejich negativa a mimo jiné se věnuje legislativní úpravě využívání uhlí.

Součástí bakalářské práce je i náhled na energetiku Evropské unie a situaci v sousedních státech, Německu a Polsku, které se vzhledem k vysokému podílu uhelných elektráren potýkají se stejným problémem jako Česká republika.

Jádrem práce je analýza scénářů možného vývoje národní elektroenergetiky uvedených ve Státní energetické koncepci, Vnitrostátním plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu a v doporučení Uhelné komise včetně alternativních scénářů.

Na závěr jsou diskutovány dopady scénářů především na energetickou bezpečnost a soběstačnost státu a vliv útlumu využívání uhlí na výrobu tepla.

Klíčová slova

Uhelná elektrárna, útlum uhlí, energetika, teplárenství, scénáře vývoje.

Abstract

The bachelor thesis deals with the issue of the decommissioning of coal-fired power plants in the Czech Republic. The thesis describes the functioning of coal-fired power plants, their role in the energy mix and their negative effects and, among other things, it deals with the legislative regulation of the use of coal.

The thesis includes an insight into the energy sector of the European Union and the situation in neighbouring countries, Germany and Poland, facing the same problem as the Czech Republic.

The core of the thesis is an analysis of scenarios of possible development of the national electricity sector presented in the State Energy Concept, the National Energy and Climate Plan of the Czech Republic and the recommendations of the Coal Commission, including alternative scenarios.

Finally, the impact of the scenarios on the energy security and self-sufficiency of the Czech Republic and the impact of the decline in coal use on heat production are discussed.

Keywords

Coal-fired power plant, coal decline, power industry, heat generation, development scenarios.

Obsah

1. Úvod	1
2. Uhlerná energetika v České republice	2
2.1. Termodynamika	2
2.1.1. Termodynamický systém	2
2.1.2. Termodynamické zákony	2
2.1.3. Entalpie	3
2.1.4. Termodynamické děje.....	3
2.1.5. Tepelné oběhy.....	8
2.1.6. Odběr páry z turbíny	15
2.2. Uhlerná elektrárna	17
2.2.1. Okruh paliva, škváry a popela	17
2.2.2. Okruh vzduchu a kouřových plynů.....	20
2.2.3. Okruh páry, napájecí a chladící vody	21
2.3. Podíl na výrobě elektrické energie.....	22
2.3.1. Struktura instalovaného výkonu ČR.....	24
2.3.2. Denní diagram zatížení.....	27
2.3.3. Významné uhelné elektrárny ČR nad 100 MW výkonu.....	29
2.4. Negativa uhelné energetiky	30
3. Evropa a uhlerná energetika.....	32
3.1. Polsko a uhlerná energetika.....	34
3.1.1. Vývoj polské energetiky	34
3.1.2. Budoucnost polské energetiky.....	36
3.2. Německo a uhlerná energetika	38
3.2.1. Vývoj německé energetiky	38
3.2.2. Budoucnost německé energetiky.....	40
4. Legislativní úprava využívání uhlí v energetice České republiky.....	42
4.1. Instituce	42
4.2. Legislativa	43

5. Možné scénáře uhelné energetiky v České republice a jejich dopady na výrobu elektřiny.....	46
5.1. Scénáře.....	48
5.1.1. Scénáře Státní energetické koncepce	48
5.1.2. Scénáře Vnitrostátního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu	56
5.1.3. Scénáře Uhelné komise	60
5.1.4. Alternativní scénáře	62
5.2. Dopady jednotlivých scénářů na výrobu elektřiny	65
5.2.1. Dopady scénářů Státní energetické koncepce	65
5.2.2. Dopady scénářů dle Vnitrostátního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu ...	67
5.2.3. Dopady scénářů Uhelné komise	69
5.2.4. Dopady alternativních scénářů.....	70
5.3. Shrnutí.....	72
6. Závěrečná úvaha o teplotě.....	73
7. Závěr	76
8. Seznam literatury	79

Obrázky

Obrázek 2.1: T-s diagram izobarického děje	4
Obrázek 2.2: p-V diagram izobarického děje	4
Obrázek 2.3: T-s diagram izochorického děje	5
Obrázek 2.4: p-V diagram izochorického děje	6
Obrázek 2.5: T-s diagram izotermického děje	6
Obrázek 2.6: T-s diagram adiabatického děje	7
Obrázek 2.7: p-V diagram adiabatického děje	7
Obrázek 2.8: Carnotův cyklus	8
Obrázek 2.9: Fázový diagram vody	10
Obrázek 2.10: T-s diagram vody	10
Obrázek 2.11: Schéma oběhu vody v uhelné elektrárně	11
Obrázek 2.12: Clausius-Rankinův oběh	11
Obrázek 2.13: Mollierův diagram vody	12
Obrázek 2.14: Schéma oběhu vody v uhelné elektrárně s přehříváním páry	13
Obrázek 2.15: Zvýšení C-R oběhu přehříváním páry	14
Obrázek 2.16: Systém regeneračního oběhu vody	14
Obrázek 2.17: Odběr páry z turbíny	15
Obrázek 2.18: Turbína s regulovaným odběrem páry	16
Obrázek 2.19: Schéma uhelné elektrárny	17
Obrázek 2.20: Granulační ohniště	18
Obrázek 2.21: Výtavné ohniště	18
Obrázek 2.22: Cyklónové ohniště	19
Obrázek 2.23: Fluidní ohniště	20
Obrázek 2.24: Parogenerátor bubnového kotle	21
Obrázek 2.25: Parogenerátor průtlačného kotle	21
Obrázek 2.26: Okruh chladicí vody	22
Obrázek 2.27: Instalovaný výkon elektráren ČR a podíl na výkonu dle zdroje	24
Obrázek 2.28: Vývoj instalovaného výkonu elektráren ČR	25
Obrázek 2.29: Rozložení instalovaného výkonu elektráren v krajích ČR	26
Obrázek 2.30: Denní diagram zatížení	27
Obrázek 2.31: Vyrobená elektřina dle zdrojů v měsících roku 2020	28
Obrázek 2.32: Vývoj celkových emisí CO ₂ dle zdroje	31

Obrázek 3.1: Vývoj podílu zdrojů na vyrobené elektrické energii v Polsku _____	34
Obrázek 3.2: Vývoj celkových emisí CO ₂ dle zdroje v Polsku _____	35
Obrázek 3.3: Vývoj podílu zdrojů na vyrobené elektrické energii v Německu _____	38
Obrázek 3.4: Vývoj celkových emisí CO ₂ dle zdroje v Německu _____	39
Obrázek 5.1: Scénáře Státní energetické koncepce _____	49
Obrázek 5.2: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle optimalizovaného scénáře SEK _____	50
Obrázek 5.3: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle plynového scénáře SEK _____	51
Obrázek 5.4: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle zeleného scénáře SEK _____	52
Obrázek 5.5: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle bezpečného scénáře SEK _____	53
Obrázek 5.6: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle konvenčního scénáře SEK _____	54
Obrázek 5.7: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle dekarbonizačního scénáře SEK _____	55
Obrázek 5.8: Projekce emisí skleníkových plynů pro WEM a WAM _____	56
Obrázek 5.9: Vývoj spotřeby elektřiny dle scénářů A a B _____	57
Obrázek 5.10: Vývoj instalovaného výkonu se zahrnutím mothballingu _____	59
Obrázek 5.11: Výhled útlumu uhlí dle Uhelné komise _____	60

Tabulky

Tabulka 2.1: Významné uhelné elektrárny s výkonem nad 100 MW _____	29
Tabulka 5.1: Projekce emisí skleníkových plynů pro scénáře WEM a WAM _____	56
Tabulka 5.2: Scénáře Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu _____	58
Tabulka 5.3: Výsledky scénářů Vnitrostátního plánu _____	67

Seznam zkratek

C-R	Clausius-Rankinův
CO ₂	Oxid uhličitý
DDZ	Denní diagram zatížení
ECCP	Evropský program pro změnu klimatu (European Climate Change Programme)
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES ČR	Elektrizační soustava České republiky
EU	Evropská unie
h-s diagram	Graf závislosti entalpie h na entropii s , Mollierův diagram vody
IEA	International Energy Agency
LOLE	Ukazatel udávající počet hodin, během nichž výroba nepokryje poptávku po elektřině (Loss of Load Expectancy)
Mothballing	Deaktivace a uchování zařízení pro případné budoucí použití
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OZE	Obnovitelné zdroje energie
p-V diagram	Graf závislosti tlaku p na objemu V
SEI	Státní energetická inspekce
SEK	Státní energetická koncepce
T-s diagram	Graf závislosti termodynamické teploty T na entropii s

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 komíny 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.

Tato bakalářská práce se věnuje problematice ukončení provozu uhelných elektráren v České republice. Budoucím vývojem národní energetiky, který zahrnuje i tuto problematiku, se zabývá Ministerstvo průmyslu a obchodu ve státních dokumentech Státní energetická koncepce a Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu. Nově s tímto tématem vládě napomáhá poradní orgán nazvaný Uhelná komise, kterému předsedají ministr průmyslu a obchodu a ministr životního prostředí.

V druhé kapitole tato práce popisuje procesy odehrávající se v uhelné elektrárně, technologie používané při těchto procesech a příspěvek uhelných elektráren v energetickém mixu České republiky spolu s negativy, které s jejich provozem souvisí. Ve třetí kapitole práce nahlíží na kroky k vyřešení klimatické krize ze strany Evropské unie a přibližuje situaci Německa a Polska jakožto sousedních zemí, které se potýkají se stejným problémem, co se uhelných elektráren týče. Předmětem čtvrté kapitoly je legislativní úprava využívání uhlí spolu s uvedením některých klíčových institucí spravujících národní energetiku. Pátá kapitola je věnována scénářům vývoje energetiky a jejich okomentování. Šestou kapitolu této práce tvoří úvaha o dopadu ukončení uhelných zdrojů na výrobu tepla.

Cílem této práce je analýza možných scénářů budoucího vývoje energetiky a dopady těchto scénářů na výrobu elektrické energie stejně jako bezpečnost a soběstačnost energetiky České republiky.

2. Uhelná energetika v České republice

Jedním z významných způsobů výroby elektrické energie je termodynamická přeměna energie získané ze spalování paliva v energii mechanickou a tu poté přeměnit na energii elektrickou. Tímto způsobem výroby elektřiny se vyznačuje právě uhelná energetika. Jelikož se jedná o přeměnu termodynamickou, nelze se obejít bez základů termodynamiky.

2.1. Termodynamika

Termodynamika je vědní disciplína popisující procesy, jež zahrnují změny teploty, přeměny energie a vzájemný vztah tepelné energie a mechanické práce. V historii mířil rozvoj termodynamiky ke zvýšení efektivity prvních parních strojů, později pak i k efektivnější přeměně tepla na mechanickou práci uvnitř uhelných elektráren.

2.1.1. Termodynamický systém

Termodynamický systém je část látkového prostoru, kterou je možné oddělit od okolí hranicí. Může se jednat o termodynamický systém:

- *izolovaný*, který si s okolím nevyměňuje energii ani hmotu,
- *uzavřený*, který si s okolím vyměňuje pouze energii, ale hmotu nikoliv
- *otevřený*, který si s okolím vyměňuje energii i hmotu. Nachází-li se termodynamický systém ve stavu tzv. termodynamické rovnováhy, jsou všechny jeho části v mechanické, tepelné i chemické rovnováze.

2.1.2. Termodynamické zákony

První zákon termodynamický (rovnice č. 2.1) říká, že změna vnitřní energie U izolovaného termodynamického systému dU je součtem tepla Q dodaného do systému δQ a práce A (z německého *Arbeit*) na systému vykonané δA .

$$dU = \delta Q - \delta A \quad [\text{J}; \text{J}, \text{J}] \quad (2.1)$$

Objemová práce δA je definována změnou objemu dV termodynamického systému za konstantního tlaku p .

$$\delta A = p * dV \quad [\text{J}; \text{Pa}, \text{m}^3] \quad (2.2)$$

Je-li práce konána na systému, je její znaménko záporné, jelikož energie je do systému dodána. Naopak je-li práce vykonána systémem, energie má znaménko kladné, jelikož systém opouští.

Druhý termodynamický zákon zavádí veličinu zvanou entropie s , která je definována rovnicí (2.3).

$$ds = \frac{\delta Q}{T} \quad [\text{J}\cdot\text{K}^{-1}; \text{J}, \text{K}] \quad (2.3)$$

Pro entropii platí, že se její hodnota nikdy samovolně nezmenšuje. Její změna je při konstantní hodnotě tepla vyšší při nižší teplotě. Její změna je rovna nule ($ds = 0$) při vratných dějích a rovnovážných stavech izolované soustavy. Pro samovolné procesy je její hodnota větší než nula ($ds > 0$).

Třetí termodynamický zákon říká, že není možné dosáhnout nulové hodnoty termodynamické teploty neboli tzv. absolutní nuly (0 K).

2.1.3. Entalpie

Entalpie h je definována jako součet vnitřní tepelné energie U a mechanické vtlačovací práce vyjádřené součinem tlaku p soustavy a objemu soustavy V (rovnice 2.4). Vyjadřuje tak práci v systému uloženou.

$$h = U + p * V \quad [\text{J}; \text{J}, \text{Pa}, \text{m}^3] \quad (2.4)$$

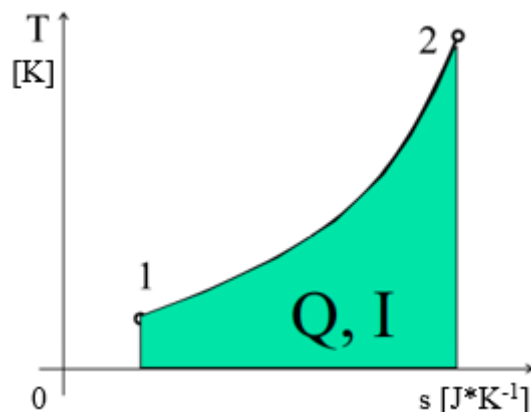
Pro diferenciál entalpie platí rovnice 2.5.

$$dh = dU + p * dV + V * dp \quad [\text{J}; \text{J}, \text{Pa}, \text{m}^3, \text{m}^3, \text{Pa}] \quad (2.5)$$

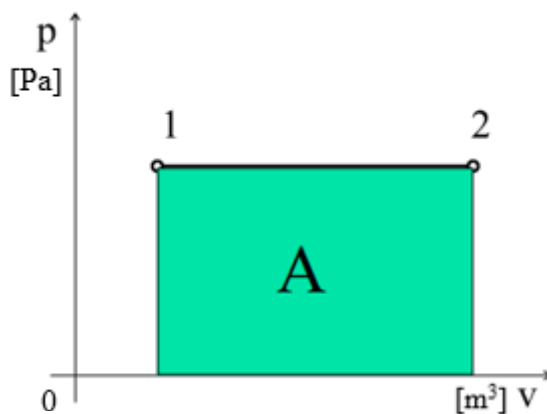
2.1.4. Termodynamické děje

Při průběhu termodynamického děje dochází ke změně stavu soustavy, jelikož se mění některé ze stavových veličin. Děje mohou být *vratné*, které se mohou odehrávat v obou směrech a soustava, nehledě na směr děje, projde stejnými termodynamickými stavy a entropie při nich zůstává konstantní. *Nevratné* děje mohou probíhat pouze v jednom směru a entropie při nich roste. Pro děje *kruhové* je stejný stav počáteční a konečný. Specifickými ději jsou takové, při nichž je jedna ze stavových veličin konstantní. Takové děje mají své specifické názvy.

Děj izobarický neboli zákon Gay-Lussacův je charakteristický tím, že se odehrává za konstantního tlaku p (viz Obrázek 2.2). Grafem izobarického děje je tzv. *izobara*.



Obrázek 2.1: T-s diagram izobarického děje¹



Obrázek 2.2: p-V diagram izobarického děje²

Pro výpočet práce A plynem vykonané mezi body 1 a 2 na obrázku 2.2 platí rovnice 2.6, kde $V1$ je objem plynu v bodě 1 a $V2$ je objem plynu v bodě 2.

$$A = p * (V1 - V2) \quad [J; Pa, m^3, m^3] \quad (2.6)$$

Jelikož se při izobarickém ději tlak p nemění ($dp = 0$) platí dále rovnice 2.6, po dosazení rovnice 2.2 do rovnice 2.1, a rovnice 2.7, po dosazení výsledku rovnice 2.6 do rovnice 2.5.

¹ NOHÁČ, Karel. *Přednáška z předmětu Elektroenergetika 1 a Přehled elektroenergetiky (+EE1 a PEE)*, Západočeská univerzita v Plzni, http://home.zcu.cz/~nohac/EE1/Termodynamika_pro_EE1-prezentace.pdf.

² Tamtéž

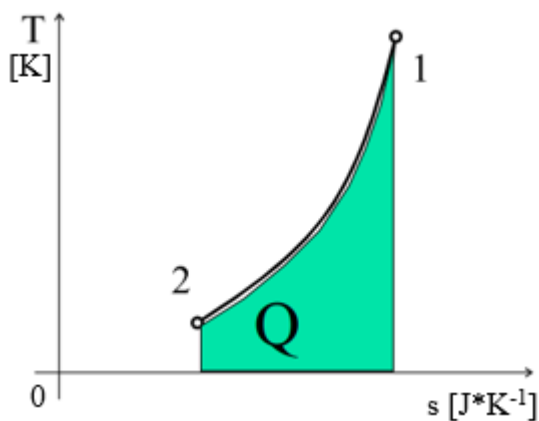
$$dU = \delta Q - p * dV \quad [J; J, Pa, m^3] \quad (2.6)$$

$$dh = \delta Q - p * dV + p * dV + V * dp \quad [J; J, Pa, m^3, Pa, m^3, m^3, Pa] \quad (2.7)$$

$$dh = \delta Q \quad [J; J] \quad (2.8)$$

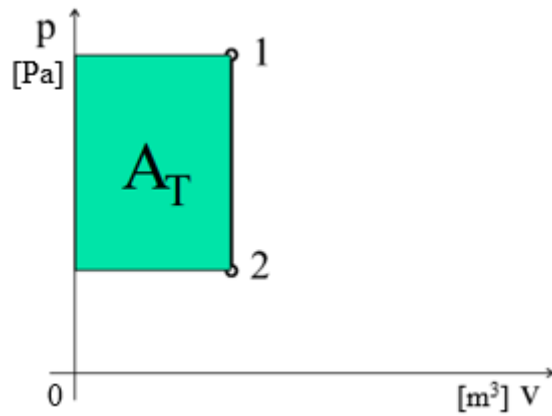
Výsledkem je rovnice 2.8, která říká, že změna entalpie je při izobarickém ději rovna změně tepla.

Děj *izochorický* neboli zákon Charlesův se odehrává za konstantního objemu soustavy (viz Obrázek 2.3). Jeho grafem je tzv. *izochora*.



Obrázek 2.3: p-V diagram izochorického děje³

³ NOHÁČ, Karel. *Přednáška z předmětu Elektroenergetika 1 a Přehled elektroenergetiky (+EE1 a PEE)*, Západočeská univerzita v Plzni, http://home.zcu.cz/~nohac/EE1/Termodynamika_pro_EE1-prezentace.pdf.

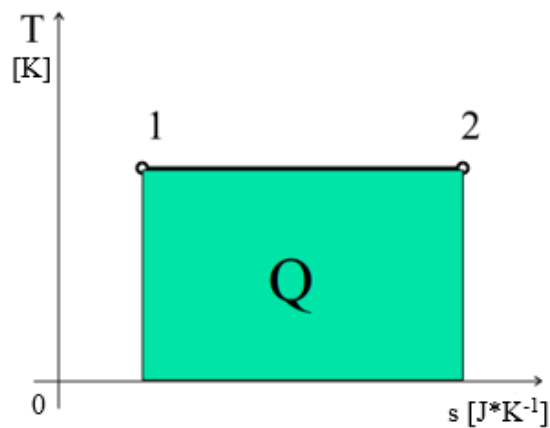


Obrázek 2.4: T-s diagram izochorického děje⁴

Pro práci A vykonanou plynem při izochorickém ději za konstantního objemu V plynu platí rovnice 2.7, kde p_1 je tlak plynu v bodě 1 a p_2 je tlak plynu v bodě 2.

$$A = V * (p_1 - p_2) \quad [\text{J}; \text{m}^3, \text{Pa}, \text{Pa}] \quad (2.9)$$

Děj *izotermický* neboli zákon Boyle-Mariottův se odehrává za konstantní termodynamické teploty T (viz Obrázek 2.5). Grafem děje je tzv. *izoterma*.

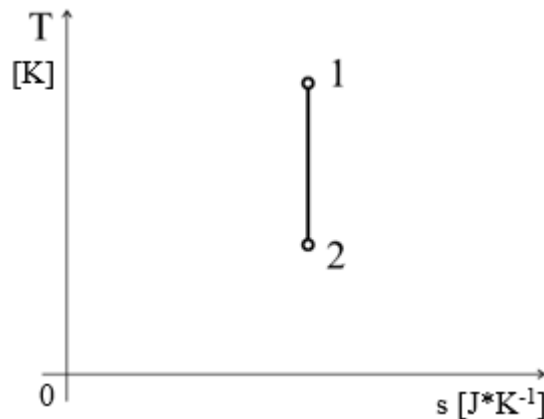


Obrázek 2.5: T-s diagram izotermického děje⁵

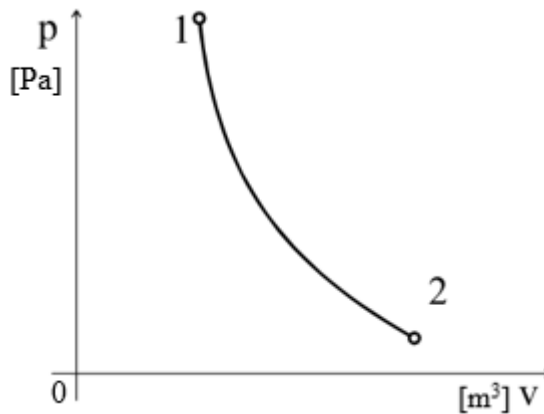
⁴ NOHÁČ, Karel. *Přednáška z předmětu Elektroenergetika 1 a Přehled elektroenergetiky (+EE1 a PEE)*, Západočeská univerzita v Plzni, http://home.zcu.cz/~nohac/EE1/Termodynamika_pro_EE1-prezentace.pdf.

⁵ Tamtéž

Posledním z důležitých dějů je *děj adiabatický*, při němž nedochází k výměně tepla soustavy s okolním prostředím (viz rovnice 2.10). Grafem děje je tzv. *adiabata*.



Obrázek 2.6: T-s diagram adiabatického děje⁶



Obrázek 2.7: p-V diagram adiabatického děje⁷

Pro práci A vykonanou plynem při adiabatickém ději platí rovnice 2.11, kde p_1 je tlak plynu v bodě 1, V_1 je objem v bodě 1, V_2 je objem v bodě 2 a κ je adiabatická neboli Poissonova konstanta, která charakterizuje daný plyn.

$$dQ = 0 \quad [J] \quad (2.10)$$

$$A = \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} * \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa - 1} \right] \quad [J; Pa, m^3, -, -, m^3, m^3, -] \quad (2.11)$$

Po dosazení rovnice 2.10 do rovnice 2.1 dostaneme rovnici 2.12

$$dU = 0 - \delta W \quad [J; J] \quad (2.12)$$

⁶ NOHÁČ, Karel. *Přednáška z předmětu Elektroenergetika 1 a Přehled elektroenergetiky (+EE1 a PEE)*, Západočeská univerzita v Plzni, http://home.zcu.cz/~nohac/EE1/Termodynamika_pro_EE1-prezentace.pdf.

⁷ Tamtéž

Dosažením rovnice 2.2 do rovnice 2.12 dostaneme rovnici 2.13

$$dU = -p * dV \quad [J; Pa, m^3] \quad (2.13)$$

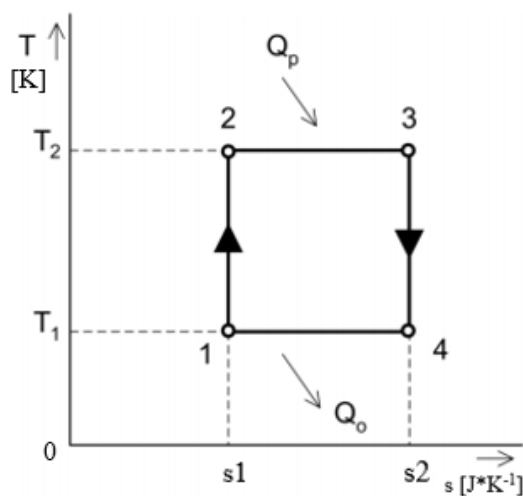
A konečným dosažením rovnice 2.13 do rovnice 2.5 získáme rovnici 2.14.

$$dH = -\delta W \quad [J; J] \quad (2.14)$$

2.1.5. Tepelné oběhy

Tepelný oběh nebo tepelný cyklus je ideálně kruhový a vratný děj, jež se skládá z několika termodynamických dějů. Každý cyklus má nějakou *tepelnou účinnost* η , která nabývá hodnot od nuly do jedné. Nejlepším možným příkladem ideálního termodynamického cyklu je cyklus *Carnotův*.

Carnotův cyklus (viz Obrázek 2.8) má nejvyšší tepelnou účinnost η (rovnice 2.16) v daném rozsahu teplot T_1 a T_2 ($T_1 < T_2$), přičemž účinnost tohoto cyklu nezávisí na pracovní látce. Carnotův cyklus se skládá ze dvou izoterm a dvou adiabat.



Obrázek 2.8: Carnotův cyklus⁸

Mezi body 1 a 2 dochází k adiabatické kompresi mezi teplotami T_1 a T_2 za stálé entropie s_1 . Mezi body 2 a 3 probíhá izotermická expanze při stálé teplotě T_2 za změny entropie z s_1 na s_2 . Mezi body 3 a 4 se odehrává adiabatická expanze za poklesu teploty z T_2 na T_1 za stálé entropie s_2 . Mezi body 4 a 1 se plyn vrací zpět do původního stavu

⁸ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

izotermickou kompresí při stálé teplotě T_1 za změny entropie z s_2 na s_1 . Účinnost Carnotova cyklu se určí jako podíl celkové mechanické práce systému A a celkové energie spotřebované systémem Q_p (rovnice 2.16), přičemž se celková mechanická práce rovná rozdílu tepla přijatého od okolí a spotřebovaného systémem Q_p na vykonání ekvivalentní práce během izotermické expanze a tepla odevzdaného systémem do okolí Q_o během izotermické komprese, na kterou byla dodána práce tepla ekvivalentní (rovnice 2.15). Dosazením rovnice 2.15 do rovnice 2.16 dostaneme rovnici 2.17, kterou lze postupně upravit pomocí grafu (Obrázek 2.8) na rovnici 2.19, odkud se vykrácením závorky $(s_1 - s_2)$ v čitateli a jmenovateli dostaneme k výsledné rovnici 2.20.

$$A = Q_p - Q_o \quad [J; J, J] \quad (2.15)$$

$$\eta = \frac{A}{Q_p} \quad [-; J, J] \quad (2.16)$$

$$\eta = \frac{Q_p - Q_o}{Q_p} \quad [-; J, J, J] \quad (2.17)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_o}{Q_p} \quad [-; J, J] \quad (2.18)$$

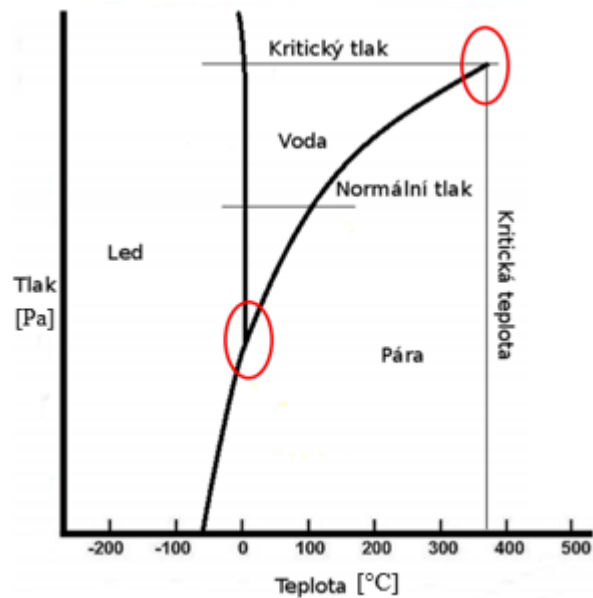
$$\eta = 1 - \frac{T_1(s_1 - s_2)}{T_2(s_1 - s_2)}, \quad T_1 < T_2$$

$$[-; K, J \cdot K^{-1}, J \cdot K^{-1}, K, J \cdot K^{-1}, J \cdot K^{-1}] \quad (2.19)$$

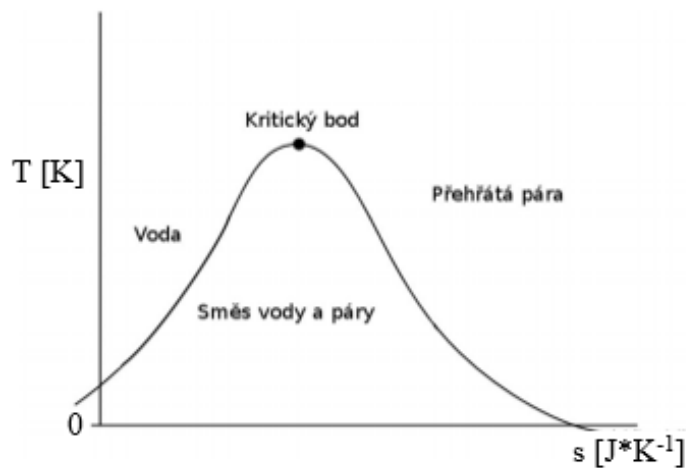
$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}, \quad T_1 < T_2 \quad [-; K, K] \quad (2.20)$$

Dalším velmi významným tepelným oběhem je oběh Clausius-Rankinův, který je základem oběhu všech uhelných a jaderných elektráren, jehož oběhovým médiem je obvykle voda. Jedná se o složitější oběh, jelikož při něm voda mění svá skupenství. Voda mění svá skupenství dle fázového diagramu vody neboli p-V diagramu vody (Obrázek 2.9). V místě, kde mají na obrázku 2.9 křivky společný bod, se nachází tzv. *trojný bod vody* při teplotě 0,01 °C a tlaku 611 Pa. Při vyšší teplotě se voda nachází v plynném skupenství v podobě vodní páry. Při nižší teplotě se nachází v pevném skupenství v podobě ledu. Při vyšším tlaku je voda ve skupenství kapalném. Jednotlivá skupenství jsou oddělena křivkami pojmenovanými dle názvu pro danou změnu skupenství. Oblasti ledu a páry jsou odděleny *křivkou sublimace*, oblasti ledu a vody jsou odděleny *křivkou tání* a oblasti vody a páry jsou odděleny křivkou odpařování. Dalším význačným bodem (druhý zakroužkovaný bod na obrázku) je tzv. *kritický bod vody* při tzv. kritické teplotě 374 °C a tzv. kritickém tlaku 22,12 MPa. Nad hodnotou kritické teploty již voda nemůže existovat v kapalném skupenství. Vzhledem k tomu, že

se termodynamické oběhy znázorňují obvykle v grafu závislosti termodynamické teploty T na entropii s , je vhodnějším znázorněním T - s diagram vody (Obrázek 2.10). Křivka v T - s diagramu vody znázorňuje stav syté páry, což je stav páry na rozhraní mezi vodou a směsí vody a páry a mezi směsí vody a páry a přehřáté páry.



Obrázek 2.9: Fázový diagram vody⁹

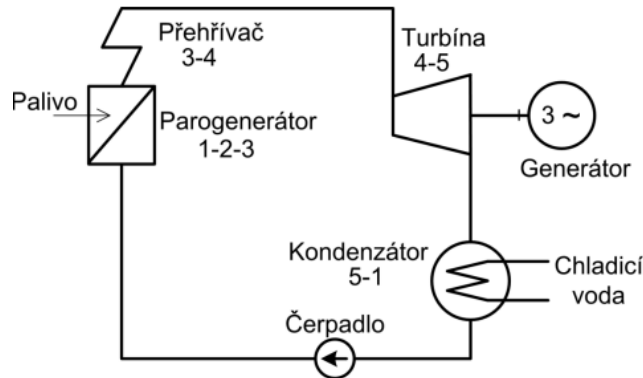


Obrázek 2.10: T - s diagram vody¹⁰

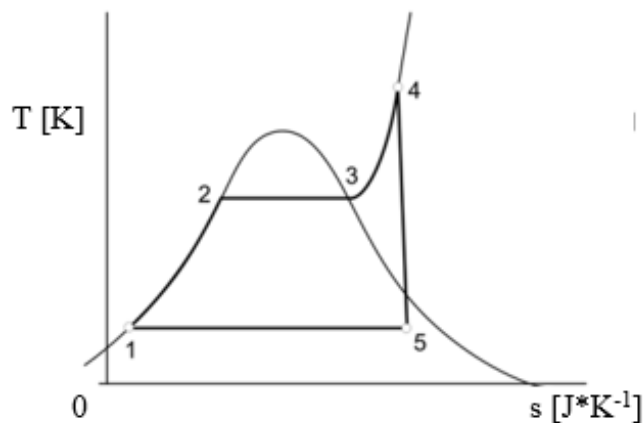
⁹ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

¹⁰ Tamtéž

Samotný C-R oběh se odehrává uvnitř uhelné elektrárny, což znázorňuje schéma na obrázku 2.11. T-s diagram C-R cyklu je na obrázku 2.12. Předpokládáme termodynamické děje považujeme za ideální a stejně tak izolaci turbíny předpokládáme ideální.



Obrázek 2.11: Schéma oběhu vody v uhelné elektrárně¹¹



Obrázek 2.12: Clausius-Rankinův oběh¹²

Mezi body 1, 2 a 3 v obrázku 2.12 dochází k izobarickému ohřevu a odparu vody v parogenerátoru dodáváním tepla spalováním paliva v kotli. Mezi body 3 a 4 je pára izobaricky přehřívána v tzv. přehříváči a poté je hnána do turbíny, kde mezi body 4 a 5 adiabaticky expanduje, přičemž dodává turbíně energii a roztáčí ji. Z turbíny je energie odvedena po hřídeli do generátoru (G), který díky ní vytváří energii elektrickou. Pára po expanzi v turbíně pokračuje do kondenzátoru, kam vstupuje i chladicí voda, která páru ochlazuje a pára tak za stálého tlaku kondenzuje. Čerpadlo poté žene vodu zpět do

¹¹ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

¹² Tamtéž

parogenerátoru a cyklus se opakuje. Účinnost η C-R oběhu lze spočítat, stejně jako u Carnotova cyklu, jako podíl práce ku přijatému teplu (rovnice 2.21). Jelikož předpokládáme ideální termodynamické děje, lze vykonanou práci i dodané teplo spočítat pouze z rozdílů entalpií (rovnice 2.22 a 2.23). Dosazením rovnic 2.22 a 2.23 do rovnice 2.21 dostaneme vztah pro určení účinnosti η C-R oběhu (rovnice 2.24), kde h_1 je hodnota entalpie v bodě 1, h_4 je hodnota entalpie v bodě 4 a h_5 je hodnota entalpie v bodě 5 obrázku 2.12. Účinnost je také plocha uzavřená tučnou křivkou na obrázku 2.12.

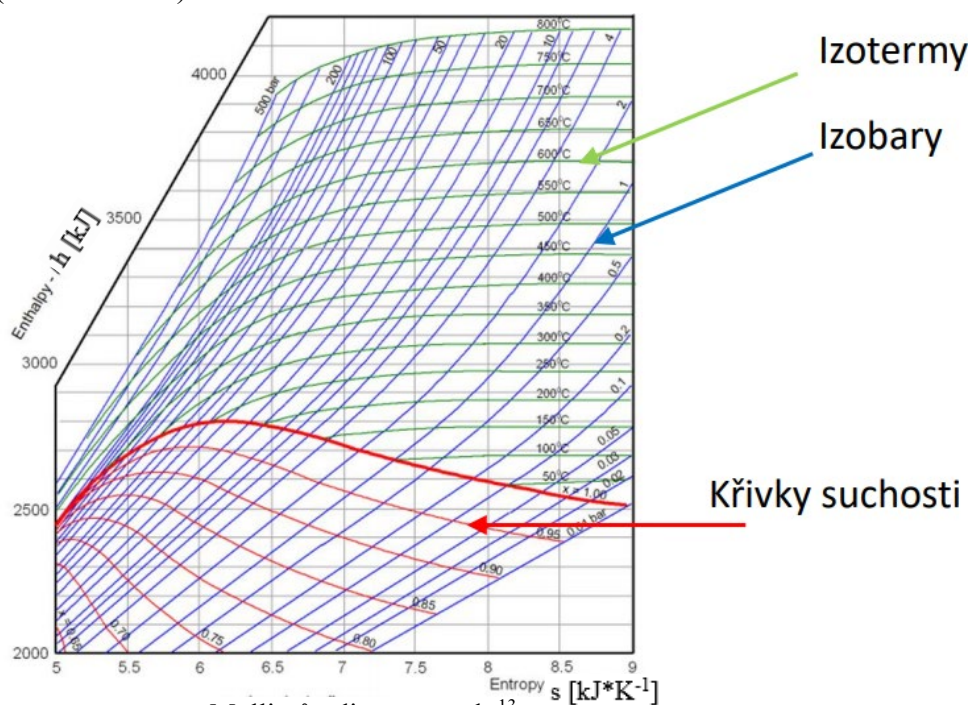
$$\eta = \frac{A}{Q_p} \quad [- ; J, J] \quad (2.21)$$

$$Q_p = h_4 - h_1 \quad [J; J, J] \quad (2.22)$$

$$A = h_4 - h_5 \quad [J; J, J] \quad (2.23)$$

$$\eta = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_1} \quad [- ; J, J, J, J] \quad (2.24)$$

Příslušné hodnoty entalpie lze odečíst z Mollierova diagramu vody neboli h-s diagramu vody (Obrázek 2.13).

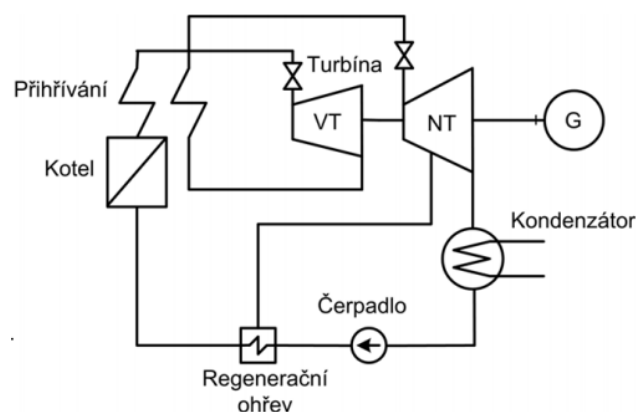


Na obrázku 2.11 je nejjednodušší možné funkční schéma. Jeho účinnost tudíž není ideální. Lze použít několik způsobů ke zvýšení účinnosti C-R oběhu. Můžeme například

¹³ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

zvýšit teplotu a tlak páry, díky čemuž by měl oběh větší energii, čehož se využívá v tzv. nadkritických elektrárnách, ve kterých se pracuje s nadkritickými hodnotami teploty a tlaku vody (např. elektrárna Ledvice). To s sebou ovšem nese velké nároky na materiály a další konstrukční a bezpečnostní požadavky. Dalším způsobem je *snížení teploty a tlaku kondenzace*, kde jsme ale limitováni teplotou okolního prostředí, jelikož se chladicí voda většinou přivádí z přírodního zdroje (např. řeky), do které se po ochlazení páry v elektrárně vrací. Jelikož v řece žijí různá fauna zvyklá na určitou teplotu, nelze do řeky navrátit vodu libovolné teploty. Běžné parametry kondenzace jsou teplota 30 °C a tlak 4 kPa. Nejlepší metodou zvýšení účinnosti je však opakování části cyklu, která má nejvyšší účinnost. To nás vede k *přihřívání páry*, klidně i vícenásobné (nejčastěji dvojnásobné).

Na obrázku 2.14 je schéma oběhu vody v uhelné elektrárně za zvýšené účinnosti přihříváním páry. Turbína je zde rozdělena na vysokotlaký (VT) a nízkotlaký (NT) stupeň. Ve skutečnosti bývá v elektrárně ještě středotlaký stupeň, který tvoří s nízkotlakým stupněm jeden celek.

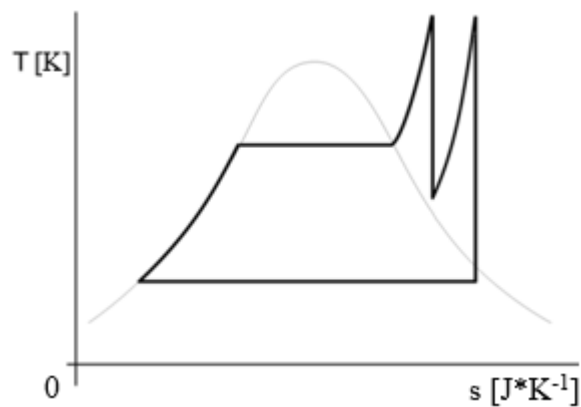


Obrázek 2.14: Schéma oběhu vody v uhelné elektrárně s přihříváním páry¹⁴

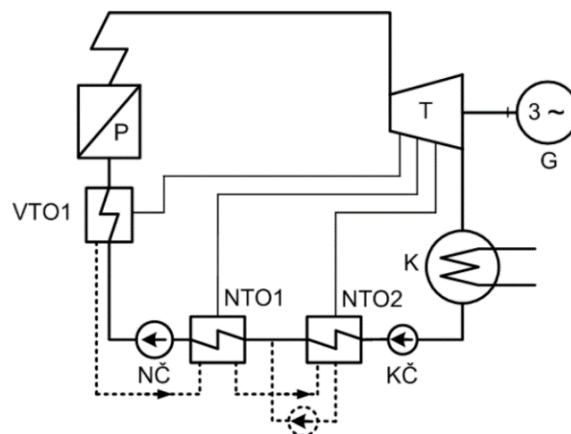
Proces začíná stejně jako u obyčejného C-R cyklu, tedy vytvořením páry v kotli. Následuje přihřívání, poté pára částečně expanduje ve vysokotlaké turbíně, po předání energie vysokotlaké turbíně páru opět přihříváme a následně pára expanduje v nízkotlaké turbíně a předává jí energii. Konec cyklu je stejný jako v předchozím

¹⁴ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

případě, tedy kondenzace páry v kondenzátoru a následné nahánění zkondenzované vody čerpadlem zpět do kotle. Na obrázku 2.15 je poté T-s diagram, na kterém je znatelné zvýšení účinnosti C-R oběhu (větší plocha uzavřená křivkou). Také je v obrázku 2.14 přidán tzv. *regenerační ohřev*, což je další způsob, jak zvýšit účinnost, spočívající v tom, že odebereme část páry z turbíny a přehřejeme si jí vodu za výstupem kondenzátoru pomocí tepelného výměníku (tzv. regenerační ohříváky), čímž snížíme potřebné teplo nutné na vytvoření páry v kotli a zároveň snížíme množství tepla odvedeného bez užitku v kondenzátoru. Na obrázku 2.16 je vyobrazeno složitější schéma regeneračního ohřevu s třemi ohříváky (dva nízkotlaké NTO1 a NTO2, jeden vysokotlaký VTO1) a zpětnými odvody kondenzátu z ohříváků (čárkovaně) pro ještě vyšší účinnost C-R cyklu.



Obrázek 2.15: Zvýšení C-R oběhu přehříváním páry¹⁵



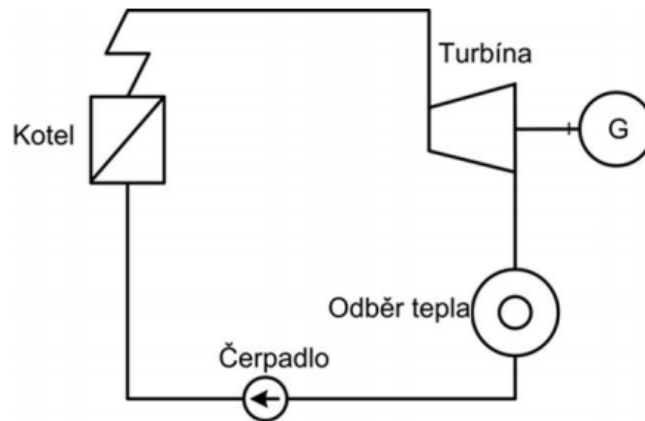
Obrázek 2.16: Systém regeneračního oběhu vody¹⁶

¹⁵ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

¹⁶ Tamtéž

2.1.6 Odběr páry z turbíny

Uhelné elektrárny dnes nejčastěji nepracují pouze na výrobě elektrické energie, ale fungují v kombinovaném provozu (tzv. kogenerace), při kterém vyrábějí páru například pro technologický proces nebo pro vytápění okolních domácností a dalších budov.



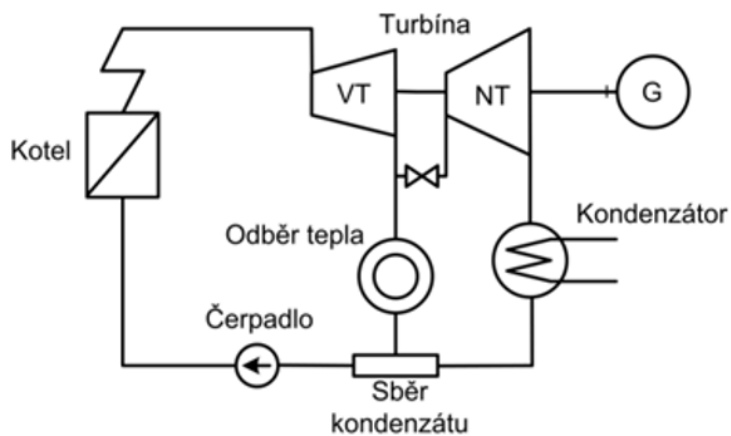
Obrázek 2.17: Odběr páry z turbíny¹⁷

Na obrázku 2.17 je jednoduché schéma pro odběr páry z turbíny za použití tzv. protitlaké turbíny. Jelikož je na parametry odebírané páry nějaký požadavek odběratele, nemůže pára v turbíně expandovat tak moc, jako při čistě elektrárenském běhu. Je-li z elektrárny odebráno teplo, udává se tzv. *teplárenský součinitel* α , který je definován jako podíl maximálního množství tepla dodaného parou prošlou turbínou Q_T [GJ/h] a maximálního množství tepla dodaného odběrateli Q_{max} [GJ/h] (viz rovnice 2.25).

$$\alpha = \frac{Q_T}{Q_{max}} \quad [- ; J, J] \quad (2.25)$$

¹⁷ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

Na obrázku 2.18 je schéma oběhu vody elektrárny v kombinovaném provozu s regulací odběru páry. Toto schéma umožňuje nezávislou dodávku elektrické a tepelné energie, kdy sice vždy nějakou část elektrické energie vytvoříme při průchodu páry vysokotlakou turbínou, ale nemusíme ji dál hnát do nízkotlaké turbíny a můžeme ji tak poslat odběrateli tepla. V této části si lze položit první velkou otázku do budoucna. Dojde-li k ukončení provozu uhelných elektráren, pomocí čeho se budou vytápět domácnosti, jiné budovy a části měst.



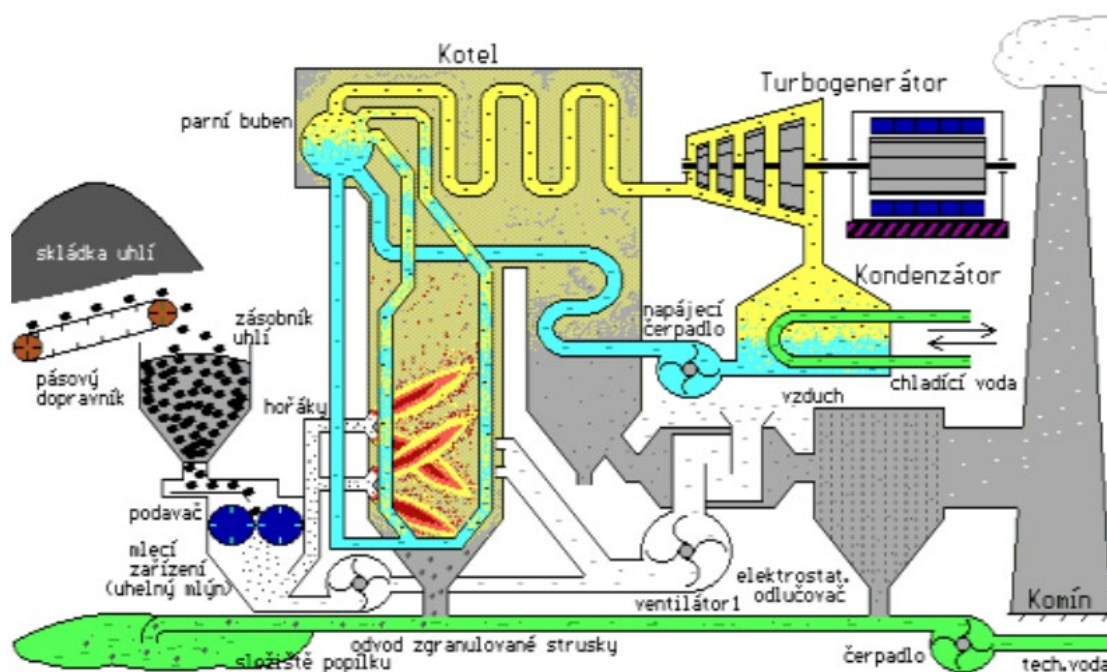
Obrázek 2.18: Turbína s regulovaným odběrem páry¹⁸

¹⁸ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

2.2. Uhelná elektrárna

Jak již bylo uvedeno, uhelná elektrárna je jedním ze základních zdrojů elektrické energie a velmi důležitým zdrojem energie tepelné při použití jako kogeneračního zařízení. Na obrázku 2.19 je názorné schéma uhelné elektrárny zahrnující všechny technologické okruhy v elektrárně se vyskytující, na které se technologie dělí dle toku provozních hmot. Technologické okruhy jsou následující:

- Okruh paliva, škváry a popela
- Okruh vzduchu a kouřových plynů
- Okruh páry, napájecí a chladicí vody
- Okruhy pomocné (oleje, chlazení generátoru, chladicího oleje transformátoru)



Obrázek 2.19: Schéma uhelné elektrárny¹⁹

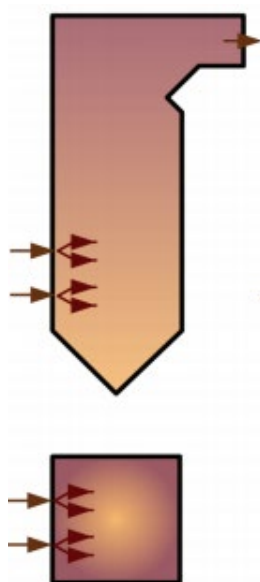
2.2.1. Okruh paliva, škváry a popela

Vhodné umístění uhelné elektrárny je v blízkosti zdroje paliva. V tomto případě poblíž uhelného dolu. V České republice se v uhelných elektrárnách spaluje hnědé uhlí s výhřevností 15 – 20 MJ/kg s obsahem síry 0,5 - 4,5 % a s obsahem popela 30 – 45 %.

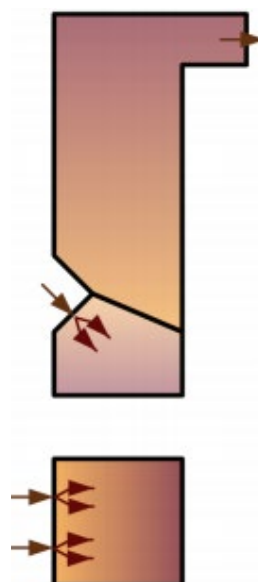
¹⁹ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

Uhlí z dolu je skladováno na uhelné skládce u elektrárny, což má své riziko. Skladuje-li se příliš velké množství uhlí, může se samovznítit. Je proto nutné jej spotřebovávat a v ideálním případě rozhrnovat těžkou technikou, aby bylo samovznícení vyloučeno. Uhlí je do vlastního prostoru elektrárny přiváženo pásovým dopravníkem nebo celou soustavou dopravníků do zásobníku uhlí, který ústí na podavač, který uhlí přesune do mlecího zařízení (tzv. uhelný mlýn). Zde je uhlí rozemleto na uhelný prášek (v případě kotle s práškovým ohništěm – dnes běžné) a vysušeno horkými plyny a následně je prach vháněn do kotle ventilátorem spolu s horkým vzduchem, kde je spalován plamenem hořáků. Kotle mohou mít ohniště různých typů. Nejjednodušším typem ohniště je *roštové ohniště*, ve kterém se spalují celé kusy uhlí ve vrstvě na pohyblivém roštu. Jeho zásadní nevýhodou je špatné prohořívání paliva. Proto se dnes častěji využívají *prášková ohniště* s podstatně lepším prohoříváním paliva a větším rozsahem regulace výkonu. Prášková ohniště se dělí na následující typy:

- *Granulační ohniště* je charakteristické tvarem svislého hranolu se zúžením spodní části, která slouží jako výsypka. Díky způsobu spalování paliv v granulačním ohništi lze zvolit různé uspořádání hořáků (hořáky dvouřadé čelní, jednořadé rohové, stropní, naklápěcí). Maximální teplota v ohništi se pohybuje okolo 1500 °C. Při vyšší teplotě by docházelo k nalepování strusky na stěnách ohniště.



Obrázek 2.20: Granulační ohniště²⁰

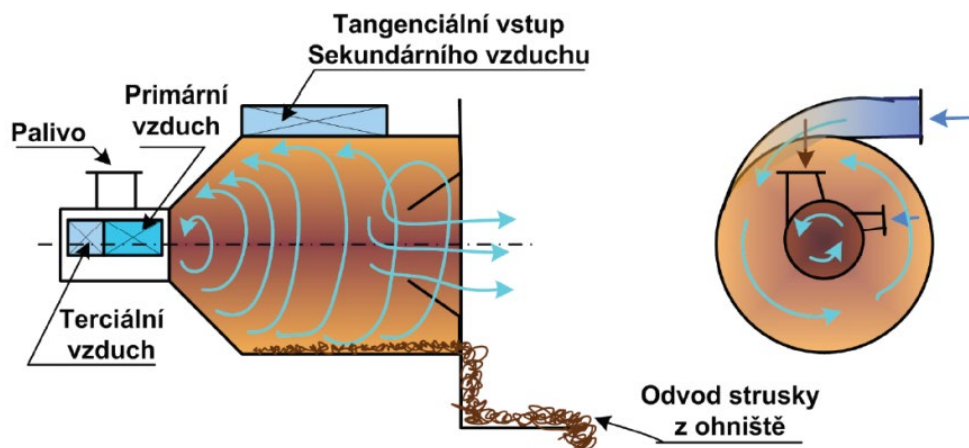


Obrázek 2.21: Výtvavné ohniště²¹

²⁰ DOLEŽAL, Jaroslav. *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.

²¹ Tamtéž

- *Výtavné ohniště* odstraňuje problém se struskou na stěnách ohniště. Palivo se spaluje při vyšších teplotách, takže se popeloviny roztaví a z ohniště vytékají v tekutém stavu.
- *Cyklónové ohniště* využívá přívodů vzduchu pro vytvoření vírového pole o vysoké rychlosti mezi vzduchem a spalovaným zrnem. Toho se využívá s cílem zdokonalit spalování a urychlit jeho průběh. Směs paliva a horkého vzduchu je přiváděna čelem ohniště. Sekundární vzduch vstupuje tangenciálně do ohniště ze stěny a vytváří vírové pole. Ohniště lze uspořádat vertikálně i horizontálně a lze v něm spalovat i hrubší zrna nebo i méně hodnotná paliva.

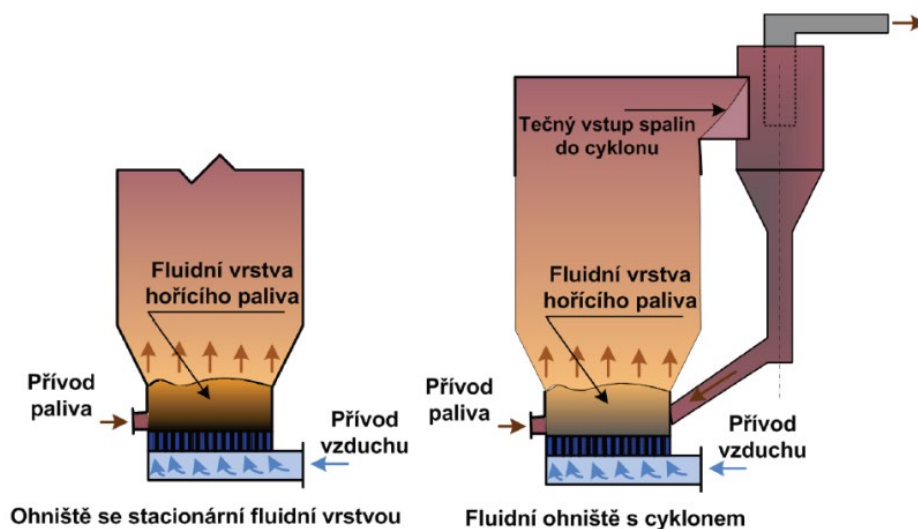


Obrázek 2.22: Cyklónové ohniště²²

- *Fluidní ohniště* – Ve fluidním ohništi jsou spalována zrna paliva ve fluidní vrstvě vytvořené vertikálním vhněným vzduchem. Zrna postupně prohořívají, zmenšují svou hmotnost, a tak jsou vynášena do vyšších vrstev, až jsou nakonec vynesena proudem spalin z ohniště ven. Při variantě fluidního ohniště s cyklónem cyklón odlučuje a vrací nedokonale spálená zrna zpět do ohniště, čímž je zvýšena účinnost spalování. Dále je možnost přidat drcený vápenec do paliva, a tím odsířit palivo již v kotli.

Vyhořením paliva vzniká zgranulovaná struska, která spadá pod kotel do technické vody, která ji odnáší na složiště popílku.

²² DOLEŽAL, Jaroslav. *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.



Obrázek 2.23: Fluidní ohniště²³

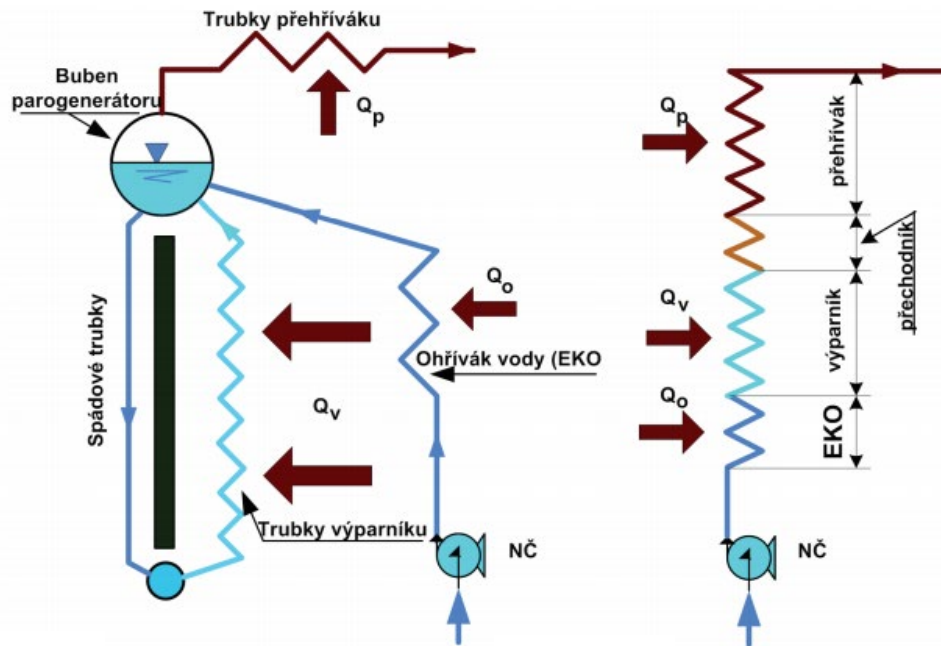
2.2.2. Okruh vzduchu a kouřových plynů

Do elektrárny je nasáván vzduch, který je na cestě ke kotli přihříván odchozími spalinami v regeneračním ohříváku. Část vzduchu, tzv. *primární*, je za uhelnými mlýny smíchán s uhelným práškem a směs je pak vháněna do spodní spalovací komory kotle. Zbytek vzduchu je přiváděn přímo do různých částí kotle pro podporu hoření paliva. V kotli vznikají spaliny, které nespadají, ale jsou unášeny vzduchem. Dnes se již nevypouští přímo do ovzduší, ale jsou čištěny a odlučovány ze vzduchu, aby byly ekologicky co nejméně závadné. Odlučování pevných částic probíhá v elektrostatických odlučovačích, kde se vytváří koronový výboj, který vytváří volné nosiče náboje, které se zachytí na pevných částicích ve spalinách, které se tak elektricky nabijí a jsou přitahovány na usazovací elektrody, ze kterých se popílek dostává do technické vody a tou na složiště popílku. Za elektrostatickými odlučovači dále dochází k denitrifikaci, tedy k odstranění oxidů dusíku pomocí katalyzátoru a dále pak k odstranění oxidů síry nejčastěji mokrou vápencovou vypírku, kdy plyn v podstatě sprchujeme směsí vody a vápence, který na sebe váže oxidy síry a odstraňuje je ze vzduchu a vzniká tak tzv. *energósádovec*, který se využívá ve stavebnictví. Účinnost čištění vzduchu je dnes již poměrně vysoká a lze říct, že z komína vychází čistý kouř s oxidem uhličitým.

²³ DOLEŽAL, Jaroslav. *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.

2.2.3. Okruh páry, napájecí a chladicí vody

Voda, chemicky ošetřena, se do elektrárny přivádí napájecím čerpadlem NČ a je vedena do kotle potrubním do parního bubnu (v případě bubnového kotle – Obrázek 2.24), kde je cirkulace vody způsobena rozdílem hustoty ohříváné vody v otápěných trubkách výparníku a neotápěných spádových trubkách. Parní buben slouží jako gravitační separátor vody a syté páry, kdy pára stoupá vzhůru. V případě průtlačného kotle (Obrázek 2.25) je průtok vynucen tlakem napájecího čerpadla. Pára pokračuje trubkami do přehříváku, což jsou v podstatě zahnuté trubky uvnitř kotle, ve kterých se pára dále zahřívá a dostává se na maximální teplotu. Pak pokračuje na lopatky turbíny, kterým předá svou kinetickou energii, a tak roztáčí hřídel, která je společná i pro generátor, který tak vytváří elektrickou energii z mechanické. Pára poté kondenzuje v kondenzátoru za pomoci chladicí vody.



Obrázek 2.25: Parogenerátor bubnového kotle²⁴

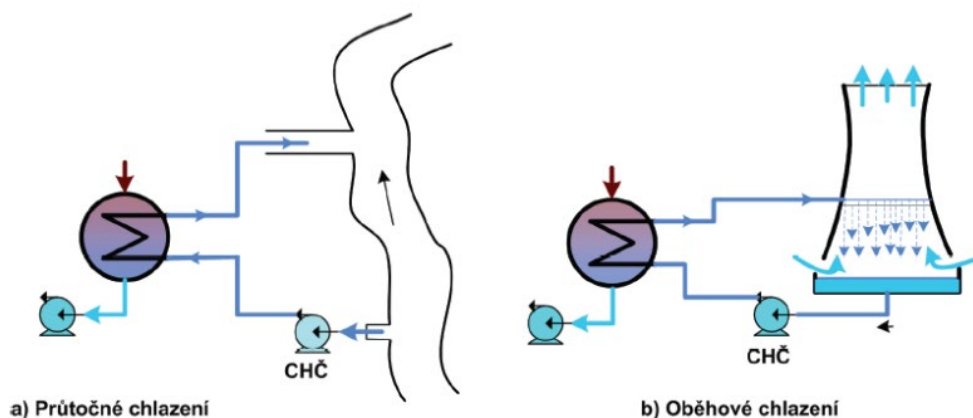
Obrázek 2.24: Parogenerátor průtlačného kotle²⁵

Chladicí voda čerpadlem vháněna do kondenzátoru, který funguje jako tepelný výměník, kde kondenzující pára odevzdává teplo chladicí vodě. Při použití průtočného chlazení (Obrázek 2.26.a) je chladicí voda získávána z řeky v blízkosti elektrárny a poté

²⁴ DOLEŽAL, Jaroslav. *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.

²⁵ Tamtéž

do ní vracena. V tomto případě vyvstávají jistá ekologická omezení na parametry vody vracené zpět do řeky s ohledem na živočichy a rostliny. Druhou možností je chlazení oběhové (Obrázek 2.26.b), kdy se jedná o uzavřený okruh. Voda je brána z bazénku a po vykonání své funkce v kondenzátoru vstupuje do chladicí věže, kde je rozprašována na malé kapičky a ochlazována proudícím vzduchem. Ochlazená voda poté spadá zpět do bazénku.



Obrázek 2.26: Okruh chladící vody²⁶

2.3. Podíl na výrobě elektrické energie

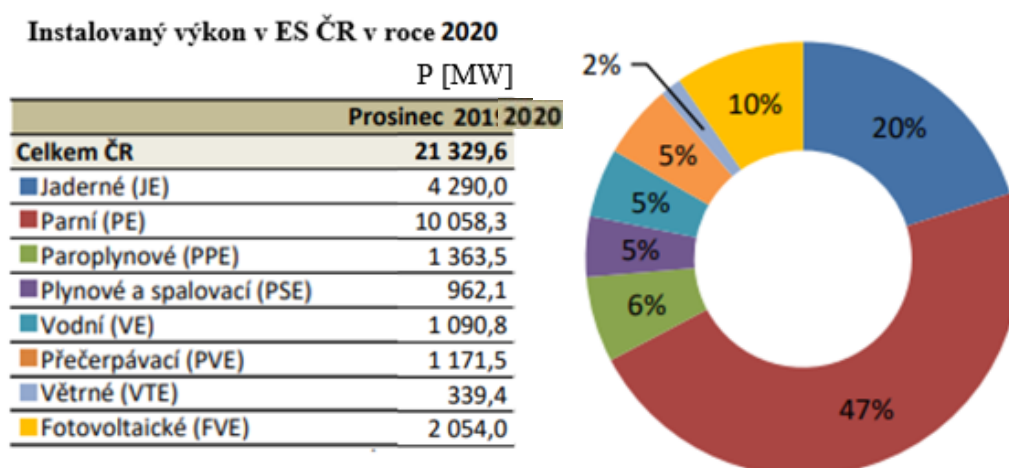
Z historického hlediska využívaly první zdroje kinetickou energii vodních toků. Jednalo se o malé vodní elektrárny zásobující elektřinou pouze své blízké okolí. Poté po vynálezu parního stroje, který byl později nahrazen parními turbínami, se dostaly do popředí uhelné elektrárny. Parní stroj na území našeho státu vznikl na počátku 19. století, kdy byl sestrojen Františkem Josefem Gerstnerem. První veřejná parní elektrárna byla uvedena do provozu roku 1887 na pražském Žižkově a dodávala stejnosměrný proud. První třífázová elektrárna dodávající proud střídavý byla elektrárna Holešovice uvedená do provozu roku 1898. Od té doby byly uhelné elektrárny nedílnou součástí výroby elektrické energie. Tento fakt se umocňoval s růstem průmyslu u nás, a tím i rostoucí potřebou nejen elektrické energie ale i tepla. Elektrárny již v té době byly

²⁶ DOLEŽAL, Jaroslav. *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.

používány, buď v čistě elektrárenském režimu, nebo za použití protitlakové turbíny pro výrobu elektřiny i tepla, a to především v izolovaně pracujících soustavách. K propojení soustav došlo až v 50. letech 20. století. V 50. letech a na počátku let 60. minulého století došlo mimo jiné k výstavbě Vltavské kaskády, kdy se jednalo o velké vodní elektrárny (např.: Lipno I–1959, Lipno II–1957, Orlík–1962). S dále rostoucím průmyslem i rostoucími městy rostla i spotřeba energie až došlo k vyčerpání potenciálu vodních toků, a tak se k již existujícím uhelným a velkým vodním elektrárnám začaly stavět přečerpávací vodní elektrárny (např.: Dalešice–1976). Kvůli orientaci průmyslu státu na energeticky náročný těžký průmysl se výroba elektřiny orientovala na uhelné elektrárny podpořené snahou o energetickou soběstačnost státu. Z toho důvodu bylo využíváno uhlí z národních dolů a nepoužívali se jiná paliva, které by bylo nutno dovézt ze zahraničí, jako zemní plyn či ropa, což by bylo ekonomicky méně výhodné. S rozvojem elektroenergetiky byla svázána i výstavba elektrických rozvodných sítí. Po propojení izolovaných soustav v padesátých letech byly rozšiřovány sítě s napětím 110 kV a později byla zahájena výstavba nadřazené přenosové soustavy a rozveden nejprve o napětí 220 kV a následně o napětí 400 kV, načež došlo k propojení elektrizačních soustav se sousedními státy. S postupem času a technologií se k uhelným a vodním elektrárnám přidaly další typy zdrojů. Například v roce 1995 byl vybudován paroplynový zdroj Vřesová o výkonu 400 MW. Dnes jsou již neodmyslitelným zdrojem elektrické energie elektrárny jaderné. V České republice jsou dvě jaderné elektrárny, a to jaderná elektrárna Dukovany a jaderná elektrárna Temelín, přičemž starší je první jmenovaná uvedená do provozu v letech 1985 až 1987. Jaderná elektrárna Temelín byla uvedena do provozu v roce 2002. K již zmíněným druhům zdrojů je třeba dodat fotovoltaické elektrárny a větrné elektrárny. Oba typy silně závisí na počasí a na ročním období. Jelikož je Česká republika vnitrozemský stát s typicky kontinentálním klimatem, kdy rychlost větru v průběhu roku velmi kolísá, nejsou větrné elektrárny vhodným typem zdroje. Z vystavěných větrných elektráren stojí za zmínění například Farma Kryštofovy Hamry v Ústeckém kraji s instalovaným výkonem 42 MW. Pro fotovoltaické elektrárny jsou v ČR relativně lepší podmínky než pro elektrárny větrné, ale stále tento zdroj vyvolává spoustu otázek do budoucnosti. Problémem obou posledně zmíněných zdrojů je například jejich neregulovatelnost.

2.3.1. Struktura instalovaného výkonu ČR

Dnes se na výrobě elektrické energie v České republice podílí několik typů elektráren. Krom uhlých elektráren tvořících převážnou většinu kategorie parních elektráren, kam patří i elektrárny spalující tuhou biomasu, jsou součástí instalovaného výkonu elektrárny jaderné, paroplynové, plynové a spalovací, vodní, přečerpávací vodní, větrné a fotovoltaické. Zdaleka nejvíce energie se vyrobí v jaderných a uhlých elektrárnách. Celkový instalovaný výkon v ES ČR v prosinci 2020 byl 21 329,6 MW. Instalovaný výkon uhlých elektráren v roce 2020 činil 10058,3 MW, tedy přibližně 10 GW, což bylo 47 % celkového instalovaného výkonu České republiky (viz Obrázek 2.27). Je tedy patrné, že uhlé elektrárny jsou nejvýznamnějším zdrojem elektrické energie z hlediska instalovaného výkonu. 20 % celkového instalovaného výkonu zastávají jaderné elektrárny Temelín a Dukovany dohromady dávající výkon 4 290 MW.

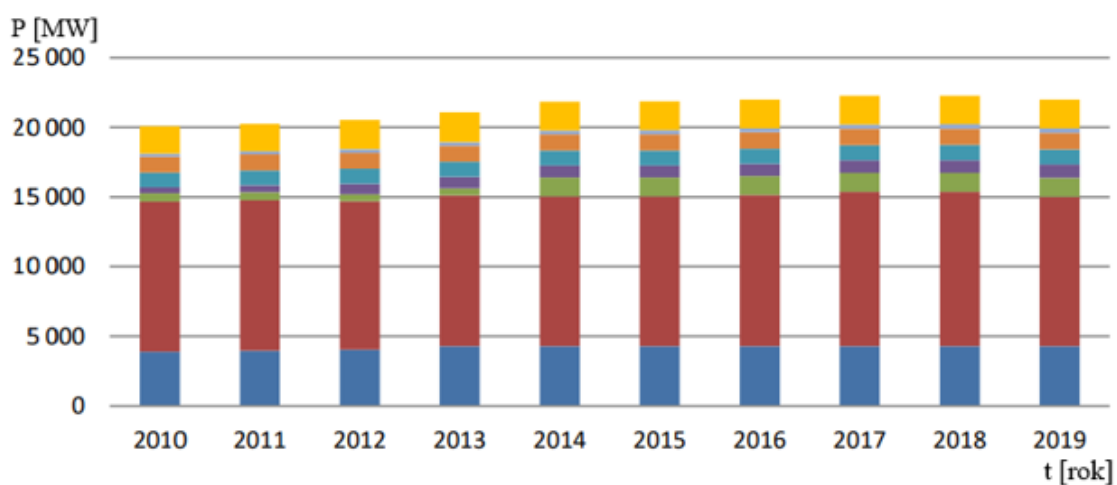


Obrázek 2.27: Instalovaný výkon elektráren ČR a podíl na výkonu dle zdroje²⁷

Z grafu na Obrázku 2.28 lze usoudit, že v průběhu uplynulých let od roku 2010 do roku 2019 se z hlediska instalovaného výkonu uhlých elektráren příliš nezměnilo. Ovšem v roce 2020 došlo 30. června k ukončení provozu první hnědouhelné elektrárny Prunéřov I, patřící skupině ČEZ, která do konce provozu zajišťovala krom elektřiny i dodávky tepla pro Chomutov či Klášterec nad Ohří. Elektrárna byla odstavena, jelikož patřila k největším producentům skleníkových plynů i v produkci prachu a plynů

²⁷ ERÚ. Čtvrtletní zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR, IV. čtvrtletí 2020. https://www.eru.cz/documents/10540/6616306/Ctvrtletni_zprava_2020_IV_Q.pdf/ef32acbe-8093-4abd-a2cc-43ae3470bf96

způsobujících kyselé deště. Jelikož byla elektrárna již zastaralá, snížení emisní stopy by vyžadovalo nákladnou modernizaci pro splnění emisních limitů. Na instalovaném výkonu jaderných elektráren se v uvedených letech též nic nezměnilo. V roce 2020 došlo ke shodě v plánu výstavby nového bloku jaderné elektrárny Dukovany, a to na rok 2029. K největší změně došlo z roku 2013 na rok 2014 v instalovaném výkonu paroplynových elektráren (PPE), které pracují za vyšší účinnosti než klasické uhelné elektrárny díky kombinaci Clausius-Rankinova cyklu s cyklem Braytonovým neboli tzv. plynovým, kdy se nejprve palivo (zemní plyn, topný olej) v plynové spalovací komoře, ze které spaliny proudí do plynové turbíny, která přeneše mechanickou energii do generátoru, a tím se vytvoří první část elektrické energie. Spaliny poté pokračují do spalínového kotle, kde navazuje již známý C-R cyklus. V prosinci roku 2014 byla do provozu uvedena paroplynová elektrárna Počerady disponující celkovým instalovaným výkonem 838 MW. Jelikož se ale v době výstavby snížila cena elektřiny, stal se provoz paroplynových elektráren méně ekonomickým z hlediska trvalého provozu. Používají se proto v období příznivé ceny elektřiny na trhu.

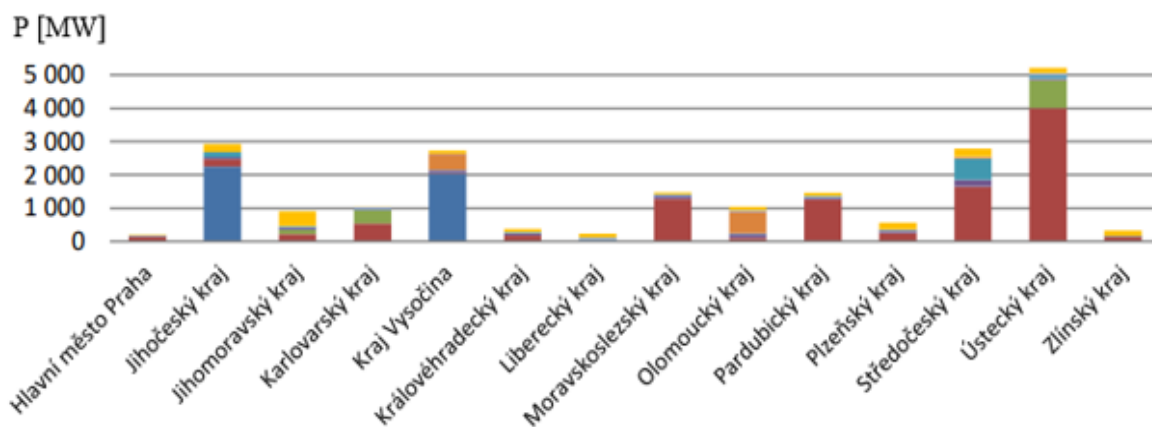


Obrázek 2.28: Vývoj instalovaného výkonu elektráren ČR²⁸

Elektrárny nejsou na území ČR rozprostřeny rovnoměrně. Každá elektrárna se nachází na místě, které je pro její činnost optimální nebo alespoň blízké optimu. Větrné elektrárny se nachází v místě, kde často proudí dostatečně prudký vítr na roztáčení turbíny. Fotovoltaické elektrárny vyžadují dostatečné množství světla dopadající

²⁸ ERÚ. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*. https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc

ideálně pod správným úhlem. Vodní elektrárny potřebují vodní tok s postačujícím vodním průtokem a spádem. A elektrárny založené na uzavřeném oběhu vody a vodní páry potřebují nejen přívod vody, ale také přísun paliva. Uhelné elektrárny se proto nacházejí v blízkosti uhelných dolů. Nerovnoměrnost rozložení je patrná z obrázku 2.29. Nejvíce uhelných elektráren je v krajích bohatých na uhlí, jako je kraj Ústecký či Moravskoslezský. Tento fakt je nutné zohlednit v otázce ukončení provozu uhelných elektráren, protože nejen, že přijdeme o zdroje tepla a elektřiny pro přilehlé okolí, ale také by ztráta zdrojů v krajích mohla způsobit pokles napětí v některých pilotních uzlech elektrizační soustavy.

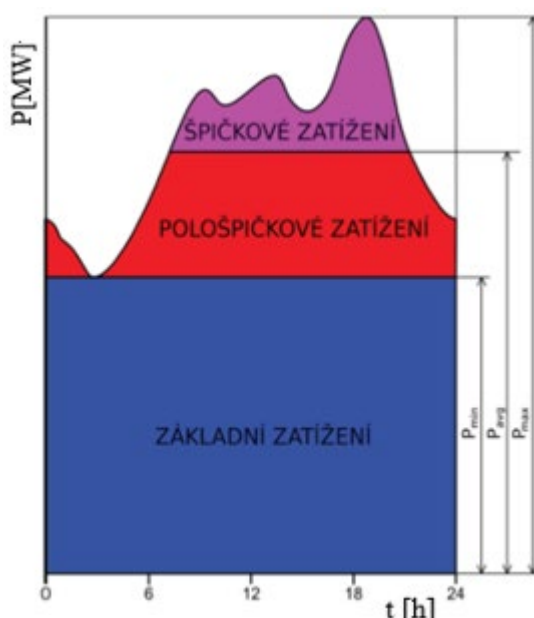


Obrázek 2.29: Rozložení instalovaného výkonu elektráren v krajích ČR²⁹

²⁹ ERÚ. Čtvrtletní zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR, IV. čtvrtletí 2020. https://www.eru.cz/documents/10540/6616306/Ctvrtletni_zprava_2020_IV_Q.pdf/ef32acbe-8093-4abd-a2cc-43ae3470bf96

2.3.2. Denní diagram zatížení

Denní diagram zatížení (DDZ) je graf závislosti výkonu P na čase t vztažené na elektrizační soustavu jako celek nebo jen na elektrárnu či výrobní závod. DDZ se dělí na tři typy zatížení – základní, pološpičkové a špičkové. Základní zatížení je část grafu nacházející se pod minimální hodnotou zatížení P_{min} . Pološpičkové zatížení je v grafu mezi hodnotami minimálního zatížení P_{min} a středního zatížení P_{avg} , přičemž střední zatížení je trvalé zatížení, při němž by bylo dosaženo stejné celkové plochy pod křivkou ve sledovaném období. Na obrázku 2.30 je sledovaným obdobím jeden den, tedy 24 hodin.

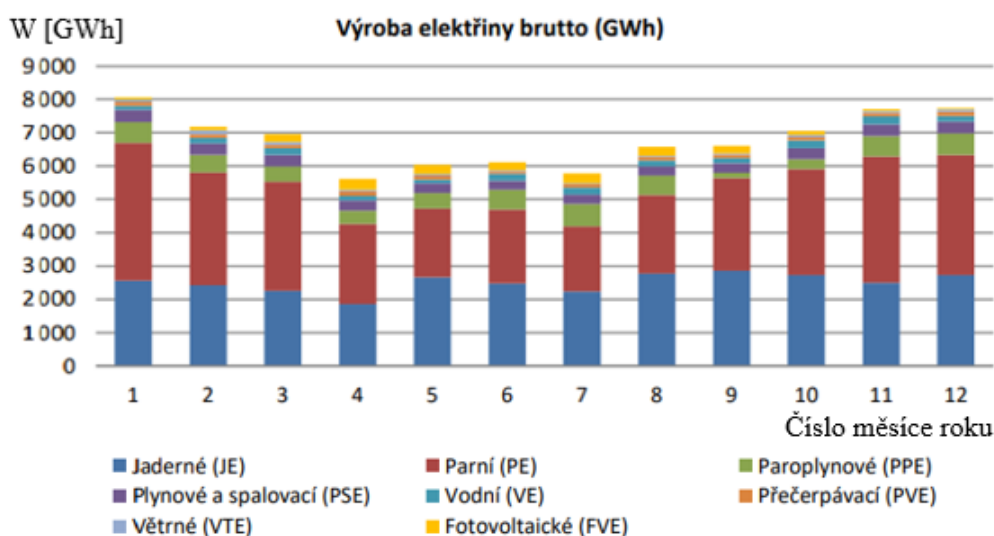


Obrázek 2.30: Denní diagram zatížení³⁰

Špičkové zatížení je poté část grafu mezi hodnotami zatížení středního P_{avg} a zatížení maximálního P_{max} . Na pokrytí každého z typů zatížení se využívá jiných zdrojů elektrické energie dle jejich vlastností. Pro pokrytí základního zatížení se využívají zdroje schopné pracovat trvale a relativně levně a jejich případná regulace je příliš pomalá. Takovými zdroji jsou primárně jaderné elektrárny. Dále se na pokrytí základního zatížení podílejí právě uhelné elektrárny a průtočné vodní elektrárny a povinně fotovoltaické i větrné elektrárny. Jaderné, uhelné a průtočné vodní elektrárny

³⁰ PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

pracují v ideálním případě 24 hodin denně a 7 dní v týdnu. Výjimkou jsou pak období údržby jednotlivých elektráren nebo například výměna paliva v jaderných elektrárnách. K tomu dochází obvykle v období letních měsíců, kdy se na výrobě elektrické energie více podílí elektrárny fotovoltaické a zároveň klesne spotřeba energie na vytápění, oproti zimním měsícům. Pološpičkové zatížení kryjí zdroje s lepší možností regulace a dražším provozem. Jedná se o starší uhelné elektrárny a akumulční vodní elektrárny. Špičkové zatížení tak pokrývají elektrárny se schopností rychlého náběhu na požadovaný výkon. Jsou to elektrárny paroplynové a přečerpávací vodní elektrárny, přičemž přečerpávací elektrárny čerpají vodu do horní nádrže v době, kdy je energie levná, obvykle v noci, a elektřinu vytváří a prodávají za draho, a to právě v období každodenních špiček zatížení. V grafu na obrázku 2.31 lze pozorovat podíl jednotlivých zdrojů na výrobě elektrické energie v každém z měsíců roku 2020. Trend z denního diagramu zatížení je patrný i zde. Jaderné elektrárny spolu s uhelnými se na výrobě elektřiny podílejí největší mírou, což je způsobeno velkým podílem instalovaného výkonu a také zmíněným způsobem provozu, kdy pracují nepřetržitě, není-li vyžadována údržba nebo jiný zásah podobného rázu. Vodní elektrárny vyrobí nejvíce energie v období tání sněhu. V roce 2020 se to odehrálo pravděpodobně v březnu. Fotovoltaické elektrárny za to vyrobí nejvíce elektřiny v letních měsících. Výkyvy ve výrobě paroplynových elektráren pravděpodobně vznikly rozdílnými denními špičkami v daných měsících.



Obrázek 2.31: Vyrobená elektřina dle zdrojů v měsících roku 2020³¹

³¹ ERÚ. Čtvrtletní zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR, IV. čtvrtletí 2020.

Z předchozích podkapitol vyplývá, že, dojde-li k ukončení uhelných elektráren, bude třeba nahradit nejen jejich velký podíl na instalovaném výkonu v ES ČR, ale také plně nahradit jejich funkci v pokrývání každodenního zatížení s co možná nejvyšší ekonomikou provozu.

2.3.3. Významné uhelné elektrárny ČR nad 100 MW výkonu

V České republice uhelné elektrárny vyrobenou elektřinu posílají do přenosové soustavy. Přenosová soustava má tři napěťové hladiny – 400 kV, 220 kV a 110 kV. Elektrárny tudíž musí vyrobenou elektřinu transformovat na jednu z uvedených hladin. Toho lze docílit transformátory, jejichž počet v elektrárně závisí na počtu elektrárenských bloků.

V tabulce (Tab. 2.1) jsou uvedeny významné uhelné elektrárny v ES ČR o výkonu vyšším než 100 MW, jejich celkový instalovaný výkon v MW, počet bloků, do kterých je výkon rozdělen, a úroveň napětí, na které elektrárny pracují, v kV.

Elektrárna	Instalovaný výkon (MW)	Počet bloků	Úroveň napětí (kV)
Chvaletice	820	4	400
Tušimice II	800	4	400
Dětmárovice	600	4	400
Mělník III	450	1	400
Mělník I	240	4	110
Mělník II	220	2	110
Hodonín	105	2	110

Tabulka 2.1: Významné uhelné elektrárny s výkonem nad 100 MW

V elektrárně Dětmárovice se spaluje uhlí černé, v Hodoníně se spaluje lignit, tedy mladé hnědé uhlí, a v ostatních uhelných elektrárnách ČR se využívá hnědé uhlí.

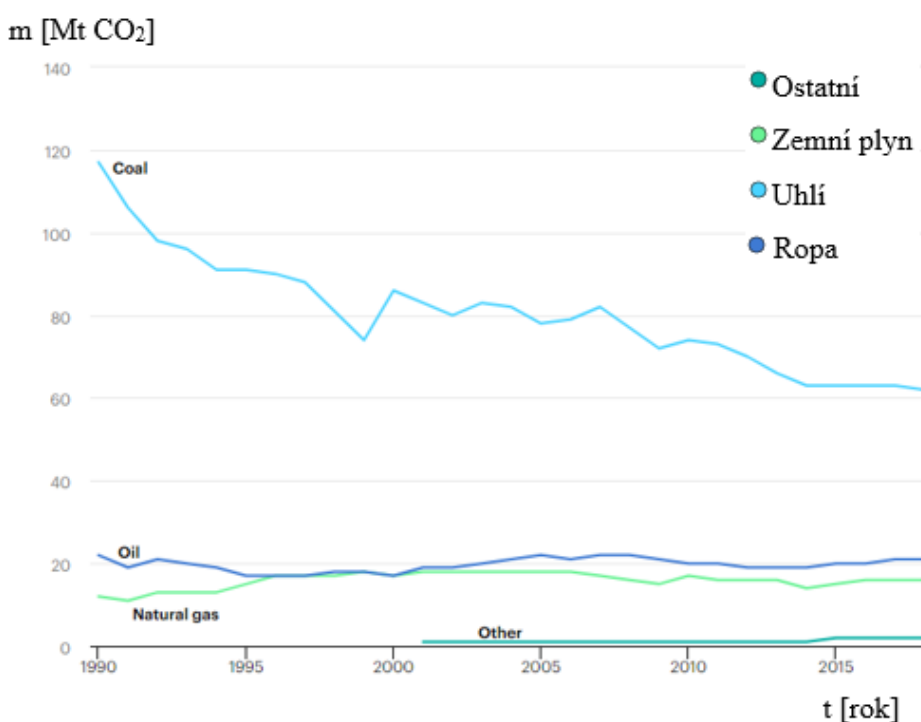
2.4. Negativa uhelné energetiky

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 předpovídáno, že zásoby uhlí České republiky dojdou úplně v roce 2055. Zásoby v posledním dole ovšem již nebude ekonomické ani efektivní rozvážet po republice do všech uhelných elektráren. Bude tedy nutné elektrárny nahradit s jistým předstihem.

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 polévatý prach. **Polévatý prach** se skládá z tuhých i kapalných částic dostatečně lehkých, aby byly přenášeny vzduchem. Částice polévatého prachu se vyznačují velikostí – malé částice menší než 2,5 mikrometrů ($\text{PM}_{2,5}$) a větší částice do 10 mikrometrů (PM_{10}). Polévatý prach tak představuje hrozbu pro lidi žijící v okolí elektrárny a jejich dýchací cesty. $\text{PM}_{2,5}$ 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 ozón (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. Expozice **oxidu siřičitému** (SO_2) emitovaného uhelnými elektrárnami je spojena se zvýšeným rizikem úmrtí na srdeční a plicní obtíže. Dále v atmosféře vytváří 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 uvádí

do pohybu 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. Na obrázku 2.33 je vývoj produkce CO₂ v ČR dle spalovaného paliva.



Obrázek 2.32: Vývoj celkových emisí CO₂ dle zdroje³²

V roce 2019 činily celkové emise CO₂ způsobené spalováním uhlí přibližně 62 Mt. Proti tomu například emise způsobené spalováním zemního plynu byly pouhých 17 Mt CO₂.

³² IEA, *Data and statistics*, 2021.
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=CZECH&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySource>

3. Evropa a uhelná energetika

Energetika převážné části Evropy se řídí vizí a nařízeními Evropské unie. Tuto část politiky EU, zabývající se změnou klimatu, spravuje *Útvar pro klima Evropské komise EU*. Dle Evropské komise je současná průměrná globální teplota o 0,85 °C vyšší než ke konci 19. století a za posledních 30 let teplota stabilně roste. Příčinnou oteplování, které lze pozorovat od poloviny 20. století, je velmi pravděpodobně lidská činnost. Dosáhne-li průměrná globální teplota zvýšení o více než 2 °C v porovnání s teplotou na konci 19. století, mohlo by to způsobit nebezpečné, ne-li katastrofické změny životního prostředí. To je důvod shody mezinárodního společenství na nutnosti udržet oteplení pod hranicí 2 °C.

Evropská komise zřídila v roce 2000 *Evropský program pro změnu klimatu (ECCP)*, aby pomohla určit nejekologičtější a nákladově nejefektivnější politiky a opatření, která lze přijmout na evropské úrovni ke snížení emisí skleníkových plynů. Bezprostředním cílem bylo pomoci zajistit, aby EU splňovala svůj cíl snížit emise. Program byl postaven na předchozích činnostech souvisejících s emisemi na úrovni EU, jako je například první strategie *Společenství pro omezení emisí CO₂ a zlepšení energetické účinnosti* (1991). Program byl koordinován řídicím výborem a rozvíjen prostřednictvím mnohostranného konzultačního procesu zahrnujícího Evropskou komisi, členské státy, průmysl a skupiny zabývající se životním prostředím.

První ECCP, tedy *ECCP I*, (2000 – 2004) zkoumal širokou škálu odvětví a nástrojů s potenciálem ke snížení emisí skleníkových plynů. Odvětví byla rozdělena do pracovních skupin, jako například dodávky energie, doprava, zemědělství či výzkum. Každá pracovní skupina určila možnosti a potenciál pro snížení emisí na základě nákladové efektivity, jakož i dopadů na další oblasti politiky a potenciálních přínosů, například pokud jde o energetickou bezpečnost a kvalitu ovzduší. Jednou z nejdůležitějších a nejinnovativnějších iniciativ, která vyplynula z prvního ECCP, je systém EU pro obchodování s emisemi, jenž je základním kamenem politiky EU v boji proti změně klimatu a jejím klíčovým nástrojem pro nákladově efektivní snižování emisí skleníkových plynů.

Druhý ECCP zahájený v roce 2005 zkoumal další nákladově efektivní možnosti snižování emisí skleníkových plynů. Předmětem bylo přezkoumání ECCP I s cílem usnadnit a podpořit provádění priorit stanovených v první fázi.

Později byl vydán tzv. *Klimatický a energetický balíček do roku 2020* (2020 climate and energy package), jenž je souborem zákonů, které měly zajistit, aby EU splňovala své cíle v oblasti klimatu a energetiky pro rok 2020. Balíček stanovil tři klíčové cíle, a to 20% snížení emisí skleníkových plynů (od úrovně z roku 1990), 20 % energie EU získané z obnovitelných zdrojů, 20% zlepšení energetické účinnosti. Cíle byly stanoveny vedoucími představiteli EU v roce 2007 a v roce 2009 byly schváleny v právních předpisech.

V prosinci roku 2019 byla prezentována tzv. *Zelená dohoda pro Evropu* (European green deal) s cílem vytvořit první klimaticky neutrální světadíl. Tato dohoda představuje plán opatření, která podpoří účinné využívání energetických zdrojů prostřednictvím přechodu na čisté oběhové hospodářství a zabrání ztrátě biologické rozmanitosti a sníží znečištění. V rámci této dohody byl v září 2020 představen *Plán dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030*. Jako cíl bylo stanoveno snížení emisí skleníkových plynů o 55 % oproti úrovni roku 1990. Tímto plánem učinila komise krok k zatím poslednímu cíli, a to k zajištění klimatické neutrality do roku 2050. Za tímto účelem byl Komisí předložen návrh *Evropského právního rámce pro klima* (European Climate Law), čímž má tento politický závazek získat právní závaznost. K dosažení tohoto ambiciózního cíle bude třeba přijmout opatření ve všech odvětvích hospodářství, nejen v energetice. To znamená především investovat do technologií šetrných k životnímu prostředí, podporovat průmysl ve vývoji inovací, zavádět čistší a levnější formy soukromé a veřejné dopravy a také dekarbonizovat odvětví energetiky. EU nabízí finanční podporu těm, které přechod na ekologickou ekonomiku nejvíc zasáhne.

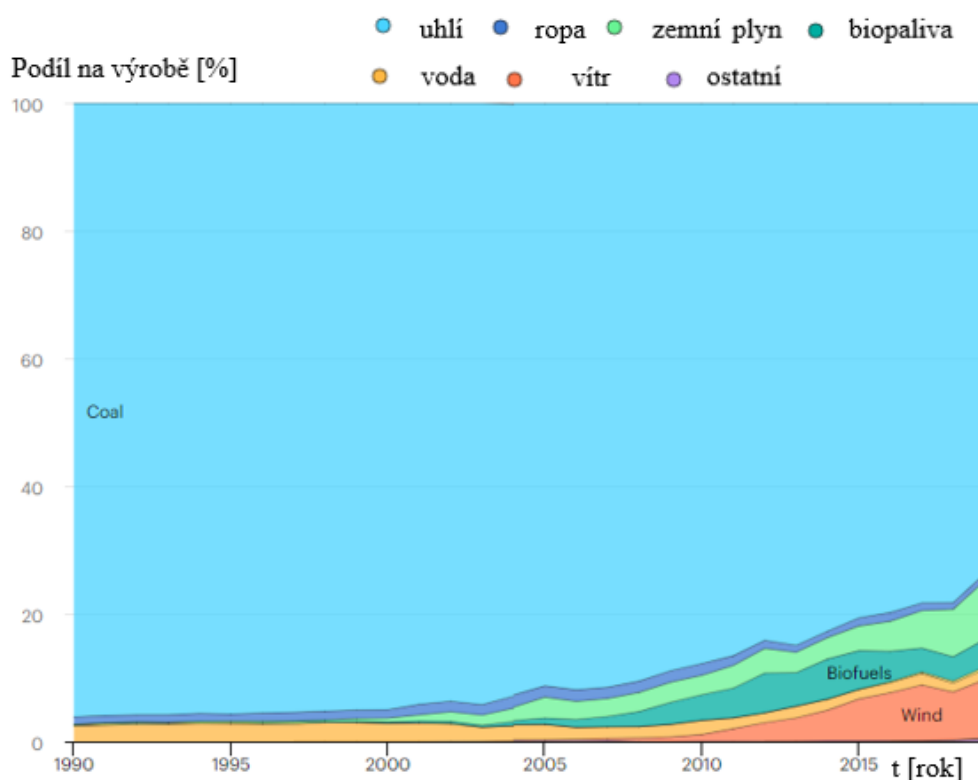
Evropská unie ovšem není jedinou nadnárodní institucí, která se zabývá životním prostředím a příspěvkem energetiky na globálním oteplování, jejíž členskými státy je mimo jiné i Česká republika. Další takovou institucí je například International Energy Agency (IEA), která spolupracuje s vládami a průmyslem států na utváření bezpečné a udržitelné energetické budoucnosti.

3.1. Polsko a uhelná energetika

Polsko, náš severovýchodní soused, má také velký podíl uhelných elektráren na výrobě elektřiny, a dokonce větší než Česká republika. Polsko je členem EU, stejně jako Česká republika, od roku 2004. Také je členským státem IEA.

3.1.1. Vývoj polské energetiky

Po pádu komunismu polská demokracie silně podporovala uhlí a jeho využití pro výrobu elektrické energie spalováním v uhelných elektrárnách. Výsledkem této podpory byl vznik velkého množství právě uhelných elektráren. Velké množství uhelných elektráren si žádá velké množství uhlí. Polsko je, díky velkým přírodním zásobám na jeho území, a to převážně v oblasti Slezska, druhým největším producentem vytěženého uhlí po Německu. Ovšem na rozdíl od Německa Polsko valnou většinu svého uhlí samo využije, a to především na výrobu elektrické energie.

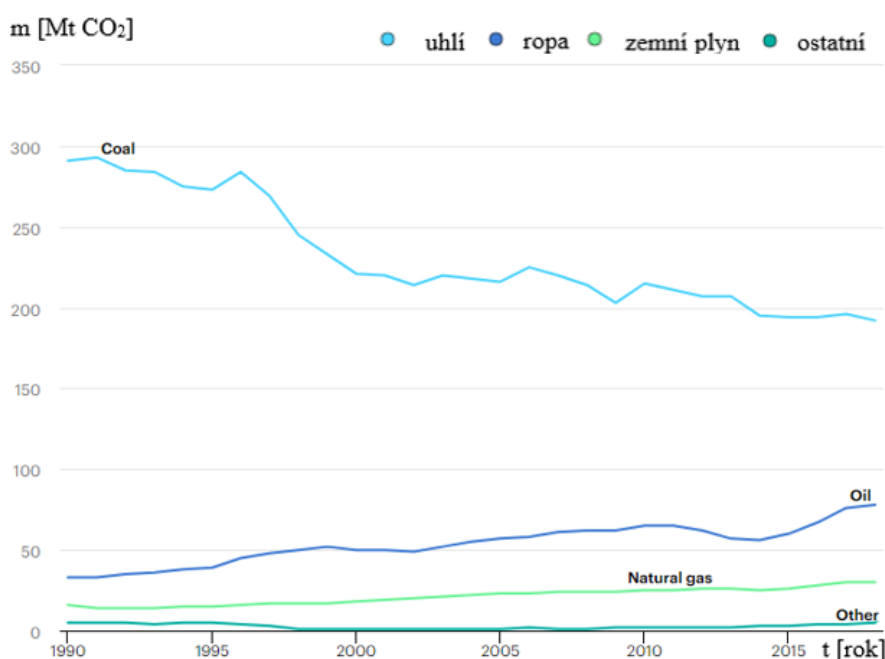


Obrázek 3.1: Vývoj podílu zdrojů na vyrobené elektrické energii v Polsku³³

³³ IEA, *Data and statistics*, 2021.

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=POLAND&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>

Na obrázku 3.1 je procentuální poměr vyrobené energie v Polsku dle zdroje mezi lety 1990 a 2019. Z obrázku je patrné, že po celou dobu je uhlí hlavním zdrojem pro výrobu elektrické energie. Postupně se k uhlí začínají přidávat další zdroje jako zemní plyn, biopaliva a krom těchto spalovaných paliv také obnovitelné zdroje a především vítr. Od roku 1982 byla budována také jaderná elektrárna, ale po havárii v Černobylu byla její stavba ukončena. V roce 2019 je tak uhlí stále dominantním zdrojem. V tomto roce bylo uhlí použito k výrobě přibližně 73 % celkové vyrobené energie. Velký podíl na vyrobeném výkonu má každoročně elektrárna Bełchatów stojící u stejnojmenného města. Jedná se o největší uhelnou elektrárnu v Evropě s instalovaným výkonem 5472 MW spalující hnědé uhlí. Ročně elektrárna vyrobí kolem 28 TWh. Další významnou uhelnou elektrárnou je například elektrárna Kozienice s instalovaným výkonem 2880 MW. Tyto obrovské výkony s sebou nese také velkou emisní stopu. Na obrázku 3.2 je vývoj celkových emisí CO₂ dle zdroje v Polsku.



Obrázek 3.2: Vývoj celkových emisí CO₂ dle zdroje v Polsku³⁴

Emise CO₂ vzniklé spalováním uhlí v Polsku klesly od roku 1990 přibližně o třetinu, a to především díky narůstajícímu podílu obnovitelných zdrojů. Stále ovšem emise činily něco málo pod 200 Mt, což je oproti 62 Mt CO₂ České republiky velké množství.

³⁴ IEA, *Data and statistics*, 2021.

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=POLAND&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySource>

3.1.2. Budoucnost polské energetiky

V současné době je výroba elektřiny v Polsku založena převážně na spalování tuhých paliv. Navíc je mnoho výrobních jednotek zastaralých, a tudíž neefektivních, neekonomických a nesplňujících ekologické normy, takže by měly být v budoucnu odstaveny z provozu. Polsko, které ročně spotřebuje přibližně 170 TWh elektřiny, tak musí určit směr, kterým se bude ubírat další rozvoj energetiky. Koncepce pokrytí domácí poptávky po elektřině nastínila vláda v návrhu energetické politiky Polska do roku 2040, kde bylo zdůrazněno, že nejdůležitějšími pilíři energetické politiky by měly být: energetická bezpečnost země, konkurenceschopnost a zlepšení energetické politiky hospodářství, jakož i omezení dopadu na životní prostředí. Polsko také spoléhá na import, aby pokrylo poptávku po elektřině. V roce 2018 činil dovoz elektřiny 5,7 TWh. K tomu je navíc závislé na dovozu ropy a zemního plynu z Ruska. V současné době existuje několik závazných dokumentů, které se v různé míře zabývají otázkami týkajícími se strategií a problémy rozvoje energetického odvětví. Dokumenty jsou následující:

- *Energetická politika Polska do roku 2030*: Dokument z roku 2009, považovaný za zastaralý.
- *Strategie pro energetickou bezpečnost a životní prostředí – perspektiva 2020*: Dokument přijatý v roce 2014, zaměřený na udržitelné řízení environmentálních zdrojů a poskytující národnímu hospodářství bezpečné a konkurenceschopné dodávky energie a zlepšení životního prostředí; problematika složení zdrojů energie v budoucnu však není podrobně diskutován.
- *Strategie odpovědného rozvoje do roku 2020 s vyhlídkami do roku 2030*: Vládní dokument z roku 2017, který komplexně pokrývá řadu hospodářských otázek v Polsku a nastiňuje dlouhodobou předvídatelnou energetickou politiku a odvětvové strategie a právní a institucionální předpisy prováděné na jejím základě.

Na konci roku 2018 vznikl za nové vlády dokument, který ne vždy zohlednil předchozí práce, *Energetická politika Polska do roku 2040 (PEP2040)*, který byl dále předmětem konzultací s veřejností. Tento dokument definuje 8 směrů politiky spolu s činnostmi zohledňující dynamické změny prostředí

- *Optimální využití domácích energetických zdrojů* (černého uhlí, hnědého uhlí, zemního plynu, ropy, biomasy a nezemědělského odpadu): Cílem je racionální využívání energetických zdrojů, inovace v těžbě a využívání a vyhledávání nových plynových a ropných polí.

- *Pokrytí poptávky po elektřině:* Cílem je pokrytí poptávky pomocí konvenčního uhlí spolu s jinými zdroji energie, do roku 2030 snížit podíl uhlí na výrobě na 60 %, do roku 2043 mít instalovaných 6 – 9 GW jaderné energie a krom jiného i rozvoj přenosových a distribučních sítí a zvýšení kvality distribuce.
- *Zavedení jaderné energie:* S cílem snížení emisí energetiky jako celku. V plánu je uvedení první jaderné elektrárny s kapacitou 1 – 1,5 GW do roku 2033 a dalších pěti do roku 2043 (celkem asi 6 – 9 GW).
- *Rozvoj obnovitelných zdrojů energie:* Cílem je nejen snížení emisní stopy energetiky, ale také diverzifikace výroby energie. Do roku 2030 by měl být alespoň 21% podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé roční spotřebě. Dalším záměrem je zavedení větrných elektráren na moři.
- *Zbylými směry jsou: Diverzifikace dodávek plynu a ropy a rozvoj síťové infrastruktury; Rozvoj trhů s energií; Rozvoj dálkového vytápění a kombinované výroby tepla a elektřiny; Zlepšení energetické účinnosti hospodářství.*

Energetická politika Polska je dlouho očekávaným dokumentem, jehož konečné přijetí očekávají všechny subjekty spojené s energetickým odvětvím. Nastínění preferovaných směrů rozvoje a jejich důsledné provádění vytváří možnosti pro nové investice do energetiky. Prezentovaný projekt nevysvětluje, jak budou externí investoři povzbuzováni k investicím do těchto projektů, ale stanoví pokyny pro státní subjekty v tomto odvětví a do značné míry snižuje investiční rizika. Najít investory však bude obtížné, protože je zřejmé, že nezbytné investiční výdaje jsou obrovské. Podle odhadů z roku 2013 byly investiční potřeby na výstavbu nových kapacit v tomto odvětví do roku 2050 vyhodnoceny na 80 – 127 miliard eur. Nižší hodnota je scénář, ve kterém jsou minimalizovány změny palivové struktury výroby energie při údržbě uhelných elektráren bez ohledu na požadavky na ochranu životního prostředí. Také není prokázáno, do jaké míry se směr vlády nakonec promítne do cen elektřiny. Je třeba rovněž poznamenat, že přijatá řešení, i když jdou správným směrem, nejsou plně v souladu s pokyny takzvaného "zimního balíčku" Evropské komise. Jejich provádění bude vyžadovat jednání na evropské úrovni. Zdá se však, že za polských podmínek není úplné opuštění uhlí v příštích dvaceti letech možné.

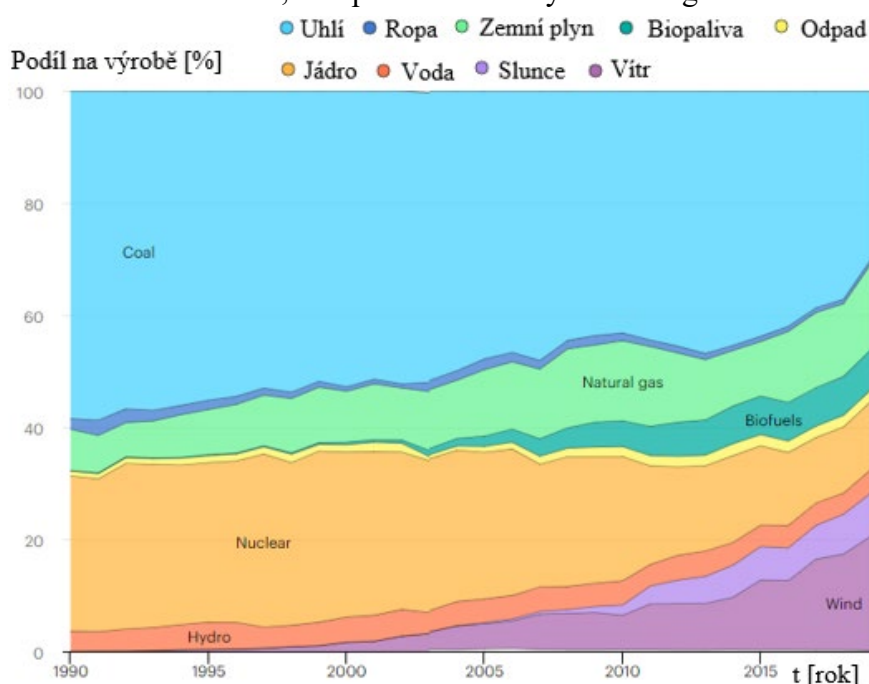
Oproti ČR je Polsko v současné době mnohem více závislé na uhlí, i kvůli absenci jádra. Do budoucna mají ale větší potenciál pro větrné elektrárny díky moři.

3.2. Německo a uhelná energetika

Německo, náš západní soused, je z části jedním ze zakládajících členů Evropského společenství uhlí a oceli, tedy předchůdce Evropské unie, vzniklého již roku 1952 po podepsání Pařížské smlouvy roku 1951 spolu s Francií, Itálií, Belgií, Nizozemskem a Lucemburskem. Zakládajícím členem bylo Německo pouze „z části“, jelikož v roce 1951 byla smlouva podepsána Spolkovou republikou Německo, která byla součástí západního bloku. Německo, jak ho známe dnes, vzniklo spojením v roce 1990. Německo je také, stejně jako Polsko i Česká republika, členským státem IEA, a to již od roku 1974 opět jakožto jeden ze zakládajících členů.

3.2.1. Vývoj německé energetiky

V posledních čtyřech desetiletích se německé dodávky energie přesunuly od jasné dominance uhlí a ropy k diverzifikovanějšímu systému. Po roce sjednocení v roce 1990 spolková vláda již podporovala vývoj způsobů získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Na obrázku 3.3 je patrná brzká integrace obnovitelných zdrojů do energetického mixu Německa, a to především za využití energie větru.

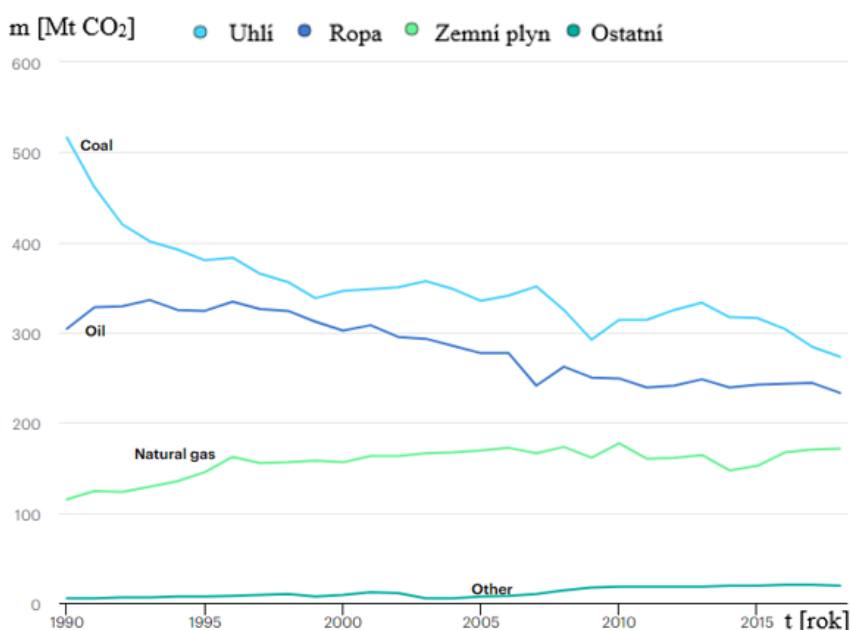


Obrázek 3.3: Vývoj podílu zdrojů na vyrobené elektrické energii v Německu³⁵

³⁵ IEA, *Data and statistics*, 2021.

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=GERMANY&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>

Větrné elektrárny se okolo roku 1995 přidaly k již existujícím vodním elektrárnám, které se procentuálně na vyrobené energii podíleli v celém sledovaném období – od roku 1990 do roku 2019 – téměř stejně. Solární elektrárny byly do mixu zapojeny po roce 2005 a od té doby jejich počet roste. V roce 2019 se na vyrobené elektřině podílely 8 %. Největší nárůst v instalovaném výkonu, a tak i v podílu vyrobené elektřiny ale měly právě větrné elektrárny, jež v roce 2019 vyrobily okolo 21 % celkové elektrické energie Německa, a to také díky rozvoji tzv. *offshore* větrných elektráren. Staly se tak druhým největším zdrojem elektrické energie. Naopak velký útlum zažívají jaderné elektrárny a také elektrárny uhelné. I přes tento útlum bylo stále v roce 2019 uhlí dominantním zdrojem s 30% podílem na vyrobené elektřině.



Obrázek 3.4: Vývoj celkových emisí CO₂ dle zdroje v Německu³⁶

Snížením instalovaného výkonu elektráren spalujících uhlí se ovšem Německu podařilo snížit emise způsobené tímto spalováním téměř na polovinu oproti změřené hodnotě z roku 1990 (viz Obrázek 3.4). Množství emisí CO₂ bylo v roce 2019 okolo 280 Mt, což je přibližně o 80 Mt CO₂ více než v případě Polska, a to pouze z uhelných elektráren. Na rozdíl od uhlí a jádra se s ústupem zemního plynu v Německu zatím nepočítá, i proto není dosud patrná téměř žádná změna, jak v podílu na vyrobené energii, tak v množství vyprodukovaných emisí využíváním zemního plynu.

³⁶ IEA, *Data and statistics*, 2021.

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=GERMANY&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySource>

3.2.2. Budoucnost německé energetiky

Německo se v dlouhodobém horizontu rozhodlo pro zásadní politické rozhodnutí směrem k udržitelným dodávkám energie. V září 2010 přijala federální vláda komplexní novou strategii, tzv. Energetickou koncepci (*Energy concept*), která stanovila zásady dlouhodobé integrované cesty energetiky do roku 2050 a která určila obnovitelné zdroje jako základní kámen budoucích dodávek energie. Konkrétně stanovila, aby do roku 2020 představovaly obnovitelné zdroje energie 35 % hrubé spotřeby elektřiny, čehož dosáhlo Německo dřív, když v roce 2018 to bylo již 38 % a v první polovině roku 2019 44 %. Německá vláda původně plánovala do roku 2030 dále zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na elektřině na 50 %, do roku 2040 na 65 % a do roku 2050 na 80 %. Podle nové koaliční smlouvy z března 2018 vláda nyní plánuje urychlit růst a do roku 2030 dosáhnout podílu 65 % elektřiny z obnovitelných zdrojů. Energetická koncepce byla postavena na úspěchu předchozích politik, zejména integrovaného energetického programu v oblasti klimatu z roku 2007, ale přijala ambicióznější cíle. Spolková vláda záměrně uvedla Německo na cestu k tomu, aby se stalo jednou z energeticky nejefektivnějších ekonomik světa a ekonomik šetrných k životnímu prostředí, a zároveň se snaží udržet dostupné ceny energií a vysokou hospodářskou úroveň.

Klíčovým rysem Energetické koncepce byl i návrh na prodloužení provozní životnosti německých jaderných elektráren v průměru o 12 let. Po jaderné havárii ve Fukušimě v březnu 2011 bylo ale přijato podporované politické rozhodnutí, které mělo za cíl urychlit postupné ukončení německých jaderných elektráren do roku 2022 počínaje okamžitým uzavřením osmi nejstarších elektráren. Toto rozhodnutí v kombinaci s politickým cílem dalšího pokroku směrem k nízkouhlíkovému energetice mělo významný dopad na výhled německé energetické politiky, který vyústil v přijetí druhého balíčku opatření potřebných k urychlení transformace energetiky.

Tento druhý energetický balíček, který dokončil to, co je obecně známé jako *Energiewende*, obsahoval sedm legislativních opatření na podporu obnovitelné energie a rozšíření distribuční soustavy, podporu energetické účinnosti, financování reforem a zvrácení předchozích rozhodnutí o prodloužení životnosti jaderných elektráren. Rozsah německých ambicí spolu s velikostí a energetickou náročností jeho hospodářství a umístěním v srdci evropského energetického systému znamenají, že má-li transformace energetiky Německa udržet rovnováhu mezi udržitelností, cenovou dostupností a

konkurenceschopností, jsou nutná další politická opatření. Rozhodnutí tohoto rozsahu týkající se německé energetické politiky mají navíc nevyhnutelně dopad daleko za hranicemi země a musí být přijata v rámci širšího rámce evropské energetické politiky a v úzké konzultaci se svými sousedy. Energiewende je dosud určujícím rysem budoucnosti německé energetiky a je již téměř deset let hlavním plánem transformace německé energetické soustavy na účinnější, která bude do konce roku 2022 zásobována převážně obnovitelnými zdroji energie a bez výroby elektřiny z jaderné energie. Kromě toho se plánuje úplné vyřazování uhlí do roku 2038 dílčími cíli vyřadit z provozu do roku 2022 nejméně 12,5 GW instalovaného výkonu uhelných elektráren a do roku 2030 celkem 25,6 GW. Německu se přesto nedaří dosáhnout svých ambicí v oblasti změny klimatu a není na dobré cestě ke splnění svých krátkodobých cílů v oblasti snižování emisí. Tyto cíle byly uvedeny v dokumentu *Climate Action Plan 2050*. Ve srovnání s rokem 1990 jsou klíčovými cíli dosáhnout nejméně 40% snížení emisí skleníkových plynů do roku 2020, 55% snížení do roku 2030, 70% snížení do roku 2040 a 80 – 95% snížení do roku 2050, kdy země očekává, že bude převážně emisně neutrální. Tyto dlouhodobé cíle jsou doplněny krátkodobými cíli v oblasti spotřeby energie a energetické účinnosti a dodávek energie z obnovitelných zdrojů.

Problémem je také, že většina větrné kapacity se nachází v severním Německu, zatímco většina poptávky pochází z metropolitních a průmyslových oblastí na jihu a západě země. Severní státy tak čelí přebytkům elektřiny a jižní státy zažívají deficity, což je nerovnováha, která se zhorší s odstavením posledních jaderných elektráren na jihu a severozápadě. Nerovnováha vyústila v opatření, kdy na jihu provozovatelé sítí nařizují elektrárnám, aby zvýšily výkon, aby kompenzovaly chybějící elektřinu a na severu provozovatelé sítí nařizují výrobcům, aby přerušili produkci, aby se zabránilo přetížení, což stojí spotřebitele stovky milionů eur ročně. Nezbytností je tedy lepší propojení severu a jihu země. Vzhledem k cílům vlády v oblasti životního prostředí a klimatu bude nutné přidat obnovitelnou kapacitu, která spolu s kapacitou zemního plynu nahradí jaderné a poté uhelné elektrárny, a více se zaměřit na přenosové soustavy a integraci soustav obnovitelných zdrojů energie.

Německo je oproti ČR z hlediska transformace a diverzifikace energetiky dále. Plánované ukončení jádra ale zapříčiní větší provoz uhlí do jeho nahrazení plynem a OZE.

4. Legislativní úprava využívání uhlí v energetice České republiky

Česká republika je členským státem EU od roku 2004, a tak legislativa v oblasti uhelné energetiky České republiky závisí na legislativě a vizi EU. Uhelnou energetiku a energetiku obecně v České republice ovšem nespravuje pouze jeden orgán, ale vícero institucí, které se větší či menší měrou podílejí na současné podobě a budoucím vývoji energetiky.

4.1. Instituce

Hlavním orgánem spravující rozvoj energetiky České republiky je *Ministerstvo průmyslu a obchodu* (MPO). Zajišťuje také, aby Česká republika splňovala své závazky vyplývající z jejích mezinárodních dohod a smluv. MPO monitoruje dodržování norem bezpečnosti a spolehlivosti elektrické a plynárenské sítě, provádění ochranných opatření v případě nouze a zvládnání případné náhlé krize na trhu s energií. „*Sekce energetiky* připravuje státní energetickou koncepci a s ní související strategické dokumenty. Dále zajišťuje soulad strategických dokumentů v oblasti energetiky s koncepcí hospodářské strategie a politiky vlády a hospodářsko-politickými procesy v Evropské unii. Zabezpečuje také výkon státní správy v oblasti elektroenergetiky, plynárenství, kapalných paliv, teplárenství a v oblasti jaderné energie (včetně koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem). V oblasti legislativní sekce energetiky zodpovídá za energetický zákon, zákon o hospodaření energií a zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů.“³⁷

Pod MPO spadá také *Státní energetická inspekce* (SEI). SEI dohlíží na dodržování energetického zákona, zákona o energetickém managementu a zákona o cenách.

Další institucí podílející se na legislativě energetiky je *Ministerstvo životního prostředí* (MŽP), které odpovídá za ochranu životního prostředí, včetně rozvoje všech hlavních

³⁷ MPO. *Sekce energetiky*, 2021. <https://www.mpo.cz/cz/energetika/>

environmentálních politik a právních předpisů. V odvětví energetiky se MŽP snaží minimalizovat dopad spotřeby energie, podporovat dodávky a využívání energie a podporovat udržitelný rozvoj.

Dne 30. července 2019 vznikla usnesením vlády č. 565 *Uhelná komise* jako poradní orgán vlády. Komisi předsedají ministr průmyslu a obchodu MPO a ministr životního prostředí MŽP. Spolu s nimi tvoří komisi dalších 17 členů. Hlavním úkolem Uhelné komise je vypracovávat doporučení pro vládu ohledně potřebě a útlumu hnědého uhlí a ohledně změn energetického mixu České republiky.

V roce 2001 byl zákonem č. 458/2000 Sb. – *energetickým zákon* – vytvořen *Energetický regulační úřad* (ERÚ). ERÚ spravuje a reguluje odvětví energetiky. Dále vydává licence výrobcům energie i obchodníkům s energií, určuje míru podpory obnovitelných zdrojů energie i chrání spotřebitele. Odbor elektroenergetiky ERÚ reguluje elektroenergetická odvětví v České republice.

Na základě podnětů od MPO, MŽP či Uhelné komise může poté vláda České republiky navrhnout nové zákony, změnu či náhradu zákonů již vytvořených v oblasti energetiky.

4.2. Legislativa

Využívání uhlí je v České republice legislativně spravováno již z hlediska získávání tohoto nerostu. Prvním ze zákonů byl zákon č. 44/1988 Sb. z 19. dubna 1988, též známý jako *zákon o ochraně a využití nerostného bohatství* neboli tzv. *horní zákon*. Horní zákon byl vydán za účelem ochrany a hospodárného využívání veškerého nerostného bohatství státu, a tím i hnědého i černého uhlí. V zákonu je mimo jiné stanovena *Surovinová politika v oblasti nerostných surovin a jejich zdrojů*, jakožto hlavní strategický dokument pro ochranu a využívání nerostného bohatství. Tento dokument je přijímán na období nejdéle 25 let po schválení vládou dle návrhu ministra MPO a jeho plnění vyhodnocuje MPO jednou za 5 let. Zákon dále určuje *úhradu z dobývacího prostoru* ve výši součinu sazby úhrady a plochy dobývacího prostoru zaokrouhlené na celé hektary nahoru, jejímž poplatníkem je držitel tohoto prostoru, a vyplácí ji státu. Stejně tak je státu vyplácena *úhrada z vydobytých nerostů*, která je dána součinem množstvím vydobytého nerostu a sazby, jež určila vláda v nařízení č. 98/2016 Sb. z 6. dubna 2016 – *Nařízení vlády o sazbách úhrady*. Sazba pro vydobyté černé uhlí činí 9,90

Kč bez DPH za tunu. Sazba pro uhlí hnědé dobývané hlubinně činí 3,88 Kč DPH za tunu. Sazba pro uhlí dobývané povrchovým způsobem je 1,18 Kč bez DPH za GJ, což pomocí součinu sazby s výhřevností hnědého uhlí 17,6 GJ na tunu³⁸ lze převést na sazbu 20,77 Kč bez DPH za tunu.

Dalším zákonem spravující získávání uhlí je zákon č. 61/1988 Sb. – *Zákon České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě* – z 21. dubna 1988. V části páté tohoto zákona je stanovena *Státní báňská správa*, jejímž ústředním orgánem je Český báňský úřad sídlící v Praze, a její činnost a působnost. Jejím primárním cílem je vrchní dozor nad dodržováním tohoto zákona i horního zákona a předpisů vydaných na jejich základě. S dozorem Českému báňskému úřadu napomáhají obvodní báňské úřady, které mimo jiné provádějí prohlídky objektů a pracovišť a zjišťují jejich stav a případně nařizují odstranit zjištěné nedostatky či závady.

Významným legislativním dokumentem pro všechna odvětví energetiky je zákon č. 458/2000 Sb. – *Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)* – ze dne 29. prosince 2000. „Tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje v návaznosti na přímo použitelné předpisy Evropské unie podmínky podnikání a výkon státní správy v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství, jakož i práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené.“³⁹ Tento zákon mimo jiné určuje podmínky pro udělení licence výrobcům i obchodníkům, jimiž jsou plná svéprávnost, bezúhonnost a odborná způsobilost. Licence jsou pro výrobce energií či plynu vydávány nejvýše na 25 let, pro distributory energií, přepravce a uskladňování plynu a operátora trhu na dobu neurčitou a pro obchodníky s elektřinou i plynem na dobu 5 let. ERÚ je pověřen pro dozor nad držiteli licence a v případě porušení podmínek může licenci i odebrat.

³⁸ SEVEROČESKÉ DOLY a.s. *Katalog hnědého uhlí pro rok 2021*, 2021. http://www.sd-bilinskeuhli.cz/dokumenty/Katalog_2021.pdf

³⁹ ČESKO. § 1 odst. 1 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458#p1-1>

Uhelných elektráren se týká v dílu 1 hlavy II – Elektroenergetika – speciálně, že musí informovat účastníky trhu o vyprodukovaném množství emisí CO₂ při výrobě elektřiny v uplynulém roce. V případě, že uhelná elektrárna je také výrobcem energie tepelné, týká se jejího provozu obsah dílu 3 hlavy II – Teplárenství –, v němž je mimo jiné uvedena například povinnost uzavřít smlouvu o dodávce tepelné energie s každým, kdo o to požádá, je-li dodávka v souladu s územní energetickou koncepcí.

Uhelné elektrárny, stejně jako každý spalovací zdroj, mají povinnost na konci roku odevzdávat státu tzn. *emisní povolenky*. Jedna emisní povolenka umožňuje jejímu vlastníku vypustit jednu tunu emisí CO₂ do ovzduší. Na každý rok dostane každý zahrnutý spalovací zdroj množství emisních povolenek určené MŽP. Na konci roku musí odevzdat zpět státu konkrétní počet povolenek v závislosti na celkovém množství emisí v uplynulém roce. Má-li jich provozovatel zdroje přebytečné množství, může zbylé emisní povolenky prodat na evropském trhu, a získat tak finanční zdroje navíc. Má-li jich nedostatek, je povinen za každou tunu emisí nepokrytou emisní povolenkou zaplatit pokutu a k tomu v následujícím roce za tyto emise vykázat povolenky. Emisní povolenky vytvořila EU jako prostředek, jenž dopomůže ke snížení celkových emisí členských států. Cena emisní povolenky ke dni 12. května 2021 dosáhla ceny 53⁴⁰ eur, tedy přes 1300 Kč, přičemž ještě na začátku roku 2021 se její cena pohybovala okolo 34 eur, tedy okolo 860 Kč. Tento neočekávaný nárůst ceny emisní povolenky by mohl znamenat dřívější konec využívání uhlí, jelikož, bude-li tento nárůst pokračovat, by výrazně klesla ekonomika provozu elektráren produkujících emise skleníkových plynů, a tak i využívání uhlí.

⁴⁰ EMBER. *Daily EU ETS carbon market price (Euros)*, 2021. <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>

5. Možné scénáře uhelné energetiky v České republice a jejich dopady na výrobu elektřiny

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 je zde limitováno především klimatickými podmínkami, které nejsou optimální a jeho potenciál je dán zejména plochou střech rodinných domů a velkých komplexů (např. skladů) a účinností technologie fotovoltaických panelů. Odhad v rámci SEK činí cca 5800 MW instalovaného výkonu. 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 než Německo, ale i například Polsko.

Vnitrostátní plán v oblasti energetiky a klimatu vychází z 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, *zvýšování podílu*

OZE na hrubé tuzemské spotřebě, 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, protože bude třeba nejen stávající instalovaný výkon, ale také 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, regulatorních a behaviorálních opatření.

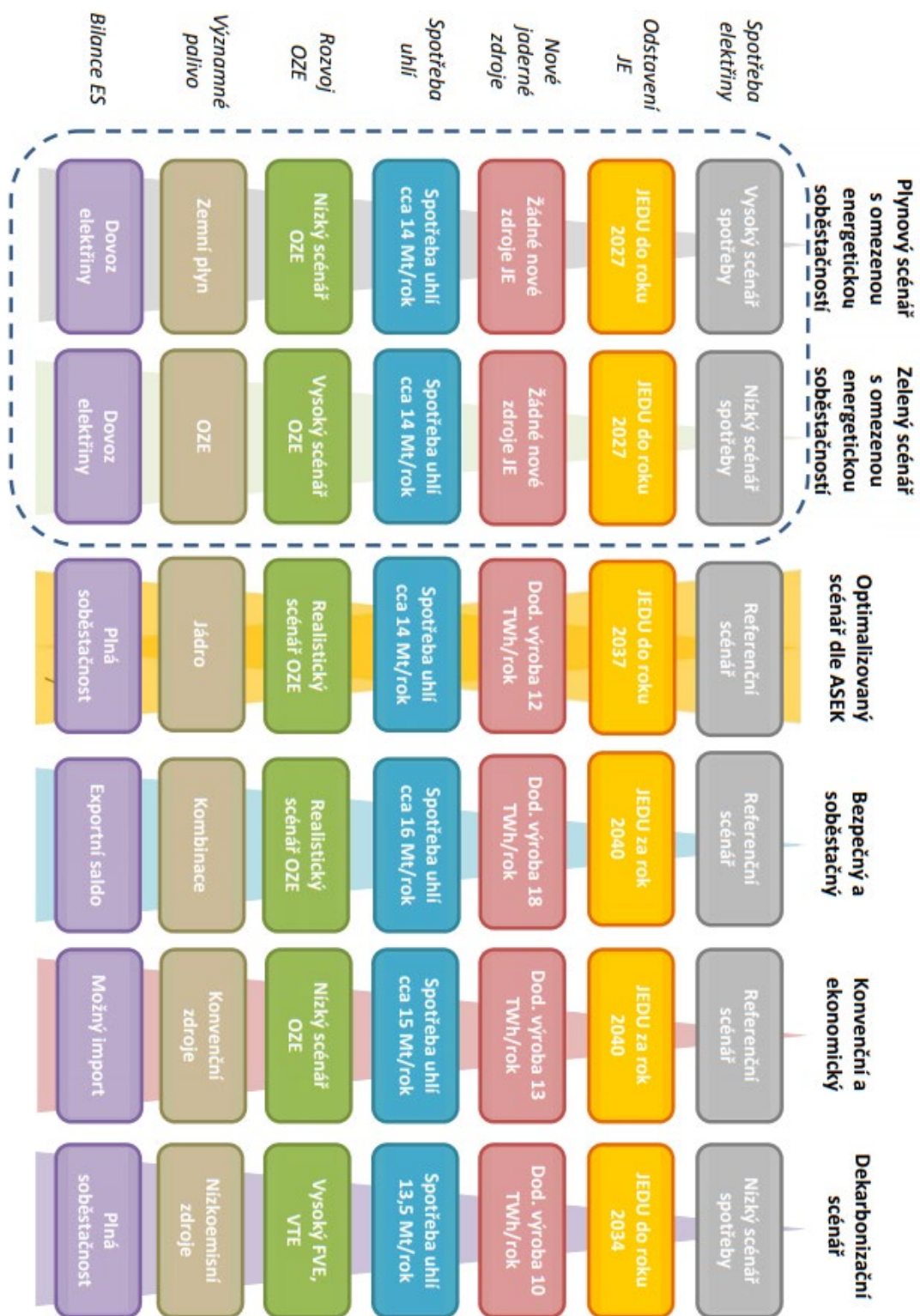
Pro vládu České republiky vyhotovuje možné alternativní postupy do budoucna v oblasti uhelné energetiky její poradní orgán, tedy Uhelná komise, skládající se z odborníků zastupující různé orgány či organizace v této oblasti se pohybující. Pro komisi vznikly tři pracovní skupiny: 1) skupina pro stanovení 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 a 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 1) *energetická soběstačnost*, která je definovaná pokrytím minimálně 90 % národní spotřeby, tzn. import elektrické energie může dosáhnout maximálně 10 % národní spotřeby a 2) *bezpečnost provozu elektrizační soustavy ČR*, která je definovaná pomocí indikátoru LOLE (loss of load expectancy), jež udává počet hodin ročně, během nichž se statisticky očekává, že nabídka nepokryje poptávku nehledě na to v jaké míře, 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)* provozu elektráren na výrobu elektřiny a c) *kumulované emise CO₂* na výrobu elektřiny v období 2020-2050.

5.1. Scénáře

Oba vládní dokumenty i výstupy Uhelné komise zmíněné na začátku této kapitoly nastiňují možné scénáře vývoje energetiky České republiky. Těmto scénářům se bude věnovat právě tato podkapitola.

5.1.1. Scénáře Státní energetické koncepce

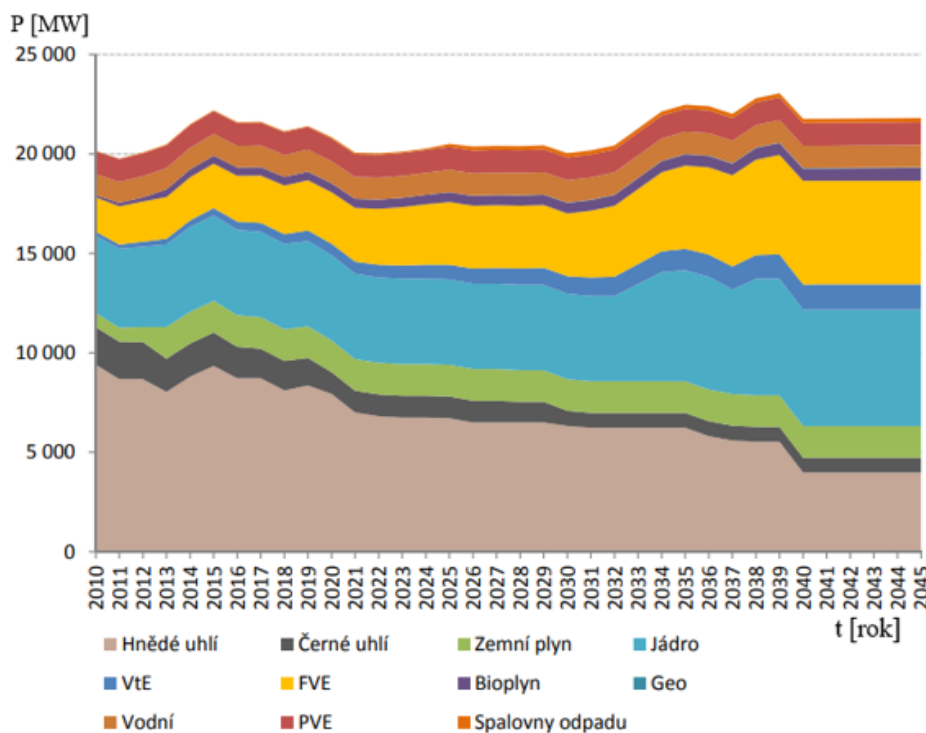
Scénáře SEK jsou uvedeny na obrázku níže spolu se základními specifiky dle vybraných kritérií, kterými jsou: spotřeba elektřiny, odstavení dožívajících bloků jaderné elektrárny v Dukovanech, nové jaderné zdroje, spotřeba uhlí, rozvoj OZE, významné palivo a bilance import/export ES. Tvorbu scénářů ovlivňovalo několik vstupů, a to již přijaté závazky, ať už národní nebo evropské, vývoj spotřeby elektřiny, která obecně bude narůstat, provoz jaderných elektráren a v návaznosti na jejich odstavování výstavba nových bloků, vývoj cen zdrojů, potenciál energetického využívání odpadů a dostupnost OZE a černého i hnědého uhlí. Nalevo od optimalizovaného scénáře jsou scénáře s vývojem negativního rázu a napravo naopak převážně soběstačné a bezpečné scénáře splňující hlavní cíle SEK.



Obrázek 5.1: Scénáře Státní energetické koncepce⁴¹

⁴¹ MPO. *Státní energetická koncepce*, 2014. https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Statni-energeticka-koncepce-_2015_.pdf

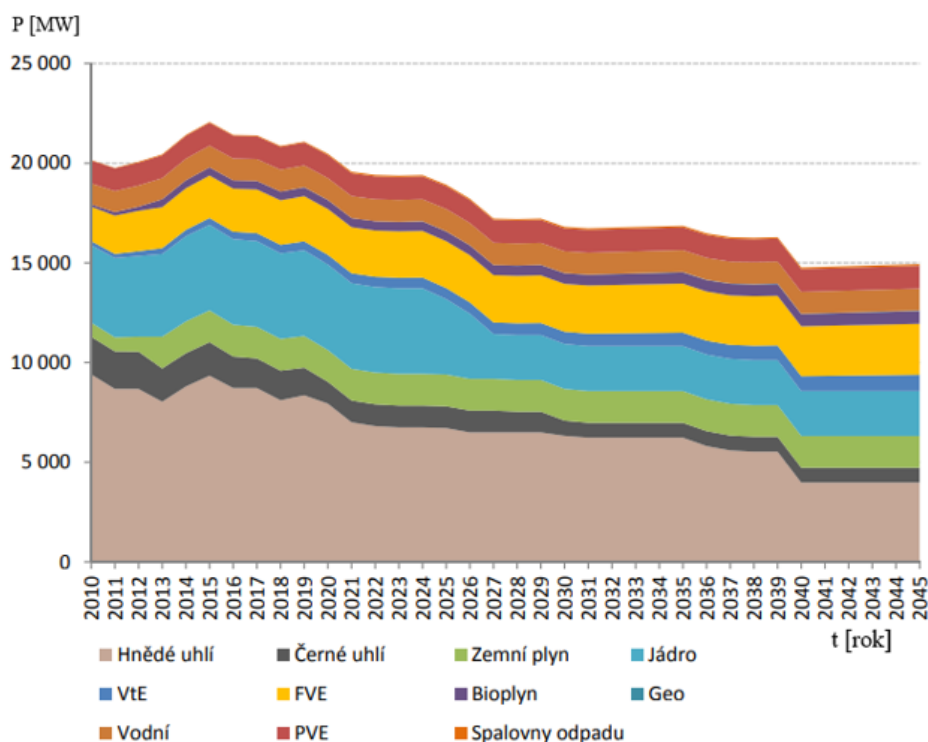
Optimalizovaný scénář SEK byl vytvořen jako model ideálního vývoje a odchylky od jeho prognóz má MPO v pravidelných intervalech vyhodnocovat. Jedním z předpokladů vývoje tohoto scénáře bylo zachování emisních povolenek a nárůst jejich ceny od roku 2020 dále za účelem splnění emisních cílů pro rok 2030. Vývoj struktury instalovaného výkonu zdrojů v ES ČR dle optimalizovaného scénáře je na obrázku níže (Obrázek 5.2). Scénář vede k dlouhodobě udržitelné energetice pomocí ekonomického využívání převážně tuzemských zdrojů, jako vodní, fotovoltaické elektrárny i spalovny odpadu a v roce 2045 stále i uhelné elektrárny, což se projeví v bezpečnější energetice. Kombinací tuzemských zdrojů s rozvojem jaderné energetiky lze dosáhnout energetické nezávislosti a ČR by tak mohla pokračovat v roli vývozce elektrické energie. Dále je z obrázku patrný nárůst celkového instalovaného výkonu v průběhu let, a to i přes útlum uhlí. Podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě elektrické energie by dle tohoto scénáře v roce 2045 dosáhl hodnoty 21 %. Emise ze spalovacích procesů by naopak klesly, a to téměř o polovinu (44 %) oproti hodnotě v roce 2005 a o přibližně 57 % oproti hodnotě v roce 1990. Od roku 2015, kdy byl schválen tento model v rámci SEK, ovšem EU zvýšila ambice na dekarbonizaci nejen energetiky.



Obrázek 5.2: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle optimalizovaného scénáře SEK⁴²

⁴² MPO. *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce*, 2014. <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Doplnujici-analyticko-material-k-SEK.pdf>

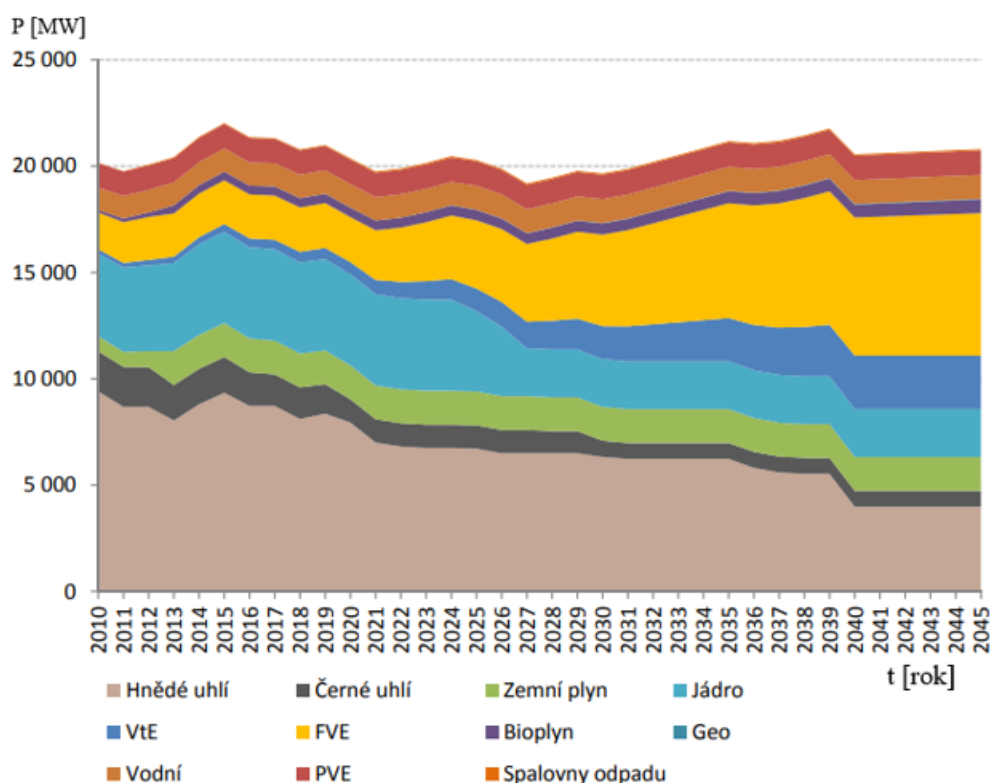
Plynový scénář s omezenou energetickou soběstačností by podle SEK mohl nastat v důsledku nezahájení výstavby nových jaderných bloků do roku 2020 a neprodloužení certifikace čtyř stávajících jaderných bloků jaderné elektrárny Dukovany. Tento úpadek jaderné energetiky by měl za důsledek energetickou nesamostatnost ČR a elektřinu by bylo nutné dovážet ze zahraničí, a to s předpokladem, že bude stále odkud dovážet a že nedojde v ES Evropy k nedostatku. Stávající uhelné zdroje by byly odstavovány po uplynutí jejich životnosti. Po dosažení územně ekologických limitů a rozpadu soustav zásobování teplem dle tohoto scénáře dojde k urychlené náhradě uhelných zdrojů plynovými díky jejich relativně nízkým investičním nákladům a krátké době výstavby, a to jak v teplárenství, tak v elektroenergetice. Tak by se ČR stala velmi závislou i na importu zemního plynu, což by mělo i velký dopad na obchodní a platební bilanci ČR. Vývoj struktury instalovaného výkonu ES ČR dle plynového scénáře je na obrázku 5.3. Z obrázku je patrný velký pokles celkového instalovaného výkonu v čase. Roční emise ze spalovacích procesů CO₂ by v roce 2045 byly poloviční oproti hodnotě v roce 1990, tedy 80 milionů tun CO₂.



Obrázek 5.3: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle plynového scénáře SEK⁴³

⁴³ MPO. *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce*, 2014. <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Doplnujici-analyticky-material-k-SEK.pdf>

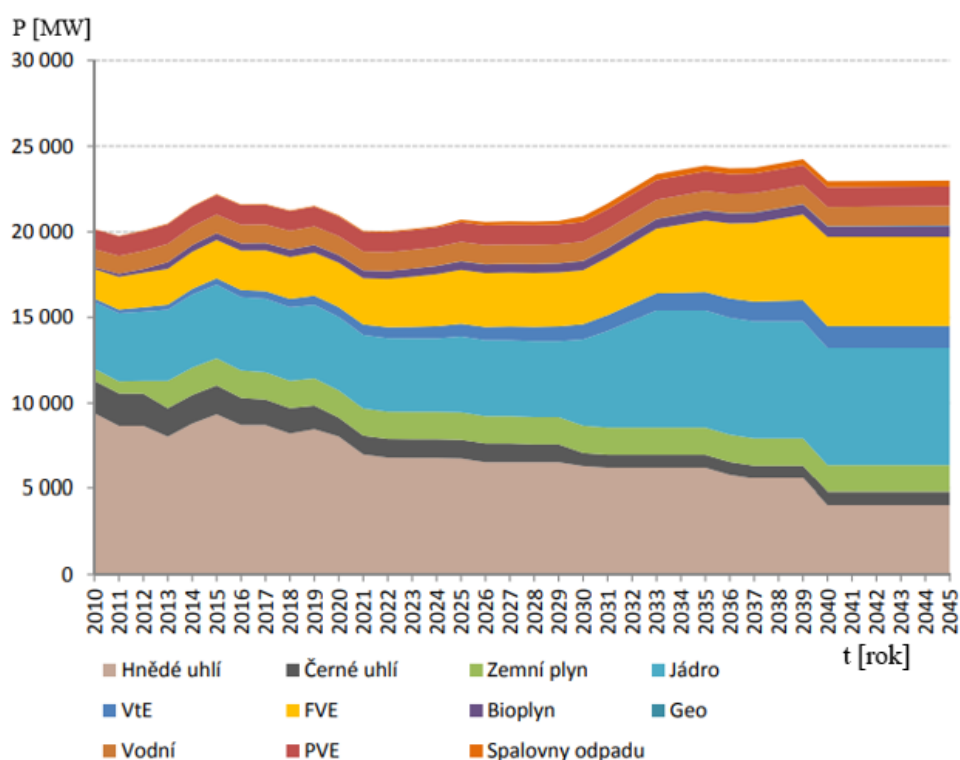
Zelený scénář s omezenou energetickou soběstačností spočívá v kladeném důrazu na dekarbonizaci a velký rozvoj OZE. Stávající zdroje se tak odstavují i před uplynutím jejich životnosti se záměrem o rychlejší snížení emisní stopy. Dále dle tohoto scénáře není podporován rozvoj jaderné energetiky a také jaderné elektrárny jsou odstavovány s předstihem. Zbylý energetický mix je složen tak, aby pokryl minimálně tu část spotřeby elektřiny, kterou již nebude možné importovat. Zbytek bude dozdvořován zemním plynem s větším využitím než pro pokrytí špiček, jak je tomu dnes. Tento scénář by ovšem nesplnil podmínky pro bezpečnost a konkurenceschopnost energetiky. Vývoj struktury instalovaného výkonu ES dle zeleného scénáře SEK je na obrázku níže (Obrázek 5.4). V grafu je patrný důraz na rozvoj OZE, primárně na fotovoltaické a větrné elektrárny, a stejně tak úpadek jádra. Podíl OZE na konečné spotřebě by tak dosáhl hodnoty vyšší než 24 %. Emise CO₂ by v roce 2045 dle tohoto scénáře klesly na 70 milionů tun, tedy přibližně o 57 %.



Obrázek 5.4: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle zeleného scénáře SEK⁴⁴

⁴⁴ MPO. *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce*, 2014. <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Doplnujici-analyticko-material-k-SEK.pdf>

Bezpečný a soběstačný scénář maximalizuje energetickou bezpečnost energetiky, čehož tento scénář dosáhne kombinací sníženého výkonu uhlí, OZE a jádra. Rozvoj OZE by byl uskutečněn pouze do limitu bezpečného provozování soustavy a neohrožení potravinové bezpečnosti, k jejímuž narušení by došlo přílišným využitím zemědělských půd pro fotovoltaické a větrné elektrárny. Důraz je také kladen na energetickou soběstačnost, a to jak z hlediska elektřiny a tepla, tak i z hlediska potřebných zdrojů. „V případě přísných emisních limitů ze strany EU by byla nutnost vybavit příslušné zdroje technologií CCS, která by navyšovala jejich energetickou náročnost a provozní náklady, v současné době ale nejsou indicie o takovýchto záměrech, a proto s nimi scénář nepočítá.“⁴⁵ Od roku 2015 EU svoje ambice zvýšila, tudíž by bylo nutné vzít v potaz i využití těchto technologií, pokud by došlo k vývoji dle tohoto scénáře. Vývoj struktury instalovaného výkonu ES dle bezpečného scénáře SEK je na obrázku níže (Obrázek 5.5).

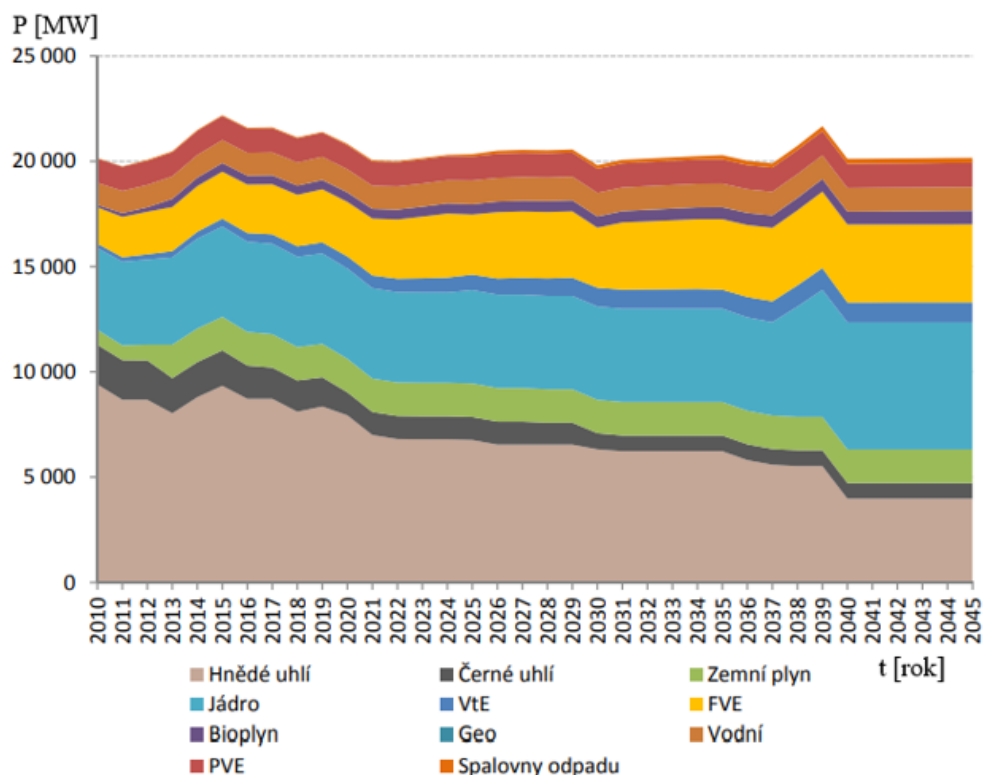


Obrázek 5.5: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle bezpečného scénáře SEK⁴⁶

⁴⁵ MPO. *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce*, 2014. <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statni-energeticka-politika/statni-energeticka-koncepce--223620/>

⁴⁶ MPO. *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce*, 2014.

Snahou *konvenčního ekonomického scénáře* je být maximálně ekonomicky efektivní v realizaci veškerých opatření souvisejících s útlumem uhlí. Certifikace stávajících bloků jaderné elektrárny Dukovany by dle tohoto scénáře byla prodloužena až do konce své technické životnosti, tedy let 2045-2047, přičemž by byl přistaven nový blok na začátku 30. let a po odstavení výkonu původních 4 bloků bude již připraven nový jaderný zdroj pro pokrytí domácí spotřeby. Rozvoj OZE by byl vykonán pouze pro splnění cílů do roku 2020 a nadále podporován pouze za splnění podmínky konkurenceschopnosti. Zbylé uhlí je využíváno primárně pro soustavu dodávek tepla. Vývoj struktury instalovaného výkonu ES dle konvenčního scénáře je na obrázku níže (Obrázek 5.6). Celkový instalovaný výkon v čase, podobně jako u bezpečného scénáře, v podstatě stagnuje na stále hodnotě okolo 20 000 MW. Útlum uhlí je nahrazen ekvivalentním výkonem především fotovoltaických a jaderných elektráren.

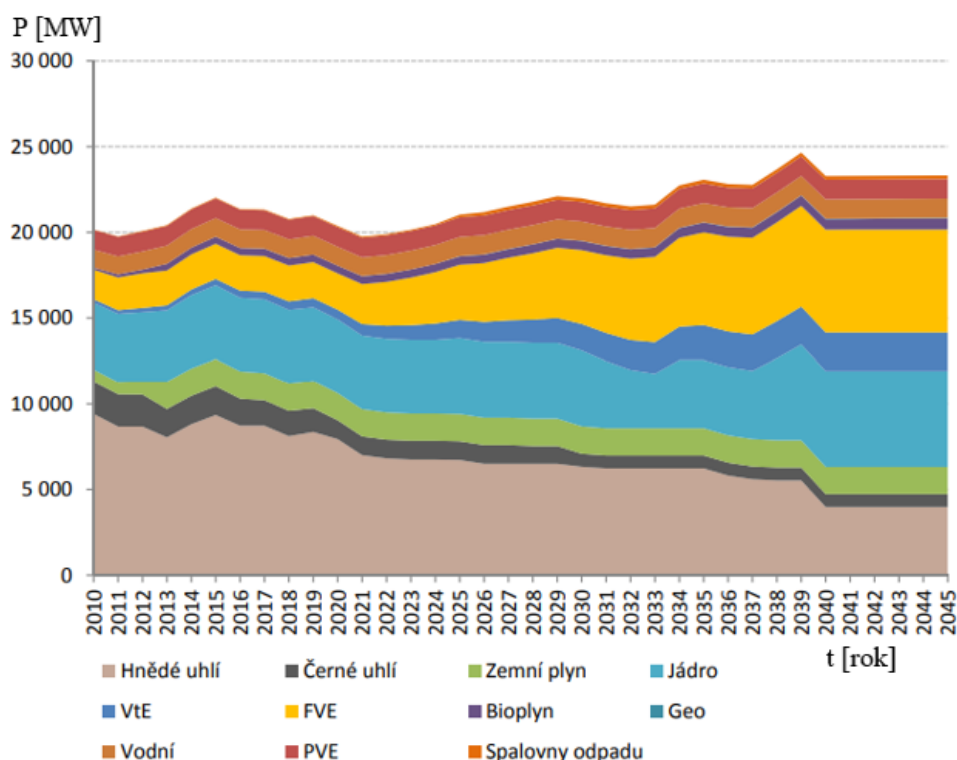


Obrázek 5.6: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle konvenčního scénáře SEK⁴⁷

<https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Doplňující-analytický-material-k-SEK.pdf>

⁴⁷ MPO. *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce*, 2014. <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Doplňující-analytický-material-k-SEK.pdf>

Posledním scénářem SEK je *dekarbonizační scénář*, jenž cílí na splnění závazků vůči EU z hlediska dekarbonizace za současné vysoké bezpečnosti energetiky dosažené pokrytím tuzemské spotřeby z vlastních zdrojů. Dalším specifikem je podpora nízkoemisních zdrojů, a to především jádra, a to i pro výrobu tepla, spolu s naplněným potenciálem OZE. Oproti konvenčnímu i bezpečnému scénáři by nedošlo z ekonomických důvodů k prodloužení certifikace stávajících bloků jaderné elektrárny v Dukovanech až do konce jejich technické životnosti, ale pouze jen do doby, kdy bude připraven nový jaderný zdroj, což je dle SEK odhadováno na rok 2034. V roce 2045 se pak předpokládá výstavba dalšího jaderného zdroje. Se sníženou poptávkou po tuzemském uhlí nedojde k vyčerpání územních ekologických limitů a zbylé uhlí bude využíváno primárně pro výrobu tepla. Vývoj struktury instalovaného výkonu ES dle dekarbonizačního scénáře je na obrázku níže (Obrázek 5.7). V grafu je patrný mírný nárůst celkového instalovaného výkonu, čehož je dosaženo opět především novými fotovoltaickými a jadernými zdroji.

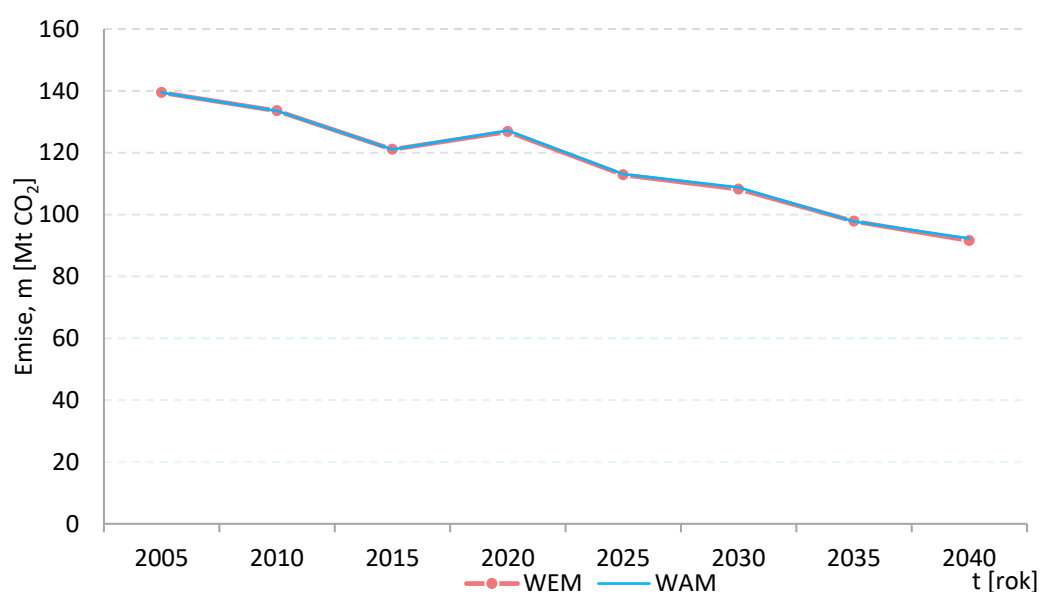


Obrázek 5.7: Instalovaný výkon zdrojů v ES ČR dle dekarbonizačního scénáře SEK⁴⁸

⁴⁸ MPO. *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce*, 2014. <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Doplnujici-analyticky-material-k-SEK.pdf>

5.1.2. Scénáře Vnitrostátního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu

Projekce emisí skleníkových plynů dle tohoto dokumentu obsahují dva scénáře. Prvním je scénář *WEM*, který zohledňuje efekt současných politik a opatření na vývoj emisí. Druhým je scénář *WAM*, který počítá s efektem plánovaných politik a opatření na vývoj emisí. Projekce v rámci energetiky, zejména výroby elektřiny a tepla, jsou založené na datech poskytnutých MPO. Vývoj emisí skleníkových plynů pro oba scénáře je vyobrazen na obrázku níže (Obrázek 5.8) a číselné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 5.1).



Obrázek 5.8: Projekce emisí skleníkových plynů pro WEM a WAM⁴⁹

	Historické emise			Projekce emisí skleníkových plynů				
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
WEM	64,54	57,99	54,44	63,20	58,34	53,96	49,70	45,72
WAM	64,54	57,99	54,44	64,10	56,87	52,83	47,91	44,61

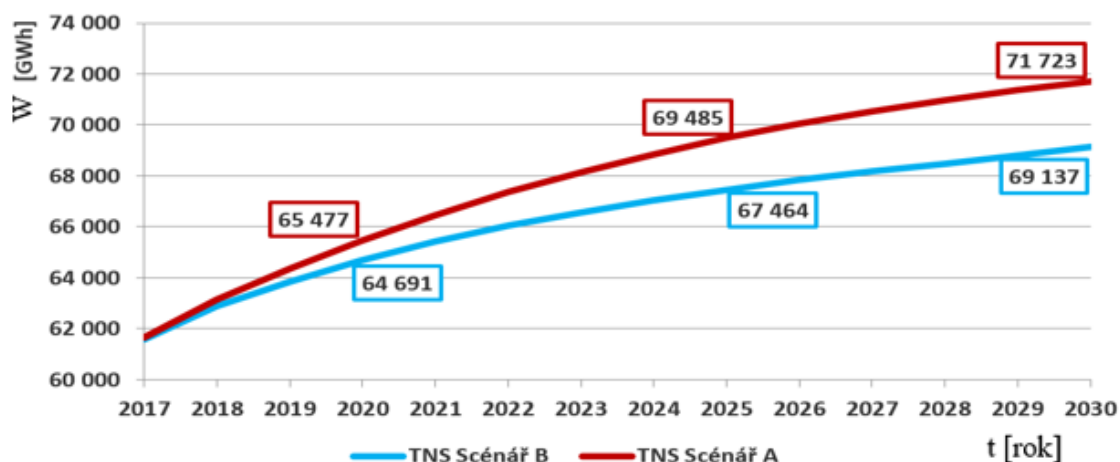
Tabulka 5.1: Projekce emisí skleníkových plynů pro scénáře WEM a WAM⁵⁰

⁴⁹ MPO. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*, 2020. <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>

⁵⁰ Tamtéž

Z obrázku i tabulky je zřejmé, že oba projekce obou scénářů se příliš neliší. Rozdíl je vždy okolo 1 až 2 milionu tun CO₂. Emise dle těchto projekcí by za rok 2040 měly dosáhnout hodnoty okolo 45 Mt CO₂.

Z hlediska vývoje spotřeby byly vytvořeny scénáře dva. Vývoj spotřeby dle scénáře A je odvozen od růstu hrubého domácího produktu (HDP) za předpokládaného průměrného ekonomického růstu. Scénář B zohledňuje předpokládaný rozvoj elektromobility a tepelných čerpadel a předpokládá nižší nárůst spotřeby elektřiny než scénář A. Vývoj spotřeby dle obou scénářů je na obrázku níže (Obrázek 5.9). Pro účely analýz byl zvolen scénář B, zejména kvůli brání ohledu na nové technologické trendy.



Obrázek 5.9: Vývoj spotřeby elektřiny dle scénářů A a B⁵¹

Data tohoto dokumentu potvrzují závislost využití potenciálu OZE na klimatických podmínkách. Celková průměrná roční hodnota využití instalovaného výkonu OZE se pohybuje okolo 31 %. Pro tvorbu scénářů byl předpokládán roční nárůst spotřeby elektrické energie zemí EU ve výši 1 %, což odpovídá hodnotě nárůstu zatížení přibližně o 40 000 MW. Z výše uvedeného vyplývá, že náhrada klasických zdrojů je nedostatečná, a tak je třeba přidat kapacity, které budou pokrývat základní zatížení DDZ. Scénáře také musí zohledňovat vývoj v okolních zemích a nelze spoléhat na neomezené možnosti dovozu ze zahraničí. Je třeba tedy cílit na energetickou soběstačnost.

⁵¹ MPO. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*, 2020. <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>

Z hlediska technického jsou ve Vnitrostátním plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu uvedeny čtyři scénáře přiměřenosti výrobních kapacit do roku 2030, které jsou uvedeny v tabulce Tab. 5.2 spolu s důležitými faktory.

Popis scénáře	Scénář	Bloky EDU v provozu	Spotřeba	Obnovitelné zdroje	Mothballing
Technicky nejlepší možný	1	4	B	kritický scénář	ne
Nejpravděpodobnější odhad	2	4	B	kritický scénář	základní
Decentrální zdroje	3	2	B	SEK	základní
Technicky nejhorší	4	0	B	současný trend	kritický

Tabulka 5.2: Scénáře Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu ⁵²

Technicky nejlepší scénář počítá po celé sledované období (do roku 2030) se stálým provozem všech čtyř bloků jaderné elektrárny Dukovany. Rozvoj OZE dle tohoto scénáře počítá s kritickým vývojem, kdy je uvažován vyšší nárůst instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren v důsledku očekávaného postupného zlevňování technologie, kdy se jako důsledek začnou vyplácet střešní instalace i bez finančních dotací. Dle kritického scénáře by bylo v roce 2030 dosaženo instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren ve výši přibližně 5 000 MW, tedy přibližně o 1500 MW více než dle optimalizovaného scénáře SEK, a větrných elektráren přibližně 950 MW, tedy stejně jako dle optimalizovaného scénáře SEK. Dále tento scénář nepočítá s tzv. *mothballingem*, tedy se zachováním odstavených zařízení pro možné budoucí opětovné použití. Posledním charakteristickým rysem tohoto scénáře je plné zajištění dodávky paliva pro uhelné elektrárny s běžnou dobou využití až do roku 2030.

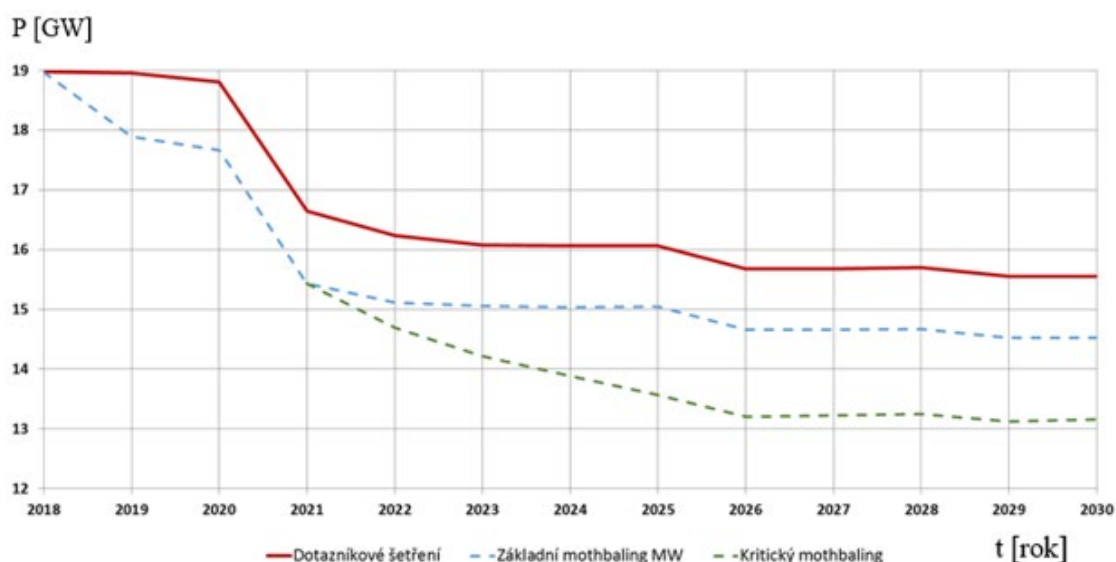
Nejpravděpodobnější odhad také počítá s výkonem elektrárny v Dukovanech i s e stejným vývojem rozvoje OZE, k čemuž je dodán základní mothballing. Dalšími rozdíly jsou zahrnutí omezení výroby pro splnění emisních limitů a zvýšená míra odstávek zastaralých technologií.

⁵² MPO. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*, 2020. <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>

Scénář decentralních zdrojů předpokládá větší rozvoj malých výroben, a to především kogeneračních, rozvoj OZE dle SEK, provoz pouze 2 bloků elektrárny v Dukovanech a základní mothballing.

Technicky nejhorší scénář ilustruje nejhorší uvažovaný vývoj. Počítá s malým rozvojem nových technologií, vysokou mírou mothballingu, plněním nejpřísnějších emisních limitů a s úplným odstavením jaderné elektrárny v Dukovanech.

Vývoj instalovaného výkonu se zahrnutím mothballingu pro uvedené scénáře je uveden na obrázku níže (Obrázek 5.10). Červená křivka značí vývoj dle dotazníkového šetření ČEPS, a.s. z listopadu roku 2017.

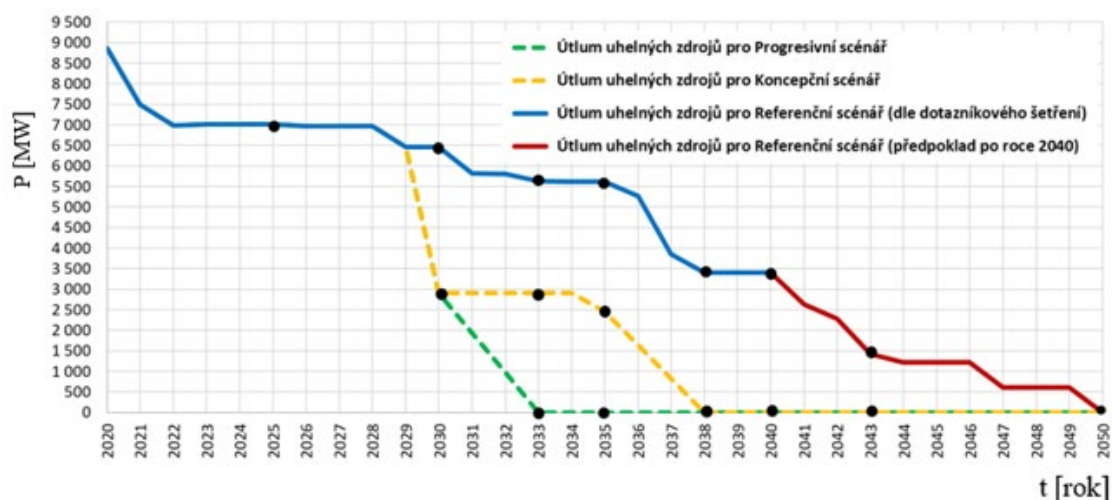


Obrázek 5.10: Vývoj instalovaného výkonu se zahrnutím mothballingu⁵³

⁵³ MPO. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*, 2020. <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>

5.1.3. Scénáře Uhelné komise

Referenční scénář, který je prvním ze čtyř scénářů zpracovaných první pracovní skupinou Uhelné komise, vychází z předpokladů provozovatelů a podíl OZE vychází z Vnitrostátního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu. Hlavním znakem tohoto scénáře je úplný útlum uhlí dosažený v roce 2050. Očekávaný průběh útlumu uhlí dle referenčního scénáře je znázorněn v grafu na obrázku 5.11., kdy by do roku 2029 mělo dojít k odstavení cca jedné třetiny celkového instalovaného výkonu uhelných elektráren. Dalším charakteristickým prvkem je, že se v tomto scénáři nepočítá s nárůstem instalovaného výkonu plynových elektráren. Nahrazení uhelných elektráren v tomto případě mají zajistit především větrné a fotovoltaické elektrárny spolu s novým jaderným blokem v Dukovanech, který by měl být dokončen v roce 2036, a starými bloky, kterým by se musela prodloužit životnost, která má dovést konce přibližně v roce 2035.



Obrázek 5.11: Výchled útlumu uhlí dle Uhelné komise⁵⁴

Koncepční scénář se dle grafu v obrázku 5.1 do roku 2029 neliší od referenčního, tedy i dle tohoto scénáře dojde k odstavení jedné třetiny instalovaného výkonu. Dále ale útlum nabírá větší spád, kdy se během jednoho roku, tedy do konce roku 2030, odstaví další třetina původního instalovaného výkonu. Tato třetina instalovaného výkonu by měla nadále pracovat až do roku 2034, kdy by měla započít poslední fáze útlumu uhlí,

⁵⁴ UHELNÁ KOMISE. *Průběžné výstupy a doporučení Uhelné komise*, 2020.

a tak tento scénář míří k úplnému útlumu v roce 2038. Koncepční scénář také řeší dekarbonizaci teplárenství, která bude pravděpodobně větší výzvou než dekarbonizace elektroenergetiky. Tento scénář byl Uhelnou komisí shledán jako realistickým scénářem, kterým by se energetika ČR měla řídit a navrhla ho tak vládě.

Progresivní scénář cílí k rychlejšímu útlumu uhlí než předešlý koncepční scénář, a to již v roce 2033. Dle obrázku 5.1 se až do roku 2030 neliší od scénáře konceptního, ale v dalších 3 letech pokračuje v trendu nastoleném v roce 2029, tedy v prudkém poklesu instalovaného výkonu. V číslech by měl od roku 2029 za 4 roky klesnout instalovaný výkon z 6,5 GW na 0 GW, což jsou přibližně dvě třetiny současného instalovaného výkonu uhelných elektráren. Jednalo by se tak o poměrně velký skok. Nahradit tento nemalý výkon by měly více rozvinuté větrné a fotovoltaické elektrárny, které by dle tohoto scénáře v roce 2033 měly dosáhnout instalovaného výkonu okolo 7,5 GW. Problematiku intermitentní výroby těchto zdrojů by pak měl řešit rozvoj bateriové akumulace.

Ambiciózní scénář a poslední scénář prezentovaný uhelnou komisí respektuje stejný rok útlumu uhlí jako progresivní scénář, ovšem pracuje s větším rozvojem OZE a zároveň ještě větším rozvojem bateriové akumulace včetně významného rozvoje tzv. sezónní akumulace, tedy dlouhodobé akumulace energie například ze slunečního léta či větrného podzimu pro použití při nedostatku energie v zimních měsících. Pro srovnání v roce 2033 by instalovaný výkon fotovoltaických a větrných elektráren měl přesáhnout hodnotu 12 GW.

Všechny scénáře Uhelné komise se opírají především o velký rozvoj OZE, a to hlavně zmíněných fotovoltaických a větrných elektráren. Průtočné vodní elektrárny nejsou v tomto ohledu přínosné vzhledem k malému a téměř vyčerpanému potenciálu vodních toků na našem území. Na přečerpávací vodní elektrárny není brán ohled, jelikož nevyrobí ani tolik energie, kolik spotřebují na načerpání vody do horní nádrže. Slouží tak pouze pro krytí špiček denního zatížení. OZE v podobě spalování biomasy, bioplynu či organické části komunálního odpadu jsou nevhodné kvůli svým emisím, které vznikají stejně jako při spalování zemního plynu i uhlí, takže budou určitou dobu sloužit pro podporu svým výkonem, ale pro emisně absolutně neutrální budoucnost vhodné nejsou. Intermitentní výroba z OZE by měla být silně podpořena bateriovou akumulací,

aby bylo možné zabránit nedostatkům elektrické energie, když nedopadá dostatek slunečního svitu na povrch ani nefouká vítr. S rozvojem jaderné energetiky se vzhledem k investiční, konstrukční a bezpečnostní náročnosti počítá do budoucna jen v malé míře, a to momentálně jen vystavením nového jaderného bloku v Dukovanech. Uda dojde k výstavbě nových jaderných bloků v Temelíně dříve, než dojde k odstavení všech uhelných elektráren není zatím známo. Z uvedených investičních důvodů bude také pravděpodobně prodloužena životnost dožívajících bloků jaderné elektrárny, jelikož by ztrátu tohoto výkonu bylo obtížné nahradit navíc v období před konečným útlumem uhlí. V čem se liší jsou právě dříve uvedená kritéria. Celkové kumulované emise k roku 2050 činí v případě referenčního scénáře 700 milionů tun CO₂. Oproti tomu u ambiciózního scénáře jen 484 milionů tun CO₂, tedy o 216 milionů tun CO₂ méně. S menším množstvím kumulovaných emisí ovšem roste hodnota kumulovaných investičních nákladů (CAPEX). Ty k roku 2050 u referenčního scénáře činí 257 miliard Kč. Zato u ambiciózního scénáře přesáhnou 1 bilión Kč.

5.1.4. Alternativní scénáře autora bakalářské práce

Prvním mým scénářem, jak se vypořádat s útlumem uhlí, je *pesimistický scénář*, jehož podstatou je nijak nejednat a pouze čekat, jak se situace vyvine, tedy scénář horší, než jaký uvažovaly předchozí dokumenty či Uhlíková komise. Tímto způsobem by se zprvu investiční náklady snížily na minimum, provozní náklady by se nezměnily, a tak ani kumulované emise. První úskalí, které by nastalo při uskutečnění tohoto scénáře by bylo nesplnění limitů EU, a to jak emisních, tak například nesplnění procentuálního podílu obnovitelných zdrojů na celkové vyrobené energii. Celkové emise skleníkových plynů by se tak v čase stále pohybovaly okolo 100 milionů tun CO₂ ročně a podíl OZE na výrobě elektřiny okolo 12 %. Při nesplnění nařízení EU členskou zemí, je toto porušení předáno Soudnímu dvoru a po prokázání porušení musí země učinit opatření, aby nařízení splnila. Pokud ani poté tak neučiní, je porušení nařízení předáno opět soudnímu dvoru, kterému komise navrhne finanční sankce ve formě paušální částky nebo jako penále. Kdyby, i přes tyto skutečnosti, nebyly vykonána žádná opatření, nastane nevyhnutelné – došlo by k vyčerpání územních ekologických limitů v roce 2055, kdy už EU chce být 5 let emisně neutrální. Bez uhlí z tuzemských dolů rázem nebude naše země dostatečně soběstačná ani z hlediska paliv a musela by uhlí dovážet pravděpodobně z Polska, kde do té doby také uhlí v dolech ubude nebo by musela nastat urychlená a o to více neekonomická transformace celé energetiky i teplárenství, kterou by vedla

výstavba velkého množství zdrojů spalujících plyn vzhledem k možné rychlé výstavbě, kdy by muselo dojít k urychlenému nahrazení 10 GW instalovaného výkonu za předpokladu udržování současných uhelných zdrojů. Emisí bychom se tak ani poté zcela nezbavily. Jedná se tak o scénář v nejvyšší míře nevhodný.

Podstatou druhého scénáře, nazvaného *realistický*, je odstavování uhelných elektráren až po uplynutí jejich technické životnosti nebo po nějaké větší poruše, kdy by se oprava vzhledem k životnosti již nevyplatila a výhodnější alternativou by byla právě jejich náhrada za úplně jiný zdroj. Tím by nebyl vytvářen přílišný tlak na rychlost transformace energetiky a bylo by tak více času na diverzifikaci energetického mixu a také na postup technologií zejména v oblasti jejich účinnosti, čímž by se zvýšila jejich konkurenceschopnost vůči ostatním zdrojům. Z hlediska OZE by došlo k naplnění jejich omezeného potenciálu, a to zejména fotovoltaických a větrných elektráren spolu s rozvojem akumulace. Dle SEK je limit potenciálu na území ČR 2 300 MW instalovaného výkonu větrných elektráren ze současných 300 MW a 5 800 MW instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren ze současných 2 000 MW. Tento instalovaný výkon by dle mého názoru mohl efektivně nahradit přibližně polovinu instalovaného výkonu uhelných elektráren (10 000 MW) vzhledem k jejich rozdílnému typu výroby. Biomasa by také hrála určitou roli, ale dle mého názoru spíše v teplárenství a za předpokladu integrace technologií pro zachytávání emisí. Jaderné elektrárny se přílišného rozvoje nedočkají a došlo by pouze k prodloužení certifikace jaderné elektrárny v Dukovanech do konce její technické životnosti a výstavbě plánovaného 5. bloku tamtéž. V Temelíně ke změně v uvažovaném časovém horizontu dle mého názoru nedojde. Ale po dovršení konce životnosti starých bloků elektrárny v Dukovanech v polovině 40. let by mělo dojít k náhradě výkonu bloků a v 50. letech k eventuálnímu rozšíření elektrárny v Temelíně, a to ideálně o již dříve plánované 2 bloky, k jejichž výstavbě nedošlo. Hlavní náhradou za 10 GW uhelných elektráren by byly kogenerační plynové elektrárny, které tak nahradí výrobu elektřiny i tepla, a to především tam, kde nebude možná či výhodná integrace malých decentralizovaných zdrojů vytápění. Nahrazení uhlí zemním plynem ovšem nepřinese oprostění od emise produkujících zdrojů. Pokud by nedošlo k využití technologií na zachytávání emisí, pak by bylo nutné najít jinou alternativu, kterou by poté byly plynové elektrárny nahrazeny.

Třetím scénářem je *optimistický scénář*. Pro nahrazení provozu uhelných elektráren vidím z hlediska charakteristiky tohoto provozu jen jeden ideální zdroj elektrické energie, a to jadernou elektrárnu. Rozvoj jádra by byl v podobě rozšíření současných dvou jaderných elektráren a výstavby minimálně jedné další jaderné elektrárny. Jaderné elektrárny ovšem nejsou snadno regulovatelné a jejich regulace se málokdy vyplatí, proto by byly určeny k pokrytí přibližně 90 % základního zatížení DDZ spolu s průtočnými vodními elektrárnami, tedy okolo současných 5 000 MW a na zbylých 10 % by byly určeny nové plynové elektrárny, které mají mnohem větší možnosti regulace a také její rychlost a z části by také nahradily současné elektrárny uhelné, a to nejen ve výrobě elektřiny, ale také tepla. V současné době je instalovaný výkon jaderných elektráren 4 290 MW. Za očekávaného nárůstu spotřeby by měl pro pokrytí rozdílu stačit nově plánovaný blok v Dukovanech plánovaný na rok 2035 o instalovaném výkonu 1200 MW za předpokladu prodloužení certifikace ostatních bloků do poloviny let 40. tamtéž. Na rok, kdy dojde k ukončení provozu starých bloků by tak poté bylo ideální mít již připravený nový jaderný zdroj. Tento nový zdroj by mohl eventuálně mít schopnost regulace jako mají jaderné elektrárny ve Francii. Poté by celé základní pásmo zatížení mohly pokrýt jaderné elektrárny a případné výkyvy by nepředstavovaly problém. Od věci by nebyla ani integrace malých modulárních reaktorů. Špičkové a pološpičkové zatížení by bylo pokryto dle dosavadních postupů. Pokud by být měl instalovaný výkon uhelných elektráren nahrazen výkonem jaderných elektráren, bylo by možné odstavovat uhelné elektrárny v průběhu let pouze pro splnění dílčích limitů EU, jejichž výkon by mohl být nahrazen rozvojem OZE, který je i v tomto případě z hlediska budoucnosti nezbytný, samozřejmě za podpory akumulace. Po dokončení výstavby bloku jaderné elektrárny by pak mohlo dojít k odstavení odpovídajícího výkonu dožívajících uhelných elektráren. Konečné složení energetického mixu tohoto scénáře by bylo dle mého názoru ideální a následující: 45 % instalovaného výkonu jaderné elektrárny, 30 % plynové elektrárny s technologiemi zachytávání emisí či za eventuálního nahrazení vodíkem a zbylých 25 % OZE v roce 2050. Investiční náklady tohoto scénáře by byly ovšem obrovské vzhledem a stejně tak i časová a technická náročnost realizace, a to především kvůli uvažovanému velkému rozvoji jaderných elektráren.

5.2. Dopady jednotlivých scénářů na výrobu elektřiny

Obecně výrobu elektřiny ovlivní složení energetického mixu ČR. Čím více zdrojů se stabilním chodem, jakými jsou jaderné a uhelné elektrárny, bude v mixu zastoupeno větší mírou, tím větší bude elektroenergetická soběstačnost, spolehlivost dodávky i stabilita provozu soustavy. Naopak čím více bude integrováno intermitentních zdrojů, jako fotovoltaické a větrné elektrárny, tím dojde k větším výkyvům ve všech třech výše uvedených bodech. Bude-li integrace druhých zmíněných zdrojů navíc na úkor prvních zmíněných, dopady se umocní.

5.2.1. Dopady scénářů Státní energetické koncepce

Dopady plynového scénáře s omezenou energetickou soběstačností na výrobu elektřiny byly velmi negativní, a to nejvíc ze všech scénářů SEK, jelikož scénář neplní ani jeden ze strategických cílů – bezpečnost, konkurenceschopnost, udržitelnost. Ztráta výkonu jaderné elektrárny v Dukovanech spolu s odstavením elektráren uhelných by způsobila, že by tuzemská výroba elektřiny neměla šanci pokrýt tuzemskou spotřebu. Závislost na importu elektřiny by byla veliká a k ní by se po urychlené náhradě uhlí zemním plynem přidala veliká závislost na importu tohoto energetického zdroje. Navíc scénář nepočítá s možným nedostatkem elektřiny u evropských sousedů. Nebere tak v úvahu možnou krizi v zatažených dnech bezvětří.

Druhým nejhorším možným scénářem SEK z hlediska dopadů na výrobu elektřiny je zelený scénář s omezenou energetickou soběstačností. Je pravda, že nedojde k dramatickému snížení instalovaného výkonu jako u scénáře plynového a scénář by splnil i přísné emisní limity, ale ztrátou výkonu jaderných a uhelných elektráren se stabilním provozem bychom se vydali všanc intermitentním zdrojům – větrným a fotovoltaickým elektrárnám. Za nepříznivých klimatických podmínek bychom tak byli velmi závislí na importu elektřiny. Spolehlivost dodávky by tak byla výrazně snížena, a to i za akumulace. Nesplnění podmínek bezpečnosti ani konkurenceschopnosti není žádoucí. Vývojem dle tohoto scénáře by totiž také došlo ke zvýšení ceny elektřiny.

Optimalizovaný scénář, narozdíl od scénářů předchozích, kombinací pozvolného rozvoje OZE a dalšího rozvoje jaderné energetiky by dosáhl ideálních parametrů dle cílových podmínek bezpečnosti, udržitelnosti i konkurenceschopnosti. Spolehlivost dodávky by byla dostatečná a bylo by možné udržet i současnou převahu exportu.

Bezpečný a soběstačný scénář zahrnuje na rozdíl od optimalizovaného větší využití uhelných zdrojů v průběhu sledovaného časového horizontu, a ještě větší rozvoj jaderné energetiky. Bylo by tak dosaženo bezpečnosti i soběstačnosti energetiky, vysoké spolehlivosti dodávky a bylo by i více vyrobené elektřiny, díky čemuž by bylo možné více prodávat elektřinu do zahraničí. Kvůli většímu využíváním zdrojů produkujících emise, jako spalování biomasy, plynu i uhlí, by bylo nutné tyto zdroje vybavit technologiemi na odstranění těchto emisí. I tak by výsledkem tohoto scénáře byla energetika postavená na ekonomicky efektivním provozování elektráren založených primárně na tuzemských energetických zdrojích.

Konvenční ekonomický scénář sází na konvenční zdroje, a tak je konečný podíl uhlí na výrobě elektřiny vyšší než u předchozího scénáře. Byly by tak vyšší i emise, které by bylo nutné snížit pomocí technologií obdobně jako u scénáře bezpečného. Rozvoj OZE po roce 2020 za podmínky konkurenceschopnosti by byl příliš malý na nahrazení ubývající výroby z uhlí. K rozvoji jádra by také nedošlo, pouze by došlo k nahrazení výkonu bloků elektrárny v Dukovanech po jejich odstavení. Po celé sledované období se dle tohoto scénáře předpokládá mírný přebytek výroby elektřiny nad spotřebu, ale bez exportního potenciálu.

Využíváním uhlí pouze pro výrobu tepla, naplněním potenciálu bezemisních OZE, zvýšením instalovaného výkonu dvou bloků jaderné elektrárny Temelín a zprovozněním dvou nových bloků v Dukovanech po odstavení 2 starých bloků tamtéž splňuje dekarbonizační scénář požadavky EU a současně jsou jeho dopady na výrobu elektrické energie pozitivní. Rozvoj jádra přinese spolehlivost dodávky a také stabilitu výroby. Předpokládán je i přebytek výroby nad spotřebu se zachováním exportního potenciálu, který by měl ke konci sledovaného období mírně klesat.

Ze scénářů SEK vyplývá, že investice do jaderné energetiky je způsob, kterým lze dosáhnout soběstačnosti, bezpečnosti i konkurenceschopnosti české energetiky.

5.2.2. Dopady scénářů dle Vnitrostátního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu

Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu oproti SEK již tolik nesází na jadernou energetiku, jelikož již pravděpodobně bylo známo, že ani výstavba plánovaného nového bloku v Dukovanech nebude dokončena do roku 2030, do kterého plánuje tento dokument. Naopak více cílí na využití plynu, a to jak zemnímu, tak ostatním plynům jako bioplynu. Plynové elektrárny jsou stejně jako uhelné schopny stabilního provozu i případné kogenerační výroby, a navíc mají lepší schopnost regulace. Dalším rozdílem je, že oproti SEK počítá již s novými cíli EU, tedy větší snížení emisí a větší podíl OZE na celkové tuzemské spotřebě (30 % v roce 2030).

Dopady na výrobu elektřiny scénářů Vnitrostátního plánu v podobě dvou důležitých ukazatelů – LOLE a Saldo import-export – jsou uvedeny v tabulce níže (Tab. 5.3).

Scénář	2025		2030	
	LOLE	Saldo	LOLE	Saldo
Technicky nejlepší možný scénář	normální	systémový export	normální	vyrovnaná bilance (bilanční export)
Nejpravděpodobnější odhad	zhoršené	vyrovnaná bilance (bilanční export)	zhoršené	vyrovnaná bilance (bilanční export)
Decentrální energetika	zhoršené	vyrovnaná bilance	extrémní	vyrovnaná bilance (bilanční import)
Technicky nejhorší scénář	extrémní	systémový import	extrémní	systémový import

Tabulka 5.3: Výsledky scénářů Vnitrostátního plánu⁵⁵

⁵⁵ MPO. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*, 2020.
<https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>

V případě technicky nejlepšího možného scénáře by bylo po dobu celého sledovaného horizontu (2020-2030) dosaženo spolehlivosti dodávky elektřiny dle LOLE a zároveň takového dostatku energie, že by bylo možné udržet převahu exportu v průběhu let, jen s mírným poklesem. Toho je dosaženo zejména stálým využíváním výkonu elektrárny v Dukovanech. Zároveň dosažení velkého instalovaného výkonu OZE pomůže splnit limity EU.

Nejpravděpodobnější odhad by oproti předchozímu přinesl horší spolehlivost dodávky při udržení mírné převahy exportu nad importem, a to vlivem plnění přísnějších emisních limitů a zvýšené míry odstávek.

Vlivem odstavení 2 bloků v Dukovanech dle scénáře decentrální energetiky, ztratíme poměrně velký výkon, který pokrývá základní zatížení a funguje téměř nepřetržitě, dojde tak k častým nedodávkám zejména v druhé půlce sledovaného časového úseku. Integrace OZE dle SEK s tímto problémem příliš pomoci nemůže, vzhledem k tomu, že největšího výkonu dosáhnou intermitentní zdroje. Ze stejných důvodů dojde k přechodu zprvu vyrovnaného bilančního salda na převahu importu, tudíž nebudeme soběstační.

Dle technicky nejhoršího scénáře by došlo k úplnému odstavení elektrárny v Dukovanech, což by vyústilo v nedostatečnou výrobu a jediné, co by pokrylo tuzemskou spotřebu by musel být import elektrické energie.

Ze scénářů tohoto strategického dokumentu jasně vyplývá, že odstavení, byť jednoho bloku jaderné elektrárny, by velmi negativně ovlivnilo soběstačnost i spolehlivost národní elektroenergetiky. Jelikož se jedná o zdroj bezemisní, nevidím důvod k jeho odstávce před uplynutím jeho technické životnosti. A po jejím uplynutí nevidím důvod, proč odstavené bloky nenahradit novými, i přes velikost investic.

5.2.3. Dopady scénářů Uhelné komise

Veškeré scénáře Uhelné komise spoléhají na rozvoj fotovoltaických a větrných elektráren, jejichž charakteristický provoz je velmi závislý na počasí. Proto, co se týče budoucnosti, lze jen zhruba odhadovat, kolik tyto elektrárny vzhledem k instalovanému výkonu vyrobí elektrické energie. Lze konstatovat, že bude docházet k obdobím přebytků a nedostatků, a to nejen u nás, ale i u našich evropských sousedů. K řešení této nedokonalosti by měla přispět, krom střídání exportu a importu, bateriová akumulace, která by měla nabýt adekvátní kapacity vzhledem k rozvoji OZE dle konkrétních scénářů.

Nehledě na zvolený scénář dojde náhradou uhelných elektráren pomocí OZE ke snížení energetické soběstačnosti země. V každém ze scénářů vlivem integrace většího instalovaného výkonu intermitentních zdrojů do energetického mixu na úkor stabilně pracujících uhelných elektráren přestane převládat export nad importem elektrické energie a sníží se také spolehlivost dodávky spolu s rostoucí obtížností dispečerského řízení přenosové soustavy kvůli kolísání počasí. Podle dat uhelné komise bude ČR v roce 2025, tzn. po odstavení 2 GW instalovaného výkonu uhelných elektráren, stále exportérem elektrické energie. Zato v roce 2030 již bude převládat dovoz.

V roce 2029 se průběh útlumu scénářů (referenčního a koncepčního) rozděluje. Referenční scénář pokračuje v pozvolném útlumu uhlí. V roce 2043 dle tohoto scénáře bez tzv. dozdřování plynovými elektrárnami ovšem dojde k 87 hodinám, kdy se nedostane spotřebitelům elektrické energie, zatímco zbylé scénáře vyhovují omezující podmínce, kdy index LOLE (loss of load expectancy) nepřesáhne 4 hodiny.

Dle koncepčního a progresivního scénáře bude import převládat až do roku 2043, kdy bychom opět začali být soběstační, co se týče pokrytí tuzemské spotřeby. Z hlediska výroby elektřiny se nejlépe jeví ambiciózní scénář. Díky velikým investicím do plynových, fotovoltaických i větrných elektráren by export opět převládl nad importem již v roce 2035, tedy již po dvou letech bez uhelných elektráren, a velký instalovaný výkon v těchto zdrojích by bez problémů pokryl narůstající spotřebu. Instalovaný výkon v roce 2035 zmíněných typů elektráren by přesáhl 19 GW, a to jako náhrada 9 GW výkonu uhelných elektráren.

5.2.4. Dopady alternativních scénářů

Dopady mého pesimistického scénáře na výrobu elektrické energie by zprvu nebyly žádné. Nic by se neměnilo z hlediska instalovaného výkonu a stejně tak ani z hlediska výroby elektřiny, za předpokladu, že by se neměnila ani velikost spotřeby. Postupem času ovšem začne uhlí ubývat a produkované množství nebude stačit na pokrytí potřeb elektráren, a tak jej bude nutné dovážet ze zahraničí. Stali bychom se importéry tedy nejen uranu, zemního plynu a ropy, ale také uhlí. Soběstačnost státu v získávání paliv pro elektrárny by tak klesala. Dovoz uhlí je dražší než získání uhlí z tuzemských dolů, což by se s rostoucím importem posléze projevilo i na ceně elektrické energie. Stejný vliv by měla i rostoucí cena emisních povolenek, kterou EU navýší se záměrem většího snížení emisí. Přidaly by se zmíněné sankce od EU za nedodržení emisních limitů, a nakonec by přišla chvíle, kdy uhelným elektrárnám dojde palivo i z exportu a nebude již možné je nadále provozovat. Poté bychom nebyli soběstační ani z hlediska výroby elektřiny, kdy bychom byli dlouhou dobu velmi závislí na importu elektřiny ze zahraničí, než by se uhelné elektrárny přestavěly na plynové a navýšil se instalovaný výkon OZE. Pokud by podíl uhelných elektráren na výrobě elektřiny byl stále 40 % jako v roce 2019⁵⁶, tedy okolo 35 TWh za rok, je otázkou, zda by vůbec evropská elektrizační síť takovouto náhlou změnu zvládla, což by záviselo na vývoji elektroenergetiky všech ostatních zemí, se kterými jsme spojeni elektrizační sítí. Naštěstí se jedná o scénář, kterým se určitě Česká republika řídit nebude, takže odpověď na tuto otázku není třeba řešit.

Realistický scénář by z hlediska emisních cílů pravděpodobně jen těsně splnil limity. Výhodou by ovšem byla větší spolehlivost dodávky elektřiny i tepla. Technologie OZE by s menším tlakem na rychlost transformace energetiky mohly dosáhnout lepší účinnosti a poklesu ceny, tudíž by se i z ekonomického hlediska tento scénář mohl vyplatit. Fotovoltaické i větrné elektrárny by v době velké výroby byly podpořeny akumulací tak, aby nedocházelo k výkyvům v síti. Ke stejnému jevu by mohlo dojít také u technologie elektráren spalujících plyn. Pro pokrytí spotřeby elektřiny by spolu s postupným odstavováním uhelných elektráren musely plynové elektrárny přejít na

⁵⁶ ERÚ. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*.
<https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>.

stabilní provoz, aby bylo pokryto základní zatížení, jelikož by jaderné kapacity v tomto scénáři na pokrytí nestačily.

Vsadili bychom ovšem, dle mého optimistického scénáře, na jaderné elektrárny, přineslo by to oproti ostatním možnostem větší spolehlivost dodávky, a to v každém počasí, za současných nízkých hodnot emisí. Také bychom mohly nadále elektřinu vyvážet, což bude dle mého názoru vhodné, jelikož sousedíme s Německem. Dalším benefitem by bylo menší kolísání výkonu v síti vlivem právě změn počasí, a tak i snazší řízení soustavy pro operátora sítě. V kombinaci s plynovými elektrárnami a OZE bychom dosáhli dle mého názoru ideálního stavu, ve kterém bychom mohli setrvat desítky let a do doby, než pokročí technologie dále.

5.3. Shrnutí

Prvním důležitým bodem vyplývajícím z podoby a dopadů scénářů na výrobu elektrické energie je, že jaderná energetika může České republice přinést samé pozitivní efekty při nahrazení uhelných elektráren. Bohužel se současným stavem politických a administrativních procesů, které předcházejí v současné době plánované výstavbě nového bloku v Dukovanech směřující k roku 2036, je obtížné si představit úplně novou jadernou elektrárnu, která by tyto benefity přinesla. Do budoucna se tedy v oblasti jaderné energetiky budeme pravděpodobně muset smířit pouze s rozšířením stávajících elektráren či jen náhradou starých bloků za nové.

Z výše uvedeného vyplývá, že bude nutné stabilní provoz uhelných elektráren nahradit jiným zdrojem schopným obdobného provozu. Proto bych v transformaci elektroenergetiky přisoudil tuto roli plynu, ať už zemnímu či bioplynu nebo třeba i vodíku. Přinese to sice větší závislost na dovozu zemního plynu ze zahraničí, ale do určité míry to, řekl bych, není takovou překážkou.

Rozvoj fotovoltaických a větrných elektráren je jistě nezbytný už jen z důvodu, že si to EU žádá. Přinese to také větší rozmanitost zdrojů, a to ve větším výkonu. Bude tedy možné například v létě snížit provoz zdrojů produkujících emise. Rozvoj dalších OZE jako je biomasa nevidím jako cestu s velkým potenciálem. Biomasu je nutné pěstovat a poté spalovat udržitelně, což má své limity a také se nejedná o bezemisní zdroj.

Dalším bodem, který bychom si měli vzít, je, že nějakou kapacitu uhelných elektráren je záhodno ponechat v provozu, jako strategický zdroj, který může v době nedostatku vlivem špatných klimatických podmínek, nejen u nás ale i sousedů, vypomoci a udržet soustavu stabilní a ve stálém spolehlivém provozu. Českou elektroenergetiku bych tak jako absolutně bezemisní v uvažovaném horizontu do roku 2050 neviděl jako ideální výstup této transformace.

6. Závěrečná úvaha o teplárenství

Ukončení užívání uhlí bude více než pro elektroenergetiku problémem pro teplárenství, kde jen těžko můžeme doufat v nahrazení OZE. Z OZE jsou možnými alternativními palivy biomasa, biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) nebo bioplyn. Spalování biomasy ovšem není tak udržitelným způsobem získávání energie, jak by se mohlo zdát, a to především kvůli narušování cyklu dusíku v ovzduší i půdě a také omezenému množství rostlinné biomasy. Spalování biologicky rozložitelné části komunálního odpadu se využívá spíše jen pro snížení množství odpadu na skládkách a zisk energie je tak spíše bonusovým efektem, a tak nelze očekávat velký rozvoj. Využívání bioplynu, který je složen převážně z metanu (CH_4), CO_2 , vodíku (H_2) i dusíku (N_2), by se také mohlo jevit jako udržitelný způsob, ale na začátku výroby bioplynu je opět biomasa, ze které se zpracováním získá právě bioplyn. Navíc všechny tyto tři způsoby nejsou emisně neutrální. Vznikají při nich, stejně jako při spalování uhlí či zemního plynu, oxidy dusíku (NO_x) i CO_2 .

Nejjednodušším a nejudržitelnějším způsobem se doposavad jeví i v teplárenství náhrada uhlí za zemní plyn, a to jak v podobě centralizované i decentralizované. Domácnosti, ve kterých je to možné, by si majitelé mohli zřídit kotle pro spalování zemního plynu. V případě náhrady uhelných elektráren, které vytápí mimo jiné i stavby, ve kterých by zřízení plynových kotlů bylo problematické či neekonomické, jako jsou panelové domy tvořící velká sídliště nebo ve velkých budovách firem hlavně ve městě, lze přestavět technologické okruhy pro spalování uhlí na okruhy určené pro spalování zemního plynu. Setrvává zde ale problém emisí. Vzhledem k tomu, že se zemním plynem se do budoucna v elektroenergetice i teplárenství hodně počítá, a to nejen u nás, ale například i v Německu, kde nahradí i jaderné elektrárny, je nutné získat technologie, které budou schopny emise odstranit, nějakým způsobem neutralizovat nebo alespoň celkové emise snížit na hodnotu, kterou v případě CO_2 absorbují stromy v lesech a ostatní rostliny pro výrobu kyslíku jakožto vedlejšího produktu fotosyntézy. Tak bychom mohli být emisně neutrální. Abychom dosáhli co nejvyšší hodnoty absorbovaného CO_2 stromy, bude také nutné neodkladně vyřešit kalamitu způsobenou kůrovcem, která momentálně způsobuje rozsáhlé odlesňování. Možností kompenzace emisí z průmyslových odvětví, ve kterých by bylo dosažení nulových emisí obtížné, by také mohlo být ukládání uhlíku do přírodních i umělých úložišť.

Pokud se ale takovéto technologie neobjeví a neintegrují u potřebných zdrojů, k čemuž si myslím, že ovšem dříve či později dojde, jistou alternativou může být opět jádro. Jaderné elektrárny také, stejně jako uhelné, mohou dodávat teplo v podobě páry do okolních měst. Rozšíření počtu jaderných elektráren se ovšem nechystá, pouze jen zmíněný nový blok v Dukovanech, a tak by mohly přijít na řadu malé modulární reaktory. Jak napovídá název, oproti jaderným elektrárnám jsou malé, a proto by byla možná jejich integrace ve větším počtu v okolí měst, do kterých by mohly dodávat elektřinu i teplo. Dokonce jsem se doslechl o tzv. teplotorech, což by měly být malé modulární reaktory určené pouze na výrobu tepla. Navíc je na provoz malých reaktorů kladen menší důraz v bezpečnosti provozu, což je pravděpodobně díky tomu, že ještě žádný takovýto reaktor nezpůsobil žádnou tragédii, což se projeví i na ceně investice. Problémem jádra ale zůstává, jak naložit s radioaktivním odpadem. Tento problém ale zajisté také bude vyřešen v blízké budoucnosti s postupem technologií.

Další možnou alternativou emisně čistého teplotrenství by mohla být forma úplné decentralizace. Mimo města není problémem pořízení kotle na pelety, dřevo či zemní plyn nebo tepelného čerpadla, které k ohřívání využívá elektrickou energii. Každá domácnost by si také k čerpadlu mohla bez větších problémů pořídit fotovoltaické panely na střechu svého domu pro pokrytí provozu svého čerpadla. Problém tohoto řešení by nastal ve velkých městech s velkými sídlišti plnými panelových domů s velkým množstvím spotřebitelů, a tak i obrovským celkovým odběrem. Využití kotlů pod panelovými domy bych nepředpokládal, jelikož by pro pokrytí takové spotřeby, musely dosahovat velkých rozměrů, a to ve stávajících panelových domech vidím jako velkou překážku. Třeba ale technologie tepelných čerpadel dosáhnou toho bodu, kdy bude možné třeba i na panelový dům umístit nad každý vchod velké tepelné čerpadlo a ze střechy vyvádět teplo do bytů. Využívání takového množství tepelných čerpadel by ovšem vytvořilo velký nárůst spotřeby elektrické energie, a to zejména v zimních měsících, kdy se vytápí bez ustání. Jak vyřešit pokrytí spotřeby s takovým nárůstem?

Zimní měsíce budou problémem po úplném útlumu uhlí i bez výše uvedeného velkého množství tepelných čerpadel zvyšujících odběr elektrické energie. Dodávka elektřiny v zimě by mohla být ohrožena, zejména vložíme-li příliš důvěry OZE. Provoz větrných elektráren nezávisí tolik na ročním období, pouze na rychlosti větru a jeho stálosti, ale

na území České republiky není tolik míst vhodných pro vystavění větrných elektráren, ani vhodných pro kumulaci většího počtu těchto elektráren. K tomu lze přidat všeobecný občanský odpor k větrným stožárům, jelikož to české přírodě na kráse nepřidává. Fotovoltaické elektrárny na druhou stranu nejsou tak dominantní, co se vertikálních rozměrů týče, a vhodných míst pro jejich instalaci je také určitě více. Je zde ale právě ten problém závislosti výroby na ročním období. V letních měsících budou vyrábět velké množství energie. Zato v zimních měsících, kdy je častější oblačnost, fotovoltaické elektrárny nevyrobí dostatečné množství energie. S problematikou této intermitentní výroby by měla napomoci bateriová úložiště sloužící k akumulaci přebytků, ze dnů i měsíců, kdy fouká i svítí, aby mohla energii zpět dodávat v měsících nedostatku výroby, což by obecně měly být právě zimní měsíce. V zimě 2019 bylo v republice spotřebováno přes 20 TWh⁵⁷ elektrické energie. Vyrábí-li obnovitelné zdroje 12 %, je to 2,4 TWh. V případě nedostatečné výroby OZE jsou 2 TWh k akumulaci obrovské množství a spotřeba elektřiny jen poroste, bude-li se v budoucnu využívat více i k vytápění. Je tak otázkou, zda takovýchto parametrů bateriová i jiná akumulace v budoucnu dosáhne, abychom se nedostatkům vyhnuli. Nebude totiž možné nastartovat další bloky uhelných elektráren jako je tomu dnes.

Každý zdroj elektrické energie má své výhody i nevýhody a je otázkou, kdy nové technologie jednotlivých zdrojů nevýhody eliminují. Je ale jisté, že budoucnost energetického mixu České republiky nebude o dvou centralizovaných zdrojích, jak je tomu dnes. Budoucnost bude spočívat v souladu několika zdrojů na úrovni centralizované i decentralizované energetiky a naším úkolem je najít optimální řešení pro složení mixu, jak z hlediska energetického, tak i ekonomického a klimatického. Pro teplotu by ovšem bylo vhodné, co nejdéle udržovat uhlí, aby nemohl nastat při nepříznivém počasí nedostatek tepla ani elektřiny na vytápění.

⁵⁷ ERÚ. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*, <https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>.

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce byla analýza možných scénářů vývoje energetiky České republiky a jejich dopady na výrobu elektrické energie. Analýzu jsem provedl především na základě vývoje složení národního energetického mixu a dopady scénářů jsem odvozoval od charakteristik provozu jednotlivých zdrojů energetický mix tvořících.

Teoretická část se skládala ze tří kapitol, kapitoly 2., 3. a 4. V druhé kapitole jsem čtenáře seznámil s termodynamickými procesy, které se v uhelné elektrárně odehrávají, i s tím, jak vůbec uhelná elektrárna vyrábí elektřinu i teplo. Dále jsem popsal, jakou částí přispívají uhelné elektrárny v energetickém mixu České republiky k výrobě elektrické energie, že jsou již historicky jeho nedílnou součástí a ukončení jejich provozu tak bude velkou výzvou. V poslední řadě jsem poukázal na negativa, kvůli kterým je ukončení provozu uhelných elektráren z hlediska budoucnosti nevyhnutelné. Jedná se především o jejich nepopíratelný vliv na klima vypouštěním emisí skleníkových plynů do ovzduší. Dalším důvodem jsou omezené zásoby uhlí v tuzemských dolech.

Ve třetí kapitole je nejprve popsán vývoj cílů Evropské unie v oblasti energetiky a klimatu. Hlavním klimatickým cílem EU do roku 2030 je snížení celkových emisí skleníkových plynů o 55 % oproti hodnotě z roku 1990. Dále je popsána situace dvou našich sousedních států, které řeší stejný problém. Jedná se o Německo a Polsko, které stejně jako Česká republika historicky disponují velkými zásobami uhlí. Uhelné elektrárny tak i v těchto zemích dodnes tvoří důležitou součást výroby elektřiny i tepla. Zatímco v Polsku je nutné vyřešit primárně problém nedostatečné diverzifikace energetického mixu a v budoucnu nahrazení velkého instalovaného výkonu uhelných elektráren, v Německu je spíše problém s nedostatečně rozvinutou přenosovou soustavou, zejména propojení severní části země s jihem. Situaci Německa zhorší plánované ukončení provozu jaderných elektráren plánované na rok 2022.

Čtvrtá kapitola obsahuje výčet institucí spravujících částí národní energetiky a legislativu, která se k uhlí využívanému v uhelných elektrárnách vztahuje. Dále jsem v kapitole uvedl způsob, jehož zavedením chce Evropská unie uspíšit útlum uhlí, jímž

jsou emisní povolenky. Cena emisních povolenek v poslední době poměrně rapidně stoupá, což zvyšuje cenu provozu všech elektráren produkujících skleníkové plyny.

Praktická část bakalářské práce se skládá z dvou kapitol, páté a šesté. V páté kapitole jsem nejprve uvedl scénáře možného vývoje, které jsou součástí dvou strategických vládních dokumentů, Státní energetické koncepce a Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu. Další scénáře byly vládě předloženy jejím poradním orgánem – Uhelnou komisí.

Poslední trojice scénářů – pesimistický, realistický, optimistický – pak byla vytvořena autorem této práce. Výsledky analýzy těchto scénářů a jejich dopadů na výrobu elektrické energie vycházejí primárně ze složení energetického mixu, což je také hlavní rozdíl mezi jednotlivými scénáři. Čím větší je ve scénáři zastoupení intermitentních zdrojů na úkor zdrojů se stabilním provozem, tím více je ohrožena energetická bezpečnost a soběstačnost státu. Proto z hlediska budoucnosti lépe vycházejí scénáře s větším instalovaným výkonem jaderných elektráren, ale i plynových spojených s pozvolným odstavováním uhelných zdrojů.

Pesimistický scénář představuje to nejhorší, co by se mohlo z hlediska budoucnosti elektroenergetiky stát. Podstatou tohoto scénáře je nijak nejednat a pouze čekat, jak se situace vyvine. Došlo by tak k nesplnění limitů EU, a tak k velkým finančním postihům, a po dosažení limitů dolů i k nesoběstačnosti z hlediska uhlí. Tento fakt spolu se zachováním provozu uhelných elektráren zatížených emisními povolenkami by měly velké ekonomické dopady, které by vyústily v růst ceny elektřiny. Následovná vynucená a nutně rychlá transformace energetiky v podobě náhrady uhlí plynem by nepřinesla ani oproštění od emisní stopy ČR, pokud by nebyly integrovány technologie na zachycení emisí skleníkových plynů.

Realistický scénář představuje dle mého názoru vývoj, který v budoucnosti nastane. To je pouze malý rozvoj jaderné energetiky v podobě nového bloku elektrárny v Dukovanech spolu s prodloužením certifikace starých bloků těže elektrárny do konce životnosti v druhé polovině 40. let. Hlavními zdroji, které nahradí uhelné elektrárny budou elektrárny fotovoltaické, větrné a zejména plynové. Výsledkem by byla dostatečná energetická soběstačnost za pravděpodobného zachování exportního potenciálu. ČR by se ovšem stala více závislou na dovozu zemního plynu.

Optimistický scénář byl založen na dle mého názoru největším objevu energetiky – energii ze štěpení jader. Jaderné elektrárny jsou hlavním stavebním kamenem tohoto scénáře. Po vybudování plánovaného nového bloku v Dukovanech by započala výstavba nového jaderného zdroje, a to v lepším případě regulovatelného. Jádro by poté mohlo pokrývat celé základní zatížení nehledě na výkyvy v průběhu roku. Jádro by bylo v energetickém mixu doplněno plným odhadovaným potenciálem fotovoltaických i větrných elektráren a zbytek výroby by byl pokryt zejména plynovými zdroji. Tato varianta by přinesla energetickou soběstačnost i bezpečnost. Naplnění scénáře nepředpokládám, jelikož úplně nový jaderný zdroj není dle mého názoru do roku 2050 reálný, protože i výstavba nyní plánovaného jednoho nového bloku v Dukovanech započne dle ministra průmyslu a obchodu až v roce 2030, a to v lepším případě.

Šestá kapitola je tvořena úvahou o dopadech ukončení provozu uhelných elektráren na výrobu tepla a možné alternativy jejich nahrazení. Nejpravděpodobnější krokem vývoje teplárenství bude dle mého názoru nahrazení uhelných elektráren centrálními plynovými zdroji v kombinaci s decentralizovaným teplárenstvím v podobě tepelných čerpadel či malých plynových kotlů. Dojde-li k zatížení malých plynových zdrojů emisními povolenkami, bude podíl tepelných čerpadel i ostatního vytápění elektřinou na výrobě tepla podstatně větší.

Vypracování této bakalářské práce mi přineslo spoustu nových znalostí o energetickém mixu nejen našeho státu, ale i států sousedních. Také jsem se seznámil s ambicemi Evropské unie v oblasti energetiky i klimatu, jejichž důsledkem jsou cíle národní. Dalším přínosem této práce bylo vzbuzení mého zájmu o tuto problematiku, díky čemuž budu se zájmem sledovat vývoj národní energetiky.

Práci je možné v budoucnu použít pro komparaci pohledu na problematiku ukončení provozu uhelných elektráren, který by se mohl lišit především v důsledku změn, které v budoucnu proběhnou a stejně tak i nově nabytých vědomostí v dalším studiu.

8. Seznam literatury

- [1] BOUŠKA, Jan. *Poznámky k historii výroby elektřiny v českých zemích*. SPVEZ, z.s. 2018.
- [2] BRAUERS, Hanna; OEI, Pao-Yu. *The political economy of coal in Poland: Drivers and barriers for a shift away from fossil fuels, Energy Policy, Volume 144*. 2020. ISSN 0301-4215.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520303578>
- [3] BURT, Erica; ORRIS, Peter; BUCHANAN Susan. *Scientific Evidence of Health Effects from Coal Use in Energy Generation*. University of Illinois at Chicago School of Public Health. Chicago, Illinois, USA, 2013.
- [4] ČESKO. *Zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon)*. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1988-44>
- [5] ČESKO. *Zákon č. 61/1988 Sb., České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě*. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1988-61>
- [6] ČESKO. *Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [7] ČESKO. *Nářízení vlády č. 98/2016 Sb., o sazbách úhrady*. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-98>
- [8] DOLEŽAL, Jaroslav. *Jaderné a klasické elektrárny*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04936-5.
- [9] EMBER. *Daily EU ETS carbon market price (Euros)*, 2021.
<https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>

- [10] ERÚ. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*.
https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc
- [11] ERÚ. *Čtvrtletní zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR, IV. čtvrtletí 2020*.
https://www.eru.cz/documents/10540/6616306/Ctvrtletni_zprava_2020_IV_Q.pdf/ef32acbe-8093-4abd-a2cc-43ae3470bf96
- [12] EVROPSKÁ KOMISE. *Opatření v oblasti klimatu*, 2021.
https://ec.europa.eu/clima/index_cs
- [13] GAWLIK, Lidia; MOKRZYCKI Eugeniusz. *Changes in the Structure of Electricity Generation in Poland in View of the EU Climate Package*. *Energies*, 2019. 12, 3323. <https://doi.org/10.3390/en12173323>
- [14] HANZLÍK, Viktor. *Klimaticky neutrální Česko*, McKinsey & Company, 2020.
- [15] HEINRICHS, Heidi Ursula; MARKEWITZ, Peter. *Long-term impacts of a coal phase-out in Germany as part of a greenhouse gas mitigation strategy*, *Applied Energy*, Volume 192, 2017. ISSN 0306-2619.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.065>.
- [16] CHLUMSKÝ, Martin. *Bakalářská práce Srovnání nákladů jaderných a uhelných elektráren*, ČVUT FEL v Praze, 2014.
- [17] IEA. *Energy Policies of IEA Countries: Poland 2016 Review*, IEA, Paris, 2016.
<https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-poland-2016-review>
- [18] IEA. *Germany 2020*, IEA, Paris, 2020.
<https://www.iea.org/reports/germany-2020>
- [19] IEA, *Data and statistics*, 2021.
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>

- [20] JIROUŠ, František. *Efektivní spalování paliv*. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, c2013. ISBN 978-80-260-5393-4.
- [21] KOREL, Jan. *Diplomová práce Projektování a měření přídavného uzemnění vedení VVN a ZVN*, ČVUT FEL v Praze, 2020.
- [22] KUBÍN, Miroslav. *Přenosy elektrické energie ČR v kontextu evropského vývoje*. Praha: ČEPS, [2004].
- [23] KUBÍN, Miroslav. *Proměny české energetiky: historie, osobnosti, vědeckotechnický rozvoj*. [Praha]: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, c2009. ISBN 978-80-254-4524-2.
- [24] MPO. *Sekce energetiky*, 2021.
<https://www.mpo.cz/cz/energetika/>
- [25] MPO. *Státní energetická koncepce*, 2014.
https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Statni-energeticka-koncepce-_2015_.pdf
- [26] MPO. *Doplňující analytický materiál k návrhu aktualizace Státní energetické koncepce*, 2014.
<https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Doplnujici-analyticky-material-k-SEK.pdf>
- [27] MPO. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*, 2020.
<https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>
- [28] NOHÁČ, Karel. *Přednáška z předmětu Elektroenergetika I a Přehled elektroenergetiky (+EEI a PEE)*, Západočeská univerzita v Plzni,
http://home.zcu.cz/~nohac/EE1/Termodynamika_pro_EE1-prezentace.pdf.

- [29] PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Energetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.
- [30] RENTIER, Gerrit; LELIEVELDT, Herman; KRAMER, Gert Jan. *Varieties of coal-fired power phase-out across Europe, Energy Policy, Volume 132 (Pages 620-632)*, ISSN 0301-4215
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421519303465>
- [31] ROHAN, Fernando. *Current design and construction of coal-fired power plant*. United Kingdom, 2004. ISBN 92-9029-405-1.
- [32] SEVEROČESKÉ DOLY a.s. *Katalog hnědého uhlí pro rok 2021*, 2021.
http://www.sd-bilinskeuhli.cz/dokumenty/Katalog_2021.pdf
- [33] SKOREK-OSIKOWSKA, Anna; BARTELA Łukasz; KOTOWICZ, Janusz. *Thermodynamic and ecological assessment of selected coal-fired power plants integrated with carbon dioxide capture*, Applied Energy, 2017, ISSN 0306-2619
- [34] UHELNÁ KOMISE VLÁDY ČESKÉ REPUBLIKY. *Průběžné výstupy a doporučení Uhelné komise*, 2020. (Poskytnuto vedoucím bakalářské práce).