

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2021**

**JAN  
KŘÍŽ**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kříž** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **473523**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**  
Studijní program: **Strojírenství**  
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vliv emisních povolenek na cenu výroby tepla z CZT v ČR z různých druhů paliv.**

Název bakalářské práce anglicky:

**Influence of emission allowances on the price of heat production in the Czech Republic from various fuels in centralized heat supply systems.**

Pokyny pro vypracování:

Vypracování rešerše na téma emisních povolenek (EU ETS). Výpočet stechiometrie spalování 3 druhů paliv (uhlí, biomasa, zemní plyn) pro konkrétní zdroj centrálního zásobování teplem s důrazem na emise CO<sub>2</sub>. Ekonomické porovnání jednotlivých variant a provedení citlivostní analýzy.

Seznam doporučené literatury:

Dlouhý T.: Výpočty kotlů a spalinových výměníků. Skriptum ČVUT 2006

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jitka Jeníková, ústav energetiky FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **09.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2022**

Ing. Jitka Jeníková  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
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

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval sám. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, byly citovány a jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů a literatury.

V Praze 30. května 2021

.....  
Jan Kříž

# Anotační list

**Jméno autora:** Jan Kříž

**Název BP:** Vliv emisních povolenek na cenu výroby tepla z CZT v ČR z různých druhů paliv.

**Anglický název:** Influence of emission allowances on the price of heat production in the Czech Republic from various fuels in centralized heat supply systems.

**Akademický rok:** 2020/2021

**Ústav/Odbor:** Ústav energetiky/Energetika

**Vedoucí BP:** Ing. Jitka Jeníková

**Bibliografické údaje:** Počet stran: 50

Počet obrázků: 1

Počet tabulek: 14

Počet grafů: 14

**Klíčová slova:** Emisní povolenky, teplárenství, EU ETS

**Keywords:** Emission allowances, heating industry, EU ETS

**Anotace:** Cílem této bakalářské práce je představit systém EU ETS a jeho fungování. Pomocí stechiometrických výpočtů pro tři různá paliva (uhlí, zemní plyn, dřevní štěpka) zhodnotit produkci emisí CO<sub>2</sub> pro reálný zdroj CZT. Poslední částí práce je ekonomické porovnání všech paliv a provedení citlivostní analýzy.

**Abstract:** The aim of this thesis is to present system of EU ETS and its operation. Using stoichiometric calculations for three various fuels (coal, natural gas, woodchips) to evaluate CO<sub>2</sub> emission production for real centralized heat supply source. Economical comparison of all fuels and sensitivity analysis is the last part of this thesis.

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Jitce Jeníkové za odborné vedení, pomoc a rady při zpracování této práce.

# Obsah

1	Úvod.....	8
2	Mezinárodní úmluvy pro ochranu klimatu .....	9
2.1	Rámcová úmluva Organizace spojených národů o změně klimatu .....	9
2.2	Kjótský protokol.....	9
2.3	Pařížská dohoda o změně klimatu.....	10
3	System EU pro obchodování s emisemi (EU ETS) .....	11
3.1	Úvod.....	11
3.2	Zařízení zahrnuté do EU ETS .....	11
3.3	Evropské emisní povolenky EUA (European Emissions Allowances).....	12
3.4	Registr Unie a protokol transakcí Evropské unie (EUTL).....	13
3.5	Emisní strop .....	13
3.6	Bezplatné povolenky, únik uhlíku.....	13
3.7	Dražby povolenek .....	14
3.8	Program NER300 .....	14
3.9	Kompenzace nepřímých uhlíkových nákladů .....	15
3.10	První obchodovací období EU ETS (2005-2007) .....	15
3.11	Druhé obchodovací období EU ETS (2008-2012) .....	15
3.12	Třetí obchodovací období EU ETS (2013-2020) .....	16
3.13	Vlivy na cenu EUA .....	16
3.14	Čtvrté obchodovací období EU ETS (2021-2030) .....	17
3.15	Další vývoj EU ETS .....	18
4	EU ETS a ochrana ovzduší v legislativě ČR .....	19
4.1	Přechodný národní plán.....	20
5	Teplárenství v ČR .....	22

5.1	Aktuální situace v teplárenství v ČR.....	22
5.2	Způsoby výroby tepla v síti CZT .....	23
5.3	Růst ceny EUA a dopad na teplárenství v ČR .....	23
6	Vliv EU ETS na cenu výroby tepla na příkladu reálné teplárny .....	26
6.1	Úvod.....	26
6.2	Současný stav .....	26
6.3	Technologie teplárny.....	26
6.3.1	Uhelné kotle .....	26
6.3.2	Technologie deNo <sub>x</sub> .....	27
6.3.3	Odlučovače popílku .....	27
6.3.4	Odsíření spalin .....	27
6.3.5	Tkaninové filtry .....	28
6.4	Provoz kotlů .....	28
6.5	Stechiometrické výpočty pro pevná paliva .....	29
6.6	Stechiometrické výpočty pro plynné palivo.....	31
6.7	Výsledky stechiometrických výpočtů .....	33
6.8	Porovnání provozu teplárny při spalování různých druhů paliv .....	34
6.9	Ekonomické porovnání .....	36
6.9.1	Variabilní náklady.....	36
6.9.2	Fixní náklady .....	37
6.10	Citlivostní analýza .....	38
7	Závěr .....	43
8	Bibliografie .....	45
9	Grafy .....	48
10	Tabulky .....	49
11	Obrázky.....	50

# Seznam zkratk

BAT	Nejlepší dostupné technologie
CZT	Centrální zásobování teplem
ČR	Česká republika
DPH	Daň z přidané hodnoty
EEA	Evropská agentura pro životní prostředí
EEX	Evropská energetická burza
EHP	Evropský hospodářský prostor
ELTO	Extra lehký topný olej
EU	Evropská unie
EU ETS	Systém EU pro obchodování s emisemi
EUA	Evropská emisní povolenka
EUTL	Registr unie a protokol transakcí Evropské unie
MSR	Rezerva tržní stability
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NAP	Národní alokační plán
NER	Rezerva pro účastníky trhu
SCR	Selektivní katalytická redukce
SNCR	Selektivní nekatalytická redukce
TNAC	Celkový počet povolenek v oběhu
TZL	Tuhé znečišťující látky
USA	Spojené státy americké



# 1 Úvod

V posledních několika dekadách začaly být intenzivně zkoumány dopady lidské činnosti na klima planety, které se i díky nim mění. Tyto změny způsobují například růst průměrné teploty a zvýšení hladiny oceánů. Změny klimatu jsou zejména zesíleny produkcí skleníkových plynů, které vypouští průmysl a doprava. V rámci mezinárodní snahy o snížení emisí skleníkových plynů jsou tato odvětví kontrolována a regulována. Mezi největší producenty skleníkových plynů patří v ČR teplárenství. Toto odvětví průmyslu je ovlivněno mezinárodními úmluvami a evropským systémem emisních povolenek. V první části práce rozebírám systém evropského emisního obchodování EU ETS, jeho historii a vývoj. Dále se zabývám jeho fungováním v rámci České republiky. Další část práce věnuji příkladu reálné teplárny a rozebírám současný stav a technologie, kterými je teplárna vybavena. V části stechiometrických výpočtů porovnávám různá paliva z hlediska produkce emisí. Následně provádím ekonomický rozbor ceny vyrobeného tepla z různých paliv. Všechny údaje nakonec využiji k citlivostní analýze dopadu ceny emisní povolenky na provoz teplárny.

## **2 Mezinárodní úmluvy pro ochranu klimatu**

### **2.1 Rámcová úmluva Organizace spojených národů o změně klimatu**

V roce 1992 se v Rio de Janeiro uskutečnila konference zástupců více než 170 zemí, aby probrali téma změny klimatu. Na této konferenci byla poprvé oficiálně uznána existence klimatických změn a vliv člověka na tyto změny. V této úmluvě byly definovány obecné kroky ke zlepšení klimatu. Nejdůležitějším krokem bylo stanovení snížení objemu skleníkových plynů v atmosféře. Úmluva vstoupila v platnost v roce 1994 a v současné době zahrnuje 197 smluvních stran. [1]

### **2.2 Kjótský protokol**

Klíčový dokument, tzv. Kjótský protokol, je jedním z hlavních nástrojů pro boj proti změně klimatu a navazuje na Rámcovou úmluvu Organizace spojených národů o změně klimatu. Prostřednictvím tohoto dokumentu se země zavázaly v období 2008-2012 snížit emise vypouštěné do atmosféry o minimálně 5 % [2] oproti úrovni v roce 1990. Toto procento bylo různé pro jednotlivé státy (např. pro ČR to bylo 8 %) [2]. Kjótský protokol se zabývá emisemi šesti plynů: oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), methan (CH<sub>4</sub>), oxid dusný (N<sub>2</sub>O), částečně fluorované uhlovodíky (HFCs), zcela fluorované uhlovodíky (PFCs), fluorid sírový (SF<sub>6</sub>). Po sporu USA a EU byl stanoven závazný seznam opatření, které musely členské státy přijmout. Mezi tato opatření patří například zvyšování energetické účinnosti, podpora nových a obnovitelných zdrojů energie nebo opatření vedoucí k omezení emisí pocházejících z dopravy. V článku 17 je zavedeno obchodování s emisemi, ale podle Protokolu by mělo být pouze doplňkem vnitrostátních opatření. Dalšími mechanismy snižování emisí jsou společné plnění závazků (čl. 4), společná implementace (čl. 6), obchodování s emisemi (čl. 17) a mechanismus čistého rozvoje (čl. 12). Tato dohoda byla vnímána jako velký úspěch v ochraně životního prostředí v celosvětovém měřítku. [2] [3]

## 2.3 Pařížská dohoda o změně klimatu

Pařížská dohoda začala platit 4. listopadu 2016. Státy se v ní zavazují udržet globální nárůst teploty pod 1,5 °C [4]. Po roce 2020 nahradila Kjótský protokol. V dokumentu jsou dále uvedeny závazky pro snížení celkových emisí skleníkových plynů o 40 % [4] do roku 2030 ve srovnání s rokem 1990, zpřístupnění finančních prostředků na podporu omezení emisí a zlepšení vzdělávání v této oblasti. Hlavní změnou oproti Kjótskému protokolu je stanovení Národních redukčních plánů pro všechny členské země, ve kterých se státy zavazují snížit své emise o stanovené hodnoty. Tato povinnost byla v Kjótském protokolu výlučně pro země rozvinuté. Pařížská dohoda zahrnuje všechny významné producenty skleníkových plynů, a to i ty, kteří chtěli méně tvrdé podmínky (Čína, Indie).

Pařížská dohoda se však neobešla bez kritiky. V dohodě nejsou obsažena žádná opatření pro snižování emisí z lodní a letecké dopravy, které v současnosti představují 3-4 % [5] emisí skleníkových plynů. [4] [5]

# 3 Systém EU pro obchodování s emisemi (EU ETS)

## 3.1 Úvod

Systém EU ETS vychází ze systému, který fungoval v USA od konce 70. let 20. století, kdy vytvoření trhu s emisemi SO<sub>x</sub> a NO<sub>x</sub> výrazně zlepšilo kvalitu ovzduší.

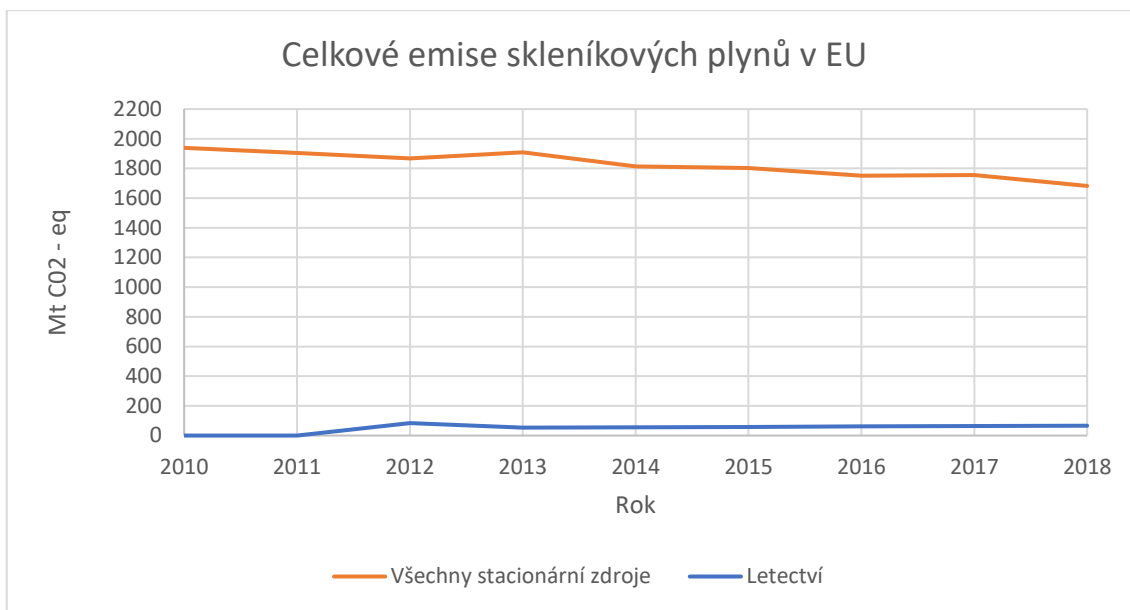
Systém emisního obchodování funguje principem „cap and trade“. Na trhu se určí celkové množství vypouštěných emisí „cap“ formou celkového množství povolenek. Tyto povolenky znamenají právo vypustit jednu tunu skleníkového plynu. Rozdělování povolenek může probíhat různou formou (např. dle historických dat, efektivity provozu, aukce). Do systému je každý rok vypouštěno menší množství povolenek než předchozí. Tímto způsobem jsou provozovatelé motivováni ke snížení množství emisí.

Celý systém monitorují orgány, které jsou oprávněny udělovat pokuty účastníkům, kteří nerespektují pravidla emisního obchodování.

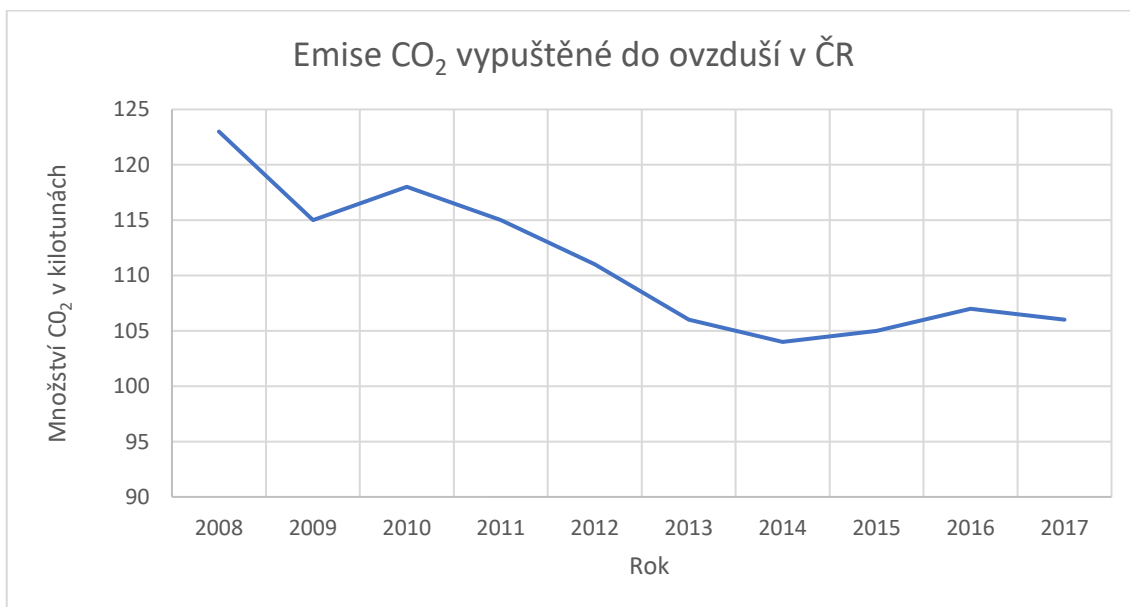
Tento systém je středem strategie EU pro omezení emisí skleníkových plynů, které jsou vypouštěny průmyslem a energetickým odvětvím. Systém funguje od roku 2005 a je zatím rozdělen do čtyř obchodovacích období. Cílem bylo do roku 2020 snížit emise skleníkových plynů o 20 % [6] oproti roku 1990. Tento cíl se podařilo překonat již v roce 2015. V roce 2017 byla zveřejněna revidovaná směrnice pro čtvrté obchodovací období (2021-2030), která se snaží usnadnit snížení emisí skleníkových plynů o 43 % [6] v souladu s cíli Pařížské dohody a podpořit inovace pro snížení produkce emisí uhlíku. [6] [7] [8]

## 3.2 Zařízení zahrnuté do EU ETS

EU ETS funguje ve 30 zemích Evropského hospodářského prostoru (EHP). Zahrnuje téměř 11 000 elektráren a výrobních zařízení (např. těžba nerostných surovin, zpracování kovů, rafinace ropných produktů) a více než 500 provozovatelů letadel. Systém EU ETS omezuje emise oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a oxidu dusného (N<sub>2</sub>O) u všech těchto objektů. [6]



Graf 1 – Celkové emise skleníkových plynů v EU [9]



Graf 2- Emise CO<sub>2</sub> vypuštěné do ovzduší v ČR [10]

### 3.3 Evropské emisní povolenky EUA (European Emissions Allowances)

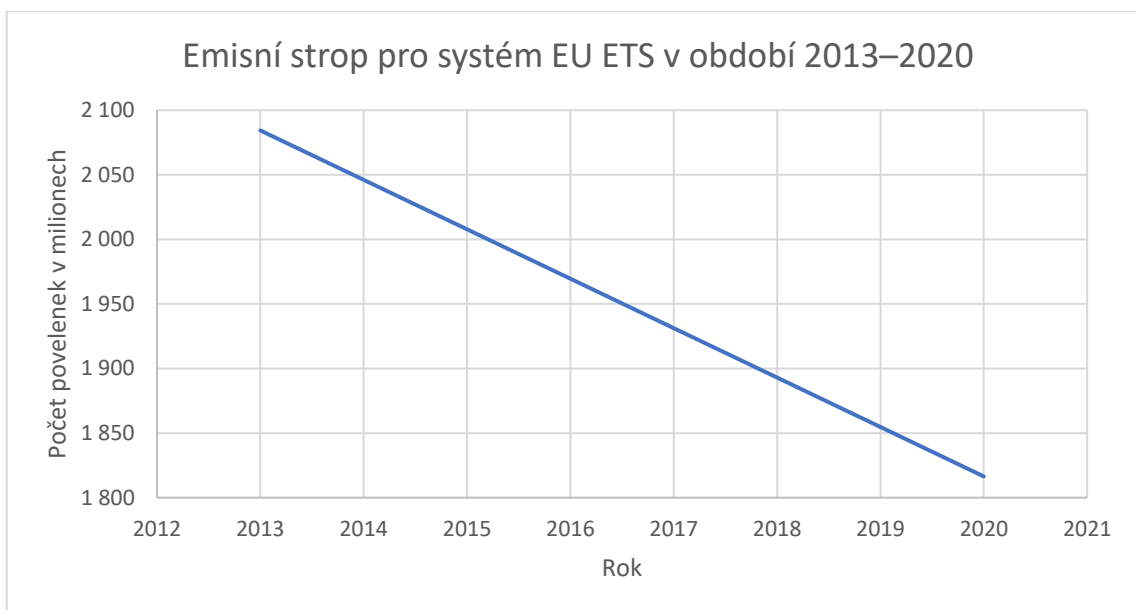
Evropská emisní povolenka představuje povolení vypustit jednu tunu ekvivalentu oxidu uhličitého. EUA jsou hlavní komoditou v systému EU ETS, která je mezi subjekty systému obchodována. [6] [7]

### 3.4 Registr Unie a protokol transakcí Evropské unie (EUTL)

EUTL sleduje vlastnictví povolenek držených na účtech a transakce mezi těmito účty. Záznamy v EUTL jsou důležité pro vykazování různých činností v rámci EU ETS. Zajišťuje také transparentnost v celém systému EU ETS. [6] [7]

### 3.5 Emisní strop

Emisní strop je maximální množství skleníkových plynů, které smějí zařízení zahrnutá do EU ETS do atmosféry vypustit za rok. Toto množství se každoročně snižuje v souladu se splněním cíle snižování těchto emisí a odpovídá množství povolenek, které jsou vypuštěny do oběhu v každém obchodovacím období. V prvním a druhém období platily stropy národní. Od třetího obchodovacího období platí strop pro celou EU. Rozlišuje se strop pro stacionární zařízení a pro odvětví letecké dopravy. Pro rok 2020 byl emisní strop pro stacionární zařízení nastaven na 1 816 452 135 povolenek [11]. [6] [7] [11]



Graf 3 – Emisní strop pro systém EU ETS v období 2013-2020 [12]

### 3.6 Bezplatné povolenky, únik uhlíku

Ve třetím obchodovacím období bylo přibližně 43 % [6] dostupných povolenek přiděleno průmyslovým zařízením bezplatně. Zbýlých 57 % [6] je přiděleno státům k vydražení. Bezplatné povolenky dostávají průmyslová odvětví s vysokým rizikem úniku uhlíku. Únik uhlíku znamená přesunutí výroby nebo činnosti mimo území EU. Bezplatné povolenky mají motivovat inovace v oblasti omezení emisí skleníkových plynů. Mezi odvětví ohrožené únikem uhlíku patří například těžba nerostných surovin (ropa, kovy,

uhlí), výroba a hutní zpracování železných i neželezných kovů, výroba skla, výroba oceli a výroba chemických vláken. Úplný seznam pro roky 2021-2030 je obsažen v Rozhodnutí komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/708 ze dne 15. února 2019.

Bezplatné povolenky již nebudou vydávány pro odvětví produkující elektřinu. Byla zavedena rezerva pro nové účastníky trhu (NER), která zahrnuje celou EU. Dle zkušeností z třetího obchodovacího období jsou bezplatné povolenky účinným nástrojem, jak zastavit únik uhlíku, a proto bude tento systém pokračovat i ve čtvrtém obchodovacím období (2021-2030). [6] [7]

### **3.7 Dražby povolenek**

Dražba byla ustanovena jako hlavní systém obchodu s povolenkami po neúspěšných Národních alokačních plánech (více v následující kapitole). Tato náhrada začala platit pro třetí obchodovací období (2013-2020) a draží se více než polovina celkového počtu povolenek na trhu. Zbylá polovina je bezplatně přidělena. Hlavní platformou pro dražbu je Evropská energetická burza (EEX) provádějící dražby jménem 26 členských států. Celkové výnosy za období 2012–červen 2019 byly 42 miliard EUR [6]. Jen za rok 2018 byly výnosy 14 miliard eur [6]. Nejméně 50 % [6] z výnosů by měly členské státy využít na podporu projektů v oblasti změny klimatu a energetiky. V období mezi lety 2013-2018 bylo na tyto účely použito 80 % [6] výnosů z dražeb povolenek. Česká republika draží své povolenky na energetické burze v Lipsku a v Londýně. [6] [13]

### **3.8 Program NER300**

Program NER300 byl orientován na financování nových projektů zaměřených na záchyt a ukládání oxidu uhličitého a inovace v oblasti obnovitelných zdrojů v komerčním rozsahu. Peníze pro tento program byly získávány z prodeje emisních povolenek z rezervy pro nové účastníky na trhu. Návrhy na tyto projekty byly přijímány mezi lety 2012-2014 a bylo z nich vybráno 38 projektů [14]. Výše zmíněných finančních prostředků byla 2,1 miliardy EUR [14]. Mezi tyto projekty patří například větrné elektrárny ve Švédsku, Rakousku a Itálii. Jediný projekt z kategorie záchytu a ukládání oxidu uhličitého, White Rose v Anglii, byl zrušen. [6] [14]

### **3.9 Kompenzace nepřímých uhlíkových nákladů**

Členské státy EU mohou poskytovat průmyslovým odvětvím náročným na elektřinu státní podporu na kompenzaci nepřímých uhlíkových nákladů. Ty vznikají zvýšením vyrobené ceny elektřiny. Tyto náklady by mohl výrobce přenést na konečného spotřebitele. Kompenzace slouží k tomu, aby k tomuto kroku nedošlo a budou umožněny i ve čtvrtém obchodovacím období. Celkové kompenzace za rok 2018 činily přibližně 462 milionů eur. [6]

### **3.10 První obchodovací období EU ETS (2005-2007)**

První tříleté období bylo testovací fází celého projektu. Byly zahrnuty čtyři sektory průmyslu: energetika, výroba a zpracování kovu, zpracování nerostů a ostatní činnosti (např. závody na zpracování papíru). V tomto období byly vydány povolenky pouze na emise CO<sub>2</sub>. Všechna zahrnutá zařízení byla přiřazena k Národním alokačním plánům (NAP, National Allocation Plan). Národní plány byly dále projednávány a schvalovány na úrovni celé unie. Právě NAP byly shledány jako jeden z největších problémů první fáze. Jednotlivé státy si z obav o vlastní průmysl nárokovaly více povolenek, než potřebovaly. To vedlo k přebytku povolenek a velkému poklesu ceny EUA na konci tohoto období. Dalším problémem NAP bylo jejich dlouhé odevzdávání. Navzdory všem problémům se ale v prvním období potvrdilo, že tento systém funguje – došlo k redukcí emisí oxidu uhličitého vypouštěných do atmosféry. [6] [7] [8]

### **3.11 Druhé obchodovací období EU ETS (2008-2012)**

Toto období se snažilo adresovat problémy, které vznikly v první fázi od roku 2005. Zároveň bylo souběžné s obdobím Kjótského protokolu, kdy se Evropská unie zavázala snížit emise oxidu uhličitého o 8 % oproti úrovni v roce 1990. Další velkou změnou bylo zahrnutí letectví do EU ETS od 1. ledna 2012. [7]

Na základě vykázaných emisí z první fáze byl počet povolenek snížen o 6,5 % v porovnání s první fází. Podíl bezplatných povolenek na celkovém objemu klesl k 90 %. [8]

Ve druhé fázi byly také řešeny problémy s NAP. Evropská komise naléhala na státy, aby své NAP zjednodušily. Termín jejich odevzdání byl stanoven na 18 měsíců před začátkem obchodovacího období (30. červen 2006). Včasné odevzdání se povedlo pouze Německu a Estonsku, zbytek států byl upozorněn a některé státy (včetně ČR) neodevzdaly svůj plán



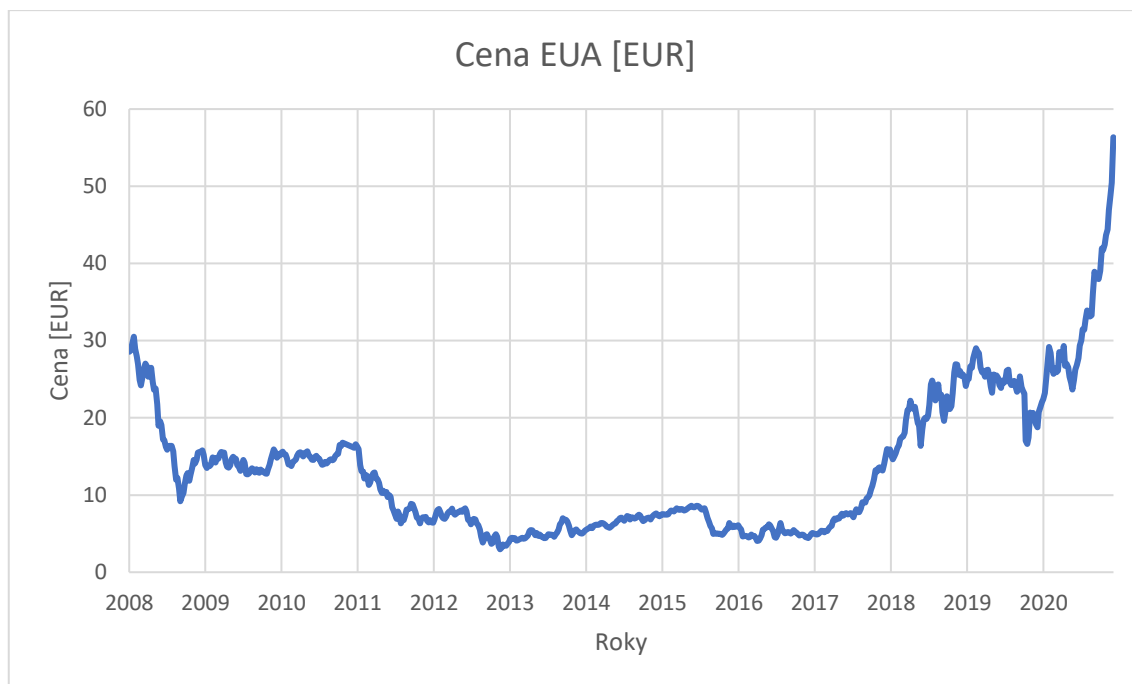
ani 5 měsíců po termínu odevzdání. Velkou roli sehrála finanční krize v roce 2008, která celý systém značně ovlivnila, a i kvůli ní druhá fáze skončila s přebytkem povolenek. [6] [7] [8]

### **3.12 Třetí obchodovací období EU ETS (2013-2020)**

Fungování EU ETS se ve třetím období značně změnilo. Hlavním nástrojem přidělování povolenek se stala jejich dražba. Neosvědčený systém NAP nahradil jednotný emisní strop. Plošně byly zařazeny do systému oxid dusný a zcela fluorované uhlovodíky. Další změnou bylo vytvoření rezervy tržní stability MSR (Market Stability Reserve), která byla vytvořena s cílem zmenšit přebytek povolenek na trhu. Tento přebytek byl krátkodobě řešen tzv. „backloadingem“ (stažení povolenek z oběhu, které má regulovat cenu) mezi lety 2014-2016 a bylo při něm stáhnuto z dražby 900 milionů povolenek [15]. Tyto povolenky byly přesunuty do MSR a začaly se znovu dražit v roce 2019. Pravidla pro obchodování ve třetím období jsou obsažena ve směrnici 2003/87/ES a její revizi směrnici 2009/29/ES. [6] [7] [8] [15]

### **3.13 Vlivy na cenu EUA**

V roce 2013 skončil propad ceny EUA, který byl způsobený přebytkem povolenek na trhu a nejistotou na trhu, kterou vyvolala směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti. Následoval mírný růst díky vytvoření rezervy tržní stability MSR zmíněným „backloadingem“. V roce 2016 následoval propad cen energetických komodit a referendum o vystoupení Spojeného království z EU „Brexit“. Během těchto událostí probíhalo poslední období, kdy došlo k poklesu ceny EUA. Od schválení poslední podoby EU ETS v roce 2018 cena prudce vzrostla. [16]



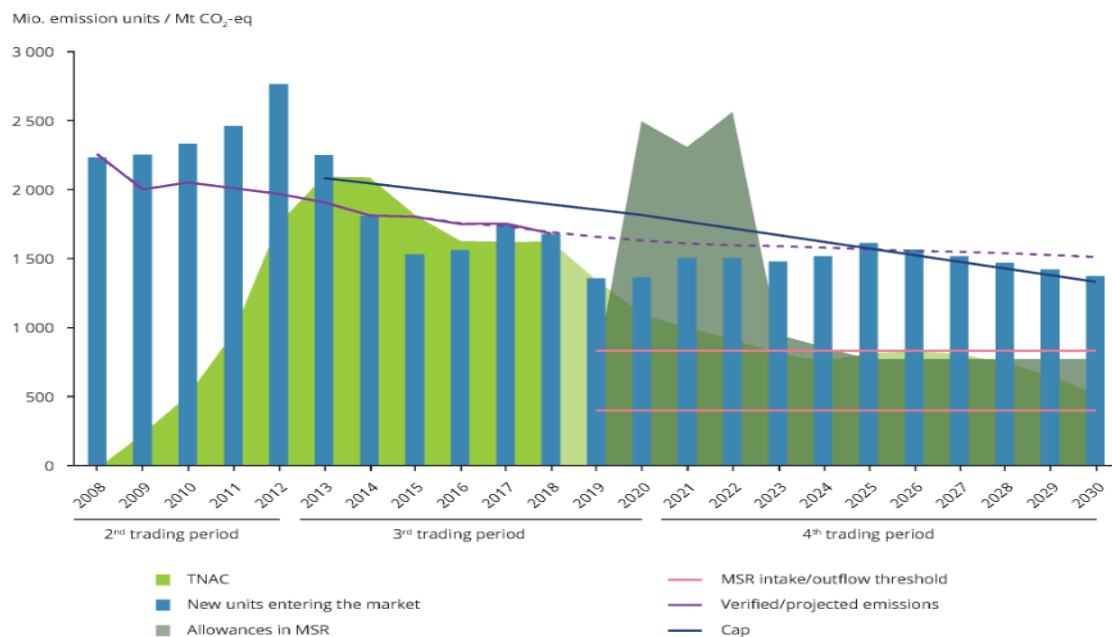
Graf 4 - Vývoj dražební zúčtovací ceny EUA v eurech [17]

### 3.14 Čtvrté obchodovací období EU ETS (2021-2030)

Snížení emisí bude zajištěno snižováním počtu emisních povolenek o 2,2 % oproti 1,74 % v předchozím obchodovacím období. Toto by mělo vést ke snížení o 48 milionů povolenek ročně. Bude navýšena rezerva tržní stability (MSR), která slouží jako mechanismus regulace nerovnováhy na trhu. Ve čtvrté fázi se přidělování povolenek zaměří na odvětví s nejvyšší možností přesunu výroby mimo EU. Tato odvětví budou posouzena a případně zařazena na seznam odvětví ohrožených rizikem úniku uhlíku a obdrží bezplatné povolenky odpovídající 100 % příslušné referenční hodnoty. Tato referenční hodnota se pohybuje mezi 0,2 % až 1,6 % podle využití inovací pro snížení produkce emisí. Příkladem z předběžného seznamu těchto odvětví jsou výroba surového železa, oceli a feroslitin, výroba chemických vláken a výroba olejů a tuků. Ve čtvrté fázi jsou z EU ETS vyřazení velmi malí producenti emisí (tj. vypustili méně než 2500 tun CO<sub>2e</sub> za rok v posledních třech letech). [6]

### 3.15 Další vývoj EU ETS

Přestože celkové emise zařízení v EU ETS klesly mezi roky 2005-2018 o 29 %, tak by se mělo v dalších letech tempo poklesu zpomalovat. Tyto předpovědi jsou založeny na odhadech členských států. Mezi roky 2018-2030 je odhadován pokles pouze o 7 %. Snížení emisí je předpokládáno u dvaceti států. Některé země však odhadují nárůst. Důvodem nárůstu může být odstavení jaderných elektráren a jejich nahrazení fosilními zdroji (Belgie) nebo rozvin průmyslu a energetiky závislé na fosilních palivech (Irsko). Dle Evropské agentury pro životní prostředí (EEA – European environment agency) bude celkový počet povolenek v oběhu (TNAC – total number of allowances in circulation) klesat z důvodu jejich přesunu do MSR. Od roku 2026 je odhadováno, že emise zařízení v EU ETS budou vyšší než emisní strop. Díky zvýšené poptávce po povolenkách se dále sníží TNAC. [18]



Graf 5 – Přehled vývoje poptávky a nabídky povolenek 2008-2030 [18]

## 4 EU ETS a ochrana ovzduší v legislativě ČR

V české legislativě je systém EU ETS ukotven v zákoně č. 383/2012 Sb. o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů, který reagoval na změny, které nastaly pro třetí obchodovací období. V ČR je součástí systému okolo čtyř set zařízení, která dohromady vypouštějí 65 % emisí CO<sub>2</sub>.

V prvním obchodovacím období bylo České republice schváleno a přiděleno 97,6 milionů povolenek. Ve druhém obchodovacím období si ČR navrhla 101,9 milionů. Tento počet byl Evropskou komisí snižen na pouze 86,8 milionů kusů. Největším příjemcem těchto povolenek je společnost ČEZ, která zároveň vypouští nejvíce emisí skleníkových plynů. [19]

O správu celého systému se dělí Ministerstvo životního prostředí (MŽP) a Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO). Začlenění EU ETS je závazné pro ČR z důvodu závazků vůči EU. Prvním zařazením tohoto systému do legislativy ČR byl zákon č. 695/2004 Sb. ze dne 9. prosince 2004 o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů a o změně některých zákonů. Tento zákon je téměř přepisem Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES ze dne 13. října 2003 o vytvoření systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů. Tato směrnice byla novelizována pro čtvrté obchodovací období. Dalším zákonem, který upravuje vypouštění skleníkových plynů do atmosféry je zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. Zde jsou uvedeny emisní limity pro jednotlivé plyny a zařízení dle různých rozdělení. V ČR jsou zpoplatněny emise látek CO<sub>2</sub>, TSL, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a VOC. Do systému emisního obchodování jsou povinně zařazeny spalovací zdroje o výkonu nad 20 MW<sub>t</sub>. [12] [20]

**Tabulka 1: Specifické emisní limity pro spalovací stacionární zdroje, pro něž byla podána kompletní žádost o první povolení provozu, nebo obdobné povolení podle dřívějších právních předpisů, před 7. lednem 2013 a byly uvedeny do provozu nejpozději 7. ledna 2014 [20]**

Druh paliva	Specifické emisní limity [mg.m <sup>3</sup> ]											
	50-100 MW				> 100-300 MW				> 300 MW			
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TZL	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TZL	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TZL	CO
Pevné palivo obecně	400	300	30	250	250	200	25	250	200	200	20	250
Biomasa podle § 2 písm. a)	200	300	30	250	200	250	20	250	200	200	20	250
Rašelina	300	300	30	250	300	250	20	250	200	200	20	250
Kapalné palivo obecně	350	450	30	175	250	200	25	175	200	150	20	175
Zkapalněný plyn	5	200	5	100	5	200	5	100	5	200	5	100
Plynné palivo obecně	35	200	5	100	35	200	5	100	35	200	5	100
Zemní plyn	35	100	5	100	35	100	5	100	35	100	5	100
Koksárenský plyn	400	200	30	100	400	200	30	100	400	200	30	100
Vysokopeční plyn	200	200	10	100	200	200	10	100	200	200	10	100
Plyn ze zplyňování rafinérských zbytků	35	200	5	100	35	200	5	100	35			

## 4.1 Přejídný národní plán

Cílem tohoto plánu je snižování emisí tuhých znečišťujících látek, oxidu siřičitého a oxidů dusíku ze spalovacích stacionárních zdrojů. Česká republika přešla k přechodnému plánu kvůli nedosažitelnosti plnění emisních limitů, které vešly v platnost 1. ledna 2016. Tento plán se vztahuje na stacionární zdroje o celkovém jmenovitém tepelném příkonu 50 MW<sub>t</sub> a vyšším. Do Přechodného národního plánu nejsou zahrnuty spalovací stacionární zdroje v rafineriích spalující plyny s nízkou výhřevností ze zplyňování rafinérských zbytků nebo zbytky pocházející z destilace či zpracování při rafinaci surové ropy pro vlastní spotřebu, samostatně či s jinými palivy. Tento plán se nevztahuje na stacionární zdroje s omezenou životností.

Zdroje, které jsou zahrnuty do tohoto plánu musely plnit emisní limity stanovené ve směrnici 2010/75/EU nejpozději 1. července 2020, při nedodržení těchto limitů hrozí provozovateli zařízení pokuta ve výši až 2 miliony Kč. Z Přechodného národního plánu mohla být také vyřazena zařízení, která splňovala podmínky článku 35 směrnice 2010/75/EU. Zařízení nesměla přesahovat 200 MW<sub>t</sub> tepelného výkonu a nejméně 50 % vyrobeného užitého tepla bylo dodáno v podobě páry či horké vody do veřejné sítě dálkového vytápění.

Přechodný národní plán je zpracován na základě § 37 zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů a v souladu s požadavky článku 32 směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích a v souladu s požadavky rozhodnutí Evropské komise 2012/115/EU, kterým se stanoví pravidla týkající se přechodných národních plánů uvedených ve směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU o průmyslových emisích. [21]

**Tabulka 2: Součet emisních stropů všech spalovacích stacionárních zdrojů zahrnutých do Přechodného národního plánu [21]**

<b>t/rok</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
SO <sub>2</sub>	100 163	83 810	65 526	42 722	22 176
NO <sub>x</sub>	54 394	47 011	42 219	36 461	18 329
TZL	3 904	3 503	3 022	2 238	1 304

Údaje za rok 2020 končí k datu 30. června, kdy končila platnost Přechodného národního plánu.

**Tabulka 3: Znečišťující látky, které podléhají zpoplatnění a sazby poplatků za znečišťování v jednotlivých letech [v Kč/t] [21]**

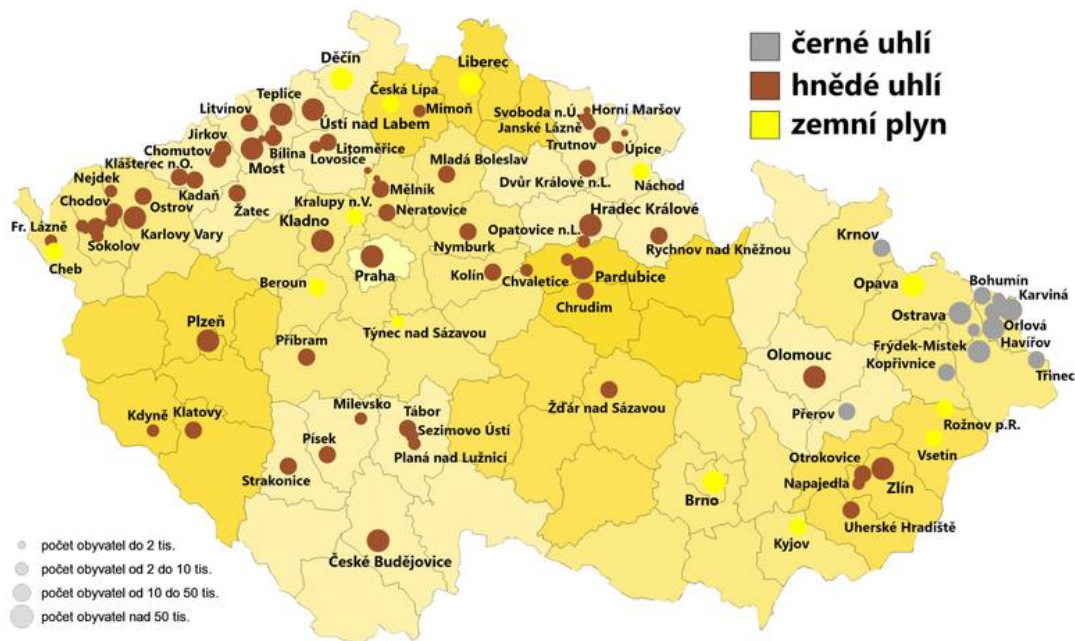
<b>t/rok</b>	<b>2013 až 2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021 a dále</b>
TZL	4 200	6 300	8 400	10 500	12 600	14 700
SO <sub>2</sub>	1 350	2 100	2 800	3 500	4 200	4 900
NO <sub>x</sub>	1 100	1 700	2 200	2 800	3 300	3 900
VOC	2 700	4 200	5 600	7 000	8 400	9 800

# 5 Teplárenství v ČR

## 5.1 Aktuální situace v teplárenství v ČR

Teplárenství hraje klíčovou roli v zajištění tepelných potřeb v ČR. Teplárny a výtopny jsou cíleně navrženy pro výrobu tepelné energie pro velký počet odběratelů. Tyto zdroje označujeme jako centrální zásobování teplem (CZT). Pokud si spotřebitel vyrábí tepelnou energii sám, hovoříme o zdrojích decentralizovaných. V současné době je 38 % obyvatelstva ČR zásobováno teplem z CZT.

Hlavním palivem je hnědé uhlí, které bylo historicky nejdostupnějším zdrojem paliva. Zemní plyn se rozšířil až po roce 1967, kdy byl zprovozněn plynovod ze Sovětského svazu. Centrální zdroje mají v ČR tradici a jejich hlavní výhodou jsou lepší parametry než u jejich menších konkurentů. Tyto zdroje se také lépe potýkají s emisními limity, protože jsou vybaveny zařízeními pro snižování škodlivých látek ve spalínách, které jsou těmito limity omezovány. Teplárny jsou také důležitým zdrojem pro elektrickou síť. Při výrobě tepla se vyrábí v kombinované výrobě elektřina, kterou může teplárna zásobovat své okolí v případě rozpadu přenosové soustavy. [22] [23]



Obrázek 1- Města s dodávkou tepla zatíženou nákupem povolenek s vyznačením převládajícího druhu paliva pro výrobu tepla [24]

## 5.2 Způsoby výroby tepla v síti CZT

Čtyři hlavní způsoby výroby tepla jsou: výtopy, teplárny, paroplynové teplárny a kogenerační motory.

Výtopy představují nejjednodušší způsoby získávání tepelné energie. Spalované palivo v kotli ohřívá vodu či páru, která přes tepelný výměník předává teplo do soustavy CZT. Tento cyklus má účinnost až 90 %. Nevýhodou je, že při něm získáváme pouze teplo.

V teplárně energie paliva mění vodu v kotli na páru, která pohání parní turbínu a přes výměňkovou stanici se teplo dostává do soustavy CZT. Výhodou takového zařízení je přeměna 72 % uvolněné energie na teplo a 18 % energie na elektřinu. Ztráty pak tvoří 10 % celkové energie.

Paroplynová teplárna používá jako palivo plyn (v ČR hlavně zemní plyn). Hořící plyn roztáčí první plynovou turbínu. Tato turbína pohání generátor, který vyrábí elektrickou energii. Spaliny z první turbíny, které mají stále vysokou teplotu pro další využití, procházejí do spalínového kotle, kde ohřejí vodu na páru, která roztáčí druhou turbínu, kde dochází k další výrobě elektřiny. Pára po průchodu druhou turbínou předává zbytek své energie ve výměníku vodě, která slouží k vytápění v CZT. Tento způsob výroby zajišťuje získání 47 % energie v elektřině a 38 % energie v teple. Ztráty jsou 15 % původního množství energie.

Kogenerační motory také používají jako palivo plyn. Upravený pístový motor pohání generátor na výrobu elektřiny. Chlazením spalín (olejem nebo vodou) získáváme teplo které je přes výměník opět dodáváno do soustavy CZT. Kogenerační motory dokáží vyrobit až 40 % elektrické energie, 57 % energie tepelné a se ztrátami pouze 3 %. [25]

## 5.3 Růst ceny EUA a dopad na teplárenství v ČR

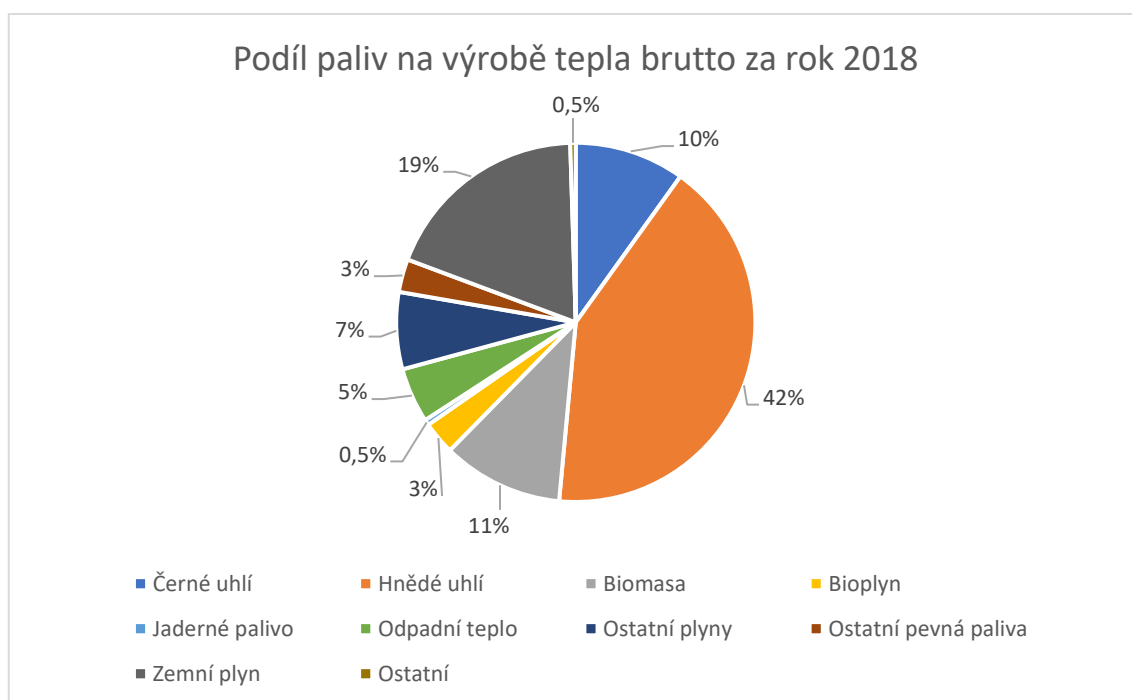
Hlavním zdrojem pro výrobu tepla jsou v ČR uhelná paliva, která mají více než 50% podíl na jeho celkové výrobě. Cena emisní povolenky zatěžuje 99 % tepla, které pochází z uhlí a 59 % výroby ze zemního plynu. V roce 2018 došlo k prudkému růstu ceny povolenky a průměrná cena byla přibližně 399 Kč, což je téměř čtyřnásobek hodnoty oproti roku 2017. Průměrná cena povolenky v roce 2019 byla 607 Kč. V roce 2017 zaplatily teplárny za povolenky 1,5 miliardy korun, v roce 2019 to bylo přes 8,7 miliardy korun. Pro rok 2020 se odhadují výdaje na povolenky až ve výši 13 miliard korun. [24]



Dalšími náklady pro teplárny jsou investice do technologií snižujících ostatní emise, které jsou v ČR zpoplatněny. Tyto investice přesáhly více než 21 miliard Kč [24] v období od roku 2013 do roku 2018. Investice například vedly ke snížení emisí TZL na 3,5 % [24] z celkového množství v roce 2017. Domácí topeniště v roce 2017 vypustila 74 % [24] z celkového množství emisí jemného prachu. Další modernizace budou pokračovat díky zpřísnění emisních požadavků na nejlepší dostupné technologie (Best available techniques – BAT). Jediným opatřením, které reaguje na růst ceny povolenky je snížení sazby DPH na teplo z 15 % na 10 % [24] od 1. ledna 2020. Řada tepláren kvůli špatné situaci zvažuje změnu paliva, odstavování kotlů či snížení výkonu, aby jejich zařízení bylo vyřazeno ze systému EU ETS. [24] [26]

**Tabulka 4: Výroba tepla brutto podle paliv za rok 2018 [TJ] [26]**

Palivo	Výroba [TJ]
Černé uhlí	16 943
Hnědé uhlí	68 822
Biomasa	17 066
Bioplyn	4 144
Jaderné palivo	864
Odpadní teplo	7 390
Ostatní pevná paliva	4 621
Ostatní plyny	11 021
Zemní plyn	30 723
Ostatní	815
<b>Celkem</b>	<b>162 049</b>



*Graf 6 - Podíl paliv na výrobě tepla brutto za rok 2018 [26]*

# 6 Vliv EU ETS na cenu výroby tepla na příkladu reálné teplárny

## 6.1 Úvod

Pro další část práce jsme získali informace o provozu teplárny, která uvažuje o změně paliva vzhledem ke složité situaci s emisními povolenkami. Tyto informace využijeme k dalšímu postupu a výpočtům.

## 6.2 Současný stav

Zkoumaná teplárna je významným zdrojem tepelné a elektrické energie v regionu, který zásobuje několik měst v okolí. Dodávky tepla jsou realizovány pomocí páry, která je využívána především pro technologické účely, a také pomocí horké vody, která slouží zejména k zabezpečení dodávek tepla pro byty. Celkem teplem zásobuje okolo 10 000 domácností.

Teplárna využívá kogenerační zdroj, který spaluje hnědé uhlí, s možností spoluspalování černého uhlí a rostlinných pelet. V tuto chvíli teplárna provozuje dva parní uhelné práškové kotle. Další z původních práškových kotlů byl odstaven v červnu roku 2020. Ke kotlům jsou instalovány dvě parní turbíny pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny o celkovém instalovaném elektrickém výkonu 50 MW<sub>e</sub>. V rámci ekologizačních opatření doplnil v roce 2020 kotle na uhlí kotel plynový. S tímto novým kotlem je celkový příkon teplárny cca 268 MW<sub>t</sub>. [27]

## 6.3 Technologie teplárny

### 6.3.1 Uhlenné kotle

Kotle, které teplárna provozuje jsou práškové, každý o jmenovitém výkonu 88,3 MW<sub>t</sub> a příkonu 97 MW<sub>t</sub>. Tyto kotle byly uvedeny do provozu v roce 1976 a jejich generální oprava byla provedena v roce 2008 a 2011. Příslušenství pro kotle tvoří mlýnice se čtyřmi ventilátorovými mlýny, které slouží pro přípravu paliva o požadované granulometrii. Spalovací komora má čtyřhranný průřez a je vychlazována varnými trubkami. Odstruskovací zařízení tvoří výsypka strusky, drtič strusky a vynašeč popelovin. V bočních stěnách kotle jsou umístěny čtyři olejové hořáky na ELTO, které

slouží k najíždění kotle a stabilizaci spalování. Regulace teploty přehřáté páry je prováděna pomocí vstřikování napájecí vody. Oba kotle využívají recirkulaci spalin. [27]

**Tabulka 5: Parametry uhelných kotlů** [27]

Jmenovitý přetlak	9,32 MPa
Jmenovitá teplota přehřáté páry	540 °C
Jmenovitý výkon	125 t/h páry
Teplota spalin za kotlem	160 °C
Hlavní palivo	Hnědé uhlí
Spoluspalování do 10 % hm.	Biomasa

### 6.3.2 Technologie deNO<sub>x</sub>

Na kotlích byla provedena ekologizace zahrnující primární a sekundární opatření vedoucí ke snížení produkce oxidů dusíku. Tato opatření byla nutná ke splnění budoucích emisních limitů. Mezi primární opatření patří přetěsnění mlýnů, výměna třídiče, výměna práškovodů a hořáků za nízkoemisní verze. Sekundární opatření představují technologie selektivní nekatalytické redukce oxidů dusíku (SNCR) a technologie selektivní katalytické redukce (SCR) z důvodu omezení čpavkového skluzu. Katalyzátor je umístěn v druhém tahu kotle a jako redukční činidlo se používá 40% roztok močoviny. [27]

### 6.3.3 Odlučovače popílku

Spaliny jsou z kotlů vedeny kouřovody do elektrostatických odlučovačů popílku. Každý elektroodlučovač popílku je složen ze tří sekcí opatřených ve spodní části výsypkou. Odloučený popílek je pneumaticky dopravován z výsypek odlučovače do mezisila a následně do systému expedice. [27]

### 6.3.4 Odsíření spalin

Spaliny jsou homogenizovány ve směšovací komoře. Odběrová sonda kontinuálního měření je umístěna v kouřovodu za směšovací komorou, kde sonda měří koncentraci oxidu siřičitého a kyslíku před odsířením spalin. Hodnoty z tohoto měření společně s hodnotami emisí před vstupem do komína slouží k řízení průtoku a koncentrace odsiřovací suspenze, která je pouštěna do trysek atomizéru v reaktoru. Homogenizované spaliny vstupují do dvou odsiřovacích linek. Odsiřovací linky využívají polosuchou metodu (technologie DRYPAC ABB Flaekt). Jako odsiřovací látka je používána

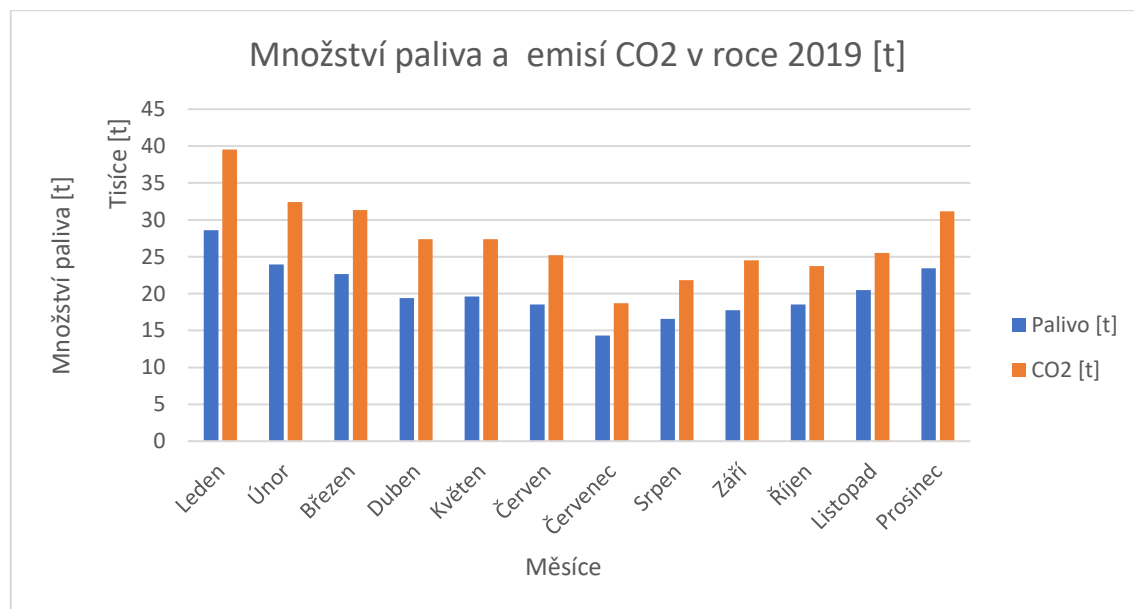
suspenze ze směsi vápenného mléka a produktu odsiřovací reakce. Tato reakce probíhá v reaktoru a na látce tkaninových filtrů. Ty slouží k zachycení pevných částic, které mohou vzniknout při odsíření, a zbytkového popílku. Filtry se čistí pomocí pulsů stlačeného vzduchu. Spaliny se za textilními filtry spojují do jednoho kouřovodu, který vede do komína. V letech 2018 a 2019 proběhla modernizace obou odsiřovacích linek. [27]

### 6.3.5 Tkaninové filtry

Tyto filtry zachycují pevné částice ze spalování a pevné produkty odsiřovací reakce. Filtr se skládá ze 4 oddělení, kde každé oddělení obsahuje 396 rukávů. Tyto rukávce jsou 8 m dlouhé a umístěny jsou v drátěné kleci. [27]

## 6.4 Provoz kotlů

V teplárenských kotlích na tuhá paliva se spaluje směs hnědého a černého uhlí a biomasy. Pro porovnání množství spáleného paliva a vypuštěných emisí CO<sub>2</sub> jsou tyto kotle nejvhodnější, protože jejich kouřovody jsou svedeny do jednoho komína. V následujících grafech je ukázáno množství spáleného paliva a emisí CO<sub>2</sub>, které byly vytvořeny z dat z teplárny za rok 2019. [27]



Graf 7 - Množství spáleného paliva a emisí CO<sub>2</sub> v roce 2019 v kotlích [27]

## 6.5 Stechiometrické výpočty pro pevná paliva

Množství CO<sub>2</sub> ve spalinách si můžeme přibližně ověřit stechiometrickým výpočtem, pokud máme k dispozici rozbor paliva v původním stavu. Pro tyto přibližné výpočty zanedbáme biomasu, která je přidávána do spalovací komory v malém množství a ELTO, které slouží pouze pro najíždění kotlů. Biomasa se považuje za CO<sub>2</sub> neutrální. [27]

Tabulka 6: Složení pevných paliv [27]

Složení paliva v původním stavu	Směs HU a ČU	Dřevní štěpka	Sláma	Traviny
C	0,4096	0,2720	0,3901	0,3895
H	0,0318	0,0315	0,0485	0,0526
O	0,1190	0,2250	0,3400	0,3140
S	0,0087	0,0003	0,0008	0,0010
N	0,0062	0,0016	0,0058	0,0089
W	0,2191	0,4500	0,1400	0,1450
A	0,2055	0,0061	0,0387	0,0530

Tento rozbor platí pro směs černého a hnědého uhlí. Dále je potřeba stanovit složení spalin, které vzniknou při spálení jednotkového množství paliva. Prvním krokem je vypočtení minimálního objemu kyslíku, který je potřebný pro dokonalé spálení 1 kg paliva. Výpočty provedeme dle [28].

$$V_{O_2min} = 22,39 * \left( \frac{C^r}{12,01} + \frac{H^r}{4,032} + \frac{S_{prch}^r}{32,06} - \frac{O^r}{32} \right) = 0,863 Nm^3/kg \quad (1)$$

Minimální objem suchého vzduchu vychází ze vztahu:

$$V_{VSmin} = \frac{V_{O_2min}}{0,21} = 4,110 Nm^3/kg \quad (2)$$

Dále vypočítáme minimální objem vlhkých spalin.

$$V_{VVmin} = \kappa * V_{VSmin} = 4,175 Nm^3/kg \quad (3)$$

V atmosférických podmínkách ČR nejčastěji počítáme se součinitelem  $\kappa = 1,016$ . Tato hodnota odpovídá 70% relativní vlhkosti při 20 °C. Objem vodní páry ve vzduchu se určí ze vztahu:

$$V_{H_2O}^V = V_{V_{min}} - V_{S_{min}} = (\kappa - 1) * V_{S_{min}} = 0,066 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (4)$$

Nyní přejdeme k výpočtu objemu složek suchých spalín při dokonalém spálení jednoho kilogramu paliva s minimálním množstvím vzduchu dle vztahu:

$$V_{S_{min}} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{Ar} \quad (5)$$

Obsah  $CO_2$  ve spalínách je součtem dvou složek,  $CO_2$  vzniklým spálením uhlíku a obsahem  $CO_2$  ve vzduchu.

$$V_{CO_2} = \frac{22,26}{12,01} * C^r + 0,0003 * V_{S_{min}} = 0,760 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (6)$$

Dále vypočítáme obsah dusíku, který je součtem dusíku uvolněného z hořlaviny v palivu a dusíku ze vzduchu.

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28,016} * N^r + 0,7805 * V_{S_{min}} = 3,213 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (7)$$

Další složkou jsou vzácné plyny, kterých je ve vzduchu přibližně necelé jedno procento. Tyto plyny se ve výpočtech označují jako argon.

$$V_{Ar} = 0,0092 * V_{S_{min}} = 0,0092 * 4,110 = 0,038 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (8)$$

Poslední složkou je oxid siřičitý. Ten ve vzduchu obvykle není a vzniká oxidací síry v palivu.

$$V_{SO_2} = \frac{21,89}{32,06} * S^r = \frac{21,89}{32,06} * 0,0087 = 0,006 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (9)$$

V tuto chvíli máme vypočteny všechny složky suchých spalín a můžeme dosadit do vzorce (10).

$$V_{S_{min}} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{Ar} = 4,017 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (10)$$

Při spalování vzniká i vodní pára, která vzniká oxidací vodíku v palivu, uvolněním vlhkosti z paliva a ze spalovacího vzduchu.

$$V_{H_2O}^S = \frac{44,8}{4,032} * H^r + \frac{22,4}{18,016} * W^r + V_{H_2O}^V = 0,692 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (11)$$

Objem vlhkých spalin je roven součtu suchých spalin a množství vodní páry.

$$V_{SVmin} = V_{SSmin} + V_{H_2O}^S = 4,017 + 0,692 = 4,708 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (12)$$

V tuto chvíli se vrátíme k porovnání vypočtených hodnot  $\text{CO}_2$  s hodnotami naměřenými v teplárně. Další hodnotou, kterou potřebujeme je hustota  $1 \text{ Nm}^3 \text{ CO}_2$ . Hustota  $\text{CO}_2$  při normálních podmínkách ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $101325 \text{ Pa}$ ) je  $1,977 \text{ kg/m}^3$ . Hmotnost  $\text{CO}_2$  se za jeden měsíc vypočte:

$$m_{\text{CO}_2} = m_{\text{paliva}} * \rho_{\text{CO}_2} * V_{\text{CO}_2} \text{ (kg)} \quad (13)$$

K dalším výpočtům si vybíráme měsíc květen z důvodů rovnoměrného zastoupení chladných i teplých dnů. Pro měsíc květen 2019 bylo přivedeno do kotlů  $19\,345 \text{ tun}$  paliva.

$$m_{\text{CO}_2} = 29\,066\,400 \text{ kg} = 29\,066 \text{ t}$$

Teplárna naměřila hmotnost  $27\,344 \text{ t CO}_2$ . Hodnota, kterou jsme vypočítali je o necelých  $6 \%$  větší než hodnota naměřená. Tento rozdíl je způsoben několika faktory. Výpočty jsme prováděli pro stechiometrické spalování, které neodpovídá reálnému spalování v kotli. To mohou ovlivnit například netěsnosti v kotli. Dalším faktorem je palivo, které je uloženo na skládce, kde se mohlo promíchat se zbytky jiných paliv z minulých let, tj. z různých dolů. Hnědé uhlí se pro teplárnu dováží ze tří různých dolů, ze kterých se namíchá směs odpovídající objednané výhřevnosti. Výsledné palivo pak nemusí odpovídat chemickému rozboru, který jsme použili pro výpočet. Obsluha kotle mohla také ovlivnit průběh spalování, například pomocí změny přívodu spalovacího vzduchu.

## 6.6 Stechiometrické výpočty pro plynné palivo

Alternativou pro pevná paliva je zemní plyn, u kterého můžeme provést podobný stechiometrický výpočet jako pro pevná paliva. Výpočet nám určí složení spalin, které vzniknou spálením  $1 \text{ Nm}^3$  (normální metr krychlový, pro  $T_n = 273 \text{ K}$  a  $p_n = 101,325 \text{ kPa}$ ). Složení zemního plynu odebíraného teplárnou je v následující tabulce. [27] [28]



**Tabulka 7: Složení zemního plynu [27]**

<b>Složení zemního plynu</b>	
<b>Složka</b>	<b>Obsah [%]</b>
Metan CH <sub>4</sub>	0,9545
Etan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0039
Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0006
Butan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0007
Pentan C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0003
Kysličník uhličitý CO <sub>2</sub>	0,0241
Dusík N <sub>2</sub>	0,0159
Vodík H <sub>2</sub>	0
Vodní pára H <sub>2</sub> O	0
Argon Ar	0
Oxid siřičitý SO <sub>2</sub>	0

Při výpočtu pro plynné palivo začínáme stejně jako u paliva pevného výpočtem minimálního objemu kyslíku pro dokonalé spálení jednotkového množství paliva. Výpočty provedeme dle [28].

$$O_{O_2min} = 0,5 * o_{H_2} + 0,5 * o_{CO} + \sum(m + \frac{n}{4}) * o_{C_mH_n} - o_{O_2} = 1,933 Nm^3/Nm^3 \quad (14)$$

Minimální objem suchého a vlhkého vzduchu se určí dle stejných vztahů (rovnice č. 2 a 3) jako při spalování pevného paliva. Objem vodní páry se určí dle rovnice č. 4. Rozdílné jsou jednotky, kdy u plynného paliva vycházejí tyto objemy v Nm<sup>3</sup>/ Nm<sup>3</sup>. Složky suchých spalin (oxid uhličitý, dusík, argon a oxid siřičitý) vypočítáme dle následujících vztahů:

$$O_{CO_2} = o_{CO_2} + 0,994 * (o_{CO} + \sum m * o_{C_mH_n}) + 0,0003 * O_{VSmin} = 0,989 Nm^3/Nm^3 \quad (15)$$

$$O_{N_2} = o_{N_2} + 0,7805 * O_{VSmin} = 7,199 Nm^3/Nm^3 \quad (16)$$

$$O_{Ar} = o_{Ar} + 0,0092 * O_{VSmin} = 0 Nm^3/Nm^3 \quad (17)$$

$$O_{SO_2} = o_{SO_2} = 0 Nm^3/Nm^3 \quad (18)$$

Celkový objem suchých spalín je dán součtem těchto složek (rovnice č. 5). Objem vodní páry ve spalínách se určí dle následujícího vztahu:

$$O_{H_2O}^s = o_{H_2O} + o_{H_2} + \sum \frac{n}{2} * o_{C_m H_n} + O_{H_2O}^V = 2,527 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \quad (19)$$

Objem vlhkých spalín se určí stejně jako v rovnici č. 12.

## 6.7 Výsledky stechiometrických výpočtů

Stechiometrický rozbor můžeme porovnat pro různá paliva. Postup výpočtu u dalších paliv je stejný jako pro příklad směsi černého a hnědého uhlí. Pro tyto výpočty jsme využili data z rozborů alternativních paliv pro teplárnu.

**Tabulka 8: Porovnání stechiometrických výpočtů pro různá paliva [27] [28]**

	Směs HU a ČU	Dřevní štěpka	Sláma	Traviny	
$V_{O_2min}$	0,863	0,525	0,759	0,799	$\text{Nm}^3$ /kg
$V_{VSmin}$	4,110	2,499	3,614	3,806	
$V_{VVmin}$	4,175	2,539	3,672	3,867	
$V_{H_2O}^V$	0,066	0,040	0,058	0,061	
$V_{CO_2}$	0,760	0,505	0,724	0,723	
$V_{N_2}$	3,213	1,952	2,826	2,977	
$V_{Ar}$	0,038	0,023	0,033	0,035	
$V_{SO_2}$	0,006	0,0002	0,001	0,0007	
$V_{SSmin}$	4,017	2,480	3,584	3,736	
$V_{H_2O}^s$	0,692	0,950	0,770	0,826	
$V_{SVmin}$	4,708	3,430	4,354	4,562	

**Tabulka 9: Výsledky výpočtů pro plynné palivo [27] [28]**

	<b>Zemní plyn</b>	
$O_{O_2min}$	1,926	$Nm^3$ $/Nm^3$
$O_{VSmin}$	9,203	
$O_{VVmin}$	9,350	
$O_{H_2O}^V$	0,147	
$O_{CO_2}$	0,989	
$O_{N_2}$	7,199	
$O_{Ar}$	0	
$O_{SO_2}$	0	
$O_{SSmin}$	8,188	
$O_{H_2O}^S$	2,527	
$O_{SVmin}$	10,715	

Pro porovnání s pevnými palivy je objem  $CO_2$  ve spalinách  $1,35 Nm^3/kg$ .

## 6.8 Porovnání provozu teplárny při spalování různých druhů paliv

Díky zatížení výroby tepla z uhlí emisními povolenkami, které značně prodražují provoz teplárny, se začíná přemýšlet o přechodu na spalování biomasy, která dle platné legislativy není emisními povolenkami na  $CO_2$  zpoplatněna, nebo na zemní plyn. Spalování biomasy by způsobilo velké investice do přestavby a úpravy kotlů, úpravy palivových cest a dalších zařízení v teplárně. Totéž platí pro zemní plyn, kde by byla nutná výstavba zcela nových spalovacích zařízení. Jedním z problémů vycházejících ze změny paliva z uhlí na biomasu je menší výhřevnost biomasy. Tyto údaje můžeme porovnat z rozborů paliva. Pro porovnání využijeme stejný rozbor směsi uhlí jako ve výpočtu emisí  $CO_2$ , pro biomasu využijeme data z rozborů alternativ pro teplárnu. [27]

**Tabulka 10: Porovnání výhřevností alternativních pevných paliv [27]**

<b>Palivo (původní stav)</b>	<b>Směs uhlí</b>	<b>Dřevní štěpka</b>	<b>Sláma</b>	<b>Traviny</b>
Výhřevnost [MJ/kg]	17,5	9,5	14,9	14,7

Pro porovnání také můžeme využít, jaké množství paliva ve formě biomasy by bylo potřeba pro vyrobení stejného výkonu jako při použití uhlí. Dodávaná energie ve stávajícím palivu činí přibližně 4,2 milionu GJ za rok. K porovnání můžeme opět využít množství uhlí za měsíc květen 2019, kdy se spálilo v kotlích 19 345 tun uhlí. [27]

**Tabulka 11: Porovnání množství spáleného paliva k dosažení stejného výkonu jako za měsíc květen 2019 [27]**

<b>Palivo</b>	<b>Směs uhlí</b>	<b>Dřevní štěpka</b>	<b>Sláma</b>	<b>Traviny</b>
Množství [t]	19 345	35 636	22 721	23 030

Výhřevnost zemního plynu, který jsme použili pro stechiometrický výpočet je 35,87 MJ/m<sup>3</sup>. Pro dodání stejného výkonu jako u směsi uhlí by bylo potřeba 9 437 950 m<sup>3</sup> zemního plynu. Pro porovnání vytvořených emisí CO<sub>2</sub> použijeme již jen stávající variantu směsi uhlí, dřevní štěpku a zemní plyn. Dřevní štěpku vybíráme díky její větší dostupnosti oproti dalším alternativám z biomasy. [27]

**Tabulka 12: Množství emisí CO<sub>2</sub> při stechiometrickém spalování za měsíc květen 2019**

<b>Palivo</b>	<b>Směs uhlí</b>	<b>Dřevní štěpka</b>	<b>Zemní plyn</b>
Emise CO <sub>2</sub> [t/měsíc]	29 066	35 578	18 454

Z předchozích tabulek vychází, že spalování dřevní štěpky vyžaduje o více než 16 000 tun paliva více než v případě uhlí. Dalším poznatkem je, že při použití dřevní štěpky je množství vypuštěných emisí CO<sub>2</sub> téměř stejné jako množství spáleného paliva. Nejméně emisí CO<sub>2</sub> teplárna vypustí při spalování zemního plynu. Toto množství odpovídá přibližně dvěma třetinám množství, které vytvoří spalování uhlí a přibližně polovině toho, co vytvoří spalování dřevní štěpky. Toto rozdělení odpovídá i celkovému množství emisí CO<sub>2</sub> za rok při uvažování stechiometrického spalování.

**Tabulka 13: Množství emisí CO<sub>2</sub> při stechiometrickém spalování za rok 2019**

<b>Palivo</b>	<b>Směs uhlí</b>	<b>Dřevní štěpka</b>	<b>Zemní plyn</b>
Emise CO <sub>2</sub> [t/rok]	361 643	442 662	229 598

Teplárna vykázala celkově 328 167 t emisí CO<sub>2</sub> při spalování uhlí. Vykazované množství se počítá dle emisních faktorů, které vydává nařízení Evropské komise. Tato hodnota je o 9,3 % nižší než hodnota, která nám vyšla pomocí stechiometrických výpočtů. [27]

## **6.9 Ekonomické porovnání**

Pro celkové porovnání jednotlivých paliv je důležité se podívat i na ekonomické náklady spojené s jejich spalováním. Tyto náklady rozdělíme na variabilní a fixní.

### **6.9.1 Variabilní náklady**

Hlavní složkou variabilních nákladů je cena paliva. V topné sezóně 2020/2021 odebírá teplárna uhlí v ceně 80 Kč/GJ. V této ceně je zahrnuta vlaková doprava a manipulace uhlí z nádraží na skládku teplárny. Další náklady (5,5 Kč/GJ) na spalování uhlí zahrnují odsíření, denitrifikaci a náklady na uložení vedlejších energetických produktů (VEP). Vedlejší variabilní náklady (4,5 Kč/GJ) tvoří náklady spojené s doplňováním kotelní vody, demivody do horkovodu a chladicí vody. Do vedlejších nákladů patří také další chemikálie potřebné pro provoz a přímé poplatky na emise TZL, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> atd.

Celkové variabilní náklady na spalování uhlí jsou 90 Kč/GJ bez uvažování emisních povolenek EUA. Teplárna nakoupila pro rok 2019 celkem 328 663 ks emisních povolenek. Tyto povolenky teplárna nakoupila dle ERÚ za přibližně průměrnou cenu 607,45 Kč/ks pro rok 2019. Náklady na povolenky za rok 2019 jsou tedy 199 646 339 Kč, které zvedají celkové variabilní náklady na 143,4 Kč/GJ.

Cena zemního plynu má jinou strukturu, kde odpadají některé vedlejší náklady na spalování. Cena odebíraného plynu je 100,5 Kč/GJ. Odpadají náklady na odsíření a uložení VEP. Vedlejší variabilní náklady jsou stejné jako u spalování uhlí (4,5 Kč/GJ). Zemní plyn je však také zatížen vlivem emisních povolenek, které zvyšují celkové variabilní náklady na 138,3 Kč/GJ.

Variabilní část ceny dřevní štěpky tvoří pouze cena paliva (150 Kč/GJ) a vedlejší variabilní náklady (4,5 Kč/GJ). Dřevní štěpka není zatížena emisními povolenkami a je považována za CO<sub>2</sub> neutrální. Díky tomuto zvýhodnění se cenově značně přibližuje fosilním palivům.

## 6.9.2 Fixní náklady

Data pro fixní náklady jsou pro uhlí uvedena pro konkrétní teplárnu, fixní náklady pro dřevní štěpku a zemní plyn jsou pak poměrově upraveny podle jednotlivých kategorií. Opravy a údržba kotlů jsou u kotlů na uhlí a dřevní štěpku dvojnásobné oproti zemnímu plynu, zejména kvůli palivovému hospodářství a poškození výhřevných ploch popílkem.

Odpisy porovnávané vůči rekonstrukci kotlů na uhlí. Ekologizace starších hnědouhelných kotlů pro zdroj stejné velikosti odhadována na 150 mil. Kč pro jeden kotel. Přestavba uhelného kotle na spalování zemního plynu při stejných parametrech by vyšla na 170 mil. Kč. Přejít na spalování dřevní štěpky o stejném tepelném výkonu by znamenalo investici ve výši 410 mil. Kč, která by zahrnovala kompletně nové zařízení ve stávající kotelně včetně úpravy stávající turbíny, protože pára vystupuje z kotle o jiných parametrech.

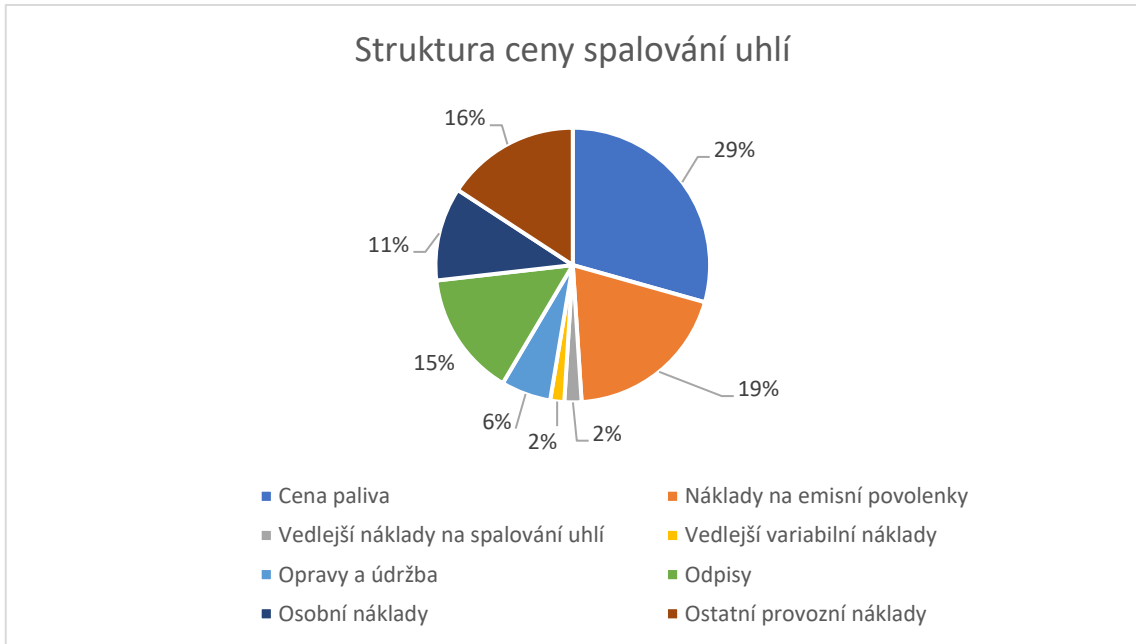
Díky větší automatizaci provozu kotle na zemní plyn jsou menší náklady na obsluhu, a to snižuje osobní náklady zhruba o třetinu oproti uhlí a dřevní štěpce. Ostatní provozní náklady souvisí spíše s administrativním provozem teplárny (software, reprezentace teplárny, benefity pro zaměstnance) a proto jsou u všech paliv stejné. [27]

Tabulka 14: Porovnání cen jednotlivých paliv pro rok 2019

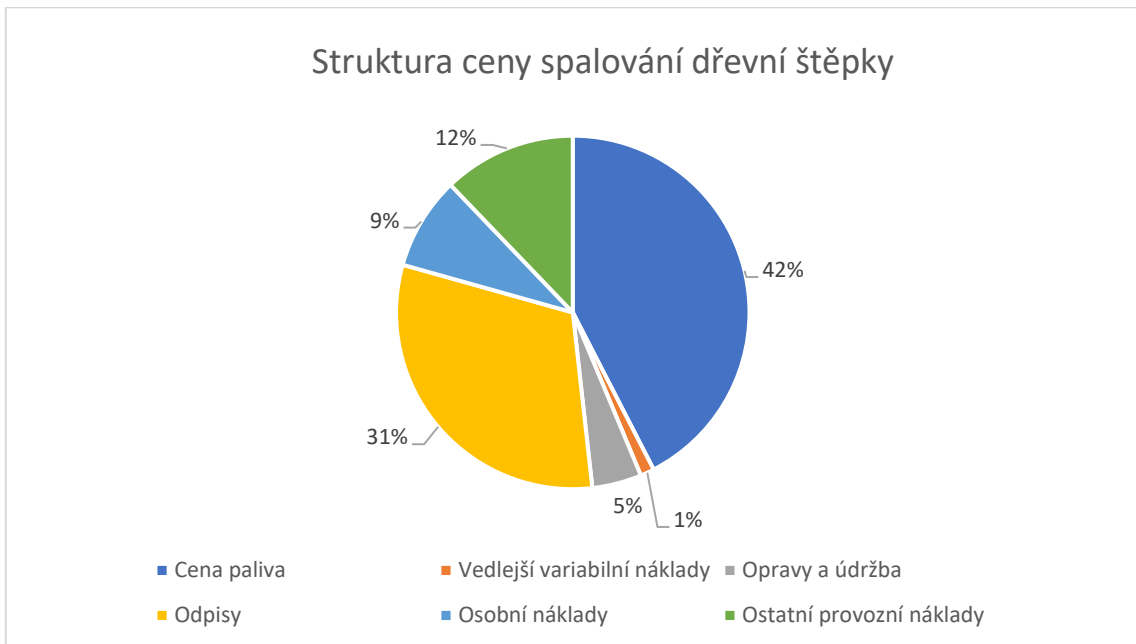
	Směs uhlí	Dřevní štěpka	Zemní plyn
<b>Variabilní náklady [Kč/GJ]</b>			
Cena paliva	80	150	100,5
Vedlejší náklady na spalování uhlí	5,5	-	-
Vedlejší variabilní náklady	4,5	4,5	4,5
<b>Celkové variabilní náklady bez EUA [Kč/GJ]</b>	<b>90</b>	<b>154,5</b>	<b>105</b>
<b>Celkové variabilní náklady s EUA [Kč/GJ]</b>	<b>143,4</b>	<b>154,5</b>	<b>138,3</b>
<b>Fixní náklady [Kč/GJ]</b>			
Opravy a údržba	16	16	8
Odpisy	40	110	45
Osobní náklady	30	30	20
Ostatní provozní náklady	43	43	43
<b>Celkové fixní náklady [Kč/GJ]</b>	<b>129</b>	<b>199</b>	<b>116</b>
<b>Celkové náklady [Kč/GJ]</b>	<b>272,4</b>	<b>353,5</b>	<b>254,3</b>

## 6.10 Citlivostní analýza

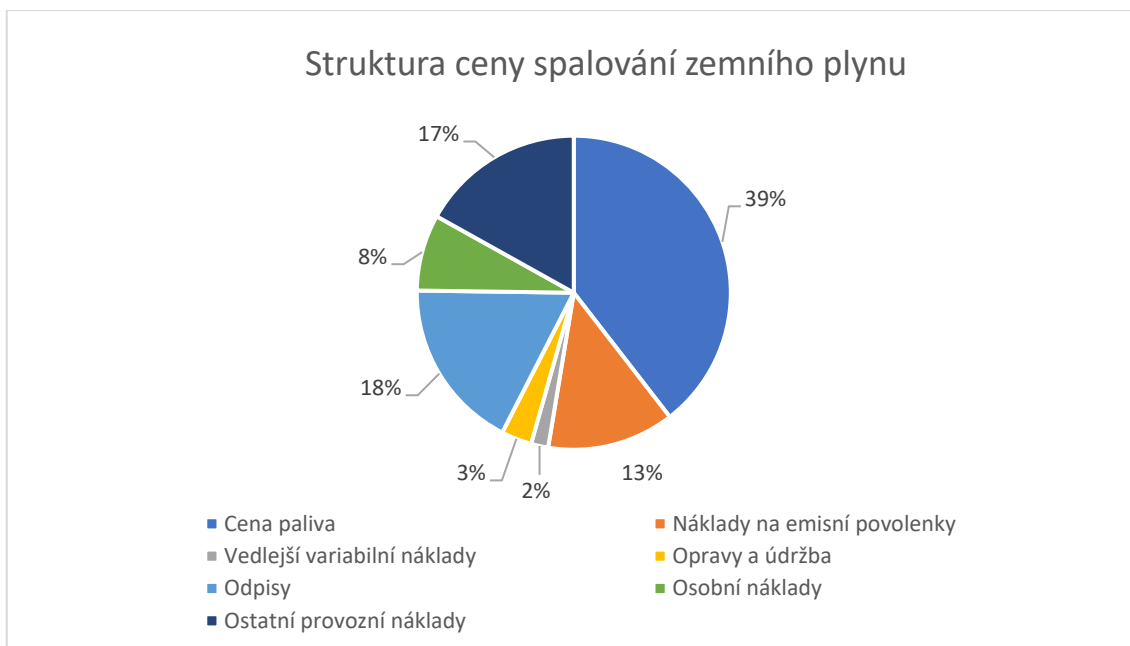
K dalšímu rozboru cen jednotlivých paliv použijeme citlivostní analýzu. Citlivostní analýza je nástroj, který nám umožňuje zjistit závislost výsledku na jednotlivých vstupech. V našem případě jsou to jednotlivé složky ceny spalování paliv. Ceny výroby tepla z jednotlivých paliv jsou rozebrány a znázorněny v následujících grafech.



Graf 8 - Struktura ceny spalování uhlí [27]



Graf 9 - Struktura ceny spalování dřevní štěpky [27]

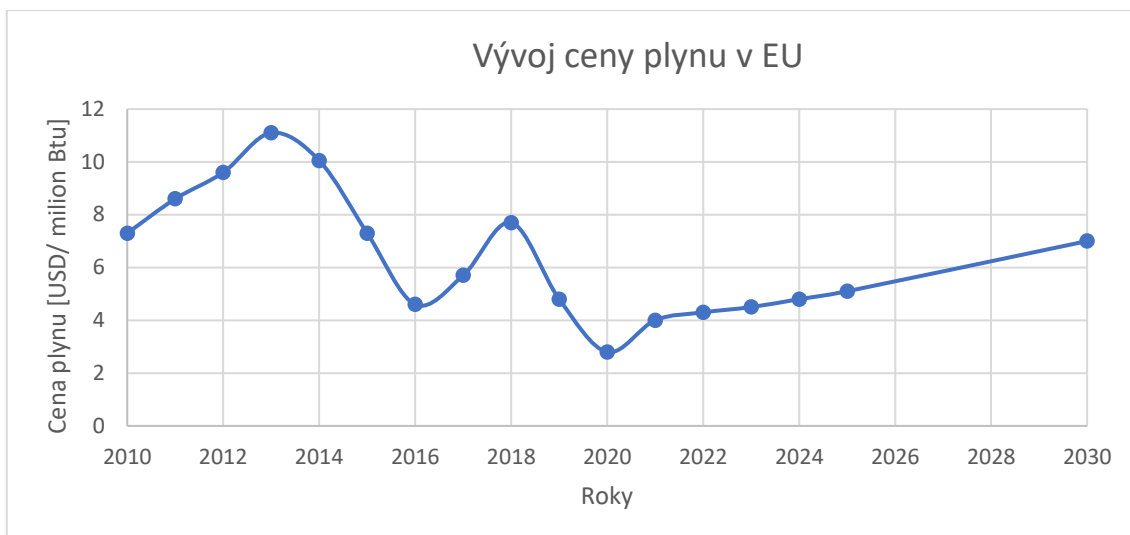


*Graf 10 – Struktura ceny spalování zemního plynu [27]*

Z grafů vychází, že největší složkou ceny spalování všech paliv je cena samotného paliva. Na tuto složku se zaměříme a zjistíme, jak by se změnila celková cena výroby tepla, pokud by se měnila cena paliv. Navzdory útlumu těžby v ČR a odklonu od uhlí se jeho cena výrazně měnit nebude. Doly, které budou pokračovat v těžbě, budou chtít své uhlí prodat navzdory nižší poptávce. V tuto chvíli se kontrakty na dodávané uhlí uzavírají na delší dobu, běžně na rok. V následujícím grafu bude cena uhlí zvýšena meziročně o hodnotu inflace 3,2 %.

Rozdílná situace je v případě zemního plynu, kdy existují odhady, že cena se téměř zdvojnásobí do roku 2030. Cena zemního plynu se během roku velmi mění a záleží hlavně na venkovní teplotě a poptávce po dodávkách tepla a je také velmi úzce svázána s cenou ropy. [29]

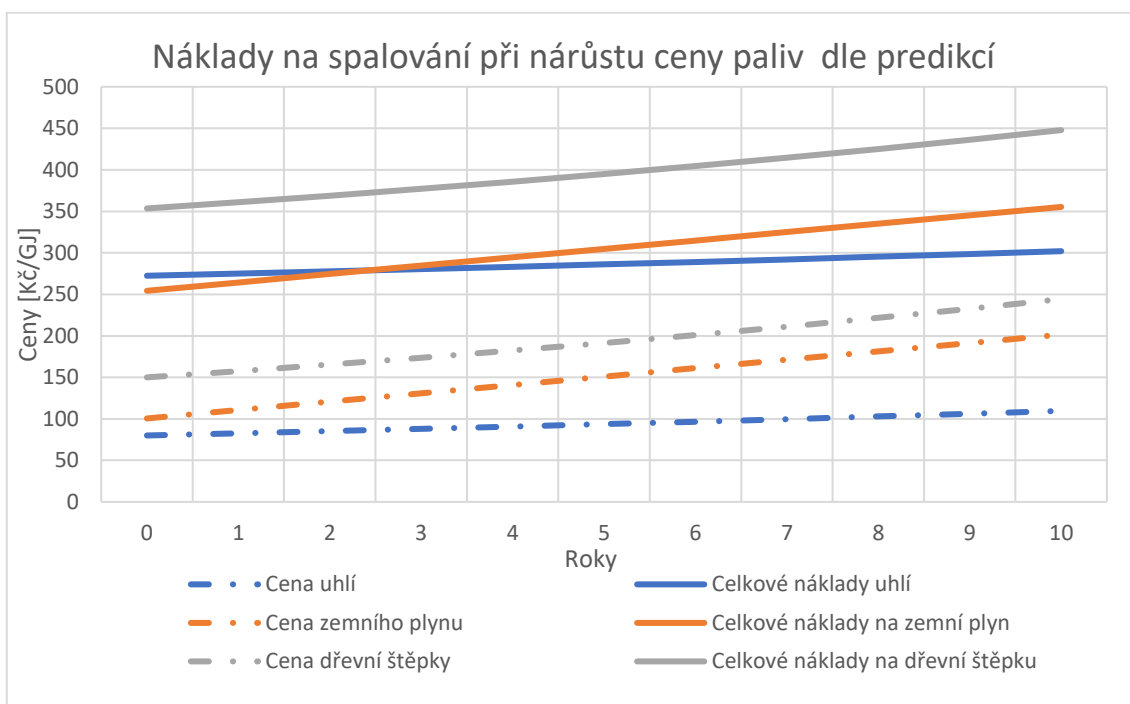




Graf 11 – Vývoj ceny zemního plynu [29]

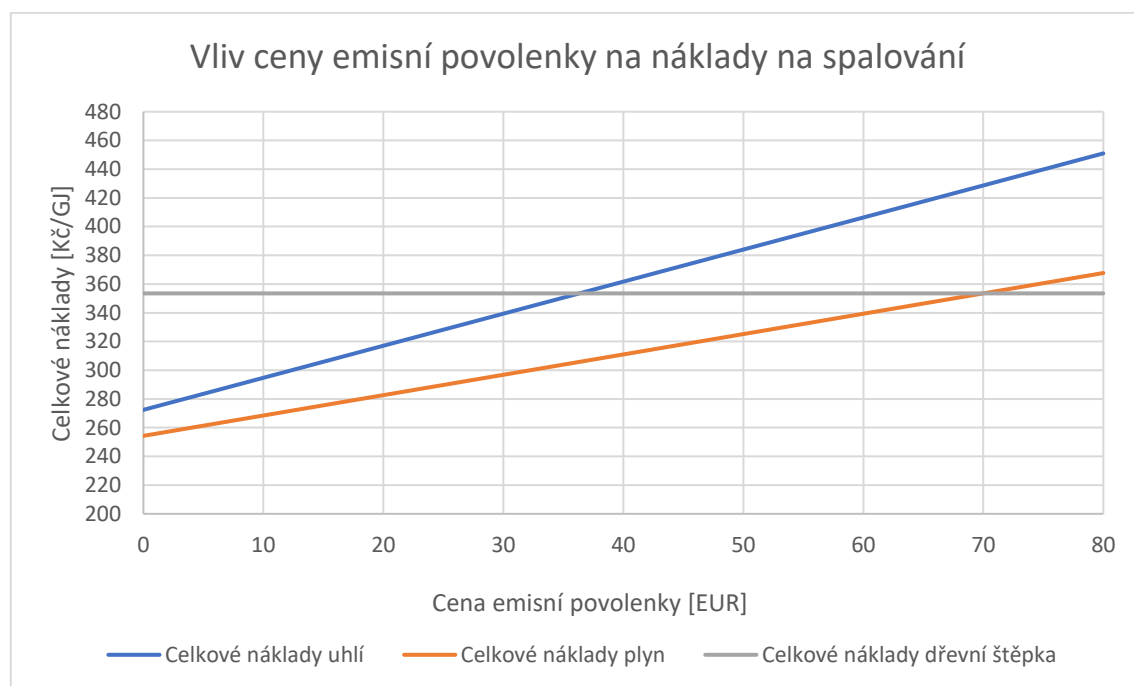
Cena dřevní štěpky je v této době nízká díky rekordně velké těžbě dřeva, která je způsobena kůrovcovou kalamitou. Dalším vlivem na produkci dřevní štěpky je dlouhotrvající sucho, které by její dostupnost snižovalo.

Pro další porovnání budu počítat s meziročním nárůstem ceny dřevní štěpky o 5 %. Cena uhlí se bude meziročně zvyšovat o hodnotu 3,2 %, která odpovídá inflaci v roce 2020. Pro zemní plyn bude platit navýšení o 10,1 Kč/GJ za rok. Toto tempo by odpovídalo zdvojnásobení ceny mezi roky 2020 a 2030.



Graf 12 – Náklady na spalování při změně cen paliv dle odhadů [27]

Další velkou částí variabilních nákladů při spalování uhlí a zemního plynu jsou náklady na emisní povolenky, kterými jsou tato paliva zatížena. Tyto náklady činí u uhlí 19 % a u zemního plynu 13 % celkových nákladů na vyrobené teplo. V dalším grafu je vidět závislost celkových nákladů na spalování uhlí a zemního plynu a ceny emisní povolenky. Pro názornost je zahrnuta i dřevní štěpka, která není zatím emisními povolenkami zatížena.

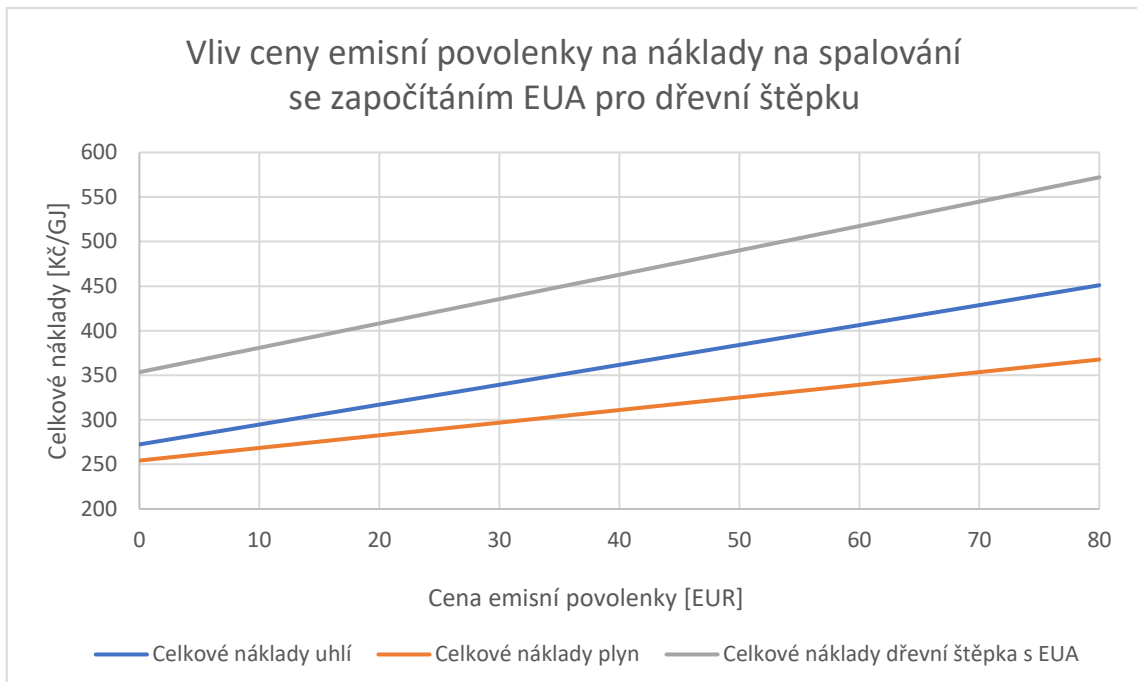


Graf 13 – Vliv ceny emisní povolenky na cenu výroby tepla z různých paliv [27]

Toto porovnání nám ukazuje, že dřevní štěpka je ekonomicky výhodnější při ceně emisní povolenky nad 35 EUR v případě uhlí a nad 70 EUR v případě zemního plynu. Cena emisní povolenky na jaře roku 2021 přesahuje cenu 50 EUR/ks a předpokládá se její další růst, některé odhady předpovídají růst až k hranici 90 EUR/ks do roku 2030. Biomasa má v systému EU ETS legislativní výjimku a je z pohledu emisí CO<sub>2</sub> považována za neutrální, a tudíž nepodléhá zpoplatnění emisními povolenkami. Z našich předešlých porovnání stechiometrických výpočtů víme, že jde pouze o legislativní výjimku. Za této situace by se teplárnám vyplatilo investovat do nové technologie a přechodu na spalování biomasy.

Evropská unie by však mohla přehodnotit a zpřísnit svoji strategii v boji proti klimatickým změnám. Zpřísnění by mohlo mít formu zpoplatnění produkce CO<sub>2</sub> při jakékoliv formě spalování paliva a zrušení uhlíkové neutrality biomasy. To by

znamenal zpoplatnění emisními povolenkami jako u fosilních paliv. Tuto situaci zobrazuje následující graf. [30]



Graf 14 – Vliv emisní povolenky na cenu výroby tepla z různých paliv se započítáním EUA pro dřevní štěpku [27]

Zatížení biomasy emisní povolenkou ve stejné formě jako je to u fosilních paliv, by znamenalo prudký nárůst ceny výroby tepla při jejím spalování. Fosilní paliva by byla ekonomicky výrazně výhodnější a veškerá investice do přechodu na spalování biomasy by byla ekonomicky znehodnocená. Takový krok by však znamenal veliký obrat ve fungování systému EU ETS a celkové politice EU vůči produkci emisí CO<sub>2</sub>.

## 7 Závěr

System EU ETS prošel za svou existenci velkou řadou změn, které měly zajistit jeho účinnější fungování. System prokazatelně snižuje emise skleníkových plynů, které vypouštějí zařízení do něj zahrnutá. Přečhod ze systému NAP na jednotný emisní strop a aukci povolenek přinesl problém ve formě velice proměnné ceny emisní povolenky. Cena emisní povolenky by měla být regulovatelná nástroji jako je MSR, ale z vývoje v posledních měsících je zřejmé, že tyto nástroje nestačí. Náklady na povolenky začínají být likvidující pro odvětví, která jsou jimi zatížena, místo toho, aby motivovala k inovaci a investicím do ekologizace provozu nebo změny paliva.

Pro změnu této situace je nezbytný krok státu nebo EU. V případě státu by řešení mohlo být ve formě kompenzací pro podniky při velkých a skokových změnách ceny povolenky nad určitou hraniční částku. Evropská unie by musela zavést účinnější nástroje pro regulaci ceny povolenky nebo uhlíkovou daň, jejíž první návrh by měl být představen v první polovině roku 2021. Tyto kroky by však mohly přijít pro některá odvětví příliš pozdě.

Příkladem takového odvětví je i teplárenství, které je tlačeno cenou emisních povolenek do přechodu na jiné palivo. Systémy CZT jsou významnou součástí infrastruktury měst a podniků a emisní povolenky jsou velkou částí nákladů na provoz tepláren. Otázka náhrady uhlí, které je tradičním palivem pro české teplárenství, je velmi náročná i vzhledem k cílům, které si dala vláda ČR k útlumu jeho využívání.

Zemní plyn představuje výhodnější alternativu k uhlí, která produkuje méně emisí CO<sub>2</sub> a díky tomu jeho spalování zatěžuje teplárnu menšími náklady na emisní povolenky. Úspora při přechodu na spalování zemního plynu je smazána současným růstem ceny povolenky v řádu měsíců, ale investice do změny paliva zatíží provoz teplárny na několik let. Další roli v úvahách o zemním plynu hraje politická situace, protože Česká republika není soběstačná v těžbě zemního plynu a spoléhá na dodávky ze zahraničí.

Přečhod na spalování dřevní štěpky by znamenal úsporu, pokud by současná situace, kdy její spalování není zatíženo emisními povolenkami a její cena je díky kůrovcové kalamitě nízká, pokračovala i nadále.

Tato situace by se razantně změnila v případě, kdy by spalování biomasy podléhalo stejným pravidlům jako spalování ostatních paliv a bylo zpoplatněno emisními

povolenkami. Další otázkou je dlouhodobá udržitelnost produkce energetické biomasy na území ČR. V případě dřevní štěpky je její nadbytek způsoben rekordní těžbou dřeva v souvislosti s kůrovcovou kalamitou. Po odeznění této kalamity a útlumu těžby by se dostupnost tohoto paliva mohla rapidně snížit, a to i vlivem dlouhodobého sucha v ČR.

Situace v teplárenství a energetice se v poslední době mění prakticky každým dnem. Rozhodování o investicích je tedy velmi náročné. V době tištění této závěrečné práce se situace opět změnila, na začátku měsíce května byla cena EU ETS již přes 50 EUR. Cena povolenky se tak stává zásadní pro rozhodování o investicích a použitém palivu a má i největší vliv na cenu vyrobeného tepla.

Jediné místo, kam toto navýšení provozních nákladů mohou teplárny promítnout, je cena tepla pro koncového zákazníka. Z dlouhodobých trendů je známo, že se při určité ceně tepla zákazníci od CZT odpojí a budou vytápět decentralizovanými systémy, které mají nižší nebo žádné emisní limity pro vypouštěné polutanty. Může tedy docházet k rozpadu soustav zásobování teplem a zvýšení celkových emisí emitovaných na území ČR.

## 8 Bibliografie

- [1] Historický přehled klimatických jednání. *Oficiální internetová stránka Evropské unie* [online]. Brusel: EU, 2016 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/czech-republic/news/focus/ochrana\\_klimatu\\_cop21/historicky\\_prehled\\_jednani\\_o\\_klimatu\\_cs](https://ec.europa.eu/czech-republic/news/focus/ochrana_klimatu_cop21/historicky_prehled_jednani_o_klimatu_cs)
- [2] *Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/kjotsky\\_protokol](https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol)
- [3] *UNFCCC (1997) Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Kjóto, 1997. Dostupné také z: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/history-of-the-kyoto-protocol/text-of-the-kyoto-protocol>
- [4] *Pařížská dohoda* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/parizska\\_dohoda](https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda)
- [5] *Paris Agreement*. Paříž, 2016. Dostupné také z: [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)
- [6] *Zpráva Komise Evropskému Parlamentu a Radě: Zpráva o fungování evropského trhu s uhlíkem*. In: . Brusel: Evropská komise, 2019, ročník 2019, COM(2019) 557 final. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2019:0557:FIN:CS:PDF>
- [7] *EU ETS Handbook*. Brusel, 2015. Dostupné také z: [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets\\_handbook\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets_handbook_en.pdf)
- [8] *Climate Action: EU Emissions Trading System (EU ETS)* [online]. Brusel: Evropská komise, 2015 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en)
- [9] *EU Emissions Trading System (ETS) data viewer* [online]. Canberra: Global Carbon Projekt, 2019 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>
- [10] *Global Carbon Atlas* [online]. Canberra: Global Carbon Projekt, 2019 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/terms-use>

- [11] *ZPRÁVA KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU A RADĚ: Zpráva o fungování evropského trhu s uhlíkem*. In: . Brusel: Evropská komise, 2020, ročník 2020, COM(2020) 740final.
- [12] *Zákon o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů*. In: . Praha: Parlament ČR, 2012, ročník 1, 383/2012 Sb.
- [13] *Emisní obchodování* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2019 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/emisni\\_obchodovani](https://www.mzp.cz/cz/emisni_obchodovani)
- [14] *Climate Action: NER 300 programme* [online]. Brusel: Evropská komise, 2015 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund/ner300\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund/ner300_en)
- [15] *Climate Action: Market Stability Reserve* [online]. Brusel: Evropská komise, 2015 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/reform\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/reform_en)
- [16] *Uhelná energetika v ČR*. Praha, 2019. Dostupné také z: [https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ospol/fileexport-s/pro-investory/informacni-povinnost-emitenta/2019-10/vnitri-informace-cez-031-2019\\_uhelna-energetika\\_v\\_cr.pdf](https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ospol/fileexport-s/pro-investory/informacni-povinnost-emitenta/2019-10/vnitri-informace-cez-031-2019_uhelna-energetika_v_cr.pdf)
- [17] *CO2 European Emission Allowances* [online]. New York: Markets Insider, 2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances>
- [18] *The EU Emissions Trading System in 2019: trends and projections* [online]. Brusel: Evropské agentury pro životní prostředí, 2019 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/themes/climate/trends-and-projections-in-europe/trends-and-projections-in-europe-2019/the-eu-emissions-trading-system>
- [19] *Národní alokační plán ČR*. In: . Praha: Vláda ČR, 2005, ročník 2005, číslo 1.
- [20] *Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší*. In: . Praha: Parlament ČR, 2012, ročník 1, 151/2012, 415/2012 Sb.
- [21] *Přechodný Národní Plán České Republiky*. Praha, 2017. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prechodny\\_narodni\\_plan\\_cr/\\$FILE/000-PNP\\_CR\\_2014-11\\_17\\_REV\\_vestnik-20170719.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/prechodny_narodni_plan_cr/$FILE/000-PNP_CR_2014-11_17_REV_vestnik-20170719.pdf)

- [22] *Zpráva o vývoji energetiky v oblasti tepla za rok 2018*. Praha, 2019. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/2020/3/Zprava-o-vyvoji-energetiky-v-oblasti-tepla-za-rok-2018.pdf>
- [23] Teplárenství. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o, 2016 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi>
- [24] HÁJEK, Martin. Dopad růstu ceny povolenky na teplárenství v ČR. *ProEnergy*. 2019, 2019(4), 42-44.
- [25] *Způsoby výroby dálkově dodávaného tepla* [online]. Praha: Teplárenské sdružení České republiky, 2020 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <http://www.naseteplo.cz/?id=0505&1585858502#>
- [26] *Roční zpráva o provozu teplárenských soustav ČR*. In: . Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2019, ročník 2018, číslo 1.
- [27] *Konzultace s technickými pracovníky teplárny*. Praha, 2020.
- [28] DLOUHÝ, Tomáš. *Výpočty kotlů a spalinových výměníků*. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-010-2035-5.
- [29] Natural gas commodity prices in the United States and Europe from 1980 to 2030. *Statista* [online]. Europe: Statista, 2021 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/252791/natural-gas-prices/>
- [30] SAVAGE, Karen. EU Sued for Climate Impacts of Burning Wood for Energy. *The Climate Docket* [online]. 2019, 2019(03), 1 [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://www.climatedocket.com/2019/03/04/biomass-european-union-lawsuit/>



## 9 Grafy

- Graf 1 Celkové emise skleníkových plynů v EU
- Graf 2 Emise CO<sub>2</sub> vypuštěné do ovzduší v ČR
- Graf 3 Emisní strop pro systém EU ETS v období 2013-2020
- Graf 4 Vývoj dražební zúčtovací ceny EUA v eurech
- Graf 5 Přehled vývoje poptávky a nabídky povolenek 2008-2030
- Graf 6 Podíl paliv na výrobě tepla brutto za rok 2018
- Graf 7 Množství spáleného paliva a emisí CO<sub>2</sub> v roce 2019 v kotlích
- Graf 8 Struktura ceny spalování uhlí
- Graf 9 Struktura ceny spalování dřevní štěpky
- Graf 10 Struktura ceny spalování zemního plynu
- Graf 11 Vývoj cen zemního plynu
- Graf 12 Náklady na spalování při změně cen paliv
- Graf 13 Vliv emisní povolenky na cenu výroby tepla z různých paliv
- Graf 14 Vliv emisní povolenky na cenu výroby tepla z různých paliv se započítáním EUA pro dřevní štěpku

## 10 Tabulky

- Tabulka 1      Specifické emisní limity pro spalovací stacionární zdroje, pro něž byla podána kompletní žádost o první povolení provozu, nebo obdobné povolení podle dřívějších právních předpisů, před 7. lednem 2013 a byly uvedeny do provozu nejpozději 7. ledna 2014
- Tabulka 2      Součet emisních stropů všech spalovacích stacionárních zdrojů zahrnutých do Přechodného národního plánu
- Tabulka 3      Znečišťující látky, které podléhají zpoplatnění a sazby poplatků za znečišťování v jednotlivých letech [v Kč/t]
- Tabulka 4      Výroba tepla brutto podle paliv za rok 2018 [TJ]
- Tabulka 5      Parametry uhelných kotlů
- Tabulka 6      Složení pevných paliv
- Tabulka 7      Porovnání stechiometrických výpočtů pro různá paliva
- Tabulka 9      Výsledky výpočtů pro plynné palivo
- Tabulka 10     Porovnání výhřevností alternativních pevných paliv
- Tabulka 11     Porovnání množství spáleného paliva k dosažení stejného výkonu jako za měsíc květen 2019
- Tabulka 12     Množství emisí CO<sub>2</sub> při stechiometrickém spalování za měsíc květen 2019
- Tabulka 13     Množství emisí CO<sub>2</sub> při stechiometrickém spalování za rok 2019
- Tabulka 14     Porovnání cen jednotlivých paliv pro rok 2019

# 11 Obrázky

Obrázek 1 Města s dodávkou tepla zatíženou nákupem povolenek s vyznačením převládajícího druhu paliva pro výrobu tepla