



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

CENTRÁLNÍ ZÁSOBOVÁNÍ TEPLEM V ČR V KONTEXTU LEGISLATIVNÍCH ZMĚN

DISTRICT HEATING SYSTEMS IN THE CZECH REPUBLIC IN THE CONTEXT OF LEGISLATIVE
CHANGES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Hylas

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Putna, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	Martin Hylas
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Ondřej Putna, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Centrální zásobování teplem v ČR v kontextu legislativních změn

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V souvislosti s ekonomickými a legislativními nástroji pro snižování emisí, musí často provozovatelé teplárenských zdrojů provést určité změny v technologii, které povedou k environmentální, ale i ekonomické udržitelnosti zařízení. Toho je možné dosáhnout zefektivněním systému čištění spalin, zvýšením energetické účinnosti nebo změnou palivového mixu využívajícím ekologičtější paliva jako je například komunální odpad. Student se v průběhu řešení práce seznámí s problematikou teplárenství, energetickým využitím odpadů a dalšími alternativními technologickými koncepty využitelnými v teplárenství. Provede stručnou analýzu stavu teplárenství v podmínkách ČR a příslušné legislativy. Dále pak v rámci případové studie srovná možná řešení přechodu na jiné palivo v konkrétní lokalitě.

Cíle bakalářské práce:

- Analýza podkladů z veřejných zdrojů týkajících se problematiky CZT
- Rešerše platné legislativy
- Popis technologických konceptů využitelných v teplárenství
- Zpracování jednoduché případové studie změny palivového mixu v konkrétní lokalitě s využitím existujících technicko–ekonomických modelů

Seznam doporučené literatury:

CONNOLLY, David, Brian Vad MATHIESEN, Poul Alberg ØSTERGAARD, Bernd MÖLLER, Steffen NIELSEN, Henrik LUND, Urban PERSSON, Sven WERNER, Jan GRÖZINGER, Thomas BOERMANS a OTHERS, 2013. Heat Roadmap Europe 2050: Second pre-study for the EU27 [online]. B.m.: Aalborg University. Dostupné z: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:794796>

Přehled cen tepelné energie v členění podle cenových lokalit [online]. Energetický regulační úřad ČR. 2015, Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/teplo/statistika/prehled-cen-tepelne-energie-v-cleneni-podle-cenovych-lokalit>

KARAFIÁT, Josef a kol. Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. Praha, Česká Republika: Ortep, s.r.o., 2006.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na rozbor problematiky centrálního zásobování teplem (CZT) s ohledem na legislativní změny Evropské unie. První část se zabývá rozбором dané problematiky a zhodnocení stavu CZT v České republice. Dále je rozebrán postoj Evropské unie ke klimatickým změnám, způsobený zvyšováním emisí skleníkových plynů, jejichž výrazným producentem jsou zdroje CZT. Rešeršní část je zakončena rozбором možných změn v teplárenství vedoucích k naplnění legislativních požadavků do budoucna.

Druhá část bakalářské práce se zabývá zpracováním případové studie změny palivového mixu pro zdroj tepla v existující lokalitě za pomoci využití technicko-ekonomického modelu. Hlavním cílem je zhodnocení využitelnosti obnovitelných zdrojů (biomasa, odpad) jako primárních paliv místo zemního plynu. Výsledkem praktické části je porovnání jednotlivých variant a změny nákladů na výrobu 1 GJ tepla oproti referenční variantě.

Klíčová slova

centrální zásobování teplem, kogenerace, emise, legislativa, palivový mix, modernizace

Abstract

The bachelor thesis focuses on the analysis of the issue of district heating (DH) with regard to legislative changes in the European Union. The first part deals with the analysis of the issue and the evaluation of the state of CZT in the Czech Republic. The European Union's position on climate change, caused by increasing greenhouse gas emissions, which are significantly produced by DH sources, is also discussed. The research part ends with an analysis of possible changes in the heating industry leading to the fulfillment of legislative requirements in the future.

The second part of the bachelor's thesis deals with the elaboration of a case study of the change of the fuel mix for the heat source in the existing locality with the use of the technical-economic model. The main goal is to evaluate the usability of renewable resources (biomass, waste) as primary fuels instead of natural gas. The result of the practical part is a comparison of individual variants and changes in the cost of producing 1 GJ of heat compared to the reference variant.

Keywords

district heating, cogeneration, emissions, legislative, fuel mix, modernization

Bibliografické citace

HYLAS, Martin. *Centrální zásobování teplem v ČR v kontextu legislativních změn* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140680>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Ondřej Putna.

Prohlášení o původnosti

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Centrální zásobování teplem v ČR v kontextu legislativních změn vypracoval samostatně za využití konzultací s vedoucím bakalářské práce Ing. Ondřejem Putnou, Ph.D., literatury a internetových zdrojů uvedených v seznamu zdrojů.

Datum: 18. 5. 2022

Podpis:

.....

Martin Hylas

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Ondřeji Putnovi, Ph.D. za odborné rady, které významně pomohly k vypracování bakalářské práce. Rád bych také poděkoval rodině za podporu při zpracování bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	10
1. Výroba tepla.....	11
1.1 Centrální zásobování teplem.....	11
1.1.1 Zdroj tepla v CZT.....	11
1.1.2 Zařízení CZT.....	14
1.1.3 Tepelné sítě CZT.....	16
1.1.4 Předávací stanice CZT.....	17
1.2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET).....	18
1.2.1 Charakteristické ukazatele zdrojů KVET.....	19
1.2.2 Podmínky pro uplatnění zdrojů KVET.....	20
1.3 Tepelné oběhy.....	21
1.3.1 Rankinův-Clausiusův (RC) oběh.....	21
1.3.2 Organický Rankinův-Clausiusův cyklus (ORC).....	22
1.3.3 Braytonův cyklus.....	22
1.3.4 Paroplynový cyklus.....	23
1.4 Statistické vyhodnocení CZT v ČR.....	24
1.4.1 Bilance tepla v roce 2019.....	24
1.4.2 Výroba tepla brutto dle paliv v roce 2019.....	25
1.4.3 Vývoj ceny tepelné energie.....	26
1.5 Decentralizované zásobování teplem.....	27
1.6 Porovnání CZT s DTZ.....	28
1.6.1 Odpojování spotřebitelů od CZT.....	29
2. Modernizace teplárenských soustav.....	31
2.1 Znečištění ovzduší.....	31
2.1.2 Základní pojmy v oblasti znečištění ovzduší.....	31
2.1.3 Látky způsobující znečištění ovzduší.....	33
2.1.4 Vliv skleníkových plynů na ovzduší.....	34
2.2 Politika ochrany klimatu na světové, evropské a národní úrovni.....	35
2.2.1 Mezinárodní politika ochrany klimatu.....	36
2.2.2. Evropská politika ochrany klimatu.....	36
2.2.2.1 Evropský systém pro obchodování s emisemi (ETS).....	38
2.2.2.2 Modernizační fond Evropské unie.....	39

2.2.3 Politika ochrany klimatu v ČR.....	39
2.3 Alternativní zdroje tepla využitelné v teplárenství.....	40
2.3.1 Využití biomasy k účelům výroby tepla	41
2.3.1.1 Co je biomasa	41
2.3.1.2 Přímé spalování biomasy	42
2.3.1.3 Zařízení pro spalování tuhé biomasy	43
2.3.2 Využití odpadů k účelu výroby tepla	43
2.4 Investice v teplárenství.....	48
2.4.1 Změna palivového mixu.....	49
2.4.1.1 Investiční náklady do změny palivového mixu.....	50
2.4.2 Možnosti modernizace teplárenských zdrojů	50
3. Výpočtová část bakalářské práce (případová studie)	55
3.1 Popis modelu	55
3.2 Popis modelové situace	56
3.3 Výpočet jednotlivých variant	58
3.3.1 Scénář 1 – referenční varianta	58
3.3.2 Scénář 2 – integrace biomasového kotle	59
3.3.3 Scénář 3 – integrace ZEVO.....	62
3.4 Zhodnocení výsledků	65
Závěr.....	67
4. Seznam použitých zdrojů	68
5. Seznam použitých zkratk a symbolů	75
6. Seznam příloh.....	77

Úvod

Teplárenství patří k jednomu ze stěžejních oborů energetiky. K výrobě tepla dochází buď v samostatných zdrojích tepla (např. výtopna), nebo teplárnách, které se zaměřují na výrobu elektrické energie a zároveň na dodávku tepla ke spotřebitelům. Proces výroby elektrické energie a využití odpadního tepla se nazývá kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET). Teplárenství v České republice produkuje zhruba 50 % dodávek tepla veřejnému sektoru a druhá polovina je určena pro průmysl a služby. [1] V současné době existují dva odlišné způsoby zásobování teplem. Prvním způsobem je centrální zásobování teplem (CZT) s navazujícími sekundárními tepelnými rozvody a druhým způsobem je decentralizované zásobování teplem (DZT). Zjistit to, jakým způsobem jsou dodávky tepla výhodnější nelze říci stoprocentně, protože oba způsoby mají své klady a zápory. Je potřeba vycházet z lokality, charakteru objektu, stavu otopného systému a stanovit výsledné cíle (technické, provozní, ekonomické, geopolitické). [2] Oba způsoby využívají nejčastěji k výrobě tepla fosilní paliva. CZT produkuje hlavní část tepelné energie z hnědého uhlí následováno černým uhlím a zemním plynem (ZP). DZT využívá jako své hlavní palivo ZP. [3] Z důvodu zpřísnování požadavků v oblasti ekologie a přechodu na nízkouhlíkovou energetiku bude potřeba zvýšit podíl využití alternativních zdrojů. Problematika CZT a DZT bude rozebrána v první kapitole rešeršní části. [4]

Ke zpřísnování emisních požadavků dochází na mezinárodní úrovni za pomoci legislativních předpisů. Hlavním iniciátorem změn v oblasti zásobování tepla je Evropská unie. Jedním z nejdůležitějších hnacích prvků změn v sektoru teplárenství je globální oteplování Země. Dle statistických údajů je zjištěno, že v případě České republiky a jejího setrvání v současném stavu sektoru zásobování teplem, by došlo ke zvýšení průměrné teploty o 1 °C do roku 2030. [5] Z toho důvodu Evropská unie stanovila pro jednotlivé členské státy určité cíle, které by měly vést ke snížení tendencí oteplování. Tyto cíle v jisté míře vychází z hlavních pramenů evropské zelené politiky Green Deal. Součástí Green Dealu je také balíček Fit for 55. [6] Fit for 55 stanovuje cíl Evropské unie jako celku snížit celkové množství vypuštěných emisí o 55 % oproti roku 1990 s platností do roku 2030. Samotný Green Deal stanovuje snížení celkových emisí skleníkových plynů Evropské unie na takovou úroveň, aby se stala uhlíkově neutrální. Od roku 2005 jsou velcí producenti skleníkových plynů omezováni systémem EU ETS (evropský systém obchodování s emisemi skleníkových plynů). Tento systém značně ovlivňuje výrobu elektrické energie a tepla, protože omezuje množství vyprodukovaných skleníkových plynů. [5]

Výrobci tepla jsou nuceni na tyto legislativní předpisy reagovat. Jednou z možných změn k dosažení evropských požadavků je změna palivového mixu na uhlíkově neutrální zdroje nebo zdroje, které mají uhlíkový faktor výrazně nižší než fosilní paliva. V současné době se jako jedna z možností jeví spalování biomasy či odpadu. Další možností, jak dosáhnout snížení emisí skleníkových plynů je zvýšení účinnosti samotné soustavy CZT. Díky tomu dojde ke snížení množství spalovaného paliva a ke snížení produkce skleníkových plynů.

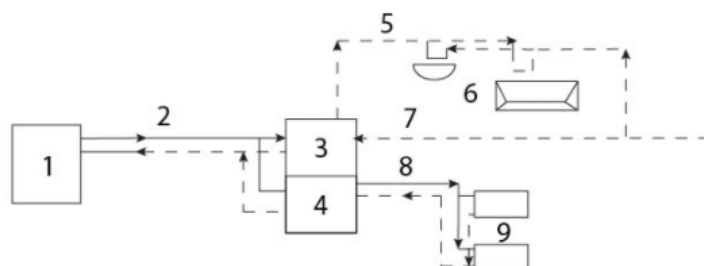
1. Výroba tepla

První oddíl bakalářské práce se bude zabývat rozбором technologie CZT. V jednotlivých podkapitolách bude rozebrán systém výroby a dodávek tepla k odběratelům. Součástí tohoto rozboru bude i zmapování současné situace dálkové výroby tepla v České republice. V návaznosti na problematiku CZT bude rozebráno i DZT s následným porovnáním obou způsobů výroby tepla.

1.1 Centrální zásobování teplem

CZT je systém, který je určen pro výrobu a dodávku tepla. Je tvořen jedním nebo více zdroji, které jsou následně propojeny tepelnými sítěmi, přes které je teplo odváděno k odběratelům do územních celků. Primární síť CZT zahrnuje dálkové potrubí, které transportuje teplonosné médium o vyšších parametrech do výměňkové stanice, kde je toto médium náležitě upraveno. Sekundární síť začíná v již zmíněném výměníku a pokračuje ke spotřebitelům, kam rozvádí teplou vodu do otopných těles a TUV. V obrázku 1.1 lze vidět typické schéma systému CZT. V současné době zajišťuje tento způsob výroby tepla zásobování teplem pro zhruba 1,5 miliónu domácností v ČR. Jednotlivé zdroje CZT fungují buď jako samostatné zdroje tepla nebo fungují na principu kogenerace. Tento způsob výroby tepla je v dnešní době považován jako výhodnější z mnoha důvodů:

- možnost využití více druhů paliv,
- menší nároky na dopravu paliva,
- menší ekologická náročnost,
- větší tepelná účinnost,
- regulace dodávaného tepla s ohledem na požadavky,
- možnost kogenerace. [7], [8]



1 – zdroj tepla, 2 – primární okruh, 3 – výměník tepla pro TV, 4 – výměník tepla pro vytápění, 5 – rozvod TV, 6 – zařizovací předměty, 7 – studená voda, 8 – sekundární okruh, 9 – otopná tělesa

Obr. 1.1 - Schéma CZT, převzato z [9]

1.1.1 Zdroj tepla v CZT

Zdrojem tepla v CZT je ve většině případů kotel, ve kterém dochází k výrobě tepla. Toto teplo je v místě výroby předáno teplonosnému médium, které v případě teplárny proudí k turbíně a následně zbytkové teplo proudí do kondenzátoru, popřípadě pro variantu kotelny (výtopny) ihned předává teplo v kondenzátoru a nedochází ke kogeneraci. Teoreticky může být dodávána pára přímo s požadovanými parametry, a pak není kondenzátor potřeba, ale tato varianta není tak obvyklá.

Kotel

Pro dálkové vytápění se využívá nejčastěji jako tepelný zdroj kotel. Jedná se o zařízení, které je určené k výrobě páry z vody nebo ohřevu samotné vody (popřípadě jiného média např. olej u Organického Rankinova-Clausiova cyklu). Teplo z kotle je nejčastěji získáváno spalováním paliva, při kterém se chemickou reakcí uvolňuje teplo. V kotli dochází k transformaci chemické energie na tepelnou. Kotel je srdcem celého zdroje CZT, protože u kotle začíná jak výroba elektrické energie, tak tepla. Kotle dělíme dle využívaného paliva.

Dělení kotlů dle paliv:

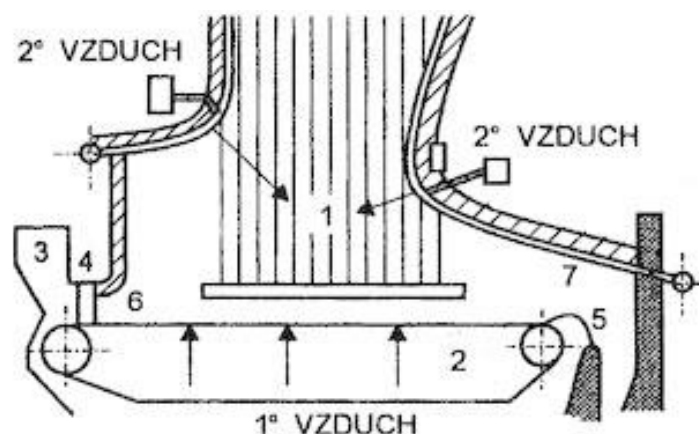
- kotle na tuhá paliva,
- kotle na kapalná paliva,
- kotle na plynná paliva,
- kotle na směsi paliv.

Nejvýznamnějším druhem v současnosti jsou kotle na tuhá paliva, protože hnědé uhlí je nejvyužívanějším palivem k výrobě tepla v ČR. Kotle na tuhá paliva lze dále dělit na roštové, fluidní a práškové. Zároveň budou rozebrány plynové kotle, protože také tvoří podstatnou část zdrojů v ČR. Kotle na kapalná paliva nebudou v této práci rozebrána, protože nejsou předmětem zkoumání v praktické části práce.

Kotle na tuhá paliva

Kotle roštové

Roštový typ kotle, který je vyobrazen na obrázku 1.2 se využívá ke spalování tuhých paliv ve vrstvě. Jedná se o nejvyužívanější druh kotlů, protože se využívají ke spalování hnědého uhlí. Tento druh kotle dosahuje celé škály výkonů, od těch nejmenších až po 50 MW. Proces spalování v kotli odpovídá pěti-fázovému procesu, jenž bude popsán v kapitole 2.3.1.2.



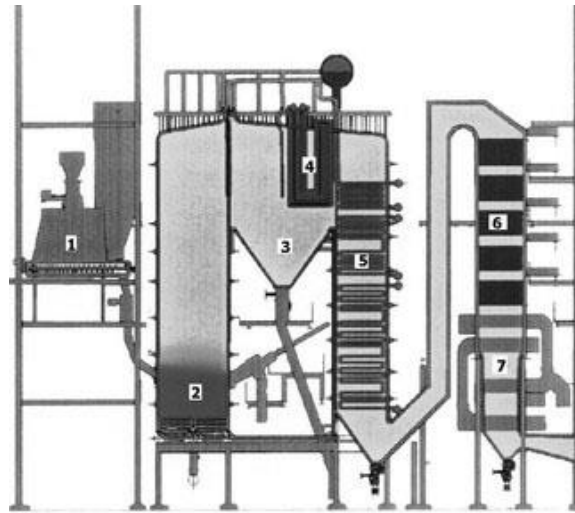
Obr. 1.2 - Schéma roštového kotle, převzato z [10]

Hlavní částí roštového kotle je ohniště (1), které zdola ohraničuje rošt (2), jenž je pro kotel typický. Ze stran je ohniště ohraničeno přední a zadní klenbou (6,7). Doprava paliva je v tomto kotli zajištěna dopravníkem (3) a správné dovedení paliva na rošt je zajištěno hradítkem (4). Na obrázku modelu roštového kotle lze také vidět přívody primárního a sekundárního vzduchu. Dle využití technologie se rošty dělí na řetězové, vratisuvné, přesuvné a pásové. [11]

Kotle fluidní

Jedná se o technologii kotlů, která má široký výhled do budoucna. Probíhá zde proces fluidizace, při které je soubor pevných látek udržován ve fluidní vrstvě ve vlnosku proudem tekutin. Tento vytvořený systém se nazývá disperzní, jenž se vytváří za pomoci průtoku plynu vrstvou částic nasypných pod pórovité dno (fluidní rošt). Fluidní kotle lze dělit na atmosférické kotle se stacionární nebo cirkulující fluidní vrstvou.

Atmosférické fluidní kotle se stacionární fluidní vrstvou vznikly jako náhrada klasických roštových kotlů. Schéma tohoto kotle lze vidět na obrázku 1.3.



Obr. 1.3 - Schéma fluidního kotle, převzato z [10]

Celý proces spalování začíná přísunem paliva ze zásobníku v místě (1). Toto palivo je přiváděno do spalovací komory (2). Do tohoto místa je přiváděn zároveň spalovací vzduch. Tento primární vzduch je veden přes fluidní rošt, díky čemuž vzniká z paliva a aditiva fluidní vrstva. Spaliny následně odchází dohořivací komorou do mezitahu (3). Spaliny poté proudí přes výhřevné plochy parní části kotle přehřívákem (4 a 5), ekonomizérem (6) a ohřívákem vzduchu (7).

Fluidní kotel s cirkulující fluidní vrstvou se od toho stacionárního odlišuje tím, že fluidní vrstva cirkuluje mezi spalovací komorou a cyklonem, ze kterého se vrací zpátky do ohniště. To má za následek delší pobyt částic ve spalovací části kotle a efektivnějšímu vyhoření uhlíku a odsíření. [10], [11]

Kotle práškové

Tyto kotle spalují nejmenno rozemletý uhelný prášek. Rozemletím se zvyšuje měrný povrch, což je pozitivní pro celý proces spalování. Tyto kotle se využívají pro soustavy CZT s nejvyšším výkonem, protože jsou nejefektivnější a nejvýkonnější. Nosným médiem rozemletého paliva je vzduch. Samotné spalování je díky větší měrné ploše rychlejší než u kotle s roštem. V ohništi se následně mísí se sekundárním vzduchem a dochází ke spalování. Nevýhodou těchto kotlů je náročnější příprava samotného paliva. [10]

Kotle na plynná paliva (kotle na ZP)

Kotel založený na spalování plynu má nejjednodušší koncept práce s palivem. Počátkem procesu spalování plynu je odběr plynu z plynárenské soustavy. Po snížení tlaku plynu v redukčních ventilech vstupuje plyn plynovými hořáky do kotle, kde se mísí se vzduchem. Podle typu hořáku dochází ke mísení vzduchu s plynem buď v hořáku samotném

(směšovací), nebo v samotném ohništi (proudový). Účinnost plynových kotlů dosahuje 96-97 %, což je výrazně vyšší než u kotlů na tuhá paliva. [10], [11]

1.1.2 Zařízení CZT

Jednotlivá zařízení CZT lze dělit na základě způsobu výroby tepelné, popřípadě elektrické energie. V následující kapitole budou jednotlivé technologické koncepty rozebrány podrobněji.

Výtopna

Někdy též nazývána kotelna je samostatně stojící zdroj tepla, ve kterém dochází pouze k výrobě tepla a absenci výroby elektrické energie. Proces výroby tepla je tedy založen na spalování paliv v kotli a následném ohřevu vody. Tato tepelná energie je poté dopravena k výměníku a rozvedena tepelnými sítěmi ke spotřebitelům. Teplo je dodáváno buď formou páry, nebo vody. Výtopny se zpravidla využívají pro sítě s nízkou dodávkou tepla. Při uvažování využití výtopny, jako zdroje tepla pro určitý objekt je potřeba zhodnotit, kolik kotelních jednotek je schopno pokrýt odběry tepla. K zajištění spolehlivého procesu výroby tepla se využívá 3-5 kotelních jednotek. Tento zdroj tepla se vyznačuje až 90 % účinností z důvodu absence výroby elektrické energie. Výtopna je mnohem jednodušší na konstrukci než teplárna. V dnešní době je hlavním palivem výtopen ZP. [8], [12], [13], [14]

Teplárna

Teplárny jsou oproti výtopnám větší a investičně nákladnější zdroje tepla. V teplárnách dochází oproti kotelnám ke kogeneraci, tedy výrobě elektrické energie a tepla zároveň. Výhodou kogenerace je značná úspora ve využití paliv ve srovnání s oddělenou výrobou tepelné energie. Proces výroby elektrické energie a tepla se odlišuje v závislosti na typu technologie teplárny. Nejprostším typem teplárenské technologie je teplárna s protitlakovými turbínami. V dnešní době existuje mnoho dalších typů technologií. Základní princip se nemění, energie spalováním paliva generuje na turbíně elektrickou energii a následně odvádí zbytkové teplo do výměníku, které lze následně využít. [12], [14]

Teplárna s parní turbínou

Teplárna s parní turbínou je nejstarším typem zdroje pro kombinovanou výrobu energie a tepla. I když jde o technologicky nejstarší koncept, dobře navržená teplárna s parní turbínou je konkurenceschopná ostatním zdrojům tepla. Základem těchto tepláren je oběh parního cyklu. U tohoto typu tepláren se využívá oběh vysokotlakým parním kotlem a **protitlakou** nebo **kondenzační turbínou**. Typická podoba parní turbíny je vyobrazena na obrázku 1.4.



Obrázek 1.4 - Nízkotlaká parní turbína, převzato z [15]

Teplárna s protitlakou parní turbínou

Tento druh tepláren využívá všechnu páru využitou k výrobě energie pro dodávky tepla. Toto teplo je odebíráno na výstupu z turbíny. Tepelná energie, která je dodávána nedosahuje vysokých parametrů. Dle požadavků na výrobu tepla se snižuje nebo naopak zvyšuje množství vyrobené elektrické energie. Teplárny s protitlakou turbínou efektivně využívají spalované palivo, ale zisk elektrické energie z těchto tepláren je poměrně nízký. U protitlaké turbíny dochází k zakončení expanze páry při vyšším tlaku, než je tlak atmosférický a teplota páry je vyšší než 100 °C. Pára je následně využívána jako zdroj tepla buď ve formě horké vody, která se ohřívá ve výměníku typu pára/voda nebo ve formě samotné páry. Pokud je potřeba zajistit větší nezávislost, co se týče dodávky tepla a elektrické energie, teplárna musí být vybavena rovněž kondenzační turbínou s regulovaným odběrem páry, o které bude řeč v následujícím odstavci. Hlavní výhodou těchto zdrojů je dlouhá životnost a vysoká účinnost. Jednou z hlavních nevýhod je požadavek na kontinuální provoz bez možnosti odstávek. [11], [12], [16]

Teplárna s kondenzační turbínou

Teplárna s kondenzační turbínou se zaměřuje spíše na výrobu elektrické energie. Hlavní odlišnost od protitlaké parní turbíny spočívá v tom, že kondenzační turbína disponuje tzv. kondenzační částí, kdy pára, která není využita pro výrobu tepla je hnána na další lopatkové řady, a tak dochází k maximalizaci efektivnosti výroby elektrické energie. Omezenou dodávku tepla lze provádět odběrem páry z turbíny přímo při probíhající expanzi. Tento druh tepláren je vhodný zejména pro jednotky, kde je primárním požadavkem výroba elektrické energie a dodávka tepla okrajovou záležitostí. [16]

Teplárna se spalovacími motory

Teplárny založené na využití spalovacích motorů pracují na základě plynového cyklu. Principem je, že nasátý vzduch je stlačen, po vstřiku paliva a zažehnutí se ohřeje a zvýší svůj objem, přičemž je tato energie transformována na mechanickou práci. V podstatě jsou využívána stejná zařízení jako u spalovacích motorů automobilů. Hlavním rozdílem, v případě využití spalovacích motorů jako zdroje KVET je, že mechanická energie je využita prostřednictvím generátoru k výrobě elektrické energie a odpadní teplo cyklu motoru je využito pro teplárenské účely (na rozdíl od spalovacích motorů automobilu, kdy je teplo odváděno výfukem v podobě výfukových plynů). Spalovací motory těchto tepláren musí být silně přeplňovány, aby se dosáhlo maximálních hodnot účinností. Podstatné je zde také teplo odváděné z chladiče motoru a chlazení oleje, protože je skoro stejně velké jako samotné teplo odváděné ze spalín. Teplo se následně za pomoci výměníků dodává do soustavy CZT. Spalovaným palivem u těchto tepláren je ZP. Tento druh tepláren se svojí účinností přibližuje k účinnosti plynových tepláren, a proto se stávají konkurenceschopným zdrojem. V dnešní době je velkým problémem těchto tepláren poměrně vysoký obsah škodlivých látek (např. CO). Výhodou těchto zdrojů tepla je možnost rychlého odstavení a uvedení do provozu oproti jiným. [11], [12]

Teplárna s plynovou turbínou

Tento druh tepláren je vývojově novějším konceptem oproti parním teplárnám. Jedná se o nejrozšířenější typ primárních jednotek určených ke kogeneraci. Teplárna s plynovou turbínou se řídí podle Braytonova cyklu. Na rozdíl od typického Braytonova cyklu teplé spaliny předávají teplo vodě ve výměníku místo toho, aby proudily rovnou komínem do ovzduší. Palivem tohoto zdroje je typicky ZP. Hlavní výhodou tohoto zdroje je možnost nárazového odstavení nebo najetí na vyšší výrobu elektřiny a tepla. Další výhodou je, že tento technologický koncept není prostorově náročný a jednodušší oproti parnímu zařízení. Teplárenský modul dosahuje zároveň vyšších hodnot než u klasických parních tepláren. Oproti teplárnám

se spalovacími motory mají tu výhodu, že produkují menší množství škodlivých látek. Jednou z nevýhod tohoto zdroje je podstatná komínová ztráta z důvodu nutnosti přítomnosti vyššího množství vzduchu k ochlazení spalin před příchodem na plynovou turbínu s ohledem na využití materiály. [11], [12]

Paroplynová teplárna

V dnešní době jde o nejdokonalejší zdroj kombinované výroby tepelné a elektrické energie. Díky tomu, že je využito spojení dvou cyklů (Braytonova a Rankinova-Clausiova, které jsou podrobněji popsány v kapitole 1.3) lze dosáhnout velice vysoké účinnosti. Vzduch je nejdříve stlačen kompresorem a následně dochází ke spalování paliva ve spalovací komoře. Spaliny následně roztáčí plynovou turbínu, která je napojena na generátor, kde se mění mechanická energie na elektrickou. Zbylá tepelná energie z plynového cyklu se následně přivádí do parního cyklu, kde v parním kotli mění vodu na páru o určité teplotě a následně je mechanická energie transformována na elektrickou na generátoru, který je připojen k parní turbíně. Nevyužitě teplo je přiváděno do výměníku, ze kterého se dále využívá k zásobování teplem. Tato poměrně složitá technologická koncepce umožňuje mnoho modifikací. Například lze přidat do komplexu tzv. by-pasový komín, který umožňuje při určitém energetickém vytížení využít pouze plynovou nebo parní část paroplynové teplárny. Lze také zvolit různé druhy turbín, podle toho, zda má být tento zdroj určen spíše pro teplárenské účely nebo elektrárenské účely. [11], [12]

1.1.3 Tepelné sítě CZT

Jde o potrubní soustavu, díky které se teplo za pomoci teplotnosné látky dopravuje ze zdroje k spotřebiteli. Teplotnosným médiem je pára nebo horká voda z důvodu vysoké hodnoty tepelné kapacity. V oblasti, kam teplotnosné médium potrubní sítí putuje, je instalována předávací stanice (nejčastěji výměník), ve které přivedené teplo ohřívá vodu pro vytápěný okruh. Ochlazené teplotnosné médium putuje zpět ke zdroji tepla, kde je znovu ohřáto. Jedná se tedy o uzavřený oběh. Důležitým aspektem kvality potrubních sítí je tepelná ztráta potrubí, a proto se musí řádně izolovat. Objemové průtoky potrubních sítí se ovlivňují různými druhy armatur. Tepelné sítě lze rozdělit dle čtyř kritérií.

- dle využitého teplotnosného média – parní, vodní (horkovodní, teplovodní);
- dle počtu trubek v trase potrubí – jednorubkové, dvoutrubkové, třítrubkové čtyřtrubkové;
- dle půdorysného uspořádání a propojení – paprskovité, okružní a mřížové;
- dle způsobem uložení – nadzemní, pozemní, podzemní. [17], [18]

Podrobněji bude rozebráno dělení dle využitého teplotnosného média a dle počtu trubek v trase potrubí.

Rozdělení dle využitého teplotnosného média

Parní síť

Pára, která je rozváděna tepelnou sítí, je sytá a mírně přehřátá. Využití páry nachází uplatnění u soustav CZT, protože zde má značný podíl i technologická spotřeba, pro kterou je vhodnější pára. Pára v tepelné sítí nejčastěji nabývá hodnot tlaku od 0,2-1,5 MPa, proto je pára schopna protékat soustavou na úkor své tlakové energie. Přenosová schopnost tepla u páry je asi pětkrát vyšší než u vody. Hlavními nevýhodami využití páry jsou vyšší tepelné ztráty a nižší výroba elektrické energie v teplárně z důvodu vyšších parametrů teplotnosného média. Z důvodu ztrát je parní síť vhodnější pro dodávky tepla na kratší vzdálenosti.

Vodní síť

Tento druh sítí lze ještě dělit na horkovodní a teplovodní. Oproti páře lze využít dodávky tepla vodou na delší vzdálenosti, protože nedochází k tak výrazným tepelným ztrátám. V teplárnách dochází k vyšší výrobě elektrické energie, protože teplotnosné médium nedosahuje takových parametrů. Nevýhodou vodních sítí je, že voda není schopna svým tlakovým spádem proudit potrubím, a proto se musí využít oběhových čerpadel. Zároveň dochází k vyššímu zatížení potrubí, protože na potrubí působí hydrostatický tlak a tíha vody.

V dnešní době se jeví jako výhodnější potrubní síť využívající vodu jako teplotnosné médium. V celé řadě lokalit v ČR dochází k modernizaci z parních na vodní sítě. Hlavním důvodem přechodu na vodní sítě jsou již zmíněné nižší ztráty oproti parním sítím, což má za následek nižší spotřebu paliv, a proto se zdroj tepla stává ekonomičtější a ekologičtější. [19]

Rozdělení sítí z hlediska počtu trubek v trase potrubí

Jednotrubkové sítě

Tento druh tepelných sítí se využívá pro transport teplotnosného média v jednom směru od zdroje k spotřebiteli. U spotřebitele se teplotnosné médium spotřebuje nebo vypustí do okolí. Z důvodu nejnižších nákladů na materiál a konstrukci je tento způsob rozvodu výhodný na výstavbu, ovšem jsou silně omezeny požadavky na životní prostředí. V dnešní době se využívá minimálně. [18]

Dvoutrubkové sítě

Tento druh sítí umožňuje přívod a odvod teplotnosného média přes přívodné a vratné potrubí. Jde tedy o uzavřený oběh, ve kterém cirkuluje teplotnosné médium. Dvoutrubkové sítě jsou nejrozšířenějším druhem tepelných sítí. Výhodou oproti jednotrubkovým sítím je, že topná tělesa nejsou neustále vystavována výkyvům jako u jednotrubkových soustav. [18], [20]

Třítrubkové a čtyřtrubkové sítě

Třítrubkové sítě se využívají v případě, kdy dodávky tepla pro spotřebitele jsou vyžadovány v různých parametrech teplotnosného média z důvodu, že spotřebiče pracují s rozdílnými parametry. U čtyřtrubkových sítí se uplatnění najde v případě, kdy potřeba tepla v jednom období se značně odlišuje od zbývajících období provozu. Tyto druhy sítí nejsou příliš obvyklé. [18]

1.1.4 Předávací stanice CZT

V dnešní době se předávací stanice využívají k finální úpravě teplotnosného média ke spotřebiteli. Využívají se z důvodu přeměn vysokých parametrů tepelné energie v tepelném médiu na nižší parametry. Výsledné předávané teplotnosné médium musí být technicky optimální a hygienické. Tyto stanice oddělují primární okruh od sekundárního, který míří přímo ke spotřebiteli.

Předávací stanice se rozdělují dle:

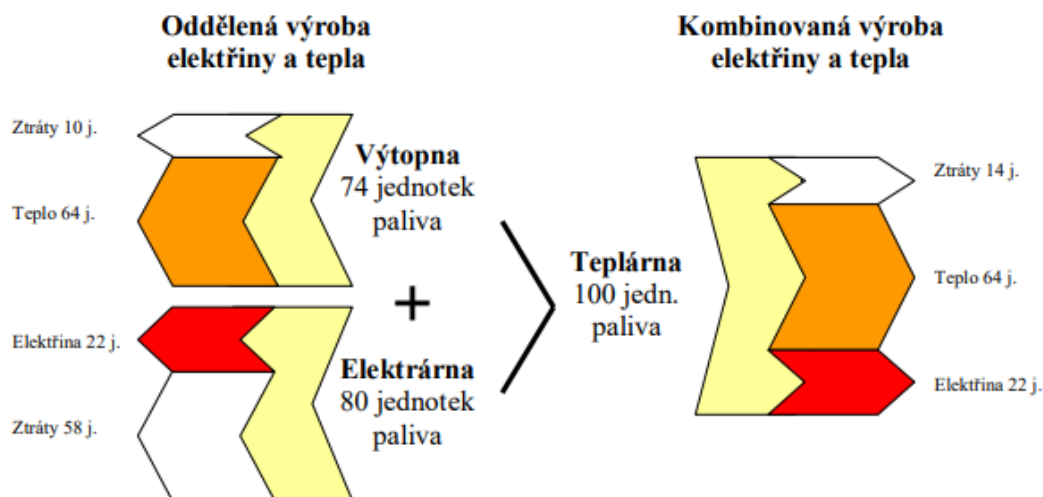
- a) způsobu hydraulického propojení primární se sekundární sítí:
 - tlakově závislé – v obou sítích proudí totožná teplotnosná látka a připojení je přímé přes směšovací smyčky, čerpadla, atd;
 - tlakově nezávislé – dochází k hydraulickému oddělení pomocí výměníků, kdy v každé části výměníku proudí teplotnosná látka o jiných parametrech.

- b) technologického zařízení:
- výměňkové stanice,
 - směšovací stanice,
 - ejektorové stanice,
 - tlakové regulační stanice.

Nejčastěji využívaným technologickým konceptem jsou výměňkové stanice, které jsou výhodné z důvodu vysoké škály rozměrů a různých tepelných spádů dle požadovaného tepelného výkonu. [21], [22], [23]

1.2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET)

Důsledkem rozšíření industrializace ve 20. století docházelo ke zvyšování nároků na produkci energie, oproti nárokům na produkci tepla. To mělo za následek zvyšování počtu elektráren, které při využití tepelných cyklů a transformace tepelné energie páry na mechanickou energii, produkují vedle elektrické energie také nemalé množství odpadního tepla. Toto odpadní teplo by za normálních podmínek elektrárny nebylo využito a bylo by odvedeno kondenzátorem. Elektrárna by tedy ztrácela účinnost. Proto vedle elektráren a výtopen začaly vznikat také teplárny, které se zaměřují, jak na výrobu energie, tak na využití odpadního tepla. Kromě ztráty účinnosti má také veliký vliv na oddělenou výrobu elektrické energie a tepla spotřeba paliva, která je při využití kogenerace nižší, než při oddělené výrobě elektrické energie a tepla. V rámci kogenerace je potřeba uzpůsobit teplotu, při které pára předává odpadní teplo, které musí být využitelné pro topné a technologické účely. To má za následek mírné snížení podílu získané elektrické energie z důvodu zvýšení spodní teploty cyklu. Obrázek 1.5 poukazuje na výhodnost využití kogenerace na základě úspory paliva oproti separátnímu způsobu výroby tepla a elektrické energie. [12]



Obr. 1.5 - Využití kogenerace oproti oddělené výrobě energie a tepla, převzato z [12]

Z obrázku lze vidět, že v případě využití kogenerace je značný rozdíl v celkových ztrátách, protože pro případ separované výroby elektrické energie a tepla se jedná o 68 jednotek paliva a v případě kogenerace pouze o 14 jednotek.

1.2.1 Charakteristické ukazatele zdrojů KVET

Při zhodnocení, zda je či není technologický koncept výhodný se musí brát v úvahu řada ukazatelů. V následující části budou popsány nejdůležitější ukazatele.

Teplárenský modul

Tento modul udává podíl vyrobené elektřiny vůči vyrobenému užitečnému teplu zařízení kombinované výroby energie a tepla. Jak lze ze vzorečku vidět, jde spíše o vztah, který informuje o technickém popisu daného zařízení. Výsledná hodnota poté udává konstrukci a typ daného objektu KVET. [12]

$$\sigma = E_{KVET} / Q_{KVET} \cdot (100) [\%]$$

Príslušné symboly mají následující význam:

σ -teplárenský modul [%]

E_{KVET} -elektrická energie vyrobená při kogeneraci [GJ, MWh]

Q_{KVET} -teplo vyrobené při kogeneraci [GJ, MWh].

V obr. 1.6 jsou uvedeny hodnoty teplárenských modulů pro základní teplárenské zdroje.

Druh energetické centrály	$e = E / Q_d$
Výtopna - pro srovnání	0
Parní teplárna - s dodávkou tepla v horké vodě - s dodávkou tepla v páře	0,18 až 0,43 0,12 až 0,18
Plynová teplárna	0,3 až 0,7
Teplárna se spalovacími motory	0,6 až 1,1 (1,2)
Paroplynová teplárna s vysokým stupněm přitápění v kotli za plynovou turbínou	0,2 až 0,6
Paroplynová teplárna na uhlí (PFBCCP)	0,5 až 1,0
Paroplynová teplárna bez přitápění	0,6 až 1,5

Obr. 1.6 - Tabulka teplárenských modulů pro odlišené technologie, převzato z [24]

Účinnost zdrojů KVET

Každý zdroj KVET lze charakterizovat třemi druhy účinností, které udávají, jak moc je daný technologický koncept vhodný a vyplatí se. V případě KVET se jedná o přivedené palivo, v závislosti na zisku energie nebo tepla, které od daného zdroje vyžadovány.

η^{el}_{KVET} -Tato veličina udává účinnost výroby elektrické energie zdroje KVET. Výsledná účinnost je dána podílem množství vyrobené elektrické energie ku teplu, které je přivedeno ve formě paliva. [12]

$$\eta^{el}_{KVET} = (E_{KVET} / Q_{pal-KVET}) \cdot 100 [\%]$$

Príslušné symboly mají následující význam:

E_{KVET} -elektrina vyráběna ve zdroji KVET [GJ, MWh]

$Q_{pal-KVET}$ -spotřeba tepla z paliva při kogeneraci [GJ, MWh].

η^q_{KVET} -Udává účinnost výroby užitečného tepla v zařízení KVET, která je vyjádřena podílem užitečného tepla ku spotřebovanému palivu, což je vyjádřeno jako teplo získané z paliva. [12]

$$\eta_{KVET}^q = (Q_{u\check{z}-KVET} / Q_{pal-KVET}) \cdot 100 [\%]$$

Příslušné symboly mají následující význam:

$Q_{u\check{z}-KVET}$ -získané užitékové teplo při procesu kogenerace [GJ, MWh].

η_{KVET}^{celk} -Posledním zmíněným druhem účinnosti je celková účinnost, která bere v potaz jak vyrobené teplo tak energii daným zdrojem KVET. Vztah je popsán podílem součtu energie a teplem, které daný zdroj vyrobí, ku spotřebovanému palivu pro výrobu. [12]

$$\eta_{KVET}^{celk} = [(E_{KVET} + Q_{u\check{z}-KVET}) / Q_{pal-KVET}] \cdot 100 [\%]$$

1.2.2 Podmínky pro uplatnění zdrojů KVET

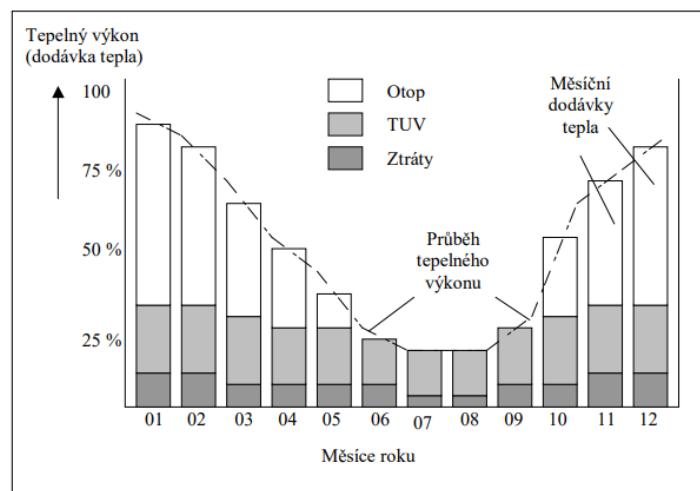
Při rozhodnutí, zda se výstavba objektu KVET vyplatí, je nejdůležitějším faktorem existence dostatečného odbytu tepla, kdy je potřeba také brát v úvahu vzdálenost daných spotřebních míst. Zatímco elektrická soustava je schopna přijímat elektrickou energii ze zdroje KVET v libovolném množství po celý rok, tak u tepelné soustavy záleží na tepelném výkonu, který bude daný zdroj produkovat, protože systém CZT je schopen přijímat pouze omezené množství tepla v závislosti na situaci, navíc pokud je brána v úvahu odlišnost ročního období. Dalšími podstatnými faktory je dostupnost paliv v místě zdroje a požadavky dodávek tepla. [12]

Užitečnou spotřebu tepla tvoří teplo pro:

- otop – závisí na venkovní teplotě a jakým režimem je daný topný objekt provozován;
- teplá užitková voda (TUV) - závisí na využití objektu, který je zásobován (např. rozdíl mezi plaveckým bazénem a úřadem);
- technologie – potřeby jsou závislé na technologii, která dané teplo využívá (např. teplo pro ohřev lázní).

Kromě celkového využití tepla je důležité také brát v potaz tepelné ztráty. Ty se nejčastěji vyskytují v rámci prostupu tepla nebo únikem teplotnosného média v potrubí. [12]

Před volbou daného zařízení KVET a jeho technologickým konceptem je potřeba znát diagramy potřeby tepla a energie, které popisují vytíženost v daném časovém okamžiku v průběhu roku a následně uvážit, zda zdroj KVET pokrývá vlastní spotřebu. Obrázek 1.7 popisuje typickou situaci dodávek tepla v průběhu roku.



Obr 1.7 - Tepelný diagram popisující vytíženost v průběhu roku, převzato z [12]

1.3 Tepelné oběhy

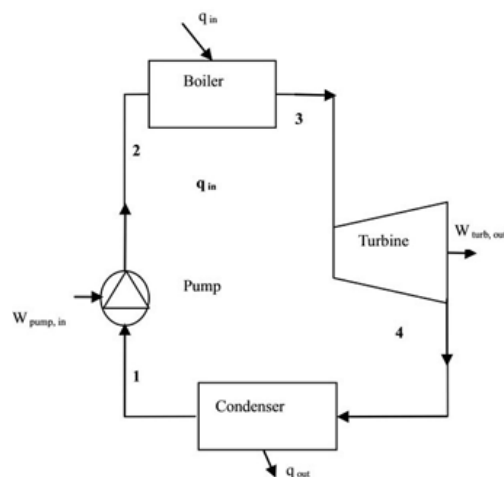
Tepelné oběhy lze realizovat za využití tepelných strojů, což jsou zařízení, ve kterých lze zpracovávat teplo. Teplo je uvolňováno z vhodného energetického zdroje a následně lze teplo transformovat na práci. Díky tomu jsou tepelné oběhy plynů využívány při kombinované výrobě elektřiny a tepla, protože při nich lze získat elektrickou energii i teplo. V tepelných strojích je pracovní látka cyklicky ohřívána a ochlazována. Tepelný oběh se skládá z několika termodynamických dějů, na jehož konci má pracovní látka stejné vlastnosti (stavové veličiny) jako na jeho počátku. Hlavním parametrem tepelného stroje je jeho účinnost. Ta je nejčastěji stanovena rozdílem horní a dolní teploty cyklu. Následující cykly jsou ty nejčastější, které se v teplárenství využívají. [11], [25]

1.3.1 Rankinův-Clausiov (RC) oběh

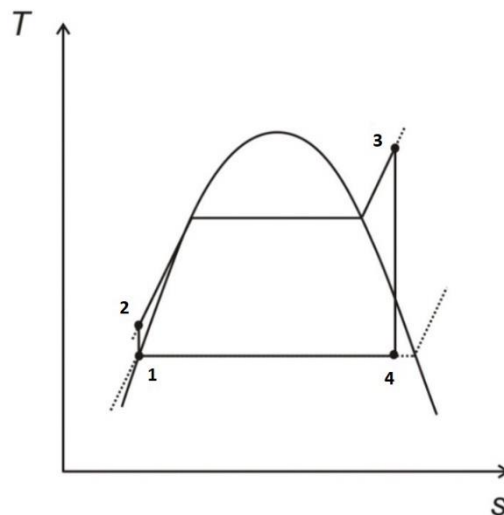
Jinak také nazývaný parní oběh s využitím parní turbíny je nejrozšířenějším tepelným oběhem, který se využívá v energetice k výrobě elektřiny. Pracovní látkou tohoto oběhu je voda, ale lze využít i jiné pracovní látky (například při využití Organického Rankinova-Clausiova cyklu). Obrázek 1.8 vyobrazuje typický průběh RC cyklu. [25], [4]

Na počátku tohoto cyklu, za pomoci čerpadla, se zvýší tlak z p_1 na p_2 (úsek 1-2). Následně se v parní kotli voda o tlaku p_2 ohřívá až na mez sytosti kapaliny a poté dochází k varu vody a přechodu na sytou páru. Tato pára je dále přehřívána v části kotle nazývaná přehřívák. Poté pára putuje do parní turbíny, kde expanduje a tepelná energie se transformuje na práci (úsek 3-4). Turbína je poté napojena na generátor, kde vzniká elektrická energie. Expandovaná pára putuje do kondenzátoru, který se většinou skládá z chladících trubek. Kondenzátor je soustavně ochlazován například vzduchem nebo vodou. Zde pára zkondenzuje a vrací se zpět do čerpadla a celý proces se znovu opakuje (úsek 4-1). [25], [26]

Jak již dříve bylo uvedeno, tak nejvyšší účinnosti lze dosáhnout tím, že při příchodu páry na turbínu bude mít médium co nejvyšší teplotu a tlak. Tento fakt je bohužel ovlivněn pevnostními charakteristikami materiálu, které je potřeba brát v potaz, což omezuje maximální hodnoty, kterých lze dosáhnout. [11]



Obr. 1.8 - Schéma Rankine-Clausiova cyklu, převzato z [26]



Obr. 1.9 - Schéma RC cyklu v T-s diagramu vodní páry, upraveno na základě [27]

1.3.2 Organický Rankinův-Clausiusův cyklus (ORC)

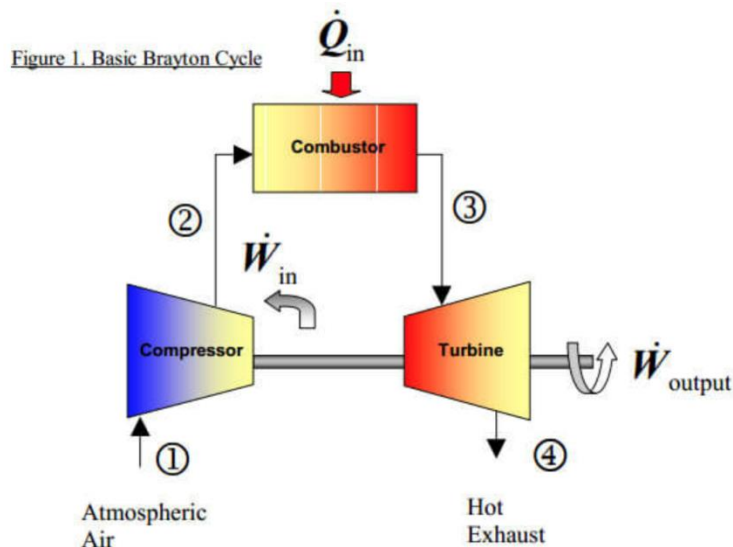
ORC má prakticky shodné fáze tepelného oběhu jako klasický RC cyklus. Tento druh RC cyklu je důležitý, protože se využívá ve spojení se spalováním biomasy, jelikož nedosahuje tak vysokých teplot spalování. Rozdíl u ORC spočívá v tom, že se jako pracovní látka využívá organická sloučenina s vhodnou vlastností. Tato organická látka je přivedena do výparníku, kde se z ní vypařují plyny. Následně je plyn veden na turbínu, kde se stejně jako u klasického RC cyklu generuje elektrická energie. Z turbíny je odváděn plyn do regenerátoru a kondenzátoru, kde je ochlazen. Při využití organických sloučenin se otevírá možnost využití rekuperátoru, protože expanze na turbíně probíhá do oblasti přehřáté páry (organická sloučenina v T-s diagramu má kladnou směrnici syté páry). Teplo přehřátí lze využít k ohřevu kapalné fáze organické sloučeniny a zvýšit tak účinnost celého cyklu.

Organické látky (nejčastěji uhlovodíky, fluorovodíky a silikonové oleje) je vhodné využívat v případě, kdy tepelný zdroj dosahuje nízkých teplot a daný zdroj elektrické energie je uzpůsoben na nižší výkon. Tyto dvě vlastnosti jdou ruku v ruce, protože nízké teploty znamenají nízkou účinnost transformace primárního zdroje na technickou práci. I když pracovní látka nedosahuje takových parametrů, tak hlavní výhodou využití organických sloučenin je vyšší molární hmotnost. Díky tomu lze dosáhnout výrazně vyšších objemových toků turbínou. Při spojení těchto vlastností je u ORC nevýhodné provádět vícenásobnou expanzi na turbíně. Využití organických sloučenin vykazuje vyšší účinnost, než při využití vody (následně páry), jako pracovní látky, v případě, kdy je prováděna jednostupňová expanze. [12], [16]

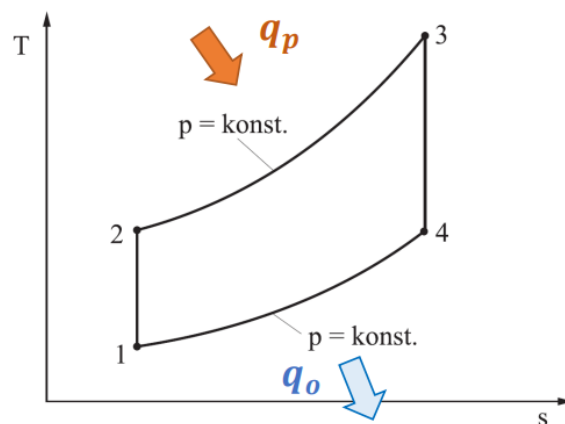
1.3.3 Braytonův cyklus

Na rozdíl od parního cyklu nedochází při konání práce ke změně fáze pracovní látky, která je po celý průběh cyklu ve stavu plynu. Tento druh cyklu je vyobrazen na obrázcích 1.10 a 1.11. Braytonův cyklus je využíván u spalovacích turbín (u menších tepláren se využívají spíše spalovací motory), které se využívají k pohonu tepláren na ZP. Pracovní látkou tohoto cyklu je směs vzduchu a paliva. V prvním úseku dochází ke kompresi nasávaného vzduchu z tlaku p_1 na p_2 za pomoci kompresoru (úsek 1-2). Následně je plyn ve spalovací komoře ohříván za pomoci přidání paliva z teploty T_2 na teplotu T_3 (úsek 2-3). Poté plyn expanduje a zároveň plyn,

který má vysoký tlak a teplotu, koná práci na turbíně, která je napojena na generátor a vyrábí elektrickou energii. Část práce je převáděna zpět na kompresor, který je díky tomu poháněn. Horký plyn následně odchází ven komínem do atmosféry. [11], [25]



Obr. 1.10 - Schéma Braytonova cyklu, převzato z [28]

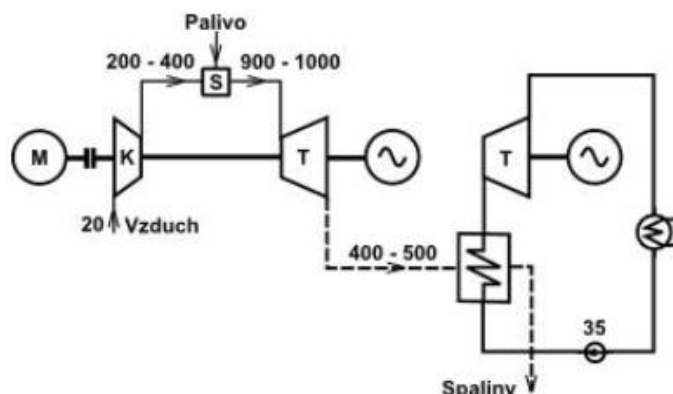


Obr. 1.11 - T-s diagram Braytonova cyklu, převzato z [29]

1.3.4 Paroplynový cyklus

Tento druh tepelného oběhu uvažuje spojení výše již zmíněných tepelných cyklů, tedy Rankinova-Clausiova cyklu a Braytonova cyklu. Palivem tohoto cyklu je nejčastěji ZP a méně často topný olej. První část tohoto cyklu představuje Braytonův cyklus. Schéma tohoto cyklu popisuje níže přiložený obrázek 1.12. V první části tohoto cyklu se kompresorem (K) nasaje a stlačí vzduch a tím se zvýší tlak, který se společně s palivem vhání do spalovací komory (S). Poté dojde ke spalování směsi a spaliny proudí do plynové turbíny (T), kde přemění tepelnou energii na kinetickou. Díky propojení plynové turbíny a generátoru za pomoci hřídele se na generátoru generuje elektrická energie. Spaliny následně putují do spalínového kotle, kde se využívá zbytkové tepelné energie spalín k přeměně vody v kotli na páru. Tato pára předává svoji energii parní turbíně (T), která je napojena na generátor, kde se mění kinetická energie na energii elektrickou. V poslední fázi tohoto cyklu dochází ke kondenzaci páry na vodu a zakončení tohoto tepelného děje. [30]

Výhodou spojení těchto dvou cyklů je výrazné zvýšení účinnosti výroby elektrické energie až na 58 %, jelikož samostatně tyto cykly mají účinnost nižší. RC cyklus dosahuje účinnosti okolo 28-38 % a Braytonův cyklus okolo 28-42 %. Kromě vyšší účinnosti je další výhodou paroplynových tepláren nízká produkce emisí, především díky využití ZP jako paliva. Zároveň další výhodou paroplynových tepláren je možná reakce na výkyvy ve spotřebě energie, jelikož plného výkonu paroplynová soustava dosahuje v řádu několika minut. [30]



Obr. 1.12 - Schéma paroplynového cyklu, převzato z [31]

1.4 Statistické vyhodnocení CZT v ČR

Každoročně Energetický regulační úřad (ERÚ) a Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) zveřejňují zprávu ohledně výroby tepla za uplynulý rok. Je zde uveden výhled, vývoj a trendy oproti minulému roku. V těchto dokumentech lze najít mnoho podstatných ukazatelů vývoje výroby tepla. Roční zpráva obsahuje celkový podíl na výrobě tepla zdrojů KVET a dále podíl jednotlivých paliv v současných i uplynulých letech, což poukazuje na vývoj teplárenství v ČR. V dalších kapitolách budou tyto jednotlivé ukazatele popsány z oficiálně zveřejněných dat z roku 2019. [32], [33]

1.4.1 Bilance tepla v roce 2019

Zhodnocení stavu teplárenství na území ČR vychází z obrázku 1.13, který vyobrazuje výrobu tepla v dálkových zdrojích. Pokud se jedná o celkové vyrobené teplo brutto (výroba tepla na zdrojích bez tepla použitého na výrobu elektřiny) v roce 2019, tak jeho hodnota je 161 651,5 TJ. Z celkového vyrobeného tepla bylo 99 289,3 TJ vyrobeno ve výrobnách KVET. Po odečtení spotřebovaného tepla ve vlastním podniku na samotnou výrobu tepla a energie, ztrátách tepla v rozvodech atd. bylo vyrobeno celkově 87 543,5 TJ tepla k dodání spotřebitelům. Zároveň je podstatné zmínit, že z demografického hlediska se každoročně nejvíce tepla vyrobí v krajích, kde je hojně zastoupena těžba uhlí. Nejvíce tepla je tedy každoročně vyrobeno v kraji Moravskoslezském a Ústeckém z důvodu dostupnosti nejhojněji využívaného paliva. Rozložení dodaného tepla do jednotlivých sektorů je následující: 48 % tepla bylo dodáno do domácností, 23 % tepla do sektoru služeb a 28 % tepla do průmyslu.

Lze konstatovat, že se stále zmenšuje podíl vyrobeného a dodávaného tepla oproti předešlým rokům, kdy v roce 2018 činila hodnota tepla brutto 162 409,3 TJ a hodnota dodaného tepla 88 550,6 TJ. Důvodem je, že se zlepšujícími se technologiemi jak v průmyslu, tak v domácnostech se zvyšuje možnost energetických úspor, které mají vliv na požadavky tepla. Dalším ukazatelem snižující se výroby tepla může být fakt, že zimy v ČR jsou čím dál mírnější.

Zároveň klesá podíl využití hnědého uhlí při výrobě tepla, což se musí vyvažovat jinými zdroji a může se to promítnout na celkovém vyrobeném teple. [32], [33], [34]

3. Bilance tepla [TJ]

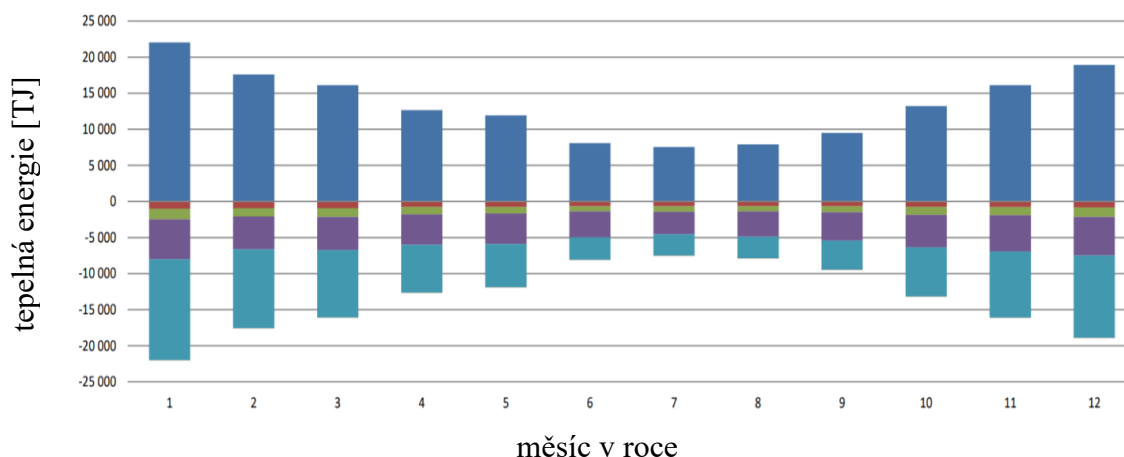
2019

	I. čtvrtletí			II. čtvrtletí			III. čtvrtletí			IV. čtvrtletí			Celkem
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	
■ Výroba tepla brutto	55 738,3			32 691,5			24 933,2			48 288,5			161 651,5
	22 033,9	17 586,9	16 117,5	12 674,0	11 924,2	8 093,3	7 542,4	7 899,9	9 490,9	13 216,4	16 131,6	18 940,5	
■ Technologická vlastní spotřeba tepla	2 867,1			2 180,7			1 960,6						9 400,9
	1 016,6	920,8	929,7	765,1	760,8	654,8	672,6	629,3	658,7	752,9	787,4	852,2	
■ Ztráty	3 845,8			2 647,1			2 363,1			3 522,8			12 378,8
	1 462,7	1 159,1	1 224,0	1 016,7	916,0	714,4	769,5	756,2	837,4	1 086,0	1 131,2	1 305,6	
■ Vlastní spotřeba tepla	14 626,1			12 055,0			10 549,1			14 871,5			52 101,7
	5 508,1	4 558,8	4 559,1	4 225,3	4 210,9	3 618,7	3 096,4	3 509,6	3 943,1	4 524,5	5 015,9	5 331,2	
■ Dodávky tepla	34 335,5			15 752,5			10 011,1			27 444,3			87 543,5
	14 025,5	10 928,1	9 381,9	6 649,4	6 013,3	3 089,9	2 989,0	2 988,3	4 033,8	6 841,1	9 176,3	11 426,9	
■ Bilanční rozdíl	63,8			56,2			49,3			57,3			226,6
	21,1	20,0	22,8	17,4	23,2	15,6	14,8	16,4	18,0	12,1	20,8	24,5	

zdroj dat: výkaz ERÚ-T1, ERÚ-E1

Obr. 1.13 - Bilance tepla (TJ) v roce 2019, převzato z [32]

Na obrázku 1.14 je zobrazen graf průběžné výroby tepla v roce, kdy je znatelný rozdíl mezi výrobou tepla v letních a zimních měsících.



Obr. 1.14 - Bilance tepla v jednotlivých měsících v roce, převzato z [32]

1.4.2 Výroba tepla brutto dle paliv v roce 2019

Na základě dat ERÚ a obrázku 1.15 lze konstatovat, že v ČR je v teplárenství ze všech dostupných paliv nejhojněji zastoupeno hnědé uhlí. Širší využití hnědého uhlí je způsobeno nižší cenou oproti černému uhlí a zároveň jednodušší těžbou, která je povrchová. Zároveň je hnědé uhlí velice kvalitní zdroj, co se týče výhřevnosti. Podíl hnědého uhlí na celkové výrobě tepla brutto činilo v roce 2019 68 822,4 TJ. Je důležité konstatovat, že každým rokem se množství využitého uhlí snižuje, protože při spalování hnědého uhlí dochází k vysoké produkci CO₂, což v poslední době začíná být silně regulováno Evropskou unií a její politikou prodeje emisních povolenek. Druhým nejhojněji zastoupeným palivovým zdrojem při výrobě tepla je ZP. V roce 2019 bylo celkově vyrobeno ze ZP 30 656,3 TJ tepla brutto. Výhodou využití ZP je nižší podíl emisí CO₂, rozdíl je zhruba o 50 %, než u hnědého uhlí. Zároveň při jeho spalování nedochází k tvorbě pevných částic. Do budoucna lze očekávat, že ZP bude hojněji využíván, protože s plány Evropské unie o uhlíkové neutralitě se ZP jeví jako jedním z nejvhodnějších alternativ. Do popředí se také dostává výroba tepelné energie z biomasy, což je nejhojněji zastoupený zdroj obnovitelné energie při výrobě tepla. Tento zdroj každoročně zaznamenává

vzrůst v podílu na celkové výrobě tepla. Do budoucna se očekává celkový růst podílu obnovitelné zdroje energie (OZE) na výrobě celkové energie. V roce 2019 bylo z biomasy vyrobeno 20 032,2 TJ tepla brutto. Nelze opomenout také podstatné množství tepla vyrobeného z černého uhlí, které je ale v teplárenství využíváno méně než hnědé z již zmíněných důvodů. Podíl celkového vyrobeného tepla brutto z černého uhlí činil 14 806,7 TJ v roce 2019. Lze také očekávat, že tento zdroj bude využíván méně, protože u tohoto zdroje se vyskytují stejné potíže jako u hnědého uhlí. V ČR je využíváno mnoho dalších paliv, která ovšem netvoří tak podstatnou část na výrobě tepla. V poslední době se nejčastěji hovoří o využití OZE jako o palivech budoucnosti v sektoru teplárenství, do kterých spadá již zmíněná biomasa, ale také se do této skupiny zařazuje bioplyn či komunální odpad. [32], [33]

4. Výroba tepla

2019

4.1. Výroba tepla brutto podle paliv [TJ]

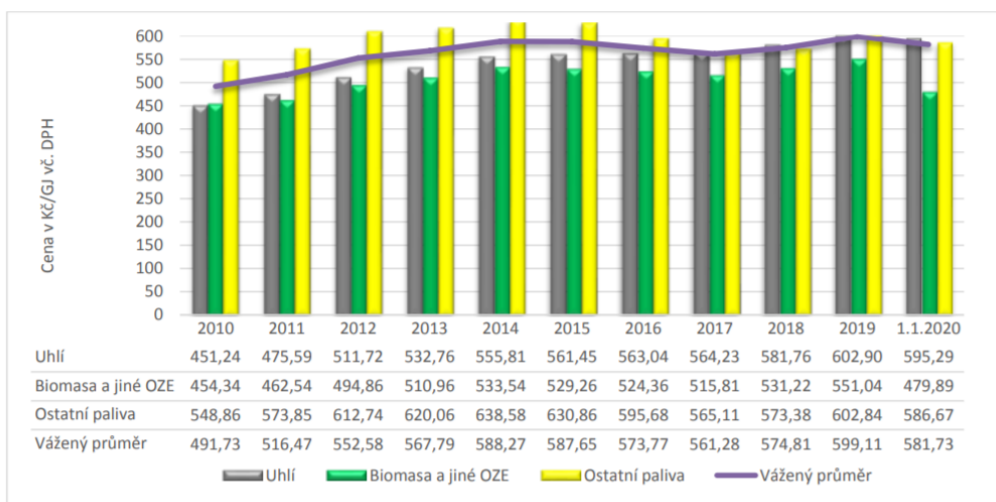
	I. čtvrtletí			II. čtvrtletí			III. čtvrtletí			IV. čtvrtletí			Celkem
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	
Výroba tepla brutto	55 738,3			32 691,5			24 933,2			48 288,5			161 651,5
Biomasa	1 971,7	1 721,9	1 853,2	1 695,4	1 720,4	1 204,6	1 278,2	1 432,9	1 508,2	1 599,8	1 895,1	2 150,7	20 032,2
Bioplyn	415,0	370,2	384,9	344,4	328,6	272,8	272,5	278,7	298,1	359,0	375,0	406,0	4 105,3
Černé uhlí	2 748,7	1 833,5	1 581,3	1 081,3	826,4	571,6	502,1	494,0	652,5	1 146,9	1 456,9	1 911,5	14 806,7
Elektrická energie	1,1	1,0	1,5	1,5	1,3	1,5	1,2	2,3	1,3	2,0	1,6	1,2	17,5
Energie prostředí (tepelné čerpadlo)	13,9	11,0	9,4	6,4	5,9	3,0	3,1	2,7	4,3	7,5	9,7	11,5	88,3
Energie Slunce (solární kolektor)	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Hnědé uhlí	9 899,3	8 021,0	7 005,6	5 280,5	4 896,2	2 949,6	2 311,1	2 632,3	3 624,8	5 576,3	6 929,1	8 249,0	67 374,7
Jaderné palivo	152,8	118,5	100,0	71,3	60,5	18,8	18,2	16,9	34,0	67,6	92,4	101,8	852,9
Koks	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Odpadní teplo	721,3	626,8	691,5	710,6	730,4	628,4	697,7	666,3	668,3	598,0	643,0	696,7	8 079,1
Ostatní kapalná paliva	88,9	66,9	70,4	50,5	43,9	28,9	1,8	2,0	2,8	49,6	70,4	73,3	549,4
Ostatní pevná paliva	447,7	388,6	401,2	395,2	370,7	322,7	349,7	341,9	305,0	315,7	424,4	403,7	4 466,4
Ostatní plyny	1 033,6	889,3	918,2	937,0	888,3	793,2	788,1	850,9	809,3	772,4	851,0	939,5	10 470,8
Ostatní	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Topné oleje	8,4	7,4	6,7	4,3	9,6	41,1	12,5	10,3	16,7	11,0	16,0	7,1	151,1
Zemní plyn	4 531,5	3 530,7	3 093,5	2 095,5	2 041,9	1 257,0	1 305,9	1 168,7	1 565,5	2 710,7	3 367,0	3 988,4	30 656,3

zdroj dat: výkaz ERU-T1, ERU-E1

Obr. 1.15 - Podíl paliv na celkové výrobě tepla brutto (TJ), převzato z [32]

1.4.3 Vývoj ceny tepelné energie

V této kapitole bude porovnávána cena tepelné energie pro koncové odběratele v předešlých letech, v roce 2019 a výhled pro rok 2020 z důvodu absence dat k aktuálnímu roku. Průměrné hodnoty tepelné energie v Kč/GJ vychází z obrázku 1.16. Výsledné hodnoty cen tepelné energie se odlišují dle využitého paliva na její výrobu. Celkový souhrn se skládá z dodávek tepla z blokových kotelen, domovních předávacích stanic, centrální přípravy teplé vody a z domovních kotelen.



Obr. 1.16 - Průměrná cena tepelné energie dle využitého zdroje, převzato z [35]

Z tabulky lze vidět, že cena tepelné energie z uhlí stále roste. Růst cen tepelné energie vyrobené z uhlí je zapříčiněn stále zvyšujícími se cenami emisních povolenek. ZP není takovou mírou zatížen emisními povolenkami z důvodu výrazně nižšího emisního faktoru viz kapitola 2.1.4. Pokud se jedná o výrobu tepla z biomasy, tak na ni se emisní povolenky nevztahují, protože se jedná o tzv. emisně neutrální zdroj. U cen tepelné energie z biomasy a jiných OZE a ostatních zdrojů není rovnoměrný nárůst nebo viditelný pokles, protože u těchto zdrojů se hlavně promítá aktuální cena paliv. Do výsledné ceny se také výrazně zahrnuje sazba DPH, která se v minulých letech měnila. Předpokládaná změna cen v roce 2020 je hlavně ovlivněna změnou sazby DPH, kdy došlo k snížení sazby DPH z 15 % na 10 % za dodávky tepla. [35]

Do budoucna se očekává, že se ceny tepelné energie budou zvyšovat. Největší problémy mají v dnešní době teplárny, které využívají ZP, protože v aktuální situaci nejsou schopni prodejci plynu plnit svoje závazky, a proto musí nárazově ukončit dodávky. To zapříčiní, že se teplárny budou nacházet v situaci, kdy musí nakoupit ZP za několikrát vyšší cenu na trhu. [36]

1.5 Decentralizované zásobování teplem

Jedná se o alternativu k CZT, kdy zdroj tepla je umístěn přímo v lokalitě, kde je vyžadována dodávka tepla. Využití se najde hlavně u spotřebitelů, kteří nejsou schopni se napojit na CZT nebo se rozhodli od zdroje CZT odpojit z důvodu rostoucích cen tepelné energie. To je hlavně zapříčiněno rostoucí cenou emisních povolenek, které musí zdroje CZT kupovat na rozdíl od zdrojů DZT. Spotřebitelé se tak stávají energeticky soběstační. U tohoto typu zásobování teplem odpadá potřeba dopravy a rozvodu tepla. Další výhodou je, že nedochází ke ztrátě tepla při rozvodu. Na druhou stranu má tento typ zásobování i svoje nedostatky, jedním z nich jsou problémy z environmentálního hlediska, kdy kotle na fosilní paliva produkují škodlivé plyny, které následně vypouští do ovzduší na rozdíl od zdroje CZT, který se dokáže s těmito škodlivými látkami vypořádat z důvodu sofistikovanějších čištění spalin. Hlavními zdroji tepla u DZT jsou kotelny na ZP nebo tepelná čerpadla. V dnešní době se šíří trend o odpojení od CZT a přechod na DZT z důvodu možného snížení nákladů na vytápění. Ovšem není bráno v potaz, že tyto zdroje tepla je potřeba pravidelně kontrolovat a samotná instalace těchto zdrojů je také velice nákladná. [37], [2], [38]

Kotel na tuhá paliva

Pro tento typ tepelného zdroje lze využít mnoho druhů fosilních paliv, jako je černé uhlí, hnědé uhlí, či biomasa v podobě dřeva, briket nebo jiných produktů. Díky moderní technologii kotlů je tedy velkou výhodou spotřebitele, že v závislosti na ceně si může vybrat vhodné palivo. V poslední době byl zaznamenán útlum v prodeji tohoto typu kotlů hlavně z důvodu emisních problémů. Na co se musí spotřebitelé připravit je fakt, že od září roku 2022 vejde v platnost zákaz o vyžívání kotlů 1. a 2. emisní třídy. [39], [40]

Plynový kotel

Tento druh tepelného zdroje najde využití hlavně ve městech, kde jsou dostupné plynové přípojky. Palivem těchto kotlů je zejména ZP. Plynové kotle dělíme dle způsobu provedení a jejich umístění na stacionární a závěsné. Stacionární kotle jsou větších rozměrů a výkonů. Využívají se hlavně k vytápění a přípravě TUV. Naopak závěsné kotle jsou vhodné pro bytové jednotky, které jsou menších rozměrů. V dnešní době je častější výskyt závěsného typu. Nevýhodou plynových kotlů je stále zvyšující se cena ZP a také vyšší pořizovací náklady. To ovšem vyvažuje využití spalovaného plynu, které je kvalitní, a proto návratnost těchto zdrojů se pohybuje v řádech několika let. [40], [41]

Tepelné čerpadlo

Jedná se o druh tepelného zdroje, který ke svojí práci využívá elektrickou energii. Ze všech tepelných zdrojů na elektrickou energii je neekonomičtější. Základními druhy tepelných čerpadel je vzduch-voda, voda-voda, země-voda dle toho z jakého média teplo získávají. Hlavním parametrem tepelných čerpadel je tzv. topný faktor, který udává kolikrát více energie získáme vůči energii dodané. Čím vyšší je tato hodnota, tím je tepelné čerpadlo účinnější. V dnešní době čím dál více lidí přechází na tepelná čerpadla, a to hlavně z důvodu nárůstu cen fosilních paliv. Dalším důvodem je podpora státu při koupi tepelného čerpadla z důvodu ekologičnosti tohoto zdroje. [2], [40], [42], [43]

1.6 Porovnání CZT s DTZ

Při výběru zdroje tepla nastává pro spotřebitele zásadní otázka, zda se vyplatí dálkové vytápění nebo individuální vytápění. Existuje celá řada výhod a nevýhod, kdy je potřeba pro spotřebitele zvážit, co je pro ně primárním cílem. V následující kapitole budou sepsány klady a zápory obou druhů vytápění.

Výhody centrálního zásobování teplem:

- bezpečnost – v objektu, kde probíhá vytápění nehrozí výbuch ani požár zdroje, popřípadě otrava při nedokonalém spalování paliv;
- spolehlivost – pokud by došlo k odstavení zdroje, tak nehrozí výpadek dodávek tepelné energie, protože zdroje CZT mají záložní zdroj;
- šetrnost k životnímu prostředí – většina tepla se v dnešní době vyrábí procesem kogenerace, při kterém dochází k úspoře paliv a zároveň teplárny podléhají přísným standardům, které podléhají legislativě;
- finanční výhoda – cena tepla ze zdrojů CZT se může na první pohled zdát vyšší než v případě individuálního vytápění, na druhou stranu je do výsledné ceny započten servis a další cenové položky, které se musí brát v potaz i pro DTZ;
- teplo bez starostí – v případě využití CZT se spotřebitel nemusí starat o poruchy, které by za okolností individuálního vytápění musel řešit a zaplatit;
- uživatelský komfort – spotřebitel si na začátku topné sezóny otočí regulačním ventilem radiátoru a nemusí vynaložit žádné úsilí. [44], [45]

Nevýhody centrálního zásobování teplem:

- omezení měnit druh paliva – obvykle je zdroj CZT v dané lokalitě omezen měnit druh paliva, čímž se hůře stává konkurenceschopným – v dnešní době problematika se ZP;
- odpojování – při odpojení spotřebitele od CZT rostou náklady pro zbývající odběratele
- ztráty tepelné energie – při procesu rozvodu tepelné energie potrubními sítěmi dochází ke značným tepelným ztrátám, čemuž se snaží zabránit modernizací tepelných sítí;
- údržba sítí – provoz a údržba sítí zvyšuje výsledné náklady pro zákazníky;
- tzv. topná sezóna – dle zákona je určeno, kdy musí teplárny začít a přestat topit, tento problém lze vyřešit písemnou žádostí. [2], [46]

Výhody decentralizovaného zásobování teplem:

- stálost zdroje – spotřebitel tepelné energie může topit kdy chce, bez ohledu na topnou sezónu, kterou se řídí teplárny;
- individuálnost – spotřebitel je zároveň vlastníkem daného zdroje, tedy může si rozhodovat o míře vytápění či ohřevu;

- psychologický aspekt – pro některé lidi je důležitý pocit, že tepelný zdroj vlastní a nemusí se na nikoho jiného spoléhat.

Nevýhody decentralizovaného zásobování teplem:

- investice – pořizovací náklady na zdroj tepla se pohybují ve vysokých peněžních částkách, kdy spotřebitel musí zvážit následnou návratnost;
- nejistota ceny – kromě prvotní investice je potřeba do nákladů zahrnout opakující se náklady na údržbu, servis, popřípadě poruchu zdroje;
- riziko poruchy – pokud dojde k poruše, tak spotřebitel musí vše řešit sám;
- znečištění prostředí – pokud se nejedná o tepelná čerpadla, tak především ty plynové a uhelné vypouští do ovzduší zplodiny a tím zhoršují kvalitu ovzduší v lokalitě bydlíště. [46]

Při porovnání výhod a nevýhod obou zdrojů se musí každý spotřebitel zamyslet, jaké jsou jeho priority. Pro obyčejného spotřebitele bude nejspíše hlavním faktorem poměr cena/uživatelský komfort. I přes jistý fakt, že CZT je bezesporu výhodnější z hlediska uživatelského komfortu, tak dochází ke stále častějšímu odpojování spotřebitelů od CZT za vidinou finančních úspor a následnému přechodu na individuální zdroj tepla.

1.6.1 Odpojování spotřebitelů od CZT

Přechod spotřebitelů z centrálního zásobování teplem na individuální zásobování teplem je v dnešní době podstatným tématem. Odpojování subjektů od CZT má negativní vliv na teplárny, protože se ztrátou zisků dochází ke zdražení tepla pro zbylé subjekty. Zdroj tepla je zpravidla přizpůsoben poptávce v dané lokalitě. Z toho důvodu začaly teplárenské společnosti spolupracovat s místní samosprávou, aby dokázaly, co nejvíce odběratelů tepla udržet napojené na centrální zdroj tepla. V dnešní době je přechod z CZT na individuální zdroj tepla omezen legislativou z důvodu zhoršení stavu ovzduší při využití lokálních zdrojů tepla. Dále budou ty nejdůležitější zákony, které jsou spojeny s odpojením, zmíněny.

Ust. § 77 odst. 5 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)

„Veškeré vyvolané jednorázové náklady na provedení změny způsobu dodávky nebo změny způsobu vytápění a rovněž náklady spojené s odpojením od rozvodného tepelného zařízení včetně odstranění tepelné přípojky nebo předávací stanice uhradí ten, kdo změnu nebo odpojení od rozvodného tepelného zařízení požaduje. Náklady spojené s odpojením od rozvodného tepelného zařízení zahrnují rovněž zůstatkovou cenu tepelné přípojky a předávací stanice evidovanou v účetnictví dodavatele tepelné energie ke dni odpojení od rozvodného tepelného zařízení, pokud slouží k dodávce tepelné energie výhradně tomu, kdo změnu nebo odpojení od rozvodného tepelného zařízení požaduje.“. [47]

Tento paragraf z Energetického zákona popisuje, náležitosti, se kterými musí spotřebitel počítat před samotným odpojením, protože se promítne do výsledné ceny spojené s odpojením.

Ust. § 16 odst. 7 zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

„Právnícká a fyzická osoba je povinna, je-li to technicky možné, u nových staveb nebo při změnách stávajících staveb využít pro vytápění teplo ze soustavy zásobování tepelnou energií nebo zdroje, který není stacionárním zdrojem. Tato povinnost se nevztahuje na rodinné domy a stavby pro rodinnou rekreaci a na případy, kdy energetický posudek prokáže, že využití tepla ze soustavy zásobování tepelnou energií nebo zdroje energie, který není stacionárním zdrojem, není pro povinnou osobu ekonomicky přijatelné.“. [48]

Cílem tohoto ustanovení je zamezit zhoršení stavu ovzduší a popřípadě jeho stav zlepšit, díky zmenšení počtu zdrojů.

Z tohoto ustanovení tedy platí, že nepřipojení nebo odpojení od CZT je možno pouze za splnění těchto podmínek:

- ochránění ovzduší v místě přechodu na individuální zdroj (kvalita ovzduší a emisní situace);
- proveditelnost z technického hlediska;
- ekonomická přijatelnost.

Přechod na individuální zdroj tepla lze provést pouze za splnění těchto podmínek:

- aktuálně není a nikdy nebude překročen povolený emisní limit v místě realizace individuálního zdroje tepla;
- v případě, že do 5 let dojde k zániku možnosti připojení na CZT v dané lokalitě;
- pokud finanční analýza dokáže nepřijatelnost připojení k CZT při porovnání s jiným technologicky možným řešením. [49]

Požadavky z hlediska stavebního zákona

Podrobněji se dané problematice věnuje zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Z hlediska stavebního zákona je odpojení od CZT vždy zásahem do již dokončené stavby. Kdy na odpojení nelze hledět jako na izolovaný proces, ale do zásahu jako celku. Podle stavebního zákona může dojít k odpojení od CZT a přechodu na individuální zdroj tepla pouze na základě stavebního řízení a v souladu s územní energetickou koncepcí.

Stavební řízení ust. § 109 až § 115 stavebního zákona

Tyto paragrafy stavebního zákona popisují požadavky a průběh stavebního řízení při přechodu na individuální zdroj tepla a následné obdržení stavebního povolení. Z nich nejdůležitější jsou:

- projektová dokumentace,
- návrh alternativního způsobu vytápění,
- stanovisko Státní energetické inspekce,
- povolení od orgánu ochrany ovzduší,
- průkaz energetické náročnosti budov,
- stanovisko orgánu veřejného zdraví.

Již zmíněný fakt, že všechny zdroje tepla musí ve stavebním řízení podléhat podmínkám ochrany ovzduší není pravdivý, protože malé zdroje znečišťování ovzduší (pro tepelný výkon nižší než 0,2 MW) nejsou předmětem posuzování. Pro střední a velké zdroje musí vydat orgán ochrany ovzduší povolení formou rozhodnutí. [50], [51]

Dle § 8 odst. 1 vyhlášky č. 268/2009 Sb. tedy platí, že:

„Stavba musí být navržena a provedena tak, aby byla při respektování hospodárnosti vhodná pro určené využití a aby současně splnila základní požadavky, kterými jsou mimo jiné úspora energie a tepelná ochrana.“

Tato vyhláška se následně odkazuje na zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií a na vyhlášku č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. Pokud Průkaz energetické náročnosti prokáže, že zásobování dálkovým teplem je relevantní, pak je stavební řízení ukončeno a žádost na odpojení zamítnuta. [50]

Úkolem stavebního úřadu je tedy prozkoumat žádost a udělit stavební povolení z uvedených hledisek výše. Zkoumá zejména úplnost projektové dokumentace a zároveň vyjádření ostatních orgánů.

Provozování soustavy CZT s sebou nese rizika s odpojením uživatelů. Uživatelé často vnímají dodávky tepla z CZT jako omezení vlastního rozhodnutí o tom, jak budou získávat teplo. Dle této kapitoly je jasné, že proces odpojení není jednoduchá záležitost, i když k ní dochází stále častěji. [50]

Zdroje CZT jsou v dnešní době ve složité situaci, protože musí vynaložit snahu na udržení svých zákazníků tím, že prodávané teplo bude finančně přijatelné pro zákazníky. To je v dnešní době poměrně problematické, protože teplárny musí nakupovat drahé emisní povolenky, které jim umožňují produkovat emise (CO₂, popřípadě N₂O). Zároveň musí dojít k technologické modernizaci zdrojů a přechodu na jiná paliva, což je také finančně náročné pro samotný zdroj CZT. To vše souvisí s problematikou zdražování a odpojování uživatelů od CZT.

2. Modernizace teplárenských soustav

V posledních letech je jedním z hlavních problémů v oblasti výroby tepla zvyšování emisních požadavků. Životní prostředí a klima prochází z důvodu produkce emisí mnoha změnami. Proto se Evropská unie uchyluje k tzv. zelené politice a snaží se oblast energetiky a výroby tepla ovlivňovat čím dál více. Legislativa Evropské unie, která ovlivňuje teplárenské soustavy bude popsána v následující kapitole.

Tyto legislativní normy mají za následek dopad na teplárenské soustavy. Důsledkem těchto požadavků je zvyšování cen tepla a následné odpojování od soustav CZT, což může způsobit zánik těchto soustav. Proto musí docházet k modernizaci teplárenských zdrojů, aby se předešlo nesplnění emisních požadavků (například změnou palivového mixu).

Kromě legislativních předpisů se tato kapitola rovněž zabývá využitím spalování biomasy a odpadů při výrobě tepla. V poslední části budou zmíněny některé modernizační trendy, které se využívají v teplárenství ke zvýšení ekologizace.

2.1 Znečištění ovzduší

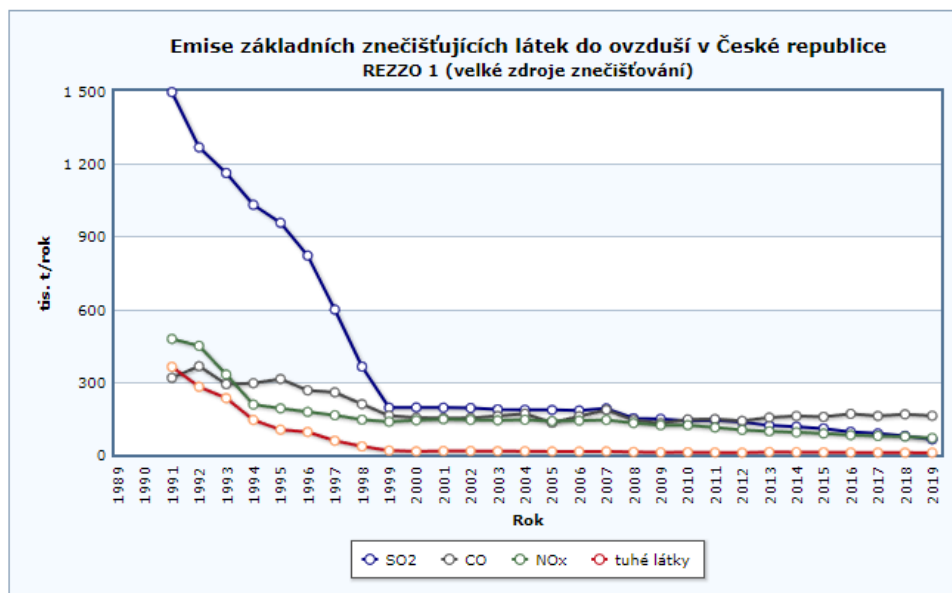
Vypouštění škodlivých látek do ovzduší – emisí a s tím spojené znečišťování ovzduší je v dnešní době výrazným problémem. I když v uplynulých letech došlo ke snížení vypouštění emisí a s tím spojené zlepšení kvality ovzduší – snížení imisí, tak stále mnoho producentů škodlivých látek nespĺňuje emisní limity a koncentrace znečišťujících látek v ovzduší je stále vysoká. Často jsou tyto imisní limity překračovány ve velkých městech, kde žije většina obyvatel. To má za následek zhoršení kvality vzduchu, který lidé dýchají a s tím spojené zdravotní problémy. Nejhorší vliv na lidské zdraví mají oxid dusičitý, rozptýlené jemné částice a přízemní ozon. Jelikož zhruba 90 % obyvatel evropských měst inhaluje vzduch, který má vyšší koncentraci škodlivých látek, než je ta povolená (na základě stanovených hodnot), tak snižování znečištění je a bude důležitým tématem. [52]

2.1.2 Základní pojmy v oblasti znečištění ovzduší

Stav ovzduší vychází z číselných hodnot několika hlavních ukazatelů, které stanoví množství škodlivých látek v atmosféře. Těmi hlavními jsou emise, imise, emisní limit a imisní limit.

Emise

Tento pojem definuje množství látek vypuštěných z daného zařízení. Koncentrace emisí se vyjadřuje v $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ nebo $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Hodnota vypuštěných látek v celém roce se udává v t/rok. V případě tepláren dochází k měření emisí přímo na komínu. Emise znečišťujících látek jsou důležitým aspektem, který ovlivňuje provoz a koncepci teplárenských soustav. Pro příklad teplárenských soustav, které jsou uváděny jako velké zdroje tepla, lze na obrázku 2.1 vidět vývoj emisí různých látek v průběhu minulých let. [53]



Obr. 2.1 - Množství emisí vypuštěných do ovzduší v minulých letech v ČR, převzato z [54]

Emisní limit

Tento pojem je definován jako nejvýše přípustné množství znečišťujících látek vnášených do ovzduší ze zdroje. Jednotlivé látky mají různé hodnoty emisních limitů dle škodlivosti. Emisní limit se stanoví v množství $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Jednotlivé hodnoty povolených emisních limitů jsou stanoveny ve vyhlášce č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. Tyto hodnoty jsou zároveň odlišeny dle druhu a výkonu zdroje. [55]

Imise

Látky, které jsou rozptýlené v ovzduší, tedy ty, které dýcháme, se nazývají imise. Jedná se o výsledné znečištění danou látkou v ovzduší, jenž vzniká na základě rozptylu emisí. Imise jsou v přímém kontaktu s člověkem a vyjadřuje koncentraci dané látky v ovzduší. Imise jsou silně ovlivňovány meteorologickými podmínkami, které ovlivňují rozptyl látek. Z pravidla platí, že čím déle se daná látka vyskytuje v ovzduší, tím nižší je její povolená hodnota. Platí také, že snížení emisí nemusí nutně znamenat snížení imisí a naopak. Aktuální imisní hodnoty monitoruje Český hydrometeorologický ústav. [56]

Imisní limit

Vyjadřuje nejvyšší povolenou hodnotu znečištění vyjádřenou jako hmotnost znečišťující látky na jednotku objemu $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ při normálních hodnotách tlaku a teploty za daný časový úsek (hodina, den, rok). Pro některé z imisních limitů existuje maximální počet překročení za časový interval, tedy pokud dojde nárazově k překročení imisního limitu, tak nenastává problém.

Konkrétní hodnoty imisních limitů lze najít v příloze č. 1 k zákonu o ochraně ovzduší. Základní hodnoty imisních limitů jsou uvedeny v obrázku 2.2. [57]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]		Hodnota imisního limitu [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO ₂	1 hodina	—	—	350 max. 24x za rok
	24 hodin	50 max. 3x za rok	75 max. 3x za rok	125 max. 3x za rok
NO ₂	1 hodina	100 max. 18x za rok	140 max. 18x za rok	200 max. 18x za rok
	kalendářní rok	26	32	40
CO	maximální denní 8h klouzavý průměr	5 000	7 000	10 000
benzen	kalendářní rok	2	3,5	5
PM ₁₀	24 hodin	25 max. 35x za rok	35 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok
	kalendářní rok	20	28	40
PM _{2,5}	kalendářní rok	12	17	25*
Pb	kalendářní rok	0,25	0,35	0,5
As	kalendářní rok	0,0024	0,0036	0,006
Cd	kalendářní rok	0,002	0,003	0,005
Ni	kalendářní rok	0,010	0,014	0,020
benzo[a]pyren	kalendářní rok	0,0004	0,0006	0,001
O ₃	maximální denní 8h klouzavý průměr	—	—	120 25x v průměru za 3 roky

Obr. 2.2 - Aktuální hodnoty imisních limitů v ČR, převzato z [58]

2.1.3 Látky způsobující znečištění ovzduší

Při procesu spalování fosilních paliv dochází k tvorbě látek, které mají negativní vliv na naše zdraví. Mezi hlavní látky, které se sledují jsou NO_x, SO₂, CO a částice PM_{10,2,5}. U všech látek musí docházet ke sledování jejich koncentrací v ovzduší.

Oxidy dusíku

Hlavními molekulami oxidu uhlíku, které jsou škodlivé pro lidský organismus jsou látky NO a NO₂. Kromě negativních vlivů na lidský organismus také zabraňují odrazu tepelné energie Slunce zpět do vesmíru, tedy jsou zároveň skleníkovými plyny. Na produkci emisí oxidů dusíku se podílí hlavně stacionární zdroje (teplárny, elektrárny) a doprava. Oxidy dusíku vznikají při spalování fosilních paliv, kdy dochází k oxidaci dusíku ve fosilním palivu a dusíku obsaženého v ovzduší, který je přítomen při hoření. Oxidy dusíku vznikají hlavně v uhelných teplárnách. V dnešní době existuje celá řada postupů, jak snížit vznik těchto látek v teplárnách. Hlavními způsoby jsou snížení spalovací teploty, snížení koncentrace O₂ a zkrácení doby, kdy reagující látky setrvávají v oblastech, které jsou příznivé pro vznik NO_x. [59], [60]

Oxid siřičitý

Emise oxidu siřičitého vznikají při spalování fosilních paliv, ve kterých je obsažena síra. Vzniklý oxid siřičitý proudí komínem do ovzduší, kde při působení vlhkosti a slunečního záření vzniká kyselina sírová a s ní spojené kyselé deště, které mají negativní vliv na životní prostředí. Pro člověka může vysoká koncentrace oxidu siřičitého vyvolat poškození dýchacích cest. V dnešní době dochází k odsiřování kouřových plynů při spalování paliv, a tedy k redukci jejich produkce. Hlavními metodami pro odsiřování jsou suché, polosuché a mokré. Dle měření nedošlo v roce 2019 k překročení imisních limitů oxidu siřičitého na žádném místě v ČR. [60], [61], [62]

Oxid uhelnatý

Vznik tohoto plynu je spojen s nedokonalým spalováním paliva. Při spalování nedojde ke stoprocentní přeměně uhlíku na CO₂, ale část se nespálí vůbec a část z něho se přemění na CO. Příčinou nedokonalého spalování je nedosažení vhodné kombinace paliva a okysličovačla a nedodržení vhodných teplot při probíhajících reakcích. Imisní limity, pro výskyt CO, jsou podstatně vyšší než pro ostatní látky, protože není tak škodlivý pro lidský organismus. [57]

Částice PM_{10,2,5}

Ke tvorbě těchto tuhých částic dochází z paliv, které obsahují popeloviny nebo saze u spalovacích procesů. Číslo za označením PM znamená maximální rozměr těchto částic v mikrometrech. K nejčastějšímu překročení imisních limitů těchto tuhých částic dochází pravidelně v Moravskoslezském kraji. Pro lidský organismus platí, že čím menší jsou tyto tuhé částice, tím nebezpečnější jsou pro lidský organismus, protože se lépe usazují v dýchacím ústrojí. [57], [63]

2.1.4 Vliv skleníkových plynů na ovzduší

V dnešní době je hlavním tématem, co se týče emisí, produkce skleníkových plynů (zejména CO₂, dále NO) a s ním spojená změna klimatu. Hlavní hnací silou je tvorba skleníkových plynů v oblasti energetiky, průmyslu a dopravy. Skleníkové plyny způsobují zesilování skleníkového efektu, kdy teplo projde atmosférou Země a následně se odrazí od zemské půdy, ale nedostane se zpět do vesmíru, protože je zachyceno v atmosféře skleníkovými plyny. To má za následek globální oteplování. V ČR je odhadováno, že při současných podmínkách dojde ke zvýšení průměrné teploty do roku 2030 o 1 °C. [5] Tyto skleníkové plyny jsou vytvářeny jak přirozenými procesy v přírodě, tak procesy člověka. Hlavním procesem, kdy dochází k tvorbě skleníkových plynů je spalování fosilních paliv obzvláště těch pevných. Dle vytvoření klimatických modelů bylo zjištěno, že udržování současných emisí CO₂ by vedlo k riziku zvýšení teploty, zvýšení hladin oceánů a změn podnebí. Proto v posledních letech dochází k pomalé snaze na přechod k ZP a biomase, u kterých je emisní faktor výrazně nižší, než u spalování hnědého uhlí. [64], [65]

V předešlém odstavci byl zmíněn pojem **emisní faktor paliv**. V rámci ekologie ovzduší se jedná o jeden z nejdůležitějších ukazatelů, který ovlivňuje produkci CO₂. Tuto veličinu lze definovat jako množství oxidu uhličitého (v tunách), který vznikne při spálení paliva o příkonu 1 MWh. Ke každému palivovému zdroji připadají rozdílné hodnoty emisního faktoru. Lze obecně konstatovat, že čím nižší je emisní faktor určitého palivového zdroje, tím je ekologičtější pro ovzduší z hlediska produkce CO₂. V tabulkách 1 a 2 lze vidět průměrné hodnoty emisních faktorů pro jednotlivé druhy paliv stanovené pro Evropskou unii.

Tabulka 1-Hodnoty emisních faktorů pro neobnovitelné zdroje, upraveno na základě [66]

Palivo		Standart (IPCC, 2006)		LCA do roku 2007	LCA 2008-2015
		t CO ₂ /MWh	t CO ₂ -eq/MWh	t CO ₂ -eq/MWh	t CO ₂ -eq/MWh
ZP		0,202	0,202	0,237	0,240
Zkapalněný plyn	LPG	0,227	0,227	-	0,281
	NGL	0,231	0,231	-	0,272
Topný olej		0,267	0,268	0,305	0,306
Nafta		0,267	0,268	0,305	0,306
Benzín		0,249	0,250	0,307	0,314
Hnědé uhlí		0,364	0,365	0,375	0,375
Černé uhlí	Antracit	0,354	0,356	0,393	0,370
	Jiné bituminózní uhlí	0,341	0,342	0,380	0,358
	Sub-bituminózní	0,346	0,348	0,385	0,365
Další neobnovitelné zdroje	Rašelina	0,382	0,383	0,392	0,390
	Komunální odpad (bez složek biomasy)	0,330	0,337	0,174	0,295

Tabulka 2-Hodnoty emisních faktorů pro obnovitelné zdroje, upraveno na základě [66]

Palivo	Standart (IPCC,2006)		LCA do roku 2007	LCA 2008-2015
	tCO ₂ /MWh	tCO ₂ -eq/MWh	t CO ₂ -eq/MWh	T CO ₂ -eq/MWh
Bioplyn	0	0,001	0,207	0,207
Bionafta	0	0,001	0,156	0,156
Dřevo (odpady dřeva)	0	0,007	0,013	0,017
Komunální odpad (s podílem biomasy)	0	0,007	0,106	0,106

Z tabulky lze vidět, že při spalování hnědého i černého uhlí se vyprodukuje necelý dvojnásobek emisí CO₂ oproti ZP. Z tohoto důvodu bude přechod na ZP mezifází v přechodu k uhlíkové neutralitě, protože oproti biomase je v dnešní době využitelnější z technologického hlediska tepelných zdrojů i dostupnosti daného paliva. [67]

2.2 Politika ochrany klimatu na světové, evropské a národní úrovni

Z důvodu klimatických změn byly na světové i evropské úrovni přijaty určité plány, které mají regulovat výrobu emisí CO₂ a jednotlivé státy by se měly těmito plány řídit. Nejvýznamnějšími kroky pro mezinárodní ochranu klimatu bylo přijetí Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu,

Kjótského protokolu, Pařížské dohody. V rámci Evropské unie byl v roce 2019 představen Green Deal, jehož cílem je přechod celé Evropy k uhlíkové neutralitě do roku 2050.

2.2.1 Mezinárodní politika ochrany klimatu

Rámcová úmluva OSN o změně klimatu byla přijata na Konferenci OSN o životním prostředí a rozvoji v roce 1992. Tato úmluva obsahuje možná řešení problematiky v rámci klimatu. Hlavními tématy je snižování emisních plynů a vypořádání se s negativními dopady na změnu klimatu. Součástí tohoto dokumentu je i strategický plán pro technologickou podporu rozvojových zemí. ČR je signatářem tohoto dokumentu. Jedná se o první mezinárodní dokument, který se zaměřil na problematiku emisí skleníkových plynů a zhoršujícího se klimatu. Tato úmluva je založena na čtyřech základních principech:

- ochrana klimatu pro současné i budoucí generace;
- nejvyšší zodpovědnost za rostoucí produkci skleníkových plynů nesou vyspělé státy, jejichž povinností je poskytnout pomoc rozvojovým zemím;
- potřeba chránit ty části planety, které jsou v rámci skleníkových plynů nejzranitelnější;
- neodkládat řešení problému v tématické produkce skleníkových plynů. [68]

Navazujícím dokumentem na tuto úmluvu je **Kjótský protokol**, který vytyčil určité navazující požadavky na státy, které se k úmluvě podepsaly. Tento dokument byl přijat v roce 1997. Země, kterých se tento protokol týkal byly zavázány, že mezi lety 2008-2012 dojde ke snížení emisí skleníkových plynů alespoň o 5,2 % ve srovnání s rokem 1990. V prosinci 2012 byl schválen dodatek, kdy se členové Evropské unie zavázali k snížení emisí skleníkových plynů o 20 % vůči roku 1990. Toto období mělo probíhat od roku 2013-2020 a k požadavku 20 % emisí skleníkových plynů se kromě členů Evropské unie připojila pouze část signatářů původního Kjótského protokolu. Bylo odhadnuto, že do roku 2020 by mohlo dojít k celosvětovému snížení emisí skleníkových plynů o 15 %.

Dokument navazující na Kjótský protokol se nazývá **Pařížská dohoda**, která byla přijata stranami Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu v roce 2015. Tato dohoda si vytyčila několik základních cílů:

- formulace cílů ochrany klimatu, kdy nesmí dojít ke zvýšení průměrné globální teploty o 2 °C v porovnání s obdobím před průmyslovou revolucí a usilovat, aby se teplota udržela pod zvýšením o 1,5 °C;
- povinnost rozvinutých, ale i rozvojových států si stanovit příspěvky k dosažení cílů dohody.

Aby Evropská unie šla příkladem, tak si stanovila v rámci Pařížské dohody cíl do roku 2030 snížit podíl emisí skleníkových plynů o 40 % ve srovnání s rokem 1990. snížit spotřebu energie a tepla o 27 %. [69], [70]

2.2.2. Evropská politika ochrany klimatu

Nad rámec mezinárodních úmluv si Evropská unie vytyčila určité cíle v rámci politiky životního prostředí do roku 2030 a 2050. Jednou z hlavních dohod, ke které se členské státy Evropská unie zavázaly je **Green Deal (Zelená dohoda)**. K dosažení cílů Green Dealu se Evropská unie zároveň vydala politikou ETS (Evropský systém pro obchodování s emisemi). Obchodování s emisními povolenkami funguje jako nástroj motivující ke snížení tvorby emisí skleníkových plynů.

Green Deal (Zelená dohoda pro Evropu) a Fit for 55

Dle Evropské unie činí změna klimatu a nadměrné zhoršování životního prostředí hrozbu pro obyvatele Evropy i na celém světě. Hlavním cílem této dohody je učinit evropské hospodářství udržitelné s tím cílem, že dojde k přeměně výzev v oblasti klimatu a životního prostředí, tedy přechod k uhlíkové neutralitě (tj. rovnováha mezi emisemi uhlíku a jeho pohlcováním z atmosféry do úložišť uhlíku) do roku 2050. Zelená dohoda se vztahuje na oblast energetiky, dopravy, zemědělství, atd. Součástí této dohody je také střednědobý plán do roku 2030, který se nazývá Fit for 55.

Balíček změn Fit for 55 byl připraven na základě souhlasu Evropského parlamentu a členských států Evropské unie. Hlavním cílem tohoto balíčku je do roku 2030 snížit emise skleníkových plynů jako celku alespoň o 55 % oproti roku 1990. Některé členské státy mají dokonce vlastní cíle, které jsou ještě výrazně vyšší než hranice 55 %. Vycházíme-li z Pařížské dohody, je hranice 55 % emisí skleníkových plynů absolutním minimem ke splnění nepřekročení hranice zvýšení průměrné globální teploty o 1,5 °C do konce století. I když náklady na přechod k modernějším technologiím a upuštění od využití fosilních paliv budou ekonomicky velice náročné (odhaduje se, že k dosažení cílů do roku 2030 bude potřeba až 260 miliard EUR) [71], tak tyto náklady budou výrazně nižší, než náklady, které by celou Evropu stálo zvýšení průměrné teploty o několik desetín, pokud by Evropská unie pouze nečinně přihlížela k produkci skleníkových plynů.

Pro energetiku ČR bude potřeba výrazná finanční pomoc od Evropské unie, protože ČR je závislá na výrobě energie a tepla z uhelných zdrojů. Úkolem těchto dotací má být přechod na nízkouhlíkové technologie a zlepšit ty současné. Všechny členské státy, včetně ČR mají mít možnost čerpat z evropských financí poté, co představi reálný a vyhovující plán do roku 2030. Úkolem států je určit co nejvíce postižené oblasti, které následně budou potřebovat investice. V rámci ČR se očekává výrazný přísun dotací pro regiony Ústecký, Moravskoslezský a Karlovarský. [6]

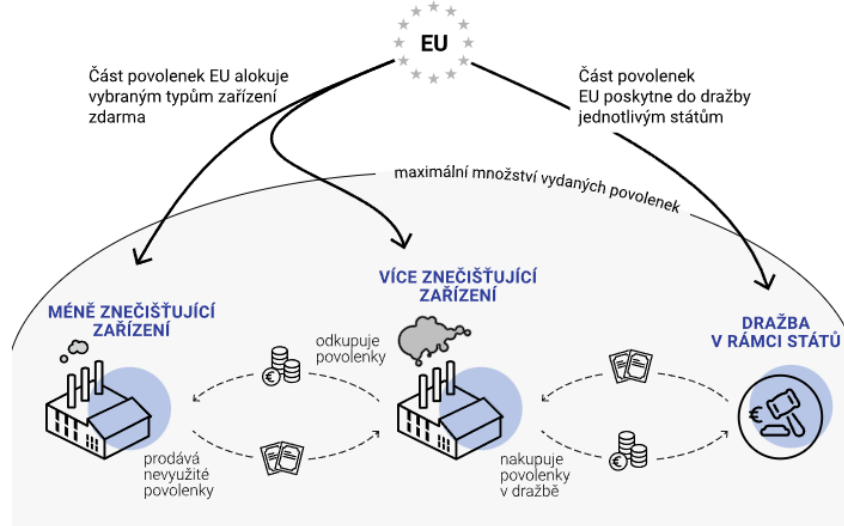
Jedním z dalších dokumentů, který ovlivňuje současný stav teplárenství je dokument **Čistá energie pro všechny Evropany**. Podstatnou částí tohoto dokumentu je část obsahující 4 směrnice, které předepisují požadavky členských států na podílu OZE při výrobě elektrické energie a tepla. Tímto dokumentem se legislativně stanovil závazný cíl pro jednotlivé státy, ve kterém je stanovena hodnota podílu OZE v energetickém sektoru. Dle směrnic mají členské státy podmínku, aby kolektivně využívali na celkové výrobě energií z 32 % OZE. Jelikož se jedná o hodnotu kolektivní a nejedná se o hodnotu jednotlivých členských států, pak každý členský stát navrhl optimální hodnotu. ČR se zapřísáhla dosažením hodnoty 20,8 % využití OZE na celkové výrobě energií. [72]

Dokumenty BREF a BAT

Hlavním cílem tohoto dokumentu je stanovit nejlepší dostupné techniky ke zvýšení energetické účinnosti a snížení emisí z průmyslových činností v zemích Evropské unie. Součástí každého dokumentu BREF (Reference document on Best Available Techniques) je faktická technická a ekonomická informace pro dosažení těchto cílů BAT (Best Available Techniques). Tyto dokumenty jsou využívány orgány, které schvalují činnost zařízení. Po dokumentech BREF je požadováno, aby každých osm let byly aktualizovány informace v nich uvedené. Tyto dokumenty vznikají na základě výměny informací mezi státy, které následně zpracovává Evropský úřad pro IPCC. Podrobnější rozbor dokumentů BAT a BREF bude uveden v kapitole 2.4.2 v rámci zmínění možností, díky kterým lze dosáhnout vyšší energetické účinnosti. [73]

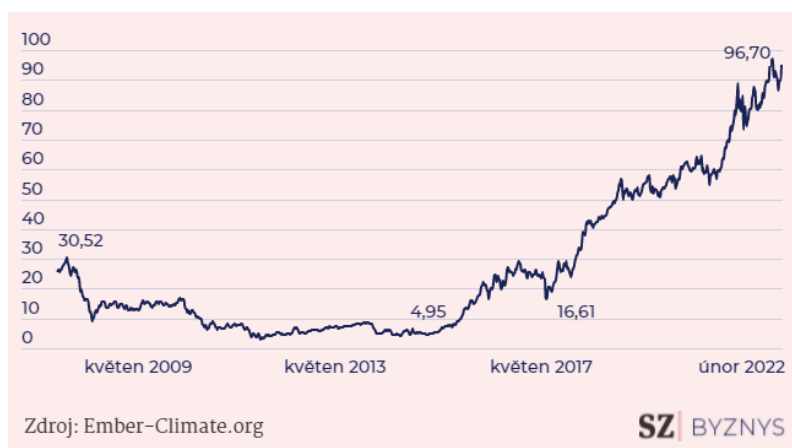
2.2.2.1 Evropský systém pro obchodování s emisemi (ETS)

Emisní povolenky jsou jedním z hlavních nástrojů, díky kterému Evropská unie reguluje tvorbu skleníkových plynů v Evropě. Principem tohoto systému je, že elektrárny a teplárny disponují určitým počtem emisních povolenek, kdy jedna emisní povolenka umožňuje vypustit jednu tunu emisí CO₂. Evropská unie vydává každý rok určité množství emisních povolenek. Během let se množství emisních povolenek vypuštěných do oběhu neustále snižuje, což odpovídá plánu Evropské unie k dosažení uhlíkové neutrality. Obrázek 2.3 vystihuje, jak funguje rozdělování a následný obchod s emisními povolenkami. [74]



Obr. 2.3 - Princip distribuce emisních povolenek, převzato z [74]

Teplárny, elektrárny a další provozovny (s příkonem nad 20 MW) jsou zapojené do systému emisních povolenek a část povolenek obdrží zdarma. Pokud tvorba emisí daného zdroje převažuje množství obdržených povolenek, jsou tyto zdroje nuceny získat emisní povolenky v rámci dražby nebo nákupem od jiného podniku. V letech 2013-2020 bylo zhruba 43 % emisních povolenek přiděleno zdarma a 57 % vydraženo. Prodej emisních povolenek je povolen i v rámci jednotlivých států, které jsou zapojeny do systému ETS. Pokud produkované emise převyšují množství, které jim povolují emisní povolenky, jsou tyto podniky donuceny zaplatit pokutu 100 EUR za tunu nadměrných emisí a zároveň si doplatit emisní povolenky, kterými nedisponovaly. Hlavní otázkou pro zdroje tepla a energie je, zda se jim vyplatí investovat do většího množství emisních povolenek nebo investovat do modernizace technologií. Vývoj cen emisních povolenek v minulých letech lze vidět v obrázku 2.4. [74]



Obr. 2.4 - Vývoj cen emisních povolenek, převzato z [75]

Z grafu lze vidět, že na nejvyšší cenu se emisní povolenky dostaly v únoru 2022, kdy cena jedné povolenky činila 96,7 EUR. Jedním z důvodů rostoucí ceny emisních povolenek je snižující se množství povolenek vypuštěných do oběhu z důvodu plánů Evropské unie o uhlíkové neutralitě. Od roku 2013 bylo každým rokem snižováno množství vypuštěných emisních povolenek o zhruba 38 milionů kusů. Do budoucna bude tento počet ještě nižší, protože v roce 2018 došlo rozhodnutím Evropského parlamentu a Rady k reformaci obchodu s emisními povolenkami k naplnění ještě přísnějších cílů z tohoto roku, o kterých již byla řeč. [74],[67]

2.2.2.2 Modernizační fond Evropské unie

Modernizační fond byl poprvé představen v roce 2018, kdy byl přidán do směrnice o obchodování s emisními povolenkami (směrnice č. 2003/87/ES). Tento fond je určen výhradně pro členské země Evropské unie, které byly v historii součástí Východního bloku z důvodu nižšího podílu HDP. Cílem tohoto fondu je podpořit inicializaci investic do modernizace soustav výroby elektřiny a tepla a zvýšení jejich účinnosti. Pro dotaci tohoto fondu se využívají 2 % ze zisku z prodeje emisních povolenek pro období 2021-2030.

Hlavními cíli modernizačního fondu je dotace v rámci:

- modernizace energetických soustav a sítí dálkového vytápění;
- zvýšení energetické účinnosti;
- výroba elektřiny a tepla z OZE.

Dotace z modernizačního fondu výrazně pomohou teplárenství. Program pro modernizaci soustav zásobování tepelnou energií, který je součástí Modernizačního fondu se nazývá HEAT. Nejvyšší množství investic se odhaduje v rámci rozvoje zdrojů KVET, kdy odhadem bude využito 50-60 mld. Kč mezi lety 2021-2030. [76]

2.2.3 Politika ochrany klimatu v ČR

Politika ochrany klimatu v ČR nahrazuje již dříve vydaný **Národní program na zmírnění dopadů změny klimatu v ČR**. Tento dokument pochází z roku 2017 a je oficiálním zdrojem Ministerstva životního prostředí a týká se prakticky všech odvětví průmyslu. Zaměřuje se na splnění cílů v oblasti ochrany klimatu na takové úrovni, aby splnila požadavky na splnění cílů snížení emisí skleníkových plynů vyplývajících z mezinárodních dohod (Kjótský protokol, Pařížská dohoda, Green Deal, Fit for 55). Politický plán ČR v oblasti ochrany klimatu je stanoven od roku 2017 do roku 2050. Účelem politiky je navrhnout účinná a efektivní opatření, které by směřovaly k přechodu na nízkouhlíkovou ekonomiku do roku 2050.

Hlavními cíli této politiky je:

- snížit emise ČR o 44 Mt CO₂ do roku 2030 oproti roku 2005;
- směřovat k vypouštění 70 Mt CO₂ k roku 2040;
- směřovat k vypouštění 39 Mt CO₂ k roku 2050.

Tyto cíle reflektují požadavky Evropské unie, kdy k roku 2030 musí každý členský stát Evropské unie snížit produkci emisí skleníkových plynů oproti roku 1990 o 55 % a následně 80-95 % snížení emisí do roku 2050 oproti roku 1990.

Přehled historického množství vypuštěných emisí CO₂ i budoucího plánu pro stanovené cíle týkající se ČR lze vidět v obrázku 2.5.

Rok	Energetické procesy	Průmyslové procesy (včetně rozpouštědel)	Zemědělství	Odpady	Celkové emise bez LULUCF
1990	156748	20368	16233	2673	196022
1995	124730	13785	10332	2908	151755
2000	120218	14086	9095	3058	146457
2005	120666	13493	8385	3297	145841
2010	112584	12572	7965	3612	136733
2012	107090	12551	8058	3767	131466
2015	104999	12831	8761	5191	131782
2020	92933	12344	8911	5370	119558
2025	81674	11815	9107	5420	108016
2030	78493	11411	9373	5385	104662

Obr. 2.5 - Přehled historického vývoje a plánu produkce emisí CO₂ (v tis. tun) v České republice, převzato z [5]

V rámci historického i budoucího vývoje lze vidět, že k nejvyššímu snížení produkce emisí dochází v energetickém sektoru. Dosáhnutí těchto hodnot lze realizovat zvýšením podílu nízkoemisních zdrojů a obnovitelných zdrojů. Zároveň dochází k snižování potřeby spotřeby tepla v domácnostech díky zvýšení energetické účinnosti v domácnostech.

Co se týče cílů do roku 2050 v souladu s Plánem přechodu na konkurenceschopné nízkouhlíkové hospodářství EU do roku 2050, muselo by dojít v letech 2020-2030 a v následujících letech k výrazným strukturálním a technologickým změnám ve všech sektorech hospodářství. V rámci dosažení určitých stanovených cílů je vyžadováno, aby 60 % dodávek tepla pokrývaly zdroje KVET. [5]

2.3 Alternativní zdroje tepla využitelné v teplárenství

Jednou z možných náhrad za fosilní paliva se v současné době jeví spalování biomasy nebo odpadů. V rámci spalování biomasy lze hovořit o zdroji tepla s nulovým emisním faktorem, protože při růstu organismů (v tomto případě rostliny) dochází při procesu fotosyntézy k přeměně oxidu uhličitého na kyslík. Při spalování biomasy se tedy nejedná o oxid uhličitý, který se uchovává v atmosféře z důvodu přebytku (což nastává v případě spalování fosilních paliv). Spalování organické hmoty vyprodukuje zhruba stejné množství oxidu uhličitého, které využila při procesu fotosyntézy. Spalování odpadů nelze zařadit výhradně mezi nízkoemisní zdroje, protože záleží na typu spalovaného odpadu. Při spalování odpadu záleží, jestli je odpad fosilního původu, kdy dochází k produkci nevyužitého CO₂ nebo je složen z větší části z organického odpadu a jedná se tedy o již zmíněný koloběh oxidu uhličitého.

Cílem této kapitoly je stručně popsat tyto technologie z důvodu následného využití v praktické části.

2.3.1 Využití biomasy k účelům výroby tepla

2.3.1.1 Co je biomasa

Za biomasu lze považovat substanci biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady. Biomasa, která se využívá k výrobě elektrické energie a tepla, je získávána cíleně výrobou, nebo se jedná o využití odpadů z různých průmyslových odvětví. Proto lze dělit biomasu na **odpadní** a **záměrně pěstovanou**. Jedním z hlavních problémů biomasy je její podíl vlhkosti. Dle toho se následně odvíjí dělení procesů, za kterých je biomasa zpracována. Tyto procesy se dělí na **suché** (při těchto procesech je biomasa spalována přímo nebo zplyňována) a **mokrý** (při těchto procesech je z biomasy vytvářen bioplyn, který je následně spalován). Z důvodu koncepce práce bude tato část zaměřena pouze na biomasu využívanou při suchých procesech, která tvoří drtivou většinu paliv určenou k výrobě tepla.

V souvislosti s teplárenskými účely se většinou využívá biomasa využitelná v suchých procesech, tedy dřevní odpad, sláma a další zemědělské zbytky. Tento druh biomasy je dostupnější, protože nevyžaduje, tak složité chemicko-tepelné úpravy, oproti biomase využitě v mokřých procesech. Nejčastější formou uvolňování energie při výrobě energie a tepla je spalování daného zdroje. Výhřevnost tohoto paliva se pohybuje od 15-19 MJ/kg, čímž biomasa dosahuje podobných hodnot jako hnědé uhlí. Oproti ZP dosahuje pouze polovičních hodnot. [77]

Využití biomasy při výrobě tepla či elektrické energie představuje mnoho výhod oproti konvenčním druhům paliv. Hlavní výhody využití biomasy jsou:

- lokální dostupnost biomasy – při porovnání se ZP není biomasa dopravována plynovody;
- obnovitelný zdroj energie – do značné míry, pokud spotřeba silně nepřevažuje produkci;
- nižší cena paliva;
- vysoká účinnost – pokud je řeč o využití biomasy při výrobě tepla.

Na druhou stranu využití biomasy představuje i určité nevýhody oproti současně využívaným palivům. Z nich ty nejdůležitější jsou:

- potřeba technologické úpravy biomasy – v určitých případech je potřeba pouze mechanická a tepelná úprava (výroba pelet), oproti tomu při zpracování biomasy s vysokým podílem vlhkosti (keřda, hnůj) je potřeba využití technologie, při které proběhnou náležitě chemické chody k přeměně na bioplyn;
- závislost ceny na svozových vzdálenostech;
- nižší účinnost při výrobě elektrické energie – spalováním biomasy nelze dosáhnout teplot jako při spalování ZP, a proto tepelný cyklus (nejčastěji u biomasy ORC) není tak efektivní, jako klasický RC cyklus nebo Braytonův cyklus;
- vliv na životní prostředí (pěstování). [77], [78]

Při zpracování suché biomasy se využívají termochemické procesy. Při těchto procesech dochází k rozkladu uhlíku za vysokých teplot. Hlavním rozdílem těchto procesů je množství přítomného vzduchu v procesu samotném.

Základními procesy jsou:

- spalování,
- zplyňování,
- pyrolýza.

Z důvodu obsáhlosti tematiky bude v bakalářské práci rozebráno pouze přímé spalování pevné biomasy, protože v rámci výroby tepla se jedná o nejefektivnější způsob, se kterým bude řešena i praktická část bakalářské práce. [79]

2.3.1.2 Přímé spalování biomasy

Jedná se o nejstarší a zároveň nejčastější proces zpracování biomasy. Většina lidí si pod procesem spalování představí poměrně jednoduchý proces, který zná z domova. Pravdou ovšem je, že pokud má být spalování tuhé biomasy ekologické a zároveň ekonomické, tak se jedná o náročný proces, při kterém je potřeba provedení určitých chemickotermických reakcí, které musí být přesně provedeny. Při tomto procesu dochází k zisku energie ve formě tepla. Proces spalování biomasy se dělí na pět fází:

1. sušení – odstranění vlhkosti paliva a vypaření vody;
2. pyrolýza – tepelný rozklad, kdy po dosažení teploty zápalu, za přítomnosti kyslíku (velice malé, protože proces pyrolýzy to vyžaduje), se materiál rozloží na hořlavé plyny;
3. zapalování hořlaviny – k tomuto jevu dochází za přítomnosti primárního vzduchu;
4. spalování (hoření) plynné složky – spalování plynných složek zvyšuje teplotu spalin plynu, dochází k přívodu sekundárního vzduchu;
5. spalování pevných složek – konec děje, kdy dohořívají pevné části uhlíku na roštu a vzniká oxid uhličitý CO_2 , k tomuto procesu je zároveň přiveden terciální vzduch. [79]

Jedním z hlavních faktorů, který rozhoduje o správném procesu spalování je ideální přísun vzduchu a dostatečná teplota spalování. Pokud není proces ideálně technologicky nastaven, pak výsledkem spalování nebude ekologický proces. Za této situace budou do ovzduší vypouštěny těžké látky a budou vznikat saze. Teplárenské společnosti většinou využívají počítačem řízené kotle, které si dané parametry dokážou efektivně nastavit, a proto je tento problém spíše přítomný v domácnostech, kdy lidé spalují dřevo či brikety v kotli. [78], [80]

Hlavním zdrojem spalitelné biomasy v ČR je odpad z lesního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu. Při těžbě dřeva tvoří odpady zhruba 30 % dřevní hmoty. Tento odpad je následně zpracován do:

- dřevní štěpky – jedná se o nejjednodušší typ zpracování biomasy, dosahuje poměrně vysokých vlhkostí, a proto vyžaduje sušení;
- dřevní brikety – dosahují vysoké výhřevnosti jako kusové dřevo, ale dosahuje vysokých cen kvůli výrobním nákladům;
- dřevní pelety – disponují nejkomfortnějším způsobem úpravy biomasy, díky které se sníží vlhkost a zvýší výhřevnost paliva. [81]

Podoba těchto variant zpracování dřevního odpadu je vyobrazena na obrázku 2.6.



Obr. 2.6 - Dřevní brikety a pelety, převzato z [82]

2.3.1.3 Zařízení pro spalování tuhé biomasy

V předešlé kapitole bylo zmíněno, že proces spalování biomasy je poměrně náročný z technologického hlediska. V praxi jsou nejčastěji integrovány do soustavy CZT kotle **roštové** na biomasu. Kromě klasického roštového kotle se využívají i kotle fluidní a práškové. Ty ovšem nejsou tak časté ve srovnání s roštovým kotlem. Tyto druhy kotlů byly popsány v kapitole 1.1.1.

2.3.2 Využití odpadů k účelu výroby tepla

Druhou možnou alternativou náhrady fosilních paliv je využití spalování odpadů k výrobě tepla. Nejčastěji se uvažuje využití odpadů ze zemědělské, průmyslové a energetické výroby, obalové materiály a především směsný komunální odpad (SKO). Dle zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, lze odpad definovat jako „každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit“. Politika každé země závisí na způsobu nakládání s odpady. Způsobů nakládání s odpady existuje celá řada. V roce 2008 byla Evropskou Unií schválena rámcová směrnice o odpadech, která definuje hierarchii nakládání s odpady. Tuto hierarchii popisuje obrázek 2.7. [83]



Obr. 2.7 - Hierarchie odpadu, převzato z [84]

V rámci tématu bakalářské práce bude tato kapitola zaměřena pouze na energetické využití odpadů, kdy bude popsána technologie a proces spalování odpadů. ČR má silné rezervy využití

odpadů k energetickým účelům, protože podíl využití směsného komunálního odpadu v energetice se pohybuje mezi 10–12 %. Oproti využití recyklace, kdy v roce 2019 bylo materiálově využito 41 % SKO, je stále energetické využití odpadů okrajovou záležitostí. Spalování odpadů disponuje celou řadou výhod, ale i nevýhod. [85], [86]

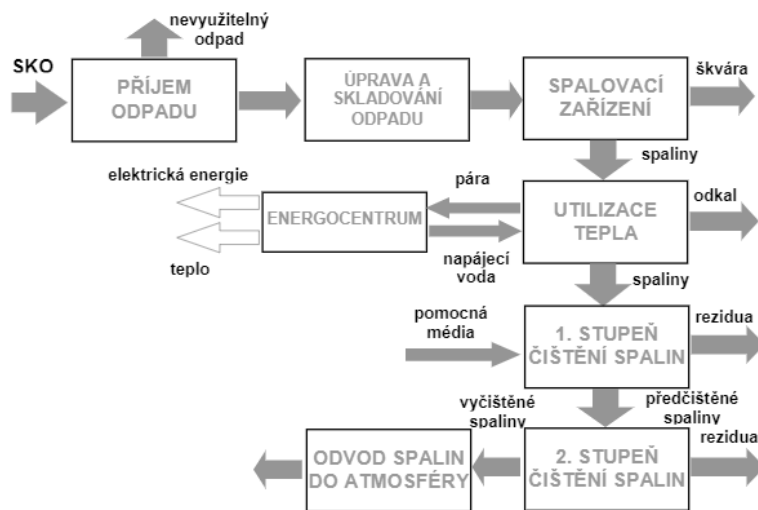
Výhody spalování odpadů:

- využití uvolněné energie spalování k výrobě tepla a elektrické energie;
- úspora primárních neobnovitelných zdrojů;
- redukce hmotnosti odpadu na původních 25 %;
- prodloužení životnosti skládek (snížení objemu odpadu až o 90 %);
- poměrně vysoká výhřevnost (od 7,5 do 10,5 MJ/kg). [83]

Negativa spalování odpadů:

- produkce škodlivých látek, přísné emisní limity a s tím spojené vysoké investiční náklady zařízení energetického využití odpadů (ZEVO);
- svoz, skladování a manipulace s odpady – v letních měsících je v okolí spaloven zapáchající vzduch. [83]

Hlavním místem, kde dochází ke spalování odpadu k výrobě elektrické energie a tepla, je zdroj ZEVO. V současné době existují na území ČR čtyři spalovny odpadů. Tyto zařízení ZEVO dosahují různých parametrů. Jedním z hlavních parametrů celého ZEVO je jeho kapacita. Ta vyjadřuje množství odpadu, které je spalovna schopna zpracovat za rok. Celý proces spalování odpadů představuje poměrně složitý proces z důvodů legislativních nároků. Celý proces ZEVO lze charakterizovat schématem uvedeným v obrázku 2.8.



Obr. 2.8 - Schéma spalovny odpadů, převzato z [87]

První fází celého procesu je samotný příjem odpadu, kdy dochází ke zvážení a zhodnocení složení odpadů. Poté, co je odpad zaregistrován, dochází k uložení odpadu do bunkru, kde je podle potřeb drcen a následně přemístěn za pomoci polypového drapáku do zásobní části bunkru. Odpad s vhodnými parametry se z násypky dávkuje za využití podavače do spalovací komory na rošt kotle (spalování na roštu je nejvyužívanější).

Proces spalování probíhá za vícestupňového přívodu spalovacího vzduchu. Proces spalování odpadů prochází fázemi sušení – pyrolýzy – zplyňování – spalování. Spalovací komora musí být uzpůsobena tomu, aby splňovala legislativní nároky, které předepisují dosažení 850 °C za 2 sekundy zdržné doby spalin. Vedlejším produktem spalování odpadů je škvára, která je

odváděna přes vodní uzávěr a dopravována do kontejnerů. Vzniklé spaliny následně proudí do parního kotle, kde dochází ke vzniku páry. [87], [88] Parametry páry jsou výrazně odlišné, než u klasických teplárenských zařízení, protože při spalování odpadů dochází ke vzniku HCl. Přítomnost HCl ve spalinách je výrazným problémem pro teplosměnnou plochu, protože dochází k tzv. chlórové korozi. Teplota přehřáté páry je proto výrazně omezena (dosahuje teploty okolo 400 °C). Z tohoto důvodu je u spaloven odpadu výrazně efektivnější výroba tepla než elektrické energie, u které jsou důležité vysoké parametry přiváděné páry na turbínu. [89] U zařízení ZEVO se běžně využívá kondenzační odběrová turbína nebo protitlaká turbína. Princip kogenerace se řídí RC cyklem. Účinnost celého zařízení popisuje tzv. parametr R1. Aby se ZEVO nepovažovalo pouze za obyčejnou spalovnu bez energetického využití, musí jednotka ZEVO dosahovat účinnosti alespoň 0,65.

Dle rovnice:

$$R1 = \frac{Q_{prod} - (E_f + I_{imp})}{0,97 \cdot (E_w + E_f)} \cdot 100 [\%]$$

Kde příslušné symboly mají následující význam:

Q_{prod} -roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny [GJ/rok],

E_f -roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k tvorbě páry [GJ/rok],

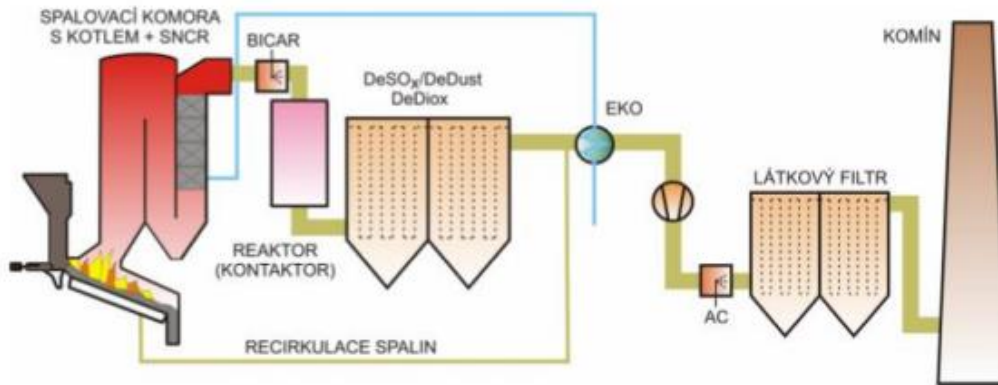
I_{imp} -roční dodaná energie [GJ/rok],

E_w -roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů [GJ/rok]. [90]

Možných technologických uspořádání ZEVO existuje celá řada. V rámci praktické části bude uvažována spalovna odpadů, která bude zjednodušeně popsána a funguje na principu zařízení vymyšleného firmou EVECO Brno, s.r.o dle zdrojů [87], [88].

Jednou z nejdůležitějších částí celého procesu je následné **čištění spalin**. Systém čištění spalin je často nejdražší částí celého zařízení, protože se jedná o složitý proces. Při spalování odpadu dochází ke vzniku celé řady vedlejších produktů. Mezi ty nejčastější patří oxidy dusíku (NO_x), oxidy síry (SO_x), tuhé znečišťující látky (TZL), celkový organický uhlík (TOC), těžké kovy, chlorovodík, fluorovodík, dioxiny (PCDD/F) a další. Po odevzdání tepla v kotli proudí spaliny do primárního čištění. Primární čištění spalin je založeno na procesu **suché sorpce spalin a katalytických filtrací PCDD/F**. Při suché sorpci se využívá chemické reakce sorbentu (nejčastěji $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3) s oxidy síry, díky které dochází k jejich odstranění. Při katalytické filtraci je využito speciálního filtračního materiálu, díky kterému dochází k zachycení TZL a reakci dioxinů za vzniku CO_2 , H_2O a HCl. Jednou z možných filtračních technologií je tzv. 4D filtrace. Tento filtrační systém se skládá z elementů dutého válce, které jsou vyrobeny z keramiky a potaženy katalyzátorem na bázi těžkých kovů. [87], [91]

Spaliny následně proudí do ekonomizéru. Zde předávají teplo, kterým stále disponují a zároveň jsou ochlazovány na teplotu vhodnou sekundárnímu čištění spalin. Aby sekundární čištění probíhalo optimálně musí být teplota spalin zhruba 160 C°. Podstatou sekundárního čištění spalin je injektáž směsi práškového aktivního uhlí. Díky aplikaci tohoto sorbentu dochází k odstranění těžkých kovů. K odloučení částic sorbentu ze spalin dochází na dalším přídatném látkovém filtru, který je zhotovený z filtrační tkaniny. Systém čištění spalin lze vidět na obrázku 2.9.



Obr. 2.9 - Systém čištění spalin ZEVO převzato z [88]

Po celém procesu čištění spalin jsou spaliny odvedeny do komína, kterým proudí do atmosféry. Výška komína je přizpůsobena hygienickým a urbanistickým účelům. [87]

Ekonomická stránka ZEVO

Z důvodu vysokých investičních nákladů na jednotku ZEVO je potřeba zhodnotit před výstavbou vhodnost zařízení a ekonomické udržitelnosti v dané lokalitě. Z pohledu investora je podstatná výsledná výnosnost objektu a návratnost po uběhnutí jeho životnosti. Ke zhodnocení finanční proveditelnosti lze využít celou řadu finančních kritérií. Těmi nejpoužívanějšími kritérii k zhodnocení projektů jsou kritéria **IRR (Internal Rate of Return)** – vnitřní výnosové procento a **NPV (Net Present Value)** – čistá současná hodnota.

Základní myšlenkou kritéria NPV je, že současná hodnota peněz je odlišná od té budoucí (inlace, atd.). K výpočtu NPV v současné chvíli se uvažují určité cash flows daného projektu v letech, kdy se očekávají zisky z počátečních investic. Tyto zisky se přepočítávají na hodnotu peněz v současné době a následně porovnávají s celkovými počátečními investicemi. Cílem každého investora je, aby výsledné NPV projektu nebylo záporné, protože to by znamenalo, že se investice do budoucna nevyplácí. [92]

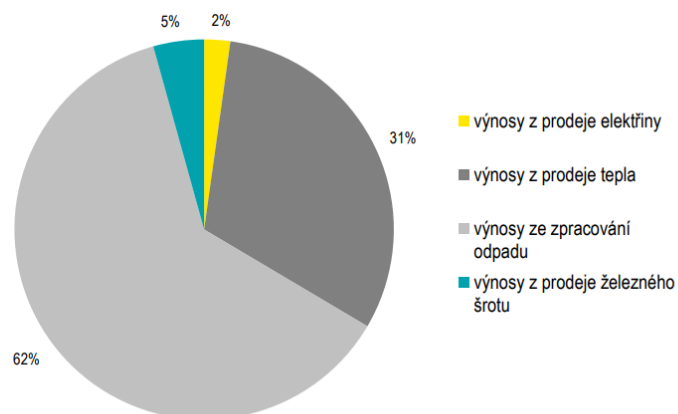
Druhé kritérium úzce souvisí s prvním kritériem. Požadovaná hodnota IRR závisí na typu investora. Princip výpočtu IRR je detailně popsán v [93]. Čím vyšší hodnota IRR je, tím je pro investora výhodnější daná investice. Hodnota IRR se zpravidla udává v procentech. [93]

Před aplikací těchto kritérií je třeba zmínit zisky, kterým ZEVO disponuje. Hlavními zisky celého zařízení jsou zisky z prodeje tepla, elektrické energie a zpracování odpadu.

Mezi hlavní faktory udržitelnosti celého zařízení patří:

- **Odbyt a cena vyrobeného tepla:** Nízká poptávka po teple znamená zvýšené maření tepla. Teoreticky je možné nadbytečné teplo využívat k výrobě elektrické energie, ale u toho je silně omezena účinnost z důvodu chlorové koroze. Z toho důvodu se jako jediná možná alternativa jeví zvýšení poplatku za zpracování odpadu, v případě, kdy se sníží poptávka po teple.
- **Dostupnost odpadu:** Tento problém nastává hlavně u zdrojů s vyšší kapacitou. Samotná přeprava velkého množství odpadu je poměrně nákladná, a proto je nutno stanovit cenu za zpracování odpadu takovou, aby byl dovozce ochoten vynaložit náklady na přepravu odpadu.

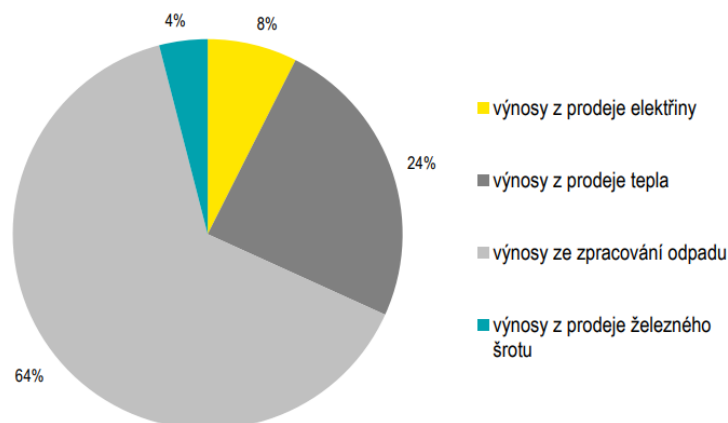
Podíl zisků zdroje ZEVO z jednotlivých aktivit se výrazně odlišují. Kapacita zdroje výrazně ovlivňuje podíl zisku z jednotlivých komodit. Dle obrázku 2.10 lze vidět podíl výnosů jednotlivých výnosů pro ZEVO o kapacitě 20 kt/rok.



Zdroj: technicko-ekonomické modely VUT v Brně

Obr. 2.10 - Koláčový graf podílu zisků pro ZEVO o kapacitě 20 kt/rok, převzato z [94]

Na předešlém a následujícím obrázku lze vidět, že pro zdroje ZEVO s kapacitou 20 kt/rok se výroba elektrické energie omezuje na minimální potřebnou hodnotu. Situaci pro větší zdroj lze vidět na obrázku 2.11. U zdrojů o kapacitě 200 kt/rok je výroba elektrické energie větší o 6 %. U zbylých komodit se výrazněji podíl zisku neliší. [94]



Zdroj: technicko-ekonomické modely VUT v Brně

Obr. 2.11 - Koláčový graf podílu zisků pro ZEVO o kapacitě 200 kt/rok, převzato z [94]

2.4 Investice v teplárenství

Z důvodu legislativních změn v oblasti politiky životního prostředí bude potřeba do roku 2030 provést transformaci teplárenství. Podstatou této změny bude v první řadě změna palivového mixu. Podpora a realizace těchto změn bude dotována z Modernizačního fondu, Plánu obnovy a evropských strukturálních fondů. Jelikož soustavy CZT hrají v současné době prim v rámci dodávek tepla, tak hlavním cílem je investice do těchto zdrojů tepla. [95]

Plán investic má tři hlavní body:

- zachování zdrojů CZT,
- modernizace zdrojů CZT,
- vytvoření nových zdrojů CZT.

Jedním z hlavních problémů při inovaci zdrojů CZT bude nedostatek času. Před legislativními změnami v roce 2019 se počítalo s využitím uhelných zdrojů do roku 2040, a proto se většina plánových projektů rekonstrukcí zdrojů CZT orientovalo na rozvod tepla, systémy řízení a regulace. Z tohoto důvodu bylo potřeba navrhnout nové projekty, které by počítaly s přechodem na jiný palivový mix, který je nepostradatelný k dosažení stanovených plánů k roku 2030. Zahájení významnějších rekonstrukcí v rámci vlastních zdrojů tepla se tedy očekává až mezi lety 2025-2030. Očekává se, že v období mezi lety 2025-2030 dojde k 70-80 % všech rekonstrukcí zdrojů a rozvodů tepla.

Pro odhad investičních nákladů jsou zdroje tepla rozděleny do dílčích skupin. Klíčovým parametrem, dle kterého se rozhoduje míra investic, je instalovaný tepelný výkon zdroje a současný typ využívaného paliva. Dle tohoto rozdělení se následně rozhoduje o možnosti změn pro zdroj tepla. Toto rozdělení není aplikováno na celý celek (teplárnu), ale na jednotlivé výrobní jednotky, které budou procházet rekonstrukcí. Hlavními kategoriemi jsou:

- menší zdroje do 50 MWt,
- střední zdroje 50-300 MWt,
- velké zdroje nad 300 MWt.

Jak již bylo zmíněno, tak bez dotačních fondů Evropské unie není možno provést rekonstrukce v rámci teplárenství. Evropská unie se proto rozhodla k vytvoření tzv. taxonomie udržitelných investic, který posuzuje, v jakém případě má smysl investovat peníze do modernizace teplárenského zdroje a zda bude splňovat environmentální cíle evropské politiky klimatu. Proto vznikl klasifikační systém, který je schopen rozhodnout, zda je daná hospodářská činnost environmentálně udržitelná. Obecně lze konstatovat, že aby investice měla smysl, musí zdroj tepla splňovat alespoň jednu z šesti hlavních kritérií, přičemž nesmí být rozporu s žádnou ze zbylých. V oblasti teplárenství jsou nejdůležitější dva body:

- Climate change mitigation – opatření na zmírňování změny klimatu (mitigace),
- Climate change adaptation – opatření pro adaptaci na změnu klimatu (adaptace).

Kdy v rámci mitigace i adaptace jsou stanoveny odlišné cíle toho, zda je investice označena za udržitelnou. Tyto cíle se odlišují pro využití různých zdrojů výroby tepla dle využitého paliva. Cíle pro jednotlivé zdroje v rámci mitigace jsou:

- kogenerace a výroba tepla ze ZP – kombinované měrné emise teplo/chlad a elektřina jsou menší než 100 g CO_{2e}/kWh s poklesem na 0 g CO_{2e}/kWh v roce 2050 (s tím předpokladem, že limit 100 g se bude redukovat každých 5 let);
- distribuce (dodávka) tepla a chladu – dodávka tepla a chladu je v souladu s taxonomií, pokud je splněna definice efektivní soustavy zásobování teplem (SZT) – 50 % z OZE nebo odpadů, 75 % z kogenerace nebo 50 % jejich kombinací;

- kogenerace a výroba tepla z biomasy, bioplynu a biopaliv – snížení emisí o více než 80 % v porovnání s fosilními palivy.

V rámci adaptace jde o to, aby zdroj tepla nezasahoval do splnění cíle mitigace. Hlavními cíli adaptace jsou:

- kogenerace z plynu a biomasy – limit 262 g CO₂/kWh jako regionální průměr;
- distribuce (dodávka) tepla a chladu – přímé emise skleníkových plynů jsou nižší nebo rovny 262 g CO₂/kWh.

Podle cíle modernizace zdroje se následně rozhodne, do jaké skupiny patří a jakým procentem je daná míra investice v souladu s předešlou kvalifikací. Možnosti modernizace zdrojů tepla, dle již zmíněného rozdělení podle instalovaného tepelného výkonu, budou rozebrány v následující kapitole. [96]

2.4.1 Změna palivového mixu

Změna palivového mixu počítá s přechodem z využití spalování na přechod ke spalování ZP, biomasy nebo využití technologie ZEVO. V minulé kapitole bylo zmíněno rozdělení o instalovaném výkonu teplárny, dle kterého byly modelovány investiční potřeby a možnost udržitelnosti zařízení. V rámci tohoto rozdělení se následně počítá s určitými modernizačními cíli. V některých případech bude docházet k modernizaci všech zdrojů tepla, ale naopak v jiných případech může docházet pouze k nahrazení některých jednotek. V jiném případě může docházet k výstavbě nového zařízení v již existující lokalitě a nebude docházet k rekonstrukci stávajícího zařízení. K odhadu potřebných investičních nákladů a plánovaných změn pro modernizaci teplárenství k roku 2030 bude využita studie Klimaticko-energetické investice v teplárenství 2014-2030 z Elektrotechnické fakulty ČVUT. [96]

Pro již zmíněné rozdělení byly vytvořeny plány toho, jakým směrem by mohla daná modernizace zdroje směřovat. Nejflexibilnější v rámci modernizací jsou zdroje do 50 MWt. Tyto zdroje jako jediné mohou počítat s využitím technologií ZEVO a spalování tuhých alternativních paliv (TAP), protože v případě vyššího instalovaného výkonu vzniká vyšší nárok na množství využitého paliva. S tím jsou spojeny vyšší ekonomické nároky, protože využívané palivo u těchto technologií je méně dostupné a svážení tohoto paliva je drahé. Předpokládané způsoby modernizace tepláren v kategorii pod 50 MWt jsou zmíněny v obrázku 2.12.

	Biomasa	Plyn	ZEVO	TAP
Modernizace - výtopna	X	X	-	-
Modernizace - kogenerace	X	X	-	-
Nový zdroj - výtopna	X	X	-	-
Nový zdroj - kogenerace	X	X	X	X

Obr. 2.12 - Způsoby modernizace tepláren v kategorii do 50 MWt, převzato z [96]

Další uvažovanou skupinou, pro které se uvažují jiné možnosti modernizace, jsou zdroje od 50 MWt – 300 MWt. U těchto zdrojů se uvažuje přechod na ZP a biomasu. Není zde možno přejít na technologie ZEVO nebo TAP z důvodu již zmíněných ekonomických důvodů. U těchto zdrojů tepla se navíc počítá pouze s hybridním využitím ZP a biomasy, ze stejných důvodů jako omezující využití odpadu.

Poslední skupinou jsou teplárny s instalovaným výkonem nad 300 MWt. U těchto zdrojů je prakticky možné počítat pouze s přechodem na ZP. V současné době nelze přejít na ekologičtější palivový mix, aby byl tento zdroj udržitelný. Z tohoto důvodu se ani neplánují investice do nových zdrojů tepla s tímto výkonem. [96]

2.4.1.1 Investiční náklady do změny palivého mixu

Investice, kterými se studie [96] zabývala se týkají výhradně změny samotného zdroje. V rámci studie je odhadováno, že zdroje do 50 MWt počítají s nejvyššími investiční náklady. U těchto zdrojů se odhaduje, že nejvyšší investiční náklady budou pro modernizaci nebo nový zdroj kogenerace, protože tyto zdroje jsou výhodné. U některých z těchto zdrojů zároveň nejsou vyžadovány žádné investice, protože nepřekračují instalovaný výkon o 20 MWt, a proto nespádají do systému ETS.

Změnu v rámci zdrojového řešení lze také uvažovat u zdrojů do 300 MWt, i když v omezené míře pouze pro biomasu a ZP, protože využití technologií ZEVO a TAP je v tomto rozmezí v současné době naprosto vyloučené.

Zasazení nového zdroje v rámci tepláren s výkonem nad 300 MWt bude spíše výjimečné, protože biomasa, ZEVO a TAP jsou ekonomicky neudržitelné. Jediné proveditelné východisko se jeví využití ZP. Z těchto důvodů se neplánuje stavět nová zařízení v této cenové kategorii, protože jsou nevhodná k současným požadavkům.

Na základě těchto informací byl sestaven ekonomický plán viz obrázek 2.13, který odhaduje celkové investiční náklady do sektoru teplárenství, bez kterých nebude možno dosáhnout klimatických cílů. Při uvažování celkových investičních nákladů se neuvažují zdroje s výkonem nad 300 MWt kvůli velikosti s ohledem na kategorizaci jednotlivých výrobních celků.

	do 50 MWt	50 - 300 MWt	CELKEM [mil Kč]
Náklady na nové KVET zdroje	43 459	13 745	57 204
Náklady na rekonstrukci KVET zdrojů	15 521	8 025	23 545
Náklady na nové výtopenské zdroje	4 711	1 527	6 238
Náklady na rekonstrukci výtopenských zdrojů	2 092	872	2 965
Náklady na rekonstrukce SZTE			6 220
Celkem modelové náklady			96 172

Obr. 2.13 - Výsledky modelování investičních nákladů na modernizaci teplárenství do roku 2030 v mil. Kč, převzato z [96]

Následně po vyhodnocení cen stavebních prací a technologie jsou očekávány mírně vyšší náklady. Po sumarizaci se očekává, že do sektoru teplárenství bude investováno do roku 2030 107,2 mld. Kč. Výsledná cena je očekávána v rámci konzervativního scénáře vývoje modernizace teplárenství. [96]

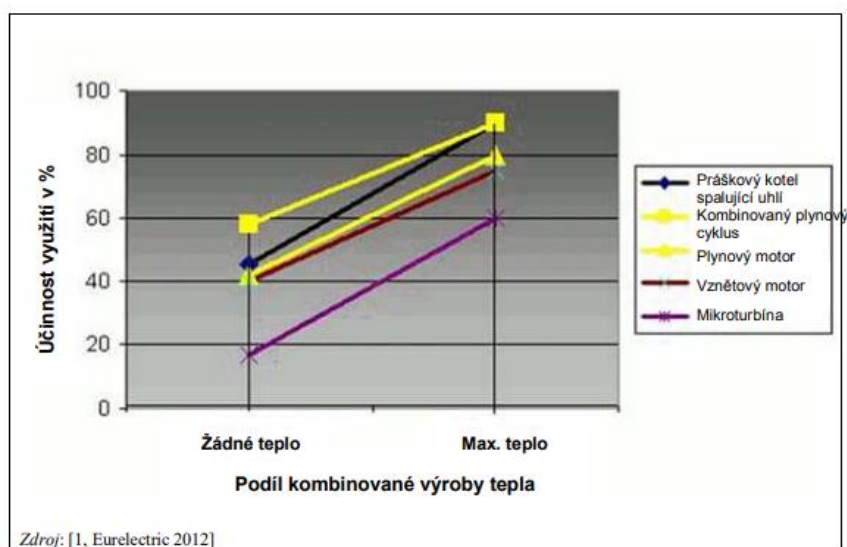
2.4.2 Možnosti modernizace teplárenských zdrojů

V kapitole 2.2.2 byly zmíněny dokumenty BREF jako nástroj k určení postupů k dosažení zvýšení energetické účinnosti a snížení emisí tepelných zdrojů. Zvyšování energetické účinnosti zdrojů jde ruku v ruce se snižováním emisí, protože dojde ke snížení množství spalovaného paliva. Díky již zmíněným investicím by mělo dojít k zvýšení účinnosti jednotlivých zdrojů. Vybrané možnosti se vztahují na větší zdroje o výkonu nad 50 MW.

První uvedenou možností v dokumentu BREF je využití **výměníku** k regeneraci tepla. Z turbíny je odvedena část tepla na ohřev napájecí vody, ze které vzniká nová pára. K tomuto

procesu dochází v mezistupni parních turbín. Využití dané technologie se odvíjí od cyklu, ve které je využito. Výsledkem je dosažení vyšší energetické účinnosti.

Druhou z uvedených možností je již zmíněná **kogenerace**. Výhody kogenerace už byly zmíněny v předešlých kapitolách, proto nebudou popisovány. V dokumentu BREF je uvedeno, že využitím kogenerace dochází k úspoře primární energie z paliv o 3 – 20 %. [97] V případě využití kogenerace za záměrem zvýšení energetické účinnosti je nutné, aby vyrobené teplo a elektrická energie měly své odbytiště (v letních měsících dochází k poklesu požadavku tepla, a proto se stává kogenerace méně účinná). V případě, kdy by teplo nebylo využito by značně klesala účinnost. To je vyobrazeno na obrázku 2.14.



Obr. 2.14 - Závislost účinnosti na vyrobeném teple, převzato z [97]

Lze vidět, že pokud nedochází k výrobě tepla, tak účinnost výrazně klesá, protože odváděné teplo z turbíny se považuje za zmařené. V tomto případě je v podstatě elektrina vyráběna separátně.

Dokument BREF udává, že tato technologie je vhodná do míst, kde je zajištěn stálý odběr tepla. Proto se tato technologie vyplácí do míst průmyslového odběru tepla nebo větších měst. Z technického hlediska je uvedeno, že na systém kogenerace mohou být všechna zařízení upravena.

Třetí zmíněnou možností ke zvýšení energetické účinnosti je **předehřev spalovacího vzduchu**. Té může být dosaženo recyklovaným teplem ze spalin. Toho lze docílit za pomoci výměníku. Využitím této technologie dojde ke snížení spotřeby paliva, tedy zvýšením energetické účinnosti.

Jednou z dalších možností zvýšení energetické účinnosti je využití **pokročilých materiálů**. Důvodem využití kvalitnějších materiálů je možnost přivedení páry s vyššími parametry na turbínu. Jedním z těchto materiálů by mohla být například ocel legovaná wolframem či slitiny na bázi niklu. Dle dokumentu BREF se tato modernizace týká nově budovaných zařízení. Daní za zvýšení energetické účinnosti je vysoká cena zmíněných materiálů. [98]

Kromě využití pokročilejších materiálů lze dosáhnout vyšší energetické účinnosti zařazením další **nízko tlakové turbíny** (provedení s dvěma hřídeli). Pára pro dodatečnou nízko tlakovou turbínu je přiváděna z hlavní turbíny. To má za následek zvýšení plochy turbíny. Použitím této

technologie lze zamezit ztrátám na výstupu z turbíny. Dle dokumentu BREF může zvýšit dodatečná nízkotlaká turbína výstupní výkon při maximálním zatížení až o 5 %. Jelikož se jedná o poměrně náročnou rekonstrukci, tak je toto doporučení omezeno množstvím poptávky či stávající životnosti zařízení.

Pátou možností, kterou uvádějí dokumenty BREF je **dvojitý přehřívání páry**. Tento proces znamená, že po expandování vzduchu na první turbíně je pára znovu ohřáta v přehříváku páry a poté pokračuje do nízkotlakého stupně turbíny. Cyklus dvojitého přehřívání je dále zdokonalen možností využívat ultra-nadkritického tlaku a teploty páry (tlak 250-300 bar a teplota od 580-600 °C). Počet stupňů přehřívání může být i více. Důvodem je, že je snadné dosáhnout vysokého tlaku páry, ale teplota je omezena. Tím pádem se teplota v podstatě zvyšuje nadvzákrát.

Další možností uvedenou v dokumentu BREF je využití **pokročilého řídicího systému**. Proces spalování je automatizován počítačem. To redukuje množství nespálených plynů a látek. Tím dojde ke zvýšení energetické účinnosti a redukcí vzniku plynů NO_x, CO. Počítač při tomto procesu zohledňuje:

- teplotu spalin,
- přebytek přiváděného vzduchu,
- teplotní profil,
- teplotu na výstupu ze spalovací komory,
- obsah O₂ ve spalinách,
- bilance NO_x a CO,
- přívod paliva,
- tlak páry v celém oběhu,
- poměr paliva a vzduchu na hořáku.

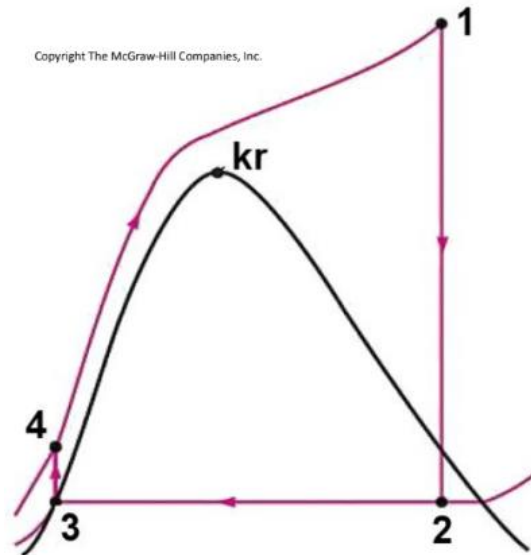
Technologicky je toto řešení spíše možné pro nové zdroje, protože stará zařízení mohou být omezena potřebou dodatečné modernizace řídicího nebo spalovacího systému.

Sedmou z řady technologických doporučení je využití **akumulace tepla**. K tomu se využívá přidáním akumulací nádrže do systému teplárny. Tato technologie je výhodná v případě, kdy výroba tepla nenachází odbyt (při večerních hodinách, kdy odbyt tepla stoupá, ale není výhodné snížit výkon teplárny z důvodu využití technologie). Akumulované teplo lze využít v ranních špičkách. Další výhodou je, že lze akumulovat i teplo z ostatních zdrojů. Například v Brně je to využito v případě, kdy Teplárna Červený mlýn přijímá teplo ze ZEVO-SAKO Brno, u kterého je výhodné nesnižovat výkon. [99]

Dokumenty BREF jako jednu z dalších možností uvádí zavedení dodatečného spalování v nadřazeném cyklu (**Topping cycle**). U této technologie dochází k využití horkých spalin z plynové turbíny jako spalovacího vzduchu. V kontextu stávajících uhelných spalovacích zařízení se tohoto efektu využívá přechodem z RC cyklu na kombinovaný Paroplynový cyklus, kdy je do stávajícího zařízení přidán zdroj pracující dle Braytonova cyklu. Tím vzniká účinnější kombinovaný cyklus, který byl již popsán. Dle BREF je využití technologie kombinovaného cyklu proveditelnější u nových konstrukcí.

V řadě devátou možností zvýšení energetické účinnosti je provoz s **nadkritickými parametry (220,6 bar, teplota 374 °C) a ultra-nadkritickými parametry páry (250-300 bar, teplota okolo 700 °C)**. To má za následek nejnižší možnou měrnou spotřebu paliva díky dosažení vyšších parametrů páry, která vstupují na turbínu. S modernizací využívaných materiálů je toto technologické doporučení obzvláště perspektivní. Kromě potřeby využití žáruvzdorných

materiálů je k dosažení tohoto stavu potřeba využít přehříváků páry a přehřívání páry mezi stupni. Dle dokumentu BREF využití nadkritického stavu páry znamená zvýšení čisté účinnosti cyklu od 30 do 45 %, což by odpovídalo snížení spotřeby uhlí o 16 %. Při využití této technologie u ostatních paliv (např. biomasy) bude tato hodnota nižší z důvodu technických překážek. Dle dokumentu BREF tato technologie najde uplatnění u zdrojů s vysokými výkony. Na obrázku 2.15 lze vidět průběh RC cyklu v T-s diagramu při nadkritickém stavu páry.



Obr. 2.15 - Kritický Rankinův-Clausiusův cyklus, převzato z [100]

Desátou možností zvýšení energetické účinnosti je využití **kondenzátoru spalin**. Spalinovým kondenzátorům se předehřívá vratná voda CZT před jejím hlavním ohřevem v parním kondenzátoru. Díky tomu dochází ke kondenzaci spalin, které jsou ochlazené až na 55 °C. Díky kondenzátoru lze vygenerovat zhruba dalších 20 % energie za omezení spotřeby paliva. Tato technologie je obzvláště výhodná v případě, kdy je vyžadována výroba nízkoteplotního tepla. Pokud dochází k ochlazení spalin pod rosný bod (55 °C) je důležité využít materiálů, které odolávají korozi. [97]

Další možností ekologizace soustavy CZT je **modernizace rozvodů tepla**. V rámci této technologické změny dochází k snížení množství spalovaného paliva, protože nedochází k tak výrazným ztrátám v rámci rozvodů tepla. V dřívější kapitole bylo zmíněno, že existují rozvody tepla, které jsou buď parovodní nebo horkovodní. V dřívějších letech bylo využití parovodů důležité z hlediska zásobování teplem pro průmyslové objekty. Tato parovodní potrubí v dnešních letech nesplňují požadavky na tepelné ztráty. I když u většiny z nich by byl výhodný přechod na horkovodní potrubí, nelze zcela přejít z parovodních potrubí na horkovodní, protože určité využití páry jako teponosného médium stále nachází. V současné době je celková délka parních potrubí v ČR 1358 km. [101] Hlavní nevýhodou těchto parovodů jsou příliš vysoké parametry přenosného média. Kvůli tomu dochází k vysokým tepelným ztrátám v procesu transportu teponosného média. [101], [102] [101]

Oproti tomu u horkovodních sítí nejsou tyto ztráty tak výrazné. Díky přechodu na horkovodní síť se ztráta tepla sníží zhruba o dvě třetiny. Celkově tak úspory činí okolo 6000 GJ tepla na kilometr potrubních sítí za rok. [101] Snížení tepelných ztrát jde ruku v ruce se snížením emisí, které teplárna produkuje. Při výměně parovodu za horkovod u uhelných tepláren lze dosáhnout snížení emisí CO₂ o 600 tun za rok. U plynových tepláren znamená přechod z parovodního na horkovodní potrubí úsporu zhruba 336 tun emisí CO₂ za rok.

Pokud by došlo k čistě teoretické úvaze, o kolik by se snížily tepelné ztráty, kdyby došlo k náhradě všech parních sítí, tak by došlo k úspoře okolo 1000 TJ za rok, což představuje 11,2 % množství tepla přenášeného parními sítěmi. Jedná se o čistě teoretickou úvahu, protože pouze 10 % parních sítí by se dalo rekonstruovat na horkovodní síť. Reálný je scénář, kdy by došlo pouze k úsporám 500 TJ tepla za rok.

Jak již bylo zmíněno, tak díky přechodu na horkovodní síť by došlo i k omezení produkce emisí. V případě, kdy by došlo ke kompletnímu vyřazení potrubních sítí by došlo ke snížení emisí CO₂ o 73 tisíc tun. Opět se jedná pouze o teoretickou úvahu. Čistě z praktického hlediska, kdy by se braly v úvahu pouze potrubní sítě, které lze reálně modernizovat na horkovodní by výsledná hodnota úspor emisí CO₂ činila 48 tisíc tun. [101]

3. Výpočtová část bakalářské práce (případová studie)

V rámci rešeršní části bakalářské práce bylo rozebráno, jako fungují soustavy CZT a co má v současné době vliv na výrobu tepla. Zároveň byla zaměřena na vliv legislativních předpisů ze strany Evropské unie, které silně ovlivňují náklady na výrobu tepla či elektrické energie. Bylo také zmíněno, že podstatná část obyvatel přechází na DZT a stávají se nezávislími na dodávkách tepla od licencovaných dodavatelů z důvodu zvyšující se ceny tepla vlivem legislativních předpisů či současné geopolitické situace.

Praktická část bakalářské práce bude zaměřena na modelování situace v Jihlavě, kde se uvažuje změna palivového mixu v současném existujícím tepelném zdroji. To by mohlo zapříčinit snížení nákladů na výrobu tepla, a tedy i snížení výsledné ceny pro spotřebitele. Výsledky tohoto výpočtu se budou porovnávat s referenční variantou, tedy současným zdrojem tepla. O tomto zdroji byla v rámci rešerše provedena analýza technologie a parametrů.

K analyzování a výpočtu výstupních hodnot byl využit technologicko-ekonomický model vyvinutý na Ústavu procesního inženýrství (ÚPI) VUT v Brně popsany v kapitole 3.1. Tyto modely potřebují určité vstupní parametry. První část modelu vyžadovala dohledat a stanovit ceny paliv, ceny emisních povolenek, výhřevnost, parametry zdroje, emisní faktor paliv a zvolit způsob využití zdroje (v případové studii je zdroj využíván čistě k výrobě tepla). Ústav procesního inženýrství poskytl odhadované poptávky v dané lokalitě v celém roce z interních dat. Z těchto parametrů je nutné nastavit model, dle situace, která je při výpočtu uvažována.

Za pomoci první části modelu byly zjištěny rozdíly variabilních nákladů na výrobu tepla u jednotlivých variant oproti referenční variantě (varianta současného stavu zdroje). Tyto hodnoty byly využity v druhé části modelu. Druhá část modelu je využívána k analýze integrace zdroje ZEVO do soustavy CZT na základě určitých požadavků investora. Z tohoto důvodu musí uživatel stanovit parametry zdroje (kapacita ZEVO, cenu na bráně), požadavky investora a využít zjištěné výstupy z prvního modelu (rozdíly variabilních nákladů na výrobu tepla). Tento model je zároveň využitelný i pro případ integrace odlišného zdroje. Odlišnost spočívá v rozdílném stanovení vstupních parametrů zdroje a dohledání investičních nákladů (v případě integrace ZEVO model vypočítá na základě kapacity investiční náklady, ale pro případ jiného zdroje je musí uživatel stanovit). Výstupním parametrem praktické části je porovnání ekonomické nákladnosti na výrobu tepla a rozdíl ceny za GJ tepla oproti referenční variantě u uvažovaných variant.

3.1 Popis modelu

Technicko-ekonomický model se skládá ze dvou dílčích částí vytvořených v prostředí MS Excel. Zjednodušeně lze model charakterizovat, jako nástroj k optimalizaci integrace nového zdroje do zařízení CZT. První část modelu se využívá k modelování situace, kdy je do zdroje CZT integrován nový zdroj nebo změněn ten současný. Tato část modelu je velice variabilní, protože výpočet lze provést až s osmi binárními proměnnými. U těchto zdrojů je možné nastavit jejich výkon rozsahu, účinnost, emisní faktor, variabilní náklady, atd. Z hlediska palivového mixu je model připraven na integraci různých typů zdroje. Kromě vstupních parametrů je nutné stanovit poptávku po teple v dané lokalitě. Poptávka po teple je stanovena na základě denního kroku po celý rok a je hlavní okrajovou podmínkou celého modelu, dle které se musí model řídit. Na základě splnění této okrajové podmínky model stanoví optimální režim provozu uvažovaných bloků pro každý den. Cílem první části modelu je minimalizovat náklady na splnění požadovaných poptávek. Hlavním výstupem této části modelu je **výsledná hodnota variabilních nákladů** na výrobu tepla pro celý rok za ekonomicky optimálního režimu provozu.

Po zjištění výsledných variabilních nákladů je nutné zjistit, zda je daná investice výhodná z hlediska počátečních nákladů a fixních provozních nákladů. K tomu lze dojít za využití druhé části modelu. Druhá část modelu je primárně určena pro modelování integrace ZEVO. Model je přizpůsoben k výpočtu investičních nákladů na základě kapacity zdroje a fixních variabilních ročních nákladů na provoz zařízení. Kromě toho je možné nastavit cenu na bráně za příjem odpadu a další dílčí parametry. Při určité konfiguraci je možné model nastavit pro případ integrace jiné technologie zdroje, než je ZEVO. Vstupní parametry investičních nákladů pro jiný druh zdroje je nutné stanovit před samotným výpočtem.

K investičním nákladům je třeba vyplnit rozdíly ve variabilních nákladech na výrobu tepla oproti referenční variantě. Tyto hodnoty vychází z první části modelu a je nutné ji stanovit pro všechny uvažované technologie zdroje. Druhá část modelu také zahrnuje ekonomická kritéria jako IRR nebo NPV. Stanovení požadovaného IRR investora je jedním ze vstupních parametrů. Před výpočtem je potřeba nastavit požadovanou životnost zdroje, která značně ovlivňuje výsledné hodnoty. Hlavním výstupem výpočtu je **rozdíl nákladů na výrobu GJ tepla oproti referenční variantě**. Model stanoví, zda je investice z hlediska změny palivového výhodná či nevýhodná s ohledem na požadavků investora.

3.2 Popis modelové situace

V úvodu došlo k uvedení problematiky, na kterou je praktická část zaměřena. V této kapitole dojde k podrobnějšímu rozboru daného problému a uvedení čtenáře do uvažované situace.

Jak již bylo zmíněno, případová situace se bude zaměřovat na zásobování teplem v Jihlavě. Z informací zjištěných z dokumentu Energetická koncepce města Jihlavy z roku 2019 [103] byla analyzována současná situace zásobování teplem v posuzovaném městě.

V Jihlavě je tvořen systém zásobování teplem větším počtem lokálních kotelen, které zásobují určité části města. Hlavní společností, která v daném místě provozuje soustavy jsou Jihlavské kotelný s.r.o. Tato společnost provozuje celkem 19 licencovaných zdrojů, kterým byla udělena licence na výrobu tepelné energie. Instalovaný tepelný výkon těchto soustav je 51,94 MW. Většina tepla pochází ze zdrojů, které jsou zaměřeny pouze na výrobu tepla, tedy u nich nedochází ke kogeneraci, která je v dané lokalitě zastoupena minimálně. Celkové množství vyrobeného tepla z licencovaných soustav zásobování teplem (SZT) byla 221 283 GJ za rok 2017. Hlavním palivem, využívaným pro výrobu tepla na území města Jihlavy v licencovaných SZT, je ZP. Biomasa se podílí pouze malou složkou na celkovém množství vyrobeného tepla z licencovaných SZT. Celková délka rozvodů tepla činí 20,4 km a přenosová kapacita dosahuje 66,4 MWt. V příložené příloze k bakalářské práci lze vidět tepelnou síť, kterou provozuje tato společnost. [103]

Většina problematiky praktické části bude zaměřena na rozbor situace kotelny K4 U Břízek 15, která se nachází v lokalitě Březinova. Tato kotelna je vyobrazena v příložené příloze, kde je také zvýrazněna její potrubní síť. Parametry této kotelny jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 3-Parametry kotelny K4 U Břízek 15, upraveno na základě [104]

Základní parametry kotelny	
Adresa	U Břízek 15, 586 01 Jihlava
Instalovaný tepelný výkon	25,8 MW
Instalovaný elektrický výkon	-
Počet kotlů	3
Délka topných kanálů	9 446,44 m
Počet předávacích stanic tepla	133
Počet vytápěných bytů	3 576
Celkem vytápěných m ²	252 339,66
-z toho vytápěných m ² byty	207 853,07
-z toho vytápěných m ² jiných zařízení	44 485,59

Dle parametrů se jedná o největší tepelný zdroj na území města Jihlavy s instalovaným tepelným výkonem 25,8 MW. Přesné parametry kotlů nejsou v dokumentu zmíněny, ale na oficiální stránce Jihlavských kotelem s.r.o. byly vyhledány postačující parametry uvažovaného zdroje tepla. Jelikož parametry k jednotlivým kotlům nejsou dostupné, tak celý zdroj bude při výpočtu uvažován jako celek. Z přístupných dokumentů bylo zjištěno, že instalované kotle spalují ZP. Hlavním odbytištěm uvažované SZT je sídliště Březinova. [103], [104]

Problematika výpočtové části spočívá ve využití modelu v programu MS Excel k analýze využití možností výroby tepla v daném zdroji. Jádrem výpočtové části bude úvaha, kdy by došlo k určité renovaci tohoto zdroje tepla. Ve výpočtovém modelu budou uvažovány tři varianty:

1. zdroj ve variantě, ve které je současně provozován,
2. zdroj ve variantě, kdy dojde k integraci biomasového kotle,
3. zdroj ve variantě, kdy dojde k integraci ZEVO.

První varianta ve výpočtu bude uvažována jako referenční a ostatní se od ní budou odvíjet. Na základě těchto dat bude zhodnoceno, jak se odlišují variabilní náklady na výrobu 1 GJ tepla oproti referenční variantě a zhodnoceno, zda by tato varianta znamenala určité úspory při výrobě tepla.

3.3 Výpočet jednotlivých variant

3.3.1 Scénář 1 – referenční varianta

Referenční varianta uvažuje přístup, kdy nedojde k výměně současného tepelného zdroje. V uvažovaném modelu bude využita již uvedená tabulka v minulé kapitole s parametry daného zdroje

Zdroj tepla: 3 kotle na ZP (maximální výkon 25,8 MW)

Vstupní parametry, které budou při výpočtu vystupovat jsou:

- cena emisních povolenek – C_p [Kč/t],
- cena ZP – C_{ZP} [Kč/MWh],
- emisní faktor ZP – E_{ZP} [t CO₂/MWh paliva],
- účinnost zdroje ZP – μ_{ZP} [%],
- minimální a maximální výkon zdroje ZP – P_{ZP} [W],
- poptávka po teple zprůměrovaná za každý den – P_h [MWh/h].

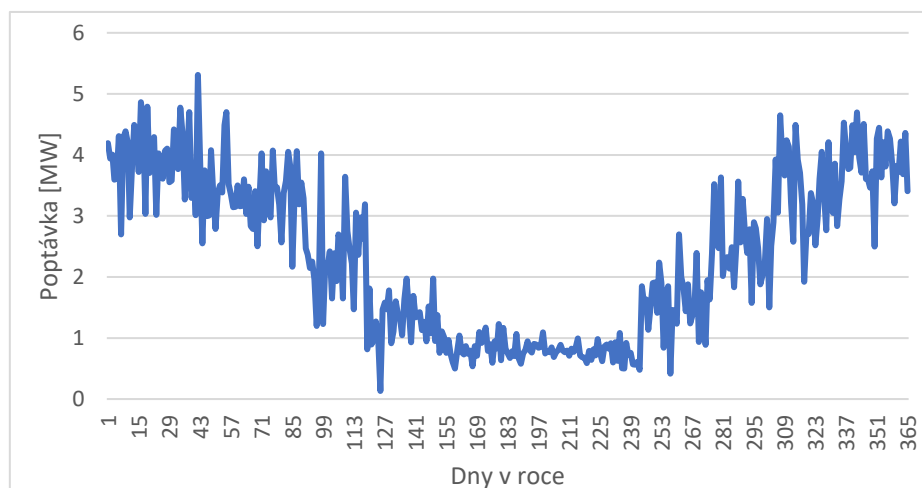
Jako první vstupní parametr bude uvažována cena emisních povolenek. Jelikož se jedná o zdroj, který přesahuje výkon 20 MW, tak lze uvažovat vliv ceny emisních povolenek na výsledné variabilní náklady. Současná cena emisních povolenek k 11. 04. 2022 činí $C_p=1902$ Kč/t. [105]

Druhým vstupním parametrem je cena ZP. Z důvodu nejistoty vývoje ceny ZP budou uvažovány 3 modelové hodnoty ceny ZP. Hodnota ceny ZP bude odhadnuta, protože každý velkoobtěratel má nasmlouvané rozdílné hodnoty ceny ZP. Tento odhad bude vycházet ze současné ceny ZP pro maloodběratele. Na základě zdroje [106] činí průměrná cena ZP pro maloodběratele 1799 Kč/MWh dle cen Jihlavských plynáren. Výpočet s třemi hodnotami je využit z důvodu možné predikce vývoje variabilních nákladů z důvodu zvyšující se ceny ZP, která je spojená s politickou situací ve světě.

Uvažované hodnoty ceny ZP:

1. $C_{ZP1}=1000$ Kč/MWh – situace v minulosti, se současnou politickou situací ve světě je málo pravděpodobné až nemožné, že by se ceny ZP na tyto hodnoty někdy dostaly;
2. $C_{ZP2}=1400$ Kč/MWh – reálné ceny ZP pro velkoobtěratele;
3. $C_{ZP3}=1800$ Kč/MWh – možné ceny ZP pro velkoobtěratele do budoucna.

Třetím vstupním parametrem je emisní faktor ZP. S odkazem na kapitolu 2.1.4 emisní faktor ZP $E_{ZP}=0,2$ t CO₂/MWh paliva. Čtvrtým vstupním parametrem je účinnost kotle na ZP. Uvažovanou hodnotou při výpočtu bude $\mu_{ZP}=85$ %. Pátým parametrem je minimální a maximální výkon. Jelikož je využita technologie kotle na ZP, lze uvažovat rychlý náběh daného zdroje. Proto lze počítat s výkonem $P_{ZP}=0 - 25,8$ MW. Posledním vstupním parametrem je poptávka po teple v dané lokalitě. Díky materiálům z ÚPI v Brně byla odhadnuta poptávka po teple z daného zdroje v MWh za každý den, která figuruje ve výpočtu. Celková poptávka po teple činila **74 TJ** za celý rok v uvažovaném zdroji. Na obrázku 3.1 je uvedena průměrná poptávka v MW v celém roce.



Obr. 3.1 - Graf závislosti poptávky na dny v roce (na základě interních dat ÚPI)

Z grafu lze vidět, že poptávka popisuje typickou křivku průběhu poptávky v roce, kdy v letním období je výrazně nižší.

Výstupní hodnotou celého procesu bude zjištění celkových variabilních nákladů za celý rok. Po spočtení všech variant byly zjištěny následující hodnoty.

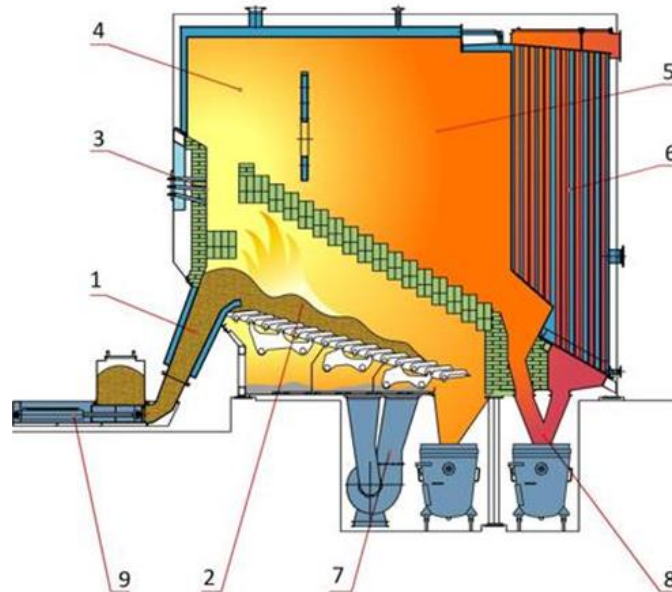
Ve scénáři 1 byly po dosažení vstupních hodnot a spuštění modelu vypočteny následující hodnoty variabilních provozních nákladů pro uvedené varianty ceny ZP:

1. při $C_{ZP1}=1000$ Kč/MWh – $C_{var11}=33\ 412\ 447$ Kč,
2. při $C_{ZP2}=1400$ Kč/MWh – $C_{var12}=43\ 094\ 407$ Kč,
3. při $C_{ZP3}=1800$ Kč/MWh – $C_{var13}=52\ 776\ 368$ Kč.

3.3.2 Scénář 2 – integrace biomasového kotle

Druhou variantou uvažovanou při výpočtu bude začlenění kotle pro biomasu pro proces výroby tepla. Technologie procesu výroby tepla by spočívala v primárním využití kotle na biomasu a ponechání současných plynových kotlů. Efekt, kterým by měla tato konfigurace disponovat, je primární využití kotle na biomasu s využitím plynových kotlů při pokrytí špiček poptávek v zimních měsících.

V rámci výpočtu byl vybrán vhodný kotel spalující dřevní odpad, protože se jedná o jeden z nejčastějších a nejvýhodnějších druhů biomasy. Pro výpočet byl zvolen kotel firmy TTS eko Vesko-B zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 3.2 -Kotel Vesko-B převzato z [106]

1 – Vyhříváný vstup paliva, 2 – Roštová komora, 3 – Trysky sekundárního vzduchu,
4 – Vířivá komora, 5 – Dohořivací komora, 6 – Trubkový výměník, 7 – Vzduchové ventilátory

Tento kotel je vyráběn v rozmezí 1-10 MW. Využívaným palivem pro spalování je dřevní štěpka. Kotel pracuje za přetlaku 0,3 – 0,6 MPa.

Hlavní výhody kotle:

- účinnost nad 85 %,
- nízká náročnost na obsluhu,
- samočistnost kotle,
- plně automatizovaný proces. [106]

Pro výpočet byla zvolena varianta, kdy kotel dosahuje maximálního tepelného výkonu do 3 MW. Při výpočtu bude uvažována účinnost kotle 85 %. Rozsah provozních výkonů bude stanoven na 50 % maximálního výkonu, tedy minimální výkon kotle, za kterého bude provozován je 1,5 MW a maximální 3 MW. V následující výpočtové variantě se bude uvažovat tato modelová situace.

Zdroj: kotel Vesko B + současné 3 plynové kotle (25 MW)

Kromě vstupních parametrů pro plynové kotle, které budou převzaty z výpočtu referenční varianty bude sada vstupních parametrů doplněna o sadu vstupů pro biomasový kotel. Jediné, co je potřeba podotknout k předešlým hodnotám je, že budou znovu uvažovány varianty ceny ZP 1000 Kč/MWh, 1400 Kč/MWh nebo 1800 Kč/MWh.

Vstupní parametry pro 2. scénář:

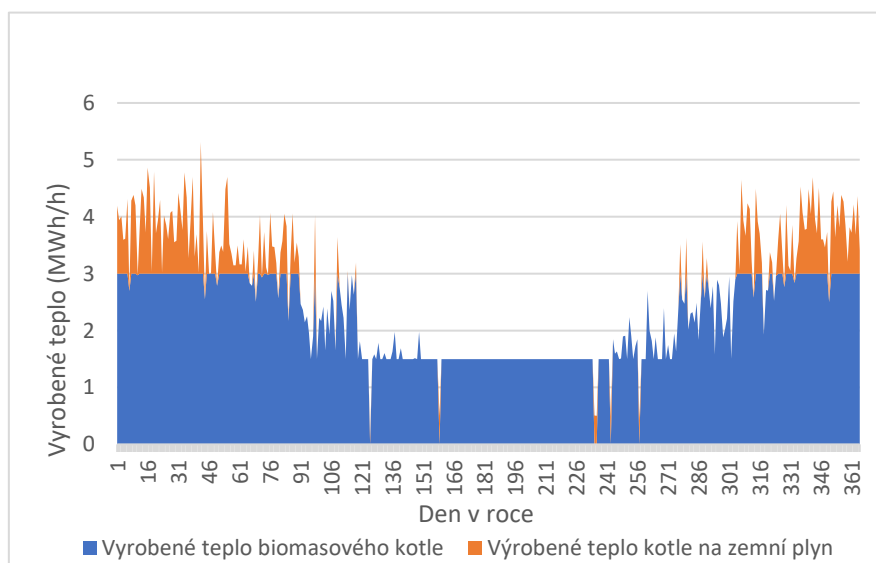
- cena dřevní štěpky – C_s [Kč/t],
- výhřevnost dřevní štěpky – H_s [GJ/t],
- hmotnost popelovin – m_p [t/t biomasy],
- účinnost zdroje na biomasu – μ_b [%],
- minimální a maximální výkon zdroje na biomasu – P_b [MW].

Prvním ze vstupních parametrů je cena dřevní štěpky, která bude uvažována $C_s=1200$ Kč/t dle dostupných materiálů UPÍ v Brně. Druhým vstupním parametrem je výhřevnost dřevní štěpky, která je zhruba $H_s=9,4$ GJ/t. [108] Produkce popelovin byla opět získána z dostupných materiálů UPÍ v Brně a to $m_p=0,007885$ t/t biomasy. Tento parametr musí být uvažován, protože zpracování popelovin se promítá do výsledných variabilních nákladů. Účinnost zdroje $\mu_b=85$ % a minimální a maximální uvažovaný výkon $P_b=1,5-3$ MW.

Ve scénáři 2 byly po dosažení vstupních hodnot a spuštění modelu vypočteny následující hodnoty variabilních provozních nákladů pro uvedené varianty ceny ZP:

1. při $C_{ZP1}=1000$ Kč/MWh – $C_{var21}=15\ 216\ 273$ Kč,
2. při $C_{ZP2}=1400$ Kč/MWh – $C_{var22}=16\ 454\ 037$ Kč,
3. při $C_{ZP3}=1800$ Kč/MWh – $C_{var23}=17\ 685\ 733$ Kč.

Průběh využití jednotlivých zdrojů v závislosti na ročním období lze vidět v obrázku 3.3. Výsledky v zimních měsících byly očekávané, protože nejvýhodnější je, aby kotel na biomasu fungoval každý den na plný výkon a dny s vyšší poptávkou pomůže pokrýt zdroj na ZP. Zajímavé výsledky byly zjištěny v období letních měsíců, kdy klesá poptávka. Až na výjimku nejnižší uvažované varianty ceny ZP (1000 Kč/MWh) bylo zjištěno, že se skoro každý letní den vyplatí provozovat kotel na biomasu s hodnotou minimálního výkonu, i když to znamená, že je teplo zmařeno a nevyužito, protože převyšuje potřebné poptávky. Pouze v pár dnech, kdy byla poptávka opravdu malá, pokryl celou poptávku kotel na ZP, protože zmařené teplo z kotle na biomasu bylo příliš značné. I když model vypočítal optimální stav, tak situace, kdy z důvodu jednoho dne je biomasový kotel odstaven a je využit plynový kotel není reálná.



Obr. 3.3 - Podíl výroby tepla z jednotlivých zdrojů (biomasa + ZP 1400 Kč/MWh)

V druhé části výpočtu byl využit druhý model, který započítá potřebné investice do nového zdroje tepla. Na základě toho bude vyvozen závěr, jaký je rozdíl ve variabilních nákladech na 1 GJ tepla oproti referenční variantě s plynem. Tento model byl popsán v kapitole 3.1. Dle informací firmy TTS eko (na základě komunikace s firmou) bylo zjištěno, že samotný kotel s filtračním příslušenstvím by stál 22 milionů Kč. Se zhodnocením informací ze zdroje [109], kde je uvedeno, že celkové náklady na biomasový kotel s potřebným technologickým zázemím a příslušenstvím stojí 10-15 tisíc Kč za 1 kW výkonu byla odhadnuta celková cena tohoto zdroje. Celková cena tohoto zařízení byla stanovena na **40 000 000 Kč**. Výpočet druhé varianty uvažuje životnost integrovaného biomasového kotle **25 let**.

V modelové situaci bude uvažováno, že investor si stanovil hodnotu IRR 10 %, aby pro něj mělo smysl zainvestovat. K dosažení potřebného IRR je nutné za pomoci modelu zjistit, jestli je nutné zvýšit výnosy proti referenční variantě k dosažení požadovaného IRR. V případě biomasy toho lze jedinečně dosáhnout zvýšením ceny za teplo.

Před dosažením hodnot do modelu je nutné zjistit rozdíl ve variabilních nákladech pro variantu s biomasou a variantu se ZP.

Bylo zjištěno, že s využitím biomasového kotle bude z pohledu variabilních provozních nákladů uspořeno:

1. při $C_{ZP1}=1000 \text{ Kč/MWh}$ – $C_{\text{rozdíl}21}=18\ 196\ 174 \text{ Kč/rok}$,
2. při $C_{ZP2}=1400 \text{ Kč/MWh}$ – $C_{\text{rozdíl}22}=26\ 640\ 370 \text{ Kč/rok}$,
3. při $C_{ZP3}=1800 \text{ Kč/MWh}$ – $C_{\text{rozdíl}23}=35\ 090\ 635 \text{ Kč/rok}$.

V úvahu byly brány i náklady na obsluhu biomasového kotle. Byla uvažována jedna osoba k doplňování paliva. Náklady na zaměstnance byly odhadnuty dle průměrné hrubé mzdy (tato hodnota je silně zjednodušená, ale k úvaze bude stačit) na **40 135 Kč/měsíc**. [110] Celkem za rok činil plat zaměstnance **481 620 Kč**. Po dosažení těchto hodnot do modelu byly stanoveny rozdíly v ceně za teplo oproti referenční variantě.

Výsledky druhé varianty:

1. při úvaze první varianty bylo zjištěno, že ke splnění požadavků investora by bylo možné snížit cenu tepla oproti referenční variantě – $C_{\text{změna,biomasa,ZP1}}=63 \text{ Kč/GJ}$;
2. při úvaze druhé varianty bylo zjištěno, že ke splnění požadavků investora by bylo možné snížit cenu tepla oproti referenční variantě – $C_{\text{změna,biomasa,ZP2}}=102 \text{ Kč/GJ}$;
3. při úvaze třetí varianty bylo zjištěno, že ke splnění požadavků investora by bylo možné snížit cenu tepla oproti referenční variantě – $C_{\text{změna,biomasa,ZP3}}=141 \text{ Kč/GJ}$.

Dle výsledků je očividné, že využití biomasového kotle je v dnešní době velice výhodné, protože využívání ZP jako primárního paliva je příliš nákladné. I přes značné investice je tato technologie ekonomicky výhodná, protože znamená zlevnění tepla pro odběratele. Další výhodou je vyřešení legislativních nároků Evropské unie do budoucích let.

Na druhou stranu je celý výpočet poměrně limitovaný, protože nejsou uvažovány svozové vzdálenosti paliva a dostupnost paliva v určité lokalitě. Rozdílné reálné investice by mohly výsledek také zkreslovat. I přes to by odklon od reálných investic neměl být značný, protože došlo k ověření z více zdrojů.

3.3.3 Scénář 3 – integrace ZEVO

Třetí a zároveň poslední variantou, která bude uvažována ve výpočtu, bude začlenění ZEVO. Stejně jako v předešlé variantě bude ZEVO uvažováno jako primární zdroj tepla s tím, že současné plynové kotle budou pomáhat s pokrytím vyšší poptávky v zimním období. Aby tato

varianta korespondovala s variantou pro biomasový kotel byla zvolena taková kapacita ZEVO, aby výkon odpovídal výkonu biomasového kotle a bylo tak možné tyto varianty mezi sebou porovnat.

Zdroj: ZEVO (12 kt/rok) + 3 plynové kotle (25,8 MW)

Před provedením výpočtu je potřebné si stanovit vstupní parametry. Pro plynový kotel budou parametry převzaty z referenční varianty. Stejně jako v minulé variantě bude jedinou proměnnou **C_{ZP}**. Tyto parametry musí být doplněny o parametry zdroje ZEVO.

Vstupní parametry pro 3. scénář:

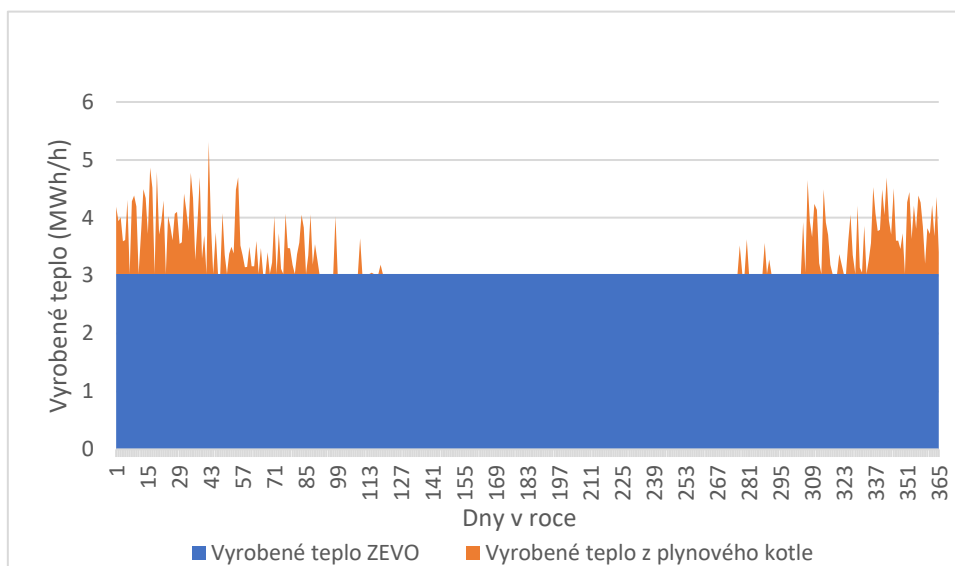
- kapacita ZEVO – **k [kt/rok]**,
- výhřevnost odpadu – **H_o [GJ/t]**,
- korigovaná účinnost kotle na spalování odpadu – **μ_k [%]**,
- účinnost zdroje – **R₁ [-]**,
- výkon ZEVO – **P_{ZEVO} [MW]**.

Stanovení vstupních parametrů vychází z požadovaného výkonu zdroje **P_{ZEVO}=3 MW**. Je nutné uvažovat, že minimální hranice pro schválení zdroje ZEVO, je hodnota faktoru **R₁=65 %**. Z toho důvodu bude uvažován zdroj s finálním faktorem **R₁=70 %**, což zhruba odpovídá kapacitě využitého zdroje s danou požadovanou roční poptávkou. Pro odpad bude uvažována výhřevnost **H_o=9,3 GJ/t** na základě interních dat ÚPI. Je uvažována účinnost kotle **μ_k=79,2 %** dle zdrojů ÚPI na základě využití malé turbíny k výrobě elektrické energie pro vlastní účely. Pro splnění všech parametrů bude při výpočtu uvažován zdroj s kapacitou **k=12 kt/rok**. Tento zdroj splňuje požadavky výkonu a zároveň splňuje požadovanou účinnost zdroje. Pokud by byl uvažován zdroj s vyšší kapacitou, došlo by ke zvýšení hodnoty zmařeného tepla a snížení parametru **R₁** zdroje, který by následně nevyhovoval legislativním předpisům.

Ve scénáři 3 byly po dosažení vstupních hodnot a spuštění modelu vypočteny následující hodnoty variabilních provozních nákladů pro uvedené varianty ceny ZP:

1. při **C_{ZP1}=1000 Kč/MWh** – **C_{var31}=4 090 275 Kč**,
2. při **C_{ZP2}=1400 Kč/MWh** – **C_{var32}=5 275 518 Kč**,
3. při **C_{ZP3}=1800 Kč/MWh** – **C_{var33}=6 460 762 Kč**.

Při porovnání všech tří variant lze konstatovat, že z hlediska ceny paliv je tato varianta nejvýhodnější. To je způsobeno tím, že odpad je považován jako palivo s negativní cenou. Z obrázku 3.4 lze vidět, že jedním z hlavních ekonomických aspektů je výnos ze spalovaného paliva a dochází k nepřetržité výrobě tepla za maximálního výkonu ZEVO i přes fakt, že převyšuje požadovanou poptávku. Do výsledných variabilních nákladů v první části modelu je pouze započtena cena za nákup ZP. ZP byl využíván zpravidla v zimním období, kdy poptávka převyšovala výkon ZEVO.



Obr. 3.4 - Podíl výroby tepla z jednotlivých zdrojů (odpad + ZP 1400 Kč/MWh)

Druhá část výpočtového modelu bude pro tuto variantu velice důležitá, protože investiční náklady na ZEVO silně převyšují náklady na zdroj biomasy. Opět bude uvažována zadaná hodnota IRR 10 % od investora. Investiční náklady se odvíjí od kapacity zařízení, která ovlivňuje samotnou velikost ZEVO. Kromě investic je potřeba stanovit rozdíl ve variabilních ročních nákladech, způsobené cenou paliv.

Bylo zjištěno, že integrací ZEVO bude z pohledu variabilních provozních nákladů uspořeno:

1. při $C_{ZP1}=1000 \text{ Kč/MWh}$ – $C_{\text{rozdíl}31}=29\ 322\ 172 \text{ Kč/rok}$,
2. při $C_{ZP2}=1400 \text{ Kč/MWh}$ – $C_{\text{rozdíl}32}=37\ 818\ 889 \text{ Kč/rok}$,
3. při $C_{ZP3}=1800 \text{ Kč/MWh}$ – $C_{\text{rozdíl}33}=46\ 316\ 006 \text{ Kč/rok}$.

Součástí druhého modelu je odhad investic do nového zdroje ZEVO. Stejně jako u scénáře 2 bude uvažována životnost ZEVO **25 let**. Předpokládané investiční náklady pro ZEVO o kapacitě $k=12 \text{ kt/rok}$ činí **213 620 000 Kč**. Součástí těchto nákladů jsou také roční fixní provozní náklady ZEVO, které jsou stanoveny na **16 817 000 Kč/rok**. Tyto hodnoty byly zjištěny na základě kapacity zdroje za pomoci druhé části modelu. Důležitým aspektem ekonomiky ZEVO je cena za zpracování tuny odpadu. Ta je ve výpočtu stanovena na **1500 Kč/t** dle dostupných materiálů ÚPI. Po stanovení hodnot těchto investic a rozdílů ve variabilních nákladech byly zjištěny rozdíly ceny za teplo oproti referenční variantě.

Výsledky třetí varianty:

1. při úvaze první varianty bylo zjištěno, že ke splnění požadavků investora by bylo možné snížit cenu tepla oproti referenční variantě – $C_{\text{změna,ZEVO,ZP1}}=7 \text{ Kč/GJ}$;
2. při úvaze druhé varianty bylo zjištěno, že ke splnění požadavků investora by bylo možné snížit cenu tepla oproti referenční variantě – $C_{\text{změna,ZEVO,ZP2}}=46 \text{ Kč/GJ}$;
3. při úvaze třetí varianty bylo zjištěno, že ke splnění požadavků investora by bylo možné snížit cenu tepla oproti referenční variantě – $C_{\text{změna,ZEVO,ZP3}}=85 \text{ Kč/GJ}$.

Po získání výsledků je požadavek investora splněn. K dosažení IRR není nutné provést opatření k zvýšení zisku. Toho by bylo možné v případě ZEVO primárně dosáhnout zvýšením ceny tepla nebo zvýšením zisku za zpracování odpadu.

Dle výsledků lze konstatovat, že integraci zdroje ZEVO v dané lokalitě by došlo ke snížení ceny tepla oproti referenční variantě. Důležitým aspektem realizace této varianty je dostatečné množství odpadu pro spalovnu dané kapacity. Pokud by byla porovnána druhá a třetí varianta, tak ve všech variantách vychází, že využití biomasového kotle je výhodnější než ZEVO. Na druhou stranu je nutné brát v úvahu vedlejší výhody ZEVO, a to zpracování odpadu, což je velice pozitivní aspekt celého zařízení.

3.4 Zhodnocení výsledků

Pro zdroj K4 U Brížek 15 bylo zjištěno, že v případě změny palivového mixu by došlo k výraznému snížení ceny tepla. Nejvýhodnější se jeví primární využití biomasového kotle, který by zaznamenal nejvyšší úspory, a to v rozmezí od **63-141 Kč/GJ** tepla v závislosti na současné ceně ZP. V případě využití ZEVO by tyto rozdíly činily **7-85 Kč/GJ** tepla. Integrace zdroje ZEVO by zároveň mohla řešit zpracování odpadu v dané lokalitě. Obě řešení by znamenala výhody pro výrobce tepla i spotřebitele. Výrobce by z části omezil využití ZP, čímž by se přiblížil k naplnění legislativních požadavků, kterým se pravděpodobně do budoucna bude muset podřídit. Zároveň by byl schopen poskytnout spotřebitelům levnější variantu tepla, což by zapříčinilo nižší pravděpodobnost přechodu na určitou technologii DZT a možný zánik zdroje. Zvyšující ceny ZP a emisních povolenek by totiž mohly zapříčinit prudké zvýšení variabilních nákladů, kvůli kterým by zdroj nemusel být ekonomicky udržitelný. Při zhodnocení výsledků je také nutné vzít v potaz, že cena ZP není jedinou proměnnou. Silně proměnným aspektem je cena emisních povolenek, cena za zpracování odpadu či cena biomasy. Všechny tyto aspekty je nutné brát v potaz při návrhu a optimalizaci. Dle tabulek lze vidět porovnání jednotlivých variant. Každá tabulka popisuje porovnání jednotlivých scénářů mezi sebou.

Tabulka 4-Porovnání scénářů pro cenu ZP $C_{zp1}=1000$ Kč/MWh

	C_{var} [Kč/rok]	C_{rozdl} [Kč/rok]	$C_{změna}$ [Kč/GJ]
Scénář 1: Zdroj ZP	33 412 447	-	-
Scénář 2: Zdroj biomasa+ZP	15 216 273	18 196 174	63
Scénář 3: Zdroj ZEVO+ZP	4 090 275	29 322 172	7

Tabulka 5-Porovnání scénářů pro cenu ZP $C_{zp2}=1400$ Kč/MWh

	C_{var} [Kč/rok]	C_{rozdl} [Kč/rok]	$C_{změna}$ [Kč/GJ]
Scénář 1: Zdroj ZP	43 094 407	-	-
Scénář 2: Zdroj biomasa+ZP	16 454 037	26 640 370	102
Scénář 3: Zdroj ZEVO+ZP	5 275 518	37 818 889	46

Tabulka 6-Porovnání scénářů pro cenu ZP $C_{zp3}=1800$ Kč/MWh

	C_{var} [Kč/rok]	C_{rozdl} [Kč/rok]	$C_{změna}$ [Kč/GJ]
Scénář 1: Zdroj ZP	52 776 368	-	-
Scénář 2: Zdroj biomasa+ZP	17 685 733	35 090 635	141
Scénář 3: Zdroj ZEVO+ZP	6 460 762	46 316 006	85

Závěr

Úvodní část bakalářské práce vysvětluje samotnou podstatu CZT. Jsou představeny odlišné technologie, které se v tomto průmyslovém odvětví využívají. Zároveň je vysvětleno, jak soustava CZT funguje. Je poukázáno na výhody využití kogenerace oproti separované výrobě elektrické energie a tepla. Součástí zpracované problematiky teplárenství je také zmapována výroba tepla za pomoci ročních zpráv ERÚ a MPO z roku 2019 v ČR ze zdrojů CZT. Z těchto zpráv lze zjistit, že situace v teplárenství je každým rokem kritičtější z důvodu zpřísňujících emisních limitů. To má za následek zdražování tepla pro odběratele. Ti se následně rozhodují mezi využitím CZT nebo DZT. Výhody a nevýhody těchto zdrojů tepla jsou uvedeny a porovnány mezi sebou. Výstupem prvního oddílu bakalářské práce by mělo být vysvětlení problematiky teplárenství a poukázání na zhoršující se situaci.

Druhý oddíl rešeršní části bakalářské práce se zabývá možnou modernizací sektoru teplárenství. Osvětluje, proč je sektor výroby tepla problémem pro ekologickou situaci ve světě. Zmiňuje, jaké druhy škodlivých látek produkují zdroje tepla. Jsou zde také představeny limity dány legislativou pro tyto škodlivé látky. Z důvodu snižujícího se množství fosilních paliv a zpřísňujících se požadavků Evropské unie na tuto část navazuje představení nejperspektivnějších zdrojů pro výrobu tepla. Stručně je vysvětlen způsob technologie spalování biomasy a odpadu, které jsou v současné době jednou z alternativ ke zdrojům na fosilní paliva.

Hlavním iniciátorem těchto změn je samotná Evropská unie. Zmíněná legislativa vysvětluje, proč je nutné na tyto razantní změny v tomto odvětví přistoupit. Hlavním cílem Evropské unie je přechod k uhlíkové neutralitě. Prosazení striktních legislativních předpisů (Green Deal, Fit for 55, atd.) ospravedlňuje podloženými globálními ekologickými změnami, které by mohly nastat v případě nečinnosti jednotlivých států Evropské unie. Na představení jednotlivých legislativních předpisů navazuje způsob, jak Evropská unie prosazuje tyto požadavky. Je představen systém EU ETS, který je hlavní pákou Evropské unie. Součástí souhrnu legislativy je také zmíněna Politika ochrany klimatu České republiky, která se snaží evropským požadavkům vyhovět. V současné geopolitické situaci je silně nepředvídatelné, zda k naplnění těchto cílů opravdu dojde.

Závěr rešeršní části se zabývá možnými investicemi v sektoru výroby tepla České republiky k dosažení těchto cílů. S touto změnou by došlo k dosažení evropských požadavků a odpoutání se od závislosti na fosilních palivech, kterých jednou nebude dostatek. V rámci změny palivového mixu je také představena investiční náročnost těchto změn. Jelikož změna palivového mixu zařízení je časově náročný a investičně nákladný projekt, je v závěru uvedena možnost zvýšení účinnosti tepelných zdrojů. Dle doporučení dokumentů BAT/BREF jsou představeny jednotlivé možnosti ke zvýšení účinnosti zdroje a s tím spojená úspora fosilních paliv a snížení produkce škodlivých látek.

Druhá část bakalářské práce je zaměřena na aplikaci poznatků získaných v rešeršní části. Podstatou praktické části je zpracování případové studie pro určitý zdroj tepla. Tento zdroj tepla podléhá nařízení Evropské unie, a proto je ovlivněn systémem EU ETS. Z toho důvodu byla představena situace, kdy by došlo k integraci tepelného zdroje na OZE. Ke zpracování této případové studie byl využit technologicko-ekonomický model vytvořený na ÚPI Vysokého učení technického v Brně. Bylo zjištěno, že za předpokladu využití technologie kotle na biomasu nebo ZEVO jako primárního zdroje, za podpory využití současně přítomných kotlů na ZP v dané lokalitě, by došlo ke značným ekonomickým i ekologickým úsporám. Byly zváženy jak rozdíly v ceně paliv a další provozní náklady, tak potřebné investiční náklady na výstavbu těchto zdrojů. Tato změna by do budoucna mohla vést k ekonomické udržitelnosti zdroje.

4. Seznam použitých zdrojů

- [1] BUFKA, Aleš, Miloslav MODLÍK a Jana VEVERKOVÁ. Zpráva o vývoji energetiky v oblasti tepla za rok 2019. *Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR* [online]. Praha [cit. 2022-03-29].
Dostupné z : https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/2021/7/Zprava-o-vyvoji-energetiky-v-oblasti-tepla-za-rok-2019_1.pdf
- [2] FIEDLER, Jan. CENTRÁLNÍ SYSTÉMY ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM NEBO TEPELNÁ ČERPADLA?. *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi/11552-centralni-systemy-zasobovani-teplem-nebo-tepelna-cerpadla>
- [3] SLIVKA, Vladimír. Studie stavu teplárenství. *Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR* [online]. 2011 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/43593/48917/575386/priloha002.pdf>
- [4] TRNAVSKÝ, Jiří. Alternativní palivo jako lokální zdroj. *Energie 21* [online]. 2021 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://energie21.cz/alternativni-palivo-jako-lokalni-zdroj/>
- [5] Politika ochrany klimatu v ČR. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika_ochrany_klimatu_2017/\\$FILE/OEOK-POK-20170329.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika_ochrany_klimatu_2017/$FILE/OEOK-POK-20170329.pdf)
- [6] Green Deal fakta-čísla-dopady. *Evropský informační projekt* [online]. 2020 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://euroinfoproject.eu/wp-content/uploads/2020/12/kniha-eip-brozura-web.pdf>
- [7] BUDÍN, Jan. Jak funguje soustava centrálního zásobování teplem v ČR?. *O energetice* [online]. 2015 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplo/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr>
- [8] Co je CZT. *Teplné hospodářství Prachatic* [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.thpt.cz/co-je-czt.html>
- [9] *Schéma CZT* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/177/02.html>
- [10] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ a Jiří MOSKALÍK. Kotle – 2. část. *TZB info* [online]. 2012 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast>
- [11] KADRNOŽKA, Jaroslav a Ladislav OCHRANA. *Teplárenství*. Brno: CERM, 2001, 178 s. : il. ; 25 cm. ISBN 80-7204-222-X.
- [12] KARAFIÁT, Josef. Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. *Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR* [online]. Praha: Ortep, 2006 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>
- [13] KOZELSKÝ, Tomáš a Radek NOVÁK. *Teplárenství v ČR* [online]. Praha, 2018-10 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.csas.cz/content/dam/cz/csas/www_csas_cz/dokumenty/analyzy/Tepl%C3%A1renstv%C3%AD%20v%20C4%8CR_2018_10_public.pdf
- [14] KADRNOŽKA, Jaroslav. *Teplné elektrárny a teplárny*. Praha: SNTL, 1984, 607 s.
- [15] Parní turbína. *Akademie věd České republiky* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/.content/galerie-obrazku/aktuality/2017/Foto_Rotor.jpg_1229610441.jpg
- [16] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. : il. ISBN 80-7300-118-7.

- [17] Výstavba tepelné sítě. *Isoplus* [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.isoplus.cz/zasobovani-teplem/vystavba-tepelne-site.html>
- [18] POLESNÝ, Bohumil. *Teplárenství a potrubní sítě*. Vyd. 2. Brno: Ediční středisko VUT, 226 s. : obr., tabulky, grafy, schémata ; 29 cm. ISBN 80-214-0057-9
- [19] RYŠAVÝ, Ivan. Budování horkovodní sítě musí dávat ekonomický smysl. *Moderní obec* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://moderniobec.cz/budovani-horkovodni-site-musi-davat-ekonomicky-smysl/>
- [20] Dvoutrubkové instalace. *Navio* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.navio.cz/vytapeci-technika/zajimave-clanky/dvoutrubkove-instalace/>
- [21] Výměňíkové stanice. *Avos* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.avos.cz/vymenikove-stance/>
- [22] Dálkové zásobování teplem: Jak funguje a z čeho se skládá výměňíková stanice. *Estav* [online]. 2021 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/9607.dalkove-zasobovani-teplem-jak-funguje-a-z-ceho-se-sklada-vymenikova-stance>
- [23] PROKOP, Jan. Specifika rozvodu tepla a řešení průtoků tepla v teplovodních sítích. *Anzdoc* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://adoc.pub/inenyrske-sit-tema-7-7-specifika-rozvodu-tepla-a-eeni-prtok-.html>
- [24] TESAŘOVÁ, Milada. *Zdroje tepla pro CZT* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://adoc.pub/62-zdroje-tepla-pro-czt.html>
- [25] ŠKORPÍK, Jiří. Tepelné oběhy a jejich realizace. *Transformační technologie* [online]. Brno, 2006 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.transformacni-technologie.cz/06.html>
- [26] BUDÍN, Jan. Kogenerace - princip, technologie a výhody. *O energetice* [online]. 2015 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody>
- [27] Generic T-s diagram of a Rankine Cycle. *Research gate* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Generic-T-s-diagram-of-a-Rankine-Cycle-The-number-convention-has-been-adapted-to-be_fig4_340899477
- [28] *Basic Brayton Cycle* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: https://air.eng.ui.ac.id/images/7/7d/Basic_Brayton_Cycle.png
- [29] VOLF, Michal. *Přehled tepelných cyklů* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~novakm42/termomechanika-KKE-TM_2019_2020/tm_cv_06.pdf
- [30] Paroplynové elektrárny. *Informační portál* [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/paroplynove-elektrarny>
- [31] *Paroplynový cyklus* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: http://www.oze.stuba.sk/wpcontent/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EE_NERGETIKA/ELEN-3_2.htm#3.2.1.1.4
- [32] Roční zpráva o provozu teplárenských soustav ČR 2019. *Energetický regulační úřad* [online]. 2020 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5391332/Rocni_zprava_provoz_TS_2019.pdf/a4d8e72d-4f7b-4d02-b464-201bf1648479
- [33] Zpráva o vývoji energetiky v oblasti tepla za rok 2019. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2020 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/2021/7/Zprava-o-vyvoji-energetiky-v-oblasti-tepla-za-rok-2019_1.pdf
- [34] Roční zpráva o provozu teplárenských soustav ČR. *Energetický regulační úřad* [online]. 2019 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z:

https://www.eru.cz/documents/10540/5391330/Zprava_o_provozu_TS_2018.pdf/bec4c828-cc45-4c94-89dd-f156bf49165c

- [35] Vyhodnocení cen tepelné energie a jejich vývoj k 1. lednu 2020. *Energetický regulační úřad* [online]. 2020 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/documents/10540/462928/Vyhodnoceni+cen+tepelne+energie+k+1.+1.+2020.pdf/799d63f0-2dee-495d-9fdd-16c8b5e9dde1>
- [36] Teplo kvůli růstu cen paliv a povolenek výrazně zdraží, pomoci může vláda. *TZB info* [online]. 2021 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi/22924-teplo-kvuli-rustu-cen-paliv-a-povolenek-vyrazne-zdrazi-pomoci-muze-vlada>
- [37] Odpojování bytových domů od otopných soustav. *Energie kolem nás* [online]. 2018 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <http://ekn.cz/odpojovani-bytovych-domu-od-otopnych-soustav/>
- [38] POLÁNECKÝ, Karel. Změna centrálního zásobování teplem určí směr transformace energetiky. *Ekolist* [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/kareln-polanecky-zmena-centralniho-zasobovani-teplem-urci-smer-transformace-energetiky>
- [39] Co jsou to emisní třídy kotlů a k čemu jsou dobré?. *Eon* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vytapeni-a-vetrani/kotle-na-biomasu/co-jsou-to-emisni-tridy-kotlu-a-k-cemu-jsou-dobre/>
- [40] MAJLING, Eduard. Lokální zdroje tepla aneb čím si doma zatopit. *O energetice* [online]. 2015 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/lokalni-zdroje-tepla-aneb-cim-si-doma-zatopit>
- [41] Jaký plynový kotel do rodinného domu?. *Viesmann* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jaky-plynovy-kotel-do-rodinneho-domu.html>
- [42] BUDÍN, Jan. Tepelná čerpadla - princip funkce a rozdělení. *O energetice* [online]. 2015 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplo/tepelna-cerpadla>
- [43] Proč zvolit tepelné čerpadlo. *Abeceda čerpadel* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/proc-zvolit-tepelne-cerpadlo>
- [44] Výhody CZT. *Teplo Zlín* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <http://www.teplozlin.cz/vyhody-czt>
- [45] Proč se dálkové teplo vyplatí? [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.naseteplo.cz/#vyhody>
- [46] Proč se dálkové teplo vyplatí?. *Gabit* [online]. 2019 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.gabitmost.cz/teplo-z-dalky-nebo-vlastni-zdroj/>
- [47] ČESKO. Zákon č. 458/2000 Sb. ze dne 28. listopadu 2000 o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). *Zákony pro lidi* [online]. 2000 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [48] ČESKO. Zákon č. 201/2012 Sb. ze dne 2. května 2012 o ochraně ovzduší. *Zákony pro lidi* [online]. 2012 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [49] KUŽEL, Jan. Stanovisko odboru ochrany ovzduší k § 3 odst. 8 zákona o ochraně ovzduší. *První novoměstská teplárenská* [online]. Praha, 2009 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://pnts.cz/soubory/stranky/soubory/stranky_soubory-9.pdf
- [50] Územní energetická koncepce statutárního města Brna. *Příprav Brno* [online]. Brno [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://priprav.brno.cz/media/2021/04/5.16-Legislativn%C3%AD-r%C3%A1mec-odpojov%C3%A1n%C3%AD-od-CZT-SZTE.pdf>

- [51] Odpojování objektů od CZT a průmět územní energetické koncepce. *Ministerstvo pro místní rozvoj ČR* [online]. 2020 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://mmr.cz/cs/ministerstvo/stavebni-pravo/stanoviska-a-metodiky/stanoviska-odboru-uzemniho-planovani-mmr/2-uzemne-planovaci-dokumentace-a-jejich-zmeny/vyjadreni-mmr-ke-vztahu-uzemniho-planu-k-odpojovan>
- [52] Znečištění ovzduší - kontext politiky. *Evropská agentura pro životní prostředí* [online]. 2021 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/themes/air/policy-context>
- [53] FILDÁN, Zdeněk. Zaznamenali jste zpřísnění emisních limitů od 2020?. *Envigroup* [online]. 2021 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.envigroup.cz/jste-pripraveni-na-zpriseni-emisnich-limitu.html>
- [54] Emise základních znečišťujících látek do ovzduší v České republice. *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/graf-emise-zakladnich-znecistujicich-latek-do-ovzdusi-v-ceske-republice>
- [55] BRZEZINA, Jáchym. Emise nejsou imise. *Blog o meteorologii, hydrologii a kvalitě ovzduší* [online]. 2021 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2021/02/27/emise-nejsou-imise/>
- [56] BRZEZINA, Jáchym. Imisní limity – co znamenají a jak je interpretovat. *Blog o meteorologii, hydrologii a kvalitě ovzduší* [online]. 2018 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/08/23/imisni-limity-co-znamenaji-a-jak-je-interpretovat/>
- [57] HEMERKA, Jiří a František HRDLÍČKA. Emise z kotelen a ochrana ovzduší (I). *TZB info* [online]. Praha, 2004 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/2294-emise-z-kotelen-a-ochrana-ovzdusi-i>
- [58] Přehled imisních limitů a povolený počet překročení. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2019_enh/pdf/limity.pdf
- [59] Snižování emisí NOx. *ČEZ* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/snizovem_5.html
- [60] Emise a imise. *ČEZ* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/emise_3.html
- [61] Oxidy síry. *Arnika* [online]. Praha [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/oxidy-siry>
- [62] Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2019 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_7_SO2_v_1.pdf
- [63] BRZEZINA, Jáchym. Suspendované částice (PM) – otázky a odpovědi. *Blog o meteorologii, hydrologii a kvalitě ovzduší* [online]. 2018 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/12/01/suspendovane-castice-pm-otazky-a-odpovedi/>
- [64] JELÍNEK, Jan. Globální oteplování. *Nauka o zemi pro technické obory* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-global-oteplovani.htm>
- [65] Změna klimatu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/zmena-klimatu>
- [66] Koffi, Brigitte; Cerutti, Alessandro; Duerr, Marlene; Iancu, Andreea; Kona, Albana; Janssens-Maenhout, Greet (2017): CoM Default Emission Factors for the Member

- States of the European Union - Version 2017. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset] PID: <http://data.europa.eu/89h/jrc-com-ef-comw-ef-2017>
- [67] Rámec v oblasti klimatu a energetiky do roku 2030. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/klimaticko_energeticky_ramec_2030
- [68] Rámcová úmluva OSN o změně klimatu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/ramcova_umluva_osn_zmena_klimatu
- [69] Pařížská dohoda. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda
- [70] HONCOVÁ, Petra a Vojtěch KOTECKÝ. Pařížská dohoda-přelomový krok pro ochranu klimatu. *Klimatická koalice* [online]. 2016 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: https://klimatickakoalice.cz/images/KK-Parizska_smlouva-net-A4.pdf
- [71] Zelená dohoda pro Evropu. *Evropská komise* [online]. Brusel, 2019 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/ip_19_6691
- [72] Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030 (podkladový dokument NKEP). *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2019 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/rozvoj-podporovanych-zdroju-energie-do-roku-2030-podkladovy-dokument-nkep--244303/>
- [73] Referenční dokumenty o nejlepších dostupných technikách (BREF). *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2013 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/referencni-dokumenty-o-nejlepsich-dostupnych-technikach-bref--143226/>
- [74] PROTIVÍNSKÝ, Tomáš. Jak fungují evropské emisní povolenky?. *Fakta o klimatu* [online]. 2021 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/emisni-povolenky-ets>
- [75] Kolik stála emisní povolenka. *Seznam* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/cena-emisnich-povolenek-na-rekordu-dostala-se-na-vice-nez-70-eur-za-tunu-181176>
- [76] Modernizační fond. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/modernizacni_fond/\\$FILE/OPTNE-PDMdF-20210125.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/modernizacni_fond/$FILE/OPTNE-PDMdF-20210125.pdf)
- [77] VOBOŘIL, David. Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *O energetice* [online]. 2017 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [78] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. Computer Press : EkoWATT, 2011, 106 s. : il. (některé barev.) ; 21 cm. ISBN 978-80-251-2916-6.
- [79] CENEK, Miroslav. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 208 s. : il., tabulky, mapy. ISBN 80-901985-8-9.
- [80] NOSKIEVIČ, Pavel, Dagmar JUCHELKOVÁ a Bohumír ČECH. *Biomasa a její energetické využití*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava: Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy: Ministerstvo životního prostředí České republiky: Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy, 1996, 68 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-7078-367-2.
- [81] Biomasa jako palivo a jaké existují typy biomasy. *Viessmann* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/biomasa-pro-spalovani-v-kotlich.html>

- [82] STUPAVSKÝ, Vladimír. Nové normy pro tuhá biopaliva již v platnosti. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/11997-nove-normy-pro-tuha-biopaliva-jiz-v-platnosti>
- [83] BALÁŠ, Marek, Zdeněk SKÁLA a Lisý MARTIN. Spalovny odpadů-odpad jako palivo. *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/nakladani-s-odpady/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo>
- [84] MACHANČÍK, Jan. Plán odpadového hospodářství. *Jihlava* [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.jihlava.cz/plan-odpadoveho-hospodarstvi/d-522648>
- [85] Co se dá energeticky využít. *Odpad je energie* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/vyroba-energie/predpoklady/co-se-da-energeticky-vyuzit>
- [86] TOMÁŠKOVÁ, Hana. Jaké máme způsoby nakládání s odpady a jaké opravdu využíváme?. *Komunální ekologie* [online]. 2021 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.komunalniekologie.cz/info/zpusoby-nakladani-s-odpady-jake-opravdu-vyuzivame->
- [87] UCEKAJ, Vladimír. Moderní technologie pro energetické využití odpadů. *EVECO Brno* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/20268434-Moderni-technologie-pro-energeticke-vyuziti-odpadu.html>
- [88] MILAN, Číhala. Rozptylová studie ZEVO Uherské Hradiště. *Město Uherské Hradiště* [online]. 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.mesto-uh.cz/file/10550/>
- [89] HYŽÍK, Jaroslav. Spoluspalování tuhého alternativního paliva z mechanicko-biologické úpravy odpadů? Provozní zkušenosti říkají NE!. *Odpad je energie* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/data/f/0/13/0/fileBankOriginal/p1ch08pa5c11941opa1em619c7199o3.pdf>
- [90] STEHLÍK, Petr. *Up-to-date waste-to-energy approach: from idea to industrial application*. Switzerland]: Springer, 2016, xiv, 101 stran : barevné ilustrace. ISBN 978-3-319-15466-4.
- [91] Technologie čištění spalin po spalování odpadů. *ČVUT* [online]. 2018 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/2018/06/ELO-pr8.pdf>
- [92] FERNANDO, Jason. Net Present Value (NPV). *Investopedia* [online]. 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>
- [93] FERNANDO, Jason. Internal Rate of Return (IRR). *Investopedia* [online]. 2022 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp>
- [94] Podklady pro oblast podpory odpadového a oběhového hospodářství OPŽP 2021-2027. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2020 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove_obehove_hospodarstvi/\\$FILE/OODP-4_Energeticke%20vyuziti%20odpadu-20200529.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove_obehove_hospodarstvi/$FILE/OODP-4_Energeticke%20vyuziti%20odpadu-20200529.pdf)
- [95] Česká republika přechází na nové zdroje vytápění, 4 miliony obyvatel a firmy dostanou cenově dostupné teplo i nadále. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2020 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/promedia/tiskove-zpravy/ceska-republika-prechazi-na-nove-zdroje-vytapani--4-miliony-obyvatel-a-firmy-dostanou-cenove-dostupne-teplo-i-nadale--256716/>
- [96] KNÁPEK, Jaroslav, Michaela VALENTOVÁ, Rostislav KREJCAR, Jiří VAŠÍČEK a Jiří VECKA. Klimaticko-energetické investice v teplárenství 2014-2030. *České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická* [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://ekonom.fel.cvut.cz/cs/katedra/lide/valenmi7/cic2030/reports/ipp-teplarenstvi-report-final.pdf>

- [97] LECOMTE, Thierry, Frederik NEUWAHL, Ivan JANKOV, Antoine PINASSEAU, Thomas BRINKMANN a Serge ROUDIER. Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách (BAT) pro velká spalovací zařízení. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2017 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/Velka_spalovaci_zarizeni.pdf
- [98] KORNIA, Libor. Perní turbíny - provozní zkušenosti. *Vysoké učení technické v Brně* [online]. 2019 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/userfiles/Kudela/files/2019_Parn%C3%AD%20turb%C3%AADny_Skripta_Kornia.pdf
- [99] Červený mlýn akumuluje teplo již pro 17 tisíc domácností. *All for power* [online]. 2018 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <http://old.allforpower.cz/clanek/cervenymlyn-akumuluje-teplo-jiz-pro-17-tisic-domacnosti/>
- [100] ŠTĚTINA, Josef. *OBĚHY PARNÍCH ZARÍZENÍ* [online]. 2021 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/18hnDlv9xzA2cqDkhwwFoLYyAxa59aaFK/view>
- [101] Potenciál úspor energie při přechodu CZT pára-horká voda. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2020 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/0209_209-15-potencial-uspor-energie-pri-prechodu-czt-para-horka-voda-s-mapou.pdf
- [102] ZIMOVÁ, Marcela. Teplárny modernizují rozvody tepla a spoří. *Envi web* [online]. 2014 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/101117>
- [103] MAREŠ, Miroslav a Martin HORNÍK. AKTUALIZACE ÚZEMNÍ ENERGETICKÉ KONCEPCE MĚSTA JIHLAVY. *Jihlava* [online]. Jihlava, 2019 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://www.jihlava.cz/assets/File.ashx?id_org=5967&id_dokumenty=544070
- [104] Kotelna K4. *Jihlavské kotelny* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.jihlavsketekelny.cz/galerie?id=1&action=detail&oid=3923332&nid=13045>
- [105] Carbon pricing. *Ember climate* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>
- [106] *Plyn - cena plynu 2022* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/plyn/>
- [107] Kotle na spalování dřevní biomasy typ VESKO-B / výkon 1 až 10 MW. *TTS boilers* [online]. [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://www.ttsboilers.cz/wp-content/uploads/2018/09/vesko_b_web.pdf
- [108] STUPAVSKÝ, Vladimír a Tomáš HOLÝ. Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom* [online]. 2010 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
- [109] NESNAL, Zdeněk: Ekonomika provozu obecní výtopny na biomasu. *Biom.cz* [online]. 2014-07-14 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekonomika-provozu-obecni-vytopny-na-biomasu>>. ISSN: 1801-2655.
- [110] Průměrné mzdy - 4. čtvrtletí 2021. *Český statistický úřad* [online]. 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cri/prumerne-mzdy-4-ctvrtleti-2021>

5. Seznam použitých zkratk a symbolů

Symbol	Název	Veličina
CZT	centrální zásobování teplem	[-]
ČR	Česká republika	[-]
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla	[-]
DZT	decentralizovaná výroba tepla	[-]
σ	teplárenský modul	[%]
E_{KVET}	elektrická energie vyrobená při kogeneraci	[GJ, MWh]
Q_{KVET}	teplo vyrobené při kogeneraci	[GJ, MWh]
η^{el}_{KVET}	účinnost výroby elektrické energie zdroje KVET	[%]
$Q_{pal-KVET}$	spotřeba tepla z paliva při kogeneraci	[GJ, MWh]
η^d_{KVET}	účinnost výroby užitkového tepla zdroje KVET	[%]
$Q_{už-KVET}$	získané užitkové teplo při procesu kogenerace	[GJ, MWh]
η^{celk}_{KVET}	celková účinnost zdroje KVET	[%]
TUV	teplá užitková voda	[-]
RC	Rankinův-Clausiiův	[-]
ORC	Organický Rankinův-Clausiiův	[-]
ERÚ	Energetický regulační úřad	[-]
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu	[-]
OZE	obnovitelné zdroje energie	[-]
DPH	Daň z přidané hodnoty	[-]
OSN	Organizace spojených národů	[-]
BREF/BAT	Reference Document on Best Available Techniques	[-]
ETS	Evropský systém pro obchodování s emisemi	[-]
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	[-]
ZEVO	zařízení pro energetické využití odpadů	[-]
SKO	směsný komunální odpad	[-]
R1	R1 faktor	[%]
Q_{prod}	roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny	[GJ/rok]
E_f	roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k tvorbě páry	[GJ/rok]
I_{imp}	roční dodaná energie	[GJ/rok]
E_w	roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů	[GJ/rok]
TZL	tuhé znečišťující látky	[-]
TOC	celkový organický uhlík	[-]
IRR	Internal Rate of Return	[%]
NPV	Net Present Value	[Kč]
SZT	soustava zásobování teplem	[-]
TAP	tuhá alternativní paliva	[-]
ÚPI	Ústav procesního inženýrství	[-]
ZP	zemní plyn	[-]
C_p	cena emisních povolenek	[Kč/t]
C_{ZP}	cena zemního plynu	[Kč/MWh]
E_{fZP}	emisní faktor zemního plynu	[t/CO ₂ /MWh]
μ_{ZP}	účinnost zdroje ZP	[%]
P_{ZP}	minimální a maximální výkon zdroje ZP	[MW]

P_h	poptávka po teple zprůměrovaná za každý den	[MWh/h]
C_{varxx}	variabilní náklady na výrobu tepla po celý rok pro daný scénář	[Kč]
$C_{\dot{s}}$	cena dřevní štěpky	[Kč/t]
$H_{\dot{s}}$	výhřevnost dřevní štěpky	[GJ/t]
m_p	hmotnost popeloviny	[t/t biomasy]
μ_b	účinnost zdroje na biomasu	[%]
P_b	minimální a maximální výkon zdroje na biomasu	[MW]
$C_{rozdlxx}$	rozdíl variabilních nákladů oproti referenční variantě pro určitý scénář	[Kč]
$C_{změna,X,X}$	změna ceny tepelné energie na 1 GJ	[Kč]
k	kapacita ZEVO	[kt/rok]
H_o	výhřevnost odpadu	[GJ/t]
μ_k	korigovaná účinnost kotle na spalování odpadu	[%]
P_{ZEVO}	výkon ZEVO	[MW]

6. Seznam příloh

Příloha 1.....	Mapa SZT na území Jihlavy
Příloha 2.....	Technicko-ekonomický model Ústavu procesního inženýrství VUT v Brně